

Eficiencias productivas de asociaciones de maíz, frijol y calabaza (*Curcubita pepo* L.), intercaladas con árboles frutales

Productive efficiencies in corn, bean and squash (*Curcubita pepo* L.) associations, intercropped with rows of fruit trees

Molina-Anzures MF¹, JL Chávez-Servia², A Gil-Muñoz¹, PA López¹, E Hernández-Romero¹, E Ortiz-Torres¹

Resumen. El agrosistema mesoamericano 'milpa' es la asociación de maíz, frijol (*Phaseolus* sp.) y calabaza (*Curcubita* sp.) en el mismo espacio y tiempo. Dicho sistema se caracteriza por la producción de una gran diversidad de especies en pequeñas extensiones, y su uso tiende a decrecer 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 triples maíz-frijol-calabaza intercaladas con frutales, asociaciones dobles maíz-frijol sin frutales, y monocultivos con y sin frutales intercalados, distribuidos en bloques al azar con tres repeticiones. En el análisis de varianza se detectaron diferencias significativas ($P < 0,05$) en rendimiento de grano y razón equivalente de terreno entre localidades de evaluación, agrosistemas y tratamientos basados en asociaciones y monocultivo. En índice comparativo de rendimiento área solo hubo diferencias significativas entre agrosistemas. En estos casos, los agrosistemas de asociaciones triples y dobles difirieron significativamente de los sistemas de monocultivos, hasta el punto de duplicar o triplicar los rendimientos por unidad de área y presentar mayores eficiencias productivas que los monocultivos. En el comportamiento de genotipos-agrosistemas, las 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 m²) y eficiencias productivas (>2,0). La hilera de frutales intercalados generó un microambiente particular y complementó 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 como en San Lorenzo Chiautzingo con durazno.

Palabras clave: Razón equivalente de terreno (RET); Sistema milpa; Policultivos; Monocultivo.

Abstract. Mesoamerican agrosystem 'milpa' is the association of maize, beans (*Phaseolus* sp.) and squash (*Curcubits* sp.) in the same space and time. It is characterized by the production of a large diversity of species in small areas, but currently its use tends to decrease because of technological introductions of monocultures. In this work, the yield and productive efficiency of the association maize, beans and squash, intercropped with fruit tree rows were evaluated in two locations from Puebla, Mexico, through 32 experimental treatments clustered in three agrosystems. They were: triple associations of maize-beans-squash intercropped with fruit trees, double associations maize-beans without fruit trees, and monocultures with and without intercropped fruit trees, all distributed under a randomized complete block design with three replications. Significant differences ($P < 0,05$) were detected in the analysis of variance for locations of evaluation, agrosystems and experimental treatments based on associations and monocultures, for grain yields and land equivalent ratio. For the comparative index of area yield, there were just significant differences among agrosystems. In these cases, the agrosystems with triple and double associations differed significantly from the monocultures. These agroecosystems surpassed the yields per unit area by two or three times, and had greater productive efficiencies, in comparison to the monocultures. In relation with the performance of genotype-agrosystems, the triple interactions in alternate rows of 'Tropical' or 'Niebla'® maize, 'Negro' or 'Amarillo' beans and 'Huejotzingo' or 'Moxolahuac' squash, presented the highest yields (7.13 to 10.1 kg/8 m²) and productive efficiencies (>2.0). The intercropped row of fruit trees conferred a particular microenvironment, and complemented the agrosystem productivity. This was because the production of the fruit trees was significantly and positively associated ($r > 0,3$) with the production of the most efficient and productive triple associations, both in San Andres Calpan with apple trees and in San Lorenzo Chiautzingo with peach trees.

Keywords: Land equivalent ratio (LER); Milpa system; Polycrops; Monoculture.

¹Alumna y profesores del Colegio de Postgraduados Campus Puebla. Boulevard Forjadores de Puebla Núm. 25, Santiago Momoxpan, San Pedro Cholula, Puebla, México C.P. 72760.

²Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR Unidad Oaxaca. Hornos No. 1003, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México. C.P. 71230.

Address correspondence to: José Luis Chávez-Servia, e-mail: jchavez@ipn.mx

Received 30.XII.2014. Accepted 1.VII.2015.

INTRODUCCIÓN

México ocupa una superficie continental aproximada de 198 millones de ha; 14% de ellas 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. 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 en secano y 25% bajo condiciones de riego. En ella se cultivan alrededor de 150 especies. En magnitud de superficie sembrada se destacan maíz, sorgo y frijol, incluyendo pastos y praderas, con más de 1,8 millones de hectáreas cultivadas anualmente de cada uno (SIAP, 2014). Consecuentemente, el origen principal de los productos consumidos en las zonas urbanas proviene de la agricultura en secano 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 un alto uso de insumos, mayor infraestructura para la producción (por ejemplo, riego y vías de comunicación) y acceso a crédito bancario o bien el productor cuenta con capacidad de inversión. En tales países, 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 utilización 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 la silvicultura 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 mesoamericano milpa de asociación de cultivos proviene desde la época prehispánica, donde en el mismo espacio y tiempo se producen maíz, frijol, calabaza, vegetales (por ejemplo, 'quelites' como *Amaranthus* sp., *Brassicasp.*, *Portulaca oleraceae*, *Chenopodium berlandieri*, etc.) y frutillas (por ejemplo, tomatillos tipo *Physalis* sp. y *Solanum 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 cual fija nitrógeno en el suelo; la calabaza disminuye la incidencia de

maleza y conserva la humedad del suelo (Aguilar et al., 2007).

Los sistemas de policultivo, como el sistema milpa, o diversas variantes actuales, persisten a través del tiempo y se proponen como un modelo para diseñar sistemas de cultivo sustentables y resilientes (Gliessman, 2001; Altieri, 2002; Webber et al., 2014); además, representan una opción amortiguadora para efectos del cambio climático asociado a temperaturas, uso eficiente de agua y desordenes agroecológicos relacionados con 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 los diferentes ambientes. Estos sistemas de cultivo contribuyen hasta un 20 ó 25% del suministro mundial de alimentos (Altieri, 1999; Altieri et al., 2012). Además, 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). Las desventajas que se mencionan para estos sistemas incluyen (1) que existe mayor competencia por los factores de crecimiento (luz, agua y nutrientes del suelo), (2) dificultan la mecanización del sistema, (3) los rendimientos por especie individual resultan más bajos en algunos casos, y (4) sólo los practican agricultores de subsistencia (Francis, 1986; Gliessman, 2001; Malézieux et al., 2009). No obstante, las críticas al sistema provienen de los productores y técnicos de visión empresarial y comercial. Sin embargo, su funcionamiento debe entenderse en base a 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 perennes domesticadas, semidomesticadas y silvestres.

Los métodos y modelos de estudio de sistemas de cultivo multiespecies 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 están: (1) identificar las combinaciones más deseables de especies, (2) obtener estimadores confiables de eficiencias y repetibilidad/estabilidad del policultivo comparado contra monocultivo, (3) identificar los genotipos o variedades que generen una combinación más eficiente agronómicamente, (4) determinar las interferencias o aportaciones deseables de especies perennes en combinación con anuales, (5) determinar la estabilidad del agrosistema diseñado con modificaciones de las prácticas agrícolas o ambientes de producción y, la pregunta más frecuente, (6) 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 evaluado dos especies en asociación con diferentes objetivos; por ejemplo, (1) cuantificar la habilidad competitiva del frijol y maíz asociados (Rezende

y Ramalho, 1994), (2) medir la calidad nutricional y culinaria del frijol asociado con maíz (Santalla et al., 1995), (3) como estrategia o enfoque de mejoramiento genético de maíz y frijol asociados (Zimmermann, 1996), (4) comparar la estabilidad del rendimiento de cultivos asociados a través de ambientes (Piepho, 1998), (5) estimar el cambio estacional de humedad en el suelo en secano en asociación maíz-frijol (Ogindo y Walker, 2005), (6) cuantificar la interceptación de radiación solar en maíz-frijol (Awal et al., 2006), (7) determinar cómo el agrosistema afecta los rendimientos de maíz-frijol (Gebeyehu et al., 2006), (8) inhibición del crecimiento de maleza al asociar calabaza con maíz (Fujiyoshi et al., 2007), (9) cuantificar la ventaja de rendimiento y ahorro de agua de maíz-chicharo (Mao et al., 2012) y (10) comportamiento de frijol caupí asociado con maíz (Ewansih et al., 2014). En todos los casos se usa como referencia el índice de relación equivalente de terreno (RET). No obstante, la evaluación de tres especies en asociación aún es poco estudiada, a pesar 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 las eficiencias productivas de asociaciones triples, dobles y monocultivos (agrosistemas) intercalados con árboles frutales, en dos ambientes de cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal. 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 indeterminado (tipo IV), y dos variedades 'Negro precoz' y 'Amarillo Col-2603' de crecimiento determinado (tipo I); y dos poblaciones nativas de calabaza de Huejotzingo y Moxolahuac, Puebla, nombradas como 'Huejotzingo' y 'Moxolahuac'. Como frutales intercalados en hileras, se utilizaron las variedades de manzana 'Agua Nueva' de 7 años de edad, y durazno 'CP Tardío' de 4,5 años de edad.

Localidades de evaluación y diseño experimental. La evaluación de sistemas de asociación se realizó durante el ciclo agrícola primavera-verano de 2013, en condiciones naturales en dos localidades del Valle de Puebla, México: (1) San Lorenzo Chiautzingo, Chiautzingo, localizado a 19° 12' 6" N, 98° 28' 2" O y 2400 m de altitud. Este sitio 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 (2) San Andrés Calpan, Calpan, ubicado a 19° 6' 13" N, 98° 27' 48" O y 2382 m de altitud. El clima es 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), en este trabajo se utiliza el término agrosistema para designar al monocultivo y a las asociaciones de especies anuales de maíz, frijol y calabaza, intercaladas o no con árboles de durazno o manzana. 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 de 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 (Tabla 1).

Para los cultivos anuales, la unidad experimental estuvo constituida por cuatro surcos de 5 m de longitud y 80 cm de separación entre surcos. La distancia entre matas para maíz y frijol de crecimiento indeterminado fue de 55 cm, ajustando el número de plantas para obtener densidades de población de 42500 plantas/ha; en el frijol de crecimiento determinado la distancia fue de 20 cm, para una densidad de 115000 planta/ha. En calabaza se manejó una densidad de 2500 plantas/ha (dos plantas por unidad experimental). Los tratamientos experimentales se distribuyeron en el 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, intercalando los tratamientos entre árboles de manzana de la variedad 'Agua Nueva' de 7 años de edad, con una separación de 14,5 m entre hileras de árboles y una distancia de 1,0 m entre plantas. En San Lorenzo Chiautzingo se sembró el 4 de mayo de 2013, con un arreglo semejante al anterior pero con plantas de durazno de la variedad 'CP Tardío' de 4,5 años de edad; con una distancia entre hileras de árboles de 10,5 m y de 1,0 m entre plantas. La parcela efectiva considerada para determinar el efecto o eficiencia de las asociaciones y monocultivos constó de 8 m² en los cultivos anuales y 4 m² en frutales.

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

Tabla 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.

Table 1. Combinations of populations or cultivars for each species for the integration of the agrosystems evaluated at San Andres Calpan and San Lorenzo Chiautzingo, Puebla. Spring-Summer 2013.

Agrosistemas evaluados	Variedades o poblaciones nativas de cada especie			
	Maíz	Frijol	Calabaza	Frutal ¹
<i>1. Asociaciones triples con árboles frutales intercalados en hilera:</i>				
A. Asociación	Tropical Niebla®	Abolado Huejotzingo	Moxolahuac Huejotzingo	Agua Nueva (manzana) o CP 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	

¹En San Andrés Calpan se intercalaron hileras de manzana y en San Lorenzo Chiautzingo hileras de durazno.

¹Apple rows were intercalated at San Andres Calpan; peach rows were intercalated at San Lorenzo Chiautzingo.

Tabla 2. Valores mensuales de precipitación, y temperaturas máximas y mínimas ocurridas durante el ciclo de cultivo en las localidades de evaluación. Año 2013.

Table 2. Monthly values for precipitation, and maximum and minimum temperatures registered during the crop cycle at the sites of evaluation. Year 2013.

Localidad/Variable	Mes							
	Ene-Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov
San Andrés Calpan ¹								
Precipitación (mm)	35,0	122,9	179,5	135,2	159,6	199,7	108,9	50,7
Temperatura máxima (°C)	30	29	27	29	26	26	25	25
Temperatura mínima (°C)	0	2	6	6	8	8	6	1
San Lorenzo Chiautzingo ²								
Precipitación (mm)	16,6	60	140	143,4	121,1	240,4	109,8	43,4
Temperatura máxima (°C)	29	31	29	27	29	25	25	24
Temperatura mínima (°C)	-2	7	6	8	8	8	5	1

¹Datos de la estación meteorológica de San Andrés Calpan, Calpan, Puebla (SMN, en línea); ²Datos de la estación meteorológica de San Martín Texmelucan, Texmelucan, Puebla (SMN, en línea).

¹Data from the meteorological station at San Andres Calpan, Calpan, Puebla (SMN, on line); ²Data from the meteorological station at San Martín Texmelucan, Texmelucan, Puebla (SMN, on line).

manzana 83-60-75 g (N-P-K, respectivamente), más 7,5 g de estiércol de bovino por árbol; en ambos casos, dos veces por año. Los experimentos se desarrollaron bajo condiciones de secano durante todo el ciclo de cultivo. En la Tabla 2 se presentan los registros mensuales de precipitación y temperaturas extremas ocurridas en el año de evaluación.

En maíz se cosecharon las mazorcas, se pesó y se estimó el rendimiento de grano por parcela (kg/8 m²) mediante co-

rrecciones por humedad a 14%, número de plantas efectivas y relación grano/mazorca (factor de desgrane). En frijol, el rendimiento de grano por parcela (kg/8 m²) se corrigió por número de plantas a la cosecha. En calabaza, se cosecharon y pesaron todos los frutos de la parcela (kg/8 m²). Finalmente, en durazno o manzana se cosecharon los frutos a la madurez comercial y se pesaron para expresar el rendimiento de dos plantas por parcela experimental (kg/4 m²).

Con los rendimientos por especie en cada asociación y monocultivo, se estimó la razón equivalente de terreno (RET) con base en las siguientes expresiones adaptadas de Mead y Willey (1980) y Mead y Riley (1981):

$$RET = \frac{Y_a}{Y_{aa}} + \frac{Y_b}{Y_{bb}} + \frac{Y_c}{Y_{cc}}, \quad RET = \frac{Y_a}{Y_{aa}} + \frac{Y_b}{Y_{bb}} \quad \text{y} \quad RET = \frac{Y_a}{Y_{aa}} \text{ ó } \frac{Y_b}{Y_{bb}} \text{ ó } \frac{Y_c}{Y_{cc}}$$

para sistemas de cultivo triple, doble y monocultivo, respectivamente. Donde: Y_a es el rendimiento del i-ésimo genotipo de maíz en asociación; Y_b representa el rendimiento del j-ésimo genotipo de frijol en asociación, e 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

$$\text{Bergh (1965): } ICRA = \frac{r(Y_a + Y_b + Y_c)}{(Y_{aa} + Y_{bb} + Y_{cc})}, \quad ICRA = \frac{r(Y_a + Y_b)}{(Y_{aa} + Y_{bb})}$$

$$\text{e } ICRA = \frac{r(Y_a)}{(Y_{aa})} \text{ ó } \frac{r(Y_b)}{(Y_{bb})} \text{ ó } \frac{r(Y_c)}{(Y_{cc})} \quad \text{para calcular el}$$

ICRA de las asociaciones triples, dobles y monocultivos, respectivamente. Donde: 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.

Análisis estadístico. Con la información del rendimiento por parcela experimental y las estimaciones de eficiencias productivas, se realizaron análisis de varianza 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 para la interacción localidades×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 asociaciones triples, se estimó la correlación simple de Pearson entre el rendimiento de la hilera de árboles adjunta o cercana a la parcela de asociación, y el 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).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se determinaron diferencias significativas ($P < 0,05$) entre localidades de evaluación, agrosistemas y tratamientos basados en asociaciones y monocultivos para 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% (Tabla 3). Estos resultados indican que el grupo de asociaciones específicas o monocultivos presentó respuestas diferentes en rendimiento y eficiencias productivas en función del ambiente, aunque el comportamiento de los agrosistemas y tratamientos fue constante a través de los ambientes.

Tabla 3. Análisis de varianza de rendimiento e índices de eficiencias relativas, en sistemas de asociaciones de cultivos intercalados con frutales.

Table 3. Analysis of variance of yield and relative efficiency indexes in association systems of crops intercropped with fruit trees.

Fuentes de variación	gl	Rendimiento		RET ¹		ICRA ²	
		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 ^{NS}
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 ^{NS}	0,065	1,0 ^{NS}	0,077	0,9 ^{NS}
Tratamientos (T)/A	28	0,729	3,4 **	0,136	2,2 **	0,118	1,4 ^{NS}
L×T/A	28	0,217	1,0 ^{NS}	0,064	1,0 ^{NS}	0,094	1,1 ^{NS}
Error	124	0,215		0,062		0,084	
Coef. variación (%)		19,2		14,0		16,6	

¹RET = razón equivalente de terreno; ²ICRA = índice comparativo de rendimiento área; ^{NS} no significativo ($P > 0,05$); *significativo a $P < 0,05$; **significativo a $P < 0,01$.

¹RET = land equivalent ratio; ²ICRA = comparative index of area yield; ^{NS} not significant ($P > 0,05$); *significant at $P < 0,05$; **significant at $P < 0,01$.

El rendimiento experimental promedio de todas las asociaciones y monocultivos fue mayor en San Lorenzo Chiautzingo; ahí también se expresó un valor más alto de razón equivalente de terreno (RET), pero ambas localidades presentaron un comportamiento semejante en índice comparativo de rendimiento área (ICRA). Los resultados en este sentido mostraron que el rendimiento es un carácter complejo y está influenciado por el ambiente de evaluación, e influye en las estimaciones del índice RET (Tabla 4). Esta variabilidad está influenciada por el tipo de suelo, manejo y clima en el que fueron evaluados los experimentos.

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 (Tabla 4).

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). Sin embargo, esto se contrapone a la corriente mundial de cultivos intensivos y mecanizados en monocultivo. En este trabajo no se mostraron interacciones significativas entre localidades y agrosistemas, aunque hay indicios de que es necesario determinar las asociaciones más estables por regiones de producción, 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 este sistema permite hacer un uso más eficiente de los recursos de luz, agua y nutrientes, y permite además una menor inci-

Tabla 4. Promedios de rendimientos e índices de eficiencias productivas por localidades de estudio, agrosistemas e interacción localidades-agrosistemas. Primavera-Verano 2013.

Table 4. Yield averages and productive efficiency indexes for locations, agrosystems and interaction locations-agrosystems. Spring-Summer 2013.

Factores de estudio	Rendimiento (kg/ 8m ²)	Razón equivalente de terreno (RET)	Índice comparativo de rendimiento área (ICRA)
Localidades			
San Andrés Calpan	4,45 b ¹	1,97 b	2,32 a
San Lorenzo Chiautzingo	6,60 a	2,69 a	2,23 a
Agrosistemas			
Asociaciones triples + frutales ²	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
Localidades × agrosistemas			
<i>San Andrés Calpan:</i>			
Asociaciones triples + frutales ²	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 ²	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

¹En columna, dentro de cada factor, las medias con la misma letra no presentan diferencias estadísticas significativas (Tukey, P<0,05).²Respuesta promedio de 8 asociaciones en el mismo surco y 8 asociaciones con especies en surcos alternos.

¹In column, within each factor, means with the same letter are not significantly different (Tukey, P<0.05). ²Average results of 8 associations in the same row and 8 associations with species in alternate rows.

Tabla 5. 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.

Table 5. Averages of experimental yields and efficiency indexes on each evaluated treatment in association or monoculture, at San Andres Calpan and San Lorenzo Chiautzingo, Puebla. Spring-Summer 2013.

Tratamientos dentro de cada agrosistema evaluado	Rend. experimental (kg/8 m ²)	RET ¹	ICRA ²
Asociaciones triples maíz-frijol-calabaza con línea de frutales intercalados			
<i>a) Asociaciones en la misma hilera del surco</i>			
Tropical-Abolado-Huejotzingo	7,59 bcd ³	2,99 abcd	3,15 abc
Tropical-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-Moxolahuac	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
Asociaciones dobles maíz-frijol sin hileras de frutales			
Tropical-Negro precoz	5,01 ef	2,48 abcdef	3,22 abc
Tropical-Amarillo	4,22 fgh	2,08 cdefgh	2,65 abcde
Niebla [®] -Negro precoz	6,23 de	3,09 abcd	3,60 abc
Niebla [®] -Amarillo	4,59 efg	2,27 bcdefg	3,00 abcd
Monocultivos con línea de frutales intercalados			
Maíz población Tropical	3,55 fghi	1,46 defghi	1,02 efg
Maíz variedad Niebla [®]	4,60 efg	2,17 cdefgh	1,34 defg
Frijol población Abolado	0,13 j	0,24 i	0,24 g
Frijol población Huejotzingo	0,19 j	0,36 i	0,36 g
Calabaza población Huejotzingo	3,60 fghi	1,06 fghi	1,06 efg
Calabaza población Moxolahuac	3,03 ghi	0,88 fghi	0,88 fg
Monocultivos sin frutales			
Maíz población Tropical	2,58 hi	0,70 ghi	0,70 g
Maíz variedad Niebla [®]	3,39 fghi	1,04 fghi	1,04 efg
Frijol población Abolado	0,14 j	0,23 i	0,23 g
Frijol población Huejotzingo	0,21 j	0,30 i	0,36 g
Calabaza población Huejotzingo	4,02 fghi	1,21 efghi	1,21 efg
Calabaza población Moxolahuac	2,25 i	0,66 hi	0,66 g

¹RET = razón equivalente de terreno; ²ICRA = índice comparativo de rendimiento área; ³En cada columna, los promedios con la misma letra no presentan diferencias estadísticas significativas (Tukey, P<0,05).

¹RET = land equivalent ratio; ²ICRA = comparative index of area yield; ³Within columns, means with the same letter are not significantly different (Tukey, P<0.05).

dencia 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 tuvieron mayor 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 (Tabla 4); ello sugiere la necesidad de hacer innovaciones tecnológicas a estos sistemas, que redunden en una 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 (Tabla 4), se observó 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 (Tabla 5). Sin embargo, este menor rendimiento 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. Estos autores no obtuvieron 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 contribución de los genotipos evaluados. En las asociaciones triples con siembras en surcos alternos de maíz de las variedades 'Tropical' y 'Niebla'® con las variedades de frijol 'Amarillo' y 'Negro precoz' más calabaza 'Huejotzingo' o 'Moxolahuac', se presentaron los mayores rendimientos y valores de razón equivalente de terreno (RET) e índice comparativo de rendimiento área (ICRA). Más aún, éstos difirieron significativamente de las otras asociaciones triples, todas las asociaciones dobles y monocultivos (Tabla 5). Todo esto sugiere que las especies en asociación interactúan de manera positiva e incrementan el rendimiento y uso de los recursos como suelo, agua, luz y nutrientes suministrados por la fertilización. En este sentido, Postma y Lynch (2012) indican que

en asociaciones dobles maíz-frijol o triples maíz-frijol-calabaza, se generan diferentes estructuras radicales ramificadas tanto en extensión como en profundidad, lo que permite que cada especie explore diferentes áreas del suelo. Ghanbary y Lee (2002) reportan que la producción de materia seca en trigo y frijoles asociados fue mayor que en monocultivos. 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 contribución significativa que tuvo el rendimiento de la calabaza al 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 las triples superaron sustancialmente a los monocultivos, independientemente que se siembre con hileras intercaladas de frutales o no (Tabla 5). La comparación de rendimiento y eficiencias productivas entre monocultivos denota que la mayor contribución provino del maíz. En ese sentido, los resultados mostraron que solo en los monocultivos de maíz y calabaza las eficiencias productivas fueron cercanas a la unidad, respecto al rendimiento promedio general de la especie. Esto no sucedió con el frijol, lo que sugiere que esta especie necesita de la asociación con el maíz, principalmente cuando el crecimiento es 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 se evaluó la eficiencia productiva de la asociación maíz-frijol (Rezende y Ramalho, 1994; Ogindo y Walker, 2005; Gebeyehu et al., 2006).

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 (Tabla 6). 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 fueron mayores las eficiencias productivas (RET e ICRA) en las asociaciones que en los monocultivos, el efecto del ambiente es independiente del tratamiento específico. Consecuentemente, los resultados muestran que en cada ambiente se deben diseñar las combinaciones o asociaciones de genotipos que repercutan en una mayor productividad. No obstante, para un pequeño productor resulta ventajoso obtener mayor cantidad de diversos productos por unidad de área, principalmente cuando sus parcelas son pequeñas. Contrariamente, para el agricultor agrocomercial deben valorarse las asociaciones más pertinentes según su sistema de utilización y manejo de los cultivos. Esto se debe a

Tabla 6. Promedios de rendimientos experimentales e índices de eficiencias en cada tratamiento evaluado de asociación o monocultivo por localidades. Primavera-Verano 2013.

Table 6. Averages of experimental yields and efficiency indexes for each treatment evaluated of association or monoculture by locations. Spring-Summer 2013.

Tratamientos dentro de cada agrosistema evaluado	San Andrés Calpan			San Lorenzo Chiautzingo		
	Rend. ¹	RET ²	ICRA ³	Rend.	RET	ICRA
Asociaciones triples maíz-frijol-calabaza con línea de frutales intercalados:						
<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-Moxolahuac	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 precoz-Huejotzingo	8,32	3,24	4,54	11,85	4,62	3,91
Tropical-Negro precoz-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 precoz-Huejotzingo	5,34	2,46	1,65	9,57	4,05	3,15
Niebla®-Negro precoz-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
Asociaciones dobles maíz-frijol sin frutales						
Tropical-Negro precoz	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 precoz	5,46	2,72	4,27	7,01	3,46	2,92
Niebla®-Amarillo	3,88	1,88	3,04	5,30	2,66	2,96
Monocultivos con línea de frutales intercalados						
Maíz población Tropical	2,06	0,97	0,97	5,04	1,94	1,06
Maíz variedad Niebla®	2,83	1,34	1,33	6,37	3,01	1,34
Frijol población Abolado	0,09	0,21	0,21	0,17	0,27	0,27
Frijol población Huejotzingo	0,17	0,39	0,39	0,21	0,33	0,33
Calabaza población Huejotzingo	2,52	0,86	0,86	4,67	1,26	1,26
Calabaza población Moxolahuac	1,79	0,61	0,61	4,26	1,15	1,15
Monocultivos sin frutales						
Maíz población Tropical	1,18	0,56	0,56	3,98	0,84	0,84
Maíz variedad Niebla®	2,46	1,16	1,16	4,32	0,91	0,91
Frijol población Abolado	0,00	0,00	0,00	0,28	0,45	0,47
Frijol población Huejotzingo	0,09	0,20	0,20	0,32	0,39	0,51
Calabaza población Huejotzingo	3,52	1,19	1,19	4,53	1,22	1,22

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

¹Rend. = yield of grains or fruits; ²RET = land equivalent ratio; ³ICRA = comparative index of area yield.

que grandes extensiones (>5 ó 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 (Tabla 6) mostraron que en los mejores ambientes se incrementó el rendimiento de las especies. En estos ambientes, sin embargo, los cultivos 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 puede contribuir a mejorar su comportamiento productivo, probablemente interfiriendo con la radiación solar. Esto contribuiría a reducir las pérdidas de agua por evapotranspiración, o siendo 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 árboles intercalados de durazno (Tabla 7). Las diferentes correlaciones significativas entre rendimiento de frutales y rendimientos e índices de eficiencia 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.

En la Figura 1a se grafican las relaciones entre rendimiento de las asociaciones triples y el rendimiento de manzana en la hilera más cercana de frutales, en San Andrés Calpan. Hubo combinaciones que beneficiaron al frutal, favoreciendo su productividad que llegó a ser hasta de 20 kg/8 m². En este caso las asociaciones triples que presentaron mayor rendimiento de grano y fruta 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, correspondientes a siembra en surcos alternos. En estas asociaciones, se observó que el maíz 'Tropical' y la calabaza 'Moxolahuac' fueron los genotipos de mayor contribución al rendimiento total de la asociación, y que los frijoles '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 con el rendimiento de manzana en San Andrés Calpan (Fig. 1b), se observó que la mayor proporción de asociaciones presentó una RET >2, lo que indica que las especies tienen una alta capacidad de asociación, situación que se constata con el hecho de que todas las asociaciones presentaron valores de ICRA > 1,5. Así, se concluye 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, indican que las asociaciones son más ventajosas por unidad de área que los monocultivos. En este caso, las asociaciones 'Tropical'- 'Amarillo'- 'Moxolahuac', 'Tropical'- 'Negro'- 'Huejotzingo',

Tabla 7. Correlación (r) entre rendimientos de frutales intercalados y rendimientos experimentales e índices de eficiencia por localidad de evaluación para asociaciones triples. Primavera-Verano 2013.

Table 7. Correlation (r) between yield of fruit trees intercropped and experimental yields and efficiency indexes by site of evaluation for triple associations. Spring-Summer 2013.

Rendimientos e índices de eficiencia productiva	San Andrés Calpan (Rend. manzana)	San L. Chiautzingo (Rend. durazno)
Rendimientos:		
Rendimiento de maíz ¹	0,13 ^{NS}	0,24 ^{NS}
Rendimiento de frijol ¹	0,39 ^{**}	0,08 ^{NS}
Rendimiento de calabaza ¹	0,42 ^{**}	0,39 ^{**}
Rendimiento total de la triple asociación	0,34 ^{**}	0,33 [*]
Razón equivalente de terreno:		
Razón equivalente de terreno de maíz (RETM)	0,18 ^{NS}	0,28 [*]
Razón equivalente de terreno de frijol (RETF)	0,13 ^{NS}	<0,01 ^{NS}
Razón equivalente de terreno de calabaza (RETC)	0,38 ^{**}	0,23 ^{NS}
Razón equivalente de terreno total (RETT)	0,36 ^{**}	0,36 ^{**}
Índice comparativo de rendimiento área (ICRA)	0,29 ^{**}	0,21 ^{NS}

¹ Contribución del rendimiento individual de cada especie a la asociación triple; ^{NS} no significativo ($P>0,05$); ^{*}significativos a $P<0,05$; ^{**}significativos a $P<0,05$ (t of Student).

¹ Contribution of the individual yield from each species to the triple association; ^{NS} not significant, ($P>0.05$); ^{*}significant at $P<0.05$; ^{**}significant at $P<0.05$ (t of Student).

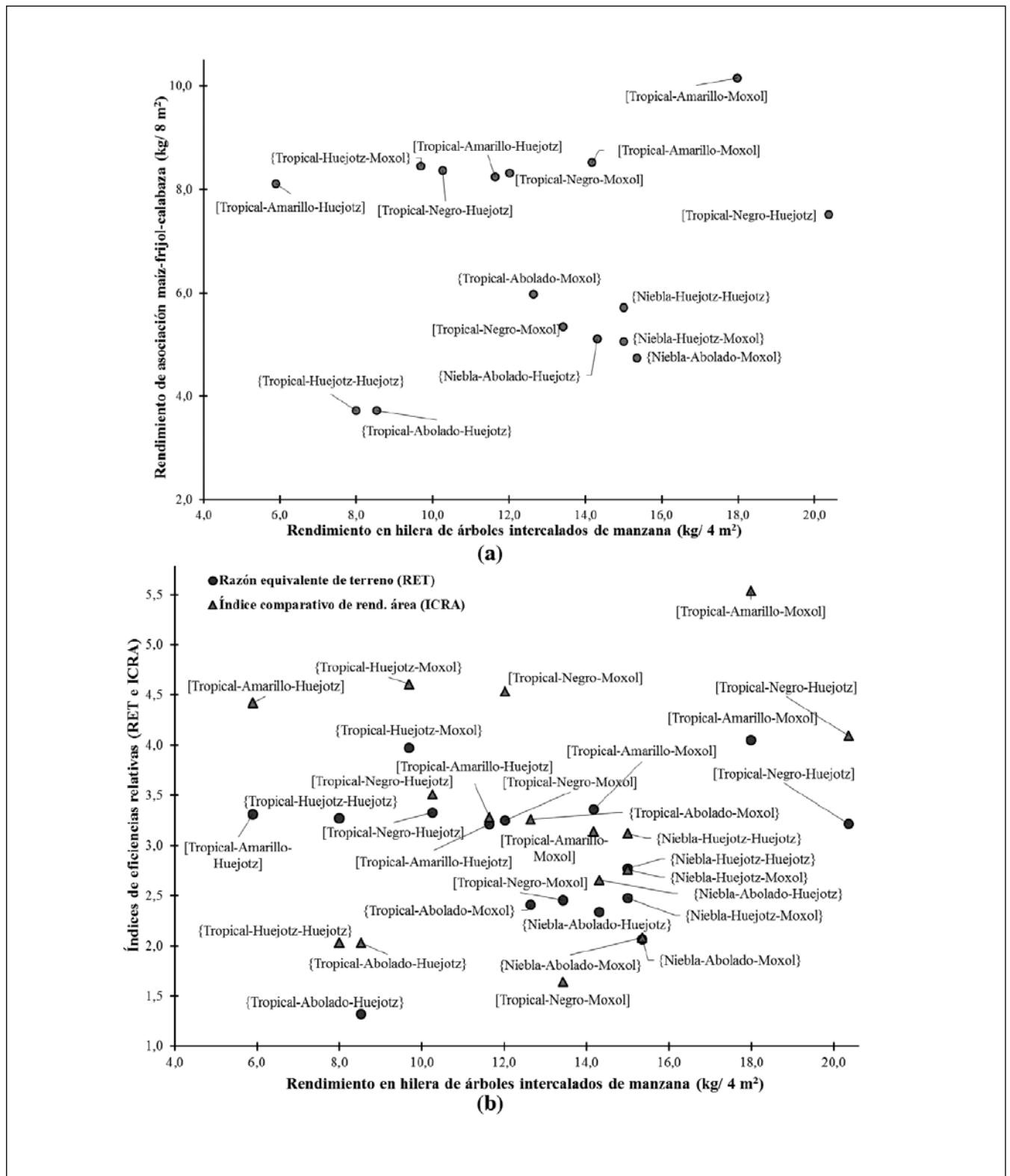


Fig. 1. Relación entre (a) rendimiento de asociaciones maíz-frijol-calabaza y rendimiento de manzana y (b) entre índices de eficiencia productiva y rendimiento de manzana. San Andrés Calpan, Puebla. {} = asociaciones en el mismo surco; [] = surcos intercalados.

Fig. 1. Relation between (a) yield of maize-bean-squash associations and apple yield and (b) between productive efficiency indexes and apple yield. San Andres Calpan, Puebla. {} = associations in the same row; [] = species in alternate rows.

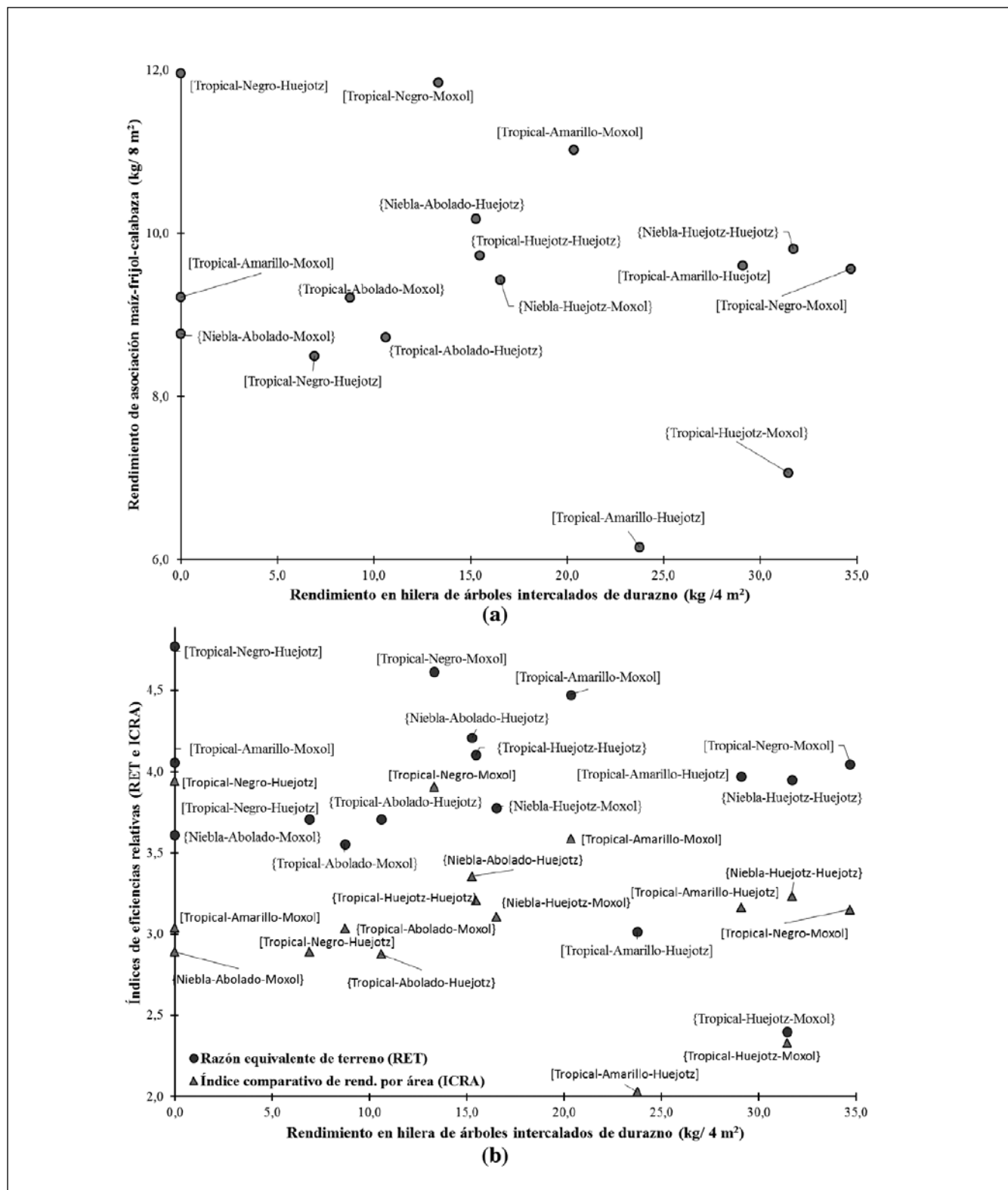


Fig. 2. Relación entre (a) rendimiento de asociaciones maíz-frijol-calabaza y rendimiento de durazno y (b) entre índices de eficiencia productiva y rendimiento de durazno. San Lorenzo Chiautzingo, Puebla. {} = asociaciones en el mismo surco; [] = surcos intercalados. Fig. 2. Relation between (a) yield of maize-bean-squash associations and peach yield and (b) between productive efficiency indexes and peach yield. San Lorenzo Chiautzingo, Puebla. {} = associations in the same row; [] = species in alternate rows.

'Tropical'-'Negro'-'Moxolahuac' (maíz-frijol-calabaza) tuvieron mayores valores de ICRA, RET y mayores rendimientos de fruta en las hileras intercaladas de manzana. Este aporte de fruta (>10 kg/4 m²) a la productividad de los agrosistemas de triple asociación no solo incrementa la productividad por unidad de superficie o número de productos, sino la agrobiodiversidad en las parcelas de producción, circunstancias que hacen más estable, resiliente y con mayor capacidad de amortiguación a los agrosistemas ante 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 conformadas 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 contribuyó con muy bajos o nulos rendimientos a la triple asociación (Fig. 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 presentan 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). Estos autores diseñaron agroforestería para pequeños agricultores de las regiones subtropicales. Es de remarcar que en este agrosistema de triple asociación fue alta la biomasa producida.

En términos de las relaciones de eficiencia productiva y rendimiento de durazno en San Lorenzo Chiautzingo, se observó que la razón equivalente de terreno (RET), en todas las asociaciones triples, fue superior a dos, lo que indica que las tres especies interactúan 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 m². Cabe destacar también que debido a la heterogeneidad de árboles de durazno en el experimento, en algunos tratamientos de asociación, las hileras intercaladas de frutales no presentaron frutos (Fig. 2b). En estos experimentos, las hileras de árboles frutales se intercalaron cada 10 m y en medio de las hileras de frutales se sembraron los agrosistemas de asociación triple. Por lo que, en términos microambientales se formó un micronicho y 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 las producción, sino también a la dieta de las familias, como se ha documentado en otros trabajos (Altieri y Trujillo, 1987).

CONCLUSIONES

En este trabajo se determinó que los agrosistemas de asociaciones triples y dobles, y monocultivos, interactúan con el ambiente, en relación a 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 no fue estable a través de las 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 precoz' 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, le sigue calabaza y por último el 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 con 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.

REFERENCIAS

- Aguilar, J., C. Illsley y C. Marielle (2007). Los sistemas agrícolas de maíz y sus procesos técnicos. En: Esteva, G. y Marielle, C. (coord.), pp. 83-122. Sin Maíz No Hay País. Dirección General de Culturas Populares del Consejo Nacional para la Cultura y las Artes. México, D.F. 346 p.
- 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. y J. Trujillo (1987). The agroecology of corn production in Tlaxcala, Mexico. *Human Ecology* 15: 189-219.

- Altieri, M.A., R. F. Funes-Monzote y P. Petersen (2012). Agroecologically efficient agricultural systems for smallholder farmers: contributions to food sovereignty. *Agronomy of Sustainable Development* 32:1-13.
- Altieri, M.A. y 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: 5-8.
- Andersen, M.K., H. Hauggaard-Nielsen, J. Weiner y 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 y 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 y T. Ikeda (2006). Radiation interception and use by maize/peanut intercrop canopy. *Agricultural and Forest Meteorology* 139: 74-83.
- Bedoussac, L. y 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 y 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.
- deWit, C.T. y J.P. van den Bergh (1965). Competition between herbage plants. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 13: 212-221.
- Dolijanovic, Z., D. Kovacevic, S. Oljajac 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 y 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. En: Francis, C.A. (ed.), pp. 1-19. Multiple Cropping System. MacMillan, New York, USA. 383 p.
- Fujiyoshi, P.T., S.R. Gliessman y 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. Simaney 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.
- Ghanbary, A. y H.C. Lee (2002). 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.
- Gliessman, S.R. (2001). Agroecosystem sustainability: developing practical strategies. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA. 224 p.
- Hayder, G., S.S. Mumtaz, A. Khany S. Khan (2003). Corn and soybean intercropping under various levels of soybean seed rates. *Asian Journal of Plant Science* 2: 339-341.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) (2000). Descripción de la base de datos del índice de marginación a nivel localidad de Puebla. INEGI, México, D.F. 39 p.
- Li, L., J. Sun, F. Zhang, X. Li, S. Yang y Z. Rangel (2001). Wheat/maize or wheat/soybean strip intercropping. 1. Yield advantage and intraspecific interactions on nutrients. *Fields Crop Research* 71: 123-137.
- Malézieux, E., Y. Crizat, C. Dupraz, M. Laurans, D. Makowski, H. Ozieer-Lafontaine, B. Rapidel, S. de Tourdonnet y M. Vantin-Morison (2009). Mixing plants species in cropping systems: concepts, tools and model. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 29: 43-62.
- Mao, L., L. Zhang, W. Li, W. van der Werf, J. Sun, H. Spiertz y L. Li (2012). Yield advantage and water saving in maize/pea intercrop. *Field Crops Research* 138: 11-20.
- Martin, M.P.L.D. y R.W. Snaydon (1982). Intercropping barley and beans I. Effects of planting pattern. *Experimental Agriculture* 18: 139-148.
- Mead, R. y R.W. Wiley (1980). The concept of "land equivalent ratio" and advances in yields from intercropping. *Experimental Agriculture* 16: 217-228.
- Mead, R. y J. Riley (1981). A review of statistical ideas relevant to intercropping research. *Journal Royal Statistical Society Series A* 144: 462-509.
- Mousavi, S.R. y 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 y M. Bannayan (2013). Intercropping. En: Lichtfouse, E. (ed.), pp. 119-142. Sustainable Agriculture Reviews Vol. 12, Springer Science + Business Media Dordrecht, London. 371 p.
- 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. 591 p.
- Ogindo, H.O. y 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. y 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. y 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 y P.A. Casquero (1995). Nutritional and culinary quality of bush bean populations intercropped with maize. *Euphytica* 84: 57-65.
- SAS (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. (Fecha de consulta: 26 de noviembre de 2014), Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/#>
- Servicio Meteorológico Nacional (SMN) (en línea). Normales Climatológicas por Estación. Servicio Meteorológico Nacional, México, D. F. (Fecha de consulta: 17 de junio de 2015). Disponible en: <http://smn.cna.gob.mx/climatologia/normales/estacion/EstacionesClimatologicas.kmz>
- 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. Bezlepikina, F. Brouwer, M. Donatelli, G. Flichman, L. Olsson, A.E. Rizzoli, T. van der Wal, J.E. Wien y 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 y 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 y F. Ewert (2014). Enhancing climate resilience of cropping systems. En: Fuhrer, J. y Gregory, P. (eds.), pp. 167-179. *Climate Change Impact and Adaptation in Agricultural Systems*. C.A.B International, CABI Climate Change Series, London, UK. 298 p.
- Williams, A.C. y 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.