

09

Fecha de presentación: septiembre, 2019

Fecha de aceptación: noviembre, 2019

Fecha de publicación: diciembre, 2019

EFICIENCIA DEL POLICULTIVO MAÍZ-FRIJOL-CALABAZA BAJO MANEJO ORGÁNICO EN LA FRAILESCA, CHIAPAS, MÉXICO

EFFICIENCY OF THE CORN-BEAN-SQUASH POLY CULTURE UNDER ORGANIC MANAGEMENT IN LA FRAILESCA, CHIAPAS, MEXICO

Carlos Ernesto Aguilar Jiménez¹

E-mail: ejimenez@unach.mx

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6332-1771>

José Galdámez Gadámez¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2931-1596>

Franklin B. Martínez Aguilar¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2666-5863>

Francisco Guevara Hernández¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1444-6324>

Héctor Vázquez Solís¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3865-9922>

Jaime Llaven Martínez¹

¹Universidad Autónoma de Chiapas. México.

Cita sugerida (APA, sexta edición)

Aguilar Jiménez, C. E., Galdámez Gadámez, J., Martínez Aguilar, F. B., Guevara Hernández, F., & Vázquez Solís, H. (2019). Eficiencia del policultivo maíz-frijol-calabaza bajo manejo orgánico en la Frailesca, Chiapas, México. *Revista Científica Agroecosistemas*, 7(3), 64-72. Recuperado de <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes>.

RESUMEN

La investigación se efectuó durante el secano 2017, con el objetivo de evaluar la eficiencia de los sistemas de cultivo: maíz-frijol, maíz-calabaza, maíz-frijol-calabaza, maíz, frijol y calabaza manejados bajo el enfoque orgánico. Se utilizó el diseño completamente al azar, con tres repeticiones. El mayor rendimiento de grano se obtuvo con el sistema maíz monocultivo con 2688.88 kg ha⁻¹, mientras, el menor rendimiento se tuvo con el sistema de cultivo maíz-frijol-calabaza con 1668.08 kg ha⁻¹. Para frijol, el mayor rendimiento se obtuvo con en el monocultivo con 382.21 kg ha⁻¹ y el menor rendimiento se cuantificó para el sistema maíz-frijol con 202.12 kg ha⁻¹. El mejor rendimiento total de fruto de calabaza fue para el sistema maíz-calabaza con 3715.27 kg ha⁻¹. En cuanto al uso de la tierra, las mayores eficiencias (UET), se tuvieron con los policultivos, al sembrar el sistema maíz-calabaza se obtuvo un UET de 2.94; el sistema maíz-frijol-calabaza arrojó un índice de 1.92, y finalmente el sistema de maíz-frijol arrojó un indicador de 1.46. Se concluyó que, en los agroecosistemas tropicales, los policultivos son más eficientes en el uso de la tierra con relación a los monocultivos de las especies básicas cuando se manejan bajo el enfoque de la agricultura orgánica, lo cual señala que las interrelaciones ecológicas que suceden en los cultivos múltiples benefician al sistema integral, contribuyendo con la producción sostenible e inocua de maíz, frijol y calabaza.

Palabras clave:

Cultivo, ecológico, producción, sistemas, sostenible.

ABSTRACT

This research was carried out during the 2017 dry season, aiming at evaluating the productive efficiency of six farming systems: maize-beans, maize-squash, maize-beans-squash, maize, beans and squash; managed under an organic strategy. Three repetitions were settled up under a completely randomized design. The highest grain yield was achieved by the monoculture maize system with 2688.88 kg ha⁻¹, while the lowest yield was showed by the maize-bean-squash farming system with 1,668.08 kg ha⁻¹. For beans, the highest yield was reached by the monoculture system with 382.21 kg ha⁻¹ and the lowest yield was showed by maize-bean system with 202.12 kg ha⁻¹. The best yield of squash fruit was reached by the maize-squash system with 3715.27 kg ha⁻¹. Regarding the use of the land equivalent ratio, the best efficiencies (LER) were obtained with polycultures. When sowing the maize-squash system, a LER of 2.94 was obtained; the maize-bean-squash system showed 1.92, and finally the maize-bean system displayed a 1.46 LER. As conclusion, in tropical agroecosystems, polycultures are more efficient regarding the land equivalent ratio in relation to monocultures, especially when crops are managed under an organic strategy. This implies that the ecological interrelationships that occur between multiple crops benefit the integral system, contributing to the sustainable and healthy production of maize, beans and squash.

Keywords:

Beans, maize, organic, polyculture, squash

INTRODUCCIÓN

La Revolución Verde, surgida en los países desarrollados a principio del siglo XX e introducida como política de desarrollo agropecuario en América Latina en las décadas 1960 y 1970, trajo beneficios en el incremento de la productividad en el corto plazo; sin embargo, en el mediano y largo plazo surgieron problemas ambientales, económicos y sociales. Los dos más importantes son los daños ambientales y la gran cantidad de energía que se emplea en este tipo de agricultura tecnificada. Además, la agricultura moderna exige fuertes inversiones de capital y su principal objetivo es la alta producción de alimentos en el corto plazo, cuya tendencia llevaron a la agricultura al monocultivo, la dependencia de insumos externos de síntesis artificial, el uso de semillas mejoradas, la mecanización y la pérdida u ocultamiento de conocimientos tradicionales de respeto por la naturaleza.

La historia del maíz en México se reproduce en el sistema denominado milpa cuya característica principal es la siembra del maíz asociado a otros cultivos. Es un sistema de cultivo característico de Mesoamérica que ha persistido probablemente por más de 5,000 años. Las plantas que la integran tradicionalmente son el maíz, el frijol y la calabaza, conocidas como la "tríada mesoamericana", el maíz una especie con alrededor de sesenta razas nativas, el frijol con cinco especies y diversas razas, la calabaza con cuatro especies y algunas razas. Además, se asocian a una amplia variedad de plantas comestibles (quelites, verduras tiernas, chiles, tomates), plantas condimenticias, plantas medicinales y animales adaptados a vivir en este agroecosistema. Se caracteriza por una sinergia entre los tres cultivos que favorece su rendimiento en conjunto y genera resiliencia ante perturbaciones externas. La milpa es además un policultivo complementario de plantas C3 y C4, en donde se reduce la densidad de siembra del cultivo principal (en el caso de la milpa, el maíz) para dejar espacio para uno o varios cultivos asociados y aprovechar de manera más eficiente la radiación solar.

Sin embargo, en muchos sistemas de agricultura convencional y tradicional de Mesoamérica, el sistema milpa diversificada está desapareciendo debido al uso del monocultivo con herbicidas que suprimen el desarrollo simultáneo de especies cultivadas y de flora arvense benéfica para la biodiversidad y alimentación de las familias campesinas. La agricultura tradicional Mesoamericana se caracteriza por ser diversificada. La cultura del diseño de sistemas de cultivos múltiples por parte de las sociedades endémicas constituye una respuesta a las condiciones ecológicas, así como una estrategia local para manejar favorablemente los contextos socioeconómicos, culturales y tecnológicos, obteniendo así ventajas comparativas que benefician al colectivo familiar y comunal.

En el territorio tropical subhúmedo de la Frailesca Chiapas, México, la puesta en marcha del modelo de la agricultura tecnificada ha traído consigo, después de cinco décadas, la degradación de los suelos, la erosión de los recursos fitogenéticos, de las prácticas culturales y la alta dependencia de insumos externos. Esto ha llevado a problemas ecológicos, económicos y sociales en los sistemas de producción de cultivos básicos. En este sentido, se destaca la reducción alarmante de la superficie sembrada con cultivos básicos y por consiguiente de la baja oferta a los mercados locales y regionales, la migración campo-ciudad y efectos en la inocuidad alimentaria. Se estima que, a principios de 1990, en la Frailesca Chiapas, se sembraban aproximadamente 100,000 ha de maíz; mientras que el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera de México (2017), reporta estimaciones de 59,000 ha. Lo anterior señala una disminución importante de la superficie cosechada, originada por los factores ambientales, económicos y socioeconómicos señalados.

Este contexto se ha impuesto la necesidad de buscar formas alternativas de producción de alimentos, mediante la agricultura ecológica. La agricultura orgánica es un sistema de producción de alimentos de forma sostenible y compatible con el ambiente, que renuncia a la utilización de productos químicos de síntesis artificial, respeta el equilibrio ecológico, la biodiversidad y los ciclos naturales, como una forma de producción primaria que promueve la conservación sistemática de los recursos naturales y la inocuidad alimentaria. Este enfoque se fundamenta en la ciencia agroecológica desde donde utiliza la visión holística para el análisis y diseño de los sistemas de producción. Se promueven sistemas productivos que mantienen la salud de los ecosistemas y las personas; sobre la base de estimular y respetar procesos ecológicos, la biodiversidad y ciclos adaptados a las condiciones locales, en lugar de desplazarlos con el empleo de insumos agroindustriales, de efectos adversos.

La práctica de los policultivos en la Región Frailesca, es parte de un agroecosistema tradicional de los agricultores, mismo que se ha erosionado progresivamente con la utilización del modelo de producción convencional, principalmente por el uso de herbicidas de origen sintético, que evitan el desarrollo simultáneo de los policultivos; además, los programas de desarrollo en los últimos años han promovido la práctica del monocultivo como estrategia de incremento de la producción. Lo anterior indica la necesidad regional de buscar enfoques alternativos de producción de los cultivos básicos, destacándose la agricultura orgánica para esta nueva realidad. Bajo este proceso se promueve la diversificación de los cultivos y la utilización de prácticas agroecológicas que impacten positivamente desde la perspectiva ecológica,

económica y social, los sistemas de producción de cultivos básicos de esta parte de Chiapas, México.

Al ser el maíz un cultivo básico para la alimentación de las sociedades Mesoamericanas, que se requiere conservar y/o recuperar sistemas tradicionales milenarios de producción para las regiones tropicales y ante la necesidad de desarrollar formas alternativas de su producción con principios de sostenibilidad e inocuidad alimentaria, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la eficiencia en el uso de la tierra de los policultivos maíz-frijol, maíz-calabaza y maíz-frijol-calabaza en comparación a los monocultivos de las especies básicas, manejadas bajo un enfoque de producción orgánica.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en terrenos del “Centro Universitario de Transferencia de Tecnología, CUTT San Ramón”, Facultad de Ciencias Agronómicas Campus V, de la Universidad Autónoma de Chiapas, municipio de Villaflores, Chiapas; México, en el paralelo 16° 15' 13.9" de Latitud Norte y meridiano 93° 15' 14.2" Longitud Oeste. La altitud es de 610 msnm. De acuerdo a Köppen modificado por García (1987), el clima que prevalece es el cálido-subhúmedo AW₁ (W") (i) g con una temperatura media anual de 22 °C y una precipitación pluvial media anual de 1200 mm.

Caracterización edáfica del sitio experimental y del abono orgánico

Al inicio del ciclo de cultivo, se realizó un muestreo compuesto de suelo a una profundidad de 0 a 20 cm, utilizando el método de zig-zag de acuerdo a lo propuesto por Mallavia & Martínez (2007), para caracterizar las propiedades físicas y químicas de interés agronómico. Las determinaciones se desarrollaron con los siguientes métodos: N (Macro-Kjendhl), P (Olsen ppm), K (meq/100 g de suelo), Ca (meq/100 g de suelo), Mg (meq/100 g de suelo), C.E (1.5 H₂O mmhos/cm), M.O (Walkley y Black), C (meq/100 g de suelo), pH (potenciómetro 2:1 H₂O), Da (probeta), textura (Hidrómetro de Bouyoucos). La fertilización de los sistemas de manejo se realizó con abono orgánico tipo composta, por lo que se le realizó un análisis químico para determinar las propiedades: N (Kjendahl), M.O (Walkley y Black), K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn (espectrometría de absorción atómica), P (Colorimetría).

Diseño experimental y tratamientos

El diseño experimental utilizado fue completamente al azar con arreglo de parcelas divididas con seis sistemas de cultivo: maíz, maíz-frijol, maíz-calabaza, maíz-frijol-calabaza, frijol y calabaza, cada uno con tres repeticiones, en total se implementaron 18 unidades experimentales. Cada parcela experimental midió 4.8 m de ancho y 10 m de largo, con una separación entre repeticiones de 1.5 m y 2 m entre tratamientos.

El área experimental midió 38.8 m de longitud y 33 m de ancho.

Manejo del experimento

La preparación del suelo se realizó una vez establecidas las lluvias, en junio de 2017, con un paso de chapeadora para el control de arvenses y su incorporación al suelo.

La siembra se realizó en forma manual para los tres cultivos, con apoyo de una macana o barreta. Para todas las especies de cultivos (maíz, frijol y calabaza) se utilizaron semillas criollas o nativas. En el caso del monocultivo maíz, la siembra se realizó el día 11 de junio, a una separación entre filas de 80 cm y 40 cm entre plantas, depositando dos semillas por punto. El frijol se sembró a una distancia de 80 cm entre filas y 40 cm entre puntos, se depositaron dos y tres semillas por punto. Finalmente, la calabaza se sembró a una distancia de 2 m entre puntos y 1.5 m entre filas depositando dos semillas por punto. La densidad de población inicial para el maíz fue 62500 plantas por hectárea, para el frijol 78125 plantas por hectárea y para la calabaza 6670 plantas por hectárea. La siembra de los cultivos asociados se realizó ocho días después. Para el sistema maíz-frijol, el frijol se sembró el 11 de junio, mientras que el maíz fue el 18 de junio (ocho días después), entre las filas de frijol. Para el sistema maíz-calabaza, ambas especies se sembraron el 11 de junio de manera imbricada. Finalmente, en la asociación maíz-frijol-calabaza, primero se sembró el frijol (11 de junio) y ocho días después se sembraron en medio de las filas y de manera imbricada el maíz y la calabaza.

Se realizaron dos aplicaciones de fertilizantes con 50 g de composta en cada punto de siembra de maíz, frijol y calabaza. Con esta dosis (100 g por punto de siembra), se aplicaron 3125 kg ha⁻¹ de material orgánico. Para los policultivos maíz-frijol-calabaza y maíz-calabaza, se requirieron 6250 kg ha⁻¹ de composta. Finalmente, para el sistema de calabaza en unicultivo, se requirieron 333 kg ha⁻¹ de composta. La primera aplicación, se realizó a los 20 días después de la primera fecha de siembra, mientras que la segunda aplicación se hizo a los 15 días después de la primera aplicación.

Durante las fases de crecimiento y desarrollo de los cultivos, se realizaron cuatro aplicaciones de fertilización foliar con ácido húmico en concentración de 400 ml, disueltos en 20 litros de agua, para las dos primeras ocasiones, luego se incrementó la dosis a 600 ml para las dos últimas. Las aplicaciones comenzaron pasados 25 días después de la siembra y se realizaron con un intervalo de 15 días.

El control de arvenses se realizó en forma manual utilizando una coa (apero regional) como herramienta de trabajo. Las arvenses que predominaron en los sistemas de cultivo fueron: flor amarilla (*Melampodium*

divaricatum (L. C. Rich.) DC., zacate estrella (*Cynodon plectostachyus* (K.Schum.) Pilger, mozote (*Panicum máximum* Jacq.) y coquillo (*Cyperus rotundus* L.).

Para el manejo de los insectos plaga se utilizaron los métodos de control biológico y etológico. Para el control biológico se usó *Beauveria bassiana* para controlar la gallina ciega (*Phyllophaga spp*); la cual se asperjó en combinación con el fertilizante foliar en dosis de 50 g de *B. bassiana* por 20 L de agua. El control etológico consistió en la utilización de una trampa cónica cuyas dimensiones fueron de 1 m de diámetro y 1.2 m de alto, a la que se le agregó un atrayente elaborado de la mezcla de 1 kg de guayaba (*Psidium guajava* L.), 1 L de cebada, 250 g de levadura de pan y 1 kg de melaza, el compuesto fue sustituido cada 15 días; el propósito de este atrayente fue capturar las palomillas de lepidópteros, en específico de gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith). Las plagas que se presentaron en los sistemas de cultivo fueron gusano trozador (*Agrotis ypsilon* H.), gusano cogollero (*S. frugiperda*), diabrotica (*Diabrotica balteata* L.).

Uso equivalente de la Tierra

El uso equivalente de la tierra (UET) es un indicador de la eficiencia de los policultivos o cultivos múltiples en la utilización del suelo, con respecto a los monocultivos. Para el cálculo del UET o índice equivalente de la tierra, se utilizó el modelo propuesto por Mead & Willey (1980):

$$UET = La + Lb = \frac{Ma}{Sa} + \frac{Mb}{Sb}$$

Dónde:

La y Lb= rendimiento relativo para los cultivos individuales.

Ma y Mb= rendimientos de los cultivos en policultivos.

Sa y Sb= rendimientos de los cultivos solos.

Análisis estadístico

Las variables de interés agronómico colectadas en campo fueron, para maíz: área foliar, altura de planta, altura de mazorca, diámetro de tallo, longitud de mazorca, perímetro de mazorca, número de hileras, número de granos por hilera, número de granos por mazorca, peso de 100 granos y rendimiento de grano; para frijol: peso seco de grano, número de vainas por planta y número de granos por vaina, para calabaza: número de frutos, peso total de frutos, peso de semilla fresca y seca y peso de pulpa; se sometieron a un análisis de varianza de acuerdo al modelo utilizado (completamente al azar), con el fin de determinar diferencias estadísticas entre los sistemas de cultivo; además, se corrió la prueba de rango múltiple de medias de Tukey (95 %), para determinar los mejores sistemas, utilizándose para todo el proceso de análisis

de datos, el programa estadístico SPSS¹. Así mismo, se realizó un análisis de correlación de Pearson, para las variables de maíz y calabaza, considerando en la discusión únicamente aquellas que tuvieran significancia estadística y un coeficiente de determinación superior al 70 %.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización física y química del suelo del área experimental

A partir del análisis de suelo se identificó una textura del tipo Franco-Arenoso y una Da de 1.13 g cm⁻³, características adecuadas para establecer cultivos básicos como el maíz, frijol y calabaza. El pH de 6.6, indica un suelo ligeramente ácido (Tabla 1) característicos de los suelos cultivados con maíz en la Región Frailesca. El contenido de materia orgánica (1 %) indicó ser un suelo muy pobre, esta propiedad es importante por su influencia en las propiedades físicas, químicas y biológicas, y, por lo tanto, en la fertilidad de los suelos. Al respecto, Porta, López & Roquero (2003), menciona que la materia orgánica fresca (biomasa muerta o necromasa) procedente de plantas, animales y microorganismos y sus productos de alteración, son los que permiten explicar principalmente, la presencia de materia orgánica en los suelos, cuyo contenido aumenta considerablemente en las etapas iniciales de formación del suelo. Este suelo se ha cultivado de manera consecutiva por más de 30 años bajo los principios de manejo de la agricultura convencional y con el monocultivo maíz, lo que afecta ésta y otras propiedades de los suelos agrícolas de la región. Desde hace tres años, se ha iniciado un proceso de reconversión al manejo orgánico, sobre la base de la utilización combinada de prácticas agroecológicas. En este sentido Sánchez, Prager, Naranjo & Sanclemente (2012), consideraron que en términos de Edafología, la estructura del suelo es resultado de la interacción del material parental constituido por minerales primarios o formados por cristalización, los cuales, al degradarse originan los minerales secundarios: arenas, limos y arcillas, quienes junto con la acumulación de la materia orgánica en sus diferentes manifestaciones (biota y los restos orgánicos) propician la presencia y disponibilidad de nutrientes, agua y un ambiente atmosférico con manifestaciones micro y macroscópicas.

Tabla 1. Caracterización física y química del suelo del sitio experimental "Centro Universitario de Transferencia de Tecnología" San Ramón, en Villaflores, Chiapas, México.

Elementos	Suelo
Textura	Franco-Arenoso
Arena (%)	69.12
Limo (%)	22.18

¹ Statical Package for Social Sciences

Arcilla (%)	8.70
Da (g cm-3)	1.13
pH (Relación agua suelo)	6.6
M.O (%)	1.0
N (ppm)	0.06
P (ppm)	47.2
K (meq/100 g) (Cmol (+) /kg)	1.00
Ca (meq/100 g)	2.0
Mg (meq/100 g)	0.1
CIC (meq/100 g)	3.1
Fe (ppm)	54.6
Cu (ppm)	0.4
Zn (ppm)	2.0
Mn (ppm)	5.4

El contenido de nitrógeno total (0.06 ppm) indica que se trata de un suelo muy pobre. El nitrógeno es uno de los elementos principales para la vida de las gramíneas por el tipo de fotosíntesis que realizan. Es esencial para las plantas porque estimula el crecimiento por encima del suelo, y contribuye al brillante color verde característico de las plantas saludables. El contenido de fósforo (47.2 ppm) indica que es alto. El potasio (1.00 ppm) se puede considerar en un nivel alto. Este mineral actúa a nivel del proceso fotosintético, en la translocación de fotosintatos, síntesis de proteínas, activación de enzimas claves para varias funciones bioquímicas y mejora la nodulación de las leguminosas, entre otras funciones. Además, una buena nutrición potásica aumenta la resistencia a condiciones adversas como sequías o presencia de enfermedades.

Se identificó una pobre capacidad de intercambio catiónico. Esto afecta la capacidad del suelo para ceder nutrientes a la solución del suelo, y en consecuencia reduce la disposición de estos para las plantas e impacta negativamente en el desarrollo de los cultivos. Los microelementos son de gran importancia para el crecimiento y desarrollo de las plantas, y los necesitan en pequeñas cantidades. Los minerales hierro, zinc y manganeso (Fe, 54.6 ppm; Zn, 2.0 ppm y Mn, 5.4 ppm) se encuentran en niveles adecuados, mientras, el cobre (Cu, 0.4 ppm) se encontró en un nivel marginal. Se observó pobreza en nutrientes secundarios como el magnesio y el calcio, 0.1 y 2 ppm respectivamente.

Caracterización química de la composta

La fertilidad del abono orgánico (composta) se muestra en la Tabla 2. Presentó un pH alcalino de 9.3. Al respecto, Rosal, Pérez, Arcos & Dios (2007), mencionan que la composta mejora la estructura del suelo, estimula su actividad microbiológica, incrementa su contenido en carbono y aporta nitrógeno entre otros nutrientes. Se observó riqueza en el contenido de nitrógeno total (1.47 %) en correspondencia con esta propiedad de los abonos orgánicos.

Tabla 2. Caracterización química de la composta utilizada en los sistemas de cultivo, del sitio experimental, "Centro Universitario de Transferencia de Tecnología" San Ramón, en Villaflores, Chiapas, México.

Elementos	Composta
pH (Relación agua suelo)	9.3
Nt (%)	1.47
M.O (Walkley y Black)	13.1
C (%)	7.63
P (%)	0.49
K (%)	0.4
Ca (%)	0.38
Fe (%)	769
Mg (%)	252
Cu (ppm)	15.5
Mn (ppm)	120
B (ppm)	29.7
C/N	5.19

Se observaron proporciones adecuadas de carbono y fósforo (7.63 y 0.49 % respectivamente). Van Reeuwijk (1999), señaló que valores superiores al 5 o 6% de carbono indica suelos ricos en materia orgánica de la cual el carbono orgánico debe representar la mitad del contenido total de materia orgánica (MO/2), o sea, entre 2.5 y 3%. Por otra parte, Urbano (2001), menciona que los fosfatos absorbidos pasan a los puntos de mayor actividad vegetativa. Estos compuestos juegan un papel fundamental en las transferencias de energía, hojas, yemas, embriones y demás órganos de reproducción vegetativa, o se acumulan en órganos de reserva, semillas, tubérculos, raíces, rizomas y bulbos.

Variables agronómicas

Los análisis de varianza para las variables de interés agronómico del maíz se presentan en la Tabla 3. De manera genérica el monocultivo maíz es superior estadísticamente a los sistemas de cultivos asociados, lo cual es reflejo de la no competencia interespecífica por los recursos comunes (agua, nutrientes, luz y oxígeno), resultados similares son reportados por González (2004), para condiciones ecológicas y de manejo afines. En este sentido Gliessman (2002), hace referencia a que la competencia que se presenta en un ambiente donde los recursos son limitados para los miembros de la relación de asociación, y aun cuando uno de ellos puede terminar dominando al otro, al final, ambos resultan afectados durante la interacción. Los organismos tienen interacción entre sí, dado que cada uno remueve del ambiente algo que ambos necesitan. Específicamente para el área foliar puede observarse superioridad estadística en el sistema maíz-calabaza, lo cual indica un efecto positivo de la cobertura de la cucurbitaceae, en la retención de humedad y regulación de la temperatura para

favorecer el mayor desarrollo de las plantas de maíz, esto es reconocido por Altieri & Toledo (2011,) como la sobrecosecha vegetal. Sin embargo, el análisis de los cultivos múltiples debe centrarse en la producción total del agroecosistema, es decir, en la suma de la producción de las especies cultivadas que se han diseñado con el propósito de eficientizar el uso del suelo, esta diversidad biológica desempeña un papel clave para el funcionamiento de los sistemas campesinos tradicionales; en los policultivos generalmente el rendimiento de un cultivo es altamente determinado por su competencia intraespecífica; en este sentido Iverson *et al.*, (2014) afirman que en un policultivo suplementario, una sustitución parcial del cultivo principal por otro incrementa su nivel de producción por una reducción de la competencia intraespecífica.

Tabla 3. Variables agronómicas del cultivo de maíz.

Sistema de Cultivo	Área foliar (cm ²)	Altura de planta (m)	Altura de mazorca (m)	Diámetro de tallo (cm)	Rendimiento kg ha ⁻¹
Maíz	8382.85 ab	3.12 a	1.86 a	3.30 a	2688.88
Maíz-Calabaza	10416.66 a	2.74 b	1.58 b	2.64 b	2506.03
Maíz-Frijol	7598.41 b	2.69 b	1.53 b	2.96 ab	2536.00
Maíz-frijol-calabaza	7654.87 b	2.48 b	1.42 b	2.67 b	1668.08

* Letras diferentes en la misma columna, indican diferencias significativas entre tratamientos (Tukey 0.05)

El análisis de varianza para rendimiento de maíz no presentó diferencias estadísticas significativa entre los tratamientos. Sin embargo, se observó determinada tendencia a mayor rendimiento con el sistema maíz monocultivo con 2688.88 kg ha⁻¹, seguido de maíz-frijol con 2536.00 kg ha⁻¹. Mientras que el menor rendimiento fue para el tratamiento de maíz-frijol-calabaza con 1668.08 kg ha⁻¹. La tendencia de mayor rendimiento en el maíz monocultivo podría deberse a la mayor disponibilidad de condiciones ecológicas adecuadas para su crecimiento y desarrollo y al mayor requerimiento de radiación solar por ser C4, agua y nutrientes que imponen los policultivos, sistemas donde las interacciones interespecíficas e intraespecíficas pueden originan competencia. Sin embargo, las interacciones que suceden en esos sistemas múltiples originan beneficios ecológicos para el desarrollo de las diferentes especies cultivadas. Además, 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.

De acuerdo con el análisis de varianza, para el rendimiento de grano de frijol se encontró diferencias estadísticas altamente significativas entre los sistemas

evaluados. El mayor rendimiento de grano se tuvo con el sistema frijol monocultivo con 382.21 kg ha⁻¹, seguido del sistema policultivo maíz-frijol-calabaza con 284.30 kg ha⁻¹, finalmente el menor rendimiento se cuantificó con el policultivo maíz-frijol con 202.12 kg ha⁻¹ (Tabla 4). Sin embargo, en el diseño de los sistemas de producción tradicionales manejados bajo policultivos, los agricultores no consideran el rendimiento unitario de las especies cultivadas asociadas, sino la productividad total del agroecosistema. La importancia del cultivo asociado maíz-frijol, es que la legumbre es el segundo cultivo básico de importancia socioeconómica en México, teniendo un consumo per cápita de 8.5 kg por año; mientras que para el maíz es de 125 kg por año.

Tabla 4. Rendimiento de grano de frijol y frutos de calabaza.

Sistema de cultivo	Rendimiento frijol (kg ha ⁻¹)	Rendimiento calabaza (kg ha ⁻¹)
Frijol Monocultivo	382.21 a	-
Maíz Frijol	202.12 c	-
Maíz-Frijol-Calabaza	284.30 b	1027.78
Calabaza Monocultivo	-	1840.27
Maíz Calabaza	-	3715.27

* Letras diferentes en la misma columna, indican diferencias significativas entre tratamientos (Tukey 0.05)

El análisis de varianza para el rendimiento de fruto de calabaza no arrojó diferencia estadística entre los sistemas de cultivo. El mejor rendimiento de fruto de calabaza fue del sistema de policultivo maíz-calabaza con 3715.27 kg ha⁻¹, mientras que en monocultivo se tuvo 1840.27 kg ha⁻¹, finalmente el sistema maíz-frijol-calabaza se obtuvo el menor rendimiento de fruto con 1027.78 kg ha⁻¹ (Tabla 4). El policultivo maíz-calabaza no se vio afectado por la asociación debido a que al combinar ambas especies, se sobreponen en formas y momentos adecuados, esto permitió potencializar los efectos ecológicos entre las plantas de ambas especies, cuyo estructura vertical es diferenciada, de esta forma, la calabaza mostró una eficiencia al asociarse con el maíz modificando el ambiente en un sentido positivo para su beneficio, específicamente en la retención de humedad en el suelo y en el control de la flora arvense. La asociación maíz calabaza es el sistema de policultivo más practicado por los agricultores de la Frailesca Chiapas; teniendo como principal beneficio ecológico la retención de humedad por la cobertura de la calabaza, beneficiándose ambas especies cultivadas.

Los tres cultivos básicos para la alimentación de la sociedad Mesoamericana, manejados bajo los principios de la agricultura orgánica, respondieron positivamente al manejo ecológico, específicamente para los

suelos pobres de la región de estudio debe destacarse el beneficio de la incorporación de abono orgánico; Román, Martínez & Pantoja (2013), señalan que la incorporación de materia orgánica a los suelos agrícolas degradados: facilita el manejo del suelo para las labores de siembra, aumenta la retención de agua en el suelo, reduce el riesgo de erosión, ayuda a regular la temperatura edáfica, reduce la evaporación del agua y regula la humedad, aporta macronutrientes, y micronutrientes, mejora la capacidad de intercambio catiónico, mejora la actividad biológica, aporta organismos (como bacterias y hongos) capaces de transformar los materiales insolubles del suelo en nutrientes para las plantas y degradar sustancias nocivas y aporta carbono para mantener la biodiversidad de la micro y macrofauna (lombrices).

El análisis de la matriz de correlación de los componentes del crecimiento y desarrollo del cultivo de maíz mostró que los indicadores, *Granos por Mazorca y Perímetro de la mazorca* son los que muestran mayor

número de correlaciones con el resto de los indicadores, en este caso: *Altura de la planta, Altura de mazorca, Hileras por Mazorca y Granos por hileras* (Tabla 5). Este grupo de indicadores correlacionados apuntan a la productividad de la mazorca, sin embargo, el rendimiento real por hectáreas está asociado al *Número de mazorcas por hectárea y al Perímetro de la mazorca*. En el caso de los maíces criollos, es frecuente esta regla de asociación del rendimiento total del cultivo con el tamaño y grosor de la mazorca. Pero el indicador decisivo para estos manejos es el *Número de Mazorcas por hectárea* que se deriva de la densidad de población, para esta investigación el número de mazorcas por planta fue menor a uno (0.75), lo que impactó también en el bajo rendimiento de grano de maíz manejado bajo principios de agricultura orgánica; Espinosa, Mendoza & Ortiz (2004), señalan que mayores densidades de población originan mayor número de mazorcas, lo que repercute en el mayor rendimiento por hectárea.

Tabla 5. Análisis de correlación del maíz manejado bajo el enfoque orgánico, en el Rancho San Ramón, Villaflores, Chiapas, México.

Indicador		Área foliar	Altura de planta	Altura de mazorca	Hileras por mazorca	Granos por hilera	Granos por mazorca	Perímetro de mazorca	Mazorca por hectárea
Altura de mazorca	r	NS	0.975	-	NS	NS	NS	NS	NS
	Sig.	NS	0.000	-	NS	NS	NS	NS	NS
Granos por mazorca	r	NS	0.792	0.806	0.805	0.819	-	NS	NS
	Sig.	NS	0.002	0.002	0.002	0.001	-	NS	NS
Perímetro de mazorca	r	NS	0.780	0.815	NS	0.817	0.910	-	NS
	Sig.	NS	0.003	0.001	NS	0.001	0.000	-	NS
Largo de mazorca	r	0.891	NS	NS	NS	0.772	NS	NS	NS
	Sig.	0.000	NS	NS	NS	0.003	NS	NS	NS
Rendimiento por hectárea	r	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0.745	0.935
	Sig.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0.005	0.000

En el caso de la calabaza, el *Número de frutos* resultó ser el más correlacionado con el resto de los indicadores, incluido el *Rendimiento por hectárea* (Tabla 6). Al respecto, Sánchez, Mejía, Villanueva, Sahagún, Muñoz & Molina (2006), observaron las correlaciones fenotípicas más altas para el peso de fruto con otros caracteres, tales como el ancho de fruto, largo de fruto y grosor de la pulpa. Al realizar el análisis de correlación para peso de pulpa con rendimiento por hectárea indica que existe una relación entre estas variables, por lo que muestra un valor de coeficiente de correlación de Pearson de 1.000 y una significancia de 0.000. Al respecto se puede señalar que si se tiene mayor peso de pulpa mayor será el rendimiento. Lo anterior permite concluir que el peso de pulpa es la principal variable que determina el rendimiento por hectárea de la cucurbitácea.

Tabla 6. Análisis de correlación del cultivo de calabaza manejado bajo el enfoque orgánico, en el Rancho San Ramón, Villaflores, Chiapas, México.

Indicador		Numero de frutos	Peso de semilla fresca	Rendimiento por hectárea
Peso de semilla Seca	r	NS	0.865	NS
	Sig.	NS	0.003	NS
Rendimiento por hectárea	r	0.806	NS	-
	Sig.	0.009	NS	-
Peso de pulpa	r	0.807	NS	1.000
	Sig.	0.008	NS	0.000

Tabla 7. Uso equivalente de la Tierra por sistema de cultivo: maíz, frijol y calabaza, manejados bajo el enfoque orgánico en Villaflores, Chiapas, México.

	Rendimiento monocultivo			Rendimiento policultivo			Rendimientos relativos			
	Maíz	Frijol	Calabaza	Maíz	Frijol	Calabaza	Maíz	Frijol	Calabaza	UET
M	2688.88						1.00			1.00
M-F				2536.00	202.08		0.94	0.52		1.46
M-C				2506.03		3715.27	0.93		2.01	2.94
M-F-C				1668.08	285.41	1027.78	0.62	0.74	0.56	1.92
F		382.63						1.00		1.00
C			1840.27						1.00	1.00

M: Maíz F: Frijol C: Calabaza. UET. Uso Equivalente de la tierra

La mayor cosecha por unidad de superficie que ocurre al combinar la siembra las especies asociadas en los sistemas tradicionales de Mesoamérica se debe a las sinergias que suceden vertical y horizontalmente lo cual repercute biológica y ecológicamente en beneficio del sistema total. Ebel, Pozas Cárdenas, Soria Miranda & Cruz González (2017), mencionan que la mayor producción en un policultivo como la milpa se debe a: a) efectos de selección donde prospera el cultivo dominante gracias a aportaciones de los demás o a,b) complementariedad de nicho donde las diversas plantas aprovechan nichos diferentes. En el policultivo maíz-frijol-calabaza predomina la complementariedad de nicho causada por diferencias arquitectónicas de las raíces entre maíz, frijol y calabaza que resulta en una eficiente absorción de nutriente. La siembra de los policultivos constituye sistemas típicos de la agricultura Mesoamericana, los cuales han sufrido una erosión cultural debido al uso de tecnología convencional; sin embargo, en algunas regiones como en la Frailesca Chiapas, los sistemas campesinos conservan precariamente estos sistemas que tienen como principal característica la eficiencia del uso del suelo.

Uso equivalente de la tierra

En la Tabla 7, se muestran los valores del Uso Equivalente de la Tierra (UET) obtenidos en la presente investigación. La mayor eficiencia del uso del suelo se obtuvo con el sistema maíz-calabaza con un índice de 2.94, el cual indica que, al sembrar estos cultivos asociados, se tiene 194 % más de rendimiento por hectárea en comparación a los cultivos simples, o que, para obtener los rendimientos de ambos cultivos, se requieren sembrar 1.94 ha adicionales. El sistema maíz-frijol-calabaza reportó una UET de 1.92, y finalmente se encontró con el sistema maíz-frijol el menor UET con 1.46. Los resultados anteriores permiten concluir que los sistemas de policultivos son más eficientes en el uso del suelo cuando se les maneja bajo en enfoque orgánico. El beneficio del sistema total es la consideración que han tenido los agricultores Mesoamericanos para el diseño de sistemas de producción múltiples.

CONCLUSIONES

La mayor eficiencia en el uso de la tierra se obtuvo con el sistema maíz-calabaza, seguido de maíz-frijol-calabaza; la menor eficiencia se encontró con el sistema de maíz-frijol. Los monocultivos, maíz, frijol y calabaza fueron menos eficientes en el uso de la tierra, que los policultivos maíz-frijol, maíz-calabaza y maíz-frijol-calabaza. Adicionalmente al mayor beneficio de las asociaciones maíz, frijol y calabaza, se demuestra que los sistemas de policultivos se pueden manejar de manera orgánica en la región Frailesca, la cual presenta serios problemas de contaminación ambiental y alta dependencia de insumos de síntesis artificial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Altieri, M., & Toledo, V.M. (2011). The agroecological revolution of Latin America: rescuing nature, securing food sovereignty and empowering peasants. *Journal of Peasant Studies*, 38(3), 587-612. Recuperado de <https://www.socla.co/wp-content/uploads/2014/Altieri-and-Toledo-JPS-38.3-2011.pdf>

- Ebel, R., Pozas Cárdenas, J. G., Soria Miranda, F., & Cruz González, J. (2017). Manejo orgánico de la milpa: rendimientos de maíz, frijol y calabaza en monocultivo y policultivo. *Terra Latinoamericana*, 35(2), 149-160. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v35n2/2395-8030-tl-35-02-00149.pdf>
- Espinosa, T. E., Mendoza, M. C., & Ortiz, C. J. (2004). Rendimiento de grano y sus componentes en poblaciones prolíficas de maíz, en dos densidades de siembra. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 27(1), 39-41. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/610/61009908.pdf>
- García, E. (1987). Modificación al sistema de clasificación climática de Koppen. México: Instituto de geografía. Universidad Autónoma de México.
- Gliessman, S. R. (2002). Agroecología procesos ecológicos en la agricultura sostenible. Turrialba: CATIE.
- González, R. A. (2004). Producción orgánica en policultivos maíz (*Zea mays* L.)-Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)- (Calabaza (*Cucurbita moschata* L.) en Villaflores, Chiapas. (Tesis Profesional.). Chiapas: Universidad Autónoma de Chiapas.
- Iverson, A. L., et al. (2014). Do polycultures promote win-wins or trade-offs in agricultural ecosystem services? A meta-analysis. *Journal of Applied Ecology*, 51, 1593-1602. Recuperado de <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/1365-2664.12334>
- Mallavia A. H., & Martínez B. P. (2007). Toma de muestras de suelos. Manual práctico. Cantabria: Centro de Investigación y Formación Agrarias (CIFA).
- Mead, R., & Willey, R. W. (1980). The concept of a land equivalent ratio and advantages in yields from intercropping. *Exp. Agric.* 16(3), 217-228. Recuperado de http://oar.icrisat.org/3851/1/ExperimentalAgriculture_16_3_217-228_1980.pdf
- México. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2017). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. México: SIAP.
- Porta, J., López, R., & Roquero, M. (2003). Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.
- Román, P., Martínez, M., & Pantoja, A. (2013). Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina. Santiago de Chile: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura Oficina Regional para América Latina y el Caribe.
- Rosal, A., Pérez, J., Arcos, M., & Dios, M. (2007). La incidencia en metales pesados en compost de residuos sólidos urbanos y en su uso agronómico en España. *Información tecnológica*, 18(6), 75-82. Recuperado de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v18n6/art10.pdf>
- Sánchez, M. A., Mejía, J. A., Villanueva, C., Sahagún, J., Muñoz, A., & Molina, J. D. (2006). Estimación de parámetros genéticos en calabaza pipiana (*Cucurbita argyrosperma* Huber). *Revista Fitogenética*, 29(2), 127-136. Recuperado de <http://www.revistafitotecnia-mexicana.org/documentos/29-2/5a.pdf>
- Sánchez, M., Prager, M., Naranjo, R. E., & Sanclemente, O. E. (2012). El suelo, su metabolismo, ciclaje de nutrientes y prácticas agroecológicas. *Agroecología*, 7, 19-34. Recuperado de <https://revistas.um.es/agroecologia/article/download/170971/146191/>
- Urbano, T. P. (2001). Tratado de Fitotecnia General. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.
- Van Reeuwijk L. P. (1999). Procedimientos para análisis de suelos. Montecillo: Colegio de Postgraduados.