

Maíz y Frijol en MIAF con Diferentes Labranzas y Arreglos Topológicos Corn and Beans in MIAF with Different Tillages and Topological Arrangements

María Rafaela Hernández-Escobar^{1†} , José Isabel Cortés-Flores¹ ,
Antonio Turrent-Fernández² y Robertony Camas-Gómez³

¹ Colegio de Postgraduados, Centro de Edafología. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo. 56230 Texcoco, Estado de México, México; (M.R.H.E.), (J.I.C.F.).

[†] Autora para correspondencia: hernandez.rafaela@colpos.mx

² INIFAP, Campo Experimental Valle de México. Carretera Los Reyes-Texcoco km 13.5, Coatlinchán. 56250 Texcoco, Estado de México, México; (A.T.F.).

³ INIFAP, Campo Experimental Centro de Chiapas. Carretera Ocozocoautla-Cintalapa km 3. 29140 Ocozocoautla de Espinosa, Chiapas, México; (R.C.G.).

RESUMEN

La intensificación con el sistema milpa intercalada con árboles frutales (MIAF) está logrando los objetivos planteados: la seguridad alimentaria, el incremento de la eficiencia relativa de la tierra (ERT), la protección del suelo contra la erosión y el incremento significativo del ingreso neto familiar. Sin embargo, también es evidente que existe la necesidad de seguir explorando nuevas alternativas para intensificar aún más el uso de la tierra de labor, de acuerdo a las condiciones climáticas y de suelo específicas de diferentes regiones del país. Por ello, el objetivo de la presente investigación fue estudiar la respuesta del rendimiento de maíz y frijol al método de labranza y al arreglo topológico en un Vertisol. Este estudio se realizó en el campo experimental centro de Chiapas (CECECH) del Instituto Nacional de investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Los factores estudiados fueron el arreglo topológico (AT) a tres niveles: 1×1 , 2×2 y $2 \times 2sa$ (surco angosto) y método de labranza (MDL) a dos niveles: labranza de conservación (LC) y labranza convencional (LCV), en combinación factorial, bajo un diseño experimental completamente al azar con dos repeticiones. En un año en el que se presentó sequía, se obtuvieron diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$) entre MDL para el rendimiento de maíz y el más alto se obtuvo en los tratamientos con LC. El rendimiento de frijol fue afectado por la interacción $AT \times MDL$ ($P \leq 0.05$). La ERT máxima se obtuvo con el tratamiento 2×2 LCV. La reducción del ancho del surco aún con una mayor densidad de población y dosis de fertilización por m^2 con el AT $2 \times 2sa$ no aumentó significativamente el rendimiento en las condiciones que se llevó a cabo el trabajo.

Palabras clave: conservación, convencional, surco angosto, temporal, vertisol.

SUMMARY

The intensification with the milpa system interspersed with fruit trees (MIAF) is achieving the objectives set: food security, increasing the relative efficiency of the land (LER), protecting the soil against erosion and significantly increasing net family income. However, it is also evident that there is a need to continue exploring new alternatives to further intensify the use of arable land, according to the specific climatic and soil conditions of different regions of the country. Therefore, the objective of this research was to study the response of corn and bean yield to the tillage method and the topological arrangement in a Vertisol. This study was carried out in the experimental field center of Chiapas (CECECH) of the National Institute of Forestry, Agricultural and Livestock Research (INIFAP). The factors studied were the topological arrangement (AT) at three levels: 1×1 , 2×2 and $2 \times 2sa$ (narrow furrow) and tillage method (MDL) at two levels: conservation tillage (LC) and conventional tillage (LCV), in factorial combination, under a completely randomized experimental



Cita recomendada:

Hernández-Escobar, M. R., Cortés-Flores, J. I., Turrent-Fernández, A., & Camas-Gómez, R. (2024). Maíz y Frijol en MIAF con Diferentes Labranzas y Arreglos Topológicos. *Terra Latinoamericana*, 42, 1-16. e1388. <https://doi.org/10.28940/terra.v42i0.1388>

Recibido: 21 de enero de 2022.
Aceptado: 4 de octubre de 2023.
Artículo. Volumen 42.
Mayo de 2024.

Editor de Sección:
Dr. Esteban Sánchez Chávez

Editor Técnico:
Dr. Benjamín Zamudio González



Copyright: © 2024 by the authors.
Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC ND) License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

design with two repetitions. In a year in which drought occurred, statistical differences ($P \leq 0.05$) were obtained between MDL for corn yield and the highest was obtained in the LC treatments. Bean yield was affected by the AT \times MDL interaction ($P \leq 0.05$). The maximum LER was obtained with the 2 \times 2 LCV treatment. The reduction of the furrow width even with a higher population density and fertilization dose per m² with the AT 2 \times 2sa did not significantly increase the yield under the conditions in which the work was carried out.

Index words: *conservation, conventional, narrow furrow, temporary, vertisol.*

INTRODUCCIÓN

Alrededor del 35% de los alimentos que se producen en el mundo para consumo humano, son producidos por pequeños agricultores quienes operan sólo alrededor del 12% de todas las explotaciones agrícolas del mundo (Lowder, Sánchez y Bertini, 2021). Ellos usan distintos sistemas de producción, basados en los principios de los cultivos múltiples, los cuales, se caracterizan por su amplia biodiversidad que les confiere resiliencia y persistencia en un entorno de cambio climático global y de mercado (Tsubo, Mukhala, Ogindo y Walker, 2003).

No obstante, en México desde hace varias décadas, los pequeños agricultores han dejado de ser sustentables ante la presión de la agricultura empresarial o industrial, que ha recibido todos los apoyos necesarios para su desarrollo; investigación agrícola, financiamiento, capacitación y asesoría técnica. En cambio, los agricultores pequeños son atendidos de manera colateral bajo el supuesto de que la tecnología para la agricultura empresarial, basada en cultivos simples es adecuada también para ellos. Este supuesto ha fallado y se ve reflejado en la crisis económica, social y ambiental crónica en la que están inmersas las pequeñas unidades de producción (Turrent *et al.*, 2017).

La familia vive en inseguridad alimentaria con un ingreso neto precario, sus suelos en laderas están sujetos a erosión hídrica severa que contribuye con la emisión de CO₂ a la atmósfera. Todo esto propicia el abandono del campo hacia las ciudades grandes del país y la emigración a los Estados Unidos de América (FAO, 2009).

Ante esta situación, el Colegio de Postgraduados y el INIFAP, hace más de 30 años iniciaron trabajos de investigación para intensificar/revitalizar el sistema agrícola (SA) "Maíz o Milpa en Huertos" con árboles frutales caducifolios en condiciones de temporal, desarrollado por campesinos en parte del Valle de Puebla. Este sistema ha demostrado durante muchos años que permite abordar de manera simultánea los problemas antes mencionados de las pequeñas unidades de producción que poseen menos de cinco hectáreas (Cortés *et al.*, 2006¹).

La investigación para intensificar y revitalizar el SA "Maíz o Milpa en Huertos", consideró el incremento de la eficiencia relativa de la tierra, el logro de la seguridad alimentaria y el incremento significativo del ingreso familiar. El análisis de este sistema permitió entender que la milpa era el componente clave para lograr la seguridad alimentaria y los árboles frutales para lograr el resto de los objetivos. Los cuales debían ser cultivados en la misma parcela como cultivo intercalado en franjas. Mismo que era practicado por los mismos pequeños agricultores. A este sistema se le denominó "Milpa Intercalada con o en Árboles Frutales" (MIAF) (Turrent *et al.*, 2017).

Además, se definió cómo se haría la intensificación/revitalización, considerando el papel de cada componente. En el caso de la milpa, la intensificación se basó en el arreglo topológico del maíz (*Zea mays* L.) y el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) para incrementar sus rendimientos por unidad de superficie, sin incrementar las dosis de fertilización, a través de un uso más eficiente de los recursos luz solar, nutrientes y agua del suelo (Turrent, *et al.* 2017).

Por ello, el objetivo de la presente investigación fue estudiar la respuesta del rendimiento de maíz y frijol al método de labranza y al arreglo topológico en un Vertisol.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio Experimental

Este estudio se realizó en el Campo Experimental Centro de Chiapas (CECECH) del Instituto Nacional de investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). El sitio experimental se localiza en las coordenadas 16° 47' 08.17" N y 93° 24' 04.06" O y está a una altitud de 796 metros.

¹ Cortés, F., Turrent, A., Hernández, E., Nicolás, N. F., Torres, J. P., Zambada, A., & Díaz, P. (2006). *Milpa Intercalada con Árboles Frutales (MIAF)*. Texcoco, México: Colegio de Postgraduados.

De acuerdo con la clasificación de Köppen, modificada por García (1981), el clima predominante es (Am) cálido húmedo con lluvias abundantes en verano. La precipitación media en el año que se realizó el experimento fue de 753 mm, siendo junio y agosto los meses más lluviosos con 167 y 158 mm, respectivamente. La temperatura mínima media anual fue de 12 °C y la temperatura máxima media anual fue 30.77 °C. Durante el ciclo del cultivo (05 de agosto al 24 de diciembre) la temperatura media fue 21.6 °C, con una precipitación de 433 mm (Estación Meteorológica del Campo Experimental Centro de Chiapas, 2019).

El suelo se clasificó como Vertisol Pélico (Typic Haplusterts) (WRB, 2015). Las determinaciones de propiedades físicas y químicas del suelo que se presentan en el Cuadro 1 fueron: textura por el método de la pipeta (Gee y Bauder, 1986), densidad aparente (Da) por el método de la parafina (Sparks et al., 1996), la porosidad total (Pt) se obtuvo relacionando la densidad real de 2.65 g cm⁻³ y la densidad aparente del suelo (González-Barrios, González, Sánchez, López y Valenzuela 2011), materia orgánica (MO) por el método de Walkley y Black (1934), pH relación suelo/agua 1:2 por el método electrométrico (Bates, 1955).

Factores de Estudio, Tratamientos y Diseño Experimental

Los factores estudiados fueron el arreglo topológico (AT) a tres niveles: 1×1, 2×2 y 2×2sa (surco angosto) y método de labranza (MDL) a dos niveles: labranza de conservación (LC) y labranza convencional (LCV), en combinación factorial (Cuadro 2), bajo un diseño experimental completamente al azar con dos repeticiones.

Los AT 1×1 y 2×2 con ambos MDL fueron comparables entre sí, debido a que los factores controlables como fertilización y densidad de población se mantuvieron constantes. En cambio, en el AT 2×2sa además del surco angosto, la densidad de población y la fertilización fueron mayores. Por lo tanto, al comparar 1×1 y 2×2 con 2×2sa se confunden los efectos del AT con la fertilización y la densidad de población. También se tuvieron dos tratamientos adicionales que correspondieron a los cultivos simples de maíz y de frijol sin repetición.

Descripción de los Factores de Estudio

Arreglos topológicos. Para los cultivos simples y los AT 1×1, 2×2 se emplearon surcos de 0.80 m de ancho. El AT 1×1 consistió en un surco de maíz alternado con un surco de frijol, mientras que el AT 2×2 consistió en dos surcos de maíz alternados con dos surcos de frijol. El cultivo simple consistió en surcos de maíz y de frijol a 0.8 m, sin alternar. El AT 2×2sa (*surco angosto*) consistió en dos surcos de maíz de 0.40 m de ancho cada uno alternados con dos surcos de frijol de 0.60 m cada uno.

Método de labranza. 1) La LC consistió en la no roturación del suelo y en dejar los residuos de cosecha en la superficie durante tres años y 2) en la LCV, se preparó el suelo para la siembra con maquinaria agrícola y consistió en barbecho, rastreo del suelo y surcado. La siembra se realizó en forma manual en ambos métodos de labranza.

Establecimiento del Experimento

Se tuvieron tres módulos MIAF que fueron divididos a la mitad de manera transversal; en los cuales se establecieron los seis tratamientos del experimento factorial 3×2. Los cultivos simples de maíz y frijol se consideraron para estimar la eficiencia relativa de la tierra (ERT) y se establecieron a un costado del tercer módulo MIAF.

Cuadro 1. Propiedades físicas y químicas del suelo en función del método de labranza.
Table 1. Physical and chemical properties of the soil depending on the tillage method.

Determinación	Método de labranza	
	LC	LCV
Textura	arcillosa	arcillosa
Densidad aparente (g cm ⁻³)	1.66	1.68
Porosidad (%)	37.24	36.52
Materia orgánica (%)	2.73	2.53
pH	7.73	7.73

Cuadro 2. Tratamiento del experimento maíz y frijol.
Table 2. Treatment of corn and bean experiment.

Tratamiento	Arreglo topológico [†]	Método de labranza [‡]
1	1×1	LCV
2	1×1	LC
3	2×2sa	LCV
4	2×2sa	LC
5	2×2	LCV
6	2×2	LC

[†] 1×1 = un surco de maíz alternado con un surco de frijol; 2×2sa = dos surcos de maíz alternados con dos surcos de frijol (surco angosto); 2×2 = dos surcos de maíz alternados con dos surcos de frijol.

[‡] LCV= labranza convencional; LC = labranza de conservación.

[†] 1×1 = A corn groove alternate with a groove of bean; 2×2sa = two corn grooves alternated with two grooves of bean (narrow groove); 2×2 = two corn grooves alternated with two grooves of bean.

[‡] LCV = conventional tillage; LC = conservation tillage.

Cada módulo es una franja de 40 m de largo y 14.4 m de ancho, dividida en tres sub-franjas de 4.8 m de ancho. La sub-franja central está destinada al árbol frutal (guayaba) y las dos sub-franjas flanqueadoras estuvieron destinadas para el maíz y el frijol.

En el módulo uno estuvo el tratamiento 1×1, ambas sub-franjas flanqueadoras (izquierda y derecha) tuvieron seis surcos de 0.80 m de ancho; tres surcos de maíz y tres de frijol.

En el módulo dos estuvo el tratamiento 2×2sa, la sub-franja derecha tuvo cuatro surcos de maíz de 0.40 m y seis surcos de frijol de 0.60 m de ancho cada uno y la sub-franja del lado izquierdo tuvo seis surcos de maíz y cuatro surcos de frijol; en total cada sub-franja tuvo 10 surcos (Figura 1).

En el módulo tres estuvo el tratamiento 2×2, la sub-franja derecha tuvo dos surcos de maíz y cuatro surcos de frijol y la sub-franja izquierda tuvo cuatro surcos de maíz y dos surcos de frijol; en total cada sub-franja tuvo seis surcos de 0.80 m de ancho.

La parcela útil de los seis tratamientos midió 18 m de longitud y se conformó de cuatro surcos: dos surcos de maíz y dos de frijol; mientras que en cultivos simples fue el surco central.

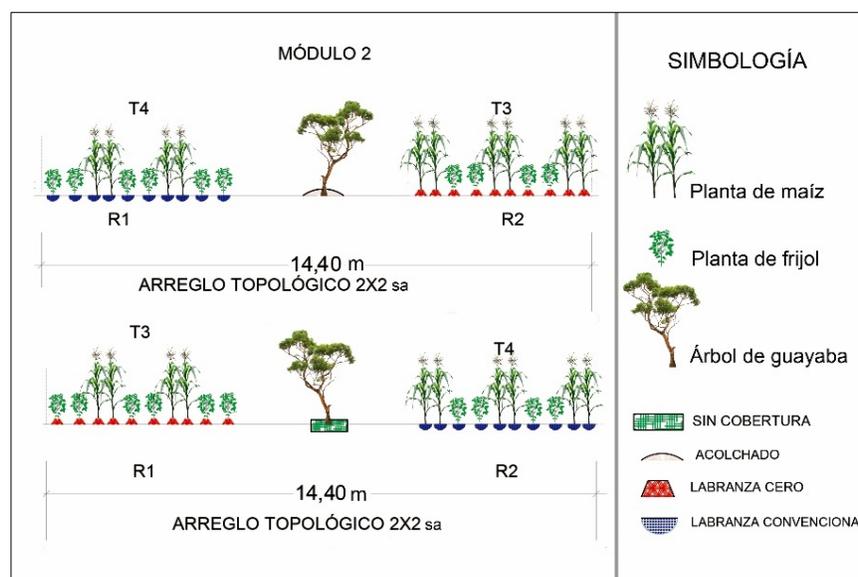


Figura 1. Representación gráfica del módulo dos del sitio experimental.
Figure 1. Graphical representation of module two of the experimental site.

Siembra del Maíz y Frijol

La siembra del híbrido de maíz de cruza simple H-383 se realizó el 05 de agosto del año 2019, usando dos densidades de población. En los tratamientos 1×1 LCV, 1×1 LC, 2×2 LCV y 2×2 LC fue de 23 333 plantas 0.33 ha⁻¹ y en 2×2sa LCV y 2×2sa LC de 56 667 plantas 0.33 ha⁻¹.

La siembra de frijol de la variedad Verdín se realizó de manera simultánea con el maíz, con una densidad de 83 333 plantas 0.33 ha⁻¹ en 1×1 LCV, 1×1 LC, 2×2 LCV y 2×2 LC y de 111 111 plantas 0.33 ha⁻¹ en 2×2sa LCV y 2×2sa labranza de conservación.

Manejo del Experimento

Las fuentes de fertilizantes fueron urea, fosfato diamónico y cloruro de potasio (Cuadro 3). En maíz, en los tratamientos con LCV se aplicó el herbicida pre-emergente Primagram® Gold (atrazina y s-metolaclor) a dosis de 2 L 0.3 ha⁻¹ y para el control post-emergente se aplicó Gramoxone® SL (paraquat) a dosis de 1 L 0.3 ha⁻¹. En los tratamientos con LC se aplicó glifosato y paraquat a dosis de 1.5 y 1 L 0.3 ha⁻¹, respectivamente.

En frijol, en los tratamientos con LCV se aplicó el herbicida pre-emergente acetoclor a dosis de 0.5 L 0.3 ha⁻¹ y para el control post-emergente se aplicó paraquat a dosis de 2 L 0.3 ha⁻¹. En los tratamientos con LC se aplicó glifosato a dosis de 1.5 L y paraquat a dosis de 2 L 0.3 ha⁻¹. Se realizó control de plagas del maíz con la aplicación de Clorpirifos etil y de metamidofos para plagas del frijol a dosis de 1 y 0.75 L 0.3 ha⁻¹, respectivamente.

Variables Evaluadas

Índice de área foliar (IAF) y área foliar específica (AFE) en maíz y frijol. Para la medición del área foliar; en cada parcela útil se eligieron al azar cuatro plantas de frijol en la etapa de llenado de vainas (Acosta-Díaz, Acosta, Amador y Padilla, 2008), y cuatro plantas de maíz en la etapa de floración (Tinoco-Alfaro, Ramírez, Villarreal y Ruiz, 2008).

Se obtuvieron todas las hojas de cada planta y se determinó el área foliar mediante un medidor de área LI-3100C (LI-COR® Biosciences, Lincoln, NE, EE.UU.). El IAF se estimó según Escalante y Kohashi (1993), mediante la siguiente ecuación:

$$IAF = \frac{AF \times DP}{10000 \text{ cm}^2} \quad (1)$$

Donde: IAF = índice de área foliar, AF = área foliar por planta (cm²) y DP = Densidad de población (plantas m⁻²). El AFE se estimó de acuerdo con Radford (1967) y Hunt (1990):

$$AFE = \frac{AF}{PSAF \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}} \quad (2)$$

Donde: AF= área foliar y PSAF= peso seco del área foliar.

El peso de biomasa se determinó secando las muestras en un horno (Heraeus® modelo EU55) a 70 °C por 72 horas y se pesaron en una balanza analítica (A&D Weighing® modelo HF-2000G, EE. UU.).

Cuadro 3. Fertilización del maíz y del frijol.
Table 3. Corn and bean fertilization.

Tratamiento	Fertilización (NPK)	
	Maíz	Frijol
1×1 LCV	38-8-17	13-13-13
1×1 LC	38-8-17	13-13-13
2×2 LCV	38-8-17	13-13-13
2×2 LC	38-8-17	13-13-13
2×2sa LCV	77-17-33	18-18-18
2×2sa LC	77-17-33	18-18-18

Radiación fotosintéticamente activa (RFA) en maíz. En cada parcela útil se midió la RFA con un Ceptómetro AccuPar LP 80 (Decagon Devices, Inc. EE. UU.) (Camas, 2011²).

Las mediciones se realizaron a los 84 días después de la siembra, para la cual se ubicó en el centro de la hilera de maíz la parte media del ceptómetro.

La medición se realizó en la parte alta, media y baja de la planta procurando no perturbar la disposición natural de las hojas y tallos del dosel y cuidando que no se provocara sombreo al operar el equipo (Camas, 2011²; Albino-Garduño *et al.*, 2015). En cada parcela útil de todos los tratamientos se hicieron cuatro mediciones al centro de la hilera.

Para el cálculo de RFA interceptada se consideró la RFA incidente (I) en el dosel (R1), en la parte media (R2) y a nivel del suelo (R3), lo cual permitió obtener el porcentaje mediante la siguiente relación: $RFAI = (R2/R1 \text{ o } R3/R1) \times 100$ (Camas, 2011²).

Rendimiento de grano. Para la estimación del rendimiento, en cada parcela útil de los tratamientos 1×1 LCV, 1×1 LC, 2×2 LCV y 2×2 LC, se hicieron seis muestreos a lo largo de los surcos en tramos de cinco metros lineales, mientras que en los tratamientos 2×2sa LCV y 2×2sa LC se hicieron 10 muestreos y en el cultivo simple tres muestreos. La evaluación consistió en obtener el número de plantas totales, plantas estériles y de mazorcas. Posteriormente, se pesaron las mazorcas y el grano por separado usando una báscula digital colgante (modelo B40, Modavela®). Con el dato obtenido del peso de mazorcas y granos se calculó el factor de desgranado. La humedad del grano se midió con un medidor de humedad (modelo SW5300 John Deere®, EE. UU.). El rendimiento de grano con 14% de humedad se estimó para la superficie ocupada por el maíz en el sistema que fue de 0.33 hectáreas.

Con los datos obtenidos se realizó el cálculo del rendimiento ($\text{kg } 0.33 \text{ ha}^{-1}$) con la siguiente fórmula empleada por Borroel-García, Salas, Ramírez, López y Luna (2018).

$$R = X (100 - \text{PHG}) / 86 \times \text{FDG} \times (666.66 / D) \quad (3)$$

Donde: R = rendimiento de grano ($\text{kg } 0.3 \text{ ha}^{-1}$) estandarizado al 14% de humedad, X = peso del total de mazorcas (kg), PHG = % de humedad del grano al momento de pesar las mazorcas, 86 = factor para estandarizar el rendimiento al 14% de humedad, FDG = factor de desgranado (peso de grano/peso de mazorcas), 666.66 m = 3.3333 m² por 5 m lineales de muestreo y D = ancho del surco.

Rendimiento de frijol. El rendimiento de frijol se estimó cuando las plantas se encontraban en madurez de cosecha. En cada parcela útil se hicieron muestreos a lo largo de los surcos en tramos de tres metros lineales.

El rendimiento de grano fue estandarizado con un porcentaje de humedad del 14%. Para lo cual se usó la siguiente fórmula:

$$PGC = \left(\frac{100 - \% \text{ H inicial}}{100 - 14\% \text{ H}} \right) \times \text{PIG} \quad (4)$$

R = rendimiento de grano estandarizado al 14% de humedad (H).

Donde: PGC = Peso total de grano corregido al 14% de humedad, % H inicial = Porcentaje de humedad inicial de grano y PIG = Peso inicial de grano en área muestreada. El rendimiento de grano con 14% de humedad se estimó para la superficie ocupada por el frijol en el sistema que fue de 0.33 ha (Warnock, Valenzuela, Trujillo, Madriz y Gutiérrez, 2006).

$$R = (\text{kg de frijol en área muestreada} \times 3333.3 \text{ m}^2) / \text{área muestreada (m}^2) \quad (5)$$

Eficiencia relativa de la tierra (ERT). La ERT de los tratamientos se calculó con la siguiente ecuación (Malézieux *et al.*, 2009). Dónde: Y = Rendimiento

$$ERT = \frac{Y \text{ frijol intercalado}}{Y \text{ frijol en monocultivo}} + \frac{Y \text{ maíz intercalado}}{Y \text{ maíz en monocultivo}} \quad (6)$$

² Camas-Gómez, R. (2011). *Erosión hídrica, captura de carbono y uso de la radiación solar y agua en tres sistemas de manejo, para la agricultura de laderas en el trópico subhúmedo de México*. Tesis para obtener el grado de doctor en ciencias, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Estado de México, México. Disponible en: http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/10521/543/Camas_Gomez_R_DC_Edafologia_2011.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Análisis Estadístico

Los datos se analizaron con el paquete estadístico Statistical Analysis System (SAS®) Version 9.4 para Windows (SAS Institute, 2013). Se partió de la verificación de los supuestos necesarios para realizar un análisis de varianza (ANOVA); para ello se utilizó la prueba descrita por Shapiro-Wilk ($\alpha=0.05$) para determinar normalidad y la prueba de Levene ($\alpha=0.05$) para comprobar la homogeneidad de varianzas (estadística paramétrica). Al cumplir con lo anterior, a todas las variables medidas se les realizó un ANOVA y cuando se encontró diferencia significativa, se realizó comparación de medias a través de la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Índice de Área Foliar, Área Foliar Específica, Radiación Fotosintéticamente Activa y Rendimiento de Grano en Maíz

El análisis de varianza del índice de área foliar (IAF), el área foliar específica (AFE), la radiación fotosintéticamente activa (RFA) y el rendimiento de grano de maíz (RG), indica un efecto significativo del AT en las tres primeras variables y del MDL en el RG (Cuadro 4).

El IAF y el AFE del maíz fueron más altos con el AT 2×2sa respecto al AT 1×1 y 2×2 (Figura 2a y b). Sin embargo, en la comparación se confunden los efectos del AT con la fertilización y la densidad de población porque en el AT 2×2sa, además del surco angosto, la densidad de población y la fertilización fueron mayores.

Tinoco-Alfaro *et al.* (2008) reportaron que la densidad de población y el arreglo espacial de plantas tienen un efecto directo sobre el crecimiento de las plantas y al variar las distancias entre surcos y entre plantas hay una respuesta diferente del IAF y de la capacidad productiva de la especie que esté bajo prueba. Además, con el incremento del área foliar por gramo de peso seco aumenta el AFE (Orozco-Vidal *et al.*, 2016).

En otros estudios, Albino-Garduño *et al.* (2015), con el maíz híbrido 'H-155' sembrado en diferentes AT y en cultivo simple, reportaron IAF similares a los obtenidos en este trabajo a los 66 días después de la siembra con los AT 1×1 y 2×2.

En este trabajo, el maíz sembrado con el AT 2×2sa rindió 494 y 592 kg 0.33 ha⁻¹ más respecto a los AT 2×2 y 1×1, respectivamente. Sin embargo, estos incrementos no fueron significativos estadísticamente.

Algunos autores sugieren que el aumento en el rendimiento que se obtiene al reducir la distancia entre surcos e incrementar la densidad de plantas se deben a mayores índices de cobertura y área foliar, mayor intercepción de la energía solar desde etapas tempranas del cultivo, menor crecimiento de malezas y al mayor número de plantas cosechadas por m² (Alves, Andrade, Vieira y Rezende, 2008; Soltero-Díaz, Garay y Ruiz, 2010).

Por otro lado, Farshbaf-Jafari, Pirzad, Tajbakhsh y Ghassemi (2014) reportan que, al aumentar el IAF, en consecuencia, aumenta el consumo de agua. Por lo tanto, el uso de altas densidades de plantas con un suministro de agua limitado puede aumentar el estrés hídrico de las plantas y reducir drásticamente el crecimiento y el rendimiento de grano.

Esto explicaría porque el rendimiento obtenido con el AT 2×2sa no fue diferente significativamente en este trabajo, ya que la precipitación acumulada fue menor a los requerimientos hídricos del maíz y a que se presentaron periodos de sequía durante su ciclo (Pedrol, Castellarín, Ferraguti y Rosso, 2008).

Cuadro 4. Análisis de varianza del IAF, el AFE, la RFA y el RG obtenidos en el maíz cultivado en la milpa intercalada en árboles frutales (MIAF)-guayaba.

Table 4. Analysis of variance of the LAI, the SLA, the PAR and GY obtained in the corn grown in the milpa intercropped in fruit trees (MIAF)-guava.

Fuente de variación	IAF	AFE	RFA	RG
AT	**	*	**	NS
MDL	NS	NS	NS	*
AT × MDL	NS	NS	NS	NS
C.V. (%)	6.49	7.91	16.10	15.29

C.V. = coeficiente de variación. ** = altamente significativo ($P \leq 0.001$); * = significativo ($P \leq 0.05$); NS = no significativo ($P > 0.05$).
C.V. = Coefficient of variation. ** = highly significant ($P \leq 0.001$); * = significant ($P \leq 0.05$); Ns = not significant ($P > 0.05$).

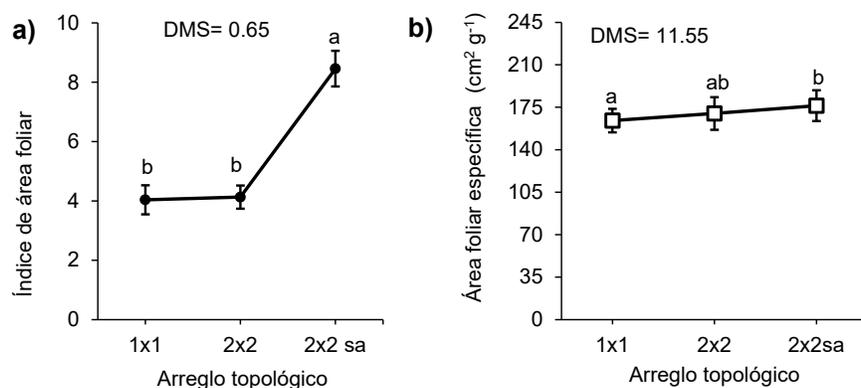


Figura 2. Efecto del arreglo topológico en (a) el índice de área foliar y (b) el área foliar específica. Letras distintas dentro de la gráfica indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ($P < 0.05$). DMS = diferencia mínima significativa. Las barras verticales indican la desviación estándar.

Figure 2. Effect of the topological arrangement on (a) the leaf area index and (b) the specific leaf area. Different letters within the graph indicate significant differences, according to Tukey's test ($P < 0.05$). DMS = minimum significant difference. The vertical bars indicate the standard deviation.

La RFA interceptada a la mitad de la altura de la planta de maíz y al nivel del suelo fue afectada por el AT. La mayor RFA interceptada se obtuvo con el AT 1×1 (Cuadro 5). Con el AT 2×2sa y 2×2, la RFA interceptada a la mitad de la altura de planta disminuyó 19.3 y 12.3%, respecto al 1×1 (Cuadro 5). Esto indica que en el AT 1×1 hubo más hojas de la planta para interceptar la RFA, a diferencia de los otros arreglos en el que la interceptación de la RFA disminuyó de la parte superior del dosel al inferior (Albino-Garduño *et al.*, 2015).

Además, con los mismos AT, la RFA al nivel del suelo disminuyó 17.5 y 16.3%, respecto al 1×1 (Cuadro 5). Esto significa que, en este arreglo, las hojas basales de las plantas de maíz no tuvieron limitación en la disponibilidad de la RFA, a diferencia de las hojas basales del maíz en los otros AT (Albino-Garduño *et al.*, 2015).

La diferencia del porcentaje de RFA interceptada entre AT se explica porque el arreglo 1×1 favorece que tanto las hojas del estrato superior como las hojas inferiores tengan mayor acceso a la radiación a ambos lados de la planta, mientras que con el arreglo 2×2 tanto las hojas del estrato superior como las hojas inferiores del costado con dirección hacia las plantas de frijol reciben radiación directa durante el día, en cambio las hojas inferiores del costado con dirección hacia la segunda hilera de maíz, quedan autosombreadadas, tal y como ocurre en el cultivo simple (Cortés *et al.*, 2007³).

Cuadro 5. Comparación de medias para la variable RFA interceptada a la mitad de la altura de la planta de maíz y al nivel del suelo en función del arreglo topológico.

Table 5. Comparison of means for the RFA variable intercepted at the middle of the height of the corn plant and at ground level as a function of the topological arrangement.

Arreglo topológico	RFA	
	A la mitad de la altura de la planta	Al nivel del suelo
	----- % -----	
1×1	44.41±7.15 a	38.86±7.39 a
2×2	32.05±5.12 b	22.52±4.95 b
2×2sa	25.11±4.29 b	21.32±4.69 b
DMS	8.90	8.96

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ($P < 0.05$). ± Desviación estándar. DMS = diferencia mínima significativa.

Different letters in the same column indicate significant differences, according to Tukey's test ($P < 0.05$). ± Standard deviation. MSD = minimum significant difference.

³ Cortés, J. I., Turrent, A., Díaz, P., Claro, P., Hernández, E., Aceves, E., & Mendoza, R. (2007). La milpa intercalada con árboles frutales (MIAF), una tecnología multiobjetivo para las pequeñas unidades de producción. In J. Calva (Ed.). *Desarrollo Agropecuario, Forestal y Pesquero* (pp. 100-116). Ciudad de México: Editorial M. A. Porrúa-Universidad Nacional Autónoma de México.

Además, se ha encontrado una relación entre la intensidad relativa de luz e índice de área foliar acumulado, teniéndose que la luz se extingue exponencialmente en función del incremento del área foliar (Van Heemst, 1988; Tinoco-Alfaro *et al.*, 2008), como ocurrió con el arreglo 2×2sa; con el que se obtuvo el mayor IAF y el menor porcentaje de RFA interceptada en ambas alturas de la planta.

Albino-Garduño *et al.* (2015) reportaron que la mejor distribución de la RFA con el AT 1×1 se reflejó en un mayor rendimiento de maíz. Sin embargo, esto difiere con los resultados del estudio, ya que hubo efecto del surco angosto, de la mayor densidad de plantas y de la fertilización (Tinoco-Alfaro *et al.*, 2008; Contreras-Rendón, Martínez y Estrada, 2012).

Se obtuvieron diferencias estadísticas entre MDL para el rendimiento de maíz (Cuadro 4). El mayor rendimiento se obtuvo en los tratamientos con el método de LC con el cual se obtuvo un incremento de 737 kg equivalente a 41%, respecto a LCV (Figura 3).

El incremento del rendimiento en LC coincide con los resultados de Martínez-Gamiño, Osuna-Ceja y Espinosa (2019) quienes reportaron que el rendimiento de maíz en el tratamiento con el método de LC fue en promedio 51.68% superior al registrado con el tratamiento con el método de LCV en los últimos cinco años.

Esto se atribuyó a que en el tratamiento con LC el suelo registró menor compactación, mayor porosidad, mayor aporte de materia orgánica al suelo, más estabilidad de agregados y mayor velocidad de infiltración, por lo que el cultivo tuvo mejores condiciones en el suelo para lograr rendimientos superiores al obtenido con LCV. Sin embargo, en el presente estudio, las propiedades físicas y químicas fueron similares con ambos MDL (Cuadro 1), por lo tanto, esa no fue la razón del incremento en el rendimiento. Asimismo, reportaron que el rendimiento de grano también fue afectado por las condiciones ambientales que tuvo el cultivo durante su período de desarrollo, principalmente de precipitación.

En el año del estudio la precipitación total del 05 de agosto al 24 de diciembre fue más baja que la precipitación promedio histórica, con periodos alternos de sequía y humedad durante el ciclo de cultivo. En agosto y septiembre la lluvia estuvo por debajo de la precipitación promedio histórica y en octubre, noviembre y diciembre por arriba de esta (Cuadro 6). La distribución de las lluvias fue atípica, debido probablemente al efecto del cambio climático (Osuna-Ceja, Reyes, Padilla y Martínez, 2012).

El ciclo del maíz fue de 141 días de la siembra a la madurez de cosecha, en el cual se tuvo una precipitación acumulada de 433 mm. Al respecto, Pedrol *et al.* (2008) indicaron que los requerimientos hídricos del maíz durante su ciclo son alrededor de 550 a 775 mm, superior a lo reportado para este estudio.

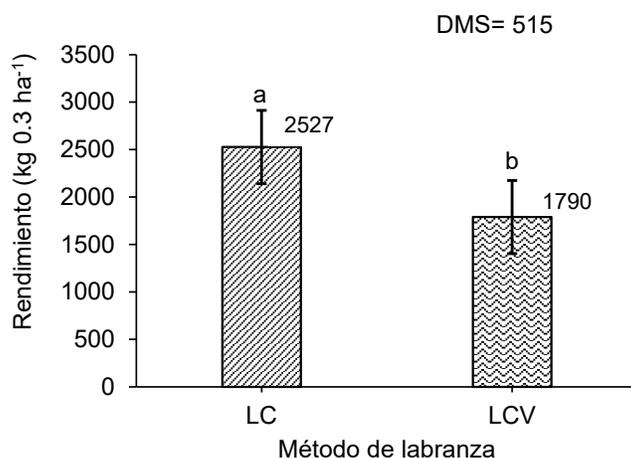


Figura 3. Rendimiento de maíz en función del método de labranza. Letras distintas dentro de la gráfica indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). DMS = diferencia mínima significativa. Las barras verticales indican la desviación estándar.

Figure 3. Corn yield based on tillage method. Different letters within the graph indicate significant differences, according to Tukey's test ($P \leq 0.05$). DMS = minimum significant difference. The vertical bars indicate the standard deviation.

Cuadro 6. Precipitación mensual del año 2019 y promedio mensual histórico en el Campo Experimental Centro de Chiapas-INIFAP.
Table 6. Monthly precipitation in 2019 and historical monthly average in the Central Experimental Field of Chiapas-INIFAP.

Mes	Precipitación	
	2019 [†]	Histórica
	----- mm -----	
Agosto	155.00	176.90
Septiembre	91.00	194.63
Octubre	105.00	78.84
Noviembre	48.90	34.10
Diciembre	33.50	22.72
Total	433.4	507.19

Fuente: Propia con datos de la estación meteorológica del CECECH-INIPAP. [†] = año en el que se llevó a cabo el estudio con maíz y frijol.

Source: Own, with data from the CECECH-INIPAP meteorological station. [†] = year in which the study was carried out with corn and beans.

De acuerdo con Bergamaschi *et al.* (2006) el rendimiento del cultivo está fuertemente influido por el comportamiento de la precipitación y el estrés hídrico. El mayor impacto en la reducción del rendimiento de grano ocurre cuando se presenta estrés hídrico dos semanas antes a tres semanas después de R1 (floración femenina). Asimismo, Carvalho, Soratto, Athayde, Arf y Sá (2004) mencionan que las fases más sensibles del cultivo de maíz al estrés hídrico, en orden decreciente son: floración, llenado de grano y desarrollo vegetativo.

Ante la presencia de períodos secos antes de la floración (70 dds), se presentó mayor rendimiento con el método de LC al haber incremento de la retención de humedad en el suelo por la aplicación de los residuos de cosecha. De acuerdo con Erenstein y Cadena (1997), la conservación de residuos en el suelo funciona como una medida de conservación del agua, ya que al disminuir las pérdidas (menor evaporación directa de la superficie del suelo, menor escurrimiento, mayor infiltración) aumenta la cantidad de agua disponible para el cultivo. La humedad del suelo favorece la absorción de nutrientes por las plantas (Zribi, Faci y Aragüés, 2011).

Mora *et al.* (2001) menciona que en LC hay menor abatimiento de humedad diaria, a causa de la permanencia de los residuos en la superficie del suelo. Por lo que el estrés hídrico afectó mayormente a las plantas con LCV.

Índice de Área Foliar, Área Foliar Específica y Rendimiento de Grano en Frijol

El análisis de varianza del índice de área foliar (IAF), el área foliar específica (AFE) y el rendimiento de grano (RG), indica un efecto significativo de la interacción AT × MDL en la primera y tercera variable. El AFE fue afectada por el AT y el MDL de manera individual (Cuadro 7).

En la Figura 4 se observa un aumento en el IAF cuando las plantas de frijol estuvieron con el AT 2×2 con LC. Sucedió lo contrario cuando se combinó con LCV y cuando estuvieron con AT 1×1. También, se observa que no hubo efecto significativo del MDL en los AT 2×2sa y 1×1.

El IAF más alto obtenido se debe a que en el AT 2×2, el frijol que es una planta C₃ se benefició del sombreado de las plantas de maíz sin afectar la fotosíntesis (Camas, 2011²).

En el AT 2×2sa fue efecto del surco angosto, de la mayor densidad de población y de la fertilización (Tinoco-Alfaro *et al.*, 2008; Contreras-Rendon *et al.*, 2012).

El IAF más alto indica que en la etapa de llenado de la vaina de frijol, hubo un porcentaje mayor de RFA interceptada y mejor eficiencia en el uso de ese recurso (Morales-Rosales, Escalante y López, 2008), que se relaciona con un incremento en el rendimiento.

Así mismo, en LC los residuos de cosecha en el suelo amortiguan las fluctuaciones de temperatura, disminuyen la evaporación directa del suelo, aumentan la tasa de infiltración y mantienen una mayor humedad del suelo (Chaudhry, Malik y Sidhu, 2004; Zribi *et al.*, 2011).

Cuadro 7 Análisis de varianza del IAF, el AFE y el RG obtenidos en el frijol cultivado en la milpa intercalada en árboles frutales (MIAF)-guayaba.**Table 7. Analysis of variance of the LAI, the SLA and the GY obtained in the beans grown in the milpa intercropped in fruit trees (MIAF)-guava.**

Fuente de variación	IAF	AFE	RG
AT	NS	**	*
MDL	*	*	*
AT × MDL	*	NS	*
C.V. (%)	19.80	12.64	12.49

C.V. = coeficiente de variación. ** = altamente significativo ($P \leq 0.001$); * = significativo ($P \leq 0.05$); NS = no significativo ($P > 0.05$).
C.V. = coefficient of variation. ** = highly significant ($P \leq 0.001$); * = significant ($P \leq 0.05$); Ns = not significant ($P > 0.05$).

Los resultados del presente trabajo concuerdan con los de Albino-Garduño *et al.* (2015) quienes reportaron en su investigación que en la etapa de llenado de la vaina (84 dds) el IAF no fue significativamente diferente entre el AT 1×1 y 2×2 manejados con el método de LCV. Sin embargo, el IAF que ellos reportaron fue superior, probablemente porque el cultivo se mantuvo con riego rodado, sin limitaciones de humedad.

Por su parte, Camas (2011²) reportó que la medición del área foliar del frijol coincidió con la etapa de floración masculina del maíz cuando éste había aumentado su área foliar y provocó mayor sombreado sobre el frijol disminuyendo la RFA interceptada respecto al cultivo simple.

Por otro lado, cuando se asoció frijol con girasol se observó un efecto de competencia, expresado en menor IAF que limitó su crecimiento y desarrollo, el cual fue provocado por el sombreado del girasol, que a su vez redujo la radiación interceptada y como consecuencia de esto la baja producción de biomasa y distribución de fotoasimilados para el rendimiento de grano (Morales-Rosales *et al.*, 2008). Esto explicaría el menor IAF y rendimiento de frijol obtenido con el AT 1×1.

Asimismo, los valores de IAF obtenidos en este estudio son menores comparados a los que obtuvieron Morales-Rosales *et al.* (2008) y Albino-Garduño, Turrent, Cortés, Livera y Mendoza (2015). Esto puede estar relacionado al estrés hídrico que sufrieron las plantas. Debido a que la reducción del área foliar como resultado del estrés por sequía se considera un mecanismo de adaptación, mediante el cual la planta evita la deshidratación y se minimizan las pérdidas por transpiración (Purwanto, 2003).

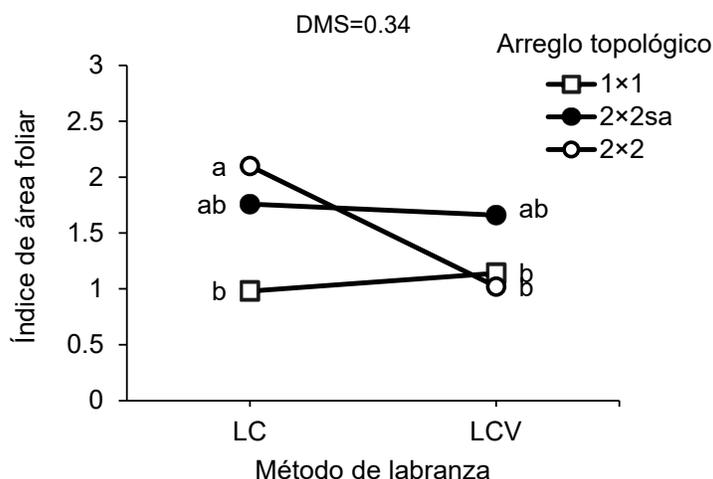


Figura 4. Efecto de la interacción arreglo topológico × método de labranza en el índice de área foliar de plantas de frijol. Letras distintas dentro de la gráfica indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). DMS = diferencia mínima significativa.

Figure 4. Effect of the interaction topological arrangement × tillage method on the leaf area index of bean plants. Different letters within the graph indicate significant differences, according to Tukey's test ($P \leq 0.05$). DMS = minimum significant difference.

El AFE presentó diferencias significativas por efecto del AT y el MDL (Cuadro 8). Las plantas de frijol con AT 2×2sa y 2×2, así como, con el método de LC presentaron las medias más altas del AFE. Esto indica un incremento del área foliar por gramo de peso seco y que las hojas son más grandes, pero más delgadas (Orozco-Vidal *et al.*, 2016). En el AT 2×2sa se debe al surco angosto, a la mayor densidad de plantas y a la mayor fertilización (Tinoco-Alfaro *et al.*, 2008; Contreras-Rendon *et al.*, 2012).

El valor más bajo del AFE con LCV indica menor área foliar por gramo de peso seco y que las hojas son más pequeñas y gruesas, esto ayuda a mantener temperaturas favorables en las hojas y una mayor eficiencia fotosintética y del uso del agua bajo la combinación de alta radiación solar y baja disponibilidad de agua (Amanullah, 2015).

El rendimiento de frijol fue afectado por la interacción AT × MDL (Cuadro 7). El rendimiento fue más alto cuando el frijol se sembró con el AT 2×2 en LCV y viceversa con el AT 1×1 en LCV. No se observa un efecto significativo del MDL en los AT 2×2 y 2×2sa (Figura 5).

Albino-Garduño *et al.* (2015) reportaron que con el AT 2×2 el frijol incrementó su rendimiento pues las hojas basales recibieron más RFA, en cambio en el AT 1×1 la disminución en el rendimiento se debió al mayor sombreado de las plantas de maíz sobre el frijol y que las hojas basales interceptaron menos RFA.

Así mismo, en el AT 1×1 el rendimiento fue menos afectado con LC, pues la cobertura del suelo con residuos de cosecha aumenta la cantidad de agua disponible en el suelo debido a una mayor infiltración y menor evaporación directa de la superficie del suelo (Zhang *et al.*, 2008).

Sin embargo, en general, el rendimiento obtenido en este estudio estuvo por debajo de los resultados de Tosquy-Valle, López, Villar, Acosta y Rodríguez (2016) quienes reportaron para la variedad de frijol verdín como cultivo simple un rendimiento de 517 kg 0.33 ha⁻¹ en el ciclo de verano en condiciones de temporal en el año 2012 y de 229 kg 0.33 ha⁻¹ en el año 2013 en el ciclo otoño-invierno en condiciones de sequía.

Debido a que las lluvias fueron muy escasas, no hubo suficiente agua retenida en la zona radical, de tal manera que el cultivo sufrió estrés hídrico durante la etapa de floración y de llenado de vainas. Las lluvias que se presentaron en esta etapa fueron menores a 10 mm por día (Figura 6).

Acosta-Gallegos, Rosales, Navarrete y López (2000) señalan que los bajos rendimientos en condiciones de temporal se deben principalmente a los frecuentes periodos de sequía, altas temperaturas durante la etapa reproductiva, las cuales pueden ocasionar pérdidas significativas del rendimiento.

Eficiencia Relativa de la Tierra (ERT)

Las eficiencias relativas de la tierra (ERTs) individuales del maíz (ERTm) y frijol (ERTf) y la ERT total (ERT) variaron a través de los seis tratamientos resultantes de la combinación AT y MDL. En el maíz, la ERT individual varió de 0.76 a 1.25 y en el frijol, la variación fue de 0.28 a 0.68. La ERT varió de 1.05 a 1.81 (Cuadro 9).

De acuerdo al valor de ERT para evaluar la ventaja de un cultivo intercalado como el MIAF, todos los tratamientos tuvieron una ERT mayor a 1, lo que indica una ventaja de rendimiento de 5 a 81%; es decir, que se requeriría de 5 a 81% más de tierra de labor para que el maíz y el frijol en cultivo simple produzcan los mismos rendimientos obtenidos en el sistema MIAF.

Cuadro 8. Comparación de medias para la variable AFE de las plantas de frijol en función del arreglo topológico y el método de labranza.

Table 8. Comparison of means for the SLA variable of bean plants depending on the topological arrangement and the tillage method.

Arreglo topológico	AFE	Método de labranza	AFE
	cm ² g ⁻¹		cm ² g ⁻¹
1×1	246.13 a	LCV	272.67 a
2×2sa	304.44 b	LC	306.20 b
2×2	317.74 b		
DMS	31.70		21.49

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ($P < 0.05$). DMS = diferencia mínima significativa.

Different letters in the same column indicate significant differences, according to Tukey's test ($P < 0.05$). MSD = minimum significant difference.

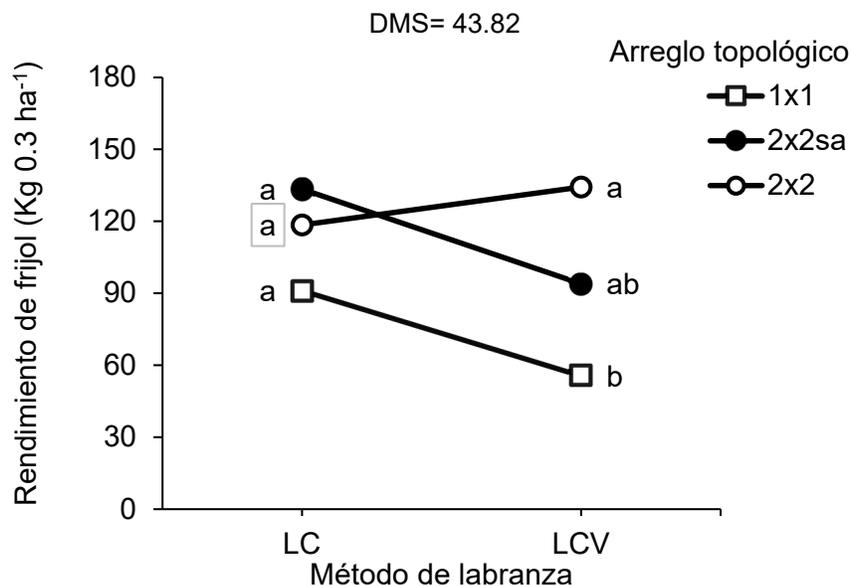


Figura 5. Efecto de la interacción arreglo topológico × labranza en el rendimiento de frijol. Letras distintas dentro de la gráfica indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). DMS= diferencia mínima significativa.

Figure 5. Effect of the topological arrangement × tillage interaction on bean yield. Different letters within the graph indicate significant differences, according to Tukey's test ($P \leq 0.05$). MSD = minimum significant difference.

Albino-Garduño *et al.* (2016) reportaron una ERT de 1.12 para el AT 2×2 y 1.07 para 1×1, y una ERT individual del maíz y frijol de 0.64 y 0.47 en 2×2; y 0.67 y 0.34 en 1×1. Comparados con los resultados del presente estudio, todas las ERTs individuales del maíz fueron menores y las del frijol mayores en los tratamientos 2×2 LC, 1×1 LCV y 1×1 LC.

Asimismo, ellos mencionan que tanto para las familias campesinas como para el diseño del sistema MIAF, es prioritario obtener el mayor rendimiento de grano de maíz, pues es básico en la alimentación. De esta forma, el agricultor podría no optar por el sistema con mayor ERT, sino aquel que le genere más rendimiento de la especie de su interés, siempre que no eleve los costos de producción.

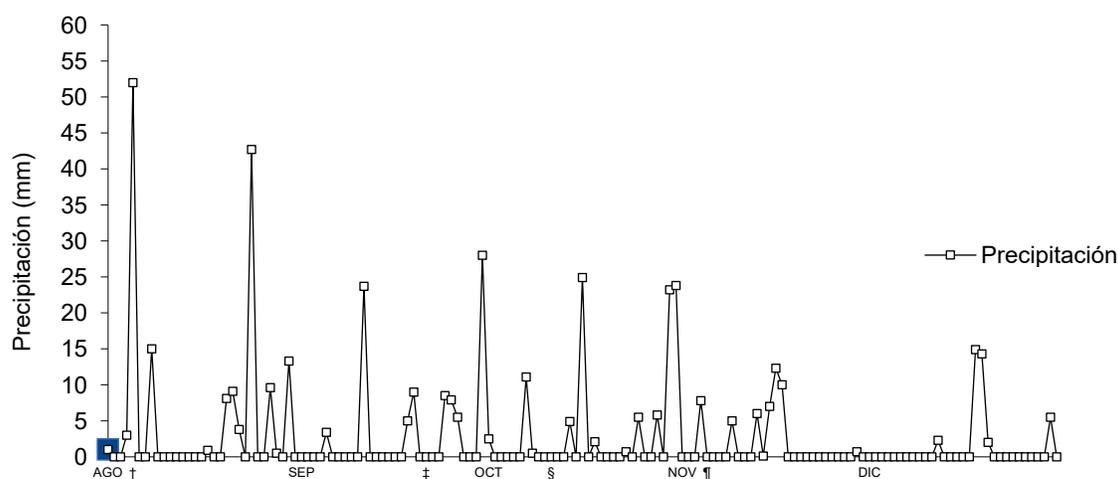


Figura 6. Precipitación diaria durante el ciclo del maíz y frijol en el Campo Experimental Centro de Chiapas-INIFAP, en el año 2019. † = siembra; ‡ = floración; § = llenado de vainas; ¶ = cosecha.

Figure 6. Daily rainfall during the corn and beans cycle in the Central Experimental Field of Chiapas-INIFAP, in 2019. † = sowing; ‡ = flowering; § = pod filling; ¶ = harvest.

Cuadro 9. Eficiencia relativa de la tierra: MIAF en relación a los cultivos simples de maíz y de frijol, en condiciones de temporal.
Table 9. Land equivalent ratio: MIAF in relation to simple crops of corn and beans, in rainfed conditions.

Tratamiento		ERT [†]		ERT [‡]
Arreglo topológico	Método de labranza	Maíz	Frijol	
1×1	LCV	1.08	0.28	1.36
1×1	LC	0.76	0.30	1.05
2×2sa	LCV	1.25	0.48	1.73
2×2sa	LC	1.10	0.43	1.53
2×2	LCV	1.13	0.68	1.81
2×2	LC	0.80	0.39	1.19

[†] ERT = eficiencia relativa de la tierra individual del maíz y frijol; rendimiento en MIAF en 0.5 ha por el rendimiento del cultivo simple en 1 ha. [‡] ERT= eficiencia relativa de la tierra; suma de las ERTs individuales de maíz y frijol.

[†] LER = individual land equivalent ratio of corn and beans; the MIAF yield in 0.5 ha per the simple crop yield in 1 ha. [‡] LER = land equivalent ratio; is the sum of the individual ERTs of corn and beans.

Por otra parte, Camas (2011²) con el sistema MIAF logró una ERT de 1.96 cuando se cultivó maíz y frijol intercalados en el ciclo primavera-verano, frijol en relevo en el ciclo otoño-invierno y árboles de guayaba lo que redundó en beneficios para los productores con limitada extensión de terreno, además que es factible incrementarla a través de los años en la medida que el sistema se estabilice y sea mayor su contribución en la conservación del suelo y agua, así como en el aporte de nutrientes para los árboles al área del filtro de escurrimientos.

En este estudio, las mayores eficiencias relativas de la tierra se obtuvieron con el método de LCV debido a que el rendimiento del cultivo simple de maíz y frijol fue menor con LCV que con LC.

CONCLUSIONES

En un año en el que se presentó sequía, el rendimiento de maíz tuvo una mejor respuesta con el método de LC. En cambio, el rendimiento de frijol tuvo mejor respuesta cuando se sembró con el AT 2×2 con el método de LCV.

La reducción del ancho del surco aún con una mayor densidad de población y dosis de fertilización por metro cuadrado con el AT 2×2sa no aumentó significativamente el rendimiento de maíz y frijol.

El sistema MIAF fue eficiente con los tres AT y ambos MDL. Las mayores ERTs se obtuvieron con el método de LCV debido a que el rendimiento del cultivo simple de maíz y frijol fue menor con LCV que con LC.

DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

DISPONIBILIDAD DE DATOS

Los datos utilizados o analizados durante el estudio actual están disponibles del autor correspondiente a solicitud razonable.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

FINANCIAMIENTO

No aplicable.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Recopilación e interpretación de datos, investigación, escritura y edición: M.R.H.E. Propuso y diseñó el estudio y participó directamente en el establecimiento del experimento y la coordinación del trabajo de campo: R.C.G. Contribuyó en la metodología para el análisis e interpretación de la información y revisión del escrito: A.T.F. Participó en la dirección de la investigación, contribuyó en el análisis e interpretación de la información y en la redacción y revisión del escrito: J.I.C.F.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada durante los dos años de estudio lo que trajo consigo, lograr este grado académico. Al MC. Walter López Báez quien apoyó la realización del estudio en el Campo Experimental Centro de Chiapas-INIFAP. Al personal técnico que ayudó en el trabajo de campo.

LITERATURA CITADA

- Acosta-Díaz, E., Acosta-Gallegos, J. A., Amador-Ramírez, M. D., & Padilla-Ramírez, J. S. (2008). Relación entre índice de área foliar y rendimiento en frijol bajo condiciones de secano. *Agricultura Técnica en México*, 34(1), 13-20.
- Acosta-Gallegos, J. A., Rosales-Serna, R., Navarrete-Maya, R., & López-Salinas, E. (2000). Desarrollo de variedades mejoradas de frijol para condiciones de riego y temporal en México. *Agricultura Técnica en México*, 26(1), 79-98.
- Albino-Garduño, R., Turrent-Fernández, A., Cortés-Flores, J. I., Santiago-Mejía, H., Mendoza-Castillo, M., & Jacinto-Hernández, C. (2016). Rendimiento y proteína del maíz intercalado con frijol en arreglos topológicos, densidades y fertilización. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 2, 62-71.
- Albino-Garduño, R., Turrent-Fernández, A., Cortés-Flores, J. I., Livera-Muñoz, M., & Mendoza-Castillo, M. C. (2015). Distribución de raíces y de radiación solar en el dosel de maíz y frijol intercalados. *Agrociencia*, 49(5), 513-531.
- Alves, A. F., Andrade, M. J. B., Vieira, N. M. B., & Rezende, P. M. (2008). Grain yield of four new bean cultivars based on plant density. *Annual Report of the Bean Improvement Cooperative*, 51, 242-243.
- Amanullah, A. (2015). Specific Leaf Area and Specific Leaf Weight in Small Grain Crops Wheat, Rye, Barley, and Oats Differ at Various Growth Stages and NPK Source. *Journal of Plant Nutrition*, 38(11), 1694-1708. <https://doi.org/10.1080/01904167.2015.1017051>
- Bates, R. G. (1955) Electrometric pH determination. *Soil Science*, 79(3), 227.
- Bergamaschi, H., Dalmago, G. A., Comiran, F., Bergonci, J. I., Müller, A. G., França, S., ... & Pereira, P. G. (2006). Deficit hídrico e produtividade na cultura do milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41(2), 243-249. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2006000200008>
- Borroel-García, V. J., Salas-Pérez, L., Ramírez-Aragón, M. G., López-Martínez, J. D., & Luna-Anguiano, J. (2018). Rendimiento y componentes de producción de híbridos de maíz en la Comarca Lagunera. *Terra Latinoamericana*, 36, 423-429. <https://doi.org/10.28940/terra.v36i4.281>
- Carvalho, M. A. C. D., Soratto, R. P., Athayde, M. L. F., Arf, O., & Sá, M. E. D. (2004). Produtividade do milho em sucessão a adubos verdes no sistema de plantio direto e convencional. *Pesquisa agropecuária brasileira*, 39, 47-53.
- Chaudhry, M. R., Malik, A. A., & Sidhu, M. (2004). Mulching impact on moisture conservation, soil properties and plant growth. *Pakistan Journal of Water Resources*, 8(2), 1-8.
- Contreras-Rendón, A., Martínez-Rueda, C. G., & Estrada-Campuzano, G. (2012). Eficiencia en el uso de la radiación por híbridos de maíz de valles altos de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35(2), 161-169. <https://doi.org/10.35196/rfm.2012.2.161>
- Erenstein, O., & Cadena-Iñiguez, P. (1997). *The Adoption of Conservation Tillage in a Hillside Maize Production System in Motozintla, Chiapas*. D.F., Mexico: CIMMYT.
- Escalante-Estrada, J. A., & Kohashi-Shibata, J. (1993). *El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para la toma de datos*. México: Instituto de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas. ISBN: 9688391085
- FAO (Organización De Las Naciones Unidas Para La Agricultura Y La Alimentación). (2009). *Guía para la descripción de suelos* (4th Ed.). Roma, Italia: FAO
- Farshbaf-Jafari, S., Pirzad, A., Tajbakhsh, M., & Ghassemi-Golezani, K. (2014). Effects of Water Supply and Plant Density on Leaf Characteristics of Amaranth (*Amaranthus Caudatus* L.). In *International Conference on Sustainable Environment and Agriculture* (pp. 17-21). Singapore: IACSIT Press. <https://doi.org/10.7763/IPCBE.2014.V76.8>
- García, E. (1981). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen: para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. Distrito Federal, México: Instituto de Geografía-Universidad Autónoma de México.
- Gee, G. W., & Bauder, J. W. (1986). Particle size analysis. Part 1 In A. Klute (Ed.). *Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods, Agronomy Monograph No. 9, 2nd Edition* (pp. 383-411). Madison, WI, USA: American Society of Agronomy-Soil Science Society of America.
- González-Barrios, J. L., González-Cervantes, G., Sánchez-Cohen, I., López-Santos, A., & Valenzuela-Núñez, L. M. (2011). Caracterización de la porosidad edáfica como indicador de la calidad física del suelo. *Terra Latinoamericana*, 29(4), 369-377.
- Hunt, R. (1990). *Plant growth analysis*. London, Great Britain: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-010-9117-6>
- Lowder, S. K., Sánchez, M. V., & Bertini, R. (2021). Which farms feed the world and has farmland become more concentrated? *World Development*, 142, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2021.105455>
- Malézieux, E., Crozat, Y., Dupraz, C., Laurans, M., Makowski, D., Ozier-Lafontaine, H., ... & Valantin-Morison, M. (2009). Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 29: 43-62, <https://doi.org/10.1051/agro:2007057>

- Martínez-Gamiño, M. Á., Osuna-Ceja, E. S., & Espinosa-Ramírez, M. (2019). Impacto acumulado de la agricultura de conservación en propiedades del suelo y rendimiento de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(4), 765-778. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i4.1640>
- Mora, M., Ordaz, V., Castellanos, J. Z., Santelises, A. A., Gavi, F., & Volke, V. (2001). Sistemas de labranza y sus efectos en algunas propiedades físicas en un vertisol, después de cuatro años de manejo. *Terra Latinoamericana*, 19(1), 67-74.
- Morales-Rosales, E. J., Escalante-Estrada, J., & López-Sandoval, J. A. (2008). Crecimiento, índice de cosecha y rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en unicultivo y asociado con girasol (*Helianthus annuus* L.). *Universidad y Ciencia*, 24(1) 1-10.
- Orozco-Vidal, J. A., Ramírez-Torres, R., Segura-Castruita, M. Á., Yescas-Coronado, P., Trejo-Valencia, R., & Vidal-Alamilla, J. A. (2016). Fuentes de nitrógeno en el crecimiento y producción de biomasa en maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(1), 185-194. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i1.382>
- Osuna-Ceja, E.S., Reyes-Muro, L., Padilla-Ramírez, J. S., & Martínez-Gamiño, M. A. (2012). Rendimiento de frijol Pinto Saltillo en altas densidades de población bajo temporal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(7), 1389-1400.
- Pedrol, H. M., Castellarín, J. M., Ferraguti, F., & Rosso, O. (2008). Respuesta a la fertilización nitrogenada y eficiencia en el uso del agua en el cultivo de maíz según nivel hídrico. *Informaciones Agronómicas*, 40, 17-20.
- Purwanto, E. (2003). Photosynthesis activity of soybean (*Glycine max* L.) under drought stress. *Agrosains Journal*, 5(1), 13-18
- Radford, P. J., (1967). Growth analysis formulae, their use and abuse. *Crop Science*, 7(3), 171-175., <https://doi.org/10.2135/cropsci1967.0011183X000700030001x>
- SAS Institute. (2013). *Statistical Analysis System SAS/STAT User's Guide. version 9.4*. Cary, NC, USA: SAS Institute Inc.
- Soltero-Díaz, L., Garay-López, C., & Ruiz-Corral, J. A. (2010). Respuesta en rendimiento de híbridos de maíz a diferentes distancias entre surcos y densidades de plantas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1(2), 149-158.
- Sparks, D. L., Page, A. L., Helmke, P. A., Loeppert, R. H., Soltanpour, P. N., Tabatabai, M. A., ... & Sumner, M. E. (1996). *Methods of soil analysis. Part 3 - chemical methods*. Madison, WI, USA: Soil Science Society of America. ISBN: 0-89118-825-8
- Tinoco-Alfaro, C. A., Ramírez-Fonseca, A., Villarreal-Farías, E., & Ruiz-Corral, A. (2008). Arreglo espacial de híbridos de maíz, índice de área foliar y rendimiento. *Agricultura Técnica en México*, 34(3), 271-278.
- Tosquy-Valle, O. H., López-Salinas, E., Villar-Sánchez, B., Acosta-Gallegos, J. A., & Rodríguez-Rodríguez, J. R. (2016). Verdín: variedad de frijol negro tolerante a sequía terminal para Veracruz y Chiapas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(7), 1775-1780.
- Tsubo, M., Mukhala, E., Ogindo, H. O., & Walker, S. (2003). Productivity of maize-bean intercropping in a semi-arid region of South Africa. *Water SA*, 29(4), 381-388. <https://doi.org/10.4314/wsa.v29i4.5038>
- Turrent-Fernández, A., Cortés-Flores, J. I., Espinosa-Calderón, A., Hernández-Romero, E., Camas-Gómez, R., Torres-Zambrano, J. P., & Zambada-Martínez, A. (2017). MasAgro o MIAF ¿Cuál es la opción para modernizar sustentablemente la agricultura tradicional de México? *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(5), 1169-1185.
- Van Heemst, H. D. J. (1988). *Plant data values required for simple crop growth processes*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Walkley, A., & Black, I. A. (1934) An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37(1), 29-38.
- Warnock, R., Valenzuela, J., Trujillo, A., Madriz, P., & Gutiérrez, M. (2006). Área foliar, componentes del área foliar y rendimiento de seis genotipos de caraota. *Agronomía Tropical*, 56, 21-42.
- WRB (Base Referencial Mundial del Recurso Suelo). (2015). Base referencial mundial del recurso suelo, 2014, Actualización, 2015. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. Informes sobre recursos mundiales de suelos 106. Roma, Italia: FAO, Consultado el 08 de noviembre, 2023, desde <https://www.iec.cat/mapasols/Doculnteres/PDF/Llibre59.pdf>
- Zhang, Q. T., Inoue, M., Inosako, K., Irshad, M., Kondo, K., Qiu, G. Y., & Wang, S. P. (2008). Ameliorative effect of mulching on water use efficiency of Swiss chard and salt accumulation under saline irrigation. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 6(3), 480-485.
- Zribi, W., Faci-González, J. M., & Aragüés-Lafarga, R. (2011). Efectos del acolchado sobre la humedad, temperatura, estructura y salinidad de suelos agrícolas. *ITEA*, 107(2), 148-162