

EFFECTO DE PRÁCTICAS DE AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ EN EL SISTEMA MILPA EN YUCATÁN, MÉXICO

Carlos Aldair Gamboa-Cimé¹, José Bernardino Castillo-Caamal^{2/*}, Rodolfo Vilchis-Ramos³,
Jorge Santiago Santos-Flores⁴, Alan García-Lira⁵

Palabras clave: maíz; rendimiento; cultivos intercalados; estiércol ovino; agricultura de conservación.

Keywords: maize; yield; intercrops; sheep manure; conservation agriculture.

Recibido: 13/03/24

Aceptado: 11/06/24

RESUMEN

Introducción. El cambio en el uso del suelo en la Península de Yucatán ha impactado en la vegetación, con influencia en el sistema milpa que depende de dicho recurso, y en consecuencia, disminuyen la fertilidad del suelo y el rendimiento de los cultivos. La agricultura de conservación (AC) con diversificación de cultivos, labranza cero y cobertura del suelo, es una opción para mejorar la producción sustentable de alimentos. **Objetivo.** Evaluar el efecto de tres tratamientos con prácticas de AC en el rendimiento y componentes del grano de maíz (*Zea mays* L.) en la milpa. **Materiales y métodos.** El experimento se estableció en Yaxcabá, Yucatán. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con un control y tres tratamientos; T1 (control): Maíz, frijol ib o frijol lima, calabaza +

fertilización con fosfato diamónico (DAP), T2: Maíz, frijol ib o frijol lima, calabaza + fertilización con estiércol ovino (EO), T3: Maíz, lenteja de milpa o frijol gandúl, calabaza + fertilización con EO y T4: Maíz, frijol terciopelo + EO. Se aplicó 100 kg ha⁻¹ de DAP en T1, en los demás tratamientos 4 t ha⁻¹ de EO. Se sembró maíz de la raza Tuxpeño. Las variables dependientes fueron número de plantas, número de mazorcas, humedad del grano, coeficiente de desgrane y rendimiento de grano. **Resultados.** El número de plantas, humedad del grano y coeficiente de desgrane fueron similares ($p>0,05$) en todos los tratamientos. En el número de mazorcas y rendimiento de grano hubo significancia ($p\leq 0,05$) con un valor mayor de ambas variables en T2, el cual incrementó en 3,500 el número de mazorcas y 327 kg ha⁻¹ el rendimiento de grano, respecto a T1. **Conclusión.** Con el tratamiento T2 se pudo

* Autor para correspondencia. Correo electrónico: jose.castillo@correo.uady.mx

1 Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, Yucatán, México.
 0009-0009-9043-9837.

2 Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, Yucatán, México.
 0000-0002-1697-1915.

3 International Maize and Wheat Improvement Center, Texcoco, México.

 0009-0002-5966-1500.

4 Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, Yucatán, México.

 0000-0003-1766-2599.

5 Facultad de Ingeniería Química, Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, Yucatán, México.

 0000-0002-8135-1173.

incrementar el número de mazorcas y rendimiento de grano de maíz en la milpa desde el primer ciclo de cultivo al establecerse prácticas de AC.

ABSTRACT

Effect of conservation agriculture practices on maize production in the milpa system in Yucatán, México. Introduction. The change in land use in the Yucatan Peninsula has impacted the vegetation, and affecting on the milpa system that depends on that resource, and consequently, soil fertility and crop yields decrease. The conservation agriculture (CA) with crop diversification, minimum tillage and soil cover, is an option to improve sustainable food production. **Objective.** Evaluate the effect of four treatments with CA practices on the yield of maize (*Zea mays* L.) and their components. **Materials and methods.** The experiment was established in Yaxcabá, Yucatán, México. A randomized complete block experimental design

with one control and three treatments were evaluated; T1 (control): Maize, frijol ib or lima bean, squash + fertilized with diammonium phosphate (DAP), T2: Maize, frijol ib or lima bean, squash + fertilized with sheep manure (SM), T3: Maize, pigeon pea, squash + SM and T4: Maize, velvet bean + SM. In T1 was applied 100 kg ha⁻¹ of DAP and the other treatments 4 t ha⁻¹ of SM. Maize of the Tuxpeño landrace was sowed. The depend variables were number of plants, number of cobs, maize kernel moisture, shelling coefficient and maize grain yield. **Results.** The number of plants, kernel, moisture and shelling coefficient were similar ($p>0.05$) in all treatments. There was significance difference in the number of cobs and grain yield ($p\leq 0.05$). The highest value of both variables was obtained in T2, which increased the number of cobs by 3.500 and the grain yield by 327 kg ha⁻¹, compared to T1. **Conclusion.** In treatment T2, the number of cobs and grain yield of the corn from the milpa can be increased from the first crop cycle when CA practices are established.

INTRODUCCIÓN

La milpa es un sistema agroforestal de Mesoamérica que ha estado vigente por al menos 5000 años (Mariaca 2015). Es la principal fuente de alimentos para las familias de las comunidades rurales del sur y oriente de Yucatán. De la milpa se obtiene el maíz (*Zea mays* L.) como alimento principal, y se asocia con diferentes especies de leguminosas (*Phaseolus vulgaris* L., *Phaseolus lunatus* L. y *Vigna* spp.) y calabazas (*Cucurbita moschata* Duch, *Cucurbita argyrosperma* Huber y *Cucurbita pepo* L.) (Terán y Rassmussen 2009). Se puede incrementar la diversidad con otras especies como el camote (*Ipomea batatas* L.), la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) (Moya y Ku 2001) y una amplia variedad de hierbas comestibles y plantas silvestres (Linares y Bye 2011).

En Yucatán, por la pedregosidad y poca profundidad del suelo, es prácticamente imposible el uso de maquinaria agrícola o de animales para labores de labranza (Pérez 1981), por lo que la agricultura de roza, tumba y quema (RTQ) ha sido la más adaptada al sistema para aprovechar los recursos naturales de la zona y es bajo la cual se trabaja la milpa (Nigh y Diemont 2013).

La fertilidad del suelo tiende a mejorar después de la quema con la adición de cenizas provenientes de la vegetación previamente rozada y tumbada (Arita 2020), lo que permite cultivar en el lugar por los siguientes tres años, pues la materia orgánica y los minerales que proveen la fertilidad tienden a disminuir después de ese tiempo, y con ella el rendimiento del maíz y los cultivos asociados (Pool y Hernández 1995). Para evitar la degradación del suelo, es necesario permitir el descanso del monte por períodos largos, de 40 años o más (Fonteyne *et al.* 2023).

Desde hace cuatro décadas, y hasta la actualidad, ha existido una fuerte presión sobre la vegetación de la selva de Yucatán, ocasionada el cambio de uso del suelo que implica la reducción de superficies de selva y espacios disponibles para el establecimiento de las milpas (Pérez 1981, Pool 2001, Rodríguez *et al.* 2016). Esto ha forzado a incrementar el tiempo de cultivo sobre un mismo suelo hasta por 10 años o más, y ha reducido del tiempo de descanso a dos o seis años, lo que impide al suelo recuperar su fertilidad completamente al agotarse las reservas de nutrientes, desencadenando efectos secundarios negativos como la pérdida de la fertilidad del suelo, disminución de la biodiversidad cultivada e incremento de poblaciones de plagas y arveneses, que en conjunto contribuyen a la baja productividad del maíz (Castillo *et al.* 2023).

Ante esta problemática, en la agricultura de RTQ en Yucatán se ha recurrido al uso de fertilizantes y herbicidas (Bautista *et al.* 2005, Polanco *et al.* 2019, Uuh *et al.* 2024) que, si bien son una solución rápida y efectiva para mejorar la producción, muchas veces se encuentran fuera de alcance para los productores debido a los costos elevados para su adquisición (Ortíz *et al.* 2014). Además, el uso de estos insumos resulta perjudicial para el ambiente y la salud humana debido a la alta toxicidad y persistencia en el suelo de sus compuestos (Polanco *et al.* 2019).

El principal objetivo de la milpa es abastecer de alimentos y otros materiales básicos a las familias para el autoconsumo (Mariaca 2015), por lo que es conveniente el estudio de nuevos modelos de agricultura que mejoren los procesos productivos campesinos apegados al contexto social y cultural de los territorios (Castillo *et al.* 2021). Lo anterior solo es posible partiendo de una base filosófica y científica de los antecedentes históricos locales que dirijan la toma de decisiones (Hernández 1988).

Desde hace más de tres décadas, se ha expandido alrededor del mundo, por medio de organizaciones nacionales e internacionales, el concepto de agricultura de conservación (AC) y

se ha promovido como un modelo revolucionario de agricultura para la conservación del suelo, principalmente en países de América Latina. La AC, se basa en tres principios: 1) la labranza cero, 2) cobertura permanente en el suelo y 3) diversificación de cultivos. Esto ha presentado efectos positivos en la agricultura en términos de rendimiento, sostenibilidad, facilitación del trabajo y adaptación al sistema productivo (Friedrich *et al.* 2012).

En este sentido, se sabe que la sustentabilidad de la milpa se ha logrado a partir de dos principios fundamentales: 1) la diversificación del sistema y 2) el mantenimiento de la calidad del suelo (Martínez *et al.* 2020), por lo que fortalecer la milpa a través del manejo agroecológico con prácticas de AC es una opción para conservar y mejorar el recurso edáfico en sus componentes físicos, químicos y biológicos. En consecuencia, mejora la producción de maíz en milpas con periodos de descanso cortos o suelos de uso continuo en condiciones de temporal. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de prácticas de agricultura de conservación con la incorporación de tres leguminosas y el uso de estiércol de ovino en sistemas de producción sobre los componentes del rendimiento del cultivo de maíz en la milpa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio

El estudio se llevó a cabo en un predio con cinco años de descanso, ubicado en las coordenadas 20°31'46,59" N, 88°41'18,59" W, en la localidad de Yaxunah, Yaxcabá, Yucatán (Figura 1), con un clima cálido-subhúmedo (Aw¹), temperatura media anual de 26°C y precipitación pluvial de 1300 mm (INEGI 2010). El suelo de las unidades experimentales es Cambisol, con relieve plano y ligeras afloraciones de roca madre. El experimento se realizó en el ciclo primavera-verano del 2022.

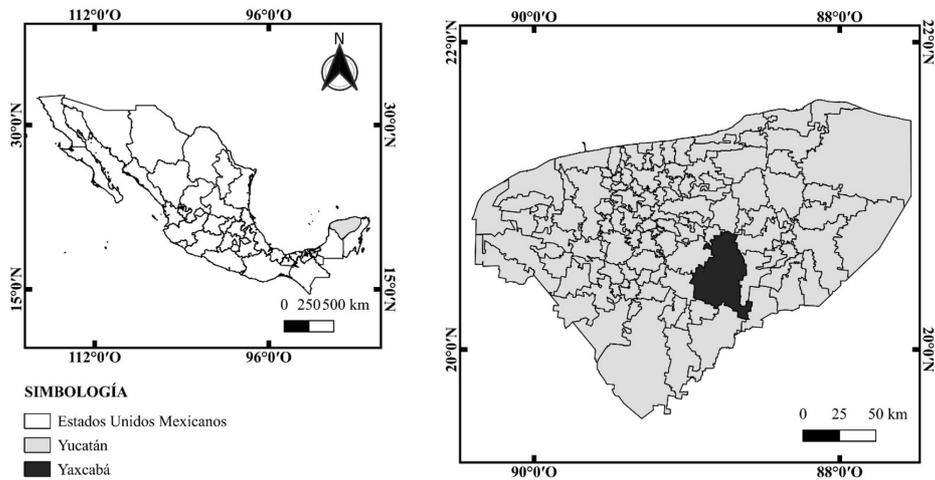


Figura 1. Ubicación geográfica del sitio de estudio.

Diseño experimental

Se establecieron unidades experimentales de 54 m² (6 x 9 m), con un área útil de 32 m² (4 x 8

m) en un diseño de bloques completos al azar, con cuatro tratamientos (Tabla 1) y cinco repeticiones.

Tabla 1. Descripción de los tratamientos aplicados para la producción de maíz en Yaxunah, Yaxcabá, Yucatán.

Tratamiento	Clave**	Cultivos intercalados	Fuente de fertilización*
T1	MI, DAP	Maíz, frijol ib o frijol lima, calabaza	DAP
T2	MI, EO	Maíz, frijol ib o frijol lima, calabaza	EO
T3	MLC, EO	Maíz, lenteja o gandúl, calabaza	EO
T4	MMB, EO	Maíz, frijol terciopelo	EO

* DAP: fosfato diamónico, EO: estiércol ovino.

** MI, DAP: Maíz, frijol lima, calabaza, fosfato diamónico; MI, EO: Maíz, frijol lima, calabaza, estiércol ovino; MLC, EO: Maíz, lenteja o gandul, calabaza, estiércol ovino; MMB, EO: Maíz, Mucuna, estiércol ovino.

Establecimiento de los cultivos

La vegetación del terreno fue cortada manualmente y quemada previo al establecimiento de los cultivos para eliminar la vegetación secundaria, lo cual implicó la ausencia de rastrojo para este primer ciclo. La preparación del suelo fue tradicional, sin labranza. La siembra se

realizó de manera manual con un palo sembrador de acuerdo con los tratamientos (Tabla 1). Los arreglos topológicos fueron; 1,0 m entre hileras y 0,5 m entre plantas para el maíz (*Zea mays* L.) de la raza Tuxpeño; 1,5 m entre hileras y 1,5 m entre plantas para el frijol ib (*Phaseolus lunatus*), lenteja (*Cajanus cajan* L.) y frijol terciopelo (*Mucuna* sp.); 3,0 metros entre hileras y 3,0 metros entre

plantas para la calabaza (*C. moschata*). Se depositaron dos semillas por cepa para cada cultivo. La siembra de maíz, frijol ib, lenteja y calabaza fue simultánea realizada el 24 de junio de 2022. El frijol terciopelo se sembró 30 días después de la siembra del maíz para reducir el efecto negativo en el rendimiento del maíz debido a la competencia por el N del suelo entre la fabácea y la gramínea (Castillo y Caamal 2011). Se realizaron deshierbas manuales para eliminar las arvenses y mantener el cultivo libre de competencia durante el periodo crítico. Fue innecesario el uso de agroquímicos para el control de plagas.

Aplicación de estiércol y fertilizante

Cuando las plantas en el tratamiento T1 alcanzaron la etapa V6, se aplicó fosfato diamónico (DAP), depositando de manera manual 5 g sobre la superficie de cada cepa, equivalente a una dosis de 100 kg ha⁻¹. Se seleccionó ese fertilizante por ser usado comúnmente por productores milperos de la región (Moya *et al.* 2003) debido a la limitada disponibilidad de P soluble en suelos calcaeos como los de Yucatán (Ramírez *et al.* 2019).

En los tratamientos T2, T3 y T4 se aplicó (al momento de la siembra) 0,2 kg de estiércol maduro de ovino de manera manual localizado sobre la cepa de siembra, equivalente a una dosis de 4 t ha⁻¹. El estiércol utilizado fue recolectado y retirado de los corrales, se almacenó durante un período mínimo de cuatro meses, después fue embolsado y transportado para la aplicación en los tratamientos correspondientes. Se ha reportado que el mismo tipo de estiércol, colectado en condiciones ambientales y de manejo productivo similares, aporta alrededor de 137 kg de N, 20 kg de P y 64 kg de K (Parsons *et al.* 2009).

VARIABLES DE RESPUESTA

En el área útil de las unidades experimentales se registraron las variables número de plantas, número de mazorcas y rendimiento de grano. El conteo de plantas y la cosecha de mazorcas se realizó cuando la planta alcanzó la madurez fisiológica. Las mazorcas se cosecharon de manera manual, libres de brácteas. Para obtener el coeficiente de desgrane se extrajeron submuestras de

10 mazorcas seleccionadas aleatoriamente de la cosecha en cada unidad experimental (Triomphe 2011), se desgranaron manualmente y se dividió el peso total del grano entre el peso del grano con el hueso de la mazorca, el valor se multiplicó por cien para transformarlo a porcentaje. El contenido de humedad en el grano se midió con un determinador John Deere® SW08120, para los granos obtenidos de las submuestras.

El rendimiento de grano se determinó ajustando la humedad a 14% con la metodología propuesta por Triomphe (2011), la cual consistió en multiplicar el peso total de las mazorcas cosechadas en la unidad experimental por el coeficiente de desgrane de su respectiva submuestra para obtener el peso total de grano en el área útil, posteriormente, se multiplicó por el factor de corrección de humedad (FCH) que se determinó con la siguiente ecuación.

$$FCH = (100 - H\%)/86 \quad (1)$$

Donde *H%* es el contenido de humedad del grano determinado en las submuestras.

El número de plantas, mazorcas y rendimiento de grano estimado en el área de la parcela útil se transformó a rendimiento por hectárea multiplicando los valores obtenidos por el factor de corrección de área (FCA) que se obtuvo de la siguiente manera:

$$FCA = \frac{10,000}{\text{Superficie del área útil}} \quad (2)$$

Donde *Superficie del área útil* es el área expresada en metros cuadrados.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se aplicaron pruebas de normalidad Shapiro-Wilk y de homogeneidad de varianzas Bartlett (Tabla 2). Se realizaron los análisis de varianzas y se aplicaron pruebas de rango múltiple de medias de Duncan ($p < 0,05$) de acuerdo con el diseño experimental, mediante el lenguaje de programación R (R Core Team 2023).

Tabla 2. Pruebas de normalidad Shapiro-Wilk y homocedasticidad de Bartlett para las variables de los componentes del rendimiento de grano de maíz.

Variable	Shapiro-Wilk		Bartlett	
	Valor W	Valor P	K cuadrada de Bartlett	Valor P
Plantas ha ⁻¹	0,951	0,390	6,162	0,104
Mazorcas ha ⁻¹	0,966	0,670	7,610	0,054
Coefficiente de desgrane (%)	0,927	0,136	3,583	0,310
Humedad del grano (%)	0,940	0,244	4,879	0,180
Rendimiento de grano (kg ha ⁻¹)	0,949	0,366	6,034	0,110

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza indicó valores sin diferencia significativa ($p>0,05$) entre

tratamientos para las variables de número de plantas (Figura 2), coeficiente de desgrane y contenido de humedad (Figura 3).

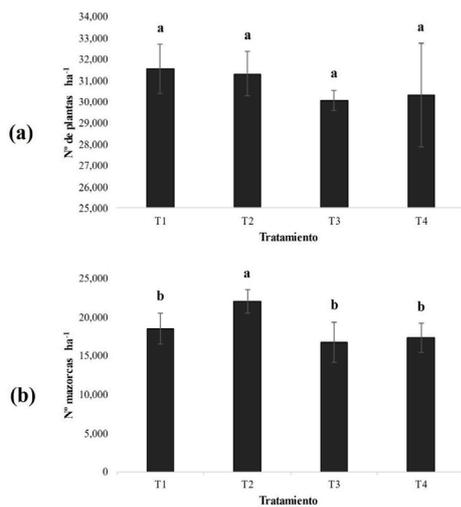


Figura 2. Valor promedio de plantas de maíz (a) y producción de mazorcas (b) por hectárea con tratamientos de agricultura de conservación en el ciclo Primavera-Verano 2022 en Yaxunah, Yaxcabá, Yucatán, México. Letras diferentes en las barras indican diferencia significativa entre los tratamientos ($p < 0,05$). Líneas verticales en las barras indican el error estándar.

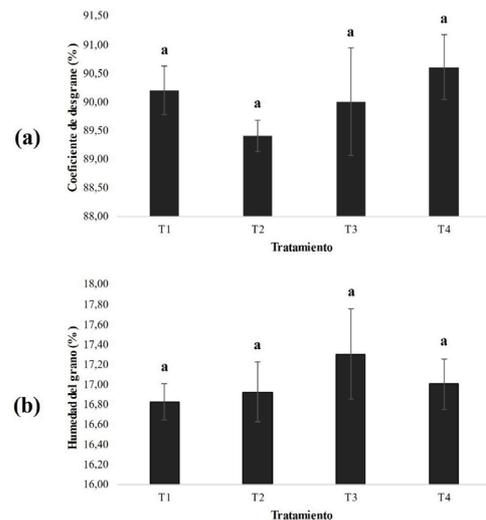


Figura 3. Valor promedio del coeficiente de desgrane (a) y contenido de humedad (b) del grano de maíz con tratamientos de agricultura de conservación en el ciclo Primavera-Verano 2022 en Yaxunah, Yaxcabá, Yucatán, México. Letras iguales en las barras indican sin diferencia significativa entre los tratamientos ($p > 0,05$). Líneas verticales en las barras indican el error estándar.

En este trabajo se presentó el mayor número de plantas en el tratamiento T2, seguido de T4 y T3; con la misma tendencia se manifestaron los rendimientos de grano (Tabla 3). Resultados similares a los de este experimento fueron reportados por Ayala *et al.* (2009) donde el número de plantas de maíz por unidad experimental fue igual tanto en la siembra intercalada

con frijol terciopelo como con frijol espada (*Canavalia ensiformis*) con y sin aplicación de 100 kg ha⁻¹ de P (P₂O₅) en el tercer ciclo del cultivo, aunque difiere con el rendimiento de grano de maíz, el cual fue similar entre los tratamientos sin seguir una tendencia como la que se mencionó anteriormente.

Tabla 3. Análisis de varianza para las variables de los componentes del rendimiento de grano de maíz.

Variable	Tratamiento	Media	Valor de F	Valor de P
Plantas ha ⁻¹	MI, DAP	31 563	0,40	0,75
	MI, EO	31 313		
	MLC, EO	30 063		
	MMB, EO	30 313		
Mazorcas ha ⁻¹	MI, DAP	18 500	8,2	0,003
	MI, EO	22 000		
	MLC, EO	16 750		
	MMB, EO	17 313		
Coeficiente de desgrane (%)	MI, DAP	90,2	0,81	0,51
	MI, EO	90,0		
	MLC, EO	89,4		
	MMB, EO	90,6		
Humedad del grano (%)	MI, DAP	16,82	0,39	0,761
	MI, EO	16,92		
	MLC, EO	17,3		
	MMB, EO	17,0		
Rendimiento de grano (kg ha ⁻¹)	MI, DAP	1 510	3,42	0,05
	MI, EO	1 183		
	MLC, EO	1 144		
	MMB, EO	1 355		

MI,DAP: Maíz, frijol lima, calabaza, fosfato diamónico; MI,EO: Maíz, frijol lima, calabaza, estiércol ovino; MLC, EO: Maíz, lenteja o gandul, calabaza, estiércol ovino; MMB,EO: Maíz, Mucuna, estiércol ovino.
Prueba de rangos múltiples de Duncan $p < 0,05$.

El mayor número de mazorcas (22 000) se registró en el tratamiento T2, el cual fue diferente ($p < 0,05$) al resto de los tratamientos (Figura 2). La producción de mazorcas en los tratamientos T1, T3 y T4 fue similar ($p > 0,05$). En T1 se obtuvo una producción de 18 500 mazorcas, T3 y T4 presentaron 16 750 y 17 313 mazorcas, respectivamente (Tabla 3).

Se conoce que el estiércol de ovino en la dosis utilizada en este experimento tiene potencial para incrementar el número de mazorcas (Parsons *et al.* 2009). En condiciones similares, se ha reportado que la producción de mazorcas por hectárea, con las mismas dosis de estiércol y DAP en monocultivos de maíz, presenta valores sin diferencia significativa (Cough *et al.* 2022,

Itzá 2024), sin embargo, el uso de estiércol favoreció el rendimiento de mazorcas.

Que el número de mazorcas haya sido diferente significativamente (incluso entre tratamientos que recibieron fertilización con estiércol) se debe al número de plantas por hectárea reportadas al momento de la cosecha, ya que de él derivan otros componentes clave como el número de mazorcas, granos por mazorca y peso promedio del grano, que al final determinan rendimiento de grano de maíz (Nielsen 2023).

El mayor rendimiento de grano (1510 kg ha⁻¹) se obtuvo en el tratamiento T2, presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) respecto a T1 y T3; donde estos dos tratamientos resultaron similares estadísticamente ($p > 0,05$) con 1183 y 1144 kg ha⁻¹, respectivamente (Tabla 3). El tratamiento T4 presentó un rendimiento de 1355 kg ha⁻¹ similar a todos los tratamientos (Figura 4).

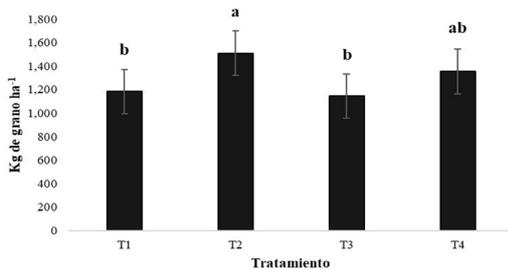


Figura 4. Rendimiento promedio de grano de maíz en una hectárea con tratamientos de agricultura de conservación en el ciclo Primavera-Verano 2022 en Yaxunah, Yaxcabá, Yucatán, México. Letras diferentes en las barras indican diferencia significativa entre los tratamientos ($p < 0,05$). Líneas verticales en las barras indican el error estándar.

El rendimiento de grano que se obtuvo con los diferentes tratamientos superó la media estatal registrada en el mismo año del experimento, el cual según datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2022) fue de 970 kg ha⁻¹.

Al comparar T1 con T2 y T4 se observaron incrementos en el rendimiento de grano y número de mazorcas (Tabla 3). No se manifestaron los efectos de las leguminosas y su capacidad para la fijación biológica de nitrógeno, ya que se ha demostrado que el rendimiento de maíz intercalado con frijol ib o frijol terciopelo se mantiene similar en comparación con el monocultivo, al menos hasta el tercer ciclo (Castillo *et al.* 2010). El incremento en el rendimiento se atribuye a las fuentes nutricionales utilizadas, ya que estos resultados coinciden con la investigación de Parsons *et al.* (2009), quienes reportaron incrementos en dicha variable al aplicar 4 t ha⁻¹ de estiércol en un cultivo de maíz en comparación con un control sin fertilización. Por su parte, Couoh *et al.* (2022) reportaron una mejor producción de mazorcas y grano de maíz al utilizar la misma cantidad de estiércol en contraste con el DAP.

El maíz es un cultivo que requiere alrededor de 19,5 kg de N y 7,2 kg de P por hectárea para producir una tonelada de grano, de los cuales 12,7 y 5,6 kg t⁻¹, respectivamente, son destinados principalmente para el desarrollo del grano (Castellanos *et al.* 2020a). El contenido de nitrógeno del suelo registrado en la zona donde se realizó el experimento es de 74 kg ha⁻¹, al adicionar el DAP con 18 kg de nitrógeno, sugiere que existe el potencial para alcanzar 2,3 t ha⁻¹ de grano considerando que la eficiencia en el uso del N es alrededor del 50-80% (Danso y Eskew 2005). El aprovechamiento del N (nutriente importante para la producción de grano) es influenciado por las fuentes nutrimentales utilizadas en los tratamientos.

La quema de la milpa favorece la producción la producción de maíz hasta por tres ciclos consecutivos (Pool y Hernández 1995) debido a que la adición de cenizas propicia la disponibilidad de P para los cultivos (Mariaca *et al.* 1995). Se ha reportado que en milpas con períodos de descanso cortos y suelos Cambisoles, (similares a la de este experimento), las reservas de P en el suelo después la quema y un ciclo de cultivo de maíz, frijol y calabaza es de 17,28 kg ha⁻¹, mientras que después del mismo cultivo, en un suelo libre de

manejo con fuego la reserva de P es menor; con un contenido de 7,56 kg ha⁻¹ (Ebel 2018).

Según la curva de absorción de N y P, la necesidad de estos elementos incrementa cuando el maíz alcanza la etapa V6 (Castellanos *et al.* 2020a). Es a partir de esta etapa que comienzan a ocurrir cambios fisiológicos en la planta que determinan el rendimiento final, como la diferenciación de mazorcas y formación de granos potenciales que definen el rendimiento final de grano (Castellanos *et al.* 2020b). El estiércol tiene un alto contenido de macronutrientes, cuyo N total y otros nutrimentos se encuentra en forma orgánica. Estos se liberan lentamente en el sistema, lo que disminuye las pérdidas (Sosa y García 2018) y permite una mayor disponibilidad de nutrientes durante las diferentes etapas del cultivo, entre ellas las más demandantes de N (V6-R1). Por el contrario alrededor del 50-80% del N de los fertilizantes inorgánicos se pierde por volatilización o lixiviación (Danso y Eskew 2005). Por lo anterior, la liberación lenta y paulatina de N y otros nutrientes, pudo ser responsable de que el cultivo de maíz presentara mejores rendimientos en los tratamientos T2 y T4 en comparación con T1. Sin embargo, no fue así en el tratamiento T3, el cual inexplicablemente presentó menor rendimiento a pesar de haberse utilizado el estiércol en la misma dosis también.

La reducción del rendimiento de grano de maíz en el tratamiento T3 (a pesar de haber recibido estiércol como fertilizante) se debió a una interferencia de la leguminosa, ya que la siembra de ambos cultivos fue simultánea. Esto coincide con lo descrito por Zayas *et al.* (2010) quienes reportaron en una siembra intercalada de *C. cajan* y maíz, un rendimiento de grano 980 kg ha⁻¹ inferior al testigo en monocultivo, mientras que la siembra de la leguminosa 60 días después de la siembra del maíz incrementó 1406 kg ha⁻¹ el rendimiento.

Al utilizar estiércol como complemento nutrimental, desde el primer ciclo de cultivo, incrementó el rendimiento, como se observó en el tratamiento T2. Esto representa una ventaja para los agricultores, ya que el uso continuo y racional

de estiércol en la agricultura permite conservar y mejorar diferentes propiedades del suelo con la adición de materia orgánica y minerales (Salazar *et al.* 2010, Trejo *et al.* 2013). Asimismo, permite reducir los costos de la producción al depender en menor medida de fertilizantes minerales (Vázquez 2003), además de que el estiércol es un subproducto de la producción animal que puede encontrarse fácilmente en los hogares rurales (Cuanalo y Guerra 2009, Cruz 2018).

CONCLUSIONES

El rendimiento de grano de maíz se registró en un rango de 1144 a 1510 kg ha⁻¹, valores superiores a la media estatal para el sistema milpa. El sistema basado en maíz, ib y calabaza con la aplicación de estiércol de ovino demostró potencial para incrementar la producción de maíz en el primer ciclo de cultivo al establecerse prácticas de agricultura de conservación. Las variables número de plantas, coeficiente de desgrane y contenido de humedad del grano no fueron afectadas por ninguno de los tratamientos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo del International Maize and Wheat Improvement Center a través del proyecto “Plataforma de Investigación y validación de innovaciones agroecológicas para el sistema milpa en Peto Yucatán” como parte de la iniciativa CGIAR Excelente in Agronomy. Así como a la Fundación W.K. Kellogg, por el apoyo a través del proyecto “Construcción transdisciplinaria de un proceso de innovación social para la soberanía alimentaria sostenible en comunidades de Yaxcabá, Yucatán” Clave sistproy: FMVZ-2022-0003.

LITERATURA CITADA

Arita, S. 2020. Efecto de la quema agrícola sobre las propiedades del suelo en una parcela de 20-25 años de barbecho en Yucatán, México. Tesis Lic. Yucatán, México, Universidad Autónoma de Yucatán. 88 p.

- Ayala, A; Krishnamurthy, L; Basulto, J. 2009. Leguminosas de cobertera para mejorar y sostener la productividad de maíz en el sur de Yucatán (en línea). *Terra Latinoamericana* 27(1):63-69. Consultado 13 de jun. 2024. Disponible en https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-57792009000100008&script=sci_arttext
- Bautista, F; García, J; Mizrahi, A. 2005. Diagnóstico campesino de la situación agrícola en Hocobá, Yucatán. *Terra latinoamericana* 23(4):571-580.
- Castellanos, J; Etchevers, J; Peña, M; García, S; Ortiz, I; Arango, A; Macías, J; Venegas, C. 2020a. Acumulación de biomasa y nutrientes. In Castellanos, J; Etchevers, J; Peña, M; García, S; Ortiz, I; Arango, A; Macías, J; Venegas, C (eds.). *¿Cómo crece y se nutre una planta de maíz?* 2 ed. s. l., Fertilab. 134 p.
- Castellanos, J; Etchevers, J; Peña, M; García, S; Ortiz, I; Arango, A; Macías, J; Venegas, C. 2020b. Desarrollo vegetativo. En: Castellanos, J; Etchevers, J; Peña, M; García, S; Ortiz, I; Arango, A; Macías, J; Venegas, C. (eds.). *¿Cómo crece y se nutre una planta de maíz?* 2 ed. s. l., Fertilab. 134 p.
- Castillo, E; Martín, E; López, G; Jiménez, J; Muñoz, G. 2021. Perspectivas del sistema milpa en Yucatán. *Bioagrociencias* 14(2):13-22. DOI: <http://dx.doi.org/10.56369/BAC.3912>
- Castillo, J; Caamal, J; Jiménez, J; Bautista, F; Amaya, M; Rodríguez, R. 2010. Evaluación de tres leguminosas como coberturas asociadas con maíz en el trópico subhúmedo. *Agronomía Mesoamericana* 21(1):39-50.
- Castillo, J; Caamal, J. 2011. Efecto de la fecha de siembra del frijol terciopelo (*Mucuna* sp.) como cultivo de cobertera en el rendimiento de maíz (en línea). *Tropical and subtropical Agroecosystems* 14(1):101-108. Consultado 13 jun. 2024. Disponible en <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/457/446>
- Castillo, J; López, A; Santos, J; Araujo, A. 2023. La importancia de la milpa en tiempos de Covid-19 (2004-2020). In Pech, R; Becerril, J (eds.). *Economía de Yucatán: más allá de la pandemia*. Ciudad de México, México, Miguel Ángel Porrúa. 232 p.
- Couoh, J; Castillo, J; Balam, B; Caamal, J. 2022. Biofertilizers for maize production in a milpa system on a Luvisol in Yucatán, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 25(3). DOI: <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.4225>
- Cruz, L. 2018. Análisis y valoración de las prácticas agropecuarias del solar en la comunidad de Kancabdzonot, Yaxcabá, Yucatán. Tesis Lic. Yucatán, México, Universidad Autónoma de Yucatán. 142 p.
- Cuanalo, H; Guerra, R. 2009. La estructura del grupo doméstico y del solar como ecosistemas en una comunidad mayense de Yucatán. X Simposio Internacional. V Congreso Anual de Agricultura Sostenible. s. l., s. p.
- Danso, S; Eskew, D. 2005. Aumento de la capacidad de fijación biológica del nitrógeno (en línea). *Agricultura y Alimentación, Boletín OIEA* 26(2):29-33. Consultado 23 jun. 2023. Disponible en https://www.iaea.org/sites/default/files/26206882933_es.pdf
- Ebel, R. 2018. Effects of Slash-and-Burn-Farming and Fire-Free Management on a Cambisol in a Traditional Maya Farming System. *Ciencia ergo-sum* 25(2). DOI: <https://doi.org/10.30878/ces.v25n2a5>
- Fonteyne, S; Castillo, J; López, S; Van, J; Espidio, J; Osorio, L; Martínez, F; Odjo, S; Verhulst, N. 2023. Review of agronomic research on the milpa, the traditional polyculture system of Meoamérica. *Frontiers in Agronomy* 5(2023):1-16. DOI: <https://doi.org/10.3389/fagro.2023.1115490>
- Friedrich, T; Derpsch, R; Kassam, A. 2012. Overview of the Global Spread of Conservation Agriculture. *Field Actions Science Reports* (en línea). Special Issue 6. Consultado 2 nov. 2023. Disponible en <https://journals.openedition.org/factsreports/1941>
- Hernández, E. 1988. La agricultura tradicional en México. *Comercio Exterior* 38(8):673-678.
- INEGI. 2010. Compendio de información geográfica municipal 2010. Yaxcabá, Yucatán, México. s. p.
- Itzá, G. 2024. Efecto de microorganismos de monte y enmiendas en la producción de maíz de temporal en Yucatán, México. Tesis Lic. Yucatán, México, Universidad Autónoma de Yucatán. 88 p.
- Linares, E; Bye, R. 2011. ¡La milpa no es solo maíz! En: Álvarez-Buylla, E; Carreón-García, A; San Vicente-Tello, A. (eds.). *Haciendo milpa. La protección de las semillas y la agricultura campesina*. México, Universidad Nacional Autónoma de México. 91 p.
- Mariaca, R. 2015. La milpa maya yucateca en el siglo XVI: Evidencias etnohistóricas y conjeturas (en línea). *Etnobiología* 13(1):1-25. Consultado 17 jun. 2024. Disponible en <https://revistaetnobiologia.mx/index.php/etno/article/view/71/69>
- Mariaca, R; Hernández, E; Castillo, M; Moguel, O. 1995. Análisis estadístico de una milpa experimental de ocho años de cultivo continuo bajo roza-tumba-quema en Yucatán, México. In Hernández, E; Bello, B; Levy, T (eds.). *La Milpa en Yucatán: Un Sistema de Producción Agrícola Tradicional*. Tomo II. México, Colegio de Postgraduados. p. 339-368.
- Martínez, D; Sánchez, J; Rodríguez, M; Astier, M. 2020. Sustentabilidad de agroecosistemas de milpa en La Trinidad Ixtlán, Oaxaca. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata* 119(2):1-16. DOI: <https://doi.org/10.24215/16699513e048>

- Moya, X; Caamal, A; Ku, B; Chan, E; Armendáriz, I; Flores, J; Moguel, J; Noh, M; Rosales, M; Xool, J. 2003. La agricultura campesina de los mayas en Yucatán (en línea). LEISA Revista de Agroecología 19(0):7-17. Consultado 23 jun. 2024. Disponible en <https://leisa-al.org/web/revista/volumen-19-numero-0/la-agricultura-campesina-de-los-mayas-en-yucatan/>
- Moya, X; Ku, B. 2001. La milpa (kool) de los mayas yucatecos: cambiando para permanecer (en línea). LEISA Revista de Agroecología 16(3):17-19. Consultado 23 jun. 2024. Disponible en <https://leisa-al.org/web/revista/volumen-16-numero-03/la-milpa-kool-de-los-mayas-yucatecos-cambiando-para-permanecer/>
- Nielsen, R. 2023. Manejo del cultivo para lograr altos rendimientos. In Castellanos, J; Arévalo, J (eds.). Manual de producción de maíz. s. l., Intagri. 437 p.
- Nigh, R; Diemont, S. 2013. The Maya milpa: fire and the legacy of living soil. *Frontiers in Ecology and the Environment* 11(s1):45-54. DOI: <https://doi.org/10.1890/120344>
- Ortíz, J; Sánchez, O; Ramos, J. 2014. Productive activities and management of the milpa in three communities of the municipality of Jesús Carranza, Veracruz, México (en línea). *Polibotánica* 38(19):173-191. Consultado 17 jun. 2024. Disponible en <https://polibotanica.mx/index.php/polibotanica/article/view/385/251>
- Parsons, D; Ramírez, L; Cherney, J; Ketterings, Q; Blake, R; Nicholson, C. 2009. Managing Maize Production in Shifting Cultivation Milpa Systems in Yucatan, Through Weed Control and Manure Application. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 133(1-2):123-134. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.05.011>
- Pérez, A. 1981. La agricultura milpera de los mayas de Yucatán. In Varguez, L (ed.). La milpa entre los mayas de Yucatán. México, Universidad de Yucatán. p. 1-28.
- Pool, L. 2001. Dinámica de la milpa en Yucatán. *Ecofronteras* (13):26-28. Consultado 18 mar. 2024. Disponible en <https://revistas.ecosur.mx/ecofronteras/index.php/eco/article/view/434/432>
- Pool, L; Hernández, E. 1995. Bases de la experimentación agrícola bajo roza-tumba- quema: el caso de milpa. In Hernández, E; Bello, B; Levy, S (eds.). La milpa en Yucatán: Un sistema de producción agrícola tradicional. México, Colegio de Postgraduados. p. 313-337.
- Polanco, A; Magaña, T; Cetz, J; Quintal, R. 2019. Use of carcinogenic agrochemicals in the agricultural region Yucatán, México (en línea). *Centro Agrícola* 46(2):72-83. Consultado 18 jun. 2024. Disponible en <http://cagricola.uclv.edu.cu/index.php/es/volumen-46-2019/no-2-abr-jun-2019/1153-uso-de-agroquimicos-cancerigenos-en-la-region-agricola-de-yucatan-mexico>
- Ramírez, J; Ramírez, G; Lozano, M; Arellano, F. 2019. Fertilidad del suelo en una milpa maya de Yucatán, México. *Revista del Centro de Graduados e Investigación. Instituto Tecnológico de Mérida* 34(78):255-259.
- R Core Team. 2023. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Consultado 17 jun. 2024. Disponible en <https://www.R-project.org/>
- Rodríguez, A; González, P; Flores, J; Nava, R; Dzib, L; Pérez, J; Thüerbeck, N; González, J. 2016. Milpas de las comunidades mayas y dinámica de uso del suelo en la Península de Yucatán. USAID, M-REDD+, The Nature Conservancy, Rainforest Alliance, Woods Hole Research, Espacios Naturales y Desarrollos Sustentables AC. Mérida, Yucatán, México, Centro Regional Universitario Península de Yucatán de la Universidad Autónoma Chapingo. 436 p.
- Salazar, E; Trejo, H; López, J; Vázquez, C; Serrato, J; Orona, I; Flores, J. 2010. Efecto residual de estiércol bovino sobre el rendimiento de maíz forrajero y propiedades del suelo (en línea). *Terra Latinoamericana* 28(4):381-390. Consultado 17 jun. 2024. Disponible en https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792010000400010
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2022. Anuario estadístico de la producción agrícola. Consultado 17 jun. 2024. Disponible en <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Sosa, B; García, Y. 2018. Eficiencia de uso del nitrógeno en maíz fertilizado de forma orgánica y mineral. *Agronomía Mesoamericana* 29(1):207-219. DOI: <https://doi.org/10.15517/ma.v29i1.27127>
- Terán, S; Rasmussen, C. 2009. La milpa de los mayas. 2ª ed. México, Universidad Nacional Autónoma de México. 395 p.
- Trejo, H; Salazar, E; López, J; Vázquez, C. 2013. Impacto del estiércol bovino en el suelo y producción de forraje de maíz (en línea). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(5):727-738. Consultado 17 jun. 2024. Disponible en https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342013000500006&script=sci_arttext
- Triomphe, B. 2011. Productividad en parcelas de maíz. En: Bautista, F; Palacio, J; Delfin, H; Páez, R; Carmona, E; Delgado, M. (eds.). Técnicas de muestro para manejadores de recursos naturales. 2 ed. México, Universidad Nacional Autónoma de México. p. 623-638.
- Uuh, J; Mex, R; Vázquez, K; Segura, M. 2024. Aspectos socio-ecológicos y de producción en la milpa de Tixméhuac, Yucatán. *Bioagrociencias* 17(1):86-96.

- Vázquez, R. 2003. Uso y manejo de estiércoles (en línea). *In* Salazar, E; Fortis, M; Vázquez, A; Vázquez, C (eds.). *Abonos orgánicos y plasticultura*. s. l., Facultad de Agricultura y zootecnia de la UJED. 86-108. Consultado 07 dic. 2023. Disponible en https://www.smcsmx.org/files/books/abonos_org.pdf
- Zayas, I; Leguizamón, C; López, J. 2010. Asociación maíz-Cajanus cajan en un alfiler de Paraguari. Manejos y aporte potencial de nitrógeno, fósforo y potasio. *Investigación Agraria* 12(1):23-28.



Agronomía Costarricense. Universidad de Costa Rica. Se encuentra licenciada con Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional. Para mayor información escribir a rac.cia@ucr.ac.cr