

Efecto del sistema asociado con frijol caupí (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) sobre el comportamiento agronómico, fisiológico y daño por gusano cogollero de tres cultivares de maíz criollo

Effect of the intercropping system with cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) on the agronomic and physiological performance and damage by fall armyworm in three landraces of maize

Aldo Daniel Chan-Arjona¹ , Esaú Ruiz-Sánchez^{1*} , Roberto Rafael Ruiz-Santiago¹ , Rene Garruña-Hernández^{1,2} 
, Luis Latournerie-Moreno¹ 

¹ División de estudios de posgrado e investigación, Tecnológico Nacional de México/Campus Conkal, Avenida Tecnológico s/n, Conkal, Yucatán, México. CP. 97345.

² SECIHTI—Instituto Tecnológico de Conkal, Av. Tecnológico s/n, Conkal 97345, Yucatán, México.

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the agronomic and physiological performance of Yucatan landrace maize due to intercropping with cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). The experiment was conducted using a randomized complete block design with three replications. Three landrace maize cultivars (*Naal teel*, *Nal xoy* and *Dzit bacal*) were established in both monoculture and in association with *V. unguiculata*. Agronomic performance was evaluated by measuring growth variables, yield components, and damage by fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*, Lepidoptera: Noctuidae), as well as physiological variables related to gas exchange. Data obtained were analyzed using Student's t-test. Maize plants intercropped with *V. unguiculata* showed the lowest damage levels (damage grade 2.5 to 3) by fall armyworm (*S. frugiperda*), along with the highest values for physiological variables. *Naal teel* and *Nal xoy* maize cultivars established in association had the highest number of filled ears and grain yield (1 to 1.7 tons per ha). On the other hand, growth variables showed no differences between plants established in monoculture and those in association. Intercropping *V. unguiculata* with maize enhances yield and plant physiology, as well as reduces the degree of damage caused by *S. frugiperda*.

Keywords: policulture; associated crops; maize production.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue determinar el comportamiento agronómico y fisiológico de maíces criollos de Yucatán por efecto de la asociación con frijol caupí (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). El experimento se estableció bajo un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Se establecieron tres cultivares de maíz criollo (*Naal teel*, *Nal xoy* y *Dzit bacal*) en monocultivo y asociado con *V. unguiculata*. Se evaluó el comportamiento agronómico midiendo variables de crecimiento, componentes de rendimiento y daño por gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*, Lepidoptera: Noctuidae), así como variables fisiológicas de intercambio de gases. Los datos obtenidos se analizaron mediante la prueba t de Stu-

dent. Las plantas de maíz establecidas en asociación con *V. unguiculata* mostraron los menores daños (grado de daño 2.5 a 3) por gusano cogollero (*S. frugiperda*), así como los mayores valores en las variables fisiológicas. Los cultivares *Naal teel* y *Nal xoy* establecidas en sistema asociado tuvieron mayor número total de mazorcas llenas y rendimiento de grano (1 a 1.7 ton ha⁻¹). Por otra parte, las variables de crecimiento no tuvieron diferencias entre las plantas establecidas tanto en el monocultivo, como en el asociado. El establecimiento de *V. unguiculata* como cultivo asociado al maíz causa mejoras en el rendimiento y fisiología de las plantas, así como reducción en el grado de daño producido por *S. frugiperda*.

Palabras clave: policultivos; cultivos asociados; producción de maíz

INTRODUCCIÓN

Los maíces criollos de México se caracterizan por su gran diversidad genética, heterogeneidad en su crecimiento vegetal y variación en sus rendimientos, así como su amplia variedad en colores, tamaños y texturas que los diferencia de las variedades mejoradas (Orozco-Ramírez *et al.*, 2016; Santos *et al.*, 2018). En México se ha reportado 64 razas de maíz, donde solamente 59 son consideradas como criollas (Guzzon *et al.*, 2021). El cultivo de maíces criollos se lleva a cabo por productores de pequeña y mediana escala en condiciones de temporal, esto debido a la falta de infraestructura de riego en este sector de producción agrícola (SIAP, 2021; Reyes-Santiago *et al.*, 2022). Actualmente la distribución principal de maíces criollos en México principalmente incluye los estados del centro del país, el Sur y la Península de Yucatán (Ureta *et al.*, 2020). La conservación de maíces criollos en las comunidades rurales representa su patrimonio biocultural, esto debido a que en el cultivo se integran aspectos culinarios regionales y de creencias religiosas (Palacio-Rojas *et al.*, 2020; Rodríguez-Bustos *et al.*, 2023; de Souza y Marques, 2024).

La producción de los maíces criollos en su mayoría se lleva a cabo en sistemas tradicionales de policultivos, en los que el maíz cumple el papel de cultivo primario, el cual es establecido con dos o más especies vegetales en un mismo

*Autor para correspondencia: Esaú Ruiz-Sánchez
Correo-e: esau_ruiz@hotmail.com

Recibido: 10 de junio de 2024

Aceptado: 10 de febrero de 2025

Publicado: 7 de marzo de 2025

agroecosistema (Araujo *et al.*, 2021; González-Esquivel *et al.*, 2023). En estos sistemas de producción, es común asociar el cultivo de maíz criollo con alguna especie de leguminosa comestible, entre las más utilizadas se encuentran el frijol caupí (*Vigna unguiculata* L.), frijol lima (*Phaseolus vulgaris* L.), soya (*Glycine max* L.) y cacahuate (*Arachis hypogaea* L.) (Hailu *et al.*, 2018). El establecimiento de las leguminosas en estos sistemas de producción permite a los productores obtener granos comestibles de alto contenido proteico para su alimentación. De manera adicional, existen otros beneficios de establecer los cultivos asociados maíz-leguminosas, dentro de los cuales destaca la disminución de daño por insectos plaga y el aporte de nutrientes importantes al suelo, como el nitrógeno y fósforo (Alemayehu *et al.*, 2018; Kebede, 2021; Li *et al.*, 2021).

Estudios sobre efectos de la asociación maíz-leguminosas han documentado la reducción de daño por plagas en el cultivo de maíz, misma que se ha atribuido a la atracción de enemigos naturales (Altieri *et al.*, 2019; Librán-Embid *et al.*, 2023). Este efecto se ha observado para el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*, Lepidoptera: Noctuidae), gusano barrenador del tallo (*Diatraea saccharalis*) y gusano elotero (*Helicoverpa zea*), donde se ha registrado reducciones hasta de 70 % en daños por plagas del maíz (Hailu *et al.*, 2018; Librán-Embid *et al.*, 2023; Bi *et al.*, 2023). Se ha encontrado que en los sistemas de cultivo asociado maíz-leguminosas, el aumento de la población de enemigos naturales (parasitoides y depredadores) se da por la liberación de compuestos orgánicos volátiles de las leguminosas (Sobhy *et al.*, 2022). En la asociación maíz-leguminosa también resalta la fijación biológica del nitrógeno atmosférico por la asociación simbiótica de bacterias y las raíces de las leguminosas, donde el producto final de este proceso es la disposición de nitrógeno asimilable en el suelo (Schwember *et al.*, 2019; Anas *et al.*, 2020; Kirova y Kocheva, 2021). Además, la liberación de ácidos orgánicos y enzimas fosfatasa a través de las raíces de las leguminosas favorecen la descomposición de materia orgánica y disposición de fósforo (Margalef *et al.*, 2017; Mndzebele *et al.*, 2020; Kebede, 2021). Estos procesos promueven el crecimiento vegetal, los parámetros fisiológicos y la producción de grano de las plantas de maíz cuando se asocian a las leguminosas (Li *et al.*, 2021). Se ha observado que el efecto de la asociación maíz-leguminosa es dependiente del cultivar de maíz. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del sistema asociado con frijol caupí (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) sobre el comportamiento agronómico, fisiológico y daño por gusano cogollero de tres cultivares de maíz criollo de Yucatán (*Naal teel* de ciclo corto, *Nal xoy* de ciclo intermedio y *Dzit bacal* de ciclo tardío).

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación

El experimento se estableció en el Municipio de Conkal, Yucatán (Latitud: 21° 04' 49.9" y Longitud: 89° 29' 53.8"), durante los meses de julio a octubre de 2023. La temperatura media mensual fue de 29.9 °C, la máxima de 36.6 °C y la mí-

nima de 23.5 °C. La precipitación pluvial acumulada durante el ciclo de cultivo (julio-octubre) fue de 350 mm. El suelo es un Leptosol, con 0.93 % N, y los contenidos totales de P, K, Ca y Mg son 2.45, 3.5, 49.38 y 2.63 g kg⁻¹, respectivamente (Ruiz-Santiago *et al.*, 2024; Dos-Santos *et al.*, 2024).

Establecimiento del cultivo y de los tratamientos

Se estableció en campo tres cultivares de maíz criollo (*Naal teel* de ciclo corto, 65 días a floración; *Nal xoy* de ciclo intermedio, 75 días a floración; y *Dzit bacal* de ciclo tardío, 95 días a floración, y uno de frijol caupí (*V. unguiculata*) colectados en la región de Xoy, Peto, Yucatán. El cultivar de frijol caupí domingo (*V. unguiculata*) es de crecimiento arbustivo de ciclo corto (60 d a floración). Los cultivares de maíz se establecieron en dos sistemas de producción (monocultivo y asociado) como tratamientos, los cuales se distribuyeron bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones, donde se analizó el efecto del sistema de producción en cada cultivar de maíz.

La siembra se realizó de forma directa mediante el uso de espeque depositando dos semillas por punto con separación de 0.6 m entre puntos y de 1 m entre filas en el monocultivo de maíz y en el sistema asociado, se estableció el frijol caupí (*V. unguiculata*) en la misma fila del maíz, sembrando dos semillas por punto a 0.3 m de separación de las plantas de maíz. El número total de plantas de maíz y frijol caupí en ambos sistemas fue de 33, 333 plantas por ha. Las parcelas experimentales consistieron de tres filas, con una longitud de 12 m. El manejo agronómico del cultivo se llevó a cabo con fertilización NPK al 120-60-00 realizada en dos aplicaciones proporcionales a los 10 y 30 d después de la emergencia (DDE). Cuando el cultivo alcanzó los 50 DDE se aplicó fertilizante foliar Poliquel® Multi a la concentración de 2 L/ha⁻¹. El manejo de arvenses se llevó a cabo de forma manual mediante el uso de coas para deshierbe a los 15, 35 y 50 días de la emergencia. No se aplicó insecticidas con el fin de promover el establecimiento de plagas, como gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), y poder evaluar el efecto del sistema de producción.

Crecimiento vegetativo

Se seleccionaron 12 plantas (cuatro por repetición) en etapa de floración en cada uno de los cultivares, para evaluar la altura de la planta (cm), diámetro de tallo (mm), número de hojas, peso seco hojas (g), área foliar (cm²) y área foliar específica (cm²g⁻¹). La altura de planta se midió de la base del tallo hasta la hoja bandera mediante un flexómetro (Pretul), el diámetro del tallo se midió de la base de la planta con un vernier digital (Mitutoyo 500-193-30 Calibrador digital -CD-12" ASX), el área foliar se midió con un medidor de área portátil (LI-3000C, LI-COR, Lincoln NE, EE. UU.). Las hojas obtenidas por cada planta muestreada, se secaron a 60°C por 4 días en una estufa industrial y se pesaron en una balanza granataria (DAMAUS CQT1752GR) hasta alcanzar el peso constante. El área foliar específica (cm² g⁻¹) se calculó dividiendo el área foliar (cm²) por la masa seca (g).



Daño foliar por gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*)

Se evaluó la incidencia y grado de daño foliar por gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) a los 60 días después de la emergencia (DDE). Se seleccionaron 60 plantas por parcela para la incidencia y 36 plantas para el grado de daño por cada cultivar de maíz. La incidencia se determinó por la proporción del número de plantas dañadas con respecto al número total de plantas muestreadas. El grado de daño foliar se obtuvo examinando hojas jóvenes del cogollo totalmente extendidas, aplicando la escala de daño visual con 10 grados propuesta por Davis *et al.* (1992), donde 0 hace referencia a una planta sana y 9 a una planta dañada en su totalidad de hojas.

Parámetros fisiológicos

La evaluación fisiológica se realizó en tres plantas por parcela en etapa de floración, en horario de 10:00 am. Para las mediciones se usaron las hojas bandera con cinco lecturas por hoja en las plantas seleccionadas. Las variables evaluadas, fueron: tasa fotosintética ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), transpiración ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) y uso eficiente del agua ($\mu\text{mol CO}_2/\text{mmol H}_2\text{O}$). Las variables se midieron con un analizador de gases infrarrojo (IRGA; LICOR, LI-6400, Lincoln, NE, EE.UU.), calibrado con $400 \mu\text{mol mol}^{-1}$ de CO_2 y una fuente de luz $2000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para evitar la heterogeneidad por turbidez en un horario de 10:00 am.

Componentes del rendimiento

Se evaluó la producción de mazorcas y el rendimiento total de grano. Se contabilizó el total de mazorcas llenas, las características generales de las mazorcas (número total de granos por mazorca y peso seco de 100 granos), así como el rendimiento total de grano. Esta última variable se extrapoló a toneladas por hectárea.

Análisis de datos

Previo al análisis, se comprobó que los datos cumplieran los supuestos de normalidad e independencia. Para la normalidad se usó la prueba Shapiro-Wilk y para la independencia la prueba de Durbin-Watson. Posteriormente, se aplicó pruebas de agrupamiento jerárquico de medias y se determinó la diferencia estadística mediante la prueba t de student. Las medias se consideraron significativamente diferentes si el valor de $P < 0.05$. Todos los análisis se realizaron con el software estadístico Infostat Versión 2020 (Di Rienzo *et al.*, 2016).

RESULTADOS**Crecimiento de plantas de maíz**

No se observó efectos del sistema de producción (monocultivo y asociado) en las variables de crecimiento de maíz en los tres cultivares (Figura 1). En el monocultivo y asociado, la altura de planta tuvo valores de 252.3 y 250.5 cm en *Naal teel*, 260.8 y 264.3 cm en *Nal xoy*, 333.3 y 321.8 cm en *Dzit bacal*. El diámetro de tallo tuvo valores de 22.43 y 23.20 mm en *Naal teel*, 23.62 y 23.33 mm en *Nal xoy*, 27.93 y 25.49 mm en *Dzit bacal*. El número de hojas tuvo valores de 16 hojas en *Naal*

teel, 17 hojas en *Nal xoy* y 18 hojas en *Dzit bacal*. El área foliar mostró valores de 6195.2 y 6727.1 cm^2 en *Naal teel*, 7094.4 y 7201.0 cm^2 en *Nal xoy*, 11083.3 y 10065.2 cm^2 en *Dzit bacal*. El peso seco de hojas tuvo valores de 41.7 y 46.3 g en *Naal teel*, 45.5 y 46.0 g en *Nal xoy*, 76.7 y 72.14 g en *Dzit bacal*. El área foliar específica mostró valores de 148.5 y 148.3 $\text{cm}^2 \text{ g}^{-1}$ en *Naal teel*, 156.5 y 158.0 $\text{cm}^2 \text{ g}^{-1}$ en *Nal xoy*, 144.7 y 143.73 $\text{cm}^2 \text{ g}^{-1}$ en *Dzit bacal*.

Daño foliar por gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*)

La incidencia del daño por *S. frugiperda* fue similar en las plantas de maíz establecidas en monocultivo y asociado. La incidencia de daño por *S. frugiperda* en los tres cultivares tuvo valores promedio de 95 a 100 % (Figura 2a). Sin embargo, el sistema de producción (monocultivo y asociado) mostró efectos significativos ($P < 0.05$) en el grado de daño en las plantas de maíz (Figura 2b). El grado de daño foliar disminuyó significativamente en el asociado con valores de 2.5 a 3.5, en comparación con lo reportado en monocultivo, donde se registró valores de 5 a 6.

Parámetros fisiológicos

Los sistemas de producción (monocultivo y asociado) mostraron efectos significativos ($P < 0.05$) en las variables fisiológicas de las plantas de maíz (Figura 3). El asociado aumentó la tasa fotosintética (Figura 3a) de las plantas en los tres cultivares (*Naal teel*: 40.22, *Nal xoy*: 42.02 y *Dzit bacal*: 42.27 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). La transpiración (Figura 3b) aumentó únicamente en los cultivares *Naal teel* (8.43 $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) y *Dzit bacal* (42.2 $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). El uso eficiente de agua (Figura 3c) aumentó sólo en el cultivar *Nal xoy* (5.04 $\mu\text{mol CO}_2/\text{mmol H}_2\text{O}$), mientras que en el *Dzit bacal* disminuyó significativamente (4.54 $\mu\text{mol CO}_2/\text{mmol H}_2\text{O}$).

Componentes del rendimiento

El sistema de producción (monocultivo y asociado) mostró efectos significativos ($P < 0.05$) en los componentes del rendimiento en los cultivares de maíz (Figura 4). En el asociado las plantas de maíz tuvieron los valores más altos en el número total de mazorcas llenas (Figura 4a) en el cultivar *Naal teel* y *Nal xoy*, mientras que en el cultivar *Dzit bacal* se observaron los menores valores en comparación al monocultivo. Este efecto fue similar en el rendimiento de grano por superficie (Figura 4b), donde el asociado tuvo efectos positivos en el rendimiento de grano en el cultivar *Naal teel* (1.0 T ha^{-1}) y *Nal xoy* (1.73 T ha^{-1}), mientras que en el cultivar *Dzit bacal* (0.83 T ha^{-1}) el rendimiento disminuyó.

DISCUSIÓN

El presente estudio aborda el efecto del sistema de producción monocultivo y asociado con frijol caupí (*V. unguiculata*) en el comportamiento agronómico y fisiológico de tres cultivares de maíz criollo. Los resultados mostraron que el sistema de producción no tuvo efectos sobre el crecimiento de las plantas de maíz. El efecto de las leguminosas en el crecimiento de maíz en cultivos asociados puede variar dependiendo

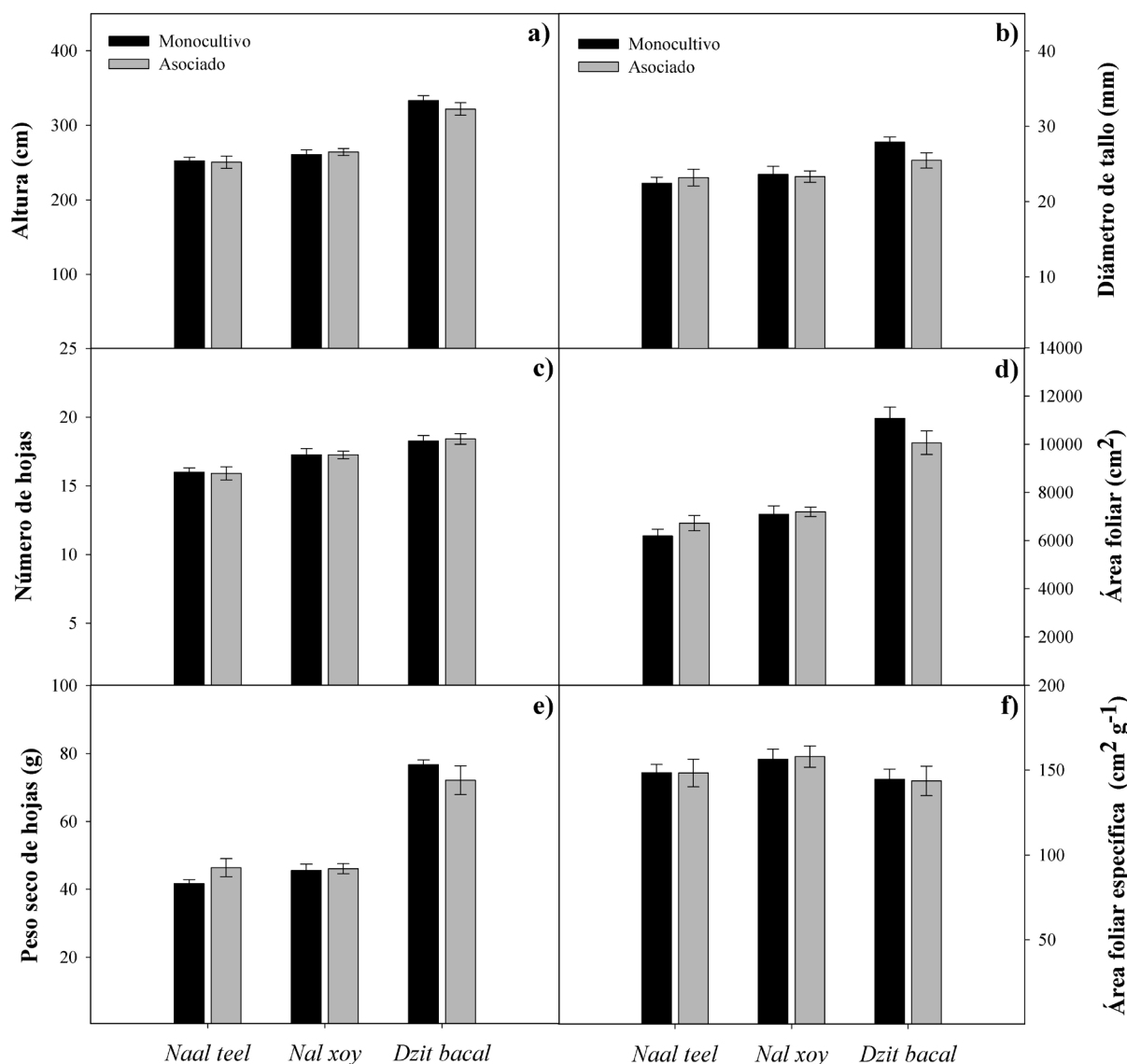


Figura 1. Efecto del sistema de producción (monocultivo y asociado) en la altura de planta (a), diámetro del tallo (b), número de hojas (c), área foliar (d), peso seco de hojas (e) y área foliar específica (f) de tres cultivares de maíz criollo. La ausencia de literales en cada par de barras indica que no hubo diferencias significativas en las variables respectivas entre sistemas de producción (t-student; $P > 0.05$).

Figure 1. Effect of the crop production system (monocrop and associated) on plant height (a), stem diameter (b), number of leaves (c), leaf area (d), leaf dry weight (e) and specific leaf area (f), of three creole maize cultivars. The absence of literals in each pair of bars indicates that there was no significant difference in the respective variables between production systems (t-student; $P > 0.05$).

de factores como la densidad de siembra, la precocidad del cultivar y las características de fertilidad del suelo (Arshad, 2021). El maíz en sistemas asociados con leguminosas puede recibir beneficios en el crecimiento derivado del efecto que proporcionan las leguminosas en la fijación de nitrógeno atmosférico y el aumento en la disponibilidad de fósforo en el suelo como producto de la acción de los ácidos orgánicos exudados por las raíces (Ahmad *et al.*, 2015; Wangiyana *et al.*, 2021; Arshad, 2021). En contraste, otros estudios mencionan que el establecimiento de las leguminosas en el cultivo de maíz puede disminuir el crecimiento, debido a la competencia por recursos abióticos entre especies, como agua, luz y

nutrientes (Manasa *et al.*, 2018; Raza *et al.*, 2019; Manasa *et al.*, 2021; Pierre *et al.*, 2022). Es importante notar que en el presente estudio, el sistema de producción no afectó las variables de crecimiento del maíz.

En cuanto a la incidencia por gusano cogollero (*S. frugiperda*), el sistema de producción tuvo efecto en el grado de daño foliar, más no en la incidencia de daño (% de plantas dañadas). En el sistema de producción asociado el maíz tuvo menor grado de daño por *S. frugiperda* en los tres cultivares de maíz. Lo anterior concuerda con lo reportado por Mutyambai *et al.* (2022) y Tanyi *et al.* (2020), quienes observaron los menores grados de daño por *S. frugiperda* en maíz aso-

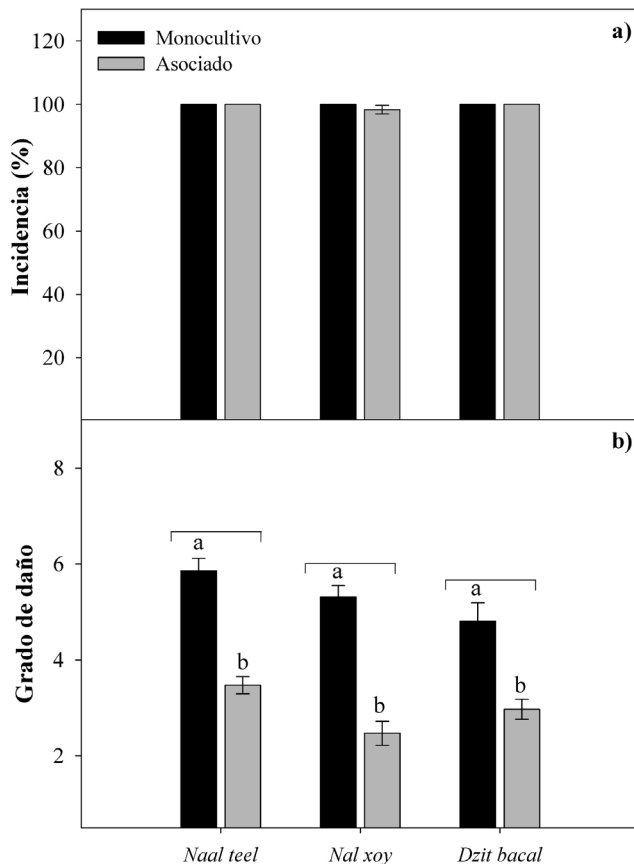


Figura 2. Efecto del sistema de producción (monocultivo y asociado) en la incidencia (a) y grado de daño (b) ocasionado por gusano cogollero (*S. frugiperda*) a los 60 d después de la emergencia en tres cultivares de maíz criollo. Literales diferentes en cada par de barras indica diferencia significativa entre sistemas de producción (t-student; $P < 0.05$).

Figure 2. Effect of the production system (monoculture and associated) on the incidence (a) and degree of damage (b), caused by fall armyworm (*S. frugiperda*) 60 d after emergence in three creole maize cultivars. Different literals in each pair of bars indicate significant difference between the production systems (t-student; $P < 0.05$)

ciado con leguminosas en comparación al monocultivo maíz. Este efecto es explicado en gran medida por el aumento poblacional de enemigos naturales (parasitoides y depredadores) encargados de reducir la densidad poblacional de insectos plaga y la voracidad de los individuos (Zhang *et al.*, 2019; Ziaie-Juybari *et al.*, 2021). La atracción de parasitoides y depredadores a las leguminosas está asociada con la liberación de compuestos orgánicos volátiles, como los terpenos β -ocimeno, linalol, y β -cariofileno (Udayakumar *et al.*, 2021; Guera *et al.*, 2021; Sobhy *et al.*, 2022).

El sistema de producción también mostró efectos significativos en las variables fisiológicas del maíz. En el sistema asociado, las plantas de maíz tuvieron mayor fotosíntesis y transpiración en comparación al monocultivo. Dichos resultados concuerdan con lo reportado por Pierre *et al.* (2022) y Li *et al.* (2022), en donde la fotosíntesis fue mayor en plantas de maíz asociadas con leguminosas. Esto debido a que uno de los aportes de las leguminosas al suelo es la mayor disponibilidad de nitrógeno y fósforo, que puede ser aprovechado

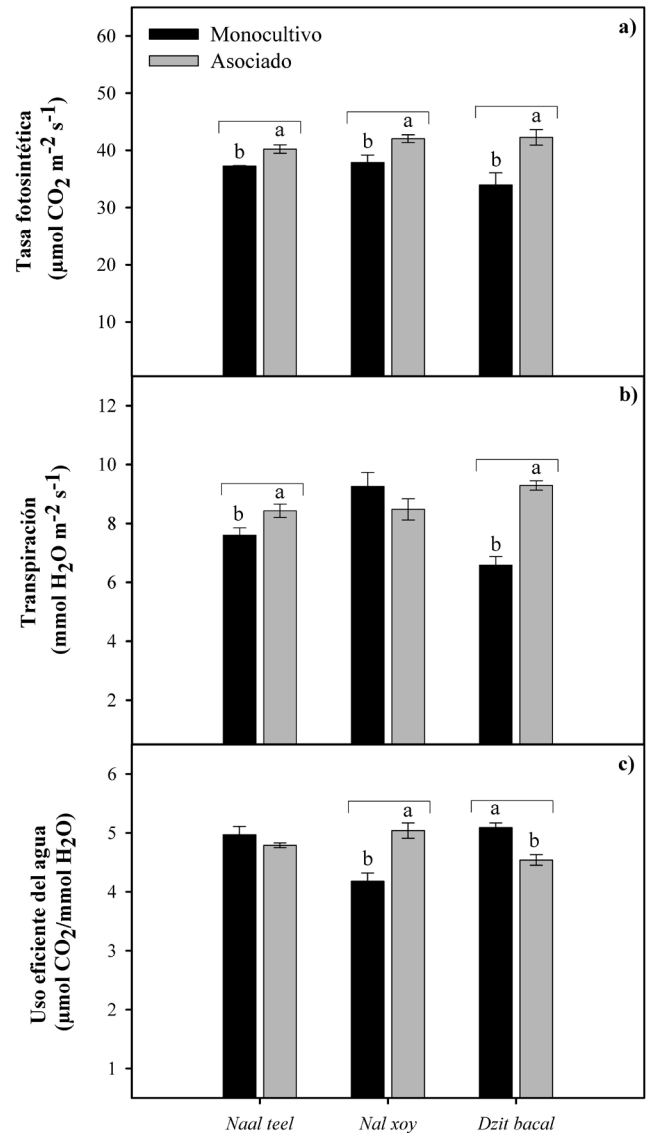


Figura 3. Efecto del sistema de producción (monocultivo y asociado) en la fotosíntesis (a), transpiración (b) y uso eficiente del agua (c) de tres cultivares de maíz criollo en etapa de floración. Literales diferentes en cada par de barras indica diferencias significativas entre sistemas de producción (t-student; $P < 0.05$).

Figure 3. Effect of the production system (monoculture and associated) on photosynthesis (a), transpiration (b) and water use efficiency (c), of three creole maize cultivars at flowering stage. Different literals in each pair of bars indicate significant differences between production systems (t-student; $P < 0.05$).

por el maíz y hacer más eficiente los procesos fisiológicos (Lv *et al.*, 2014; Zhu *et al.*, 2018; Kebede, 2021). En particular se considera que la disponibilidad de nitrógeno en el suelo es capaz de aumentar la fotosíntesis y en consecuencia la transpiración en las hojas. Este comportamiento es mediado por dos funciones importantes, el intercambio de gases y la regulación de la temperatura interna de la planta (Buckley, 2019; Lawson *et al.*, 2018; Wall *et al.*, 2022). Es decir, cuando los estomas se abren para absorber dióxido de carbono (CO_2) para la fotosíntesis, la transpiración aumenta.

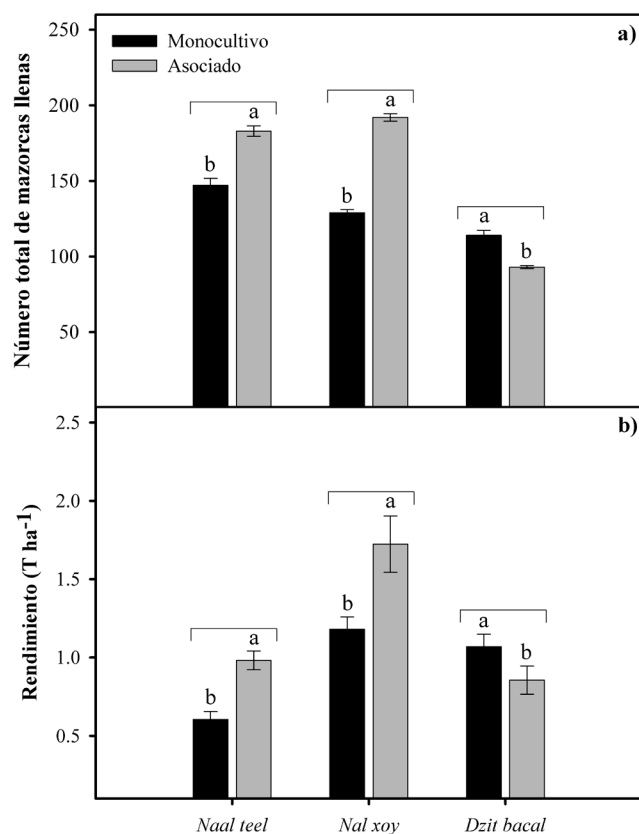


Figura 4. Efecto del sistema de producción (monocultivo y asociado) en el número total de mazorcas llenas (a) y el rendimiento de grano (b) en tres cultivares de maíz criollo. Literales diferentes en cada par de barras indica diferencias significativas entre sistemas de producción (t-student; $P < 0.05$).

Figure 4. Effect of the production system (monoculture and associated) on the total number of full ears (a) and grain yield (b) in three creole maize cultivars. Different literals in each pair of bars indicate significant differences between production systems (t-student; $P < 0.05$).

Con respecto a los componentes del rendimiento del maíz, se observó un aumento en la producción de grano en las plantas de maíz en el sistema asociado, pero sólo en los cultivares *Naal teel* y *Nal xoy*, los cuales son cultivares precoz e intermedio. Lo anterior concuerda con lo reportado por Dang *et al.* (2020), donde el maíz aumentó significativamente el número de mazorcas y rendimiento de grano cuando fue asociado con leguminosas. Este beneficio también podría ser atribuido a la disponibilidad y asimilación de nutrientes en maíz, lo cual puede tener efecto en la fisiología de las plantas al aumentar su metabolismo y destinar recursos importantes para el rendimiento (Xue *et al.*, 2016; Fan *et al.*, 2020; Kebede, 2021).

Cabe mencionar que el efecto del sistema de producción en el rendimiento de grano del maíz puede variar entre cultivares. En este estudio, el cultivar tardío *Dzit bacal* no mejoró su rendimiento en el sistema asociado comparado al monocultivo. Este comportamiento pudo estar relacionado por el efecto de competencia de *V. unguiculata* sobre el cultivar *Dzit bacal*. Al respecto, Dong *et al.* (2018) indican que los efectos benéficos en los cultivos asociados dependerán del

tiempo de maduración de la especie primaria (maíz). Es decir, los cultivares de maíz con mayor precocidad pueden tolerar mejor la competencia de leguminosas asociadas, mientras que los cultivares de maíz tardíos podrían sufrir efectos negativos por la competencia.

CONCLUSIÓN

El sistema de producción maíz-leguminosa (*V. unguiculata*) brindó beneficios en la fisiología, en la disminución del grado de daño por gusano cogollero (*S. frugiperda*) y en los componentes del rendimiento del maíz. Estos efectos positivos dependieron del tipo de cultivar: en el sistema asociado, el cultivar precoz (*Naal teel*) y el intermedio (*Nal xoy*) mostraron los mayores incrementos, mientras que el cultivar tardío (*Dzit bacal*) presentó un efecto contrario. Por lo tanto, el uso de cultivares criollos de maíz con mayor precocidad en el sistema asociado podría mejorar los rendimientos de grano.

AGRADECIMIENTOS

El primer autor agradece al CONAHCYT por la beca otorgada para la realización de la Maestría en Ciencias en Horticultura Tropical. De igual manera, todos los autores agradecen a las biólogas Lisset Anahí Herrera Poot y Yesmi Minelia Maas Lopez por su apoyo en las actividades de establecimiento del cultivo.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener conflicto de intereses

REFERENCIAS

- Ahmad, A.A., Radovich, T.J. y Hue, N.V. 2015. Effect of intercropping three legume species on growth and yield of sweet corn (*Zea mays*) in Hawaii. *Journal of crop improvement*. 29(3): 370-378.
- Alemayehu, D., Shumi, D. y Afeta, T. 2018. Effect of variety and time of intercropping of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) with maize (*Zea mays* L.) on yield components and yields of associated crops and productivity of the system at mid-land of Guji, Southern Ethiopia. *Advances in Crop Science and Technology*. 6(1): 4-8.
- Altieri, M.A. y Nicholls, C.I. 2019. Vegetational designs to enhance biological control of insect pests in agroecosystems. In: Souza, B., Vázquez, L., Marucci, R. (eds) *Natural enemies of insect pests in neotropical agroecosystems*. Springer, Cham.
- Anas, M., Liao, F., Verma, K.K., Sarwar, M.A., Mahmood, A., Chen, Z.L., Li, Q., Zeng, X.P., Liu, Y. y Li, Y.R. 2020. Fate of nitrogen in agriculture and environment: agronomic, eco-physiological and molecular approaches to improve nitrogen use efficiency. *Biological Research*. 53(1): 2-13.
- Araujo, I.T., Zacarin, G.G., de Oliveira, E.S., Bonfanti, L., Guimaraes, N.D.F., Gallo, A.D.S. y Fontanetti, A. 2021. Maize-*Crotalaria spectabilis* intercropping in organic system and relations with the insect community. *Australian Journal of Crop Science*. 15(6): 940-947.
- Arshad, M. 2021. Fortnightly dynamics and relationship of growth, dry matter partition and productivity of maize based sole and intercropping systems at different elevations. *European Journal of Agronomy*. 130: 1-10.

- Bi, S., Wang, Y., Xu, T., Hu, B., Wang, Z., Hu, F. y Xu, L. 2023. Application potential of push-pull cropping of maize and beans to fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) management in China. Research Square. 1: 2-12.
- Buckley, T.N. 2019. How do stomata respond to water status?. New Phytologist. 224: 21-36.
- Dang, K., Gong, X., Zhao, G., Wang, H., Ivanistau, A. y Feng, B. 2020. Intercropping alters the soil microbial diversity and community to facilitate nitrogen assimilation: a potential mechanism for increasing proso millet grain yield. Frontiers in Microbiology. 11: 601054.
- Davis, F.M., Ng, S.S. y Williams, W.P. 1992. Visual rating scales for screening whorl-stage corn for resistance to fall armyworm. Technical Bulletin Mississippi Agricultural and Forestry Research Experiment Station. 186: 1-9.
- de Souza, R.R.N. y Marques, R.N. 2024. Evaluation of resistance of corn varieties to *Dalbulus maidis* (DeLong & Wolcott) (Hemiptera: Cicadellidae). Research Square. 1: 2-16.
- Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., González, L., Tablada, M. y Robledo, C.W. 2020. InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>
- Dong, N., Tang, M.M., Zhang, W.P., Bao, X.G., Wang, Y., Christie, P. y Li, L. 2018. Temporal differentiation of crop growth as one of the drivers of intercropping yield advantage. Scientific Reports. 8(1): 3110.
- Dos-Santos, L.F.C., Ruiz-Sánchez, E., Garruña-Hernández, R. y Andueza-Noh, R.H. 2024. Growth and yield of tropical maize landraces and commercial genotypes in Yucatan, Mexico: Ecosistemas y Recursos Agropecuarios. 11(2): 3.
- Fan, Y., Wang, Z., Liao, D., Raza, M.A., Wang, B., Zhang, J., Chen, J., Feng, L., Wu, X.L., Liu, C., Yang, W. y Yang, F. 2020. Uptake and utilization of nitrogen, phosphorus and potassium as related to yield advantage in maize-soybean intercropping under different row configurations. Scientific Reports. 10(1): 9504.
- González-Esquivel, C.E., Briones-Guzmán, C., Tovar-López, E., López-Ridaura, E.A. y Camacho-Villa, T.C. 2023. Sustainability evaluation of contrasting milpa systems in the Yucatán Peninsula, Mexico. Environment, Development and Sustainability. 12: 1-18
- Guera, O.G.M., Castrejón-Ayala, F., Robledo, N., Jiménez-Pérez, A., Sánchez-Rivera, G., Salazar-Marcial, L. y Flores-Moctezuma, H.E. 2021. Effectiveness of push-pull systems to fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) management in maize crops in Morelos, Mexico. Insects. 12(4): 298.
- Guzzon, F., Arandia-Rios, L.W., Caviedes-Cepeda, G.M., Céspedes-Polo, M., Chavez-Cabrera, A., Muriel-Figueroa, J., Medina-Hoyos, A.E., Jara Calvo, T.W., Molnar, T.L., Narro-León, L.A., Narro-León, T.P., Mejía-Kerguelén, S.L., Ospina-Rojas, J.G., Vázquez, G., Preciado-Ortiz, R.E., Zambrano, J.L., Palacios-Rojas, N. y Pixley, K.V. 2021. Conservation and use of Latin American maize diversity: Pillar of nutrition security and cultural heritage of humanity. Agronomy. 11(1): 172.
- Hailu, G., Niassy, S., Zeyaur, K.R., Ochatum, N. y Subramanian, S. 2018. Maize-legume intercropping and push-pull for management of fall armyworm, stemborers, and striga in Uganda. Agronomy Journal. 110(6): 2513-2522.
- Kebede, E. 2021. Contribution, utilization, and improvement of legumes-driven biological nitrogen fixation in agricultural systems. Frontiers in Sustainable Food Systems. 5: 2-16.
- Kirova, E. y Kocheva, K. 2021. Physiological effects of salinity on nitrogen fixation in legumes – a review. Journal of Plant Nutrition. 44(17): 1-7.
- Lawson, T., Terashima, I., Fujita, T. y Wang, Y. 2018. Coordination between photosynthesis and stomatal behavior. In: Adams III, W., Terashima, I. (eds) The Leaf: A Platform for Performing Photosynthesis. Advances in Photosynthesis and Respiration, Vol. 44. Springer.
- Li, L., Zou, Y., Wang, Y., Chen, F. y Xing, G. 2022. Effects of corn intercropping with soybean/peanut/millet on the biomass and yield of corn under fertilizer reduction. Agriculture. 12(2): 1-21.
- Li, Y., Wang, L., Zhao, B., Liu, P., Zhang, J., Dong, S. y Shi, D. 2023. Crop productivity, economic advantage, and photosynthetic characteristics in a corn-peanut intercropping system. Agronomy. 13(2): 509.
- Librán-Embid, F., Olagoke, A. y Martin, E.A. 2023. Combining milpa and push-pull technology for sustainable food production in smallholder agriculture. A review. Agronomy for Sustainable Development. 43: 7-16.
- Lv, Y., Francis, C., Wu, P.T., Chen, X.L. y Zhao, X.N. 2014. Maize-soybean intercropping interactions above and below ground. Crop Science. 54: 914-922.
- Manasa, P., Maitra, S. y Barman, S. 2020. Yield attributes, yield, competitive ability and economics of summer maize-legume intercropping system. International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology. 13(1): 33-38.
- Manasa, P., Maitra, S. y Reddy, M.D. 2018. Effect of summer maize-legume intercropping system on growth, productivity and competitive ability of crops. International Journal of Management, Technology and Engineering. 8(12): 2871-2875.
- Manasa, P., Sairam, M. y Maitra, S. 2021. Influence of maize-legume intercropping system on growth and productivity of crops. International Journal of Bioresources. 8(1): 21-28.
- Margalef, O., Sardans, J., Fernández-Martínez, M., Molowny-Horas, R., Janssens, I.A., Ciais, P., Goll, D., Richter, A., Obersteiner, M., Asensio, D. y Peñuelas, J. 2017. Global patterns of phosphatase activity in natural soils. Scientific reports. 7(1): 1337.
- Mndzebele, B., Ncube, B., Fessehazion, M., Mabhaudhi, T., Amoo, S., du Plooy, C., Venter, S. y Modi, A. 2020. Effects of cowpea-amaranth intercropping and fertiliser application on soil phosphatase activities, available soil phosphorus, and crop growth response. Agronomy. 10(1): 79.
- Mutyambai, D.M., Niassy, S., Calatayud, P.A. y Subramanian, S. 2022. Agronomic factors influencing fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) infestation and damage and its co-occurrence with stemborers in maize cropping systems in Kenya. Insects. 13(3): 6-18.
- Orozco-Ramírez, Q., Ross-Ibarra, J., Santacruz-Varela, A. y Brush, S. 2016. Maize diversity associated with social origin and environmental variation in Southern Mexico. Heredity. 116: 477-484.
- Palacios-Rojas, N., McCulley, L., Kaeppler, M., Titcomb, T.J., Gunaratna, N.S., Lopez-Ridaura, S. y Tanumihardjo, S.A. 2020. Mining maize diversity and improving its nutritional aspects within agro-food systems. Food Science and Food Safety. 19: 1809-1834.
- Pierre, J.F., Latournerie-Moreno, L., Garruña, R., Jacobsen, K.L., Laboski, C.A., Us-Santamaría, R. y Ruiz-Sánchez, E. 2022.

- Effect of maize-legume intercropping on maize physiological parameters and beneficial insect abundance. *Sustainability*. 14(19): 6-10.
- Raza, M.A., Bin Khalid, M.H., Zhang, X., Feng, L.Y., Khan, I., Hassan, M.J., Ahmed, M., Ansar, M., Chen, Y.K., Fang, F.Y., Yang, F. y Yang, W. 2019. Effect of planting patterns on yield, nutrient accumulation and distribution in maize and soybean under relay intercropping systems. *Scientific reports*. 9(1): 4947.
- Reyes-Santiago, E., Bautista-Mayorga, F. y García-Salazar, J.A. 2022. Análisis del mercado de maíz en México desde una perspectiva de precios. *Acta universitaria*. 32: e3265.
- Rodríguez-Bustos, L., Galicia, L., Benítez, M., Palacios-Rojas, N. y Ramos, I. 2023. Implementing the nature's contributions framework: A case study based on farm typologies in small-scale agroecosystems from the Mexico highlands. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 7: 1009447.
- Ruiz-Santiago, R.R., Ballina-Gómez, H.S., Ruiz-Sánchez, E., Martínez-Falcon, A.P., Andueza-Noh, R.H., Garruña-Hernandez, R., y Gonzales-Moreno, A. 2024. Functional leaf traits of maize landraces with low and high susceptibility to damage by *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *International Journal of Tropical Insect Science*. 44(4): 1953-1963.
- Santos, L.F., Andueza-Noh, R.H., Ruíz, E.S., Moreno, L.L., Garruña, R., Mijangos-Cortes, J.O. y Martínez-Castillo, J. 2018. Characterization of the genetic structure and diversity of maize (*Zea mays* L.) landrace populations from Mexico. *Maydica*. 62(2): 7-10.
- Schwember, A.R., Schulze, J., Del Pozo, A. y Cabeza, R.A. 2019. Regulation of symbiotic nitrogen fixation in legume root nodules. *Plants*. 8(9): 1-10.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2021. Producción agrícola. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>
- Sobhy, I.S., Tamiru, A., Chiriboga Morales, X., Nyagol, D., Cheruiyot, D., Chidawanyika, F., Subramanian, S., Midega-Charles, A.O., Bruce-Toby J.A. y Khan Zeyaur, R. 2022. Bioactive volatiles from push-pull companion crops repel fall armyworm and attract its parasitoids. *Frontiers in Ecology and Evolution*. 10: 1-14.
- Tanyi, C.B., Nkongho, R. N., Okolle, J.N., Tening, A.S. y Ngosong, C. 2020. Effect of intercropping beans with maize and botanical extract on fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) infestation. *International Journal of Agronomy*. 2020: 2-6.
- Udayakumar, A., Shivalingaswamy, T.M. y Bakthavatsalam, N. 2021. Legume-based intercropping for the management of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* L. in maize. *Journal of Plant Diseases and Protection*. 128: 2-4.
- Ureta, C., González, E.J., Espinosa, A., Trueba, A., Piñeyro-Nelson, A. y Álvarez-Buylla, E.R. 2020. Maize yield in Mexico under climate change. *Agricultural Systems*. 177: 102697.
- Wall, S., Vialet-Chabrand, S., Davey, P., Van Rie, J., Galle, A., Cockram, J. y Lawson, T. 2022. Stomata on the abaxial and adaxial leaf surfaces contribute differently to leaf gas exchange and photosynthesis in wheat. *New Phytologist*. 235: 1743-1756.
- Wangiyana, W., Farida, N. y Ngawit, I.K. 2021. Effect of peanut intercropping and mycorrhiza in increasing yield of sweet corn yield. *Earth and Environmental Science*. 648(1): 1-6.
- Xue, Y., Xia, H., Christie, P., Zhang, Z., Li, L. y Tang, C. 2016. Crop acquisition of phosphorus, iron and zinc from soil in cereal/legume intercropping systems: a critical review. *Annals of Botany*. 117(3): 363-377.
- Zhang, C., Dong, Y., Tang, L., Zheng, Y., Makowski, D., Yu, Y., Zhang, F. y van der Werf, W. 2019. Intercropping cereals with faba bean reduces plant disease incidence regardless of fertilizer input; a meta-analysis. *European Journal of Plant Pathology*. 154: 931-942.
- Zhu, Q.L., Xiang, R., Tang, L. y Long, G.Q. 2018. Effects of intercropping on photosynthetic rate and net photosynthetic nitrogen use efficiency of maize under nitrogen addition. *Chinese Journal of Plant Ecology*. 42(6): 672-680.
- Ziaie-Juybari, Pirdashti, H., Abo-Elyousr, K.A.M. y Mottaghian, A. 2021. Abiotic benefits of intercropping legumes and maize to reduce pests. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*. 54(17): 1539-1552.