

Short Note [Nota corta]



Efecto del cultivo intercalado maíz-leguminosa en el crecimiento y daños por plagas en maíz criollo en Yucatán †

[Effect of intercropping maize-legume on the growth and pest damage in a maize landrace in Yucatan]

Chan-Arjona A.D.¹, Ruíz-Sánchez E.^{1*}, Ruíz-Santiago R.R.⁴,
Garraña-Hernández R.², Latournerie-Moreno L.¹, Fils-Pierre J.¹
and Luis F.C. dos-Santos³

¹Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Conkal, Avenida Tecnológico s/n, Conkal, Yucatán, México. CP. 97345. Email: esau.ruiz@itconkal.edu.mx

²CONACYT-Instituto Tecnológico de Conkal, Avenida Tecnológico s/n, Conkal, Yucatán, México. CP. 97345.

³Campo Experimental Mochochá. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Mochochá. km 25 antigua carretera Mérida-Motul. Yucatán, México. CP. 97454.

⁴Centro de Investigación Científica de Yucatán. Unidad de Recursos Naturales, Calle 43 No. 130, Col. Chuburná de Hidalgo, 97205 Mérida, Yucatán.

*Corresponding author

SUMMARY

Background. In Mexico, small-scale farmers carry out a significant portion of maize production in systems associated with legumes, which may provide advantages associated to the agronomic performance of maize. **Objective.** To assess the effect of intercropping maize-legume on maize growth and pest damage (fall armyworm and maize bushy stunt complex). **Methodology.** The experiment was conducted in the field using a complete randomized block design with four replications. Three planting arrangements were evaluated as treatments: maize-cowpea at simultaneous planting date (MF0); maize-cowpea with legume sown 20 days after maize planting (MF20), and monoculture of maize (MM). **Results.** The arrangement MF20 showed significant positive effects on plant height, number of leaves, and dry weight of maize stems and leaves. There were no significant differences among treatments in the percentage of plants damaged by pests; however, the degree of damage by fall armyworm was statistically higher in the arrangement MF20. **Implications.** Intercropping maize with legumes may improve agronomic performance of maize, as a result this may enhance the grain production for human consumption. **Conclusion.** Intercropping maize and cowpea with the legume sown 20 days after maize planting resulted in improvements in maize vegetative growth variables, but there was no significant influence on reducing fall armyworm damage or preventing maize bushy stunt. Further studies are needed to evaluate the feasibility other species of edible legume.

Key words: legumes; associated crops; maize bushy stunt; fall armyworm.

RESUMEN

Antecedentes. En México, gran parte de la producción de maíz se lleva por pequeños productores en sistemas asociados con leguminosas, lo cual puede proveer ventajas asociadas al comportamiento agronómico del maíz. **Objetivo.** Evaluar el efecto del cultivo intercalado maíz-leguminosa en el crecimiento del maíz y daños por plagas (gusano cogollero y complejo achaparramiento del maíz). **Metodología.** El experimento se estableció en campo bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Se evaluaron como tratamientos tres arreglos de siembra; maíz-frijol caupí en siembra simultánea (MF0), maíz-frijol caupí con desfase de 20 días de siembra de la leguminosa (MF20) y monocultivo de maíz (MM). **Resultados.** El arreglo MF20 mostró efectos positivos

† Submitted December 17, 2023 – Accepted February 11, 2026. <http://doi.org/10.56369/tsaes.5355>



Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>
ISSN: 1870-0462.

ORCID = E. Ruíz-Sánchez: <http://orcid.org/0000-0003-0245-3305>

en la altura de plantas, número de hojas, peso seco de tallo y peso seco de hojas del maíz. No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos el en porcentaje de plantas dañadas por plagas, sin embargo, el grado de daño por cogollero fue estadísticamente superior en el arreglo MF20. **Implicaciones.** El cultivo intercalado de maíz-leguminosa puede mejorar el crecimiento del maíz y en consecuencia mejorar la obtención de grano para consumo humano. **Conclusión.** La siembra intercalada de maíz y 20 días después la siembra de caupí resultó en mejoras en las variables de crecimiento vegetativo del maíz, pero no se evidenció influencia en la reducción del daño por el gusano cogollero y achaparramiento del maíz. Se requieren de mayores estudios para evaluar la viabilidad de incluir otras especies leguminosas de grano comestible.

Palabras clave: leguminosas; cultivos asociados; achaparramiento; gusano cogollero.

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es el cultivo más importante en México y considerado como un alimento básico para la alimentación humana y animal (Ureta *et al.* 2020). La producción nacional de maíz es en su mayoría realizada por pequeños productores con menos de 5 ha en un sistema de temporal (Dzib-Aguilar *et al.*, 2016). En Yucatán, el área sembrada de maíz en 2022 fue de 111 184 ha con un rendimiento total de grano de 149 287 t (SIAP 2022). Una gran parte de la producción resulta de la siembra de maíces nativos de las razas locales: Tuxpeño, Dzit bacal y Nal tel, así como maíces mejorados tropicales adaptados a las condiciones de la región y sistemas de producción tradicional (Arias *et al.*, 2007). El sistema milpa es un policultivo, donde el maíz es el cultivo principal asociado a una o varias especies vegetales, dentro de ellas las leguminosas son preponderantes (Dzib-Aguilar *et al.*, 2016). En Yucatán, una de las leguminosas más comunes usadas en el sistema milpa es el frijol caupí (*Vigna unguiculata* L.), el cual se conoce como xpelón y se siembra principalmente para autoconsumo. Las vainas y granos tiernos son muy apreciados en la región y se consumen en platillos regionales como tamales y caldos (dos-Santos *et al.*, 2022). En el 2022, se sembraron alrededor de 283 ha de xpelón en Yucatán, con una producción total de 810 t de vaina (SIAP, 2022). Este sistema tiene varios beneficios favoreciendo las condiciones bióticas y abióticas en el agroecosistema además de aumentar el rendimiento de los cultivos por unidad de área con un bajo costo de producción (CIMMYT, 2019). La asociación maíz-leguminosa juega en papel importante en la conservación del suelo por la capacidad biológica de fijación de nitrógeno atmosférico, lo que repercute en aumento de vigor y producción de grano (Mucheru-Muna *et al.*, 2010; Thierfelder *et al.*, 2013). Asimismo, esta asociación ha mostrado eficacia en la supresión de insectos fitófagos, disminuyendo el nivel de daño en maíz en comparación con los sistemas de monocultivo (Kermah *et al.*, 2017; Afrin *et al.*, 2017; Hailu *et al.*, 2018; Midega *et al.*, 2018; Udayakumar *et al.*, 2021). En el maíz, las especies plaga como el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) y la chicharrita (*Dalbulus maidis*) pueden ocasionar

pérdidas importantes en el cultivo (Márquez-Diego *et al.*, 2021; Ruíz-Sánchez *et al.*, 2023). En el caso de la chicharrita, lo más dañino son los patógenos que causan los síntomas de achaparramiento del maíz que consiste en un complejo causado por fitoplasma del achaparramiento del maíz, *Spiroplasma kunkelli* y el virus rayado fino del maíz (Alcántara-Mendoza *et al.*, 2010). Por lo tanto, resulta indispensable estudiar los efectos del frijol caupí en asociación con maíz, particularmente en su crecimiento y en la incidencia de plagas, con el objetivo de diseñar estrategias de producción sostenibles para la región (Khan *et al.*, 2019). Por tal motivo, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la asociación de maíz-frijol caupí en el crecimiento y los daños ocasionados por el gusano cogollero y el achaparramiento en plantas de maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio

El experimento se estableció en áreas de producción pecuaria del Tecnológico Nacional de México “Campus Conkal”, ubicada en el km 16.3 de la antigua carretera Mérida–Motul en el municipio de Conkal, Yucatán (21°07'28.92" N y 89°26'17.88" W), durante los meses de octubre a diciembre de 2022. La temperatura media mensual fue de 25.9 °C, la máxima de 31.7 °C y la mínima de 20.1 °C, mientras que la precipitación media mensual fue de 64.96 mm. El suelo es un Leptosol, con 0.93% Nt, y los contenidos totales de P, K, Ca y Mg son 2.45, 3.5, 49.38 y 2.63 g kg⁻¹.

Diseño experimental y tratamientos

El cultivo se estableció bajo un diseño experimental de bloques con un arreglo completamente al azar con cuatro repeticiones, utilizando una población endémica de maíz como especie primario, localmente conocido como *Ek ju'ub* y el frijol caupí como especie secundaria. Se establecieron tres arreglos de siembra como tratamientos: maíz + frijol caupí en siembra simultánea (MF0), maíz + frijol caupí sembrado 20

días después del maíz (MF20), y el monocultivo maíz (MM) (figura 1). La siembra se realizó mediante siembra directa colocando tres semillas por punto, la distancia entre puntos fue de 0.6 m y 1 m entre filas. El frijol caupí se estableció intercalado a 50 cm de las filas de maíz, a una distancia entre plantas de 60 cm. El área experimental por arreglo de siembra fue de 40 m², conformada por cinco surcos por repetición. En el monocultivo de maíz se establecieron 170 plantas, mientras que en el sistema asociado con frijol caupí se contabilizaron 340 plantas, distribuidas en 170 de maíz y 170 de frijol. La fertilización se realizó con nitrógeno mineral (80 kg ha⁻¹), repartido en dos aplicaciones iguales, la primera a los 10 días después de la emergencia (DDE) y la segunda a los 30 DDE.

Variables de crecimiento vegetativo

Se seleccionaron tres plantas al azar por repetición, obteniendo un total de 12 plantas por tratamiento evaluadas a los 40 DDE. Las variables evaluadas fueron; altura de la planta (cm), diámetro de tallo (mm), número de hojas, peso seco de tallo y hojas (g). 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 número de hojas, se realizó un conteo de todas las hojas presentes por planta, la biomasa de hojas y tallo se fraccionó y secó a 60°C hasta peso constante en una estufa industrial antes del pesado en una balanza granataria (DAMAUS CQT1752GR).

Daño foliar por gusano cogollero

Se evaluó el porcentaje de plantas dañadas y grado de daño foliar en 20 plantas de maíz consecutivas por repetición a los 20 y 40 DDE. El porcentaje de plantas dañadas se determinó contabilizando el número de plantas dañadas entre el número de plantas totales (20) multiplicado por 100. El grado de daño foliar se determinó mediante la observación de hojas jóvenes próximas al cogollo, utilizando la escala visual de diez clases propuesta por Davis *et al.* (1992). La clasificación se describe de la siguiente manera: 0 = planta sana; 1 = raspaduras superficiales en las hojas jóvenes; 2 = pequeñas perforaciones en las hojas del verticilo, con el cogollo aún intacto; 3 = presencia de agujeros y pequeñas lesiones circulares o alargadas (< 1.3 cm) en hojas espiraladas o verticiladas; 4 = lesiones pequeñas y alargadas, junto con algunas de tamaño mediano (1.3–2.5 cm) en hojas del cogollo; 5 = el cogollo presenta residuos de alimentación y hojas parcialmente destruidas; 6 = destrucción considerable de hojas dentro del cogollo, acompañada de excretas y presencia frecuente de larvas; 7 = numerosas lesiones

pequeñas y medianas, además de algunas grandes (> 2.5 cm) en hojas espiraladas y verticiladas; 8 = destrucción severa del cogollo y de las hojas adyacentes; 9 = destrucción total del cogollo y posible muerte del punto de crecimiento, con pérdida irreversible del meristemo apical.

$$Incidencia = \frac{\text{Número de plantas dañadas}}{\text{Número de plantas evaluadas}} \times 100$$

Daños por el complejo de achaparramiento del maíz

Para evaluar la incidencia y severidad del achaparramiento de maíz, se determinó el porcentaje de plantas dañadas y severidad de daño en 20 plantas por repetición a los 75 DDE del ciclo del cultivo. De manera similar, el porcentaje de daños se determinó contabilizando número de plantas dañadas entre el número de plantas totales multiplicado por 100. La severidad de los síntomas se determinó mediante la observación de plantas, utilizando la escala visual de 6 clases propuesta por Alcántara–Mendoza *et al.* (2010). La clasificación se describe de la siguiente manera: 0 = planta sana; 1 = planta de altura normal con hojas de bordes enrojecidos; 2 = planta chaparra con hojas de bordes enrojecidos; 3 = plantas de altura normal con proliferación de mazorca; 4 = planta chaparra con proliferación de mazorca; 5 = plantas de altura normal con hojas de bordes enrojecidos y proliferación de mazorca; 6 = planta chaparra con hojas de bordes enrojecidos y proliferación de mazorca.

$$Incidencia = \frac{\text{Número de plantas dañadas}}{\text{Número de plantas evaluadas}} \times 100$$

Análisis de datos

Los datos de cada variable fueron sometidos a pruebas de normalidad y homocedasticidad. Cuando no se cumplían estos supuestos, se aplicaron las siguientes transformaciones: raíz cuadrada para datos discretos, logaritmo natural para datos continuos y raíz cuadrada del arcoseno para porcentajes. Posteriormente, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de confianza del 95 %. En caso de detectarse diferencias estadísticas significativas, se utilizó la prueba de comparación de medias de Duncan ($p \leq 0.05$). Por otra parte, para los datos no paramétricos correspondientes a las variables de escala de daño por gusano cogollero y complejo de achaparramiento se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis (Schober y Vetter, 2020). Todos los análisis se efectuaron mediante el software estadístico Infostat versión 2020 para Windows (Di Rienzo *et al.*, 2020).

RESULTADOS

Crecimiento vegetativo del cultivo de maíz

Las variables altura de planta, número de hojas y peso seco de tallo y peso seco de hojas mostraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos (figura 1). En las variables altura de planta, el arreglo MF20 resultó estadísticamente superior a los arreglos MF y MM alcanzando una altura promedio de 156.8 cm (figura 1a). Asimismo, para la variable número de hojas, el arreglo MF20 resultó con mayor número de hojas (13) respecto a los arreglos MF y MM con un promedio de 10 hojas (figura 1c). El peso seco del tallo y peso seco de hojas fueron estadísticamente superior en el arreglo MF20 con 66 g y 25 g respectivamente (figura 1d). Los arreglos MF y MM resultaron con valores similares en peso seco de tallo y peso seco de hoja.

Daño foliar ocasionado por gusano cogollero

No se observó diferencia entre tratamientos en el porcentaje de plantas dañadas, el cual varió entre 60 a 70% en la primera evaluación a los 20 DDE y entre 40 a 65% en la segunda evaluación a los 40 DDE (figuras 2a y 2b). Se observaron diferencias estadísticas significativas en la variable grado de daño únicamente a los 40 DDE (figura 2d), con valores de 1.35 en el arreglo MF20 y de 0.8 en los arreglos MF0 y MM, cuyos valores de grado de daño fueron tomados de la escala de 0 a 9 valores de Davis *et al.* (1992).

Daños por achaparramiento en las plantas de maíz

Los tratamientos no mostraron diferencias significativas para las variables porcentaje de plantas dañadas y grado de daño por achaparramiento en plantas de maíz. El porcentaje de plantas dañadas varió entre 78 a 84% entre los tratamientos (Figura 3a), mientras que la severidad varió entre 2.8 a 3.2 en la escala visual de síntomas por achaparramiento (Figura 3b).

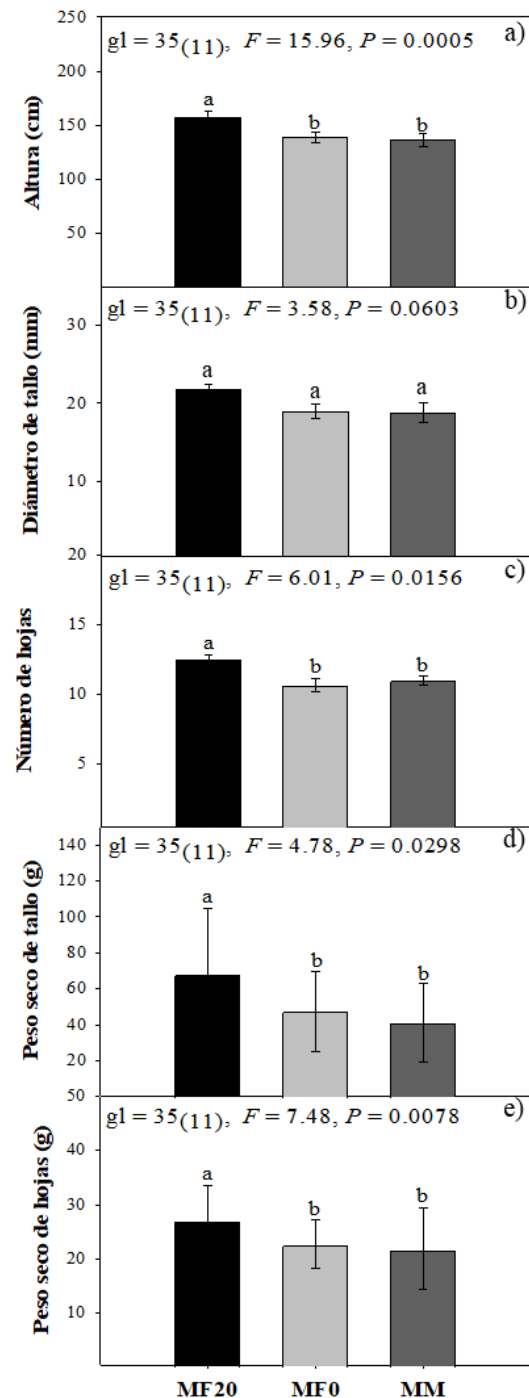


Figura 1. Efecto de tres arreglos de siembra en las variables, altura de planta (a), diámetro del tallo (b), número de hojas (c) peso seco de tallo (d) y peso seco de hojas (e) de plantas de maíz a los 40 días después de emergencia. Arreglo MF20 (Maíz + frijol caupí sembrado 20 días después), MF0 (Maíz + frijol caupí en simultáneo) y MM (monocultivo maíz). Letras diferentes sobre las histobarras indican diferencias significativas (Duncan, $p < 0.05$) entre tratamientos.

DISCUSIÓN

El establecimiento de cultivo intercalado maíz-leguminosa puede producir efectos directos positivos en el crecimiento del maíz como se ha reportado en varios estudios, no obstante, el estudio de otros posibles efectos, como la reducción de incidencia y severidad de daño por plagas en maíz ha sido poco abordado. En el presente estudio se evaluó el efecto de los arreglos del establecimiento de frijol caupí con maíz en Conkal, Yucatán. El cultivo de maíz intercalado con frijol caupí con siembra desfasada 20 DDE (MF20) mostró efectos positivos en las variables de crecimiento vegetativo. Las plantas de maíz del tratamiento MF20 tuvieron mayor altura, número de hojas, peso seco de tallo y peso seco de hojas en comparación con el cultivo simultáneo (MF0) y el maíz en monocultivo (MM). Estos resultados pueden ser coherentes con mecanismos descritos para sistemas

maíz-leguminosa, en los que la siembra escalonada reduce la competencia inicial y permite que la leguminosa contribuya al N del sistema en etapas posteriores. Sin embargo, esta explicación es hipotética, pues la transferencia de N no se evaluó directamente en este estudio. Este último aspecto es fundamental para permitir primero el crecimiento y desarrollo del maíz, como cultivo principal (Castillo-Caamal y Caamal-Maldonado, 2011). Es importante resaltar los beneficios directos de las leguminosas cuando se establecen asociadas al maíz, destacando la transferencia de N en forma de amonio de las raíces de las leguminosas a las raíces del maíz a través de contacto directo entre ellas o por contacto mediante micelio de hongos micorrícicos (Shao *et al.*, 2020), también la aportación al suelo del N fijado en la biomasa de las leguminosas y su posterior a las reservas de N del suelo (Wang *et al.*, 2022).

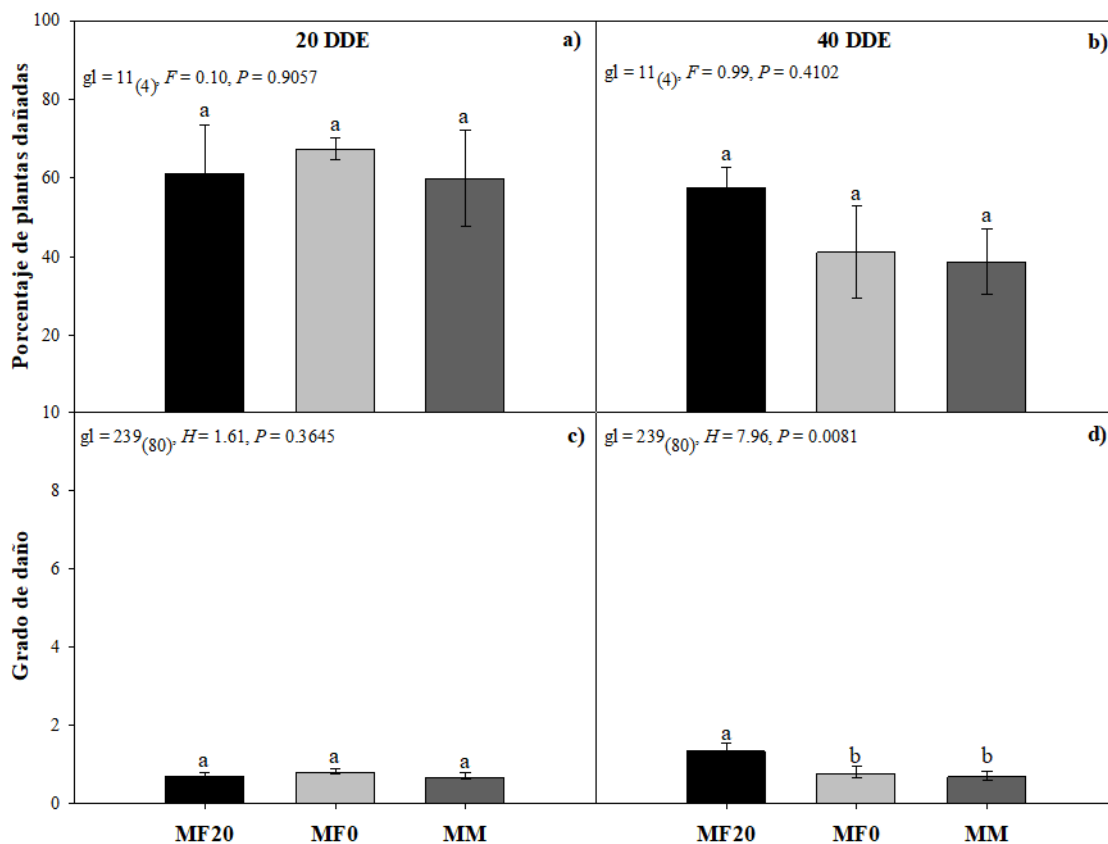


Figura 2. Porcentaje de plantas dañadas y grado de daño ocasionado por gusano cogollero en plantas de maíz a los 20 días después de la emergencia (a y c) y 40 días después de la emergencia (b y d). Arreglo MF20 (Maíz + frijol caupí sembrado 20 días después del maíz), MF0 (Maíz + frijol caupí en simultáneo) y MM (monocultivo maíz). Letras diferentes sobre las histobarras indican diferencias significativas (Duncan, $p < 0.05$) entre tratamientos.

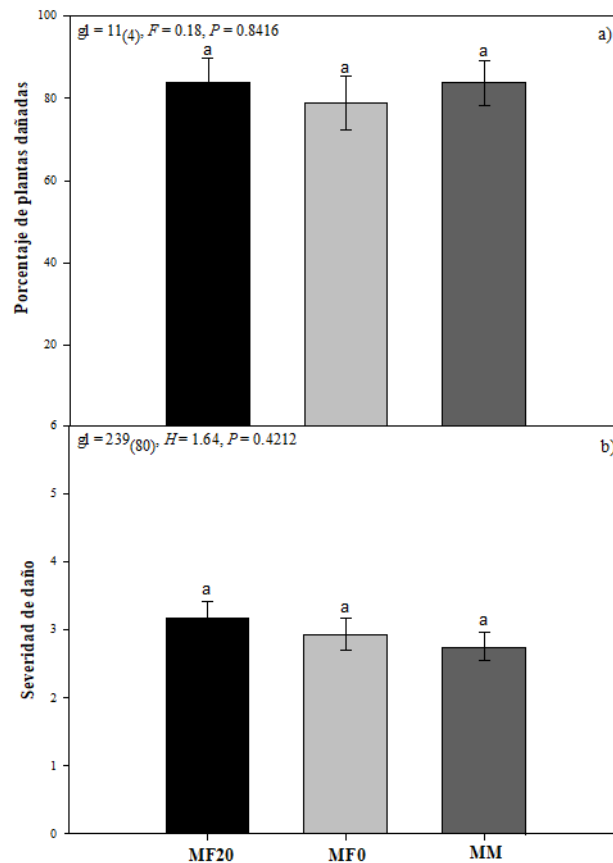


Figura 3. Porcentaje de daño (a) y severidad de daños (b) ocasionado por achaparramiento en las plantas de maíz. Arreglo MF20 (Maíz + frijol caupí sembrado 20 días después del maíz), MF0 (Maíz + frijol caupí en simultáneo) y MM (monocultivo maíz). Letras diferentes sobre las histobarras indican diferencias significativas (Duncan, $p < 0.05$) entre tratamientos.

En relación con el efecto del cultivo intercalado sobre el daño por gusano cogollero y el achaparramiento del maíz, de manera general no se observaron diferencias atribuibles al sistema maíz–frijol caupí en el porcentaje de daño ocasionado por ambos problemas fitosanitarios. El daño provocado por el gusano cogollero en el maíz no superó el 70 %, mientras que el asociado al complejo de achaparramiento alcanzó hasta 85 %. Cabe destacar que la única diferencia significativa se registró en el grado de daño por gusano cogollero, donde el arreglo MF20 presentó plantas con un mayor nivel de daño a los 40 DDE. Este efecto podría explicarse por las características vegetativas de mayor vigor (altura, número de hojas, peso seco de tallo y hojas) de las plantas de maíz en el arreglo MF20 con respecto a los otros dos arreglos, haciendo que éstas fueran más atractivas para las larvas del gusano cogollero, aumentando así la severidad de su ataque. Se ha documentado que especies del género *Spodoptera* spp. son capaces de distinguir cualitativamente plantas vigorosas para alimentarse (Lee *et al.*, 2003; Chen *et al.*, 2008; Abdullah *et al.*,

2019). Específicamente en plantas de maíz, se ha comprobado que el incremento del vigor del maíz está correlacionado con el incremento en daño foliar por *S. frugiperda* (Real-Santillán *et al.*, 2019). Por otro lado, el complejo achaparramiento de maíz demostró una alta incidencia (hasta de 85 %) y severidad (grado 2.5 – 3.5) en las plantas de maíz establecidos bajo los diferentes arreglos, además es importante mencionar que en el presente estudio se encontraron síntomas de la enfermedad aún no documentadas, tales como: la asincronía floral y la disminución del tamaño de mazorcas. El achaparramiento es una de las enfermedades más importantes en el cultivo de maíz en todo el mundo, causando enanismo, cambio de coloración en hojas y pérdidas de rendimiento de hasta el 80% (Nancarrow *et al.*, 2021; Grauby *et al.*, 2022). En otros estudios en México la incidencia y severidad del complejo achaparramiento no han sido tan altos como lo reportado en el presente trabajo. Por ejemplo, Alcántara-Mendoza *et al.* (2010) reportaron la incidencia y severidad del achaparramiento del maíz en Veracruz, con valores de 10 a 27 % de incidencia y

0.05 a 0.3 de severidad. Márquez-Diego *et al.* (2021) reportó que la incidencia de la enfermedad en Hidalgo varió entre 0.7 a 17.5 %, sin embargo, los autores también indicaron que el porcentaje de incidencia puede alcanzar hasta 95 % cuando la población de chicharritas es alta. Para el manejo de patógenos transmitidos por vectores, se han estudiado diversas estrategias, como fechas de siembra, tratamientos a semilla y control del vector, las cuales han mostrado eficiencia diferencial dependiendo del caso (Márquez-Diego *et al.*, 2021). También se ha observado que el uso de cultivos intercalados podría ser una opción viable. Al respecto, Grauby *et al.* (2022) exploraron cultivos intercalados mixtos. Por otro lado, Grauby *et al.* (2022) evaluaron el potencial de cultivos intercalados de gramíneas con leguminosas para reducir el tamaño de poblaciones de vectores y disminuir la incidencia de patógenos transmitidos, y aunque hubo cierta disminución de vectores no se reflejó en la propagación de los patógenos en cuestión. Así, los resultados observados en este trabajo demuestran que no todos los arreglos de asociación de los cultivos son adecuados para la supresión de insectos plagas o vectores, y que se necesitan más experimentos de campo para entender las interacciones entre plantas e insectos en cultivos asociados, tomando en consideración diversos aspectos tanto de las especies vegetales como del diseño del agroecosistema, lo cual se deba abordar de manera integral (Oso y Falade, 2010; Alemayehu *et al.*, 2018; Pierre *et al.*, 2022).

CONCLUSIÓN

La siembra intercalada de maíz-frijol caupí desfasada por 20 días resultó en mejoras de las variables de crecimiento vegetativo del maíz. Sin embargo, no se observaron efectos del cultivo intercalado en la supresión de incidencia y severidad de daño causado por gusano cogollero y complejo achaparramiento.

Acknowledgements

The authors thank CONAHcyT Mexico for the scholarship awarded to Aldo Daniel Chan Arjona.

Funding. No applicable.

Conflict of interest. No potential conflict of interest was reported by the authors.

Compliance with ethical standards. No humans or animals were used in the studies of this article.

Data availability. Data is available with the corresponding author upon request.

Author contribution statement (CRediT). **A.D. Chan-Arjona** – Conceptualization, methodology, writing-original draft. **E. Ruíz-Sánchez** – Validation, writing -review and editing. **R.R. Ruíz-Santiago** – Formal analysis; **R. Garruña-Hernández** – Conceptualization and resources. **L. Latournerie-Moreno** – Resources and supervision; **J. Fils-Pierre** – Writing review and editing; **L.F.C. dos-Santos** – Methodology and visualization.

REFERENCES

- Abdullah, A., Ullah, M. I., Raza, A.B.M., Arshad, M. and Afzal, M., 2019. Host plant selection affects biological parameters in armyworm, *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae). *Pakistan Journal of Zoology*, 51(6), pp. 2117-2123.
<http://doi.org/10.17582/journal.pjz/2019.51.6.2117.2123>
- Afrin, S., Latif, A., Banu, N.M.A., Kabir, M.M.M., Haque, S.S., Emam Ahmed, M.M., Tonu, N.N. and Ali, M.P., 2017. Intercropping empower reduces insect pests and increases biodiversity in agro-ecosystem. *Agricultural Sciences*, 8(10), pp. 1124–1130.
<http://doi.org/10.4236/as.2017.810082>
- Alcántara-Mendoza, S., Téliz-Ortíz, D., León, C., Cárdenas-Soriano, E. and Hernández-Anguiano, A. M., 2010. Detección y evaluación del fitoplasma maize bushy stunt en el estado de Veracruz, México. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 28(1), pp. 34-43.
- Alemayehu, D., Shumi, D. and 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) pp. 324–335.
<http://doi.org/10.4172/2329-8863.1000324>
- Arias, L.M., Latournerie, L. Montiel, S. and Sauri, E., 2007. Cambios recientes en la diversidad de maíces criollos de Yucatán, México. *Universidad y Ciencia* 23(1), pp. 69–73.
- Castillo-Caamal, J.B. and Caamal-Maldonado, J.A., 2011. Efecto de la fecha de siembra del frijol terciopelo (*Mucuna* sp.) como cultivo de cobertera en el rendimiento de maíz. *Tropical*

- and *Subtropical Agroecosystems*, 14(1), pp.101-108.
- Chen, Y., Ruberson, J.R. and Olson, D.M., 2008. Nitrogen fertilization rate affects feeding, larval performance, and oviposition preference of the beet armyworm, *Spodoptera exigua*, on cotton. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 126(3), pp. 244–255. <http://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2007.00662.x>
- CIMMYT- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, 2019. Maíz para México - Plan estratégico 2030. México, CIMMYT, pp 13–28.
- Davis, F.M., Ng, S.S., 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 pp. 1-9.
- Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., González, L., Tablada, M. and Robledo, C.W., 2020. InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>
- Dos Santos, L.F., Ruíz-Sánchez, E. and Jiménez-Osornio, J., 2022. Caracterización agromorfológica de 20 cultivares de frijol caupí (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.) en Yucatán, México. *Acta Universitaria*, 32, pp.e3216. <http://doi.org/10.15174/au.2022.3216>
- Dzib-Aguilar, L.A., Ortega-Paczka, R. and Segura-Correa, L.C., 2016. Conservación in situ y mejoramiento participativo de maíces criollos en la península de Yucatán. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 19(1) pp. 51 – 59.
- Grauby, S., Ferrer, A., Tolon, V., Roume, A., Wezel, A. and Jacquot, E., 2022. Can mixed intercropping protect cereals from aphid-borne viruses? An experimental approach. *Insects*, 13(6), 521. <http://doi.org/10.3390/insects13060521>
- Hailu, G., Niassy, S., Zeyaur, K.R., Ochatum, N. and Subramanian, S., 2018. Maize–legume intercropping and push–pull for management of fall armyworm, stemborers, and striga in Uganda. *Agronomy Journal*, 110(6) pp. 3–9. <http://doi.org/10.2134/agronj2018.02.0110>
- Kermah, M., Franke, A. C., Adjei–Nsiah, S., Ahiabor, B.D K., Abaidoo, R.C. and Giller, K.E., 2017. Maize–grain legume intercropping for enhanced resource use efficiency and crop productivity in the Guinea savanna of northern Ghana. *Field Crops Research*, 213, pp. 42–49. <http://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.07.008>
- Khan, S.M., Ali, S., Nawaz, A., Bukhari, S.A.H., Ejaz, S. and Ahmad, S., 2019. Integrated pest and disease management for better agronomic crop production. In: Hasanuzzaman, M. (ed.) *Agronomic Crops*. Singapore, Springer, 385–413. http://doi.org/10.1007/978-981-32-9783-8_19
- Lee, K.P., Raubenheimer, D., Behmer, S.T. and Simpson, S.J., 2003. A correlation between macronutrient balancing and insect host-plant range: evidence from the specialist caterpillar *Spodoptera exempta* (Walker). *Journal of Insect Physiology*, 49(12) pp. 1161–1171. <http://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2003.08.013>
- Mansaray, A., Babatunde Karim, A.B., Yormah, T. Conteh, A.R. and Yila, K., 2022. Effect of time of introduction of legumes into cassava on the productivity of cassava in cassava-legume based intercropping systems. *Asian Journal of Advances in Agricultural Research* 18(2) pp. 1-15. <http://doi.org/10.9734/AJAAR/2022/v18i230213>
- Márquez-Diego J.J., De León-García de Alba, C., Rojas-Martínez, R.I. and Sánchez-Pale J.R., 2021. Incidence and effect on grain yield of the “monkey’s hand” disease in 29 maize genotypes. *Mexican Journal of Phytopathology* 39(3), pp. 529-537. <http://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2106-2>
- Midega, C.A.O., Pittchar, J.O., Pickett, J.A., Hailu, G. W. and Khan, Z.R., 2018. A climate-adapted push–pull system effectively controls fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J E Smith), in maize in East Africa. *Crop Protection*, 105 pp.12–14. <http://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.11.003>

- Mucheru-Muna, M., Pypers, P., Mugendi, D., Kung'u, J., Mugwe, J., Merckx, R. and Vanlauwe, B., 2010. A staggered maize-legume intercrop arrangement robustly increases crop yields and economic returns in the highlands of Central Kenya. *Field Crops Research*, 115(2) pp. 136–138. <http://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.10.013>
- Nancarrow, N., Aftab, M., Hollaway, G., Rodoni, B. and Trębicki, P., 2021. Yield losses caused by Barley Yellow Dwarf Virus-PAV Infection in wheat and barley: A three-year field study in South-Eastern Australia. *Microorganisms* 9(3), 645. <http://doi.org/10.3390/microorganisms9030645>
- Oso, A.A. and Falade, M.J., 2010. Effects of variety and spatial arrangement on pest incidence, damage and subsequent yield of cowpea in a cowpea/maize intercrop. *World Journal of Agricultural Sciences* 6, pp. 274-276.
- Pierre, J.F., Latournerie-Moreno, L., Garruña, R., Jacobsen, K.L., Laboski, C.A.M., Us-Santamaría, R. and Ruiz-Sánchez, E., 2022. Effect of maize-legume intercropping on maize physio-agronomic parameters and beneficial insect abundance. *Sustainability* 14, 12385. <http://doi.org/10.3390/su141912385>
- Real-Santillán, R.O., Del-Val, E., Cruz-Ortega, R., Contreras-Cornejo, H.Á., González-Esquivel, C.E. and Larsen, J., 2019. Increased maize growth and P uptake promoted by arbuscular mycorrhizal fungi coincide with higher foliar herbivory and larval biomass of the fall Armyworm *Spodoptera frugiperda*. *Mycorrhiza* 29, pp. 615-622. <http://doi.org/10.1007/s00572-019-00920-3>
- Ruiz-Sánchez, E., Caro-Heredia, J.A., Latournerie-Moreno, L., Ballina-Gómez H.S. and Ruiz-Santiago, E. E., 2023. Evaluación de daño por *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) y caracterización de los rasgos morfológicos foliares en poblaciones criollas de maíz (*Zea mays* L.). *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 26(38):1-10. <http://doi.org/10.56369/tsaes.4550>
- Shao, Z., Wang, X., Gao, Q., Zhang, H., Yu, H., Wang, Y., Zhang, J., Nasar, J., Gao, Y., 2020. Root contact between maize and alfalfa facilitates nitrogen transfer and uptake using techniques of foliar ¹⁵N-labeling. *Agronomy*, 2020;10:2-18. <http://doi.org/10.3390/agronomy10030360>
- Schober, P. and Vetter, T.R., 2020. Nonparametric statistical methods in medical research. *Anesthesia & Analgesia*, 131(6), 1862-1863.
- SIAP. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera 2022. Estadística de Producción Agrícola Nacional. Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://www.gob.mx/siap/>
- Thierfelder, C., Cheesman, S. and Rusinamhodzi, L., 2013. Benefits and challenges of crop rotations in maize-based conservation agriculture (CA) cropping systems of southern Africa. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 11(2), pp. 108-124. <http://doi.org/10.1080/14735903.2012.703894>
- Udayakumar, A., Shivalingaswamy, T.M. and Bakthavatsalam, N., 2021. Legume-based intercropping for the management of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* L. in maize. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 128(3), pp. 2–4. <http://doi.org/10.1007/s41348-020-00401-2>
- Ureta, C., González, E.J., Espinosa, A., Trueba, A., Piñeyro-Nelson, A. and Álvarez-Buylla, E.R., 2020. Maize yield in Mexico under climate change. *Agricultural Systems* 177, 102697. <http://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102697>
- Hamawaki, R.L. and Kantartzi, S.K., 2018. Di-nitrogen fixation at the early and late growth stages of soybean. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 40(1), pp-1-9. <http://doi.org/10.4025/actasciagron.v40i1.36372>
- Wang, Y., Zhang, Y., Zhang, H., Yang, Z., Zhu, Q., Yan, B., Fei, J., Rong, X., Peng, J. and Luo, G., 2022. Intercropping-driven nitrogen trade-off enhances maize productivity in a long-term experiment. *Field Crops Research*, 287, 108671. <http://doi.org/10.1016/j.fcr.2022.108671>