

Leguminosas: proveedores de servicios agroecológicos para la producción sostenible de maíz

En los agroecosistemas, las leguminosas desempeñan un papel fundamental como proveedores de servicios para los humanos, ya que son fuente de alimento, contribuyen al mejoramiento de los suelos y favorecen la diversificación de los cultivos. El maíz, cuando se cultiva en asociación con leguminosas y otras gramíneas, representa un claro ejemplo de esta sinergia entre cultivos. De esta manera, las plantas de maíz pueden obtener beneficios directos (nutricionales) e indirectos (protección contra insectos plaga). Esta revisión tiene como objetivo destacar la importancia de las leguminosas en la producción agroecológica del maíz, subrayando el papel crucial de estas plantas en la sostenibilidad de la producción agrícola.

Palabras clave:
Agroecología, cultivos asociados, diversidad de insectos, Fabaceae, interacción biológica.

ALDO DANIEL CHAN-ARJONA¹, ROBERTO RAFAEL RUIZ-SANTIAGO^{1,2}, JULIO CESAR AHUATZIN-HERNÁNDEZ¹ Y ESAÚ RUÍZ-SÁNCHEZ¹

¹División de estudios de posgrado e investigación, ¹Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Conkal, Avenida Tecnológico s/n, C.P. 97345, Conkal, Yucatán, México.

²roberto.ruiz@itconkal.edu.mx

Proveedores de servicios agroecológicos

Los servicios agroecológicos son beneficios que brindan un grupo de organismos (los proveedores) a otro organismo o grupo de organismos (los cultivos) para apoyar a su abastecimiento. Dentro de la agricultura sostenible, las leguminosas pueden proveer una amplia gama de servicios agroecológicos, tales como: 1) la producción de alimentos y abonos verdes ricos en nitrógeno, 2) la reducción de la necesidad de fertilizantes nitrogenados para respaldar la producción de cultivos y pastos debido a las contribuciones de la fijación simbiótica de nitrógeno, 3) en mejoras en las características estructurales del suelo, 4) la reducción de la incidencia de patógenos de raíces de cereales y la promoción de microorganismos beneficiosos, y 5) la diversificación de especies cultivadas en rotaciones, lo que reduce la dependencia de pesticidas y otros agroquímicos, promoviendo así la resiliencia y la biodiversidad del sistema.

¿Cómo benefician las leguminosas al maíz?

El maíz es altamente demandado en todo el mundo, sin embargo, su producción intensiva requiere una gran cantidad de agroinsumos. Ante esta situación, las leguminosas son una opción para una producción exitosa y sostenible de maíz, al aportar tres servicios agroecológicos al cultivo para eficientizar su producción: 1) el aporte de nitrógeno, 2) el aporte de fósforo y 3) el control de insectos plaga, estos son aspectos fundamentales para

@CICYoficial    



GOBIERNO DE
MÉXICO

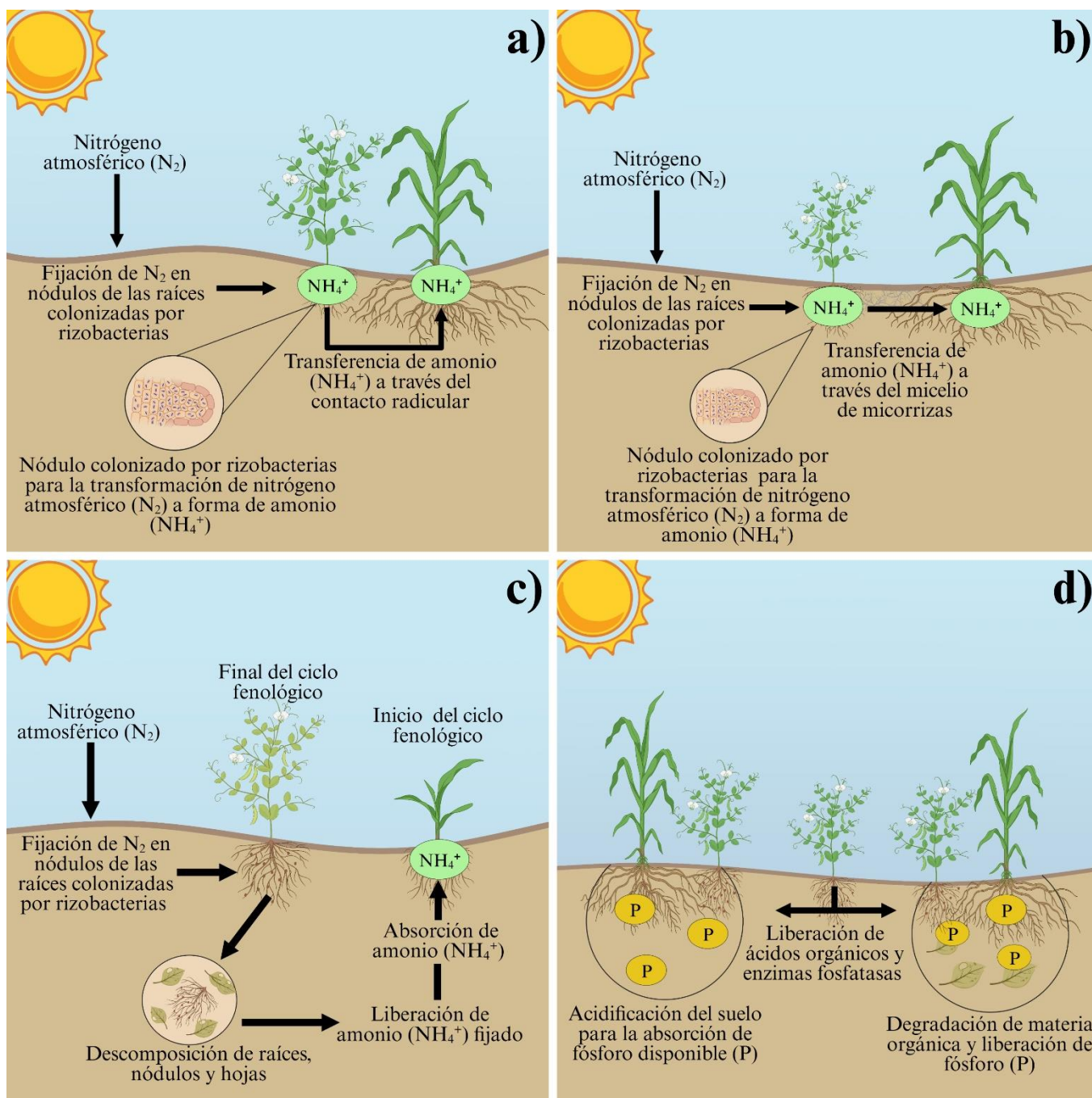


Figura 1. A. Vías de transferencia de nitrógeno y fósforo en el cultivo de maíz asociado con leguminosas. Transferencia de amonio a través del contacto radicular B. mediante el micelio de las micorrizas C. en la descomposición de materia vegetal en raíces, nódulos y hojas D. Liberación de ácidos orgánicos y enzimas fosfatasas para la recuperación y uso eficiente de fósforo. (Imagen creada con BioRender.com por: A.D. Chan-Arjona).

el ciclo productivo del maíz.

El primer servicio es el aporte de nitrógeno, este consiste en la contribución de nitrógeno asimilable en forma de amonio a través de la fijación de nitrógeno atmosférico (N_2) en la raíz de las legumi-

nosas, a través de la simbiosis con bacterias que incluyen los géneros *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Mesorhizobium* y *Sinorhizobium* presentes en el suelo (Schwember *et al.* 2019, Anas *et al.* 2020, Kirova y Kocheva 2021), esto se da mediante el contacto en-

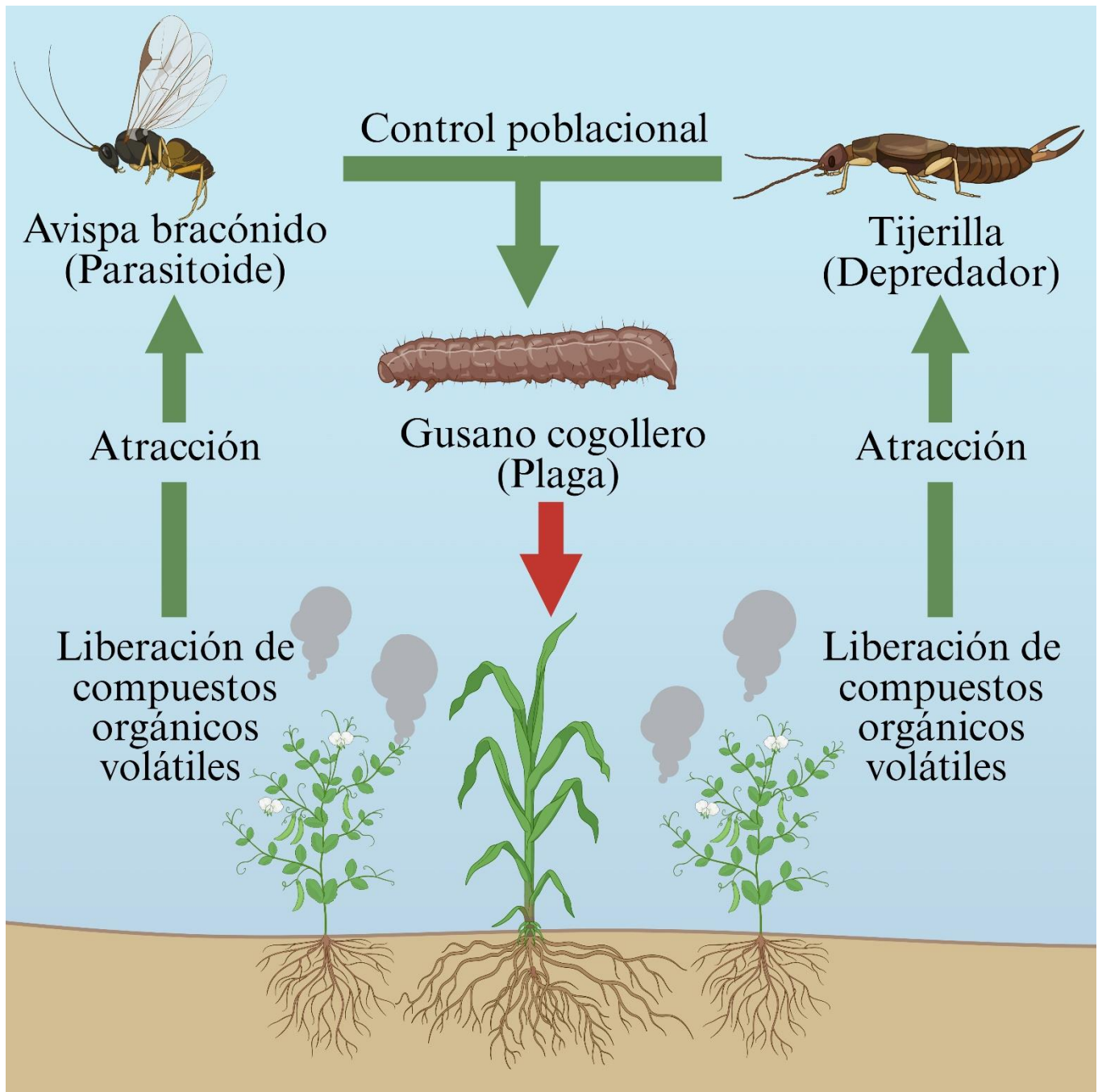


Figura 2. Efecto pull (atracción) de la asociación maíz-leguminosa. Atracción de enemigos naturales (parasitoides y depredadores) y supresión poblacional de insectos plaga (las flechas verdes indican interacción benéfica y las flechas rojas interacción perjudicial) (Imagen creada con BioRender.com por: A.D. Chan-Arjona).

tre raíces del maíz y la leguminosa (Figura 1A), a través de la interacción interespecífica leguminosa-micorriza-maíz, donde el micelio de las micorrizas es el responsable del transporte de nitrógeno de raíz a raíz (Figura 1B) y la descomposición de raíces, nódulos (órganos radiculares modificados por co-

lonias de bacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico) y hojas de las leguminosas, el cual será utilizado bajo un sistema de rotación de cultivos (Figura 1C) (Shao, *et al.* 2020, Wang *et al.* 2020, Kebede 2021). El segundo servicio, es la disponibilidad de fósforo mediado por la liberación de áci-



Figura 3. Sistemas de producción agrícola en crecimiento avanzado: **A.** Monocultivo maíz, **B.** Monocultivo leguminosa, **C.** Asociado maíz-leguminosa (Fotografías: A.D. Chan-Arjona).

dos orgánicos y enzimas fosfatasa a través de las raíces, debido a que los ácidos orgánicos acidifican el suelo para solubilizar y liberar el fósforo para las raíces de la planta vecina. Además, la liberación de enzimas fosfatasa se encargan de la descomposición acelerada de fósforo presente en la materia orgánica (Figura 1D) (Margalef *et al.* 2017, Mndzebele *et al.* 2020, Kebede 2021). El tercer y último servicio, es el control de insectos plaga a través de la atracción de enemigos naturales (parasitoides y depredadores), mediante la liberación de compuestos orgánicos volátiles (Figura 2) (Sobhy *et al.* 2022).

La mejora en el suministro de nutrientes aumenta el crecimiento y rendimiento de maíz

Estudios recientes documentan el efecto positivo en el crecimiento vegetativo del maíz cuando se establece asociado a soya (*G. max* L.), frijol común (*P. vulgaris* L.) y frijol caupí (*V. unguiculata* L.), donde se ha reportado un aumento en la altura, área foliar, biomasa seca, número de hojas, diámetro de tallo y contenido proteico total del follaje (Aslam *et al.* 2020, Li *et al.* 2020, Javanmard *et al.* 2020, Arshad 2021). Por otro lado, también se ha reportado efectos positivos en las características del rendimiento en maíz, tales como: el número de granos por mazorca, peso seco de grano y aumento productivo de grano por hectárea (Alemayehu *et al.* 2018, Li *et al.* 2020, 2022). Lo anterior demuestra la importancia de las leguminosas en la producción sostenible de maíz, ya que su uso como cultivo asociado en los sistemas de producción, puede reducir el uso de fertilizantes químicos encargados del crecimiento vegetativo y aumento productivo.

La atracción de enemigos naturales al sistema disminuye la presencia de plagas

Algunos estudios han mostrado la capacidad de las leguminosas para reducir el daño por insectos plaga cuando se asocian a algún cultivo primario, en gran medida es explicado por el aumento de la población de enemigos naturales (parasitoides y depredadores). Por ejemplo, cuando se asocia maíz con el cacahuate (*A. hypogaea* L.), haba (*V. faba* L.) y soya (*G. max* L.) se ha documentado disminuciones de daño por gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* J.E. Smith) de hasta 40 a 50 % en comparación con los monocultivos de maíz (Udayakumar *et al.* 2021, Guera *et al.* 2021). Se ha documentado la presencia de diversas familias de insectos “enemigos naturales” de insectos plaga en los cultivos de maíz, por ejemplo, cuando es asociado con crotalaria (*C. spectabilis* L.) y frijol caupí (*V. unguiculata* L.), destaca la presencia de familias de parasitoides como Braconidae, Tachinidae, Pteromalidae, Platygasteridae, Figitidae y Trichogrammatidae. Así como depredadores de las familias Forficulidae, Coccinellidae y Reduviidae (Guera *et al.* 2021, Araujo *et al.* 2021, Pierre *et al.* 2022). En ese sentido, las leguminosas al albergar una mayor diversidad de insectos, contribuyen al control de plagas en los cultivos asociados.

Conclusiones y recomendaciones.

Este trabajo muestra la importancia de la integración de leguminosas (Figura 3) como proveedores de servicios agroecológicos en el cultivo de maíz bajo un sistema asociado, al contribuir en la disponibilidad de nutrientes en el suelo y en la disminución

de la población de insectos plaga. En este sentido, las leguminosas contribuyen en la sostenibilidad de los cultivos agrícolas, debido a los múltiples beneficios capaces de brindar a nivel planta y suelo. Dichos beneficios podrían mitigar el uso indiscriminado de agroquímicos como los fertilizantes sintéticos y plaguicidas, los cuales han sido catalogados como insumos altamente tóxicos para distintos grupos de organismos, como los insectos benéficos (polinizadores, depredadores y parasitoides) y los microorganismos benéficos del suelo (hongos y bacterias), así como también para la salud humana, donde se han documentado casos de intoxicación, cáncer e incluso la muerte. Ante esto, se requiere de mayor investigación científica para desarrollar nuevas estrategias de producción que puedan contribuir a la sostenibilidad agrícola y la seguridad alimentaria, y así mismo mitigar el uso indiscriminado de agroinsumos en la agricultura.

Referencias

- 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. <https://doi.org/10.4172/2329-8863.1000324>
- 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. <https://doi.org/10.1186/s40659-020-00312-4>
- 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. <https://doi.org/10.21475/ajcs.21.15.06.p3196>
- Arshad M. 2021.** Fortnightly dynamics and relationship of growth, dry matter partition and productivity of maize based sole and inter-cropping systems at different elevations. *European Journal of Agronomy* 130: 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126377>
- Aslam M., Naeem M., Rehman A., Zafar M.M., Iqbal R., Shahzad M.A., Khan R.M.I. y Iqbal J. 2021.** Maize (*Zea mays*) Intercropping with Legumes Enhances Growth, Dry Matter and its Forage Yield under Deficit Irrigation. *International Journal of Agriculture y biology* 25: 89-96. <https://doi.org/10.17957/IJAB/15.1642>
- 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): 1-13. <https://doi.org/10.3390/insects12040298>
- Javanmard A., Amani Machiani M., Lithourgidis A., Morshedloo M.R. y Ostadi A. 2020.** Intercropping of maize with legumes: A cleaner strategy for improving the quantity and quality of forage. *Cleaner Engineering and Technology* 1: 2-9. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2020.100003>
- Kebede E. 2021.** Contribution, utilization, and improvement of legumes-driven biological nitrogen fixation in agricultural systems. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 5: 2-16. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.767998>
- 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. <https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1921204>
- 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. <https://doi.org/10.3390/agriculture12020151>
- Li S., Evers J.B., van der Werf W., Wang R., Xu Z., Guo Y., Li B. y Ma Y. 2020.** Plant architectural responses in simultaneous maize/soybean strip intercropping do not lead to a yield advantage. *Annals of Applied Biology* 177(2): 195-210. <https://doi.org/10.1111/aab.12610>
- 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 phosphorus

- tase activity in natural soils. *Scientific reports* 7(1): 1337. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-01418-8>
- 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. <https://doi.org/10.3390/agronomy10010079>
- 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 physio-agronomic parameters and beneficial insect abundance. *Sustainability* 14(19): 12385. <https://doi.org/10.3390/su141912385>
- 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. <https://doi.org/10.3390/plants8090333>
- Shao Z., Wang X., Gao Q., Zhang H., Yu H., Wang Y., Zhang J., Nasar J. y Gao Y. 2020.** Root contact between maize and alfalfa facilitates nitrogen transfer and uptake using techniques of foliar ¹⁵N-labeling. *Agronomy* 10(3): 1-16. <https://doi.org/10.3390/agronomy10030360>
- 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. <https://doi.org/10.3389/fevo.2022.883020>
- 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. <https://doi.org/10.1007/s41348-020-00401-2>
- Wang N.Q., Kong C.H., Wang P. y Meiners S.J. 2020.** Root exudate signals in plant-plant interactions. *Plant, Cell & Environment* 44(4): 1044-1058. <https://doi.org/10.1111/pce.13892>

Desde el Herbario CICY, 16: 116-121 (13-junio-2024), es una publicación semanal editada por el Herbario CICY del Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., con oficinas en Calle 43 x 32 y 34 No. 130, Col. Chuburná de Hidalgo, C.P. 97205, Mérida, Yucatán, México. Tel. 52 (999) 942-8330 Ext. 110, www.cicy.mx/Sitios/Desde_Herbario/, webmas@cicy.mx. Editores responsables: Rodrigo Duno de Stefano, Patricia Rivera Pérez y Lilia Lorena Can Itzá. Reserva de Derechos al Título Exclusivo No. 04-2016-041413195700-203, otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor, ISSN: 2395-8790. Responsable de la publicación: José Fernely Aguilar Cruz, Calle 43 x 32 y 34 No. 130, Col. Chuburná de Hidalgo, C.P. 97205, Mérida, Yucatán, México. Fecha de última modificación: 13 de junio de 2024. Las opiniones expuestas por los autores no necesariamente expresan la postura del editor de la publicación. De la misma manera, la responsabilidad sobre la veracidad y la precisión de los contenidos, le corresponde totalmente a los autores de los ensayos.