



Economía circular y sostenibilidad tecnológica: Estudio de caso del sistema milpa en México

Circular economy and technological sustainability: A case study of the milpa system in Mexico

Oscar Ricardo Pérez-Durán¹; Noé Aguilar-Rivera^{1*}; Luis Alberto Olvera-Vargas²

¹ Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana. Región Orizaba-Córdoba, México.

² Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ). Guadalajara, Jalisco, México.

ORCID de los autores

O. R. Pérez-Durán: <https://orcid.org/0000-0002-0820-7458>

N. Aguilar-Rivera: <https://orcid.org/0000-0002-7833-6749>

L. A. Olvera-Vargas: <https://orcid.org/0000-0002-8771-6575>

RESUMEN

Actualmente, los sistemas de producción agrícola enfrentan problemas globales como la adaptación al cambio climático y la pérdida de hábitat. El enfoque de agricultura intensiva, producto de la economía lineal, ha generado que los sistemas tradicionales se consideren improductivos u obsoletos. A pesar de esto, el sistema de milpa sigue siendo esencial para la seguridad alimentaria y base de la economía local; a lo largo de su historia se han incorporado estrategias e innovaciones con el fin de optimizar los recursos disponibles, donde los conocimientos tradicionales han sido la base de la resiliencia de este sistema; sin embargo, se siguen incorporando conocimientos, aunque a un ritmo más lento. Por tal motivo, se ha realizado una revisión sistemática de las principales estrategias que utilizan los actores e instituciones relacionadas con el sistema de milpa en México, con el objetivo de presentar una visión armónica bajo el marco de los aportes de la sustentabilidad y la economía circular, los resultados permiten conceptualizar el sistema milpa como una entidad adaptable, con potencial de mejoramiento y no estática, así como un espacio agroecológico donde converge el manejo adecuado de productos y residuos.

Palabras clave: *Zea mays* L.; resiliencia; agroecología; seguridad alimentaria.

ABSTRACT

Currently, agricultural production systems face global problems such as adaptation to climate change and habitat loss. The intensive agriculture approach, product of linear economy, has generated traditional systems to be left aside. Despite this, the milpa system is still essential for food safety and the basis of local economy; throughout its history strategies and innovations have been incorporated to optimize available resources, where traditional knowledge has been the basis of resiliency of this system; however, knowledge continues to be incorporated, although at a slower rate. For this reason, systematic review has been carried out of the main strategies that are used by actors and institutions related to the milpa system in Mexico, with the aim of presenting a harmonic vision under the framework of contributions of sustainability and the circular economy, the results allow conceptualization of the milpa system as an adaptable entity potential for improvement and not static, as well as agroecological space where the adequate management of bioproducts and waste converge.

Keywords: *Zea mays* L.; resilience; agroecology; food security.

1. Introducción

El maíz (*Zea mays* spp.) es una gramínea, su principal ancestro es el teosinte, una planta silvestre que crece en América del Norte y México, el maíz fue domesticado hace unos 9 mil años en un área geográfica estrecha a una altitud media en el suroeste de México y rápidamente se extendió a muchos entornos nuevos diversificarse (Crow et al., 2020). Según la clasificación más reciente, México cuenta con alrededor de 65 razas de las 300 razas de maíz identificadas en el continente americano (Galindo et al., 2023). La producción está dominada por maíz blanco y amarillo, sin embargo, se cultivan otros maíces con diversidad de colores, con relevancia económica, económica y cultural. Son reportados las razas de maíz de México con base en caracteres morfológicos, de adaptación y genéticos (isoenzimas) en siete grupos o complejos raciales (Ruiz et al., 2004; Figura 1). Actualmente, el maíz se cultiva en todo el mundo con gran diversidad debido a la interacción con diversas condiciones agroclimáticas. Para los mexicanos es el cereal básico y parte esencial de su dieta. Asimismo, en términos económicos es uno de los engranajes más importantes del sector

primario del país con las diferentes razas de maíz (Rosado & Villasante, 2021).

El maíz representó el principal alimento de las culturas prehispánicas, fue la base de su poder, economía y cultura. Paulatinamente se fueron incorporando otras plantas que aseguraban su nutrición, como: malezas y arvenses comestibles, calabazas, cacao, chile, tomate y tubérculos (Fonteyne et al., 2023). El sistema de producción de alimentos más frecuente y extendido en los paisajes rurales de México es la milpa, su nombre deriva de las palabras náhuatl, mili, que significa "campo de cultivo" y pan, "arriba", es un sistema de policultivo, que tiene como cultivo principal el maíz. En algunas regiones, especies de insectos como los grillos (*Sphenarium* spp.) y saltamontes (*Melanoplus* spp.) se utilizan como fuente de proteínas de diversas especies de hongos, incluyendo plagas fúngicas como el huitlacoche (*Ustilago maydis*) rico en minerales como P, Mg y Ca (Suastegui-Cruz et al., 2024; Castillo-López et al., 2021; Leyva-Trinidad et al., 2020). Por tanto, la milpa es un ejemplo de sistema agroalimentario en el que se pueden aprovechar todos sus recursos de forma sostenible (Pérez-Nicolás et al., 2024) (Fig. 2).

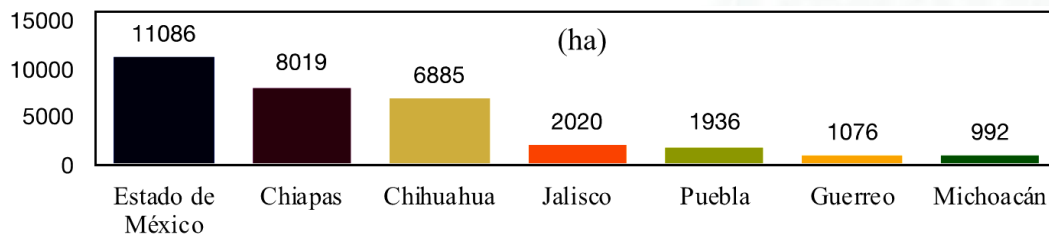


Figura 1. Área sembrada con maíz de otros colores (SAGARPA & SIAP, 2018).

Figure 1. Area planted with corn of other colors (SAGARPA & SIAP, 2018).



Figura 2. Actividades relacionadas con el sistema milpa (fotografías tomadas en la Sierra de Zongolica Veracruz).

Figure 2. Activities related to the milpa system (photographs taken in the Sierra de Zongolica Veracruz).

Sin embargo, uno de los cambios más drásticos que tuvieron los sistemas de producción mexicanos fue el que a partir de la revolución verde, durante el periodo de 1940 a 1965 la producción se cuadruplicó, en las siguientes décadas fue un modelo para impulsar paquetes tecnológicos en todo el mundo (Cabral et al. 2022); llegando a ser considerado como un atributo de prosperidad para los países en desarrollo. Por otro lado, la agricultura tradicional fue denominada sistema obsoleto, improductivo y a sus usuarios de tecnológicamente atrasados. Sin embargo, el uso intensivo de agroquímicos, mecanización, artificialización de los flujos ecológicos y la importación de grandes cantidades de granos básicos generaron una crisis alimentaria en México desde la década de 1970 (León & Gaona, 2021).

Economía circular, agricultura y sistema milpa

Tomando como núcleo los principios de la economía circular y su carácter holístico, basado en las actividades agrícolas, surge el concepto de agricultura circular (Helgason et al. 2021), cuyo objetivo es utilizar cantidades mínimas de insumos externos, cerrar los ciclos de nutrientes, regenerar suelos y reducir el impacto ambiental. Entre sus ventajas está la reducción de la dependencia de fertilizantes químicos y por tanto de sus residuos, lo que impacta en la huella ecológica de los sistemas agrícolas; En la agricultura circular, la reutilización y reciclaje de materiales puede ser el uso de estiércol como fertilizante orgánico o el uso de residuos orgánicos en diferentes partes del proceso y los productos agrícolas contribuyen a la nutrición y mejora de las dietas modernas (Gamboa-Cimé et al. 2024; Biruete et al. 2024)

El sistema tradicional milpa presenta ventajas en eficiencia del uso de energía, agrobiodiversidad, equilibrio oferta – demanda de granos y pastos, ética en el manejo de los recursos naturales y nivel de seguridad alimentaria, en comparación con el sistema de monocultivo, indican los autores. que la milpa ofrece una mayor diversidad de alimentos y espacios de cultivo, hay una complementariedad con otras especies y se reduce la dependencia de maquinaria y agroquímicos.

Es necesario mencionar que también existen prácticas agrícolas tradicionales que deterioran el sistema, una de ellas es la quema de residuos que se realiza una vez finalizado el ciclo; Se ha reportado que genera una disminución de

nutrientes y elimina casi por completo los microorganismos que habitan en el suelo, creando así un ciclo de dependencia por el uso de agroquímicos, derivado de lo cual se han sumado esfuerzos para reportar la nocividad de esta práctica. y dejar una cubierta vegetal que se ha traducido en un aumento de la productividad (Rojas-Sánchez et al. 2025; Romero-Natale et al. 2024).

El sistema milpa presenta ventajas socioeconómicas y ambientales en relación al monocultivo, Sin embargo, aún existe desconocimiento de su revalorización y las ventajas de este sistema de cultivo intercalado al considerarlo obsoleto e improductivo (Chan-Arjona et al. 2025). Por lo que el objetivo de este trabajo fue realizar un mapeo bibliográfico de los impactos tecnológicos y socio ecológicos del sistema milpa y el monocultivo de maíz empleando el software Vosviewer.

2. Metodología

Los datos recogidos en las dos etapas (naciones y palabras de concurrencia) fueron obtenidos de la base de datos Scopus, propiedad de la editorial científica Elsevier. Se selecciono esta base de datos por su amplia cobertura y precisión, así como por su inclusión de literatura científica revisada por pares y su alto nivel de citas registradas.

Análisis bibliométrico de la sostenibilidad del sistema milpa

Un mapeo bibliométrico posibilita la identificación de tendencias basadas en datos científicos en diversas formas de publicaciones, que abarcan artículos científicos, capítulos de libros, reseñas, ponencias de conferencias, entre otros documentos, a través del uso de técnicas estadísticas (Donthu et al., 2021). Esta metodología opera a través de la recopilación de datos obtenidos mediante la escritura de palabras clave proporcionada por el autor, permitiendo modificar el año, tipo de documento y palabras de concurrencia que se encuentran en las principales bases de datos bibliográficas. El uso de los mapeos bibliométricos ha contribuido a diversas actividades científicas y sociales dentro del sector maicero en la última década (Yuan & Sun 2020; Feng et al., 2022; Kar et al., 2023).

El resultado genera un modelo gráfico de interacciones entre palabras clave, regiones, autores, instituciones, países etc. que se conectan entre si (Oladinrin et al., 2023). Estas representaciones o diagramas unidos mediante conectores

de diferente distancia permiten determinar el impacto en determinada investigación (Ellegaard, 2018; Donthu et al., 2021). El análisis bibliométrico para el manejo convencional de maíz y el sistema de cultivos intercalados o milpa permitirá identificar avances tecnológicos e impactos socioeconómicos y ambientales, oportunidades y líneas de investigación como base para la toma de decisiones.

El cultivo de maíz se lleva a cabo en todo el orbe debido a que es una fuente de carbono básica de alto valor alimentario y versatilidad tecnología para diversos bioproductos (Mishra et al., 2021; Erenstein et al., 2022). En el sistema de producción intercalado o milpa, existe la sinergia del maíz con frijol, calabaza y diversas hortalizas. Este sistema mesoamericano es eficiente al conservar la biodiversidad, optimizar el uso del suelo y aumentar la productividad agrícola (Lopez-Ridaura et al., 2021; Rakotomalala et al., 2023; Maitra et al., 2023). Además, es este policultivo se reduce el uso de agroquímico conservando la vida de los suelos.

El análisis bibliométrico del sistema milpa es un abordaje que resalta, prácticas agrícolas, oportunidades de innovaciones tecnológicas, estrategias de manejo sostenible, áreas emergentes de investigación, y posibles colaboraciones entre instituciones y países.

El presente análisis se divide en dos etapas, donde en la primera se detalla y discute el análisis de las naciones involucradas en proveer información a través del tiempo, implementando palabras clave como maíz, *zea mays*, milpa, México e intercropping. En la segunda etapa se muestran los resultados y discusión de las palabras de concurrencia relacionadas con las palabras claves antes mencionadas. Los resultados se analizarán con base a los diversos impactos económicos-ambientales vinculados con la sostenibilidad de a lo largo de cadena de valor del maíz.

3. Resultados y discusión

Análisis del sistema milpa

En esta sección se presentan tres mapas bibliométricos relacionados con países de todo el mundo: el mapa A) incluye las palabras Milpa e intercropping utilizando toda la información bibliográfica disponible; el mapa B) con las palabras *Zea mays* e intercropping con al menos 25 palabras concurrentes y 25 documentos como mínimo por país; y el mapa C) utilizando las palabras Maize, México e intercropping con toda

la información disponible (Figura 3). En los tres mapas se destacan por la fuerte relación entre México, Estados Unidos y los Países Bajos, así mismo, se observa que países asiáticos y africanos carecen de interacción, lo que indica que no hay información suficiente con el tema principal del objetivo. La relación sobresaliente entre México, Estados Unidos y los Países Bajos puede ser debido su fuerte enfoque en investigación y desarrollo agrícola, políticas de agricultura sostenible y amplias redes de colaboración internacional que facilitan la difusión de sus estudios. En contraste, la menor interacción con países asiáticos y africanos puede atribuirse a desigualdades en recursos para investigación, diferencias en los sistemas de publicación, enfoques agrícolas distintos y barreras lingüísticas que limitan la accesibilidad y la difusión de la información de estos países.

El mapa A evidencia similitudes entre México, Guatemala y el Reino Unido debido a la diversidad genética, histórica, cultural y arqueológica del mundo Maya entre Guatemala y México como centros de origen del maíz, pero con interacción con la tecnología del Reino Unido. Los tres países tan diversos entre tienen en común interés la seguridad alimentaria (Lopez-Ridaura et al., 2021). En esta red se identifica que Reino Unido genera desarrollos tecnológicos en áreas clave como biotecnología, mientras que Guatemala y México tienen la ventaja de ser regiones agroecológicas para la investigación de las tecnologías generadas en Reino Unido contribuyendo a mejora el cultivo sostenible de maíz y diversas cosechas impactando agricultores locales (Liu et al., 2018; Tiammee & Likasiri 2020). Dentro del mapa B se estableció una amplia red de investigación entre diversos países europeos y americanos, resaltando además la creciente participación de resultados de investigación de China como uno de los mayores productores de maíz (Wang et al., 2021).

China es líder mundial en investigación agrícola y tecnológica derivado de las inversiones del gobierno en universidades e institutos (Zhang et al., 2020). Además, China enfrenta desafíos significativos de seguridad alimentaria debido a su gran población, lo que motiva la optimización del uso de la tierra y el aumento de la productividad agrícola (Cui & Xie, 2022). La participación de China en redes de investigación internacionales y el intercambio de conocimientos en conferencias y publicaciones globales también contribuyen a la abundancia de información.

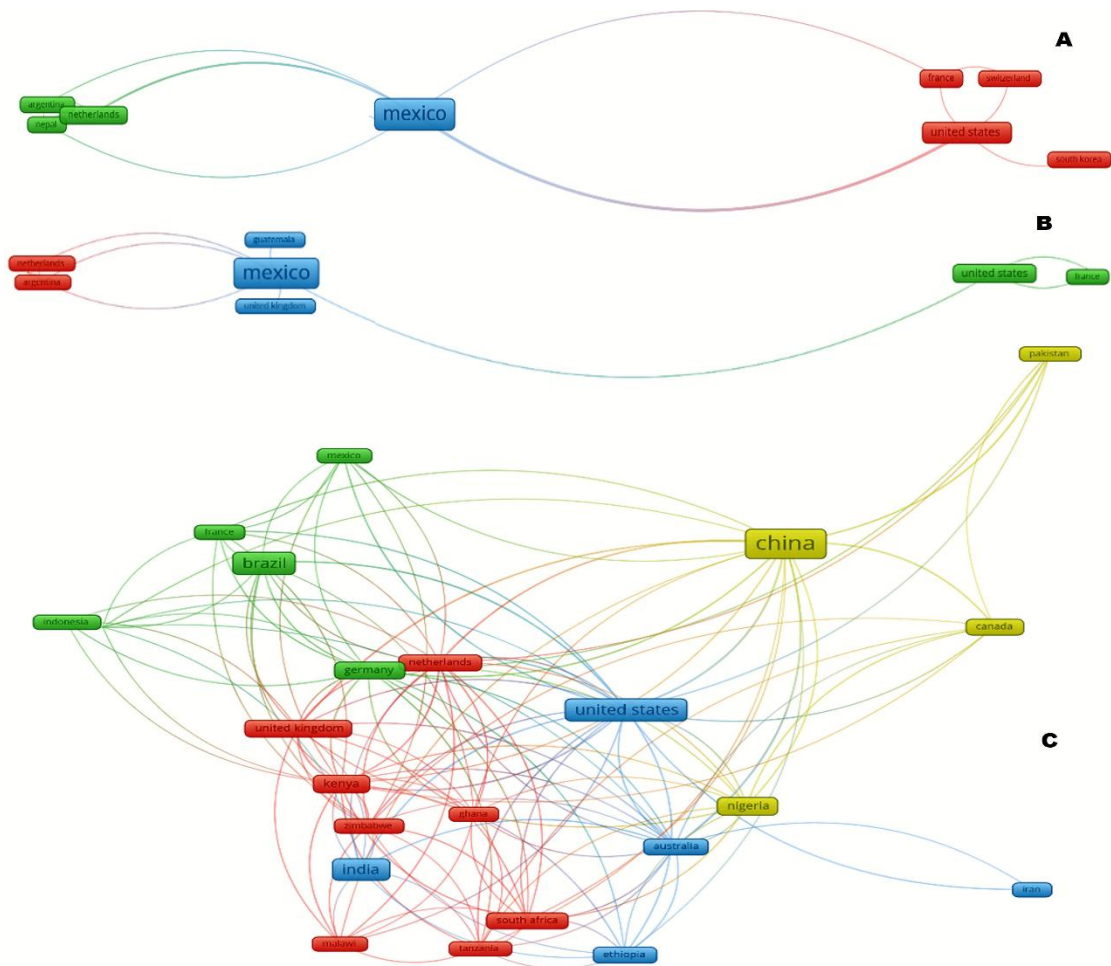


Figura 3. Red de coautoría científica por países, (A) Países con investigación en sistemas de intercalado, (B) Países con investigación en diversos factores relacionado del intercalado y (C) Países relacionados con al menos un factor en investigación relacionado al intercalado.

Figure 3. Scientific co-authorship network by country, (A) Countries with research on interleaving systems, (B) Countries with research on various interleaving-related factors, and (C) Countries with at least one interleaving-related factor in research.

La combinación de prácticas agrícolas tradicionales con enfoques modernos y tecnología avanzada maximiza la eficiencia y sostenibilidad de sus sistemas agrícolas, resultando en una rica base de datos sobre el maíz y el cultivo intercalado. En el mapa C se presentan tres grupos de interés donde México se encuentra solo, sin embargo, podemos determinar que hay una cercanía en el intercambio de información con Países Bajos, Argentina y Nepal. En regiones donde la agricultura es un pilar económico, como en muchos países en desarrollo, la implementación de Intercropping puede diversificar los ingresos de los agricultores y mejorar la seguridad alimentaria (Mupangwa et al., 2021). En relación con lo anterior, diversificación agroindustrial minimiza riesgos asociados con monocultivos con numerosas opciones productivas. En el mapa en el clúster rojo resalta la ubicación de países con tecnologías avanzadas en el área agropecuarias como Estados Unidos, Francia, Suiza y Corea del Sur (Moore et al., 2022; Song et al., 2023). En estos se llevan a cabo desarrollos en políticas

agrícolas sostenibles y prácticas de cultivo intercalado, redes de investigación y generación de conocimientos (Heyl et al., 2021).

Red de países de coautoría involucrados con un enfoque sostenible de los cultivos intercalados con el maíz

Existen tres mapas de concurrencia más significativos (Figura 4). Mapa A) con palabras clave Milpa y Intercropping; mapa B) *Zea mays* e Intercropping con al menos 25 palabras concurrentes; y el mapa C), las palabras Maize, México e Intercropping. La interacción de estos grupos de palabras clave en cada mapa revela áreas clave de enfoque y desafíos en la investigación agrícola.

En el mapa A se identificaron al menos dos grupos de palabras. El rojo resalta términos relacionados con el cambio climático y biodiversidad, con conexión directa entre estos (intercropping en sistemas Milpa). El verde incluye palabras como monocultivo y especies asociadas con el cultivo de maíz, calabaza y leguminosas.

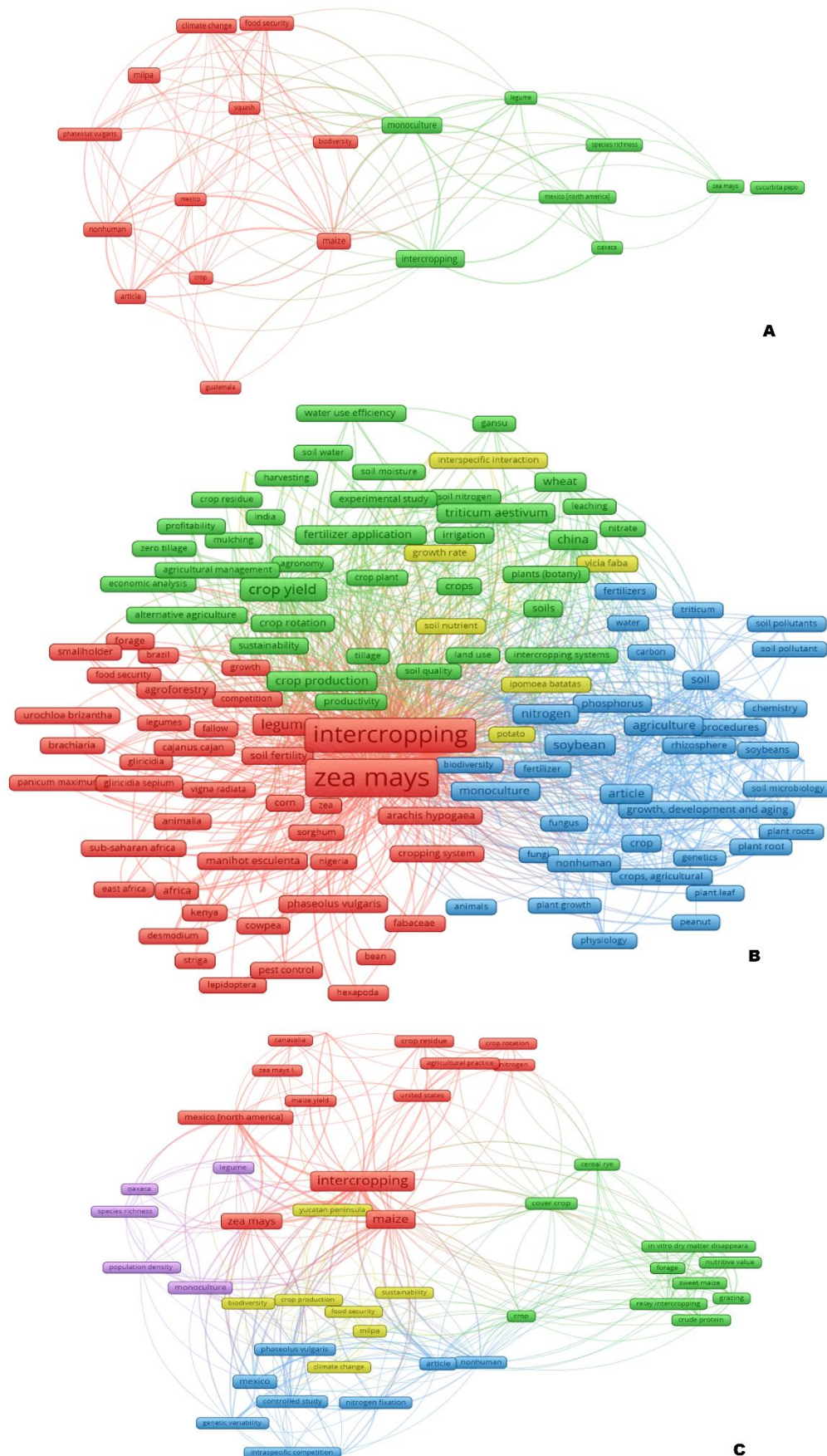


Figura 4. Red de palabras de concurrence resaltando las palabras Milpa e intercropping (A), *Zea mays* e intercropping (B) y Maize, México e intercropping (C) con documentos científicos publicados en los últimos 10 años.

Figure 4. Network of concurrence words highlighting the words Milpa and intercropping (A), *Zea mays* and intercropping (B) and Maize, Mexico and intercropping (C) with scientific documents published in the last 10 years.

Esta división sugiere que, dentro de las bases de datos científicas, existe un enfoque dual en beneficios ambientales y factores limitantes del sistema Milpa. La conexión que existe con cambio climático y la biodiversidad en el sistema milpa destaca su importancia tradicional en la mitigación del cambio climático y el impulso de la biodiversidad agrícola (Paul Jr et al., 2023). Sin embargo, la existencia de términos relacionados con monocultivo y especies asociadas al maíz en el grupo verde indica que todavía existen desafíos significativos en la gestión de estos sistemas para maximizar su sostenibilidad y productividad.

En el Mapa B se generó una mayor cantidad de palabras concurrentes con cuatro grupos diferentes. El rojo, el más extenso con palabras clave como seguridad alimentaria, sistemas agrícolas y control de plagas, resalta la importancia de *Zea mays* en la seguridad alimentaria global y las prácticas agrícolas sostenibles. El azul incluye términos agrícolas como suelo, fertilizantes y monocultivo, reflejando la necesidad de la gestión del suelo y manejo de la fertilización en la producción de maíz. El verde incluye palabras como uso eficiente del agua, sustentabilidad y cultivos similares al maíz, resaltando la urgencia de prácticas agrícolas sostenibles y eficientes en el uso del agua. El amarillo, el más reducido con palabras como porcentaje de crecimiento e interacción interés-específica, resalta investigaciones específicas sobre productividad y relaciones entre especies en sistemas intercalados. Lo anterior resalta esta perspectiva al mostrar una red de colaboración más compleja y diversificada. La inclusión de términos como seguridad alimentaria, sistemas agrícolas y control de plagas en el grupo rojo refleja la importancia crítica de *Zea mays* en la seguridad alimentaria global. Esta conectividad entre los grupos indica que los sistemas intercalados de *Zea mays* no solo son relevantes para la producción de alimentos, sino que también son esenciales para el desarrollo de sistemas agrícolas resilientes y sostenibles (Kangogo et al., 2021).

Las palabras relacionadas con el suelo y fertilizantes en el grupo azul resaltan la necesidad de prácticas de gestión ambiental, para incrementar la productividad agrícola a largo plazo (Bungau et al., 2021; Bhunia et al., 2021). Mapa C muestra cinco grupos con una menor cantidad de palabras. Rojo incluye términos de cultivos que pueden intercalarse con maíz y el uso de residuos agrícolas, sugiriendo un enfoque de diversificación de cultivos y el manejo de residuos. El

grupo azul incluye términos como fijación de nitrógeno y variabilidad genética, destacando la investigación en mejoras genéticas y la fertilidad del suelo.

El grupo verde abarca palabras relacionadas con la evaluación de nutrientes y proteína cruda, indicando estudios centrados en la calidad nutricional de los cultivos.

El grupo amarillo se relaciona con los términos sostenibilidad y cambio climático, reforzando su importancia en la investigación agrícola. El grupo morado contiene palabras como monocultivo y densidad de población, reflejando el interés acerca de prácticas de manejo de cultivos y la presión poblacional en la agricultura. Este grupo revela una investigación más específica y detallada sobre la calidad nutricional y la sostenibilidad. La inclusión de términos relacionados con la evaluación de nutrientes y proteína cruda en el grupo verde indica la importancia de mejorar la calidad nutricional de los cultivos, lo cual es crucial en la salud humana y seguridad alimentaria. La fijación de nitrógeno y la variabilidad genética, presentes en el grupo azul, destacan la importancia de la mejora genética y la fertilidad del suelo en la investigación agrícola. Estos elementos son esenciales para desarrollar cultivos más resistentes y productivos que puedan adaptarse a condiciones ambientales extremas (Janni et al., 2020; Chaudhary et al., 2023; Nyaupane et al., 2023). La reducción del uso de agroquímicos reduce la contaminación ambiental y riesgos para la salud humana, lo que también puede incidir en minimizar costos para los agricultores de maíz (Figura 4).

Económicamente, la investigación y adopción de sistemas de cultivo como el Intercropping pueden aumentar significativamente la productividad agrícola, diversificar los ingresos de los agricultores y mejorar la seguridad alimentaria (Maitra et al., 2021). El desarrollo de prácticas de cultivos intercalados (Intercropping) es una opción tecnológica para incrementar la estabilidad financiera en regiones agrícolas y reducir el riesgo en monoculturas (Huss et al., 2022).

Desde el punto de vista ambiental, los cultivos intercalados tienen potencialmente numerosos beneficios, como la mejora de la biodiversidad del suelo, reducción del uso de agroquímicos y el aumento de la resiliencia frente al cambio climático (Glaze-Corcoran et al., 2020). La mejora de la biodiversidad del suelo, en particular, puede promover la actividad biológica, mejorar la estructura del suelo y aumentar su fertilidad a largo plazo.

4. Conclusiones

La investigación sobre el cultivo del maíz e Intercropping (milpa) revela una sólida colaboración entre México, Estados Unidos y los Países Bajos, destacando la necesidad urgente de una mayor integración con Asia y África. Los beneficios económicos y medioambientales del Intercropping subrayan la importancia de la colaboración internacional para mejorar la sostenibilidad y viabilidad económica de las prácticas agrícolas globales.

Desde el punto de vista de rentabilidad, el sistema milpa puede incrementar significativamente la productividad del maíz grano o elote al diversificar los ingresos de los campesinos en regiones agrícolas. Este sistema de manejo de recursos basado en soluciones de la naturaleza impulsa una mayor gestión sostenible de recursos agrícolas, fundamental para los retos ante el cambio climático. Los productores de maíz pueden adoptar esta estrategia integral para fortalecer la seguridad alimentaria, estabilidad económica y sostenibilidad medioambiental de sus cultivos.

Referencias bibliográficas

- Biruete, A., Leal-Escobar, G., Espinosa-Cuevas, Á., Mojica, L., & Kistler, B. M. (2024). Dieta de la Milpa: a culturally-concordant plant-based dietary pattern for Hispanic/Latine people with chronic kidney disease. *Nutrients*, 16(5), 574. <https://doi.org/10.3390/nu16050574>
- Bungau, S., Behl, T., Aleya, L., Bourgeade, P., Aloui-Sossé, B., Purza, A. L., & Samuel, A. D. (2021). Expatriating the impact of anthropogenic aspects and climatic factors on long-term soil monitoring and management. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(24), 30528-30550. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14127-7>
- Bhunia, S., Bhowmik, A., Mallick, R., & Mukherjee, J. (2021). Agronomic efficiency of animal-derived organic fertilizers and their effects on biology and fertility of soil: A review. *Agronomy*, 11(5), 823. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050823>
- Chaudhary, P., Xu, M., Ahamad, L., Chaudhary, A., Kumar, G., Adeleke, B. S., & Abou Fayssal, S. (2023). Application of synthetic consortia for improvement of soil fertility, pollution remediation, and agricultural productivity: a review. *Agronomy*, 13(3), 643. <https://doi.org/10.3390/agronomy13030643>
- Cabral, L., Pandey, P., & Xu, X. (2022). Epic narratives of the Green Revolution in Brazil, China, and India. *Agriculture and Human Values*, 39(1), 249-267. <https://doi.org/10.1007/s10460-021-10241-x>
- Chan-Arjona, A. D., & Miranda-Gamboa, E. M. (2025). Revalorización de la milpa: un enfoque culinario para su conservación en las comunidades indígenas. *Bioagrociencias*, 18(1), 45-53. <http://doi.org/10.56369/BAC.6157>
- Castillo-López, E., Marín-Colli, E. E., López-Tolentino, G., Jiménez-Chi, J. A., & Muñoz-Osorio, G. A. (2021). Perspectivas del sistema milpa en Yucatán. *Bioagrociencias*, 14(2), 13-22. <http://dx.doi.org/10.56369/BAC.3912>
- Crow, T., Ta, J., Nojoomi, S., Aguilar-Rangel, M. R., Torres Rodríguez, J. V., Gates, D. & Runcie, D. (2020). Gene regulatory effects of a large chromosomal inversion in highland maize. *PLoS genetics*, 16(12), e1009213. <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1009213>
- Cui, X., & Xie, W. (2022). Adapting agriculture to climate change through growing season adjustments: Evidence from corn in China. *American Journal of Agricultural Economics*, 104(1), 249-272. <https://doi.org/10.1111/ajae.12227>
- Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 133, 285-296. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>
- Ellegaard, O. (2018). The application of bibliometric analysis: disciplinary and user aspects. *Scientometrics*, 116, 181-202. <https://doi.org/10.1007/s11192-018-2765-z>
- Erenstein, O., Jaleta, M., Sonder, K., Mottaleb, K., & Prasanna, B. M. (2022). Global maize production, consumption and trade: trends and R&D implications. *Food security*, 14(5), 1295-1319. <https://doi.org/10.1007/s12571-022-01288-7>
- Feng, L., Tang, H., Pu, T., Chen, G., Liang, B., Yang, W., & Wang, X. (2022). Maize-soybean intercropping: A bibliometric analysis of 30 years of research publications. *Agronomy Journal*, 114(6), 3377-3388. <https://doi.org/10.1002/agj2.21186>
- Fonteyne, S., Castillo Caamal, J. B., Lopez-Ridauro, S., Van Loon, J., Espidio Balbuena, J., Osorio Alcalá, L., ... & Verhulst, N. (2023). Review of agronomic research on the milpa, the traditional polyculture system of Mesoamerica. *Frontiers in Agronomy*, 5, 1115490. <https://doi.org/10.3389/fagro.2023.1115490>
- Galindo, A. A. G., Franco, A. G., & Hernández, M. K. (2023). El estudio de la diversidad del maíz en contextos rurales del sureste mexicano: Una mirada desde la educación científica intercultural. In *Enseñanza de las ciencias, interculturalidad y contexto rural: Una mirada latinoamericana* (pp. 57-78). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- Gamboa-Cimé, C. A., Castillo-Caamal, J. B., Vilchis-Ramos, R., Santos-Flores, J. S., & García-Lira, A. (2024). Efecto de prácticas de agricultura de conservación en la producción de maíz en el sistema milpa en Yucatán, México. *Agronomía Costarricense*, 48(2), 83-94. <http://dx.doi.org/10.15517/rac.v48i2.62473>
- Glaze-Corcoran, S., Hashemi, M., Sadeghpour, A., Jahanzad, E., Afshar, R. K., Liu, X., & Herbert, S. J. (2020). Understanding intercropping to improve agricultural resiliency and environmental sustainability. *Advances in agronomy*, 162, 199-256. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2020.02.004>
- Helgason, K. S., Iversen, K., & Julca, A. (2021). Circular agriculture for sustainable rural development. <https://www.un.org/development/desa/dpad/publication/un-des-policy-brief-105-circular-agriculture-for-sustainable-rural-development/>
- Heyl, K., Ekdardt, F., Roos, P., Stubenrauch, J., & Garske, B. (2021). Free trade, environment, agriculture, and Plurilateral treaties: The ambivalent example of Mercosur, CETA, and the EU-Vietnam free trade agreement. *Sustainability*, 13(6), 3153. <https://doi.org/10.3390/su13063153>
- Huss, C. P., Holmes, K. D., & Blubaugh, C. K. (2022). Benefits and risks of intercropping for crop resilience and pest management. *Journal of economic entomology*, 115(5), 1350-1362. <https://doi.org/10.1093/jee/toac045>
- Janni, M., Gulli, M., Maestri, E., Marmioli, M., Valliyodan, B., Nguyen, H. T., & Marmioli, N. (2020). Molecular and genetic bases of heat stress responses in crop plants and breeding for increased resilience and productivity. *Journal of experimental botany*, 71(13), 3780-3802. <https://doi.org/10.1093/jxb/eraa034>
- Kangogo, D., Dentoni, D., & Bijman, J. (2021). Adoption of climate-smart agriculture among smallholder farmers: Does farmer entrepreneurship matter?. *Land Use Policy*, 109, 105666. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105666>
- Kar, P., Sendhil, R., Sharma, P. R., Jat, S. L., Jat, B. S., Rakshit, S. & Rakshit, S. (2023). Global Overview of Research on Quality Protein Maize: A Bibliometric Perspective. *Journal of Community Mobilization and Sustainable Development*, 18(1), 1-5.
- Leyva-Trinidad, D. A., Pérez-Vázquez, A., Bezerra da Costa, I., & Formighieri Giordani, R. C. (2020). El papel de la milpa en la seguridad alimentaria y nutricional en hogares de Ocotlán Texizapan, Veracruz, México. *Polibotánica*, 50, 279-299.
- León, A. C., & Gaona, A. F. (2021). Desarrollo, Etnoagronomía y Construcción de Alternativas Civilizatorias. *Etnoagronomía*, 15.
- Liu, T., Bruins, R. J., & Heberling, M. T. (2018). Factors influencing farmers' adoption of best management practices: A review and

- synthesis. *Sustainability*, 10(2), 432. <https://doi.org/10.3390/su10020432>
- Lopez-Ridaura, S., Barba-Escoto, L., Reyna-Ramirez, C. A., Sum, C., Palacios-Maitra, S., Sahoo, U., Sairam, M., Gitari, H. I., Rezaei-Chiyaneh, E., Battaglia, M. L., & Hossain, A. (2023). Cultivating sustainability: A comprehensive review on intercropping in a changing climate. *Research on Crops*, 24(4), 702-715. <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2023.ROC-1020>
- Mishra, M., & Sharma, R. (2021). Corn (*Zea mays*) as a nutrient source and diet: A review. *Journal of Pharmaceutical Research International*, 33, 299-303. <https://doi.org/10.9734/jpri/2021/v33i52B33629>
- Mupangwa, W., Nyagumbo, I., Liben, F., Chipindu, L., Craufurd, P., & Mkuhlani, S. (2021). Maize yields from rotation and intercropping systems with different legumes under conservation agriculture in contrasting agro-ecologies. *Agriculture, ecosystems & environment*, 306, 107170. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107170>
- Nyaupane, S., Mainali, R. P., Joshi, T., & Duwal, R. (2023). Plant-Based agro-biodiversity solutions for reducing agrochemical use and effects. In *One health implications of agrochemicals and their sustainable alternatives* (pp. 545-563). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-99-3439-3_20
- Oladinrin, O. T., Arif, M., Rana, M. Q., & Gyoh, L. (2023). Interrelations between construction ethics and innovation: A bibliometric analysis using VOSviewer. *Construction Innovation*, 23(3), 505-523. <https://doi.org/10.1108/CI-07-2021-0130>
- Paul Jr, M., Aihounton, G. B., & Lokossou, J. C. (2023). Climate-smart agriculture and food security: cross-country evidence from West Africa. *Global Environmental Change*, 81, 102697. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2023.102697>
- Pérez-Nicolás, M., Blancas, J., Moreno-Calles, A. I., Beltrán-Rodríguez, L., & Abad-Fitz, I. (2024). Sistemas agrosilvícolas de comunidades mixtecas y afromexicanas en la costa de Oaxaca, México. *Botanical Sciences*, 102(2), 416-437.
- Rakotomalala, A. A., Ficiyan, A. M., & Tschamtkke, T. (2023). Intercropping enhances beneficial arthropods and controls pests: a systematic review and meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 356, 108617. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108617>
- Rojas-Sánchez, B., de los Santos-Villalobos, S., Alarcón, J. J. V., Chávez-Bárcenas, A. T., Orozco-Mosqueda, M. D. C., & Santoyo, G. (2025). Optimizing milpa agrosystems with beneficial microbes and their ecological interactions: a review. *Discover Applied Sciences*, 7(2), 104. <https://doi.org/10.1007/s42452-025-06503-6>
- Rojas, N., & Gerard, B. (2021). Maize intercropping in the milpa system. Diversity, extent and importance for nutritional security in the Western Highlands of Guatemala. *Scientific Reports*, 11(1), 3696. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-82784-2>
- Romero-Natale, A., Acevedo-Sandoval, O., & Sanchez-Porras, A. (2024). Ecosystem Services in the Milpa System: A Systematic Review. *One Ecosystem*, 9, e131969. <https://doi.org/10.3897/oneeco.9.e131969>
- Ruiz, R. V. P., Toalá, J. E. A., Monterrosa, R. G. C., Amor, A. A. R., Rodríguez, M. H., Villasana, Y. C., & Pérez, J. H. (2024). Mexican native maize: origin, races and impact on food and gastronomy. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 37, 100978. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2024.100978>
- SAGARPA & SIAP (2018). Atlas Agroalimentario 2012 – 2018. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) y Secretaría de Información Agroalimentaria y Pesquería (SIAP). 220 pp. Ciudad de México.
- Song, Y., Lee, S. H., Woo, J. H., & Lee, K. W. (2023). Evaluation of the growth characteristics, forage productivity, and feed value of the maize-soybean intercropping system under different fertilization levels. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 26(1), 107-118. <https://doi.org/10.1007/s12892-022-00176-y>
- Suastegui-Cruz, S., Martínez-Carrera, D., Sánchez, M., Bonilla, M., Castillo, I., Morales, A., ... & Martínez, W. (2024). Integration of the Controlled Production of Huitlacoche (*Ustilago maydis* + *Zea mays*) in the Traditional Milpa System from Guerrero, Mexico. *Sustainability*, 16(23), 10666. <https://doi.org/10.3390/su162310666>
- Tiammee, S., & Likasiri, C. (2020). Sustainability in corn production management: A multi-objective approach. *Journal of Cleaner Production*, 257, 120855. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120855>
- Yuan, B. Z., & Sun, J. (2020). Bibliometric analysis of research on the maize based on top papers during 2009-2019. *Journal of Scientometrics and Information Management*, 14(1), 75-92. <https://doi.org/10.1080/09737766.2020.1787110>
- Wang, S., Huang, X., Zhang, Y., Yin, C., & Richel, A. (2021). The effect of corn straw return on corn production in Northeast China: An integrated regional evaluation with meta-analysis and system dynamics. *Resources, Conservation and Recycling*, 167, 105402. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105402>
- Zhang, Q., Chu, Y., Xue, Y., Ying, H., Chen, X., Zhao, Y., & Cui, Z. (2020). Outlook of China's agriculture transforming from smallholder operation to sustainable production. *Global Food Security*, 26, 100444. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100444>
- Wang, S., Bai, X., Zhang, X., Reis, S., Chen, D., Xu, J., & Gu, B. (2021). Urbanization can benefit agricultural production with large-scale farming in China. *Nature Food*, 2(3), 183-191. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00228-6>

