

Análisis de la agricultura protegida y sus impactos socioambientales en tres municipios de la Sierra Nevada de Puebla, México

Analysis of Protected Agriculture and its Socio-Environmental Impacts in Three Municipalities of the Sierra Nevada in Puebla, Mexico

Adriana Ivón Ortiz-Alamilla, Martín Neri-Suárez, José Luis López-González, Julio Vilaboa-Arroniz

RESUMEN

Esta investigación analiza la tendencia en la superficie de producción de cultivos básicos y la agricultura protegida dedicada a cultivos comerciales y sus implicaciones socioambientales en tres municipios de la Sierra Nevada de Puebla, México. Se utilizó un enfoque cuantitativo y se recopilaron datos de fuentes oficiales de agricultura. Los resultados revelaron una disminución en la superficie de producción de maíz y frijol, mientras que la agricultura protegida experimentó un crecimiento constante, especialmente en cultivos de flores, frutas y hortalizas. Se destacó que esta relación inversa entre cultivos comerciales y básicos conlleva importantes impactos socioambientales negativos. Para abordar esta problemática, se resaltó la importancia de considerar la dimensión cultural de los sistemas de producción tradicionales y la necesidad de implementar sistemas agrícolas sostenibles, como la milpa intercalada con árboles frutales. Se sugiere la adopción de estrategias más efectivas para minimizar el impacto ambiental del uso de plásticos en la agricultura protegida y promover enfoques integrados que consideren aspectos sociales, económicos, ambientales y culturales. Este estudio proporciona una línea base sólida para comprender la relación entre la agricultura protegida, la seguridad alimentaria y la sostenibilidad en la región de estudio.

Palabras clave: agricultura protegida; seguridad alimentaria; impactos socioambientales; sistemas agrícolas sostenibles.

Adriana Ivón Ortiz-Alamilla 

Colegio de Postgraduados, Campus Puebla – México. ortiz.adriana@colpos.mx

Martín Neri-Suárez 

Universidad Politécnica de Puebla – México. martin.neri@up Puebla.edu.mx

José Luis López-González 

Universidad Autónoma Chapingo – México. luis171002lg@gmail.com

Julio Vilaboa-Arroniz 

Universidad Politécnica de Huatusco – México. mtr.julio.vilaboa501@uphuatusco.edu.mx

<http://doi.org/10.46652/rgn.v8i36.1061>

ISSN 2477-9083

Vol. 8 No. 36 abril-junio, 2023, e2301061

Quito, Ecuador

Enviado: marzo 02, 2023

Aceptado: mayo 30, 2023

Publicado: junio 14, 2023

Publicación Continua

ABSTRACT

This research investigates the temporal dynamics of crop production surfaces, specifically focusing on basic crops and protected agriculture dedicated to commercial crops, within three municipalities located in the Sierra Nevada region of Puebla, Mexico. Employing a quantitative methodology, data were gathered from official agricultural sources to examine trends and their associated socio-environmental implications. Results indicate a decline in the surface area dedicated to maize and bean production, while the practice of protected agriculture exhibits a persistent expansion, particularly in the cultivation of flowers, fruits, and vegetables. Moreover, the study highlights an inverse correlation between commercial and basic crop cultivation, underscoring significant adverse socio-environmental consequences. To tackle these challenges, it is crucial to acknowledge the cultural dimension inherent in traditional production systems and to implement sustainable agricultural practices, such as the integration of milpa cultivation with fruit trees. Furthermore, the adoption of more effective strategies aimed at mitigating the environmental impact stemming from plastic usage in protected agriculture, and the promotion of integrated approaches encompassing social, economic, environmental, and cultural aspects, are recommended. Ultimately, this study establishes a robust foundation for comprehending the intricate interplay between protected agriculture, food security, and sustainability within the studied region.

Keywords: protected agriculture; food security; socio-environmental impacts; sustainable agricultural systems.

1. Introducción

La inseguridad alimentaria representa un problema socioambiental de gran magnitud. Los resultados obtenidos de diferentes fuentes destacan la preocupante situación de inseguridad alimentaria a nivel global y en países específicos como México. Se ha observado que las políticas de desarrollo y gobierno han descuidado la dimensión cultural de los sistemas de producción tradicionales, lo cual ha llevado a un subestimado reconocimiento del valor socioeconómico y cultural del cultivo del maíz en las comunidades locales (FAO, 2022; Lemos Figueroa et al., 2018). Es importante resaltar que la agricultura de subsistencia o campesina, que se basa en el cultivo intercalado de maíz con frijol, calabaza y otras especies, desempeña un papel crucial en la obtención de alimentos, forraje y combustible, y representa un componente clave en los sistemas de vida de las comunidades indígenas y pequeños agricultores (Díaz-Carreño et al., 2016; Urquía-Fernández, 2014).

La disminución en la producción de maíz y frijol, a pesar de su importancia cultural y su papel en la subsistencia de las comunidades locales, plantea serias preocupaciones sobre la preservación de esta práctica tradicional y su impacto en la identidad cultural de las comunidades. Además, se ha evidenciado que la degradación del suelo y la pérdida de productividad agrícola son factores que contribuyen a la inseguridad alimentaria (Cotler et al., 2020).

En contraparte, en México, la superficie destinada a la agricultura protegida ha presentado un incremento del 12% anual, siendo los estados del norte los que presentan la mayor cantidad

(García-Sánchez et al., 2019). En 2021, México registró 47,795 hectáreas de superficie sembrada bajo cubierta para la producción de hortalizas, frutales y ornamentales, lo que supone un aumento anual de 2,700 hectáreas (SADER, 2022). En los últimos 10 años, el estado de Puebla en México ha registrado un incremento del 13% en la superficie de invernaderos (SIAP, 2023). Desde 2017, en la región Sierra Nevada del estado de Puebla, se ha incentivado más a la producción de cultivos comerciales mediante apoyos económicos y subsidios, de los cuales, en su mayoría, la producción no es destinada al consumo local. Aunque la agricultura protegida se caracteriza por su eficiencia en el uso de los recursos y su mayor productividad en comparación con la agricultura tradicional, este modelo de producción agrícola ha sido objeto de críticas debido a los impactos ambientales negativos que pueden generar en el ciclo del agua, aire y suelo agrícola del agroecosistema. Entre estos impactos se encuentran la generación de residuos plásticos, la contaminación del suelo y la degradación de la biodiversidad. Además, la contaminación estética del paisaje rural es otro problema asociado con la infraestructura de la agricultura protegida (Picuno et al., 2011). Es importante mencionar que los plásticos utilizados para las cubiertas de los invernaderos no pueden ser fácilmente degradados por el ambiente natural, lo que agrava aún más los impactos negativos en el medio ambiente (Afxentiou et al., 2021).

En contraste, la agricultura tradicional a campo abierto sigue siendo una práctica importante en muchas regiones del mundo, particularmente en zonas rurales y en países en desarrollo. Aunque su productividad puede ser menor que la de la agricultura protegida, la agricultura tradicional tiene beneficios sociales y culturales, como la creación de empleos, la conservación de las prácticas agrícolas y el conocimiento local. El sistema milpa, por ejemplo, tiene una gran importancia en la cultura y la organización socioeconómica de las comunidades locales de México, y su desestimación podría tener consecuencias negativas en la economía local, el tejido social y la identidad cultural. Sin embargo, se ha considerado al cultivo del maíz simplemente en términos de su valor económico, ignorando el papel significativo que desempeña el sistema milpa en la organización socioeconómica y cultural de las comunidades locales (de Frece & Poole, 2008). Esto indica que las políticas agrícolas, tienen un impacto limitado en los medios de vida rurales si no se tienen en cuenta las prácticas agrícolas tradicionales y la cultura local.

La región Sierra Nevada es una zona montañosa ubicada en el estado de Puebla, México. Forma parte de la Sierra Madre Oriental y está caracterizada por su terreno accidentado y su rica biodiversidad. Esta región presenta una gran importancia en la agricultura debido a su clima y altitud, que permiten el cultivo de una amplia variedad de productos agrícolas, como maíz, frijol, frutas y hortalizas. A pesar de su potencial agrícola, la región Sierra Nevada de Puebla también enfrenta desafíos significativos en términos de pobreza y marginación. Muchas comunidades en esta región enfrentan condiciones de vida precarias, falta de acceso a servicios básicos, limitadas oportunidades económicas y altos índices de pobreza. Estos factores dificultan el desarrollo y el bienestar de la población local. En este tipo de regiones de Puebla, se han presentado cambios en la agricultura que han obligado a los campesinos a adaptarse a las condiciones cambiantes del mercado, producción y política para poder seguir produciendo los bienes necesarios para su subsistencia. Por lo tanto, los ajustes territoriales y las adaptaciones a nuevas condiciones se han

vuelto fundamentales para que los habitantes puedan mantenerse en el mismo sitio y continuar produciendo, a pesar de los cambios en el territorio poblano (Sosa Cabrera & González Amaro, 2021). Si no se adaptan a estas condiciones, los pobladores locales se ven obligados a migrar.

El objetivo de este estudio es analizar los cambios espacio-temporales de la superficie cultivada de agricultura protegida y de granos básicos en tres municipios de la Sierra Nevada de Puebla, así como sus implicaciones socioambientales en la transformación del territorio. La necesidad de llevar a cabo este análisis surge de la importancia de conocer cómo estos dos sistemas de producción agrícola afectan la seguridad alimentaria local y cómo se pueden mejorar para lograr un equilibrio adecuado entre la productividad y la sustentabilidad ambiental. En particular, se presta atención a la agricultura protegida debido a su creciente popularidad y sus posibles impactos socioambientales en la región de estudio.

2. Metodología

Enfoque de investigación

Para llevar a cabo este estudio, se utilizó un diseño observacional que involucró la recopilación de datos de superficie de cultivos básicos y de agricultura protegida en los municipios de Chiautzingo, San Salvador el Verde y San Felipe Teotlalcingo, los cuales se encuentran ubicados en la región Sierra Nevada de Puebla. Los datos fueron obtenidos del Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) que abarcaron un período de tiempo que va desde 2003 hasta 2021. En relación con los cultivos básicos, se recolectaron y clasificaron los datos de superficie cultivada de maíz grano y frijol. Estos cultivos fueron considerados como representativos de la producción agrícola de cultivos básicos en la región de estudio. Además, se recopilamos datos de superficie cultivada en agricultura protegida para los municipios mencionados. Específicamente, se obtuvieron las superficies cultivadas de tomate rojo, frambuesa, crisantemo y rosa. Estos cultivos fueron seleccionados debido a su importancia en la agricultura protegida y su relevancia económica en la región.

Este enfoque permitió analizar patrones, tendencias y relaciones existentes en los datos recopilados, brindando una visión amplia y objetiva de la situación en los municipios mencionados. Asimismo, el período de tiempo seleccionado proporciona un marco temporal adecuado para examinar posibles cambios y evolución de la superficie agrícola cultivada.

Procesamiento y análisis de datos

Para el procesamiento y análisis de datos, se aplicó una correlación de Pearson para medir la relación que existe entre la superficie de cada cultivo, incluyendo frijol, maíz grano, tomate rojo, crisantemo y rosa. La correlación de Pearson es una medida estadística que permite evaluar la asociación lineal entre dos variables. En este caso, se utilizó para determinar la relación entre las superficies de los cultivos mencionados.

Se realizó el cálculo de la matriz de correlación de Pearson, que es una matriz cuadrada que muestra los coeficientes de correlación entre pares de cultivos. El coeficiente de correlación de Pearson varía entre -1 y 1, donde un valor cercano a 1 indica una correlación positiva fuerte, un valor cercano a -1 indica una correlación negativa fuerte, y un valor cercano a 0 indica una correlación débil o nula.

La matriz de correlación obtenida permitió apreciar la asociación entre las superficies de los cultivos estudiados. Al analizar los valores de correlación en la matriz, se pudo determinar qué pares de cultivos tenían una asociación positiva o negativa, y qué tan fuerte era dicha asociación. La aplicación de la correlación de Pearson y la generación de la matriz de correlación fueron parte del análisis estadístico realizado en el estudio. Estos pasos permitieron evaluar la relación entre las superficies de los cultivos y obtener información sobre la dependencia o independencia de estos en el contexto de la agricultura regional.

Con el fin de obtener un análisis visual más completo de los datos, se realizaron gráficos en formato de series de tiempo que representan los datos históricos de la superficie de cada cultivo en un periodo que abarca desde 2003 hasta 2021. Asimismo, se graficaron los datos históricos de agricultura protegida reportada para los tres municipios en un periodo de 2012 a 2021. Estos gráficos permitieron observar las tendencias y posibles cambios en la superficie de agricultura protegida, así como en la superficie de cada cultivo a lo largo del tiempo. Esta representación visual proporcionó una comprensión intuitiva de las fluctuaciones y tendencias a lo largo del periodo analizado.

La inclusión de estos gráficos con datos históricos enriqueció el análisis al permitir la identificación de patrones estacionales, cambios significativos y tendencias a largo plazo tanto en la superficie de la agricultura protegida como en la superficie de cada cultivo. Al combinar estos gráficos con otros análisis, como la matriz de correlación de Pearson, se logró obtener una comprensión más completa de la relación entre la superficie de los cultivos y la agricultura protegida, así como de su evolución a lo largo del periodo de estudio. El cálculo de la correlación de Pearson y gráficos de series de tiempo se llevaron a cabo utilizando el software estadístico R.

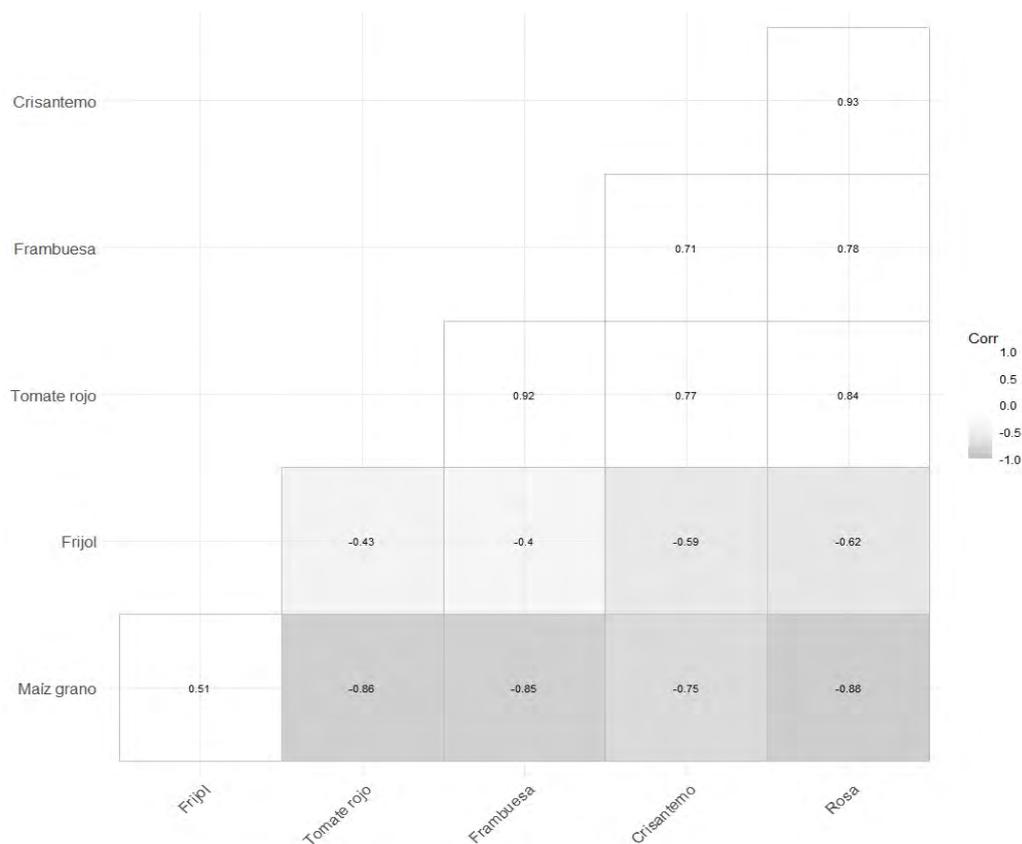
3. Resultados

Relación entre la superficie de cultivos básicos y de agricultura protegida

Se obtuvo la matriz de coeficientes de correlación entre los cultivos estudiados: crisantemo, frambuesa, frijol, maíz grano, rosa y tomate rojo. Los resultados se presentan en una matriz donde se identificaron correlaciones positivas y negativas entre los cultivos. Las correlaciones positivas cercanas a 1 se observan en las asociaciones entre los cultivos de crisantemo y rosa, así como entre frambuesa y tomate rojo. De igual manera, se presentan en los cultivos básicos de maíz grano y frijol. En este sentido, se obtuvo una correlación positiva alta de 0.93 entre las superficies de rosa y crisantemo, ambos cultivados bajo agricultura protegida. Además, identificamos una correlación positiva significativa de 0.92 entre las superficies de frambuesa y tomate rojo, también cultivados

bajo agricultura protegida. Por otro lado, los cultivos básicos, como el frijol y el maíz, mostraron una relación lineal más débil, con un coeficiente de correlación de 0.51. En contraparte, se observaron correlaciones negativas entre la superficie cultivada de maíz grano y frijol con los cultivos de frutas, flores y hortalizas, destacando la relación inversa entre rosa y maíz grano, con un valor de correlación de -0.88. Estos resultados indican que a medida que aumenta la superficie de agricultura protegida, la superficie destinada a los cultivos básicos disminuye (Figura 1).

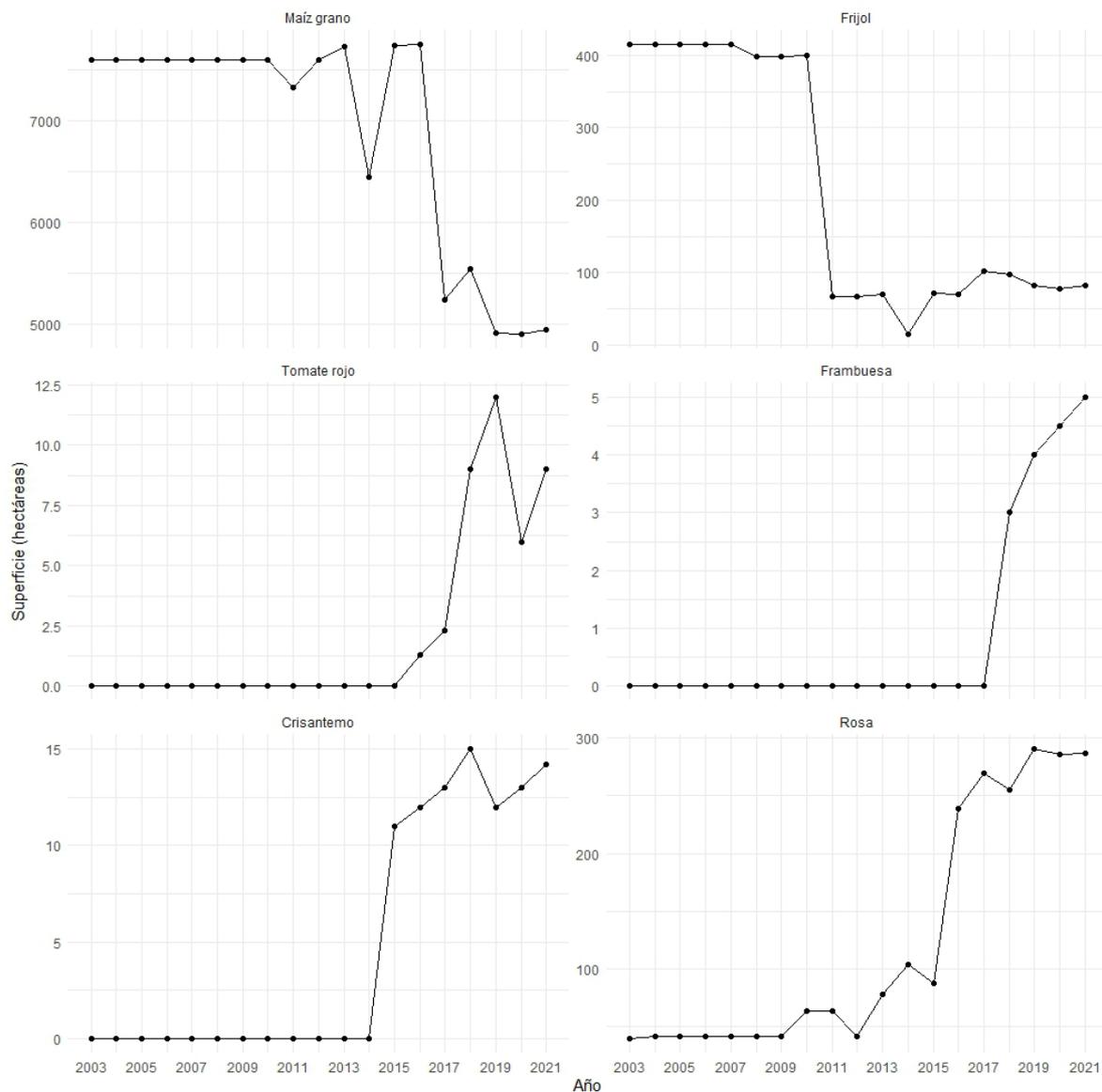
Figura 1. Matriz de correlación de superficie cultivada donde se identificación los valores positivos y negativos que revelan la relación y dependencia entre los cultivos.



Fuente: elaboración propia con datos del SIAP (2023).

Para analizar los patrones de aumento y disminución en la superficie cultivada a lo largo del tiempo, se examinaron el gráfico anual y la tasa de crecimiento de superficie para cada cultivo. La Figura 2 muestra los gráficos correspondientes al período de 2003 a 2021. A partir de 2015, se observó un incremento en la superficie de cultivos de frutas, flores y hortalizas producidos en agricultura protegida. Se observó un crecimiento del 11% en el cultivo de rosa, del 38% en el tomate rojo, del 3% en la frambuesa y del 1% en el crisantemo. Por otro lado, el cultivo de maíz grano mostró una tasa negativa de crecimiento en su superficie cultivada del -2%. Asimismo, se evidenció una tendencia a la baja en la superficie cultivada de frijol, con una tasa del -5%.

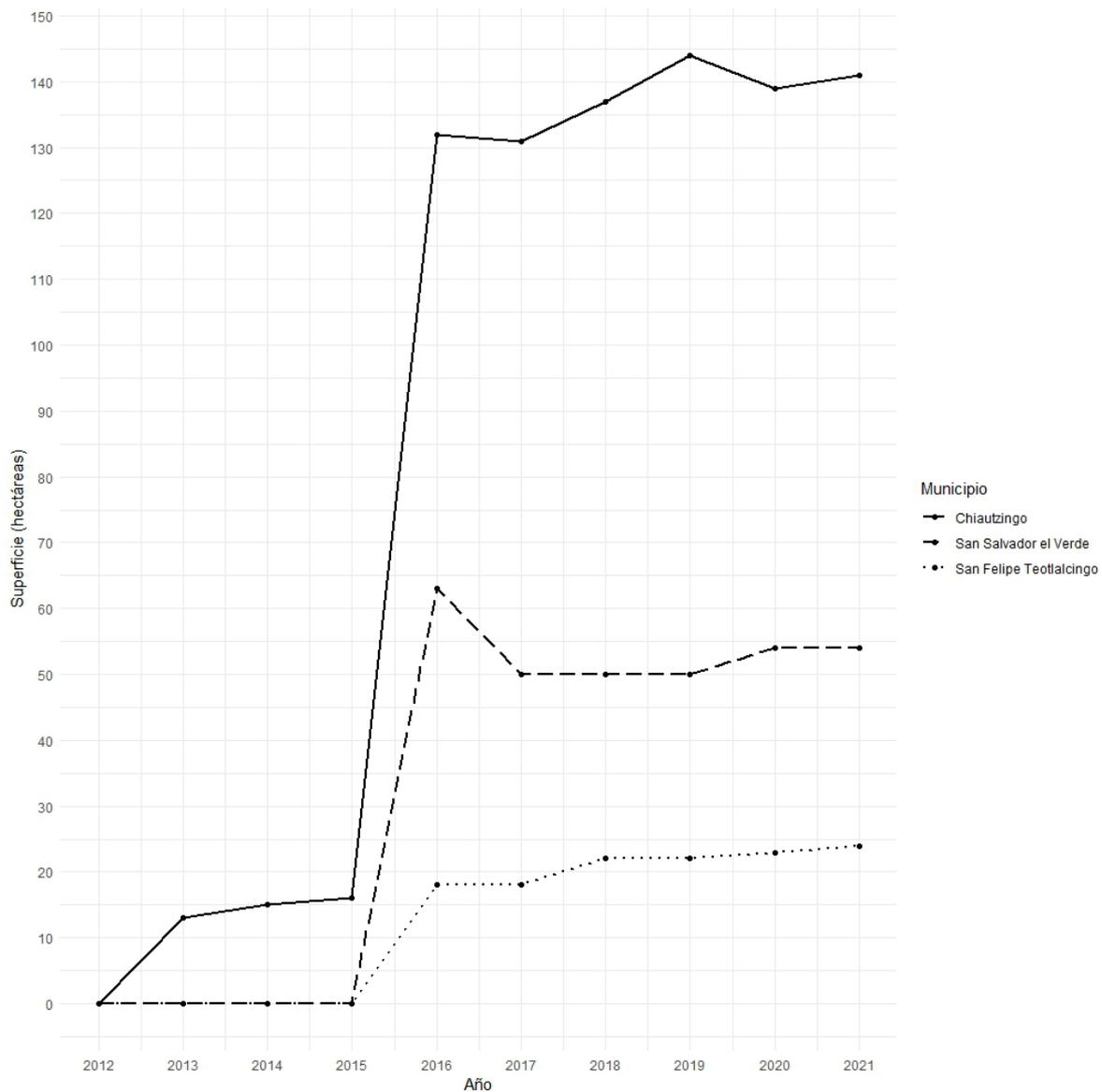
Figura 2. Superficie cultivada medida en hectáreas en un periodo de 2003 a 2021 para maíz grano, frijol, tomate rojo, crisantemo y rosa.



Fuente: Elaboración propia con datos del SIAP (2023)

En lo que respecta a la evolución histórica de la superficie de agricultura protegida por municipio, se observó que Chiantzingo presenta la mayor superficie entre los tres municipios analizados. El crecimiento en la superficie de agricultura protegida en este municipio se registra desde 2013, con una tasa de crecimiento anual del 30%. En el caso de San Felipe Teotlalcingo, se observó que su producción de agricultura protegida comenzó en 2016 con 18 hectáreas, manteniendo una tasa de crecimiento del 5% anual. En cuanto a San Salvador el Verde, se informó que su producción en agricultura protegida se inició en 2016 con 63 hectáreas; sin embargo, a diferencia de los otros dos municipios, para 2021, la superficie disminuyó a 54 hectáreas (Figura 3).

Figura 3. Dinámica de crecimiento de la superficie de agricultura protegida en los tres municipios.

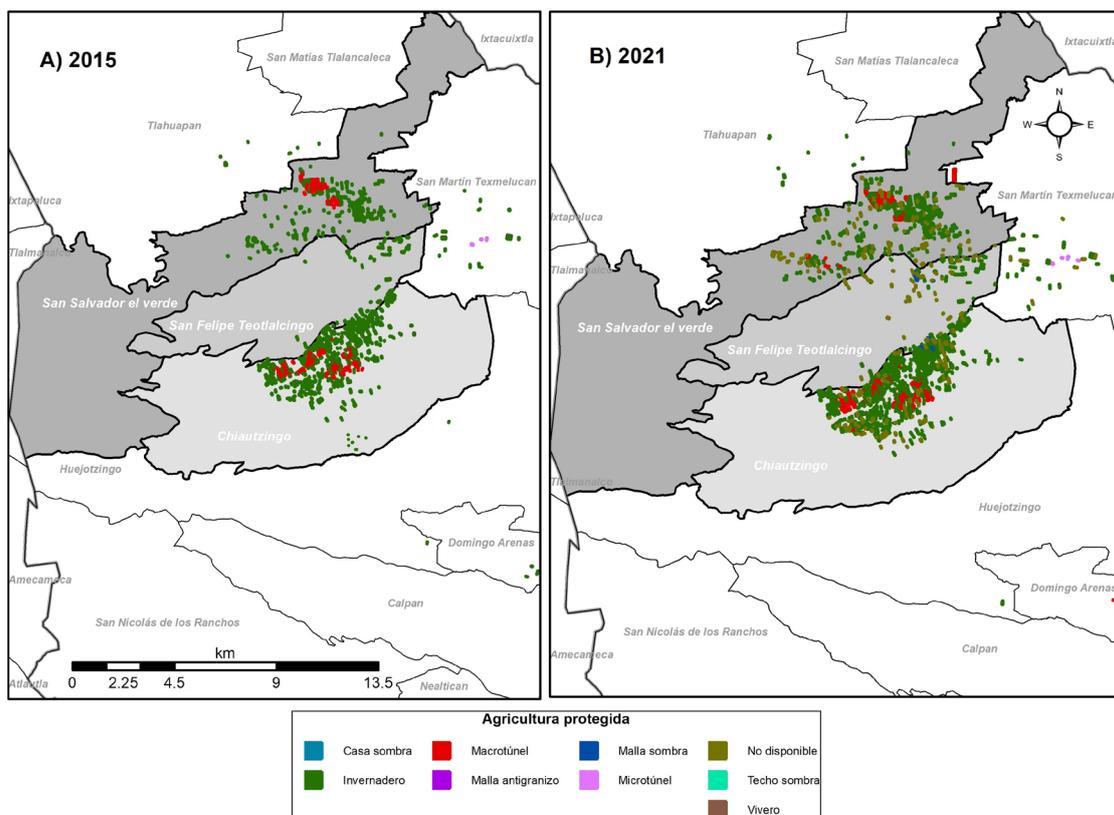


Fuente: Elaboración propia con datos del SIAP (2023).

Distribución espacio – temporal de la agricultura protegida

En el análisis de la distribución espacio-temporal de la agricultura protegida, se observó que a partir de 2015 prevalece el uso de invernaderos como forma predominante de agricultura protegida, seguido por los macrotúneles en menor medida. Se identificó una concentración de agricultura protegida en el municipio de Chiautzingo, seguido por San Salvador el Verde, mientras que en San Felipe Teotlalcingo se encontró una distribución más dispersa. Se destaca que en los municipios aledaños la presencia de agricultura protegida es menor (Figura 4).

Figura 4. Distribución espacial de la superficie de agricultura protegida de 2015 a 2021 en la región de estudio.



Fuente: elaboración propia a partir de información geoespacial del SIAP (2023).

4. Discusión

El análisis de la evolución histórica de la superficie de agricultura protegida en los tres municipios revela un crecimiento positivo, aunque diferenciado por municipio. Chiautzingo presenta la mayor superficie y ha experimentado un crecimiento constante a lo largo del tiempo, mientras que San Felipe Teotlalcingo muestra un crecimiento constante pero más lento desde su inicio en 2016. Por su parte, San Salvador el Verde ha experimentado una disminución en la superficie de agricultura protegida después de un período inicial de crecimiento. En conjunto, los tres municipios presentan un crecimiento anual del 16%, lo cual supera la media nacional del 12% (SADER, 2022). Se ha observado un aumento en la superficie dedicada a cultivos de frutas, flores y hortalizas en agricultura protegida, mientras que los cultivos de Maíz grano y Frijol muestran una tendencia a la disminución desde 2013. Estas tendencias resaltan la importancia de promover prácticas agrícolas sostenibles y la diversificación de cultivos para mejorar la seguridad alimentaria y la preservación de los recursos naturales.

Además, se ha observado una configuración espacial de la agricultura protegida concentrada principalmente en Chiautzingo y San Salvador el Verde, con una presencia más limitada en

San Felipe Teotlalcingo. Estos patrones sugieren que factores económicos, políticos y culturales influyen en la elección de cultivos y en la adopción de prácticas agrícolas en cada municipio. La agricultura protegida, especialmente a través de invernaderos y macrotúneles, permite aumentar la producción de plantas en un entorno controlado que regula las condiciones climáticas, reduce la evaporación del agua y protege los cultivos de desastres meteorológicos y climáticos (Agüera & Liu, 2009; Yang et al., 2017). Sin embargo, el mal uso de plásticos en los invernaderos tiene consecuencias ambientales negativas. De acuerdo con estudios como Qi et al. (2020) y Steinmetz et al. (2016) las películas plásticas utilizadas en los invernaderos son difíciles de reciclar y, en muchos casos, se dejan en el suelo después de la cosecha, lo que resulta en la acumulación de plásticos. Con el tiempo, estos plásticos se descomponen en microplásticos, lo que altera las propiedades del suelo y reduce su fertilidad (De Souza Machado et al., 2019). Además, los microplásticos pueden dañar la comunidad biológica del suelo, incluyendo a las lombrices de tierra, lo que dificulta el crecimiento de las plantas y afecta la calidad de los cultivos (Giorgetti et al., 2020; Huerta Lwanga et al., 2016; Rillig, 2012). Por tanto, es necesario adoptar medidas para minimizar el impacto ambiental negativo del uso de plásticos en los invernaderos y explorar alternativas más sostenibles.

Se encontró una correlación significativa entre la superficie de cultivos de rosa y crisantemo, ambos cultivados bajo agricultura protegida, así como entre frambuesa y tomate rojo. Sin embargo, los cultivos básicos como el frijol y el maíz mostraron una relación lineal más débil. Además, se observaron correlaciones negativas entre los cultivos comerciales y los básicos, destacando la relación inversa entre rosa y maíz. Estos hallazgos resaltan la importancia de considerar tanto los cultivos básicos por su contribución a la seguridad alimentaria, como la producción de frutas, flores y hortalizas en sistemas agrícolas sostenibles.

La agricultura de subsistencia o campesina, basada en el cultivo intercalado de maíz con frijol, calabaza y otras especies, se practica ampliamente en todo México y desempeña un papel fundamental en la obtención de alimentos, forraje y combustible (Perales et al., 2005; Turrent Fernández et al., 2017). En la región de la Sierra Nevada en Puebla, se cultiva el sistema milpa intercalado con árboles frutales, el cual representa un destacado ejemplo de sistema agrícola que combina tradición y sostenibilidad. Este agroecosistema se basa en un modelo de intensificación de la milpa y utiliza tecnología de terrazas de muro vivo para reducir la erosión hídrica del suelo en terrenos con pendiente (Covaleda et al., 2016; Turrent-Fernández et al., 2016). Sus beneficios incluyen el aumento del ingreso neto y el empleo familiar, la protección del suelo, la producción de alimentos básicos, así como la captura de carbono atmosférico y edáfico.

Sin embargo, las políticas de desarrollo agrícola han considerado al cultivo de maíz únicamente desde una perspectiva económica, sin reconocer su importancia en la organización socioeconómica y cultural de las comunidades locales. Esto se refleja en la correlación negativa entre los cultivos básicos y comerciales, lo cual implica que, si se mantienen los patrones de producción actuales, la superficie destinada al maíz y frijol continuará disminuyendo en la región, a la vez que se incrementan los cultivos comerciales producidos en invernadero. Este patrón de disminución de los cultivos básicos se explica porque las políticas de desarrollo y gobierno en México han

descuidado la dimensión social y cultural de los sistemas de producción tradicionales (Frece & Poole, 2008). Estos antecedentes respaldan la eficiencia y la importancia de los sistemas de cultivo agroecológicos, como el sistema milpa, en las Sierras Templadas de Puebla, donde son comunes y contribuyen significativamente a la seguridad alimentaria (Galeana-Pizaña et al., 2021). Sin embargo, se observa una preocupante disminución en la producción de maíz y frijol en los tres municipios estudiados, lo cual plantea inquietudes sobre la preservación de esta práctica tradicional y su impacto en la identidad cultural de las comunidades.

5. Conclusión

El análisis de la evolución histórica de la superficie agrícola reveló una tendencia decreciente en la producción de maíz y frijol en la región, mientras que se observó un incremento constante y una aglomeración en la agricultura protegida dedicada a cultivos comerciales de flores, frutas y hortalizas. Este crecimiento de la agricultura protegida se debe a su creciente popularidad, impulsada por programas de apoyo y subsidios del gobierno que se aplicaron en la región hasta 2020. Sin embargo, es importante destacar que este aumento conlleva importantes impactos socioambientales negativos.

Al relacionar los hallazgos de nuestra investigación con los aspectos discutidos, se enfatiza la necesidad de considerar la dimensión cultural de los sistemas de producción tradicionales y la importancia de los cultivos básicos para la seguridad alimentaria local. Además, se resalta la urgencia de implementar sistemas agrícolas sostenibles, como la milpa intercalada con árboles frutales, y prestar especial atención al uso de plásticos derivados de la agricultura protegida. Esto es crucial para abordar la problemática socioambiental asociada a la inseguridad alimentaria y la contaminación en la región.

Este estudio proporciona una línea base sólida para comprender la relación entre la agricultura protegida, la seguridad alimentaria y la sostenibilidad en la región estudiada. Asimismo, se identifican áreas clave para futuras investigaciones, como el desarrollo de estrategias más efectivas para minimizar el impacto ambiental del uso de plásticos en los sistemas de agricultura protegida, así como la exploración de enfoques integrados que consideren aspectos sociales, económicos, ambientales y culturales para promover la agricultura sostenible de manera holística y efectiva.

Es importante reconocer como limitante de este estudio que el análisis de los datos producidos en plataformas gubernamentales, como el SIAP, puede presentar algunas inconsistencias e imprecisiones. No obstante, cabe destacar que estos datos representan las fuentes oficiales disponibles y han sido utilizados con el objetivo de proporcionar una visión general de la situación. Además, es fundamental considerar las implicaciones de las políticas gubernamentales y las intervenciones de desarrollo en la sostenibilidad económica, ambiental y cultural de los sistemas agrícolas en la región, lo que plantea la necesidad de una evaluación exhaustiva y un enfoque integral en futuras investigaciones.

Referencias

- Afxentiou, N., Georgali, P.Z.M., Kylili, A., & Fokaides, P.A. (2021). Greenhouse agricultural plastic waste mapping database. *Data in Brief*, 34, 106622. <https://doi.org/10.1016/J.DIB.2020.106622>
- Agüera, F., & Liu, J. G. (2009). Automatic greenhouse delineation from QuickBird and Ikonos satellite images. *Computers and Electronics in Agriculture*, 66(2), 191–200. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2009.02.001>
- Cotler, H., Corona, J. A., & Galeana-Pizaña, J. M. (2020). Erosión de suelos y carencia alimentaria en México: una primera aproximación. *Investigaciones Geográficas*, 101. <https://doi.org/10.14350/rig.59976>
- Covaleda, S., Paz, F., & Ranero, A. (2016). Carbono edáfico en Chiapas: Planteamiento de políticas públicas de mitigación de emisiones. *Terra Latinoamericana*, 34(1). https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792016000100097
- Frece, A., & Poole, N. (2008). Constructing livelihoods in Rural Mexico: Milpa in Mayan culture. *Journal of Peasant Studies*, 35(2), 335–352 <https://doi.org/10.1080/03066150802151090>
- De Souza Machado, A. A., Lau, C. W., Kloas, W., Bergmann, J., Bachelier, J. B., Faltin, E., Becker, R., Görlich, A. S., & Rillig, M. C. (2019). Microplastics Can Change Soil Properties and Affect Plant Performance. *Environmental Science and Technology*, 53(10), 6044–6052. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b01339>
- Díaz-Carreño, M. Á., Díaz-Bustamante, A., & Sánchez-León, M. (2016). Inseguridad alimentaria en los estados de México: un estudio de sus principales determinantes. *Economía Sociedad y Territorio*. 459–483 <https://doi.org/10.22136/est002016818>
- FAO (2022). In *FAO publications catalogue 2022*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cc2323en>
- Galeana-Pizaña, J. M., Couturier, S., Figueroa, D., & Jiménez, A. D. (2021). Is rural food security primarily associated with smallholder agriculture or with commercial agriculture?: An approach to the case of Mexico using structural equation modeling. *Agricultural Systems*, 190, 103091. <https://doi.org/10.1016/J.AGSY.2021.103091>
- García-Sánchez, E. I., Vargas-Canales, J. M., Palacios-Rangel, M. I., Aguilar-Ávila, J., García-Sánchez, E. I., Vargas-Canales, J. M., Palacios-Rangel, M. I., & Aguilar-Ávila, J. (2019). Sistema de innovación como marco analítico de la agricultura protegida en la región centro de México. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 15(81), 1–24. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cdr15-81.sima>
- Giorgetti, L., Spanò, C., Muccifora, S., Bottega, S., Barbieri, F., Bellani, L., & Ruffini Castiglione, M. (2020). Exploring the interaction between polystyrene nanoplastics and *Allium cepa* during germination: Internalization in root cells, induction of toxicity and oxidative stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 149. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.02.014>
- Huerta Lwanga, E., Gertsen, H., Gooren, H., Peters, P., Salánki, T., Van Der Ploeg, M., Besseling, E., Koelmans, A. A., & Geissen, V. (2016). Microplastics in the Terrestrial Ecosystem: Implications for *Lumbricus terrestris* (Oligochaeta, Lumbricidae). *Environmental Science and Technology*, 50(5), 2685–2691. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b05478>

- Lemos Figueroa, M., Baca del Moral, J., Cuevas Reyes, V., Lemos Figueroa, M., Baca del Moral, J., & Cuevas Reyes, V. (2018). Pobreza e inseguridad alimentaria en el campo mexicano: Un tema de política pública no resuelto. *Textual: Análisis Del Medio Rural Latinoamericano*, 71, 71-105 <https://doi.org/10.5154/r.textual.2017.71.004>
- Perales, H. R., Benz, B. F., & Brush, S. B. (2005). Maize diversity and ethnolinguistic diversity in Chiapas, Mexico. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102(3), 949–954. <https://doi.org/10.1073/pnas.0408701102>
- Picuno, P., Tortora, A., & Capobianco, R. L. (2011). Analysis of plasticulture landscapes in Southern Italy through remote sensing and solid modelling techniques. *Landscape and Urban Planning*, 100(1–2), 45–56. <https://doi.org/10.1016/J.LANDURBPLAN.2010.11.008>
- Qi, R., Jones, D. L., Li, Z., Liu, Q., & Yan, C. (2020). Behavior of microplastics and plastic film residues in the soil environment: A critical review. *Science of The Total Environment*, 703, 134722. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134722>
- Rillig, M. C. (2012). Microplastic in terrestrial ecosystems and the soil? In *Environmental Science and Technology*, 46(12), 6453–6454 <https://doi.org/10.1021/es302011r>
- SADER. (2022). Agricultura protegida ubica a México entre los principales productores de frutas y hortalizas. Secretaría de Agricultura y Desarrollo. <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/agricultura-prottegida-ubica-a-mexico-entre-los-principales-productores-de-frutas-y-hortalizas?idiom=es>
- SIAP. (2023). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. *Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta*. <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>
- Sosa Cabrera, E., & González Amaro, R. M. (2021). Representaciones sociales de la milpa en tres regiones de Puebla: significados y diferencias. *Textual*, 78, 187-211. <https://doi.org/10.5154/r.textual.2021.78.08>
- Steinmetz, Z., Wollmann, C., Schaefer, M., Buchmann, C., David, J., Tröger, J., Muñoz, K., Frör, O., & Schaumann, G. E. (2016). Plastic mulching in agriculture. Trading short-term agronomic benefits for long-term soil degradation? *Science of the Total Environment*, 550, 690–705. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.153>
- Turrent-Fernández, A., Cortés-Flores, J. I., Espinosa-Calderón, A., Turrent-Thompson, C., & Mejía-Andrade, H. (2016). Cambio climático y algunas estrategias agrícolas para fortalecer la seguridad alimentaria de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(7). <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i7.165>
- Turrent Fernández, A., Cortés Flores, J. I., Espinosa Calderón, A., Hernández Romero, E., Camas Gómez, R., Torres Zambrano, J. P., & Zambada Martínez, A. (2017). MasAgro o MIAF ¿Cuál es la opción para modernizar sustentablemente la agricultura tradicional de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(5). <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i5.116>
- Urquía-Fernández, N. (2014). La seguridad alimentaria en México. *Salud Pública de México*, 56, s92–s98. <https://doi.org/10.21149/spm.v56s1.5171>

Yang, D., Chen, J., Zhou, Y., Chen, X., Chen, X., & Cao, X. (2017). Mapping plastic greenhouse with medium spatial resolution satellite data: Development of a new spectral index. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 128, 47–60. <https://doi.org/10.1016/j.isprs-jprs.2017.03.002>

AUTORES

Adriana Ivón Ortiz-Alamilla. Ingeniera en Biotecnología por la Universidad Politécnica de Puebla y Maestra en Ciencias en Estrategias para el Desarrollo Agrícola Regional, especialista Estudios y Estrategias en el Desarrollo Rural Sostenible, egresada del Colegio de Postgraduados, campus Puebla.

Martín Neri-Suárez. Ingeniero en Manejo de Recursos Naturales egresado de la Universidad Politécnica Mesoamericana; Maestro y Doctor en Ciencias en Estrategias para el Desarrollo Agrícola Regional ambos grados académicos obtenidos en el Colegio de Postgraduados, campus Puebla. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores de México de 2023 a 2026. Profesor Investigador de Ingeniería Financiera en la Universidad Politécnica de Puebla.

José Luis López-González. Licenciado en Economía por la Universidad Benemérita Autónoma de Puebla y Maestro y Doctor en Ciencias en Estrategias para el Desarrollo Agrícola Regional. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores de México. Posdoctorado en la Universidad Autónoma de Chapingo.

Julio Vilaboa-Arroniz. Doctor en Ciencias. Línea de investigación. Administración y Sustentabilidad de las Empresas y de los Agroecosistemas (LASEA). Investigador de la Universidad Politécnica de Huatusco. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores de México.

DECLARACIÓN

Conflicto de interés

No tenemos ningún conflicto de interés que declarar.

Financiamiento

Sin ayuda financiera de partes ajenas a este artículo.

Agradecimientos

N/A

Notas

El artículo no ha sido enviado a otra revista ni publicado previamente.