

2. Agricultura de precisión en la producción de caña de azúcar: diagnóstico para revisar las relaciones entre prácticas agrícolas tradicionales y la adopción de tecnologías

ÉDGAR ANTONIO ARCADIA PERALTA*

SUSANA MARÍA LORENA MARCELEÑO FLORES**

FERNANDO FLORES VÍLCHEZ***

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.250.02>

Resumen

Este trabajo explora la relación entre las prácticas agrícolas tradicionales y la adopción de tecnologías de agricultura de precisión en la producción de caña de azúcar en Nayarit, México. A través de entrevistas a productores, se identifican las barreras económicas y la falta de capacitación técnica como principales obstáculos para la implementación de herramientas modernas como drones y sistemas de riego automatizados. A pesar del interés por estas tecnologías, los agricultores tienden a preferir métodos tradicionales debido a la resistencia al cambio. El estudio muestra la necesidad de políticas gubernamentales que promuevan la capacitación y el acceso a financiamiento para facilitar la transición hacia prácticas agrícolas más sostenibles y eficientes. Se concluye que, aunque existen desafíos, la agricultura de precisión tiene el potencial de mejorar la productividad y la sostenibilidad en la industria cañera, contribuyendo a una gestión más eficiente de los recursos.

Palabras clave: *agricultura de precisión, innovación agrícola, recursos hídricos.*

* Maestro en Tecnologías para el Aprendizaje. Profesor de tiempo completo en la Universidad Autónoma de Nayarit, México. ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-2103-0948>

** Doctora en Ciudad, Territorio y Sustentabilidad. Profesora-investigadora en la Universidad Autónoma de Nayarit, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0430-8128>

*** Doctor en Ciencias para el Desarrollo Sustentable por la Universidad de Guadalajara, adscrito a la Secretaría de Investigación y Posgrado de la Universidad Autónoma de Nayarit, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5472-255X>

Introducción

La agricultura atraviesa por diferentes problemáticas en todo el mundo, lo cual impacta negativamente la sostenibilidad de la producción de alimentos. En el caso de la caña de azúcar, producto de la canasta básica e importante para la economía de México, se presentan problemas como las plagas, el mal uso y gestión del agua y los elevados costos de insumos para el cultivo; sin embargo, la adopción de tecnologías como la agricultura de precisión, el uso de drones y los sistemas de riego automatizado, aparecen como posibles soluciones para mejorar la productividad y el rendimiento de la caña. En este texto se describe una exploración sobre estas tecnologías y su potencial impacto en esta actividad agrícola. A través de entrevistas con agricultores, se busca diagnosticar su percepción sobre el uso de herramientas tecnológicas, y los beneficios percibidos por aquellos que ya han implementado estas prácticas.

Revisión de la literatura

La problemática mundial de la agricultura es multifactorial, incluye desde el impacto del cambio climático hasta la sobreexplotación de recursos hídricos, y enfrenta desafíos como las plagas y enfermedades en los cultivos. Aunado a esto, el precio de los insumos necesarios para la producción de diferentes cultivos ha tenido un incremento importante; esta escalada de precios genera nuevos desafíos para los productores, afectando principalmente la rentabilidad de sus tierras y la sostenibilidad de la producción de alimentos (López Vargas, 2022).

La sobreexplotación del agua en las zonas de cultivo, particularmente en regiones donde el riego es esencial para la producción, impacta en los mantos acuíferos y la degradación de la calidad del suelo, lo cual amenaza la sostenibilidad de la agricultura a largo plazo (Martínez y González, 2019).

Dentro de esta problemática, la caña de azúcar se presenta como uno de los productos involucrados y afectados, aunque cada año aumenta su demanda, es muy importante su análisis, ya que existe una economía

social sustentada en este producto. Rebollar S. C. (2017) menciona que los desafíos más importantes de este cultivo son las plagas, enfermedades y los altos costos en los insumos, que provocan (sobre todo en México) un decremento en la producción de sus parcelas. En este contexto, la agricultura de precisión por medio de sistemas de información geográfica y de fotogrametría, se presenta como una herramienta potencialmente transformadora para mejorar la producción y la sostenibilidad en la industria cañera.

Aunado a lo anterior, el uso de tecnologías agrícolas como el riego por goteo y la fertilización dirigida, apoyadas por sistemas de información geográfica y el uso de drones con sensores, permite a los agricultores realizar los trabajos especializados de una forma más eficiente y menos riesgosa. García-Salazar (2018), la aplicación estratégica de fertilizantes puede mejorar la tasa de aumento de fertilidad un 6.1%, esto impacta directamente en el rendimiento del cultivo. Esta tecnología, soportada ya sea por drones o por nuevas formas de aplicación de estos productos en sistemas de riego planeados y diseñados por medio de SIG, puede ser el contrapeso para mitigar el impacto del aumento de los precios y eficientizar la cantidad necesaria de pesticidas sin comprometer la productividad y protegiendo la salud de las personas que anteriormente realizaban estas acciones de manera manual.

En el mismo sentido, Chávez (2020) revisa la aplicación de la agricultura de precisión con drones, enfatizando las técnicas de proceso de imágenes aéreas y datos multiespectrales y estrategias de gestión agrícola. La información presentada en este artículo se relaciona con esta investigación al proporcionar una visión integral de cómo la tecnología de drones puede utilizarse para monitorear y optimizar el cultivo de caña de azúcar, especialmente en términos de manejo de plagas y enfermedades.

Marco referencial

Es importante analizar un contexto internacional como la agricultura de precisión ha tenido un impacto positivo en la producción de caña de azúcar. Como primer ejemplo tenemos a Brasil, que según datos el Banco Mundial

(2023), es el mayor productor de caña de Azúcar en el mundo, como lo mencionan Silva *et al.*, (2012) en su artículo “Adoption and use of precision agriculture technologies in the sugarcane industry of São Paulo state, Brazil”, donde describe como este país ha experimentado una rápida adopción de estas tecnologías debido a la presión competitiva y las políticas gubernamentales que promueven la innovación en la agricultura. El uso de sensores de suelo y sistemas de riego por goteo han permitido un aumento en la productividad de hasta un 20% en algunas regiones de dicho país.

En India, la adopción de la agricultura de precisión se encuentra en aumento. La implementación de tecnologías como la gestión del riego mediante sensores y el análisis de suelo ha llevado a incrementos de rendimiento de entre un 10% y un 15% Ram-Ratan (2018). Autores como Singh (2012) describen en su investigación que el control de malezas es clave para la producción de caña y, por otro lado, han logrado aumento de la conservación del agua retenida por el suelo, lo cual genera efectos positivos en la microbiología del suelo.

En el contexto mexicano, la caña de azúcar juega un papel fundamental en la economía agrícola del país, siendo uno de los principales cultivos tanto por su valor económico como por la generación de empleos. México es el séptimo mayor productor mundial de caña de azúcar y su industria abarca más de 15 estados, destacándose Veracruz, Jalisco y San Luis Potosí como los mayores productores. Según datos de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), en el ciclo agrícola 2020-2021, México produjo más de 6 millones de toneladas de azúcar, lo que representó un incremento en la productividad gracias a la implementación de mejores prácticas agrícolas, como el uso de variedades de caña más resistentes y prácticas de riego más eficientes. Estas tecnologías, aunque en menor escala en comparación con países como Brasil, han comenzado a ser adoptadas por productores interesados en mejorar sus rendimientos y reducir los costos operativos.

En cuanto a la adopción de tecnologías de agricultura de precisión en México, el proceso ha sido más lento, pero se está avanzando. En diversas regiones productoras de caña, como Veracruz, se han empezado a implementar sistemas de riego automatizado y monitoreo de suelos para optimizar la gestión del agua y mejorar la fertilidad del suelo. Estas tecnologías,

aunque todavía están en etapas tempranas de adopción han mostrado beneficios importantes, en términos de ahorro de agua y mejor rendimiento del cultivo, lo que resulta crucial en zonas donde la disponibilidad de recursos hídricos es limitada. Además, la implementación de políticas de apoyo gubernamental y proyectos de investigación enfocados en la digitalización del campo, están contribuyendo a que los pequeños y medianos productores de caña comiencen a considerar la tecnología como una herramienta para mejorar su competitividad en el mercado nacional e internacional.

Metodología

Esta investigación se llevará a cabo utilizando el diseño exploratorio secuencial ampliamente reconocido en la investigación de métodos mixtos como una estrategia efectiva para obtener una comprensión profunda de un fenómeno, seguida de su cuantificación. Según Creswell y Plano Clark (2011), este diseño se caracteriza por el uso de un enfoque cualitativo inicial, que permite explorar y comprender las experiencias o percepciones de los participantes, para luego pasar a una fase cuantitativa que valida los hallazgos cualitativos en una muestra más grande.

En el caso del estudio sobre el uso de tecnologías de precisión en la producción de caña de azúcar, la fase cualitativa inicial, como sugieren Morse (2010) y Tashakkori y Teddlie (2010), podría involucrar entrevistas en profundidad para identificar barreras y actitudes hacia la adopción de herramientas como drones y sensores. La información obtenida de estas entrevistas ayudará a desarrollar instrumentos más específicos para la siguiente fase.

Para la recolección de datos, se realizaron entrevistas a profundidad con 11 productores de caña, quienes fueron seleccionados de manera intencionada, ya que se acudió personalmente a las instalaciones de la Unión Local de Productores de Caña de Azúcar (ULPCA) que se encuentran en la ciudad de Tepic. Este tipo de muestreo, conocido como muestreo por conveniencia, fue coordinado por el presidente de dicha asociación, quien, además, proporcionó información sobre productores con experiencia im-

portante en el manejo de grandes parcelas de caña y productores con un alto sentido de responsabilidad en el proceso del cultivo, ya que se consideró que serían los más indicados para proporcionar información importante sobre los riesgos inherentes a sus actividades diarias.

Una vez recopiladas las entrevistas, se utilizó el *software* Atlas.ti para analizar los datos, siguiendo un proceso de codificación abierta que permitió identificar las categorías clave de riesgos. Estas categorías se utilizaron posteriormente para construir la matriz de riesgos, misma que se realizó en una tabla dinámica en *Microsoft Excel*, en la cual también se generaron los gráficos que clasifican los peligros según su probabilidad e impacto.

Diseño de la entrevista a profundidad

Los productores entrevistados fueron seleccionados directamente, en lugar de forma aleatoria, en colaboración con la organización Unión Nacional de Cañeros A. C. (CNPR), que proporcionó información sobre los productores con mayor producción por hectárea en el municipio de Santa María del Oro, Nayarit. Esta selección permitió enfocar la investigación en aquellos productores con experiencia en el cultivo de caña de azúcar. Las preguntas de la entrevista se diseñaron con el propósito de abordar una amplia gama de temas, incluyendo el uso de herramientas tecnológicas, gestión del agua, aplicación de insumos y disposición de utilizar tecnología para la mejora del rendimiento de la caña de azúcar.

Resultados

Se observa que la mayoría de los productores encuestados tienen una preferencia por métodos tradicionales en su actividad agrícola, especialmente en la aplicación manual de insumos y el uso de agua rodada para el riego. Aunque existe un interés en tecnificar sus procesos, como la adopción de drones para optimizar la aplicación de fertilizantes y pesticidas, la resistencia al cambio y el desconocimiento sobre estas herramientas tecnológicas siguen siendo factores importantes que influyen en su adopción. La dis-

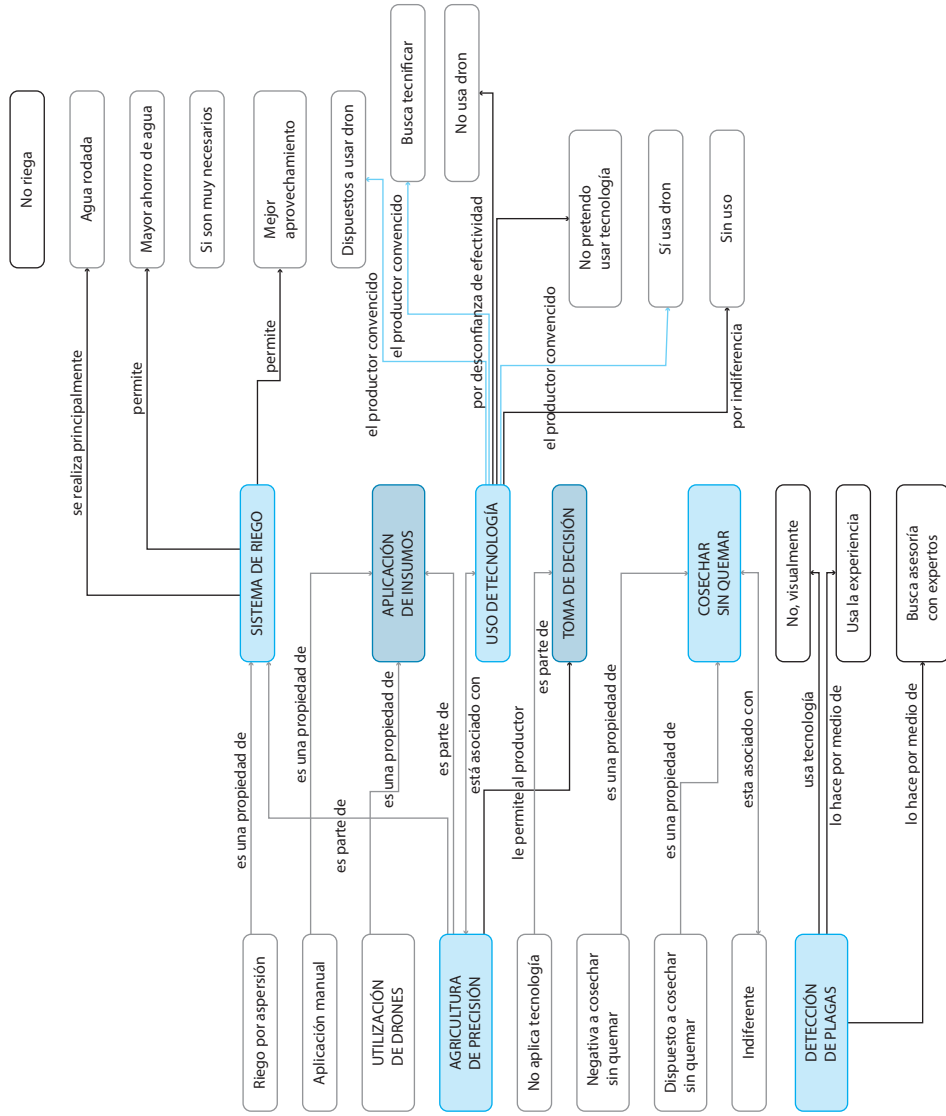
posición que ellos presentan a tecnificar se manifiesta de manera gradual, siendo aún evidente una preferencia por enfoques tradicionales en ciertos aspectos críticos de la producción de caña de azúcar.

Con base en las entrevistas realizadas a los productores de caña de azúcar de la región cañera de Nayarit, se ha generado en el *software* Atlas.ti, un diagrama de red que permite visualizar las principales relaciones entre los conceptos clave relacionados con la adopción de tecnologías en sus prácticas agrícolas. Este diagrama muestra cómo los productores perciben el uso de herramientas tecnológicas, la tecnificación del sistema de riego y la aplicación de insumos por medio de drones. Además, se analizan los factores que influyen en su disposición a tecnificar, así como las posibles barreras que enfrentan para adoptar estas tecnologías, tales como los costos y la falta de conocimiento o de capacitación. A continuación, se presenta el diagrama de red, que nos muestra las conexiones entre los diferentes temas abordados en las entrevistas y refleja las tendencias observadas en las respuestas de los agricultores (figura 1).

En la parte central del diagrama, se observa que el sistema de riego está vinculado a varias opciones, comenzando con aquellos agricultores que no riegan, los que utilizan agua rodada o aquellos que buscan un mayor aprovechamiento del agua. La implementación de un sistema de riego adecuado está conectada, a su vez, con la disposición a usar tecnología, específicamente drones, lo que refleja un interés en optimizar los recursos hídricos mediante nuevas herramientas tecnológicas.

La sección de aplicación de insumos está relacionada con la utilización de drones, lo que forma parte de la agricultura de precisión. Aquellos agricultores que buscan tecnificar sus procesos están más inclinados a adoptar drones para la aplicación de insumos; sin embargo, el diagrama también refleja que un grupo todavía prefiere la aplicación manual de estos insumos, mostrando que la transición hacia métodos más avanzados está en proceso en algunos sectores.

Figura 1. Diagrama de red en Atlas.ti sobre la adopción de tecnología y sistemas de riego en caña de azúcar



Fuente: elaboración propia con datos de las entrevistas a productores de caña.

El uso de tecnología es un tema central en el diagrama y está estrechamente relacionado con la toma de decisiones. Algunos agricultores se muestran convencidos de la necesidad de usar tecnología en su producción, mientras que otros permanecen resistentes a esta idea, prefiriendo métodos visuales y basados en la experiencia. Dentro de este grupo de decisión, se identifican diferentes niveles de apertura hacia la tecnología: algunos no pretenden usarla, otros están dispuestos a usar drones, y algunos aún no tienen un uso claro de estas herramientas.

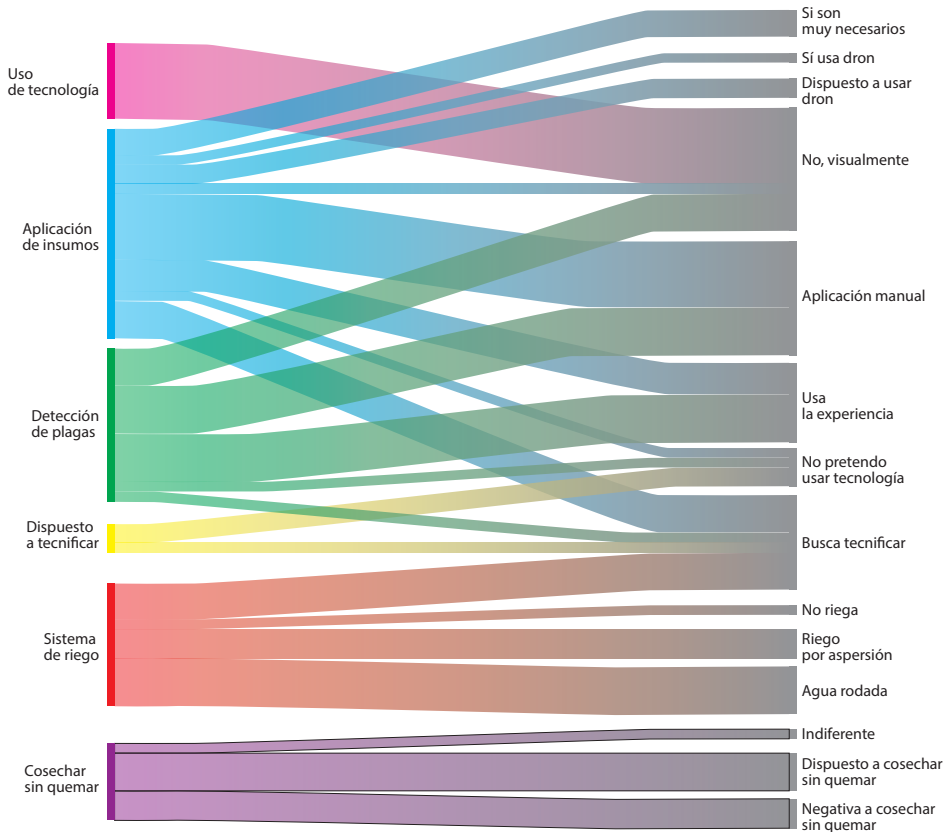
El diagrama también aborda el tema de la cosecha sin quemar, destacando que hay agricultores dispuestos a evitar las quemas para cosechar, mientras que otros siguen siendo indiferentes o se resisten al cambio. Finalmente, en la parte inferior del diagrama se encuentra la detección de plagas, un aspecto clave para la productividad. Algunos agricultores utilizan su experiencia o tecnologías modernas, mientras que otros buscan asesoría de expertos, reflejando la diversidad en los métodos empleados para identificar y gestionar las plagas en sus cultivos.

Diagrama de Sankey

Una vez que se realizó el diagrama de red, se procedió a generar la tabla de co-ocurrencias y de esta se obtuvo el diagrama de Sankey, en el cual se visualiza de manera detallada los flujos de decisiones y comportamientos de los productores de caña en relación con diversas prácticas agrícolas, particularmente con el uso de tecnología (tabla 2).

En la parte superior del diagrama, se presenta el flujo relacionado con el uso de tecnología, donde se observa una variación en las respuestas de los agricultores. Un grupo significativo considera que el uso de la tecnología es muy necesario, mientras que otro está dispuesto a usar drones para sus operaciones. Sin embargo, resulta muy interesante como un segmento importante de los flujos se inclina hacia una posición más conservadora, donde no se utilizan drones, sino que prefieren continuar con la observación visual, sin recurrir a la tecnología avanzada. Esto lo podemos inferir como esa resistencia al cambio, que implica labro de convencimiento y asesoría profesional hacia los productores.

Figura 2. Diagrama de Sankey: conexiones entre el uso de tecnología y métodos tradicionales en la agricultura de caña de azúcar



Fuente: elaboración propia con datos de las entrevistas a productores de caña.

Otro aspecto relevante del diagrama es la aplicación de insumos, donde los flujos nos muestran una preferencia mayoritaria por la aplicación manual de fertilizantes o pesticidas. Algunos agricultores se basan en su experiencia para la toma de decisiones, mientras que una proporción menor no tiene la intención de adoptar tecnología en esta área. El diagrama refleja claramente cómo las prácticas tradicionales todavía predominan en ciertos sectores, aunque existe un flujo hacia la modernización y la tecnificación, con un interés creciente en el uso de tecnología para aumentar la eficiencia.

La detección de plagas es otro tema destacado, en el cual algunos agricultores buscan tecnificar este proceso, mientras que otros aún dependen

de métodos tradicionales y su experiencia personal para detectar problemas en sus cultivos.

Seguido de lo anterior, el diagrama también incluye aspectos relacionados con la disposición a tecnificar en general, los sistemas de riego y las actitudes hacia la cosecha sin quemar. En términos de riego, hay flujos que indican el uso de métodos tradicionales como la irrigación por aspersión o agua rodada, pero también hay un grupo de agricultores que no implementan ningún tipo de riego.

Por último, en cuanto a las prácticas de cosecha, el diagrama muestra cómo algunos están dispuestos a cosechar sin quemar, mientras que otros prefieren mantener métodos más convencionales, lo cual refleja las diversas actitudes hacia la sostenibilidad y la modernización en la agricultura

Conclusiones

La implementación de nuevas tecnologías en el cultivo de caña de azúcar en Nayarit, así como el uso de drones y nuevos sistemas de riego automatizados aparecen como una nueva oportunidad para el rendimiento y la sostenibilidad del cultivo. Por medio de entrevistas con productores cañeros de la región de Nayarit, se ha identificado que, aunque existe interés por parte de los agricultores en adoptar estas tecnologías, las barreras económicas y la falta de conocimiento técnico limitan su implementación en sus parcelas.

Los resultados muestran que los productores que ya han adoptado herramientas como los drones, ven reflejada su inversión en la eficiencia y un mejor manejo de los insumos agrícolas, principalmente en la aplicación de fertilizantes y pesticidas, además de optimizar el uso del agua. Por otro lado, aquellos que aún no han implementado alguna tecnología, siguen utilizando métodos tradicionales, como el riego por agua rodada y la aplicación manual de insumos, lo que demuestra la necesidad de más capacitación y apoyo financiero.

Referencias

- Banco Mundial (2023). *Informe sobre la producción mundial de caña de azúcar: indicadores y análisis por país*. Banco Mundial. Disponible en: www.worldbank.org
- Chávez, J. (2020). Aplicación de la agricultura de precisión con drones en el manejo de plagas y enfermedades en cultivos de caña de azúcar. *Revista de Innovación Agrícola*.
- Coase, R. H. (1937). The Nature of the Firm. *Económica*, 4(16), 386-405. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0335.1937.tb00002.x>
- Creswell, J. W. y Clark, V. L. (2017). The application of mixed methods in agricultural research. *Agricultural Research Journal*, 12(1), 15-27.
- Damin, M. (2020). Uso de vehículos aéreos no tripulados y sistemas de información geográfica en el monitoreo de cultivos de caña de azúcar. *Journal of Precision Agriculture*.
- García-Salazar, J. A. (2018). Impacto de la disminución simultánea de precios de insumos agrícolas en la fertilidad del suelo. *Revista de Agronomía*.
- Griliches, Z. (1957). Hybrid Corn: An Exploration in the Economics of Technological Change. *Econometría*, 25(4), 501-522. <https://doi.org/10.2307/1905380>
- Hardaker, J. B., Huirne, R. B. M. y Anderson, J. R. (1997). *Coping with risk in agriculture* (2ª ed.). CABI. <https://doi.org/10.1079/9780851998312.0000>
- Hernández, M., González, P. y Reyes, L. (2020). La crisis hídrica en el campo mexicano: desafíos y soluciones tecnológicas. *Revista de Ciencias Agrícolas*.
- Leal, J., Silva, C. y Pereira, R. (2020). Evaluación del potencial de las imágenes multiespectrales para la estimación del rendimiento de la caña de azúcar. *Ciencia y Tecnología en la Agricultura*.
- López Vargas, J. (2022). Impacto de la inflación en el costo de insumos agrícolas y su efecto en la producción. *Revista de Economía Agrícola*, 14(2), 123-134. <https://doi.org/10.1234/reagr.v14i2.2022>
- Marra, M. C., Pannell, D. J. y Abadi Ghadim, A. K. (2003). The economics of risk, uncertainty and learning in the adoption of new agricultural technologies: Where are we on the learning curve? *Agricultural Systems*, 75(2-3), 215-234. [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(02\)00066-5](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(02)00066-5)
- Martínez, A. y González, R. (2019). Escasez de agua y su impacto en la agricultura de riego en México. *Anuario de Estudios Rurales*.
- Morse, J. M. (2010). Diseño secuencial exploratorio en investigación de métodos mixtos. *Qualitative Health Research*, 20(8), 1234-1245. <https://doi.org/10.1177/1049732310374568>
- Palomino, R. (2020). Estimación de rendimiento de caña de azúcar mediante técnicas de teledetección y vehículos aéreos no tripulados (vANT). *AgroTech: Revista de Tecnología Agrícola*.
- Ram-Ratan, M. (2018). Eficiencia en la gestión del riego y conservación del suelo en

- cultivos de caña de azúcar en India. *Revista Internacional de Ciencias Agrícolas*, 16(4), 345-357. <https://doi.org/10.5678/ijas.v16i4.2018>
- Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of innovations* (5ª ed.). Free Press.
- Silva, C. B., Moraes, M. A. F. D. y Molin, J. P. (2011). Adoption and use of precision agriculture technologies in the sugarcane industry of São Paulo state, Brazil. *Precision Agriculture*, 12(1), 67-81. <https://doi.org/10.1007/s11119-009-9155-8>
- Singh, P. (2012). Control de malezas en la producción de caña de azúcar y su impacto en la microbiología del suelo. *Revista Asiática de Ciencia de Cultivos*, 9(3), 210-220. <https://doi.org/10.2187/ajcs.2012.210>
- Tashakkori, A. y Teddlie, C. (2010). *Manual de métodos mixtos en investigación social y conductual* (2ª ed.). SAGE.
- Torrebiarte, J. (2013). Desafíos en la producción de caña de azúcar en México: un análisis económico y social. *Revista Mexicana de Economía Agrícola*.