

# Innovación y Tecnología para una Agricultura Mexicana Sostenible: un estudio cualitativo

## INNOVATION AND TECHNOLOGY FOR A SUSTAINABLE MEXICAN AGRICULTURE: A QUALITATIVE STUDYS

**Verónica Cerroblanco-Vázquez<sup>1\*</sup>**    
Universidad Autónoma de Querétaro

**José Fernando Vasco-Leal<sup>1</sup>**    
Universidad Autónoma de Querétaro

**David Israel Contreras-Medina<sup>2</sup>**    
Tecnológico Nacional de México en Celaya

\* Autor corresponsal.

1 Facultad de Contaduría y Administración. Universidad Autónoma de Querétaro, Cerro de las Campanas s/n, Cp. 76010, Querétaro, Querétaro, MÉXICO.

2 Departamento de Ciencias Económico-Administrativas, Tecnológico Nacional de México en Celaya, Antonio García Cubas 1200, Col. Alfredo Vázquez Bonfil, Cp. 38010, Celaya, Guanajuato, MÉXICO.

### Resumen

**Propósito:** Explorar las innovaciones y tecnologías que se han adoptado e impactado en la sostenibilidad del sector agrícola mexicano desde la perspectiva de la academia.

**Metodología:** Investigación de enfoque cualitativo, a través del método e-Delphi donde se aplicó un cuestionario web en línea a un panel de expertos.

**Resultados:** Las expectativas del sector agrícola son la modernización y aumento de producción. Sus estrategias de innovación tecnológica incluyen la capacitación y mejores métodos agrícolas. Los indicadores de sostenibilidad son el uso sostenible de recursos naturales, desarrollo de investigaciones entre docentes, investigadores y estudiantes. Sin embargo, la situación actual es atrasada y las tecnologías son inaccesibles para gran parte de los productores.

**Implicaciones prácticas:** Subraya la necesidad de más alianzas entre industria, academia y productores. Enfatiza que las universidades deben articular estrategias y lineamiento para desarrollar proyectos y programas adaptados a las necesidades de cada productor, fomentando así un sector más sostenible en México.

**Originalidad:** Se presenta una perspectiva única sobre la adopción e impacto de las tecnologías para la sostenibilidad del sector agrícola en México, en el marco del objetivo dos de Desarrollo Sostenible, ofreciendo una comprensión novedosa de los desafíos del sector y las posibles soluciones desde un punto de vista académico.

### INFORMACIÓN ARTÍCULO

Recibido: 20 de mayo 2024

Aceptado: 6 de Septiembre 2024

### Palabras Claves:

Producción agrícola  
Estrategias de innovación  
Mapa de Ruta Tecnológico  
Adopción tecnológica  
Colaboración Industria-Academia

## Abstract

**Purpose:** To explore the innovations and technologies adopted and their impact on the sustainability of the Mexican agricultural sector from an academic perspective.

**Methodology:** The study employed a qualitative approach, utilizing e-Delphi method by applying a web questionnaire to a panel of experts.

**Findings:** The agricultural sector's expectations are focused on modernization and increased production. Its technological innovation strategies encompass training and enhanced agricultural methods. The sustainability indicators include the sustainable use of natural resources and the collaborative development of research among teachers, researchers, and students. However, the current situation is lagging, and most technologies remain inaccessible to many producers.

**Practical implications:** A stronger alliance among industry, academia, and producers is necessary. Universities must articulate strategies and guidelines to develop projects and programs adapted to the needs of each producer, thus promoting a more sustainable sector in Mexico.

**Originality:** The research offers a unique perspective on the adoption and impact of technologies for Mexican agricultural sector's sustainability within the scope of UN's SDG number two, providing a novel understanding of the sector's challenges and possible solutions from an academic standpoint.

## ARTICLE INFO

Received: 20 May 2024

Accepted: 6 September 2024

### Keywords:

Agricultural production  
Innovation strategies  
Technological Road Map  
Technological adoption  
Industry-Academy collaboration

## INTRODUCCIÓN

En la práctica, la innovación es un proceso donde se efectúa algo innovador para un contexto determinado que es adecuado socialmente y que produce algún beneficio, además de actuar como impulsor de crecimiento económico y de competitividad. Desde la industria, el gobierno y la academia, una práctica de innovación se relaciona con la exploración de mercados, marcas y tecnología, con la generación de ideas, o la mejora de un proceso productivo (Roy, 2021) aplicado a la mayoría de los sectores económicos. Sin embargo, para el agrícola en México la adopción de la innovación no ha ocurrido en la magnitud que se espera de acuerdo con su gran número de pequeños productores (Freudenreich & Mußhoff, 2018).

La adopción, entendida como aceptar un parecer o método que ha sido creado por otro, implica hacer propia una herramienta o práctica tecnológica que coadyuve a la actividad agrícola. Esta adopción infiere la existencia de una forma mejorada de hacer las cosas, y que esta empaté con la necesidad de hacer propia [esa nueva forma de hacer las cosas], para atender alguna expectativa o problemática dentro de la producción agrícola. No obstante, la creación de innovaciones de forma unidireccional deja fuera al pequeño productor y lo existente en el entorno agrícola.

Para México, al igual que para todos los países en el mundo, el desarrollo agrícola se establece como una de las actividades más importantes para alimentar a una población en constante crecimiento, promover una agricultura sostenible, mejorar la nutrición, poner fin al hambre y obtener seguridad alimentaria (Contreras-Medina et al., 2024). Aunque pareciera una utopía debido a los problemas sociales, económicos y ambientales con las que cuentan los productores agrícolas a pequeña escala, es importante explorar acciones que impulsen la adopción, dado su rol fundamental para crear bienes de consumo adquiriendo nuevas tecnologías y prácticas de innovación (Pérez et al., 2019).

Con una realidad en constante cambio, introducir la innovación y la tecnología en los sistemas de producción de alimentos desde la industria, el gobierno o la academia, ha sido complejo. Su manejo empírico y artesanal con la asistencia de animales por siglos, releva comprender las necesidades y requerimientos de las personas y el contexto de estos grupos preservando su conocimiento tradicional, y dirigiendo las tecnologías hacia su beneficio (Nag & Gite, 2020). En este sentido, se espera que el sector agrícola se convierta en uno progresivo con el uso de la tecnología y la digitalización (Khan et al., 2021), además de contar con estrategias que dentro del sector agrícola son un conjunto de políticas en un sistema global con visión a mediano o lar-

go plazo (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2015).

Al respecto, en México algunas estrategias prioritarias son: tener mayor producción, reducir el impacto ambiental y garantizar la seguridad alimentaria (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2021). Sin embargo, la situación actual del campo mexicano refleja un escenario complejo porque en 2023 se registró una baja del 10% de hectáreas respecto al año anterior (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2023). No obstante, sigue siendo un sector con grandes áreas de oportunidad.

En el marco de la actividad agrícola, este artículo tiene como objetivo explorar las innovaciones que han impactado en la sostenibilidad del sector agrícola mexicano desde el punto de vista de la academia, la cual incluye a Universidades y Centros de Investigación que forman parte del ecosistema pentahélice que promueve las acciones científicas y tecnológicas para la atención de problemas nacionales y el conocimiento tradicional, a través de innovaciones donde este elemento contribuye al desarrollo, creación y circulación del conocimiento para generar efectos positivos en la sociedad con un enfoque en el cuidado del medio ambiente (Orozco, 2019).

## REVISIÓN DE LITERATURA

La pentahélice fomenta la sustentabilidad a través de innovaciones, en las que el gobierno ofrece apoyos económicos a la academia y al sector productivo, contribuyendo al desarrollo, creación y circulación del conocimiento para crear efectos positivos en la sociedad enfocado en el cuidado del medio ambiente (Orozco, 2019). Históricamente, la innovación ha sido un pilar transcendental para el desarrollo de las personas, organizaciones y países. Mientras que su adopción tuvo su auge a partir de la Revolución Industrial con la producción masiva y el mejoramiento de procesos durante el siglo XVII, fortaleciéndose con la aparición subsecuente de corrientes como el Taylorismo y Fayolismo, como el estudio de tiempos y movimientos y la división del trabajo bajo el propósito de aumentar la productividad y mejorar la eficiencia de los trabajadores (Rodríguez, 2015), lo que ha permitido el arribo de tendencias de la llamada industria 1.0-5.0, en las que se incluyen tecnologías mejoradas.

Aunque, fue hasta la tercera revolución industrial (3.0) cuando surgió el modelo de la triple hélice integrado por el gobierno, empresas y universidad, donde esta última adopta una función estratégica para contribuir al desarrollo económico y social de un país, además de generar conocimiento y crear un vínculo entre industria y gobierno para llevar a cabo procesos innovadores como gestión de conocimiento y desarrollo (Laines et al., 2022). Con la llegada de las tendencias denominadas 1.0-5.0, el sentido de adopción de la innovación se vio reforzado hacia una directriz industrializadora de procesos y productos, adoptando diferentes tipos de herramientas tecnológicas en diversos sectores productivos.

No obstante lo anterior, a pesar de que la tecnología vio sus inicios en el momento en que la sociedad se relacionó con su entorno, al llevar a cabo de forma empírica prácticas agrícolas, cría de animales, fabricación de textiles, las actividades de producción artesanal (a mano) como la agricultura, no ha evolucionado tecnológicamente con la misma velocidad.

### *Interrelación entre innovación y sostenibilidad*

A través del tiempo, la conjunción de la innovación y la sostenibilidad ha establecido diversos momentos empíricos y formales respecto al medio ambiente. Un ejemplo de esto se hizo explícito con la preocupación del quebrantamiento de la naturaleza y ante el riesgo de que esta repercutiera al desarrollo económico, por lo cual, diversos países llevaron a cabo la Cumbre de Estocolmo en 1972, pero fue hasta 1983 con el establecimiento de la Comisión Brundtland, que se interrelacionan formalmente los aspectos de medio ambiente, economía y sociedad y que se comienzan a planear acciones y estrategias para el desarrollo sostenible y bienestar futuro (United Nations, 2024).

En la actualidad, el desarrollo sostenible entendido como “la satisfacción de necesidades presentes sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”, se encuentra presente en el desarrollo de estrategias y políticas de casi 140 países alrededor del mundo (United Nations, 2024, p. 1). Sus acciones involucran 17 objetivos aplicables para todos los sectores de la sociedad, incluyendo al agrícola, el cual a pesar de

ser responsable de 22% de emisiones de gases de efecto invernadero en el mundo (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2023), utilizar de 40% a 70% de agua (Chen et al., 2018) y participar en casi un tercio de la degradación del suelo (World Economic Forum, 2023), también puede ser el pilar para reducir los impactos al medio ambiente y promover el desarrollo económico y social de toda la población en el mundo a través de la provisión de alimentos.

Uno de los países más comprometidos con la mitigación del cambio climático mediante acciones concretas es México, al firmar el Protocolo de Kioto en 1997 y la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático en 1992, y al diseñar la Estrategia Nacional de Cambio Climático en 2007, donde se precisan acciones para la agricultura sostenible como la reducción de emisiones del uso de fertilizantes, de la incidencia de incendios forestales, el fomento de prácticas agrícolas sustentables, así como la labranza de conservación para proteger las reservas de carbono y aumentar sus capacidades de captura (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura & Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, 2014).

### *La innovación y la tecnología en la agricultura*

La tecnología, entendida como la utilización del conocimiento para favorecer la producción y transformación de materiales naturales, además de la fabricación de utensilios utilizados en la interacción del ser humano con el entorno, comprende conocer las características de los recursos naturales involucrados, su proceso de transformación, maquinarias e instrumentos de producción y la organización de los trabajadores para obtener el producto final. Uno de los sectores que implica una constante interacción entre el ser humano y la naturaleza es el agrícola.

Históricamente, el sector agrícola ha creado herramientas a base de piedra y hierro, lo que ha permitido la conjunción entre el agricultor, la tierra y la creación de tecnologías, por lo que la construcción de estas debe ser accesible, apropiada y adaptada a las necesidades locales de los agricultores. Esta idea parte de la premisa de que dada la heterogeneidad de los productores

en un área geográfica, es inapropiado transferir una recomendación general. En este sentido, la invención de tecnologías debe ir asociada con el productor, tomando en cuenta sus intereses, su cultura y las condiciones económicas y agroecológicas en que se desenvuelve (Contreras-Medina et al., 2020). En la mayoría de los casos estos aspectos es una limitante para la adopción de tecnologías, por lo que es necesario saber identificarlos y trasladarlos a las tecnologías.

En México, es importante adecuar las tecnologías a las condiciones económicas y sociales locales y renovarse conforme cambian las condiciones ambientales, ante la presencia de enfermedades y plagas, problemas con la degradación del suelo, insuficiencia de los recursos hídricos, o cambios climáticos extremos que afectan el sector agrícola. Sin embargo, a pesar de que los factores externos influyen de manera importante en el desarrollo de las actividades productivas, esta podría ser una respuesta de la naturaleza, porque el uso desmedido de recursos naturales, deforestación sin reforestación, entre otros, han hecho evidente la mala relación del ser humano con el medio ambiente desde 1864 (Lowenthal, 2015).

Por lo tanto, la producción agrícola es considerada sostenible solo si se producen cantidades apropiadas de alimentos de alta calidad, sin intervenir la base de los recursos naturales y el medio ambiente, siendo viable de forma económica contribuyendo con el bienestar de los agricultores y sus comunidades.

### *Mecanismos de adopción de innovaciones y tecnologías en la agricultura*

A nivel mundial la investigación ha procurado la adopción de la innovación y sus tecnologías en la agricultura de pequeña escala. Por ejemplo, los programas de certificación en la producción de café presentan un enfoque dirigido hacia el cuidado del medio ambiente, pero sin diferencias significativas hacia el aspecto económico contra los que no cuentan con estas prácticas (Caviedes & Olaya, 2020). O el caso representativo en los años 80 sobre la creación de ADN recombinante en la agricultura, que fomentó el acceso a la innovación para la industria, pero no así a productores (Alandete-Saez et al., 2014).

En México, uno de los mecanismos más utilizados para la adopción de tecnologías ha

sido el sistema de extensión agrícola que ha pasado de ser una dinámica de capacitación para pequeños productores, hacia una de combinación de conocimiento para la generación de soluciones. Aunque es una de las opciones más recurridas, existen complicaciones básicas de acceso y puesta en marcha de estos, particularmente del Programa de Proyectos Integrales de Innovación y Extensión (PIIEX) (Amaro-Rosales & Gortari-Rabiela, 2016). Este aspecto es complementado por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), al referir que los pequeños agricultores adoptan las innovaciones de forma gradual conforme se adaptan a sus contextos socioeconómicos y agroecológicos (Listman, 2023).

### ***Barreras para la adopción de tecnologías en el sector agrícola mexicano***

En México, existen diversas barreras que complican la adopción de tecnología dentro del sector agrícola. La más representativa es la pobreza, que involucra al 57.7% de la población en áreas rurales, la cual ha repercutido en los bajos niveles educativos estableciéndose en 5.9 años para más de 5.5 millones de agricultores, y en el equipo utilizado en las unidades de producción que fluctúa entre 1.2% y 15.2% de tecnificación (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, 2023; Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2024). En tanto, los daños sociales, económicos y ambientales se han hecho evidentes en migración, como también la falta de articulación con el mercado y el cambio climático. No obstante, ahora se vuelve pertinente y relevante la adopción de la sostenibilidad en el sector agrícola.

## **METODOLOGÍA**

La investigación de tipo cualitativa se abordó mediante el método *e-Delphi* a través de internet, donde el investigador por medio de una plataforma de encuestas en línea recopila los datos (Hong et al., 2019). De acuerdo con Romero-Collado (2021), existe una serie de razones para el uso de este método, a saber: a) permite tener un mayor control, b) facilita la comunicación entre investigador y expertos, c) resulta conveniente para el administrador y para los participantes, d) genera ahorro en costos y tiempo, e) posibili-

ta una fácil gestión de datos, f) permite la participación de más personas, g) elimina la distancia geográfica, y h) mantiene el anonimato de los participantes.

La encuesta se elaboró con preguntas abiertas y cerradas. Su desarrollo se llevó a cabo a través del software de administración de formularios de Google, con un enlace que fue enviado a los expertos para su acceso. El periodo de aplicación fue del 21 al 27 de noviembre de 2023.

### ***Selección de expertos***

Respecto a la selección de participantes se tomaron las recomendaciones de Toronto (2017), al señalar que para identificar el problema inicial de una investigación se involucra a un grupo de expertos que comparte un interés por buscar recomendaciones o soluciones para un problema. Por lo tanto, para esta investigación se contó con expertos adscritos a Instituciones de Educación Superior (IES) y Centros de Investigación (CI), con experiencia en el desarrollo de investigaciones científicas y tecnológicas dentro del contexto agrícola (Tabla 1).

Es importante señalar que, un aspecto asociado a la colaboración de expertos es que existe la posibilidad de sesgo en la selección de la muestra, provocando que los resultados obtenidos no sean representativos debido a la restricción de los participantes. Derivado de lo anterior, se tomó en cuenta lo señalado por Carreño (2009) al mencionar que se debe contar con un grupo heterogéneo de entre cinco y 10 expertos, para basarse en juicios intersubjetivos y lograr respuestas de calidad. Por lo que, la selección para este estudio se formó con expertos de diversas áreas del conocimiento, diferentes estados del país, así como de distintas instituciones de educación. La representatividad se basó en la calidad de los expertos.

### ***Método de validación***

De acuerdo con Herrera et al. (2022), para conocer en profundidad sobre un fenómeno lo recomendable es preguntar a personas competentes por sus conocimientos y trayectoria en el tema. Por lo tanto, para validar la experiencia de los participantes se tomó en cuenta lo siguiente:

Que pertenecieran al Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNII) del Consejo

**Tabla 1.** Descripción de expertos participantes.

Participante	Género	Institución de Educación Superior/ Centro de investigación	Estado de la República Mexicana	Experiencia en in- vestigación (años)
1	M	IES	Querétaro	9
2	M	CI	Jalisco	5
3	M	IES	Guanajuato	9
4	M	IES	Guanajuato	23
5	F	IES	Guanajuato	18
6	F	IES	Guanajuato	6
7	M	IES	Guanajuato	23
8	M	IES	Guanajuato	9
9	F	IES	Guanajuato	17
10	M	IES	Querétaro	2
11	M	IES	Querétaro	1
12	M	IES	Querétaro	6
13	M	IES	Querétaro	2
14	M	CI	Jalisco	8
15	M	IES	Querétaro	1
16	M	IES	Querétaro	6

Fuente: Elaboración propia.

Nacional de Humanidades Ciencia y Tecnología (CONAHCYT), que es el máximo organismo de investigación en México.

Publicaciones de investigación en el contexto agrícola durante los últimos años.

### Recopilación de datos

De manera inicial, se plantearon cuatro preguntas filtro que de acuerdo con Taherdoost (2022) se realizan previa a otra pregunta y permite establecer una selección cualitativa de las personas encuestadas. P1 se hizo con la finalidad de saber si los académicos estaban interesados en participar del estudio. Las siguientes tres preguntas fueron de introducción, al comienzo del cuestionario, con el objetivo de interesar al encuestado o motivar en su contestación. P2 se planteó para conocer la ubicación de su institución de adscripción. P3 se formuló para averiguar sus años como investigador, y P4 se estableció para conocer su percepción sobre la importancia del sector agrícola en México.

La elaboración de las preguntas se desarrolló bajo la metodología del Mapa de Ruta Tecnológico (MRT), que es una técnica de gestión cuya finalidad es formular, establecer y comunicar una estrategia centrada en la innovación utilizando la estructura para generar rutas tecnológicas según el contexto agrícola actual, abordando tres preguntas clave: ¿Dónde se quiere ir? ¿Dónde se encuentra ahora? y ¿Cómo se puede llegar ahí? (Phaal & Muller, 2009), las cuales fueron operadas como se describe en la Tabla 2. Esta metodología ha sido implementada en el sector agrícola mexicano involucrando el tema de sostenibilidad (Contreras-Medina et al., 2020).

Las preguntas en el tema de sostenibilidad (Tabla 3) se desarrollaron de acuerdo con el segundo de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, establecido en 2015 por la Asamblea General de las Naciones Unidas. En él se refiere a “poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible”, y en el indicador 2.4.1: “proporción de la superficie agrícola en que se practica una agricultura productiva y sostenible”, donde se abordan las tres dimensiones señaladas en el mismo: económica, ambiental y social (United Nations, 2017).

**Tabla 2.** Preguntas de Mapa de Ruta Tecnológico.

Etapas del MRT	Preguntas
Expectativa	P5. Desde su percepción, ¿cuál cree que sea la expectativa prioritaria en el desarrollo de la actividad agrícola en México?
Situación actual	P6. Desde su percepción ¿cómo considera la situación actual para el desarrollo de la actividad agrícola en México?
Estrategia	P7. Desde su percepción ¿qué estrategias de innovación tecnológica se podrían desarrollar para alcanzar las expectativas de la actividad agrícolas en México, desde su situación actual?

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 3.** Preguntas con relación a la sostenibilidad.

Dimensión	Descripción	Pregunta
Económica	Incluye productividad de la tierra, rentabilidad y resiliencia (FAO, 2023).	P8. En el tema de sostenibilidad ¿conoce las dimensiones para su desarrollo? • Si • No
Ambiental	Conformada por salud del suelo, uso de agua, riesgos derivados de los plaguicidas, biodiversidad y riesgo de contaminación por fertilizantes (FAO, 2023).	P9. Si la respuesta anterior fue afirmativa ¿qué indicadores pueden ser de utilidad para su desarrollo?  P10. ¿Conoce o ha desarrollado alguna adopción de innovación tecnológica que haya generado algún impacto positivo para la actividad agrícola en México? • Si • No
Social	Integrada por el empleo digno, seguridad alimentaria y tenencia de la tierra (FAO, 2023).	P11. Si la respuesta anterior fue afirmativa ¿qué indicadores pueden ser de utilidad para su desarrollo?

Fuente: Elaboración propia.

Para evitar sesgos en esta sección, se formularon preguntas claras y precisas, como de tipo abiertas en la sección inicial (Carreño, 2009). Sin embargo, lo anterior no garantiza el sesgo al momento de obtener los datos.

### *Análisis de los datos*

A través de un enfoque hermenéutico se realizó la interpretación de los datos obtenidos para captar el sentido pleno de los textos. Para la codificación de los resultados y construcción de las figuras, se utilizó el software de análisis cualitativo ATLAS.ti 23. Este programa informático facilita exponer el sentido redondeado del análisis cualitativo, porque ofrece la posibilidad de anexar de forma secuencial los datos sin obtener el material en un mismo tiempo, permitiendo el muestreo teórico preciso para hacer el análisis constructor de teoría.

## RESULTADOS

Tras el análisis de los cuestionarios aplicados se obtuvo un total de 176 respuestas, de las cuales 64 fueron de las preguntas iniciales, 48 del tema de MRT y 64 con relación a la sostenibilidad.

### *Preguntas sección inicial*

Las respuestas de las preguntas iniciales se enfocaron en las siguientes palabras. Para P1 fue “sí” en todos los cuestionarios, para P2 predominó la participación por académicos del Estado de Querétaro, en P3 los años con más investigación fueron 9 y 6 años. En P4, los académicos mencionaron que el sector agrícola es de suma importancia porque es el sostén de muchos pequeños y medianos productores, y de él se obtiene la producción básica alimentaria. Al respecto, un participante indicó: “El sector agrícola es de importancia suprema para la alimentación de la población de México y de todo

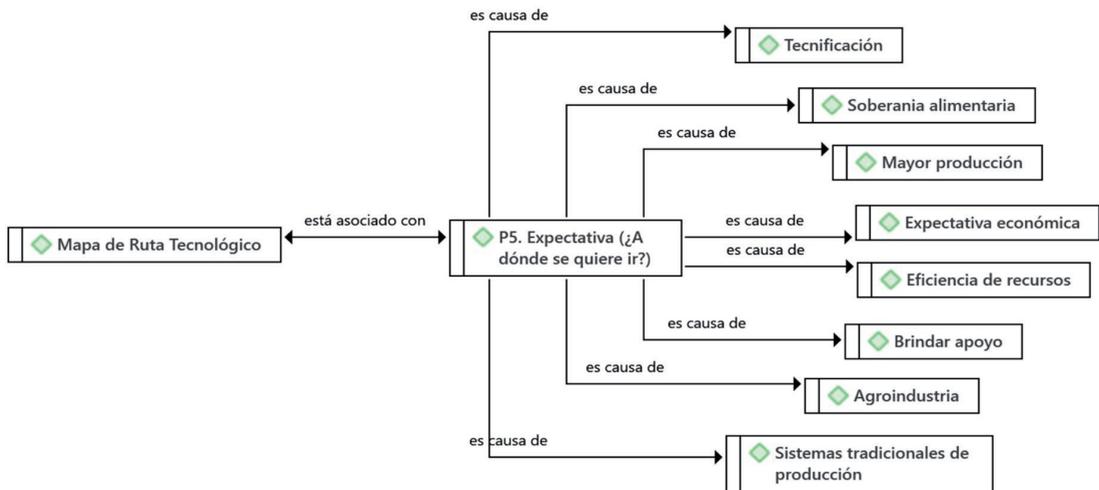
el mundo” (Participante 3, noviembre 2023), lo que infiere en la preocupación del suministro de alimentos para una población en constante crecimiento, subrayado como uno de los restos de la sostenibilidad.

**Sección Mapa de Ruta Tecnológico**

De la sección del MRT, se obtuvieron 515 palabras. Consecuentemente, se realizó una codificación abierta donde se obtuvieron 24 códigos, y estos se encontraron inmersos en tres categorías. Luego, se realizó una codificación axial para encontrar la relación entre categoría y subcategorías, por lo que se llegó a una codificación selectiva con categorías pertenecientes a tres familias. Una vez establecidas, se observó la relación entre cada una de ellas. Las familias que surgieron fueron: expectativa, situación actual y estrategias.

**Expectativas ¿Adónde se quiere ir?**

Tras el análisis de P5, se identificó que las expectativas prioritarias en el desarrollo de la actividad agrícola en México son como se presenta en la Figura 1, la tecnificación para mejorar y modernizar el sector; la soberanía alimentaria para tener acceso a alimentos sanos, suficientes y de calidad; tener una mayor producción para cumplir con la demanda; expectativa económica para mejorar la seguridad alimentaria; brindar más apoyo al campo; reforzar los sistemas tradicionales de producción; hacer más eficientes los recursos con los que se cuenta. Con relación a lo anterior, se señaló que “en este momento en el país está dentro de las áreas prioritarias” (Participante 6, noviembre 2023), por lo que se induce que México está pensando a posteriori en los sectores que serán importantes para el desarrollo de la nación, como lo es la agricultura.

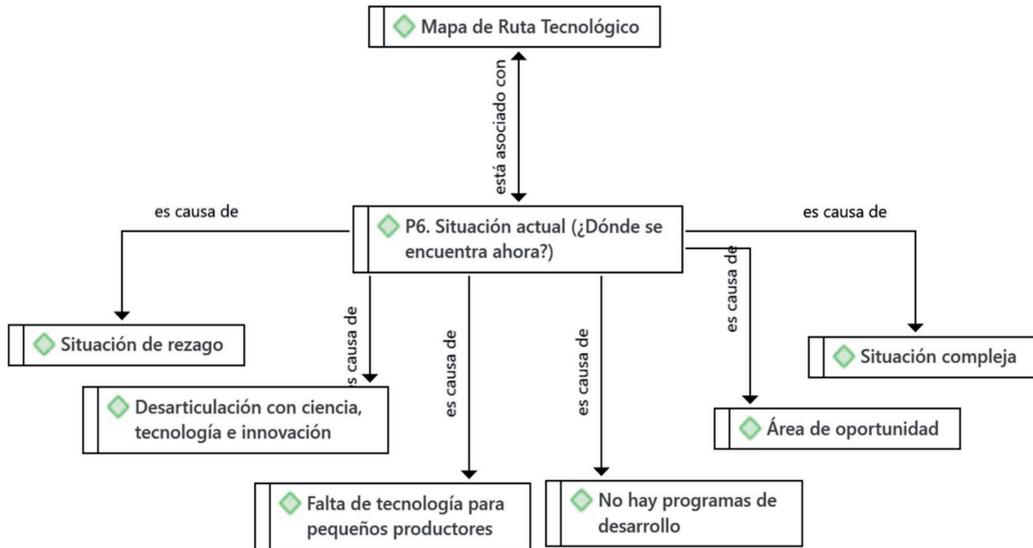


**Figura 1.** Mapa de Ruta Tecnológico, Expectativa. Fuente: Elaboración propia a partir de análisis realizado en el software Atlas ti.

**Situación actual ¿Dónde se encuentra ahora?**

Respecto al análisis de P6 (Figura 2), se precisó que la situación actual para la actividad agrícola en México presenta una situación de rezago, con diversos problemas como la desarticulación con la ciencia, tecnología e innovación. Asimismo, no hay programas a mediano o largo plazo para

el desarrollo de este sector, la tecnología y las nuevas técnicas que se han desarrollado no están disponibles para los pequeños productores. Al respecto, se mencionó que “es preocupante no tener avances tecnológicos en los sectores agrícolas” (Participante 8, noviembre 2023), lo que argumenta un estado grave que aún no le ha dado énfasis a la rearticulación del sector con el conocimiento científico y tecnológico.

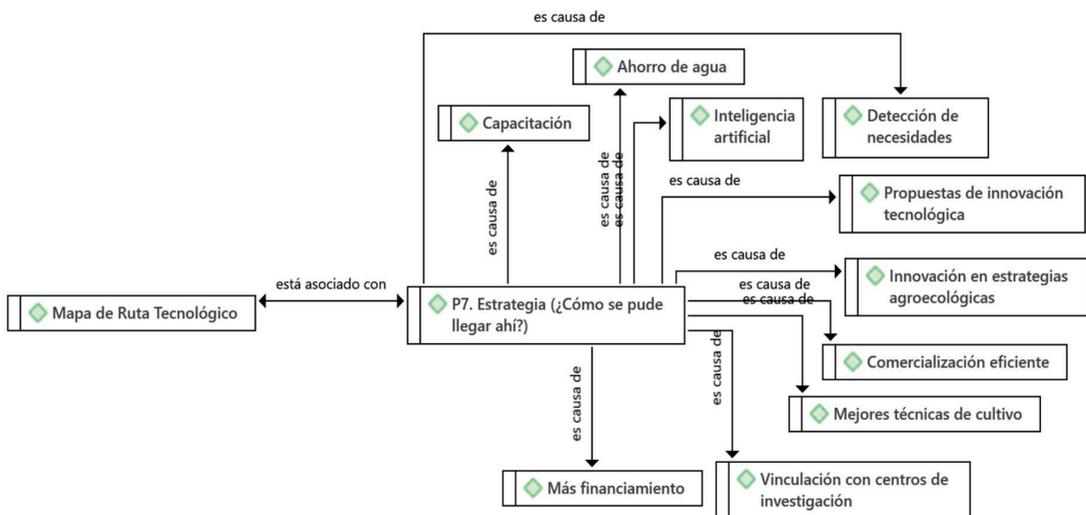


**Figura 2.** Mapa de Ruta Tecnológico, Situación Actual. Fuente: Elaboración propia a partir del análisis realizado en el software Atlas ti.

### Estrategia ¿Cómo se puede llegar ahí?

Tras la indagación de P7 (Figura 3), se identificaron algunas estrategias de innovación tecnológica, entre las que se encuentran: la introducción de nuevas herramientas junto con capacitaciones para los agricultores; financiamiento para la generación de técnicas eficientes de cultivo; la inteligencia artificial para adaptarse a los efectos del cambio climático; técnicas agrícolas que posibiliten un mejor uso de los recursos naturales como el agua; nuevas formas de comercialización que brinden eficiencia y que permitan

eliminar la necesidad de intermediarios; vinculación del sector con los centros de investigación para potenciar su desarrollo; innovación en estrategias agroecológicas con la creación de técnicas que hagan frente a la sequía, así como sistemas de riego de bajo costo y desarrollo de tecnologías en materia de sensores y drones para hacer más eficiente la producción. Bajo la línea de una mayor producción, aún se diluye la conjunción entre el sector y las personas, por lo que posiblemente esta sea una de las causas de la situación actual de los agricultores.



**Figura 3.** Mapa de Ruta Tecnológico, Estrategia. Fuente: Elaboración propia a partir del análisis realizado en el software Atlas ti.

En consecuencia, un académico señaló que algunas estrategias pueden ser: “1. Articulación de los productores con la ciencia y tecnología del país; 2. Detección y análisis de sus necesidades; 3. Interacción constante con el ecosistema agrícola; 4. Propuestas de innovación tecnológica a la medida de las necesidades de los productores” (Participante 3, noviembre 2023). En este sentido, se argumenta la consideración inicial del productor como el elemento clave para la implementación de estrategias.

### Sostenibilidad

En el tema de sostenibilidad, tras el análisis de los datos de P8, solo cinco académicos respondieron sí conocer las dimensiones para del desarrollo sostenible, contra once que mencionaron no conocerlas. Con relación a P10, solo ocho académicos contestaron que conocen o han desarrollado alguna investigación de innovación tecnológica con impacto positivo para el sector agrícola, mientras que siete dijeron lo contrario.

Luego, al hacer el análisis de las preguntas 9 y 11 se obtuvieron 166 palabras, se realizó una codificación abierta donde se obtuvieron siete

y diez códigos respectivamente, estos códigos se encontraron dentro de tres categorías: económica, ambiental y social. Posteriormente, se realizó una codificación axial para descubrir la relación entre categoría y subcategorías.

Ante las respuestas positivas de P8, se llevó a cabo la revisión en P9, se identificó que los indicadores de utilidad para el desarrollo de la sostenibilidad en las dimensiones económica, ambiental y social pueden ser: tener una mayor productividad, porque es esencial para un crecimiento económico; ser resiliente para adaptarse a los cambios del ecosistema; tener rentabilidad no solo en lo económico sino a nivel social; hacer uso sustentable del agua para generar bienestar social y desarrollo económico; tener especial cuidado y aprovechamiento de la biodiversidad, pues es la piedra angular del desarrollo; llevar a cabo investigaciones donde participen docentes, estudiantes e investigadores para trabajar en las necesidades actuales, sin perjudicar a las generaciones futuras; generar un impacto social positivo para crear nuevas oportunidades, atender necesidades y empoderar a las personas (Figura 4).

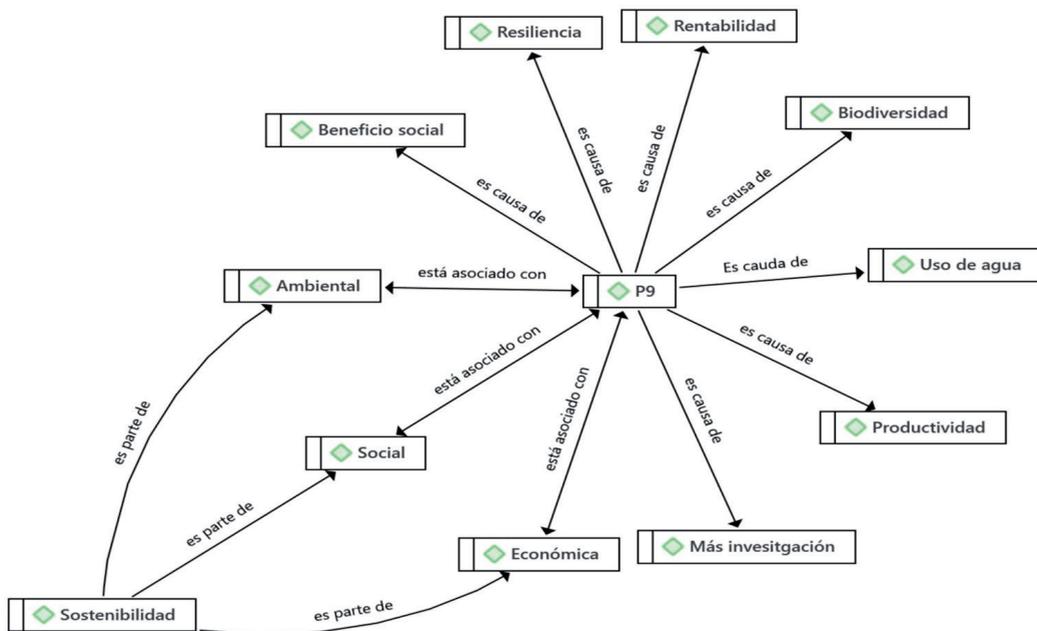
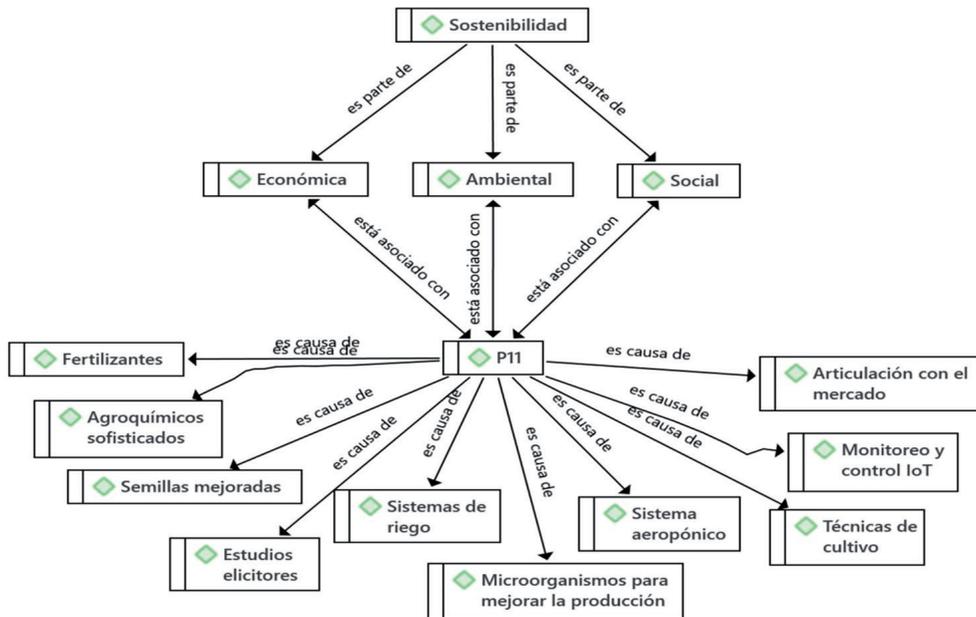


Figura 4. Indicadores para el desarrollo de la Sostenibilidad. Fuente: Elaboración propia a partir del análisis realizado en el software Atlas ti.

A este respecto, se mencionó “Que las prácticas agrícolas sean económicamente sostenibles, sin dañar al medio ambiente y con beneficio social” (Participante 12, noviembre 2023). En este sentido, la SADER (2023) señala que la agricultura sostenible en México se centra en la idea de conservar la producción agrícola a lo largo del tiempo sin agotar los recursos naturales, promoviendo prácticas amigables con el medio ambiente que se traduce en el uso eficiente del agua, rotación de cultivos y reducción de la dependencia de agroquímicos. Por su parte, Guerrero-Aboytes et al. (2023) señalan que se deben implementar proyectos de innovación con prácticas ecológicas para mejorar la economía, además de hacer racional el uso de los recursos naturales por medio de ecotecnologías, y que los empresarios adquieran nuevas habilidades

y conocimientos para una mejora del entorno socioeconómico regional.

De la misma forma, dadas las respuestas positivas de P10 se llevó a cabo la revisión de P11 (Figura 5), donde se señaló si se tenía conocimiento o se había desarrollado alguna adopción de innovación tecnológica con impacto social en el sector agrícola en México, a lo que señaló el participante nueve (noviembre 2023) la “Articulación de productores de café de Honduras con el mercado internacional a través de venta por contrato”, contribuyendo así a la modernización del proceso de comercialización. Asimismo, el participante cuatro (noviembre 2023) mencionó que ha llevado a cabo el “diseño e implementación de nuevas técnicas de cultivo”, desarrollando nuevos procesos para obtener una mayor y mejor cosecha.



**Figura 5.** Innovaciones Tecnológicas con Impacto Positivo para la Actividad Agrícola en México. Fuente: Elaboración propia a partir del análisis realizado en el software Atlas ti.

Por otra parte, se mencionó también el “Desarrollo de sistemas aeropónicos” para realizar cultivos aéreos donde no se hace uso del suelo. De igual forma, el desarrollo de “Semillas mejoradas, sistemas de riego, fertilizantes y agroquímicos sofisticados específicos” y el “Desarrollo de un sistema de monitoreo y control IoT” para disminuir costos e insumos en los procesos de cultivo, así como la reducción de tiempo de tra-

bajo en los procesos de cultivo (Participante 6, 7 y 8, noviembre 2023).

A pesar de que existen estrategias bajo la línea de sostenibilidad, la evidencia marca que aún hay una disyuntiva entre la ciencia y la tecnología, y su puesta en práctica. Se infiere que se deben impulsar estudios multidisciplinarios que incluyan a la comunidad agrícola.

## DISCUSIÓN

La agricultura es el elemento fundamental para la sobrevivencia de la humanidad. Su resultado va más allá de la provisión de un alimento, ejemplificado en conocimientos, experiencias y prácticas tácitas y explícitas que forman parte de su comunidad. Esto se encuentra alineado con la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2018), que señala que “no solo es una actividad económica, sino que es una forma de vida, un patrimonio, una identidad cultural, un pacto ancestral con la naturaleza y un sostén de la humanidad” (p. 1).

En tanto, es necesario identificar las prioridades que fortalecen la actividad agrícola. Así como tener un mejor rendimiento de los cultivos para obtener la autosuficiencia y seguridad alimentaria, articulándose a través de programas prioritarios (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2024). La falta de articulación del conocimiento científico en el tema agrícola difiere desde su acercamiento hasta la implementación. Por ello, esta investigación está en línea con lo registrado por Vargas-Canales (2022), quien señala que el sector agrícola en México presenta limitaciones para el desarrollo de innovaciones y uso efectivo de la ciencia y tecnología.

Desde la academia, la investigación científica y tecnológica debe de emerger y complementar a los sectores productivos a través de políticas, prácticas o investigaciones diferenciadas. Esta situación se encuentra presente en los países con recursos económicos, tecnológicos y de conocimientos, no así en los de menor ingreso. Esto se encuentra en línea con Núñez et al. (2020), quienes señalan que es necesario tener una mayor vinculación entre academia, industria y productores, destacando que las universidades deberían sugerir los lineamientos y estrategias para diseñar programas y proyectos para cada tipo de productor.

Las vicisitudes sobre el desconocimiento de las dimensiones de la sostenibilidad y el interés y desarrollo por la elaboración de estudios que consideren el medio ambiente, hacen explícita la necesidad de duplicar acciones para el beneficio social, económico y ambiental de la agricultura. Esto, alineado con el planteamiento que la agricultura sostenible en México se centra en la idea de conservar la producción agrícola a lo largo del tiempo sin agotar los recursos naturales,

promoviendo prácticas amigables con el medio ambiente, lo que se traduce en el uso eficiente del agua, rotación de cultivos y reducción de la dependencia de agroquímicos (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2023).

## CONCLUSIONES

La innovación permite fortalecer la competitividad y el crecimiento económico y es la clave para aumentar la productividad agrícola. Además, contribuye a que los productores tengan un mayor ingreso, producción de mejores materias primas, más y mejores alimentos, adaptándose a los cambios del medio ambiente. No obstante, en la actualidad el uso de la tecnología es una situación preocupante en la agricultura del país, principalmente para los pequeños y medianos productores, porque no tienen acceso al uso de las TICs (Tecnologías de la Información y la Comunicación) e implementos tecnológicos.

Además, en zonas donde se lleva a cabo una agricultura tradicional no existen programas que fomenten el desarrollo de las tecnologías de producción, por lo que este sector sigue creando y aplicando su tecnología de forma tradicional y transmitida de generación en generación con distintos métodos a los utilizados en zonas modernas. Por eso la importancia de desarrollar tecnologías acordes a las necesidades de los productores y sin afectar el medio ambiente. A pesar de que el uso de las tecnologías puede ser beneficioso, su inserción puede causar inconvenientes al generar un impacto mayor al ambiente, contaminación, incremento de residuos, e incluso la sustitución de las personas. Por esta razón, se debe tener especial cuidado en su introducción, sobre todo en sistemas tradicionales como el agrícola.

De igual forma, es importante que los centros de investigación y las IES enfocadas al desarrollo de tecnologías tengan presentes las dimensiones de la sostenibilidad, porque son la bases para el desarrollo de cualquier sector económico. Crear e introducir tecnologías sostenibles podría coadyuvar a minimizar el impacto hacia el medio ambiente, procurando el desarrollo social y económico de las personas. Lo anterior, podría aplicarse haciendo evidente el impacto social, económico y ambiental positivo de las tecnologías en la agricultura, realizando talleres in situ, es decir, en el lugar de las actividades de la comunidad agrícola.

El presente estudio contribuye a la literatura combinando las metodologías e-Delphi con el mapa de ruta; analizando el concepto de sostenibilidad desde la academia y determinando su situación, estrategias y expectativas; además de que propone una línea futura de investigación enfocada en el análisis de tecnologías junto con el productor para tomar en cuenta sus necesidades, sus condiciones sociales, económicas, su cultura y la agroecología en que se desenvuelven, paralelamente al cuidado del medio ambiente. A pesar de esto, las limitaciones del estudio son el reducido número de participantes, por lo que los resultados se deben de tomar con cautela.

#### **Declaración de conflicto de interés:**

Los autores declaran que no presentan conflictos de interés.

#### **Financiamiento:**

Los autores no recibieron financiamiento para el desarrollo de esta investigación.

#### **Uso de Inteligencia Artificial (IA):**

Los autores declaran que no recibieron asistencia de una IA durante el proceso de investigación, ni durante la escritura de este documento.

#### **Contribucion de los autores:**

Conceptualización: todos; Curación de Datos: VCV; Análisis Formal: VCV y DICM; Investigación: todos; Metodología, Administración del Proyecto, Recursos, & Software: VCV; Supervisión: JFVL y DICM; Validación: VCV; Visualización: DICM; Redacción – borrador original: VCV; Redacción – revisión y edición: JFVL y DICM.

## **REFERENCIAS**

- Alandete-Saez, M., Chi-Ham, C., Graff, G. D., & Bennett, A. B. (2014). Intellectual property in agriculture. *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems*, 4, 31-43. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52512-3.00106-6>
- Amaro-Rosales, M., & Gortari-Rabiela, R. D. (2016). Políticas de transferencia tecnológica e innovación en el sector agrícola mexicano. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 13(3), 449-471.
- Carreño, J. M. (2009). El método Delphi: cuando dos cabezas piensan más que una en el desarrollo de guías de práctica clínica. *Revista Colombiana de Psiquiatría*, 38(1), 185-193.
- Caviedes, R. D. I., & Olaya, A. A. (2020). Impacto ecológico, social y económico de fincas certificadas en buenas prácticas agrícolas y comercio justo. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 17, 1-19. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cdr17.iese>
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. (2023, October 16). La agricultura sustentable, una herramienta para reducir la pobreza rural. *Nutrición salud y seguridad alimentaria*. <https://www.cimmyt.org/es/noticias/la-agricultura-sustentable-una-herramienta-para-reducir-la-pobreza-rural/#:~:text=De%20acuerdo%20con%20datos%20del,36.6%20%25%20en%20las%20zonas%20urbanas.>
- Chen, B., Han, M. Y., Peng, K., Zhou, S. L., Shao, L., Wu, X. F., ... & Chen, G. Q. (2018). Global land-water nexus: Agricultural land and freshwater use embodied in worldwide supply chains. *Science of the Total Environment*, 613, 931-943. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.138>
- Contreras-Medina, D. I., Contreras-Medina, L. M., Pardo-Nuñez, J., Olvera-Vargas, L. A., & Rodríguez-Peralta, C. M. (2020). Road-mapping as a Driver for Knowledge Creation: A Proposal for Improving Sustainable Practices in the Coffee Supply Chain from Chiapas, México, Using Emerging Technologies. *Sustainability*, 12(14), 5817. <https://doi.org/10.3390/su12145817>
- Contreras-Medina, D. I., Contreras-Medina, L. M., & Cerroblanco-Vázquez, V. (2024). Sustainable Agriculture Management: Environmental, Economic and Social Conjunctions for Coffee Sector in Guerrero, via Traditional Knowledge Management. *Sustainability*, 16(16). <https://doi.org/10.3390/su16166864>

- Freudenreich, H., & Mußhoff, O. (2018). Insurance for technology adoption: An experimental evaluation of schemes and subsidies with maize farmers in Mexico. *Journal of Agricultural Economics*, 69(1), 96-120. <https://doi.org/10.1111/1477-9552.12226>
- Guerrero-Aboytes, A. C., Vasco-Leal, J. F., Vivanco-Vargas, M., Díaz-Calzada, M. E., & Sánchez Rayas, F. (2023). Innovaciones tecnológicas con prácticas sustentables para las pymes del sector agroindustrial en México. *Contexto*, 11(1). <https://doi.org/10.18634/ctxj.11v.1i.1367>
- Herrera, M. J. R., Calero, R. J. L., González, R. M. A., Collazo, R. M. I., & Travieso, G. Y. (2022). El método de consulta a expertos en tres niveles de validación. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, 21(1), 1-11.
- Hong, Q. N., Pluye, P., Fàbregues, S., Bartlett, G., Boardman, F., Cargo, M., ... & Vedel, I. (2019). Improving the content validity of the mixed methods appraisal tool: a modified e-Delphi study. *Journal of clinical epidemiology*, 111, 49-59. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2019.03.008>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2024, April 18). Economía y sectores productivos. *Maquinaria y Equipo*. <https://www.inegi.org.mx/temas/maquinaria/>
- Khan, N., Ray, R. L., Sargani, G. R., Ihtisham, M., Khayyam, M., & Ismail, S. (2021). Current progress and future prospects of agriculture technology: Gateway to sustainable agriculture. *Sustainability*, 13(9), 4883. <https://doi.org/10.3390/su13094883>
- Laines, C. I., Silva, I. J., & Guajardo, L. T. (2022). El modelo triple hélice en el contexto de la Industria 4.0. *Vinculatègica EFAN*, 7 (2), 171-182. <https://doi.org/10.29105/vtga7.1-93>
- Listman, M. (2023, Agosto 31). Pequeños agricultores mexicanos adoptan innovaciones para la conservación de recursos. CIMMYT. <https://www.cimmyt.org/es/blogs/pequeños-agricultores-mexicanos-adoptan-innovaciones-para-la-conservacion-de-recursos-poco-a-poco/>
- Lowenthal, D. (2015). Marsh's Man and Nature al 150. *The George Wright Forum*, 32(3), 227-237.
- Nag, P. K., & Gite, L.P. (2020). *Human-Centered Agriculture*; Springer. <https://doi.org/10.1007/978-981-15-7269-2>
- Núñez, J. M., Cabral, R., Noriega, M. Á., Godínez, J. E., & Lomelí, S. E. (2020). Análisis integral de la situación actual del sector Agropecuario del Estado de Jalisco. Período 1982-2018. *Revista Mexicana de Agromercados*, 46(2020), 474-485. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.303887>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2015, April 12). La estrategia como visión y documento unificador. *El papel de las estrategias agrícolas*. <https://www.fao.org/4/y5673s/y5673s1s.htm>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2023, May 8). Indicador 2.4.1 de los ODS: Agricultura sostenible. *Academia de aprendizaje electrónico de la FAO*. <https://elearning.fao.org/course/view.php?id=742>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, & Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2014, April 30). México: el sector agropecuario ante el desafío del cambio climático. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/c9d9ade5-6ff8-4a40-8ba3-67db0e5a68ce/content>
- Orozco, H. D. A. (2019, Abril 30). Pentahélice: Programa Estratégico Nacional de Tecnología e Innovación Abierta (PENTA). *Sesión IV. La innovación en el marco de los programas de transformación productiva. Gobierno de México. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología*. <http://dicyg.fi-c.unam.mx:8080/Site/licenciatura/Convocatoria2019.pdf>
- Pérez, A., Caamal, I., Pat, V. G., Martínez, D., & Reza, J. (2019). Influencia de adopción de tecnología y la mano de obra en la eficiencia productiva en el sector agrícola de México, 1979-2014. *Acta universitaria*, 29. <https://doi.org/10.15174/au.2019.1631>
- Phaal, R., & Muller, G. (2009). An architectural framework for roadmapping: Towards visual strategy. *Technological Forecasting and Social Change*, 76(1), 39-49. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2008.03.018>

- Rodríguez, J.M. (2015). *Taylorismo. La revolución mental que llega a Europa*. UNED.
- Romero-Collado, A. (2021). Elementos esenciales para elaborar un estudio con el método (e) Delphi. *Enfermería intensiva*, 32(2), 100-104. <https://doi.org/10.1016/j.enfi.2020.09.001>
- Roy, M. (2021). Sustainable innovation and corporate environmentalism. *Sustainable Development Strategies*, 2021, 91-131. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818920-7.00002-5>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural [SADER]. (2018, Mayo 14). ¿Cómo beneficia la agricultura a las familias mexicanas? *Gobierno de México. Blog*. <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/como-beneficia-la-agricultura-a-las-familias-mexicanas#:~:text=As%C3%AD%20pues%2C%20la%20agricultura%20beneficia,de%20cultura%20y%20tradic%C3%B3n%20gastron%C3%B3mica>.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2021, September 2021). Acciones estratégicas para una agricultura productiva, incluyente y sustentable. *Gobierno de México. Blog*. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/acciones-estrategicas-para-una-agricultura-productiva-incluyente-y-sustentable>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2023, October 24). Cultivando el futuro: agricultura sostenible y sustentable. *Gobierno de México. Blog*. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/cultivando-el-futuro-agricultura-sostenible-y-sustentable#:~:text=La%20agricultura%20sostenible%20se%20enfoca,de%20la%20dependencia%20de%20agroqu%C3%ADmicos>.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2024, January 4). Conoce nuestros programas prioritarios, en 2024 el campo tampoco se detiene. *Gobierno de México. Blog*. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/conoce-nuestros-programas-prioritarios-en-2024-el-campo-tampoco-se-detiene>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2023). *Anuario estadístico de la producción agrícola. Gobierno de México [Conjunto de datos]*. SIAP. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Taherdoost, H. (2022). Designing a questionnaire for a research paper: A comprehensive guide to desing and develop an effective questionnaire. *Asian Journal of Managerial Science*, 11(1), 8-16. <https://doi.org/10.51983/ajms-2022.11.1.3087>
- Toronto, C. (2017). Considerations when conducting e-Delphi research: A case study. *Nurse researcher*, 25(1). <https://doi.org/10.7748/nr.2017.e1498>
- United Nations. (2017). Labor de la Comisión de Estadística en relación con la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. *Asamblea General*. <https://documents.un.org/doc/undoc/gen/n17/207/67/pdf/n1720767.pdf>
- United Nations. (2024, May 3). Sustainability. *Academic Impact*. <https://www.un.org/en/academic-impact/sustainability>
- Vargas-Canales, J. M. (2022). El sector agroalimentario mexicano y las nuevas tecnologías. *e-Agronegocios*, 8(2), 89-113. <https://doi.org/10.18845/ea.v8i2.6156>
- World Economic Forum. (2023, February 10). La salud del suelo es crucial para la producción de alimentos: así se puede evitar su degradación. *Alimentación y Agua*. <https://es.weforum.org/agenda/2023/02/la-salud-del-suelo-es-crucial-para-la-produccion-de-alimentos-asi-es-como-protegerlo-mejor/>