DESDE 2013
https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/icbi/issue/archive
Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI
ISSN: 2007-6363

Publicación Semestral Pädi Vol. 14 No. Especial 3 (2026) 308–316

Limitaciones tecnológicas en la agricultura protegida del Valle del Mezquital
Technological limitations in protected agriculture in the Valle del Mezquital

J. J. Camara-López [a], N. S. Zúñiga-Peña [a,*], N. Hernández-Romero [a], J. C. Seck-Tuoh-Mora [a], J. Medina-Marín [a]

[a] *Área Académica de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 42184, Pachuca, Hidalgo, México.*

Resumen

La agricultura protegida se ha consolidado en el Valle del Mezquital, Hidalgo, como una alternativa productiva ante condiciones ambientales adversas. En Hidalgo, la agricultura protegida ocupa aproximadamente 976 hectáreas, de las cuales el 86.6 % corresponde a invernaderos, lo que refleja su importancia regional. Sin embargo, su desarrollo presenta un rezago tecnológico que limita la eficiencia productiva y refleja desigualdades en el acceso a recursos y tecnologías. Este estudio analiza los factores que condicionan la adopción tecnológica mediante revisión documental y encuestas a participantes vinculados con unidades de agricultura protegida. Los resultados muestran que la incorporación tecnológica está condicionada principalmente por limitaciones económicas, acceso restringido a financiamiento y carencias en capacitación y asesoría técnica, además de percepciones de complejidad. Factores socioculturales como el idioma y la necesidad de información bilingüe forman parte de las condiciones asociadas con la adopción tecnológica. Se concluye que la adopción tecnológica depende de su adecuación a las condiciones económicas, técnicas y socioculturales de los productores.

Palabras Clave: Invernaderos, Valle del Mezquital, agricultura protegida, rezago tecnológico, adopción tecnológica.

Abstract

Protected agriculture has become an important productive alternative in the Valle del Mezquital, Hidalgo, under adverse environmental conditions. In Hidalgo, protected agriculture covers approximately 976 hectares, of which 86.6 % is occupied by greenhouses, reflecting its regional importance. However, its development still presents a technological lag that limits productive efficiency and reflects inequalities in access to resources and technologies. This study analyzes the factors that shape technology adoption through a documentary review and surveys of participants linked to protected agriculture units. The results show that technology adoption is mainly constrained by economic limitations, restricted access to financing, gaps in training and technical assistance, and perceptions of complexity. Sociocultural factors such as language and the need for bilingual information are among the conditions associated with technology adoption. It is concluded that technology adoption depends on its suitability to the economic, technical, and sociocultural conditions of producers.

Keywords: Greenhouses, Valle del Mezquital, protected agriculture, technological gap, technology adoption.

1. Introducción

En el siglo XXI, la agricultura a nivel mundial enfrenta desafíos cada vez más complejos derivados del cambio climático, la escasez de agua y la necesidad de aumentar la productividad de manera sostenible (García Cabrera y Veira Figueroa, 2024; Guzmán-Albores *et al.*, 2024). Sumado a lo anterior, en Latinoamérica persiste un acceso limitado a la automatización agrícola y al desarrollo de sistemas de monitoreo ambiental, que son pilares de la agricultura moderna al permitir un manejo más eficiente de los recursos naturales y mejorar la calidad de los cultivos (FAO, 2022; Warni *et al.*, 2025; Martín-Gómez *et al.*, 2023). En el caso de México, la escasez de programas de apoyo económico y técnico restringe la adopción de estas tecnologías, especialmente en las regiones rurales con menor acceso a la innovación agrícola, donde la falta de financiamiento, capacitación y políticas públicas adecuadas continúa limitando la modernización del campo (García Cabrera y Veira Figueroa, 2024; Arcadia Peralta *et al.*, 2024).

En México, el Valle del Mezquital, ubicado en el estado

*Autor para la correspondencia: nadia_zuniga@uaeh.edu.mx
Correo electrónico: ca530847@uaeh.edu.mx (José De Jesús Camara López), nadia_zuniga@uaeh.edu.mx (Nadia Samantha Zúñiga Peña), nhromero@uaeh.edu.mx (Norberto Hernández Romero), jseck@uaeh.edu.mx (Juan Carlos Seck-Tuoh-Mora), jmedina@uaeh.edu.mx (Joselito Medina Marín).

Historial del manuscrito: recibido el 25/05/2026, última versión-revisada recibida el 24/05/2026, aceptado el 18/09/2026, publicado el 06/11/2026. **DOI:** https://doi.org/10.29057/icbi.v14iEspecial3.17974

de Hidalgo, representa una de las zonas agrícolas más relevantes del centro del país (Gobierno del Estado de Hidalgo, 2022; Castro Guzmán y Torres Cuevas, 2011). La región abarca municipios como Chilcuautla, Ixmiquilpan, San Salvador, Actopan, Alfajayucan, El Arenal, Francisco I. Madero y San Agustín Tlaxiaca, entre otros. Presenta un clima semidesértico, con temperaturas medias cercanas a 18 °C y una precipitación anual promedio de 400 mm, condiciones que dificultan la producción agrícola a cielo abierto (Moreno Alcántara *et al.*, 2006; García-Salazar, 2019) y han impulsado la expansión de la agricultura protegida (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2023; Aguilar-López *et al.*, 2025).

No obstante, desde mediados del siglo XX la región ha dependido del riego con aguas residuales provenientes de la Zona Metropolitana del Valle de México, práctica que ha contribuido a sostener la producción agrícola (García-Salazar, 2019), aunque también ha originado problemas de salinidad, contaminación de suelos y riesgos sanitarios para la población trabajadora (García-Salazar, 2019; Domínguez-Narváez *et al.*, 2023).

Este artículo no se limita a señalar la presencia o ausencia de tecnología en los invernaderos, sino que examina las condiciones que influyen en su adopción dentro de la región. El análisis combina revisión documental y datos obtenidos mediante encuestas para relacionar las condiciones productivas con las barreras económicas, la capacitación disponible, la asesoría técnica, los riesgos laborales y ambientales, y los factores socioculturales asociados con el uso de nuevas herramientas tecnológicas. Este estudio permite pasar del contexto regional a una interpretación de las limitaciones que condicionan la modernización tecnológica en la agricultura protegida del Valle del Mezquital.

El objetivo de este estudio es analizar los factores técnicos, económicos, institucionales y socioculturales que limitan la adopción tecnológica en la agricultura protegida del Valle del Mezquital, con el propósito de identificar las principales barreras que condicionan su incorporación y uso operativo en los invernaderos de la región. Para ello, se integra una revisión documental del contexto agrícola y sociocultural con información obtenida mediante encuestas aplicadas a productores, encargados y trabajadores vinculados con unidades de producción protegida.

A partir de lo anterior, la pregunta de investigación que orienta este trabajo es: ¿qué factores técnicos, económicos, institucionales y socioculturales se identifican como limitantes de la adopción tecnológica en los invernaderos del Valle del Mezquital?

Este trabajo se estructura en cuatro secciones principales: en la sección II se presenta el marco teórico; en la sección III se describe la metodología empleada; en la sección IV se exponen los resultados obtenidos; finalmente, en la sección V se plantean las conclusiones derivadas del estudio.

2. Marco Teórico

La agricultura protegida se entiende como una modalidad productiva orientada a reducir la dependencia del cultivo respecto a las condiciones ambientales externas y a favorecer un manejo más controlado del proceso agrícola (Bastida Tapia, 2017; Guzmán-Albores *et al.*, 2024). Su desarrollo se sustenta en el uso de estructuras físicas que delimitan el espacio de producción y permiten modificar parcialmente el ambiente interno, con el propósito de disminuir la exposición a factores climáticos adversos, mejorar el aprovechamiento de insumos y generar condiciones más estables para el crecimiento vegetal. En este modelo, los invernaderos constituyen la forma más representativa de agricultura protegida, al funcionar como estructuras destinadas a mediar la interacción entre el cultivo y el entorno exterior (Flores Velázquez y Ojeda Bustamante, 2015).

La relevancia de la agricultura protegida se incrementa en regiones donde la agricultura a cielo abierto enfrenta restricciones asociadas con la escasez de agua, la irregularidad de las precipitaciones y la variabilidad térmica. En contextos semiáridos, este tipo de producción ha sido identificado como una alternativa capaz de sostener la actividad agrícola mediante una regulación parcial del microambiente y un uso más eficiente de recursos como el agua y los nutrientes (Oropeza Tosca *et al.*, 2023; Alviter Ponce y Granados Sánchez, 2006). En el caso del centro de México, y particularmente en espacios con condiciones restrictivas como el Valle del Mezquital, la agricultura protegida adquiere importancia por su capacidad para mantener la continuidad productiva frente a limitaciones ambientales persistentes (Gobierno del Estado de Hidalgo, 2022; Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2023; Aguilar-López *et al.*, 2025).

En Hidalgo, la expansión de la agricultura protegida ha representado una opción productiva relevante frente a las limitaciones del entorno, aunque este crecimiento no ha estado acompañado de manera homogénea por procesos de tecnificación, asistencia técnica y equipamiento suficientes para fortalecer la operación cotidiana de los invernaderos (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2023; Gobierno del Estado de Hidalgo, 2022; Aguilar-López *et al.*, 2025). En el Valle del Mezquital, diversos estudios han documentado diferencias en las condiciones técnicas bajo las que se desarrolla esta actividad, así como debilidades en la sostenibilidad operativa y en la incorporación de herramientas de apoyo para la gestión productiva (Alviter Ponce y Granados Sánchez, 2006; Carballo-Sánchez *et al.*, 2016, 2017; Mejía Nájera *et al.*, 2023). Este panorama permite entender que la agricultura protegida no depende únicamente de la existencia de infraestructura, sino también de las condiciones técnicas e institucionales que intervienen en su funcionamiento, lo que vuelve pertinente analizar las limitaciones asociadas a la adopción tecnológica en estos sistemas productivos (Guzmán-Albores *et al.*, 2024; Arcadia Peralta *et al.*, 2024; González García y Taguenca Belmonte, 2021).

La adopción de tecnologías en la agricultura se ha identificado como un proceso condicionado por diversos factores que pueden actuar como impulsores o como barreras. Entre estos factores se encuentran las condiciones económicas, la disponibilidad de infraestructura tecnológica, el conocimiento técnico, la edad y el perfil de los productores, la confiabilidad de la tecnología, la facilidad de uso y el acceso a fuentes de información (Dibbern *et al.*, 2024). Estos elementos muestran que la adopción tecnológica no depende únicamente de la existencia de equipos o herramientas, sino también de las condiciones que permiten su acceso, comprensión, operación y permanencia dentro de las unidades productivas.

Estas limitaciones no se explican únicamente por la ausencia de equipos o sistemas automatizados dentro de los inverna-

deros. También intervienen factores como el costo de adquisición, la falta de financiamiento, la capacitación insuficiente, el mantenimiento, la asesoría técnica y la capacidad de los productores para interpretar y utilizar la información generada por las herramientas tecnológicas. De esta manera, la tecnología solo puede integrarse de forma efectiva cuando se relaciona con el manejo cotidiano del sistema productivo.

En la agricultura protegida de zonas rurales, estas condiciones adquieren mayor relevancia cuando los productores enfrentan recursos limitados, escaso acompañamiento institucional o dificultades para acceder a información técnica. Una tecnología puede estar disponible, pero su uso puede ser parcial si no existen condiciones para operarla, mantenerla o relacionarla con las decisiones diarias del invernadero. Así, el rezago tecnológico se expresa como una combinación de barreras económicas, técnicas, institucionales y socioculturales que condicionan la incorporación y permanencia de nuevas herramientas.

Para efectos de este estudio, el nivel de tecnificación se entiende como el grado en que las unidades de agricultura protegida incorporan y utilizan herramientas, equipos o procesos de apoyo para el manejo del invernadero. Esta definición considera elementos asociados con la disponibilidad de infraestructura tecnológica, el monitoreo, la generación de registros, la facilidad de uso, el soporte técnico y el uso de información para la toma de decisiones (Dibbern *et al.*, 2024). Un nivel alto se asocia con la presencia de sistemas de monitoreo, registros de información, automatización o semiautomatización de procesos y uso de datos para la toma de decisiones. Un nivel medio corresponde a la incorporación parcial de herramientas tecnológicas, generalmente aplicadas a actividades específicas como el riego, pero sin integración sistemática con otros procesos de monitoreo o control. Un nivel bajo se relaciona con el uso limitado de tecnología, monitoreo irregular y predominio de prácticas manuales. Finalmente, un nivel muy bajo se refiere a la ausencia o presencia mínima de herramientas tecnológicas, registros y procesos de supervisión dentro del invernadero.

3. Metodología

3.1. Enfoque y diseño del estudio

El estudio se desarrolló desde un enfoque cuantitativo, con alcance descriptivo, diseño no experimental y corte transversal (Hernández Sampieri *et al.*, 2014). Este diseño permitió recuperar información empírica sobre las condiciones productivas, tecnológicas, ambientales y socioculturales vinculadas con el rezago tecnológico en la agricultura protegida del Valle del Mezquital, sin intervenir en las variables analizadas y en un solo momento de observación. Bajo esta lógica, la información obtenida se organizó para describir tendencias generales del problema y examinar su comportamiento mediante frecuencias, porcentajes y cruces descriptivos entre dimensiones del estudio. La revisión documental se complementó con la aplicación de un cuestionario estructurado como técnica de recolección de datos, con el propósito de integrar fuentes secundarias y datos empíricos vinculados con el problema de estudio (Arias, 2012).

3.2. Participantes y estrategia de acceso

La recolección de información se dirigió a personas vinculadas con unidades de agricultura protegida del Valle del Mezquital, particularmente propietarios de invernaderos y trabajadores con conocimiento directo de su operación. La participación se orientó a recuperar información de actores involucrados en las condiciones productivas, tecnológicas, ambientales y socioculturales de estos sistemas, por lo que se consideró a personas con experiencia directa en su manejo y funcionamiento cotidiano.

La población objetivo del estudio se delimitó como las unidades de agricultura protegida, particularmente invernaderos ubicados en municipios del Valle del Mezquital. Aunque se consultaron fuentes institucionales, como los resultados definitivos del Censo Agropecuario 2022 publicados por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2023), estas ofrecen información agregada sobre la actividad agrícola, pero no un marco muestral operativo, actualizado y accesible que permitiera identificar el número exacto de invernaderos activos, su ubicación específica y los responsables de cada unidad. Por ello, no fue posible realizar un muestreo probabilístico ni estimar representatividad estadística. En consecuencia, el estudio se desarrolló mediante una muestra no probabilística por conveniencia, integrada por informantes vinculados directamente con unidades de producción agrícola que aceptaron participar y a los que se tuvo acceso durante el periodo de recolección de información.

3.3. Instrumento de recolección de datos

Para la recolección de información se utilizó el "Cuestionario sobre rezago tecnológico en la agricultura protegida del Valle del Mezquital", diseñado para recuperar información empírica sobre las condiciones en que opera la agricultura protegida en la región. El instrumento se orientó a identificar características productivas de los invernaderos, nivel de tecnificación, barreras para la incorporación de tecnología, riesgos laborales y ambientales, así como factores socioculturales vinculados con este contexto regional. Su construcción se apoyó en la operacionalización de variables y en la revisión de artículos científicos, antecedentes regionales, literatura especializada y fuentes estadísticas e institucionales relacionadas con agricultura protegida, tecnificación agrícola, uso de agroquímicos, riesgos laborales y adopción tecnológica en los contextos rurales. La versión final quedó integrada por 30 reactivos, organizados en siete secciones: datos generales; perfil sociocultural; características del invernadero o unidad de producción; tecnificación y uso de tecnología; apoyos, barreras y disposición; salud, riesgos y manejo ambiental; y percepción general del rezago tecnológico. Para su estructuración se incluyeron preguntas cerradas de opción múltiple, reactivos de selección múltiple y afirmaciones con escala tipo Likert de cinco puntos, con valores de 1 a 5.

Las dimensiones temáticas se definieron a partir de la relación entre el objetivo del estudio, la revisión documental y los componentes recurrentes identificados en la literatura sobre agricultura protegida, tecnificación agrícola, adopción tecnológica, riesgos laborales y contexto sociocultural rural. Los aspectos evaluados se organizaron para recuperar información sobre el perfil de los participantes, las condiciones productivas de los invernaderos, el nivel de tecnificación y monitoreo, las barreras económicas, técnicas e institucionales, los riesgos laborales y ambientales, así como los factores socioculturales relacionados con la capacitación, el idioma y la apropiación tec-

nológica. Previo a su aplicación, el instrumento fue revisado mediante una validación de contenido, orientada a verificar que los reactivos correspondieran con las dimensiones temáticas del estudio y con el objetivo de investigación. En esta revisión se evaluó la claridad de las preguntas, la pertinencia de las opciones de respuesta y la congruencia entre reactivos y dimensiones, y se eliminaron posibles ambigüedades en la redacción. Esta revisión permitió ajustar el cuestionario antes de su aplicación definitiva, sin modificar el sentido de las dimensiones analíticas previamente definidas. Para los reactivos de percepción se empleó una escala tipo Likert de cinco puntos. Las opciones de respuesta se organizaron de 1 a 5, donde 1 correspondió a "totalmente en desacuerdo", 2 a "en desacuerdo", 3 a "ni de acuerdo ni en desacuerdo", 4 a "de acuerdo" y 5 a "totalmente de acuerdo". Esta escala se utilizó en afirmaciones relacionadas con la percepción del costo de la tecnología, la falta de apoyos económicos, la disposición a recibir capacitación y la importancia de contar con información técnica o capacitación en formato bilingüe.

3.4. Procedimiento de aplicación

La aplicación del cuestionario se realizó mediante una estrategia mixta. En una primera etapa, se efectuaron visitas presenciales a invernaderos del Valle del Mezquital con el fin de solicitar la participación de propietarios, responsables y trabajadores con conocimiento directo de la operación de estas unidades de producción. Durante este acercamiento se explicó de manera general el propósito del estudio y se invitó a responder una encuesta breve sobre las condiciones productivas y tecnológicas del invernadero. En una segunda etapa, el mismo cuestionario se difundió en formato digital mediante una liga de Google Forms, compartida con personas vinculadas con la actividad y reenviada por algunos participantes a otros posibles informantes de la región. Esta combinación permitió ampliar el acceso a respuestas y recuperar información tanto en campo como por medios digitales.

3.5. Análisis de la información

Las respuestas obtenidas se capturaron y organizaron en una base de datos para su revisión. Posteriormente, la información se sistematizó mediante tablas de frecuencia y porcentajes por reactivo, y se realizaron cruces descriptivos entre algunas variables del cuestionario para identificar patrones generales relacionados con el nivel de tecnificación, las barreras para la adopción tecnológica y la percepción del rezago en los invernaderos analizados.

Los porcentajes reportados se calcularon con base en el total de participantes del estudio (n = 24), por lo que cada valor porcentual se interpretó junto con su frecuencia absoluta correspondiente.

El análisis realizado se limitó a un tratamiento descriptivo de la información, por lo que no se aplicaron pruebas inferenciales ni se establecieron relaciones causales entre variables. En consecuencia, los resultados permiten identificar tendencias, patrones y percepciones presentes en los invernaderos participantes, pero no pretenden generalizarse estadísticamente a toda la región ni validar una propuesta tecnológica específica. Su alcance se orienta a describir las condiciones observadas y aportar una base empírica inicial para futuras investigaciones o desarrollos aplicados.

4. Resultados y discusión

Para organizar la presentación de los resultados, los reactivos del cuestionario se agruparon en seis dimensiones temáticas vinculadas con la caracterización de los participantes, las condiciones productivas, el nivel de tecnificación, las barreras de adopción tecnológica, los riesgos laborales y ambientales, y los factores socioculturales presentes en los invernaderos participantes. Esta organización permitió sintetizar la información recabada sin reproducir la totalidad de los reactivos aplicados, priorizando aquellos resultados relacionados con el rezago tecnológico en la agricultura protegida del Valle del Mezquital.

Con base en esta organización, los resultados se presentan mediante frecuencias absolutas, porcentajes y gráficas descriptivas; no obstante, su análisis se orienta a interpretar los patrones observados y su relación con las condiciones técnicas, económicas, institucionales y socioculturales que influyen en la adopción tecnológica. Debido al alcance descriptivo del estudio y al tipo de muestra utilizada, los datos no se plantean como generalizaciones estadísticas para toda la región, sino como evidencia empírica que permite discutir las limitaciones tecnológicas presentes en los invernaderos participantes.

Tabla 1: Dimensiones del cuestionario

Dimensión	**Aspectos evaluados**	**Uso en resultados**
Caracterización de los participantes	Municipio, relación con el invernadero, edad, escolaridad y vínculo con la actividad agrícola.	Ubicar el perfil general de las personas encuestadas y el contexto territorial de las respuestas.
Condiciones productivas	Tipo de invernadero, cultivo principal, forma de riego, actividades realizadas y manejo cotidiano de la unidad de producción.	Describir las condiciones básicas bajo las que operan los invernaderos participantes.
Tecnificación y monitoreo	Uso de herramientas tecnológicas, sensores, automatización, registros de datos y seguimiento de variables ambientales.	Identificar el grado de incorporación tecnológica en la operación de los invernaderos.
Barreras para la adopción tecnológica	Costo, capacitación, mantenimiento, dificultad de uso, acceso a apoyos y disponibilidad de asesoría técnica.	Reconocer los factores que limitan la incorporación de tecnología en la agricultura protegida local.
Riesgos laborales y ambientales	Uso de agroquímicos, equipo de protección, ventilación, exposición a sustancias y percepción de riesgo.	Describir condiciones asociadas con la seguridad laboral y el manejo ambiental dentro de los invernaderos.
Factores socioculturales	Idioma, confianza, acceso a información, capacitación y aceptación de herramientas tecnológicas sencillas.	Explorar elementos sociales y culturales relacionados con la apropiación de tecnología.

4.1. Caracterización de los participantes y unidades de producción

La encuesta fue respondida por 24 personas vinculadas con invernaderos o unidades de producción agrícola del Valle del Mezquital. La distribución territorial de las respuestas se concentró principalmente en San Salvador, con 37.5 % (9 participantes), seguido de Ixmiquilpan, Actopan y Chilcuautla, cada uno con 16.7 % (4 participantes). En menor proporción se registraron respuestas de Francisco I. Madero, con 8.3 % (2 participantes), y Alfajayucan, con 4.2 % (1 participante). Esta distribución se presenta en la Figura 1.

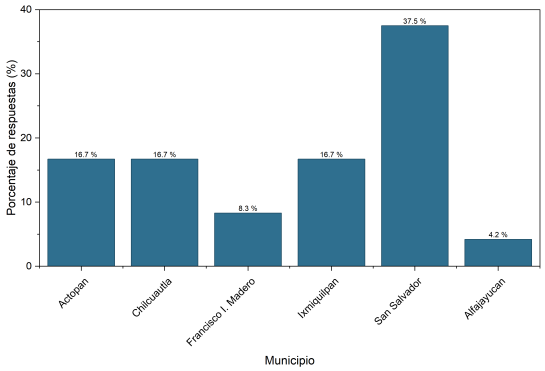


Figura 1: Distribución municipal de los invernaderos.

Respecto al vínculo con la unidad de producción, predominaron los propietarios, con 37.5 % (9 participantes), seguidos de trabajadores, con 29.2 % (7 participantes), encargados, con 16.7 % (4 participantes), y familiares que participan en la producción, con 12.5 % (3 participantes). También se registró una participación menor correspondiente a técnico o asesor, con 4.2 % (1 participante). Esta composición permitió recuperar información de personas relacionadas directamente con la operación cotidiana de los invernaderos, como se observa en la Figura 2.

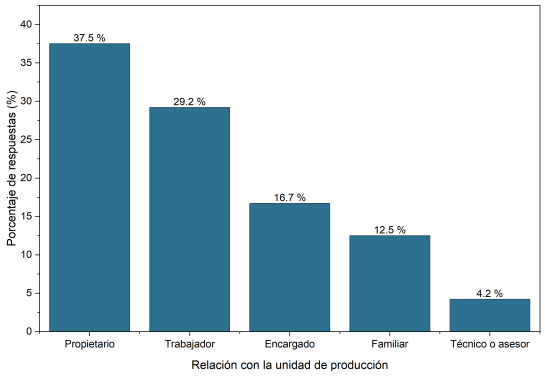


Figura 2: Relación con la unidad de producción.

En términos generales, los participantes presentaron distintos niveles de experiencia en agricultura protegida, aunque predominó el grupo de 4 a 7 años de experiencia previa, con el 45.8 % (11 participantes). El cultivo principal reportado fue el jitomate, con 66.7 % (16 participantes), seguido por otros cultivos hortícolas en menor proporción. En cuanto a la infraestructura, el tipo de estructura más frecuente fue el invernadero tipo túnel, con 79.2 % (19 participantes).

Asimismo, la mitad de las unidades (12 participantes) reportó superficies menores a 1000 m^2, mientras que 41.7 % (10 participantes) se ubicó entre 1000 y 2500 m^2. La fuente principal de agua fue el pozo, con 45.8 % (11 participantes), seguida de la pipa, con 29.2 % (7 participantes). Estos datos permiten ubicar el perfil general de las unidades participantes antes de presentar los resultados asociados con tecnificación, monitoreo y riesgos.

En conjunto, esta caracterización muestra que la información obtenida proviene principalmente de actores con participación directa en la operación de los invernaderos, lo que fortalece la pertinencia de las respuestas para analizar condiciones cotidianas de manejo productivo. La presencia mayoritaria de propietarios, trabajadores y encargados permite interpretar los resultados desde una perspectiva operativa, más que exclusivamente administrativa o externa. Asimismo, el predominio de unidades de superficie reducida o intermedia, dedicadas principalmente al jitomate y con estructuras tipo túnel, sugiere que el rezago tecnológico debe analizarse en relación con sistemas productivos de escala local, donde las decisiones de inversión, monitoreo y capacitación suelen depender de recursos limitados y de la experiencia práctica acumulada por los propios productores.

4.2. Condiciones de tecnificación y monitoreo

En relación con la incorporación de tecnología, 70.8 % (17 participantes) de los participantes indicó que actualmente no cuenta con algún tipo de tecnología para apoyar el funcionamiento del invernadero, mientras que 16.7 % (4 participantes) señaló que sí dispone de algún recurso tecnológico y 12.5 % (3 participantes) respondió no saberlo. Este resultado muestra una baja presencia de herramientas tecnológicas dentro de las unidades participantes, como se observa en la Figura 3.

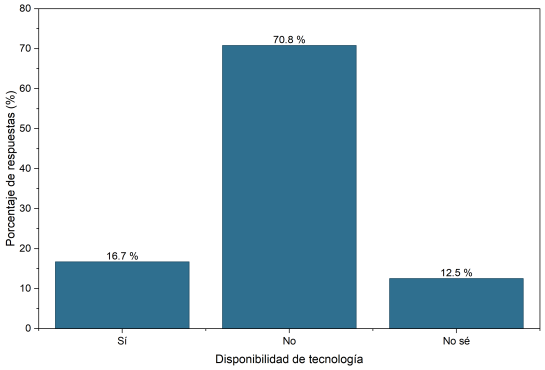


Figura 3: Disponibilidad de tecnología en el invernadero.

Respecto al riego, 66.7 % (16 participantes) de los participantes señaló que este se realiza de forma semiautomatizada, mientras que 29.2 % (7 participantes) indicó que se lleva a cabo de manera manual y 4.2 % (1 participante) indicó no saberlo. Este dato permite observar que algunos invernaderos han incorporado mecanismos parciales de apoyo en una actividad específica, aunque esto no necesariamente implica la existencia de un sistema integral de monitoreo o control tecnológico dentro de la unidad de producción.

En cuanto al seguimiento de variables ambientales o productivas, 37.5 % (9 participantes) de los participantes indicó que estas se monitorean solo a veces, 33.3 % (8 participantes) señaló que no se monitorean y 29.2 % (7 participantes) respondió que sí se realiza algún tipo de monitoreo regular. Por tanto, el registro de condiciones internas del invernadero aparece como una práctica irregular entre las unidades encuestadas.

Al preguntar por la percepción general del nivel de tecnificación, entendida como la valoración de los participantes sobre el grado de incorporación y uso de herramientas tecnológicas en el invernadero, 41.7 % (10 participantes) de los participantes lo consideró bajo, 33.3 % (8 participantes) medio y 12.5 % (3 participantes) muy bajo. Solo 4.2 % (1 participante) lo ubicó como

alto, mientras que 8.3 % (2 participantes) respondió no saberlo. La distribución de estas respuestas se presenta en la Figura 4.

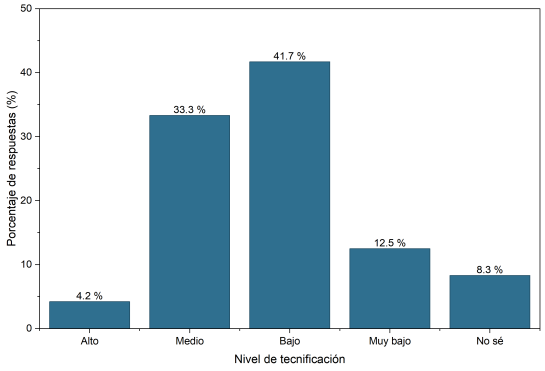


Figura 4: Nivel de tecnificación percibido.

Las variables monitoreadas con mayor frecuencia fueron la temperatura, con 58.3 % (14 participantes), la humedad relativa, con 37.5 % (9 participantes), y los nutrientes, con 33.3 % (8 participantes). En contraste, 29.2 % (7 participantes) señaló que no se monitorea ninguna variable. Otros parámetros, como la calidad del aire y la luz, fueron mencionados por 12.5 % (3 participantes) de los participantes, mientras que la humedad del suelo alcanzó 8.3 % (2 participantes) y el pH del agua 4.2 % (1 participante). Estos resultados indican que, cuando existe monitoreo, este se concentra principalmente en variables básicas del microclima, mientras que otros parámetros relevantes para el manejo ambiental y productivo aparecen con menor presencia. Esta distribución se muestra en la Figura 5.

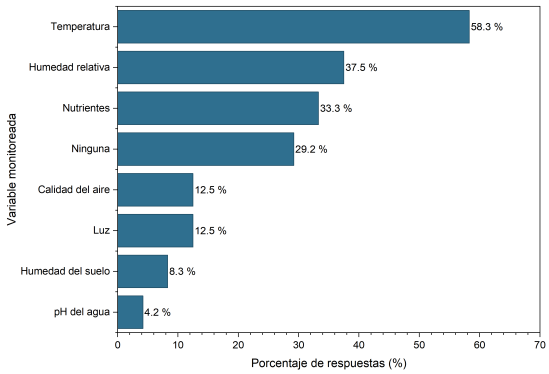


Figura 5: Variables monitoreadas en el invernadero.

En lo referente a la capacitación para el uso de tecnología o equipos, 62.5 % (15 participantes) de los participantes indicó no haber recibido ninguna capacitación, 29.2 % (7 participantes) señaló haber recibido capacitación una vez y 8.3 % (2 participantes) varias veces. Asimismo, 75.0 % (18 participantes) reportó no haber recibido apoyos gubernamentales, institucionales o de algún programa para el invernadero. Sobre la asesoría técnica, 33.3 % (8 participantes) mencionó contar con ella de manera ocasional, 29.2 % (7 participantes) señaló tener muy poca asesoría, 20.8 % (5 participantes) indicó recibirla de forma frecuente y 16.7 % (4 participantes) afirmó no contar con ella. Estos datos complementan el panorama de tecnificación observado, al mostrar que la disponibilidad de tecnología se relaciona con procesos limitados de capacitación, acompañamiento técnico y apoyo institucional.

La relación entre estos resultados permite distinguir entre la presencia de mecanismos aislados de apoyo operativo y la existencia de una tecnificación integral del invernadero. Aunque el riego semiautomatizado aparece como una práctica relativamente extendida, el monitoreo ambiental y productivo continúa siendo irregular o limitado, mientras que la capacitación, los apoyos institucionales y la asesoría técnica se presentan como condiciones insuficientes o intermitentes. Esto sugiere que el rezago tecnológico identificado no se expresa únicamente en la ausencia de equipos, sino también en la falta de integración entre infraestructura, monitoreo, formación técnica, acompañamiento disponible y capacidad de los usuarios para apropiarse de las herramientas incorporadas.

4.3. Barreras para la incorporación tecnológica

Al consultar sobre la principal barrera para incorporar más tecnología en los invernaderos, el alto costo fue la respuesta más frecuente, con 33.3 % (8 participantes), seguido de la dificultad de uso, con 29.2 % (7 participantes). En menor proporción se mencionaron la desconfianza hacia la tecnología, con 16.7 % (4 participantes), la falta de capacitación y la falta de apoyos económicos, ambas con 8.3 % (2 participantes), así como la falta de internet o conectividad, con 4.2 % (1 participante). La distribución de estas respuestas se presenta en la Figura 6.

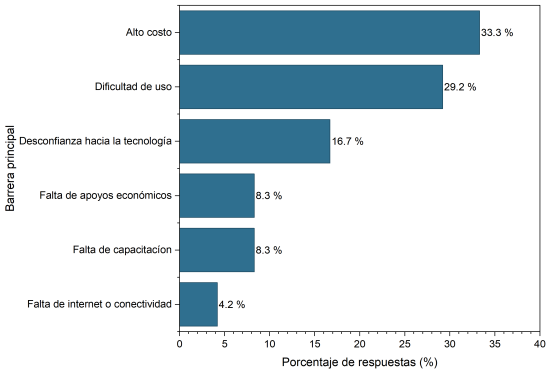


Figura 6: Barreras para incorporar tecnología.

Estos resultados muestran que las limitaciones para adoptar tecnología no se concentran únicamente en el aspecto económico, sino también en condiciones relacionadas con el uso, la confianza y el acompañamiento técnico. Aunque el costo fue la barrera más señalada, la dificultad de uso y la desconfianza también ocuparon una proporción relevante dentro de las respuestas.

En las afirmaciones con escala tipo Likert, 75.0 % (18 participantes) de los participantes manifestó un nivel alto de acuerdo con que el costo de la tecnología agrícola es demasiado elevado, al seleccionar los valores 4 o 5 de la escala. De manera similar, 70.8 % (17 participantes) expresó un nivel alto de acuerdo con que la falta de apoyos económicos dificulta la modernización de los invernaderos. Estos datos complementan la barrera principal reportada por los participantes y permiten observar la importancia que adquiere el acceso económico en los procesos de incorporación tecnológica.

Por otra parte, 83.3 % (20 participantes) de los encuestados indicó que estaría dispuesto a recibir capacitación para mejorar

el manejo tecnológico del invernadero. Este resultado permite ubicar la capacitación como un componente relevante dentro del análisis, ya que la falta de formación técnica aparece tanto como una barrera directa como una condición asociada con el uso de herramientas tecnológicas.

La disposición mayoritaria a recibir capacitación permite matizar la lectura de las barreras identificadas. Aunque el costo y la falta de apoyos económicos limitan la incorporación de tecnología, la aceptación de procesos formativos sugiere que no existe un rechazo generalizado hacia la tecnificación, sino una necesidad de acompañamiento que reduzca la percepción de complejidad y aumente la confianza en su uso. Por ello, la capacitación no debe entenderse únicamente como una actividad complementaria, sino como una condición para que la tecnología pueda ser comprendida, operada y sostenida dentro de las prácticas productivas locales.

4.4. Riesgos laborales y ambientales

En relación con el manejo de sustancias agrícolas, 45.8 % (11 participantes) de los participantes señaló que en el invernadero se aplican plaguicidas o agroquímicos de manera frecuente, mientras que 50.0 % (12 participantes) indicó que se aplican solo a veces. En menor proporción, 4.2 % (1 participante) respondió que se utilizan rara vez, mientras que la opción “No” no registró respuestas (0 participantes). Esta distribución se presenta en la Figura 7.

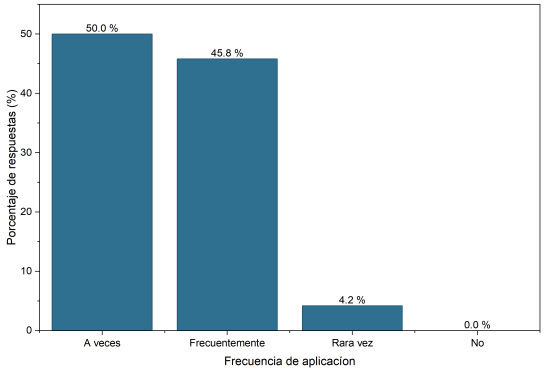


Figura 7: Aplicación de plaguicidas o agroquímicos.

Respecto al uso de equipo de protección personal, 41.7 % (10 participantes) de los participantes indicó que sí cuenta con este tipo de equipo, 50.0 % (12 participantes) señaló que solo a veces y 8.3 % (2 participantes) respondió que nunca cuenta con protección. En cuanto a las molestias físicas posteriores a la fumigación o al trabajo dentro del invernadero, 50.0 % (12 participantes) reportó presentarlas a veces, 4.2 % (1 participante) de manera frecuente y 45.8 % (11 participantes) indicó no haberlas presentado. Estos datos permiten describir condiciones de exposición diferenciadas entre las unidades participantes, particularmente en actividades relacionadas con la aplicación de sustancias químicas y el trabajo en espacios cerrados.

Al preguntar por el principal riesgo ambiental o sanitario dentro del invernadero, la exposición a agroquímicos fue la respuesta más frecuente, con 37.5 % (9 participantes), seguida del exceso de calor, con 29.2 % (7 participantes). En menor proporción se mencionaron las plagas o enfermedades, con 20.8 % (5 participantes), la mala ventilación, con 8.3 % (2 participantes), y la ausencia de identificación de riesgos, con 4.2 % (1 participante). La distribución de estas respuestas se muestra en la Figura 8.

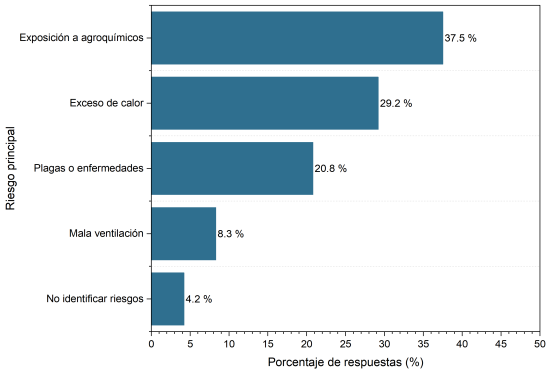


Figura 8: Riesgo ambiental o sanitario principal.

Finalmente, 79.2 % (19 participantes) de los participantes consideró que hace falta mayor monitoreo ambiental dentro del invernadero para reducir riesgos, mientras que 20.8 % (5 participantes) respondió “tal vez”. En este reactivo no se registraron respuestas negativas (0 participantes). Este resultado se integra al análisis descriptivo como parte de la percepción de los participantes sobre las condiciones de supervisión ambiental dentro de las unidades de producción.

Estos resultados muestran que los riesgos laborales y ambientales no aparecen como factores aislados, sino como condiciones asociadas al funcionamiento cotidiano del invernadero. La aplicación frecuente u ocasional de plaguicidas, combinada con el uso irregular de equipo de protección personal, permite interpretar que la exposición química continúa siendo una dimensión relevante dentro de las unidades analizadas. Asimismo, la identificación del exceso de calor, las plagas o enfermedades y la mala ventilación como riesgos principales evidencia que el ambiente protegido no elimina por sí mismo las condiciones de vulnerabilidad, sino que puede concentrarlas cuando no existen prácticas sistemáticas de prevención, supervisión ambiental y manejo seguro del espacio de trabajo.

4.5. Factores socioculturales

En la dimensión sociocultural, 83.3 % (20 participantes) de los participantes señaló que se considera perteneciente a una comunidad indígena, mientras que 70.8 % (17 participantes) indicó hablar una lengua indígena. Asimismo, 91.7 % (22 participantes) consideró importante que la información técnica o las capacitaciones sobre el manejo del invernadero estén disponibles de manera bilingüe, en español y en lengua indígena. Estos tres indicadores se presentan en la Figura 9.

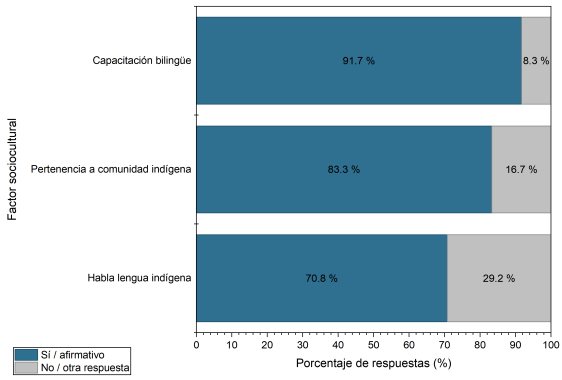


Figura 9: Factores socioculturales vinculados con la capacitación.

La información obtenida muestra que los factores socioculturales y lingüísticos forman parte de las condiciones bajo las cuales se accede, interpreta y utiliza la información técnica en los invernaderos participantes. La alta valoración de contar con capacitaciones o materiales bilingües no debe entenderse como un elemento secundario, sino como una condición que puede favorecer la comprensión operativa de las recomendaciones técnicas y reducir la distancia entre las herramientas tecnológicas y las prácticas productivas locales.

En conjunto, estos resultados permiten interpretar el rezago tecnológico como una condición multidimensional. La limitada disponibilidad de tecnología, el monitoreo irregular, la escasa capacitación, la falta de apoyos, los riesgos laborales y ambientales y la necesidad de comunicación técnica pertinente muestran que la adopción tecnológica no depende de un solo factor, sino de la interacción entre recursos económicos, capacidades técnicas, acompañamiento institucional, condiciones de trabajo y pertinencia sociocultural.

5. Conclusión

Los resultados permiten identificar que los invernaderos analizados en el Valle del Mezquital presentan condiciones de tecnificación limitada, reflejadas en la baja disponibilidad de herramientas tecnológicas, el monitoreo irregular de variables ambientales y productivas, y una percepción predominantemente baja o media del nivel de tecnificación. Además, el 12.5 % de los participantes que indicó no saber si el invernadero cuenta con tecnología muestra que, en algunos casos, la incorporación tecnológica no solo es limitada, sino también poco reconocida o poco comprendida por quienes participan en la operación cotidiana. Aunque algunas unidades han incorporado mecanismos parciales, como el riego semiautomatizado, estos avances no necesariamente implican la existencia de sistemas integrales de supervisión, registro o control que fortalezcan la operación cotidiana del invernadero.

Las barreras para incorporar tecnología no se explican únicamente por el costo de los equipos. La dificultad de uso, la desconfianza, la falta de capacitación, la asesoría técnica irregular y la limitada presencia de apoyos institucionales configuran un entorno en el que la modernización requiere más que la adquisición de dispositivos. En este sentido, la incorporación tecnológica debe acompañarse de procesos de formación práctica, orientación técnica y estrategias de implementación acordes con las condiciones económicas y operativas de productores y trabajadores.

En la dimensión ambiental y sanitaria, los datos muestran que la exposición a agroquímicos, el exceso de calor, las plagas o enfermedades y la ventilación deficiente constituyen riesgos relevantes dentro de los invernaderos. La aplicación frecuente u ocasional de plaguicidas, junto con el uso irregular de equipo de protección personal, evidencia la necesidad de fortalecer las prácticas de prevención, manejo seguro de sustancias agrícolas y supervisión ambiental en espacios cerrados de producción.

La dimensión sociocultural también resulta clave para comprender las condiciones de adopción tecnológica en la región. La pertenencia a comunidades indígenas, el uso de lengua indígena y la valoración de materiales o capacitaciones bilingües muestran que la comunicación técnica debe considerar el contexto lingüístico y cultural de quienes participan en la operación de los invernaderos. Por ello, reducir el rezago tecnológico en la agricultura protegida del Valle del Mezquital requiere estrategias integrales que articulen acceso económico, capacitación, acompañamiento técnico, prevención de riesgos y pertinencia sociocultural.

Finalmente, los hallazgos permiten reconocer la pertinencia de futuras propuestas de monitoreo ambiental accesibles y contextualizadas, capaces de apoyar la toma de decisiones dentro del invernadero sin desligarse de las condiciones reales de uso, comprensión y apropiación tecnológica. Debido a que el estudio se desarrolló con una muestra descriptiva de participantes vinculados con invernaderos o unidades de producción, los resultados no pretenden generalizarse estadísticamente a toda la región ni establecer diferencias significativas entre grupos, sino aportar una aproximación inicial a las condiciones tecnológicas, ambientales y socioculturales observadas. Futuros estudios podrían ampliar la muestra, incorporar diseños probabilísticos y aplicar técnicas inferenciales, como análisis de varianza u otras pruebas estadísticas, cuando el objetivo sea comparar grupos, probar hipótesis o identificar diferencias significativas entre variables.

Uso de Inteligencia Artificial

Durante la preparación del presente manuscrito, los autores utilizaron Claude para corrección gramatical, mejora de redacción y la traducción del apartado del Abstract. Todo el contenido generado o sugerido por la herramienta fue revisado y editado por los autores, quienes asumen plena responsabilidad por la exactitud, originalidad, integridad y rigor científico del contenido final del manuscrito.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por el apoyo brindado para la realización de este trabajo.

Referencias

Aguilar-López, A., González-Andrade, S., y Valenzuela-Nuñez, L. M. (2025). Clasificación de regiones para la pro-

ducción agrícola bajo invernadero en Hidalgo, México. *Acta Universitaria*, 35:1–12. doi: 10.15174/au.2025.4443.

Alviter Ponce, D. y Granados Sánchez, D. (2006). Construcción y manejo de invernaderos en la producción de jitomate (Lycopersicum esculentum Mill) para el Valle del Mezquital, Hidalgo. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 5(1):13–17.

Arcadia Peralta, A., Marceleño Flores, S. M. L., y Flores Vílchez, F. (2024). Agricultura de precisión en la producción de caña de azúcar: diagnóstico para revisar las relaciones entre prácticas agrícolas tradicionales y la adopción de tecnologías. En *Desafíos en el contexto empresarial: Sostenibilidad, innovación y competitividad*, pp. 35–47. Comunicación Científica.

Arias, F. G. (2012). *El proyecto de investigación: introducción a la metodología científica*. Editorial Episteme, Caracas, Venezuela, 6 edición.

Bastida Tapia, A. (2017). Evolución y situación actual de la agricultura protegida en México. En *Sexto Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas*, pp. 281–294.

Carballo-Sánchez, Á., Mejía-Nájera, C., Cruz-Sánchez, E., y Blancas-Olvera, Z. (2016). Índice de sustentabilidad de los invernaderos de San Agustín Tlaxiaca, Hidalgo. *Revista de Desarrollo Económico*, 3(7):52–57.

Carballo-Sánchez, Á., Mejía-Nájera, C., y Hernández-Gómez, D. (2017). Índice de sustentabilidad de los invernaderos de Actopan, El Arenal, Francisco I. Madero y San Salvador, Hidalgo. *Revista Administración y Finanzas*, 4(11):54–61.

Castro Guzmán, M. y Torres Cuevas, M. E. (2011). La pobreza y su representación en el Alto Mezquital. Ponencia. Mesa: marginación, pobreza y políticas públicas.

Dibbern, T., Romani, L. A. S., y Massruhá, S. M. F. S. (2024). Main drivers and barriers to the adoption of Digital Agriculture technologies. *Smart Agricultural Technology*, 8:100459. doi: 10.1016/j.atech.2024.100459.

Domínguez-Narváez, J. A., Guevara-Rosales, C., Daniel-Ibarra, N., y Maldonado-Cabrera, D. (2023). Impacto del uso de aguas residuales en el Valle del Mezquital. *XAHNI Boletín Científico de la Escuela Preparatoria No. 6*, 1(1):6–11.

FAO (2022). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2022. Aprovechar la automatización de la agricultura para transformar los sistemas agroalimentarios*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma.

Flores Velázquez, J. y Ojeda Bustamante, W. (2015). *Consideraciones agronómicas para el diseño de invernaderos típicos de México*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

García Cabrera, G. y Veira Figueroa, W. D. (2024). Desarrollo regional en la agricultura mexicana: efectos del uso de químicos y alternativas sustentables.

García-Salazar, E. M. (2019). El agua residual como generadora del espacio de la actividad agrícola en el Valle del Mezquital, Hidalgo, México. *Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 29(54). doi: 10.24836/es.v29i54.741.

Gobierno del Estado de Hidalgo (2022). Ecosistema agroalimentario del Mezquital. Technical report, Unidad de Planeación y Prospectiva, Gobierno del Estado de Hidalgo.

González García, R. y Taguenca Belmonte, J. A. (2021). Cultura política y democracia indígena en Hidalgo. Ponencia.

Guzmán-Albores, J. M., Matuz-Cruz, M. d. J., Arana-Llanes, J. Y., López-Carrasco, E., Gómez-Vázquez, V., y González-Cárdenas, N. (2024). Avances y perspectivas de la agricultura de precisión para la sostenibilidad agrícola. *XIKUA Boletín Científico de la Escuela Superior de Tlahuelilpan*, 12(24):1–6. doi: 10.29057/xikua.v12i24.12790.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., y Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill / Interamericana Editores, 6 edición.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2023). Censo agropecuario 2022. resultados definitivos. Hidalgo.

Martín-Gómez, P., Torres-Pabón, D., Montoya-Gómez, J., Rangel-Díaz, J., y Rubiano-Fernández, J. (2023). Desarrollo e implementación de un sistema automático a bajo costo para regulación de variables climáticas en cultivos bajo invernadero. *Revista Innovación Digital y Desarrollo Sostenible*, 4(1):7–13. doi: 10.47185/27113760.v4n1.124.

Mejía Nájera, C., Villatoro Cruz, T., e Ibarra Martínez, H. (2023). Sustentabilidad de los invernaderos de jitomate del municipio de Chilcuautla, Hidalgo.

Moreno Alcántara, B., Garret Ríos, M. G., y Fierro Alonso, U. J. (2006). *Otomíes del Valle del Mezquital*. Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas.

Oropeza Tosca, D. R., Barras Baptista, A., Castillo Romero, F., Guerra Que, Z., y de León de los Santos, B. R. (2023). Análisis del estado del arte de la agricultura de precisión para su aplicación en México. *IPSUMTEC*, 6(4).

Warni, W., Ratnalia, R., Azh Zahra, S. F., y Halide, H. (2025). Real-time environmental monitoring of a greenhouse and a poultry farm. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1525(1):012024. doi: 10.1088/1755-1315/1525/1/012024.