

Agrotecnología, Ingeniería y Educación para la Sostenibilidad Productiva y el Desarrollo Regional

**1era edición
2026**

Cuerpo Académico



AGROTECNOLOGÍA
ITJMMPHCA-19



Autores:

- Francisco Miguel Hernández López
- Jorge Alberto Cárdenas Magaña
- Marco Antonio Celis Crisóstomo
- Víctor Manuel Langerica Rivera
- Juan Pablo Mojica Sánchez
- Guadalupe Ruíz Ibarra
- Emmanuel Vega Negrete



EDITORIAL SINERGY

**Agrotecnología,
Ingeniería y Educación
para la Sostenibilidad
Productiva y el
Desarrollo Regional**

Agrotecnología, Ingeniería y Educación para la Sostenibilidad Productiva y el Desarrollo Regional

Autores:

Francisco Miguel Hernández López

Jorge Alberto Cárdenas Magaña

Marco Antonio Celis Crisóstomo

Víctor Manuel Langarica Rivera

Juan Pablo Mojica Sánchez

Guadalupe Ruiz Ibarra

Emmanuel Vega Negrete

Agrotechnology, Engineering, and Education for Productive Sustainability and Regional Development

Authors:

Francisco Miguel Hernández López

Jorge Alberto Cárdenas Magaña

Marco Antonio Celis Crisóstomo

Víctor Manuel Langarica Rivera

Juan Pablo Mojica Sánchez

Guadalupe Ruiz Ibarra

Emmanuel Vega Negrete

Equipo Editorial | Editorial Team

Mg. (C) Bryam Alejandro Colan
Hernandez
Director Editorial | Editorial Director

Dra. Patricia Guadalupe Gamboa
Rodríguez
Editora en Jefe | Editor-in-Chief

Jaime Manuel Castillo Estela
Diseño y portada | Design and cover

Comité Editorial

Dr. Manuel Iván Tostado Ramírez

Dr. Juan Francisco Peraza Garzón

Dra. Ana Isabel Bonilla Calero

Dra. Virginia Lagunes Barradas

© EducaID Scientific E. I. R. L.
Sello Editorial Sinergy

Domicilio Legal: Calle San José 401, San
Miguel, Pisco, Ica –Perú.

Edición: 2026-07-30

Correo electrónico -E-mail:
sinergy@educaidscientific.com

Disponible para su descarga gratuita en |
Available for free download at:
sinergy.educaidscientific.com

Este título se publica bajo una licencia de
Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0
Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)

This title is published under an
Attribution-NonCommercial-ShareAlike
4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0)
license.



CITATION [APA 7]

Hernández López, F. M., Cárdenas Magaña, J. A., Celis Crisóstomo, M. A., Langarica Rivera, V. M., Mojica Sánchez, J. P., Ruiz Ibarra, G., & Vega Negrete, E. (2026). Agrotecnología, ingeniería y educación para la sostenibilidad productiva y el desarrollo regional. *Editorial Sinergy*.

[https://sinergy.educaidscientific.com/index.php/sinergy/catalog/book/](https://sinergy.educaidsscientific.com/index.php/sinergy/catalog/book/)

Derecho de autor | Copyright: Editorial Sinergy, Francisco Miguel Hernández López, Jorge Alberto Cárdenas Magaña, Marco Antonio Celis Crisóstomo, Víctor Manuel Langarica Rivera, Juan Pablo Mojica Sánchez, Guadalupe Ruiz Ibarra, Emmanuel Vega Negrete, Primera Edición | First Edition: 2026

Editorial | Publisher: Editorial Sinergy

Clasificación Thema | Thema Subject Categories: TVK: Tecnología e ingeniería agrícola | TVF: Agricultura sostenible, agroecología y agricultura orgánica | TVH: Agronomía, cultivos y fitotecnia | JNFN: Educación superior y formación técnica/profesional.

BISAC: TEC003040 | TEC003000 | TEC003020 | EDU015000

Público objetivo | Target audience: Profesional / Académico | Professional / Academic

Colección | Collection: Agricultura y tecnología

Soporte | Format: PDF / Digital

Fecha de publicación | Publication date: 2026-07-30

ISBN: 978-612-99320-4-0

Título: Agrotecnología, Ingeniería y Educación para la Sostenibilidad Productiva y el Desarrollo Regional | Agrotechnology, Engineering, and Education for Productive Sustainability and Regional Development.

ISBN: 978-612-99320-4-0



Revisión por pares

Cada capítulo de este libro ha sido evaluado mediante un proceso de dictaminación a cargo de académicos externos bajo la modalidad de doble par ciego. En consecuencia, la investigación presentada cuenta con el respaldo de expertos en la materia, quienes han emitido una valoración objetiva basada en criterios científicos para garantizar la solidez académica de la obra.

Peer Review

Each chapter of this book has been evaluated through a double-blind peer review process by external academics. Consequently, the research presented is supported by experts in the field, who have issued an objective assessment based on scientific criteria to ensure the academic soundness of the work.

Autores del Libro | Authors of the book



Francisco Miguel Hernández López

Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, UA Tamazula

[0000-0001-9546-0445](tel:0000-0001-9546-0445)

francisco.hernandez@tamazula.tecmm.edu.mx

Ingeniero Electromecánico con Maestría y Doctorado en Enseñanza de las Matemáticas. Profesor Investigador del Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica Tamazula; profesor de Matemáticas en la Universidad de Guadalajara y docente del Doctorado en Enseñanza y Didáctica de las Matemáticas en la Universidad de las Américas y el Caribe. Líder del Cuerpo Académico en Consolidación “Agrotecnología” (ITJMMPH-CA-19), miembro del SNII, con Perfil Deseable PRODEP y asesor de tesis doctorales. Ha colaborado en la evaluación de proyectos de la SECIHTI, asesorías en competencias nacionales e internacionales, Veranos Científicos del TecNM y comités editoriales académicos. Ha publicado artículos y capítulos de libro en automatización, robótica y educación matemática.



Jorge Alberto Cárdenas Magaña

Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, UA Tamazula

[0000-0001-9114-8550](tel:0000-0001-9114-8550)

jorge.cardenas@tamazula.tecmm.edu.mx

Ingeniero eléctrico por el Tecnológico Nacional de México Campus Guzmán, con dos maestrías: una en Diseño, Gestión y Dirección de Proyectos por la Universidad Internacional Iberoamericana, y otra en Energías Renovables por Universidad Europea del Atlántico, Doctor en Ingeniería Aplicada por el Colegio de Formación Educativa Tenam. Perfil Prodep y pertenece al Cuerpo Académico en Consolidación “Agrotecnología” (ITJMMPH-CA-19). Es Profesor Titular A en el Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica Tamazula. Ha registrado varias patentes y registros de software ante indautor, y ha publicados artículos de investigación en áreas afines a eficiencia eléctrica, biotecnología, manufactura y electrónica.



Marco Antonio Celis Crisóstomo

Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico
José Mario Molina Pasquel y Henríquez, UA Tamazula

[0000-0002-5099-2699](tel:0000-0002-5099-2699)

marco.celis@tamazula.tecmm.edu.mx

Doctor en Ingeniería Aplicada. Profesor de tiempo completo en el TecNM / Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica Tamazula, adscrito a la División de Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable. Cuenta con formación en Informática y una Maestría en Ingeniería en Sistemas. Forma parte del Cuerpo Académico en Consolidación “Agrotecnología” (ITJMMPH-CA-19) y cuenta con Perfil Deseable, participando activamente en el desarrollo de proyectos de investigación y en la formación de estudiantes de nivel superior. Su trabajo se centra en el desarrollo de software, sistemas web y tecnologías de la información aplicadas al ámbito educativo y de ingeniería.



Victor Manuel Langerica Rivera

Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico
José Mario Molina Pasquel y Henríquez, UA Tamazula

[0009-0001-5794-7030](tel:0009-0001-5794-7030)

victor.langerica@tamazula.tecmm.edu.mx

Maestría en Ciencias en Alimentos e Ingeniero Agrónomo Agroindustrial / Miembro del Comité de Investigación, Perfil Prodep, miembro del Cuerpo Académico en Consolidación “Agrotecnología” (ITJMMPH-CA-19) y de las Academias de Ingeniería en industrias Alimentarias e Innovación Agrícola Sustentable / Tutor y asesor de alumnos en investigaciones Agronómicas y Alimentarias en Tesis, trabajos de Verano científico, en programa Delfin, en residencias y participaciones en trabajos de Titulación, Promotor de charla TEC e Instructor del diplomado Competencias Docentes, Dreava, Educación inclusiva y Tutorías / Formación Profesional en: Conservas San Miguel Gto. (Gte. de producción), Nestle Mexicali BC. (Encargado de CD), Agrocomercial de B.C. Tijuana BC. (Encargado Rancho y Químico Alimentos), CESEN Tijuana BC. (Ing. Seguridad e higiene industrial), AgroVaC Sin. (Supervisor de Molino trigo), Cremería Cajeme Son. (Supervisor), Laboratorio Carval Son. (Analista de alimentos) y Centro Acuícola Cajeme Son (Técnico).



Juan Pablo Mojica Sánchez

Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico
José Mario Molina Pasquel y Henríquez, UA Tamazula

[0000-0003-2561-9689](tel:0000-0003-2561-9689)

juan.mojica@tamazula.tecmm.edu.mx

El Dr. Juan Pablo Mojica Sánchez es Doctor en Ciencias Químicas con especialidad en Química Computacional y Teórica por la Universidad de Colima. Cuenta con reconocimiento al Perfil Deseable PRODEP y pertenece al Sistema Nacional de Investigadores (SNI) y a el Cuerpo Académico en Consolidación “Agrotecnología” (ITJMMPH-CA-19). Sus líneas de investigación se enfocan en química computacional, modelado molecular, teoría del funcional de la densidad (DFT), nanomateriales, adsorción molecular e innovación agrícola sustentable. Ha participado en publicaciones científicas indexadas y en diversos foros nacionales e internacionales. Actualmente se desempeña como Profesor-Investigador del TecNM / ITJMMPyH UA Tamazula.



Guadalupe Ruíz Ibarra

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico
José Mario Molina Pasquel y Henríquez, UA Tamazula

[0000-0001-8662-1892](tel:0000-0001-8662-1892)

guadalupe.ruiz@tamazula.tecmm.edu.mx

Maestría en Biotecnología Productiva por el Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada del Instituto Politécnico Nacional, Ingeniería en Biotecnología por el Instituto Tecnológico de Sonora, cuenta con reconocimiento PRODEP y es miembro del Cuerpo Académico en Consolidación “Agrotecnología” (ITJMMPH-CA-19). Ha trabajado en investigación en el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, colaboración de investigación en empresa y docente del programa de agronomía de la Universidad Autónoma de Baja California. Cuenta con participación en congresos nacionales e internacionales, publicación de capítulos de libros y artículos científicos. Actualmente es profesora investigadora del Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez.



Emmanuel Vega Negrete

Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico
José Mario Molina Pasquel y Henríquez, UA Tamazula

[0000-0002-0073-5184](tel:0000-0002-0073-5184)

emmanuel.vega@tamazula.tecmm.edu.mx

Ingeniero en Electromecánica por el Instituto Tecnológico Superior de Tamazula de Gordiano y Maestro en Ingeniería Electrónica por el Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán. Se desempeñó como docente e investigador en el Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica Tamazula, donde actualmente ocupa el cargo de jefe de la División de Ingeniería Electromecánica. Asimismo, es miembro del Cuerpo Académico en Consolidación “Agrotecnología” (ITJMMPH-CA-19).

Contenido

Autores del Libro	7
Contenido	11
Índice Figuras	14
Índice Tablas	16
Prólogo	18
Resumen	19
Abstract	20

CAPÍTULO 1

Ingeniería Electromecánica y Agrotecnología: Competencias Profesionales para la Sostenibilidad Productiva y el Desarrollo Regional	21
Resumen	22
Abstract	22
Introducción	23
Metodología	27
Resultados	32
Discusión	39
Conclusiones	41
Referencias	42

CAPÍTULO 2

Análisis de la vinculación de las residencias profesionales con el sector agrícola productivo del sur de Jalisco	45
Resumen	46
Abstract	46
Introducción	47
Metodología	49
Resultados y Discusión	51
Conclusiones	57
Referencias	58

CAPÍTULO 3

Control Biológico como Agrotecnología para Sistemas de Producción Sostenible: Aportes desde la Práctica Profesional en la Ingeniería en Innovación Agrícola	62
Resumen.....	63
Abstract.....	64
Introducción	65
Metodología	66
Resultados y Discusión	68
Conclusiones	77
Referencias.....	79

CAPÍTULO 4

Uso de micorrizas y bacterias promotoras del crecimiento vegetal en jitomate variedad Río Grande: experiencia experimental en el ITJMMPH, Unidad Académica Tamazula.....	81
Resumen.....	82
Abstract.....	83
Introducción	84
Metodología	88
Resultados y Discusión	94
Conclusiones	100
Referencias.....	102

CAPÍTULO 5

Aplicación de Herramientas SIG en la Evaluación Preliminar de Cultivos para la Siembra en Zapotiltic, Jalisco	104
Resumen.....	105
Abstract.....	105
Introducción	107
Metodología	108
Resultados	114
Discusión.....	118
Conclusiones	119
Referencias.....	120

CAPÍTULO 6

Sistemas IoT de Bajo Costo para el Monitoreo Agroambiental: Arquitectura, Sensores y Experiencias de Implementación en el Sur de Jalisco 123

 Resumen..... 124

 Abstract..... 124

 Introducción 125

 Metodología 127

 Resultados 147

 Discusión..... 157

 Conclusiones 163

 Referencias..... 164

Índice Figuras

CAPÍTULO 1

Figura 1. <i>Retícula académica de la carrera de Ingeniería Electromecánica considerada para el análisis de competencias profesionales vinculadas con la agrotecnología y la sostenibilidad productiva</i>	26
Figura 2. <i>Esquema metodológico utilizado para el desarrollo del capítulo</i>	29
Figura 3. <i>Principales tecnologías utilizadas en agricultura inteligente y agricultura de precisión</i>	34
Figura 4. <i>Relación entre competencias de Ingeniería Electromecánica y aplicaciones agroindustriales</i>	36

CAPÍTULO 3

Figura 1. <i>Síntesis de experiencias de control biológico desarrolladas durante prácticas profesionales</i>	69
Figura 2. <i>Liberación de benéficos</i>	71
Figura 3. <i>A) Trampas para palomilla sin feromona, B) Trampas para palomillas con feromonas, C) Daño por ácaro blanco, D) adulto de <i>Aphidius colemani</i> parasitando a pulgón y pulgones momificados por larva parasitoide (color dorado)</i>	72
Figura 4. <i>Daño y control de araña roja en Frambuesa</i>	73
Figura 5. <i>Monitoreo y control de Trips en aguacate</i>	74
Figura 6. <i>Liberación del ácaro <i>Amblyseius swirskii</i> y la chinche pirata <i>Orius insidiosus</i></i>	76
Figura 7. <i>Estudiantes en Residencias Profesionales</i>	78

CAPÍTULO 4

Figura 1. <i>Evolución de la producción nacional de jitomate en México: superficie cultivada (arriba) y valor económico de la producción (abajo) durante el periodo 1980–2024</i>	85
Figura 2. <i>Evidencia de intensificación productiva en el cultivo de jitomate en México: valor de la producción por hectárea y transición hacia agricultura protegida, 1980–2024</i>	85
Figura 3. <i>Mecanismos fisiológicos asociados a la interacción de bacterias promotoras del crecimiento vegetal y hongos micorrízicos arbusculares en jitomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) variedad Río Grande</i>	87
Figura 4. <i>Ubicación geográfica del área experimental en las instalaciones del Tecnológico Superior de Tamazula, obtenida mediante imagen satelital</i>	89
Figura 5. <i>Organización y separación de los cuatro tratamientos dentro del área de cultivo protegido</i>	90
Figura 6. <i>Mediciones morfológicas realizadas en plantas y hojas de jitomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) variedad Río Grande</i>	92
Figura 7. <i>Desarrollo vegetativo de plantas de jitomate durante la quinta semana de crecimiento</i>	100

CAPÍTULO 5

Figura 1. <i>Selección del municipio de Zapotiltic</i>	111
Figura 2. <i>Aplicación de la capa de suelos a un área</i>	112
Figura 3. <i>Aplicación de la capa de temperatura media anual</i>	113

CAPÍTULO 6

Figura 1. <i>Metodología general para el diseño, implementación y validación funcional de sistemas IoT de bajo costo para el monitoreo agroambiental</i>	129
Figura 2. <i>Arquitectura general de los sistemas IoT de bajo costo desarrollados para el monitoreo agroambiental</i>	134
Figura 3. <i>Prototipos IoT desarrollados e implementados para el monitoreo: a) Agroambiental y b) Energético en el sur de Jalisco</i>	150
Figura 4. <i>Evidencias de funcionamiento de las plataformas de monitoreo desarrolladas</i> ...	152
Figura 5. <i>Comportamiento temporal de las variables monitoreadas durante las pruebas experimentales</i>	154

Índice Tablas

CAPÍTULO 1

Tabla 1. <i>Tecnologías aplicadas al sector agrícola y competencias electromecánicas relacionadas</i>	27
Tabla 2. <i>Clasificación temática de los documentos analizados</i>	30
Tabla 3. <i>Áreas formativas de Ingeniería Electromecánica y su relación con aplicaciones agroindustriales</i>	31
Tabla 4. <i>Tecnologías aplicadas en agricultura inteligente y beneficios asociados</i>	35
Tabla 5. <i>Relación entre asignaturas de Ingeniería Electromecánica y aplicaciones agroindustriales</i>	37

CAPÍTULO 2

Tabla 1. <i>Distribución y diversidad de cultivos agrícolas vinculados a las residencias profesionales</i>	51
Tabla 2. <i>Identificación de áreas de estudios específicas en proyectos de residencia profesional</i>	53
Tabla 3. <i>Relación de proyectos del área de estudio control de plagas y enfermedades</i>	54
Tabla 4. <i>Relación de algunos proyectos del área de estudio del manejo agronómico integrado</i>	55
Tabla 5. <i>Relación de algunos proyectos relacionados al estudio de nutrición y fertilización integral</i>	56
Tabla 6. <i>Relación de los algunos proyectos relacionados al estudio de la implementación de las buenas prácticas agrícolas</i>	56

CAPÍTULO 4

Tabla 1. <i>Dinámica de crecimiento longitudinal del eje caulinar principal</i>	94
Tabla 2. <i>Desarrollo del diámetro basal del tallo primario</i>	95
Tabla 3. <i>Desarrollo foliar en los diferentes sustratos</i>	95
Tabla 4. <i>Biomasa del sistema radical - peso fresco post-cosecha.</i>	96
Tabla 5. <i>Análisis de varianza y comparación de tratamientos para las variables morfológicas del jitomate al día 35</i>	97

CAPÍTULO 5

Tabla 1. <i>Parámetros ambientales de los cultivos analizados</i>	109
Tabla 2. <i>Equivalencias entre los tipos de suelo agronómico y la clasificación WRB</i>	109
Tabla 3. <i>Comparación de parámetros de la capa de suelos con los cultivos</i>	114
Tabla 4. <i>Comparación de temperaturas y compatibilidad de cultivos según la capa de suelo</i>	115
Tabla 5. <i>Relación entre tipo de suelo, condiciones térmicas y viabilidad de cultivos</i>	116

CAPÍTULO 6

Tabla 1. <i>Ventajas, desventajas y aplicaciones de los sensores</i>	131
Tabla 2. <i>Criterios empleados para la validación funcional de los sistemas IoT desarrollados</i>	143
Tabla 3. <i>Características de los escenarios y condiciones experimentales de los prototipos IoT</i>	146
Tabla 4. <i>Resultados de la validación funcional de los sistemas IoT desarrollados</i>	151
Tabla 5. <i>Variables monitoreadas durante las pruebas experimentales y comportamiento observado</i>	154
Tabla 6. <i>Síntesis de los principales resultados obtenidos durante la validación funcional de los sistemas IoT</i>	157

Prólogo

La transformación del sector agrícola exige nuevas formas de vincular el conocimiento científico, la innovación tecnológica y la formación profesional con las necesidades reales de los sistemas productivos. En este contexto, la sostenibilidad no puede entenderse únicamente como una aspiración ambiental, sino como un proceso que también involucra eficiencia productiva, desarrollo tecnológico, formación de capacidades y atención a las particularidades de cada territorio.

La presente obra reúne trabajos que reflejan esta visión interdisciplinaria. A través de seis capítulos se presentan análisis, experiencias y desarrollos relacionados con automatización, agricultura de precisión, control biológico, biofertilización, herramientas de información geográfica, monitoreo agroambiental y formación profesional. Cada contribución parte de una problemática específica, pero en conjunto permiten reconocer la necesidad de fortalecer la interacción entre las instituciones de educación superior y el sector agroindustrial.

Un aspecto relevante del libro es la atención al contexto regional, particularmente al sur de Jalisco, donde la actividad agrícola representa un componente importante del desarrollo económico y social. Las experiencias presentadas muestran que la generación de conocimiento adquiere mayor sentido cuando se traduce en herramientas, procesos y alternativas que pueden ser analizadas, adaptadas y aplicadas en escenarios reales.

Se espera que esta obra sea útil como referencia académica y como punto de partida para nuevas investigaciones, proyectos de innovación y acciones de vinculación orientadas a una producción agrícola más eficiente, sostenible y pertinente para las necesidades regionales.

Resumen

La obra Agrotecnología, Ingeniería y Educación para la Sostenibilidad Productiva y el Desarrollo Regional integra seis capítulos que abordan, desde distintas perspectivas, la relación entre innovación tecnológica, formación profesional y producción agrícola sostenible. Los trabajos reunidos combinan revisión documental, análisis curricular, estudio de experiencias profesionales, experimentación, evaluación territorial y desarrollo tecnológico, lo que permite ofrecer una visión amplia sobre los retos actuales del sector agroindustrial.

Entre los temas desarrollados se encuentran la aplicación de competencias de Ingeniería Electromecánica en procesos agrícolas, la vinculación de estudiantes con el sector productivo mediante residencias profesionales, el uso del control biológico en sistemas de producción sostenible y la evaluación de biofertilizantes en el cultivo de jitomate. También se incorporan estudios relacionados con Sistemas de Información Geográfica para la selección preliminar de cultivos y con el diseño de sistemas IoT de bajo costo para el monitoreo agroambiental.

En conjunto, los capítulos muestran la importancia de articular la formación académica con las necesidades productivas del entorno, así como de impulsar soluciones tecnológicas accesibles, sostenibles y adaptadas a las condiciones regionales. La obra busca contribuir al análisis y discusión sobre el papel de la ingeniería, la innovación agrícola y la educación superior en el fortalecimiento de la sostenibilidad productiva y el desarrollo regional.

Abstract

The book **Agrotechnology, Engineering, and Education for Productive Sustainability and Regional Development** comprises six chapters that address, from different perspectives, the relationship between technological innovation, vocational training, and sustainable agricultural production. The collected works combine literature reviews, curriculum analysis, case studies of professional experiences, experimentation, regional assessment, and technological development, thereby offering a comprehensive overview of the current challenges facing the agroindustrial sector.

Among the topics covered are the application of electromechanical engineering skills to agricultural processes, connecting students with the productive sector through professional internships, the use of biological control in sustainable production systems, and the evaluation of biofertilizers in tomato cultivation. The book also includes studies related to Geographic Information Systems (GIS) for the preliminary selection of crops and the design of low-cost IoT systems for agro-environmental monitoring.

Taken together, the chapters highlight the importance of aligning academic training with the productive needs of the local context, as well as of promoting technological solutions that are accessible, sustainable, and tailored to regional conditions. The book aims to contribute to the analysis and discussion of the role of engineering, agricultural innovation, and higher education in strengthening productive sustainability and regional development.

CAPÍTULO 1

Ingeniería Electromecánica y Agrotecnología:

Competencias Profesionales para la Sostenibilidad

Productiva y el Desarrollo Regional

Electromechanical Engineering and Agrotechnology: Professional
Competencies for Productive Sustainability and Regional Development

Resumen

La transformación tecnológica del sector agrícola ha impulsado la incorporación de herramientas digitales, sistemas automatizados y tecnologías inteligentes orientadas al incremento de la productividad y la sostenibilidad de los procesos agroindustriales. En este contexto, la Ingeniería Electromecánica adquiere un papel relevante debido a la formación multidisciplinaria que proporciona en áreas como automatización, control, electrónica, instrumentación, manufactura y sistemas energéticos, competencias fundamentales para atender las necesidades tecnológicas del sector agropecuario.

El presente capítulo tiene como objetivo analizar la relación entre la formación profesional del ingeniero electromecánico y su contribución al desarrollo de la agrotecnología y la sostenibilidad productiva. La investigación se desarrolló bajo un enfoque cualitativo de tipo documental, mediante el análisis de literatura científica especializada relacionada con agricultura de precisión, Industria 4.0, Internet de las Cosas e inteligencia artificial aplicada al sector agrícola, así como del análisis curricular de la carrera de Ingeniería Electromecánica.

Los resultados evidencian que esta disciplina mantiene una estrecha vinculación con la innovación tecnológica aplicada al campo, particularmente en sistemas automatizados, monitoreo inteligente, control de variables agrícolas, sensores, robótica y eficiencia energética. Se concluye que la Ingeniería Electromecánica representa un área estratégica para fortalecer la sostenibilidad agrícola y el desarrollo regional mediante la formación de capital humano con capacidades tecnológicas y de innovación.

Palabras clave: Ingeniería Electromecánica; agrotecnología; agricultura de precisión; competencias profesionales; sostenibilidad productiva.

Abstract

The technological transformation of the agricultural sector has promoted the incorporation of digital tools, automated systems, and intelligent technologies aimed at increasing productivity and sustainability in agroindustrial processes. In this context, Electromechanical Engineering plays a significant role due to the multidisciplinary training it provides in areas such as automation, control systems, electronics,

instrumentation, manufacturing, and energy systems, which are essential competencies for addressing current technological needs in agriculture.

The objective of this chapter is to analyze the relationship between the professional training of electromechanical engineers and their contribution to agrotechnology and sustainable productivity. The study was developed under a qualitative documentary approach through the analysis of scientific literature related to precision agriculture, Industry 4.0, Internet of Things, and artificial intelligence applied to agriculture, as well as the curricular analysis of the Electromechanical Engineering program.

The findings show that this discipline maintains a close connection with technological innovation applied to agriculture, particularly in automated systems, intelligent monitoring, agricultural variable control, sensors, robotics, and energy efficiency. It is concluded that Electromechanical Engineering represents a strategic field for strengthening agricultural sustainability and regional development through the training of human capital with technological and innovation capabilities.

Keywords: Electromechanical Engineering; agrotechnology; precision agriculture; professional competencies; sustainable productivity.

Introducción

En las últimas décadas, el sector agrícola ha enfrentado diversos desafíos relacionados con el incremento de la demanda alimentaria, el cambio climático y la necesidad de optimizar los procesos productivos. Estas condiciones han impulsado la búsqueda de alternativas tecnológicas orientadas al fortalecimiento de la productividad y la sostenibilidad en las actividades agropecuarias. En este contexto, la incorporación de herramientas digitales, sistemas automatizados y tecnologías inteligentes ha comenzado a transformar de manera importante los procesos agrícolas y agroindustriales, favoreciendo una mayor eficiencia, optimización de recursos y modernización de las actividades productivas (Rodríguez Yparraguirre et al., 2025).

La agricultura actual enfrenta retos importantes relacionados con el uso eficiente del agua, la energía y otros recursos necesarios para la producción. A esto se suma la necesidad de contar con sistemas que permitan supervisar de manera más precisa las

condiciones de los cultivos y responder oportunamente a los cambios del entorno. Frente a esta situación, la agricultura de precisión ha cobrado cada vez mayor importancia, principalmente por el uso de tecnologías digitales que facilitan la toma de decisiones en tiempo real (Ríos Hernández, 2021). A través del análisis de información sobre el suelo, el clima y el estado de las plantas, este enfoque busca hacer más eficientes y sostenibles los procesos agrícolas.

En distintos estudios se menciona que herramientas como sensores, drones, sistemas de monitoreo inalámbrico, Internet de las Cosas (IoT) e inteligencia artificial han contribuido a mejorar las actividades de supervisión y control en el sector agrícola (Guerrero-Ibañez et al., 2017; Ossa Duque, 2017; Cabrera-Verdesoto et al., 2024). Gracias a estas tecnologías es posible automatizar procesos, monitorear variables en tiempo real y optimizar el uso de recursos dentro de los sistemas productivos.

Todas estas herramientas forman parte del proceso de transformación digital del campo y actualmente son consideradas elementos centrales de la llamada Agricultura 4.0 o agricultura inteligente (Chagua Rodríguez et al., 2024). Su incorporación ha permitido que muchos procesos agrícolas comiencen a pasar de esquemas tradicionales a modelos más automatizados y apoyados en el análisis de datos. En el caso de México, Illescas-Palma y Ramírez-Álvarez (2025) señalan que el desarrollo tecnológico ha impulsado nuevas estrategias enfocadas en sostenibilidad, planeación rural y fortalecimiento productivo.

Dentro de estas tecnologías, el uso de drones y sensores multiespectrales ha adquirido una relevancia importante en las actividades agrícolas modernas. De acuerdo con Berrío et al. (2015) y Ríos-Hernández (2021), estas herramientas permiten realizar monitoreo aéreo, análisis de cultivos, detección de plagas y evaluación del estrés hídrico mediante imágenes de alta resolución y sensores especializados. El empleo de drones facilita la supervisión de grandes extensiones agrícolas en menor tiempo y con menores costos operativos, permitiendo una intervención más precisa en actividades relacionadas con riego, fumigación y fertilización.

El desarrollo de estas tecnologías ha generado nuevas exigencias relacionadas con la formación de profesionistas capaces de diseñar, implementar y operar sistemas tecnológicos aplicados al sector agroindustrial. En consecuencia, las instituciones de educación superior enfrentan el reto de fortalecer programas académicos orientados al

desarrollo de competencias relacionadas con automatización, control, programación, análisis de datos, instrumentación y sistemas inteligentes. Lozada López (2025) menciona que la incorporación de inteligencia artificial dentro de la formación de estudiantes de ingeniería favorece el desarrollo de competencias digitales y tecnológicas acordes con las nuevas demandas industriales y productivas. La formación basada en competencias ha adquirido una importancia creciente en los programas de ingeniería, ya que busca relacionar el aprendizaje académico con la solución de problemáticas reales del entorno productivo (Santucci et al., 2023).

En el ámbito educativo, las metodologías basadas en proyectos y el aprendizaje experiencial han mostrado resultados positivos en la formación de estudiantes de ingeniería. Paccha Soto (2026) menciona que el Aprendizaje Basado en Proyectos favorece habilidades relacionadas con innovación, resolución de problemas y trabajo interdisciplinario. Por su parte, Puerto López et al. (2023) señalan que el aprendizaje experiencial fortalece capacidades prácticas y de análisis al permitir que los estudiantes interactúen con situaciones reales de aplicación tecnológica.

Dentro de este panorama, la Ingeniería Electromecánica destaca por su carácter multidisciplinario y por la variedad de competencias tecnológicas que integra durante la formación profesional. La combinación de conocimientos en sistemas eléctricos, automatización, electrónica, control, programación, manufactura, diseño mecánico e instrumentación permite desarrollar soluciones aplicables a distintos sectores productivos, particularmente en actividades agrícolas y agroindustriales.

La retícula académica de Ingeniería Electromecánica incluye asignaturas relacionadas con automatización industrial, sistemas de control, sensores, instrumentación, energías aplicadas, programación y diseño de sistemas electromecánicos. Estas áreas mantienen una relación directa con las necesidades tecnológicas actuales del sector agroindustrial, especialmente en procesos vinculados con monitoreo, automatización y optimización de recursos productivos. Estas competencias favorecen el desarrollo de sistemas automatizados de riego, monitoreo inteligente de variables ambientales, control de procesos, eficiencia energética y diseño de soluciones tecnológicas orientadas a la modernización agrícola. Su aplicación también contribuye a la sostenibilidad productiva al favorecer un uso más eficiente del agua y la energía, disminuir costos operativos mediante la automatización de procesos, mejorar la productividad de los sistemas agrícolas y fortalecer las capacidades tecnológicas

necesarias para impulsar la innovación y el desarrollo regional. La Figura 1 muestra la estructura curricular de la carrera de Ingeniería Electromecánica considerada para el análisis de competencias profesionales vinculadas con la agrotecnología y la sostenibilidad productiva.

Figura 1.

Retícula académica de la carrera de Ingeniería Electromecánica considerada para el análisis de competencias profesionales vinculadas con la agrotecnología y la sostenibilidad productiva

SEP

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

Retícula de Ingeniería Electromecánica

IEME-2010-210

Especialidad en Mecatrónica y Automatización Inteligente

PRIMERO	SEGUNDO	TERCERO	CUARTO	QUINTO	SEXTO	SEPTIMO	OCTAVO	NOVENO													
Taller de Ética ACA-0907 0-4-4	Estática EME-1012 3-1-4	Dinámica EME-1008 3-1-4	Análisis y Síntesis de Mecanismos EME-1005 3-1-4	Diseño de Elementos de Máquinas EMF-1009 3-2-5	Máquinas y Equipos Térmicos I EMC-1018 2-2-4	Máquinas y Equipos Térmicos II EMC-1019 2-2-4		Residencia Profesional 10													
Cálculo Diferencial ACF-0901 3-2-5	Cálculo Integral ACF-0902 3-2-5	Cálculo Vectorial ACF-0904 3-2-5	Ecuaciones Diferenciales ACF-0905 3-2-5	Diseño e Ingeniería Asistidos por Computadora EMC-1010 2-2-4	Ahorro de Energía EMJ-1002 4-2-6	Sistemas Eléctricos de Potencia EMF-1024 3-2-5	Subestaciones Eléctricas EMF-1027 3-2-5														
Introducción a la Programación EMH-1016 1-3-4	Álgebra Lineal ACF-0903 3-2-5	Procesos de Manufactura EMC-1022 2-2-4	Termodinámica EME-1029 3-1-4	Transferencia de Calor EME-1030 3-1-4	Instalaciones Eléctricas EMF-1015 3-2-5	Controles Eléctricos EMF-1006 3-2-5	Refrigeración y Aire Acondicionado EMF-1023 3-2-5														
Desarrollo Sustentable ACD-0908 2-3-5	Metrolología y Normalización AEC-1047 2-2-4	Electricidad y Magnetismo EMC-1011 2-2-4	Análisis de Circuitos Eléctricos de CD EMF-1004 3-2-5	Análisis de Circuitos Eléctricos de CA EMF-1003 3-2-5	Máquinas Eléctricas EMJ-1017 4-2-6	Ingeniería de Control Clásico EMJ-1014 4-2-6	Control Digital e Inteligente MAD-2301 2-3-5														
Química AEC-1058 2-2-4	Tecnología de los Materiales EME-1028 3-1-4	Mecánica de Materiales EMJ-1021 4-2-6	Mecánica de Fluidos EME-1020 3-1-4	Sistemas y Máquinas de Fluidos EMF-1026 4-2-6	Administración y Técnicas de Mantenimiento EMJ-1001 4-2-6	Diseño y Manufactura Digital MAD-2301 2-3-5	Robótica y Celdas de Manufactura MAD-2301 2-3-5														
Fundamentos de Investigación ACC-0906 2-2-4	Dibujo Electromecánico* AEF-1390 3-2-5	Probabilidad y Estadística AEF-1051 3-1-4	Electrónica Analógica AEF-1021 3-2-5	Electrónica Digital AEC-1022 2-2-4	Sistemas Embebidos para Automatización MAD-2301 2-3-5	Sistemas Hidráulicos y Neumáticos de Potencia EMJ-1025 4-2-6	Automatización Industrial Inteligente MAD-2301 2-3-5														
				Formulación y Evaluación de Proyectos EMC-1013 2-2-4	Taller de Investigación I ACA-0909 0-4-4	Taller de Investigación II ACA-0910 0-4-4															
Actividades Complementarias (5 CRÉDITOS)				TUTORÍAS ACTIVIDADES DEPORTIVAS ACTIVIDADES CULTURALES ACTIVIDADES ACADÉMICAS		1 CRÉDITO 1 CRÉDITO 1 CRÉDITO 1 CRÉDITO		Servicio Social (10 CRÉDITOS)													
	26	27	27	27	32	36	35	35	10												
OBSERVACIONES: A) Se recomienda pasar al estudiante para que opte por la carga reducida para cada semestre B) El estudiante debe concluir el plan de estudio, incluyendo los periodos en que no se haya inscrito, en un máximo de siete y mínimo de doce. C) Se deberá observar en cada semestre una no menor a 20 créditos ni mayor a 36 créditos, con excepción de lo que se indique en los lineamientos vigentes referentes al Servicio Social y Residencia Profesional. D) Se deberá respetar los prerrequisitos de cada asignatura.																					
www.tsj.mx Unidad Académica de Tamazula Enero 2026																					
<table><tr><td>Estructura General</td><td>130</td></tr><tr><td>Especialidad</td><td>25</td></tr><tr><td>Residencia Profesional</td><td>10</td></tr><tr><td>Servicio Social</td><td>10</td></tr><tr><td>Actividades Complementarias</td><td>5</td></tr><tr><td>Total de Créditos</td><td>180</td></tr></table>										Estructura General	130	Especialidad	25	Residencia Profesional	10	Servicio Social	10	Actividades Complementarias	5	Total de Créditos	180
Estructura General	130																				
Especialidad	25																				
Residencia Profesional	10																				
Servicio Social	10																				
Actividades Complementarias	5																				
Total de Créditos	180																				

Fuente: elaboración propia con base en la retícula oficial de Ingeniería Electromecánica del Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica Tamazula (2026)

Asimismo, diversas tecnologías utilizadas en agricultura de precisión mantienen una relación directa con competencias específicas desarrolladas dentro de la formación del ingeniero electromecánico. La Tabla 1 presenta algunas de las principales tecnologías aplicadas al sector agrícola y su vinculación con áreas formativas de la Ingeniería Electromecánica.

Tabla 1.

Tecnologías aplicadas al sector agrícola y competencias electromecánicas relacionadas

Tecnología agrícola	Competencia electromecánica asociada
Sistemas IoT	Instrumentación y control
Drones agrícolas	Electrónica y automatización
Sensores ambientales	Programación e instrumentación
Sistemas de riego automatizado	Control y sistemas energéticos
Agricultura de precisión	Análisis de datos y monitoreo

Fuente: elaboración propia

Asimismo, la vinculación entre universidades y sector productivo representa un elemento clave para fortalecer la transferencia tecnológica y el desarrollo regional. Álvarez Ayala et al. (2024) sostienen que la colaboración entre instituciones educativas y sectores productivos contribuye significativamente a la generación de conocimiento aplicado y al desarrollo de soluciones con impacto social y económico. En regiones con fuerte actividad agropecuaria, esta vinculación adquiere una importancia estratégica debido a la necesidad de implementar tecnologías accesibles y adaptadas a las condiciones locales de producción.

Por lo anterior, el presente capítulo tiene como objetivo analizar la relación entre la formación profesional en Ingeniería Electromecánica y su contribución al desarrollo de la agrotecnología, la sostenibilidad productiva y el desarrollo regional, a partir de un análisis documental de literatura científica especializada, del análisis curricular y de los contenidos formativos que integran la retícula académica de esta disciplina.

Metodología

El presente capítulo se desarrolló bajo un enfoque cualitativo de tipo documental, orientado al análisis de información científica y curricular relacionada con la Ingeniería Electromecánica y su vinculación con la agrotecnología y la sostenibilidad productiva. Este enfoque permitió interpretar aportaciones teóricas asociadas con agricultura de precisión, automatización agrícola, monitoreo inteligente, Industria 4.0 y formación basada en competencias dentro de programas de ingeniería, considerando su relación con las necesidades tecnológicas actuales del sector agroindustrial.

La elección de una metodología documental respondió a la necesidad de analizar, integrar y relacionar información científica proveniente de investigaciones recientes sobre tecnologías aplicadas al sector agrícola y procesos de formación profesional en ingeniería. Asimismo, el análisis curricular permitió identificar competencias y áreas formativas presentes en la carrera de Ingeniería Electromecánica con potencial aplicación en el desarrollo de soluciones tecnológicas orientadas a procesos agrícolas y agroindustriales.

La investigación se estructuró en tres etapas principales: revisión documental, análisis curricular y organización temática de la información. La Figura 2 presenta el esquema metodológico general empleado durante el desarrollo del capítulo.

Para la selección de la literatura científica se establecieron criterios de inclusión y exclusión. Se incluyeron artículos científicos publicados entre enero de 2015 y junio de 2026, escritos en español o inglés, arbitrados por pares y relacionados con agricultura de precisión, automatización agrícola, Internet de las Cosas, inteligencia artificial, sostenibilidad productiva y formación en ingeniería. El periodo de búsqueda se definió con el propósito de recuperar investigaciones que reflejaran la evolución reciente de las tecnologías digitales aplicadas al sector agroindustrial y su incorporación en la formación de ingenieros. La búsqueda bibliográfica se realizó hasta junio de 2026, fecha en la que concluyó la recopilación de la información. La búsqueda documental se realizó utilizando Scopus como base de datos bibliográfica; Google Scholar como buscador académico; y SciELO, Redalyc y Dialnet como plataformas de difusión de literatura científica arbitrada. Para la localización de los documentos se emplearon combinaciones de palabras clave como "Electromechanical Engineering" AND agrotechnology, "precision agriculture" AND automation, IoT AND agriculture, artificial intelligence AND agriculture, engineering education AND sustainability y sus equivalentes en español. La búsqueda se efectuó en los campos de título, resumen y palabras clave. Se verificó que los documentos seleccionados correspondieran a publicaciones arbitradas mediante la información proporcionada por las revistas y las bases de datos consultadas. Se excluyeron documentos duplicados, literatura no arbitrada y publicaciones sin relación directa con los objetivos del estudio.

Figura 2.

Esquema metodológico utilizado para el desarrollo del capítulo



Fuente: Elaboración propia

En la primera etapa se realizó una revisión documental de literatura científica especializada relacionada con tecnologías emergentes aplicadas al sector agrícola y con enfoques educativos vinculados a la formación en ingeniería. Para ello, se seleccionaron artículos científicos publicados en revistas académicas nacionales e internacionales, considerando criterios de pertinencia temática, actualidad y relación directa con automatización agrícola, agricultura inteligente, Internet de las Cosas (IoT), inteligencia artificial, monitoreo de cultivos, drones, sostenibilidad productiva y competencias profesionales en ingeniería.

El análisis documental consideró un total de 21 artículos científicos seleccionados por su pertinencia con el objetivo del estudio y por cumplir los criterios de inclusión establecidos. Estos documentos fueron organizados en distintas categorías temáticas para facilitar la identificación de tendencias, aplicaciones tecnológicas y competencias profesionales relacionadas con el sector agroindustrial. La clasificación temática de los documentos revisados se presenta en la Tabla 2. Esta organización permitió identificar

líneas recurrentes de investigación relacionadas con agricultura de precisión, monitoreo inteligente, automatización, digitalización agrícola y formación profesional en ingeniería. Si bien durante la búsqueda se localizaron otros documentos relacionados con la temática, el análisis se centró en aquellos que presentaban mayor correspondencia con el propósito del capítulo y con el análisis curricular desarrollado, lo que constituye una delimitación propia del estudio.

Tabla 2.

Clasificación temática de los documentos analizados

Área temática	Cantidad de artículos	Temas principales
Agricultura de precisión	6	Monitoreo agrícola, drones, sensores y análisis multiespectral
IoT y automatización agrícola	4	Sistemas inteligentes, monitoreo remoto y control de variables
Inteligencia artificial aplicada a la agricultura	2	Análisis predictivo y apoyo en la toma de decisiones
Industria 4.0 y digitalización agrícola	2	Automatización y transformación digital
Educación y competencias en ingeniería	5	Formación profesional, aprendizaje basado en proyectos y aprendizaje experiencial
Vinculación y desarrollo regional	2	Transferencia tecnológica y relación universidad-sector productivo

Fuente: Elaboración propia

Dentro de los documentos revisados se abordaron diversas aplicaciones tecnológicas para el sector agroindustrial, así como enfoques relacionados con la formación profesional en ingeniería. Este conjunto de estudios permitió identificar las principales tendencias de investigación que sustentan el análisis desarrollado en el presente capítulo.

Posteriormente, en una segunda etapa, se realizó un análisis curricular de la retícula académica y de los contenidos temáticos correspondientes al programa educativo de Ingeniería Electromecánica. Este análisis tuvo como propósito identificar asignaturas y competencias con potencial aplicación en el desarrollo de soluciones tecnológicas orientadas al sector agrícola y agroindustrial. La Figura 1 muestra la retícula académica considerada para el análisis de competencias profesionales vinculadas con la agrotecnología y la sostenibilidad productiva.

Dentro del análisis curricular se revisó la retícula académica y el programa de estudios vigente de la carrera de Ingeniería Electromecánica del Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, consultados durante el desarrollo de la presente investigación. El análisis consideró las competencias específicas, contenidos temáticos y perfil de egreso relacionados con automatización, sistemas de control, electrónica analógica y digital, programación, instrumentación, manufactura, sistemas eléctricos, termodinámica, energías aplicadas y diseño electromecánico, debido a su relación con tecnologías utilizadas actualmente en procesos agrícolas automatizados y sistemas de agricultura inteligente. También se analizaron competencias orientadas a la resolución de problemas, integración de sistemas tecnológicos, monitoreo de variables y desarrollo de proyectos aplicados.

De manera complementaria, se revisaron los temarios de distintas asignaturas con la finalidad de identificar competencias específicas relacionadas con automatización de procesos, diseño de sistemas electromecánicos, control de variables, programación de dispositivos, integración de sensores y monitoreo inteligente. Este análisis permitió establecer relaciones entre la formación académica del ingeniero electromecánico y las necesidades tecnológicas presentes en áreas como agricultura de precisión, sistemas de riego automatizado, monitoreo ambiental y eficiencia energética aplicada al sector agrícola. La Tabla 3 presenta algunas de las principales áreas formativas y su relación con aplicaciones agroindustriales.

Tabla 3.

Áreas formativas de Ingeniería Electromecánica y su relación con aplicaciones agroindustriales

Área formativa	Asignaturas relacionadas	Aplicación agroindustrial
Automatización y control	Control I y II, Instrumentación	Sistemas de riego automatizado
Electrónica	Electrónica analógica y digital	Sensores agrícolas
Programación	Programación y sistemas digitales	Plataformas IoT agrícolas
Sistemas eléctricos	Máquinas eléctricas	Bombeo y distribución de energía
Diseño mecánico	Diseño de elementos mecánicos	Prototipos y dispositivos agrícolas
Energía y termodinámica	Termodinámica, Transferencia de Calor, Máquinas y Equipos Térmicos, Ahorro de Energía	Eficiencia energética en procesos agroindustriales

Fuente: Elaboración propia

En una tercera etapa, la información recopilada fue organizada mediante un análisis temático, agrupando los contenidos de acuerdo con categorías previamente definidas a partir de los objetivos del estudio, entre ellas tecnologías aplicadas al sector agroindustrial, competencias profesionales y sostenibilidad productiva. Para cada documento y contenido curricular se identificaron las principales aportaciones relacionadas con dichas categorías. Este proceso permitió identificar correspondencias entre las competencias desarrolladas en la Ingeniería Electromecánica y las tecnologías aplicadas actualmente al sector agrícola, particularmente en áreas relacionadas con automatización, monitoreo inteligente, sistemas IoT, robótica, análisis de datos y eficiencia energética.

Finalmente, la integración de la revisión bibliográfica y del análisis curricular permitió construir una perspectiva orientada a reconocer la contribución potencial de la Ingeniería Electromecánica al fortalecimiento de la agrotecnología y al desarrollo regional, considerando tanto la formación profesional como las tendencias tecnológicas actuales aplicadas a los sistemas productivos agrícolas.

Resultados

Agrotecnología y agricultura inteligente

El análisis de los 21 artículos científicos permitió identificar que la agricultura de precisión fue la temática con mayor presencia, al concentrar 6 artículos, seguida por educación y competencias en ingeniería con 5 artículos e IoT y automatización agrícola con 4 artículos. En menor proporción se identificaron investigaciones relacionadas con inteligencia artificial aplicada a la agricultura, Industria 4.0 y digitalización agrícola y vinculación y desarrollo regional, con 2 artículos cada una (Tabla 2). Estos resultados muestran un predominio de investigaciones orientadas al monitoreo, automatización y fortalecimiento de las competencias profesionales para atender las necesidades tecnológicas del sector agroindustrial, en concordancia con los estudios de Rodríguez Yparraguirre et al. (2025), Ríos Hernández (2021) y Guzmán-Albores et al. (2024).

Entre las tecnologías identificadas con mayor frecuencia en los documentos analizados se encuentran los sistemas de monitoreo basados en sensores, las plataformas IoT, los drones agrícolas, la inteligencia artificial y los sistemas automatizados de riego. Estas herramientas han fortalecido las actividades de supervisión y control dentro de los

procesos agrícolas, ya que permiten obtener información sobre variables como la humedad del suelo, la temperatura, la radiación solar y las condiciones fisiológicas de los cultivos. A partir de esta información, es posible realizar ajustes más oportunos y mejorar la eficiencia de la producción agrícola.

Ortiz Quiñonez y Lara Salinas (2025) señalan que la automatización de sistemas de riego favorece el uso eficiente del agua y mejora la productividad agrícola, especialmente en zonas semiáridas donde este recurso es limitado. Asimismo, Ossa Duque (2017) destaca que los sensores inteligentes y redes inalámbricas permiten supervisar variables ambientales en tiempo real dentro de sistemas agrícolas e invernaderos. De manera similar, Guerrero-Ibañez et al. (2017) mencionan que las plataformas IoT facilitan la integración de dispositivos de monitoreo y control, contribuyendo al desarrollo de procesos agrícolas más automatizados y eficientes.

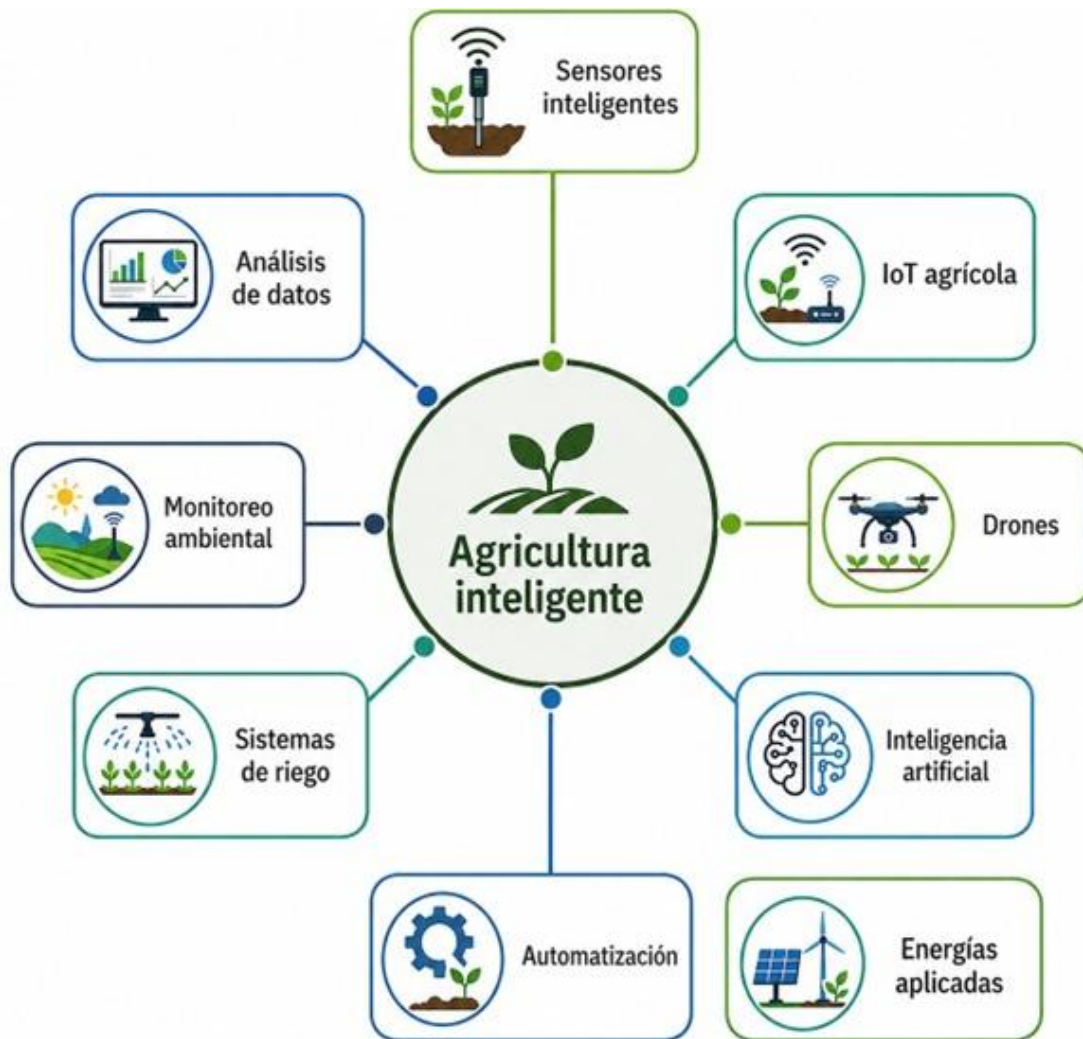
De igual manera, el uso de drones y sistemas multiespectrales representa una herramienta importante para el monitoreo de cultivos y la detección temprana de problemas fitosanitarios. Berrío et al. (2015) y González et al. (2016) señalan que estas tecnologías favorecen la supervisión de grandes extensiones agrícolas mediante imágenes aéreas de alta resolución, permitiendo identificar estrés hídrico, presencia de plagas y variaciones en el desarrollo vegetal.

La inteligencia artificial también aparece como una tecnología emergente con potencial aplicación dentro de la agricultura inteligente. Cabrera-Verdesoto et al. (2024) destacan que los modelos basados en inteligencia artificial contribuyen al análisis predictivo, la optimización de procesos y la toma de decisiones relacionadas con productividad agrícola y control de enfermedades en cultivos.

Los resultados obtenidos permiten identificar correspondencias entre la transformación digital del sector agrícola y la integración de tecnologías relacionadas con automatización, monitoreo inteligente y análisis de datos. La Figura 3 presenta las principales tecnologías identificadas dentro de la literatura científica revisada y su relación con los sistemas de agricultura inteligente.

Figura 3.

Principales tecnologías utilizadas en agricultura inteligente y agricultura de precisión



Fuente: Elaboración propia

La literatura revisada permitió identificar que la implementación de tecnologías digitales en la agricultura genera beneficios relacionados con optimización de recursos, reducción de costos operativos y fortalecimiento de la sostenibilidad productiva. De igual manera, Díaz Ramírez (2025) menciona que las tecnologías digitales contribuyen al fortalecimiento de la gestión de calidad y de las cadenas de suministro dentro del sector agrícola. La Tabla 4 resume las principales tecnologías identificadas en la literatura revisada y los beneficios potenciales asociados con su aplicación en procesos agrícolas. En conjunto, estas tecnologías muestran una orientación hacia el monitoreo, la automatización y la optimización del uso de los recursos, aspectos que contribuyen al fortalecimiento de la agricultura inteligente.

Tabla 4.

Tecnologías aplicadas en agricultura inteligente y beneficios asociados

Tecnología	Aplicación agrícola	Beneficio principal
Sensores inteligentes	Monitoreo ambiental y del suelo	Optimización de recursos
Sistemas IoT	Supervisión remota de variables	Toma de decisiones en tiempo real
Drones agrícolas	Monitoreo y análisis de cultivos	Detección temprana de problemas
Inteligencia artificial	Predicción y análisis de datos	Mejora en productividad
Sistemas automatizados de riego	Control hídrico	Reducción del consumo de agua
Redes inalámbricas	Comunicación entre dispositivos	Automatización de procesos

Fuente: Elaboración propia

Competencias de la Ingeniería Electromecánica aplicadas al sector agrícola

El análisis curricular realizado a la carrera de Ingeniería Electromecánica permitió identificar una relación directa entre las competencias desarrolladas durante la formación profesional y las necesidades tecnológicas actuales del sector agroindustrial. La retícula académica y los contenidos temáticos revisados muestran una fuerte orientación hacia áreas relacionadas con automatización, control, electrónica, programación, sistemas eléctricos, instrumentación y diseño electromecánico, competencias fundamentales dentro de los procesos de agricultura inteligente y automatización agrícola.

Dentro de las asignaturas revisadas destacan contenidos relacionados con sensores, automatización industrial, control de procesos, programación de sistemas, integración de dispositivos electrónicos y monitoreo de variables, los cuales mantienen aplicación directa en sistemas de riego automatizado, plataformas IoT, monitoreo ambiental y procesos agrícolas inteligentes.

Asimismo, asignaturas relacionadas con sistemas eléctricos, máquinas eléctricas y energías aplicadas presentan una relación importante con procesos asociados al bombeo de agua, distribución energética y eficiencia energética en sistemas agroindustriales. De igual manera, áreas vinculadas con manufactura y diseño electromecánico favorecen el desarrollo de prototipos y soluciones tecnológicas orientadas a procesos productivos agrícolas.

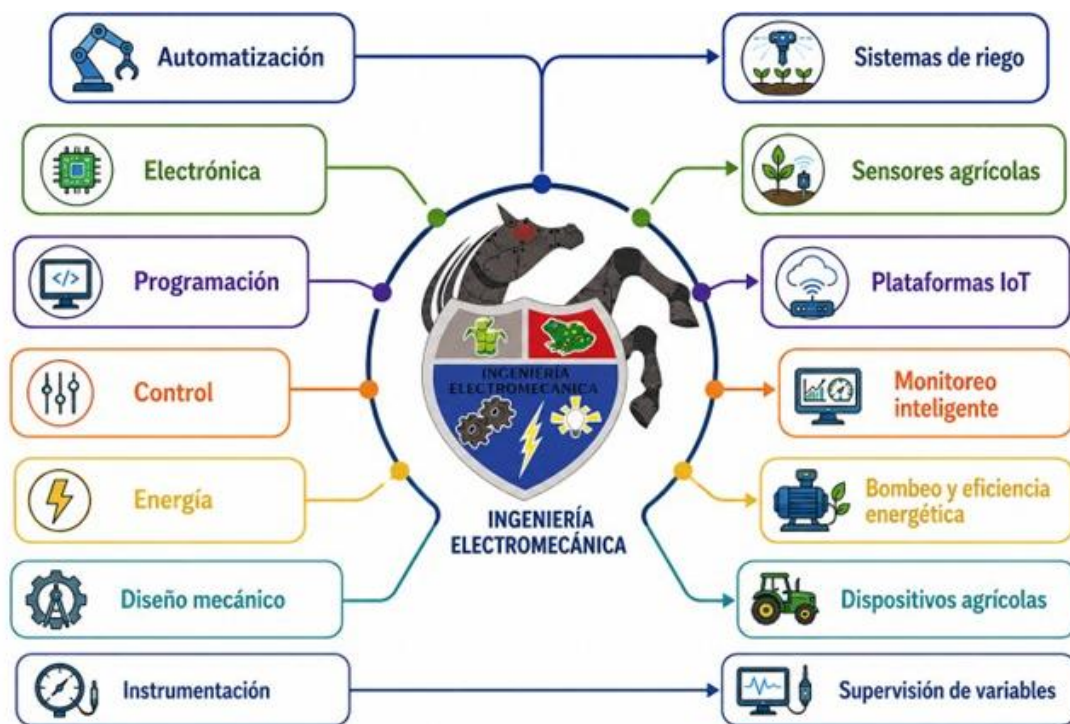
La revisión de los temarios también permitió identificar competencias relacionadas con resolución de problemas, integración de sistemas tecnológicos y desarrollo de proyectos aplicados, aspectos relevantes dentro de contextos

agroindustriales que demandan soluciones interdisciplinarias y adaptación tecnológica. En este sentido, la Ingeniería Electromecánica presenta una formación multidisciplinaria con capacidad de responder a las necesidades tecnológicas asociadas con agricultura de precisión, monitoreo inteligente y automatización de procesos productivos.

La Figura 4 muestra la relación entre las principales competencias desarrolladas en Ingeniería Electromecánica y sus posibles aplicaciones dentro del sector agroindustrial.

Figura 4.

Relación entre competencias de Ingeniería Electromecánica y aplicaciones agroindustriales



Fuente: Elaboración propia

La Tabla 5 presenta algunas asignaturas identificadas dentro de la retícula académica y su relación con aplicaciones potenciales en el sector agrícola y agroindustrial.

Tabla 5.

Relación entre asignaturas de Ingeniería Electromecánica y aplicaciones agroindustriales

Área formativa	Asignaturas relacionadas (competencia o contenido curricular)	Aplicación agroindustrial
Automatización y control	Control I y II e Instrumentación: diseño e implementación de sistemas de control y monitoreo de variables de proceso.	Sistemas de riego automatizado
Electrónica	Electrónica analógica y digital: integración de sensores y acondicionamiento de señales.	Sensores agrícolas
Programación	Programación y Sistemas Digitales: desarrollo de algoritmos para adquisición y procesamiento de datos.	Plataformas IoT agrícolas
Sistemas eléctricos	Máquinas Eléctricas: operación y control de equipos eléctricos para procesos productivos.	Bombeo y distribución de energía
Diseño mecánico	Diseño de Elementos Mecánicos: diseño y selección de componentes para equipos agrícolas.	Desarrollo de dispositivos agrícolas
Energía y termodinámica	Máquinas Térmicas y Energías Aplicadas: análisis de procesos energéticos y eficiencia en el uso de la energía.	Eficiencia energética en agroindustria

Fuente: Elaboración propia

Formación profesional y sostenibilidad productiva

Los documentos analizados también evidencian la importancia de fortalecer modelos educativos orientados al desarrollo de competencias tecnológicas y de innovación dentro de programas de ingeniería. Paccha Soto (2026) y Puerto López et al. (2023) destacan que metodologías como el aprendizaje basado en proyectos y el aprendizaje experiencial favorecen el desarrollo de habilidades relacionadas con la resolución de problemas, el trabajo interdisciplinario y la aplicación práctica del conocimiento. De manera complementaria, el análisis curricular permitió identificar correspondencias entre estas competencias y diversas áreas formativas de la Ingeniería Electromecánica, particularmente aquellas relacionadas con automatización, instrumentación, programación, electrónica y sistemas de control, las cuales constituyen una base para la aplicación de tecnologías orientadas a la agricultura inteligente.

De forma similar, Jiménez Hidalgo et al. (2025) señalan que el aprendizaje basado en proyectos fortalece competencias técnicas y prácticas en áreas relacionadas con electromecánica, automatización y resolución de problemas aplicados.

La vinculación entre instituciones de educación superior y sectores productivos representa un elemento estratégico para fortalecer los procesos de transferencia tecnológica y el desarrollo regional. Álvarez Ayala et al. (2024) señalan que la colaboración entre universidades y sectores productivos favorece el desarrollo de soluciones aplicadas y el fortalecimiento de capacidades tecnológicas orientadas al desarrollo económico y social. No obstante, la implementación de estas tecnologías también enfrenta desafíos relacionados con la disponibilidad de infraestructura, la conectividad en zonas rurales, los costos de implementación y la necesidad de capacitación para su adopción en distintos contextos productivos.

En regiones con fuerte actividad agrícola, la participación de profesionistas con formación tecnológica puede contribuir de manera importante al desarrollo de soluciones relacionadas con automatización, monitoreo inteligente y optimización de recursos productivos. En este escenario, la Ingeniería Electromecánica posee un amplio potencial para fortalecer la sostenibilidad agrícola y apoyar la modernización de los procesos agroindustriales mediante la integración de tecnologías emergentes y conocimientos multidisciplinarios. Desde la dimensión ambiental, estas tecnologías favorecen la optimización del consumo de agua mediante sistemas de monitoreo y control, el uso más eficiente de insumos y energía, así como la reducción del impacto ambiental asociado a los procesos productivos. En la dimensión económico-productiva, contribuyen a mejorar la eficiencia operativa, disminuir pérdidas y fortalecer la productividad mediante la automatización y el monitoreo de los procesos agrícolas. Finalmente, en la dimensión social y regional, promueven la formación de profesionistas con competencias tecnológicas, la transferencia de conocimiento hacia el sector productivo y el desarrollo de soluciones orientadas a las necesidades del contexto agrícola regional.

Como limitación del estudio, los resultados corresponden exclusivamente al análisis documental y curricular realizado, por lo que no incluyen validaciones experimentales ni trabajo de campo. No obstante, el enfoque permitió integrar evidencia científica reciente para identificar tendencias y competencias profesionales vinculadas con la agrotecnología.

Discusión

Los resultados obtenidos a partir de la revisión documental y del análisis curricular permiten reconocer que la transformación tecnológica del sector agrícola no depende únicamente de incorporar herramientas digitales y sistemas automatizados, sino también de formar profesionistas capaces de adaptar estas tecnologías a las necesidades reales de los procesos productivos. Desde esta perspectiva, la agrotecnología puede entenderse como un campo interdisciplinario donde convergen conocimientos de ingeniería, automatización, análisis de datos y sostenibilidad productiva.

La literatura revisada muestra que tecnologías como sensores inteligentes, sistemas IoT, drones, inteligencia artificial y monitoreo automatizado han comenzado a modificar de manera importante las actividades agrícolas y agroindustriales (Guerrero-Ibañez et al., 2017; Cabrera-Verdesoto et al., 2024). No obstante, su implementación requiere profesionistas con competencias en control, programación, electrónica, instrumentación y automatización, áreas presentes dentro de la formación en Ingeniería Electromecánica.

El análisis curricular permitió identificar que asignaturas relacionadas con automatización industrial, sistemas de control, programación, electrónica y sistemas energéticos desarrollan competencias aplicables a procesos agrícolas inteligentes, especialmente en monitoreo ambiental, automatización de riego, integración de sensores y eficiencia energética. Estos resultados coinciden con Santucci et al. (2023), así como con Paccha Soto (2026) y Puerto López et al. (2023), quienes destacan la importancia de los modelos educativos basados en competencias, el aprendizaje basado en proyectos y las experiencias prácticas para fortalecer habilidades relacionadas con innovación, resolución de problemas y desarrollo de soluciones aplicadas. En conjunto, el análisis curricular muestra que estas áreas proporcionan una base para la incorporación de tecnologías empleadas en la agricultura inteligente. Sin embargo, la rápida evolución de la transformación digital plantea la necesidad de fortalecer de manera continua la formación en competencias relacionadas con el análisis de datos, la integración de sistemas inteligentes y otras tecnologías emergentes, en concordancia con las tendencias señaladas por Macías-Suárez et al. (2023) y Velasco Agustín et al. (2025).

La revisión también permitió identificar una relación importante entre sostenibilidad productiva y automatización agrícola. La incorporación de tecnologías digitales favorece la optimización de recursos hídricos, energéticos y productivos, contribuyendo al desarrollo de procesos agrícolas más eficientes y sostenibles (Rodríguez Yparraguirre et al., 2025). En este contexto, la Ingeniería Electromecánica posee un importante potencial para contribuir al desarrollo de tecnologías orientadas a la automatización, el monitoreo inteligente y la eficiencia energética dentro de los sistemas agrícolas.

Al mismo tiempo, la transformación digital del sector agroindustrial plantea nuevos retos para las instituciones de educación superior y para los programas académicos de ingeniería. Tecnologías asociadas con Industria 4.0, inteligencia artificial y sistemas inteligentes requieren procesos constantes de actualización curricular y fortalecimiento de competencias digitales dentro de la formación profesional (Macías-Suárez et al., 2023). Velasco Agustín et al. (2025) señalan que fortalecer la formación docente en ingeniería resulta fundamental para responder a los cambios tecnológicos y a las nuevas dinámicas relacionadas con automatización y digitalización industrial.

La vinculación entre universidades y sectores productivos también representa un elemento importante dentro de los procesos de transferencia tecnológica y desarrollo regional. Álvarez Ayala et al. (2024) mencionan que esta colaboración favorece la generación de conocimiento aplicado y el desarrollo de soluciones tecnológicas orientadas a las necesidades del entorno social y económico. En regiones con fuerte actividad agrícola, esta relación puede contribuir al fortalecimiento de pequeños productores mediante tecnologías accesibles y adaptadas a las condiciones locales.

Desde la perspectiva de la sostenibilidad, los resultados permiten reconocer beneficios potenciales en tres dimensiones. En el ámbito ambiental, las tecnologías analizadas favorecen el uso más eficiente del agua, la energía y otros recursos productivos mediante sistemas de monitoreo y automatización. En la dimensión económico-productiva, contribuyen a optimizar procesos, reducir pérdidas e incrementar la eficiencia operativa. En el ámbito social y regional, fortalecen la formación de capital humano especializado y favorecen la transferencia tecnológica entre las instituciones de educación superior y el sector productivo. No obstante, diversos estudios señalan que su adopción también enfrenta desafíos relacionados con los costos de implementación, la disponibilidad de infraestructura y conectividad, la capacitación del personal y la

necesidad de desarrollar soluciones tecnológicas accesibles y adaptadas a las condiciones locales (Guerrero-Ibañez et al., 2017; Cabrera-Verdesoto et al., 2024; Rodríguez Yparraguirre et al., 2025).

En conjunto, los resultados muestran que la Ingeniería Electromecánica constituye una disciplina con amplias posibilidades para contribuir al fortalecimiento de la agrotecnología mediante la integración de conocimientos en automatización, control, programación, sistemas inteligentes y eficiencia energética. Estas competencias pueden favorecer la atención de las necesidades tecnológicas del sector agroindustrial y fortalecer la vinculación entre las instituciones de educación superior y el entorno productivo, particularmente en regiones con actividad agrícola como el sur de Jalisco, donde la modernización de los procesos productivos demanda soluciones tecnológicas adaptadas a las condiciones locales.

Conclusiones

La revisión documental realizada permitió identificar que la transformación tecnológica del sector agrícola se encuentra estrechamente relacionada con la incorporación de herramientas digitales, sistemas automatizados y tecnologías inteligentes orientadas a mejorar la productividad y la sostenibilidad de los procesos agroindustriales. Entre las principales tendencias identificadas destacan la agricultura de precisión, el Internet de las Cosas, los sensores inteligentes, los drones y la inteligencia artificial, tecnologías que favorecen el monitoreo de cultivos, la automatización de procesos y el uso más eficiente de los recursos productivos.

El análisis curricular de la carrera de Ingeniería Electromecánica permitió identificar una correspondencia entre las competencias desarrolladas durante la formación profesional y diversas necesidades tecnológicas del sector agroindustrial. Áreas como automatización, control, electrónica, programación, instrumentación y sistemas energéticos constituyen una base para el desarrollo de soluciones aplicadas a procesos agrícolas inteligentes y orientados a la sostenibilidad productiva.

Asimismo, los resultados muestran la importancia de fortalecer de manera continua los programas de formación mediante la incorporación de tecnologías emergentes y estrategias educativas que favorezcan la innovación, el aprendizaje práctico

y la vinculación con el sector productivo, con el propósito de responder a la evolución tecnológica del ámbito agroindustrial.

En conjunto, los resultados permiten reconocer que la Ingeniería Electromecánica posee un importante potencial para contribuir al fortalecimiento de la agrotecnología y al desarrollo regional, al proporcionar una formación con fundamentos tecnológicos aplicables a los sistemas agrícolas. No obstante, esta contribución debe entenderse como una correspondencia identificada entre la formación profesional y las necesidades del sector agroindustrial, por lo que futuras investigaciones podrán evaluar su impacto en el desempeño profesional de los egresados y en la implementación de soluciones tecnológicas en contextos productivos específicos.

Referencias

- Álvarez Ayala, D., Moreno Llor, A., & Quimis Pionce, J. M. (2024). El vínculo universidad-empresa y su impacto en la producción de conocimiento científico: Una revisión sistemática. *Revista Varela*, 24(69), 209–217. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13623352>
- Mosquera, J., Berrío, V., & Alzate, D. (2015). Uso de drones para el análisis de imágenes multiespectrales en agricultura de precisión. *@limentech Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 13(1), 28–40. <https://ojs.unipamplona.edu.co/index.php/alimen/article/view/1600>
- Cabrera-Verdesoto, C. A., Salvatierra-Pilozo, D. M., & Navarro-Saltos, G. E. (2024). Tendencias en la aplicación de la inteligencia artificial en la agricultura de precisión mediante una revisión sistemática. *Innova Science Journal*, 2(3), 26–38. <https://doi.org/10.63618/omd/isj/v2/n3/41>
- Chagua Rodríguez, P., Chañi Paucar, L. O., Malpartida Yapias, R., Javier Ninahuaman, H. J., Luciano Alipio, A., & Salvador Reyes, R. (2024). Implicaciones del modelo Industria 4.0 en la agroindustria: Revisión sistemática. *Revista Científica KANYÚ*, 2(1), 65–82. <https://doi.org/10.61210/kany.v2i1.75>
- Díaz Ramírez, X. Y. (2025). Tecnologías en la gestión de calidad para fortalecer la cadena de suministros en la agricultura: Breve revisión de la literatura. *Revista Científica KANYÚ*, 3(2), 70–98. <https://doi.org/10.61210/kany.v3i2.205>

- González, A., Amarillo, G., Amarillo, M., & Sarmiento, F. (2016). Drones aplicados a la agricultura de precisión. *Publicaciones e Investigación*, 10, 23–37. <https://doi.org/10.22490/25394088.1585>
- Guerrero-Ibañez, J. A., Estrada-González, F. P., Medina-Tejeda, M. A., Rivera-Gutiérrez, M. G., Alcaraz-Aguirre, J. M., Maldonado-Mendoza, C. A., Toledo-Zuñiga, D., & López-González, V. I. (2017). SGreenH-IoT: Plataforma IoT para agricultura de precisión. *Revista Iberoamericana de Sistemas, Cibernética e Informática*, 14(2), 53–58. <https://www.iiisci.org/journal/risci/FullText.asp?var=&id=CA544SI17>
- Guzmán-Albores, J. M., Matuz-Cruz, M. de J., Arana-Llanes, J. Y., López-Carrasco, E., Gómez-Vázquez, V., & 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. <https://doi.org/10.29057/xikua.v12i24.12790>
- Illescas-Palma, G., & Ramírez-Álvarez, M. (2025). Tecnologías en la agricultura en México: Una revisión de enfoques y estrategias de desarrollo desde la planeación rural. *REMEVAL*, 1(2), 130–145. <https://doi.org/10.63121/rxyh8q77>
- Jiménez Hidalgo, B. D., Ruíz Fernández, M. Á., & Maliza Cruz, W. I. (2025). Revisión del estado del arte del aprendizaje basado en proyectos como técnica de aprendizaje en la figura profesional electromecánica automotriz. *Tesla Revista Científica*, 5(2). <https://doi.org/10.55204/trc.v5i2.e482>
- Lozada López, D. J. (2025). Aplicación de la inteligencia artificial como herramienta de tecnología educativa en la formación de estudiantes de ingeniería: Una revisión sistemática. *Sapiens EduTech Journal*, 3(3), 1–11. <https://doi.org/10.71068/3mr42v34>
- Macías-Suárez, P. T., Pilacuan-Bonete, L. M., & Ugalde Vicuña, J. W. (2023). El desafío de la Industria 4.0 en la educación superior de ingeniería industrial: Una revisión sistemática de la literatura. *RECIAMUC*, 7(2), 317-327. [https://doi.org/10.26820/reciamuc/7.\(2\).abril.2023.305-327](https://doi.org/10.26820/reciamuc/7.(2).abril.2023.305-327)
- Ortiz Quiñonez, G. A., & Lara Salinas, F. V. (2025). Análisis del impacto temporal y productivo de la automatización de riego por aspersión en sistemas agrícolas

- semiáridos: Estudio aplicado de la costa sur del Ecuador. *Ciencia y Educación*, 6(12.1), 237–245. <https://doi.org/10.5281/zenodo.17933753>
- Ossa Duque, S. I. (2017). Monitoreo y control de variables ambientales mediante una red inalámbrica para agricultura de precisión en invernaderos. *Revista Vector*, 12, 51–60. <https://revistasoj.s.ucaldas.edu.co/index.php/vector/article/view/236>
- Paccha Soto, D. P. (2026). Aprendizaje basado en proyectos y competencias profesionales en ingeniería: Revisión sistemática PRISMA. *Revista Veritas de Difusión Científica*, 7(1), 1083–1100. <https://doi.org/10.61616/rvdc.v7i1.1275>
- Puerto López, K. C., Lozano Cárdenas, F. J., & Medina Delgado, B. (2023). Enseñanza y aprendizaje en ingeniería desde la teoría del aprendizaje experiencial: Revisión actual. *Mundo Fesc*, 13(26), 74–95. <https://doi.org/10.61799/2216-0388.1319>
- Ríos Hernández, R. (2021). La agricultura de precisión: Una necesidad actual. *Revista Ingeniería Agrícola*, 11(1), 67–74. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=586269368010>
- Ríos-Hernández, R. (2021). Uso de los drones o vehículos aéreos no tripulados en la agricultura de precisión. *Revista Ingeniería Agrícola*, 11(4), 75–84. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=586268743010>
- Rodríguez Yparraguirre, C. D., Rodríguez Yparraguirre, A. J., Olivares Espino, I. M., & Maco Vásquez, W. A. (2025). Aportes de agricultura de precisión en la productividad sostenible: Una revisión sistemática. *RIVAR*, 12(36), 238–256. <https://doi.org/10.35588/5rmk9326>
- Santucci, V. A., Bourlot, J., Ale, M., & Romero, L. (2023). Modelado de currículos de ingenierías basados en competencias: Un mapeo sistemático de la literatura. *Electronic Journal of SADIO (EJS)*, 22(1), 149–167. <https://doi.org/10.24215/15146774e009>
- Velasco Agustín, A., Pérez Medel, M., Hernández Cabrera, J., & García Balanzar, O. (2025). Fortalecimiento de la formación docente en ingeniería: Retos y oportunidades. *Revista Electrónica ANFEI Digital*, 12(17), 443–451. <https://doi.org/10.63136/read1720251062pp443-451>

CAPÍTULO 2

Análisis de la vinculación de las residencias profesionales con el sector agrícola productivo del sur de Jalisco

Analysis of the Link Between Professional Internships and the Agricultural
Production Sector in Southern Jalisco

Resumen

Introducción: Las residencias profesionales representan un mecanismo de vinculación entre las instituciones de educación superior y el sector productivo, permitiendo que los estudiantes fortalezcan sus conocimientos, habilidades y competencias mediante la aplicación práctica de los aprendizajes adquiridos durante su formación académica. **Objetivo:** analizar la vinculación de las residencias profesionales de los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable con el sector agrícola del sur del estado de Jalisco, identificando los principales cultivos y áreas de estudio desarrolladas por los estudiantes. **Metodología:** se realizó un análisis descriptivo de 301 proyectos de residencia profesional que realizaron estudiantes entre los periodos 2018 a 2025, considerando los cultivos abordados y los nombres de los proyectos para su respectiva clasificación con base en el área de estudio. **Resultados:** los resultados mostraron una mayor participación en cultivos de importancia económica y productiva para la región, destacando aguacate, berries, jitomate, pimienta y caña de azúcar. Respecto a las áreas de estudio, el control de plagas y enfermedades presentó la mayor participación (38.20%), seguido del manejo agronómico (20.93%) y nutrición y fertilización integral (11.96%). Las áreas relacionadas a certificaciones, inocuidad, riego, calidad de frutos y evaluación de sustratos registraron porcentajes inferiores al 4%. **Conclusión:** de acuerdo con los resultados del estudio, las residencias profesionales constituyen una estrategia relevante de vinculación entre la institución educativa y el sector agrícola, al favorecer el acercamiento de los estudiantes a las actividades y problemáticas del sector productivo y contribuir a su formación profesional.

Palabras clave: residencias profesionales, vinculación, sector agrícola, desarrollo regional, formación profesional.

Abstract

Introduction: Professional residencies represent a mechanism for linking higher education institutions with the productive sector, allowing students to strengthen their knowledge, skills, and competencies through the practical application of the learning acquired during their academic training. **Objective:** To analyze the connection between the professional residencies of students in the Sustainable Agricultural Innovation Engineering program and the agricultural sector in southern Jalisco, identifying the main crops and areas of

study developed by the students. Methodology: A descriptive analysis was conducted of 301 professional residency projects carried out by students between 2018 and 2025, considering the crops addressed and the project names for their respective classification based on the area of study. Results: The results showed greater participation in crops of economic and productive importance to the region, highlighting avocado, berries, tomato, pepper, and sugarcane. Regarding the areas of study, pest and disease control had the highest participation (38.20%), followed by agronomic management (20.93%) and integrated nutrition and fertilization (11.96%). Areas related to certifications, food safety, irrigation, fruit quality, and substrate evaluation registered percentages below 4%. Conclusion: According to the study results, professional internships constitute a significant strategy for fostering ties between the educational institution and the agricultural sector, as they bring students closer to the activities and challenges of the productive sector and contribute to their professional development.

Keywords: professional residencies, linkage, agricultural sector, regional, development, vocational training.

Introducción

La rápida transformación del mercado laboral y el mercado altamente competitivo han cambiado la naturaleza de la empleabilidad de los graduados. Además del conocimiento disciplinario los estudiantes ahora deben ser proactivos y estables a la hora de identificar oportunidades profesionales (Bates, et al., 2019). Con el fin de que las instituciones de educación superior (IES) respondieran a las necesidades del sector productivo, en especial el empresarial hace casi veinte años surgieron algunas políticas con el fin de que se establecieran o reforzaran los programas de vinculación entre las IES y dicho sector (Quispe et al., 2014). Para mejorar las habilidades generales y sociales de los estudiantes, las clases magistrales y el aprendizaje tradicional no son suficientes, el propósito de la vinculación con empresas es fundamental en el seguimiento de la formación profesional.

La práctica profesional en el contexto de la educación superior es un componente esencial para la formación académica y profesional. Esta instancia prepara a los estudiantes para que la inserción laboral sea más efectiva y los ayude a enfrentar los

desafíos contemporáneos de sus respectivos campos de estudio. De acuerdo al manual del Tecnológico Nacional de México (2015), la residencia profesional es una estrategia de carácter curricular que permite al estudiante emprender un proyecto teórico-práctico, analítico, reflexivo crítico y profesional con el propósito de resolver un problema específico de la realidad social y productiva, para el fortalecimiento y aplicación de las competencias profesionales. Estas se realizan en un periodo de 4 a 6 meses acumulando 500 horas y permite a los estudiantes de los últimos semestres desarrollar un proyecto que resuelva una problemática en el ámbito industrial o de servicios, en muchos casos, su primer acercamiento al ámbito laboral.

Para Agudelo y Kurmen (2012) la práctica empresarial es una infinidad de momentos de formación integral, en las que se conjugan la formación académica y desarrollo de competencias a través del trabajo, siendo esta práctica una experiencia organizada y supervisada y cuyo propósito fundamental es desarrollar habilidades y destrezas en el estudiante, para su desarrollo profesional. Por ello a partir del proyecto teórico-práctico el estudiante y la institución educativa establecen una vinculación con el sector empresarial o gubernamental para la participación en el desarrollo de competencias a través de la ejecución de proyectos. Resendiz- Berlanga et al., (2023), señalan que al realizar estas actividades colaborativas y llevar a la práctica los conocimientos teóricos, los estudiantes son capaces de identificar y resolver problemas específicos del sector productivo en donde se encuentran desarrollando la residencia profesional.

Cada proyecto de residencia profesional provee a las empresas de oportunidades y soluciones viables. Además las empresas se benefician de los programas de prácticas al conseguir empleados valiosos y candidatos competentes, en este sentido Rodríguez-Montes y Ortega-Bonfante (2021), mencionan que la relación entre las universidades, las empresas y el estado son la clave para el desarrollo y crecimiento de la sociedad, de esta manera la universidad participa con la formación de profesionales y aporte de conocimientos esenciales, las empresas desde la creación de la riqueza y el estado desde las oportunidades y apoyos. Sin embargo, Martínez y Castro (2022), comentan que en el contexto global los cambios han impactado el desarrollo de la educación superior, entre los desafíos señalan en mejorar la vinculación con los diversos sectores, así como los contenidos teóricos y prácticos con la finalidad de reforzar habilidades y competencias de los estudiantes durante la formación profesional. Para Baert et al., (2021) en un estudio realizado a las prácticas estudiantiles y oportunidades de empleo después de la

graduación, descubrieron que los graduados universitarios con prácticas profesionales tienen mayor probabilidad de ser invitados a una entrevista de trabajo que los estudiantes sin esta experiencia.

Por otro lado, Jaen (2024) señala que las prácticas preprofesionales en agronomía son un pilar fundamental en la formación de los futuros profesionales en este campo, ya que proporcionan una valiosa experiencia práctica que complementa el aprendizaje teórico preparando a los estudiantes para los desafíos del mundo real en el campo agrícola.

El estado de Jalisco México, de acuerdo a la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SEDER, 2023), es el principal productor agrícola y pecuario a nivel nacional. Este hecho conlleva al establecimiento de empresas nacionales y extranjeras en el sector agrícola. La región sur del estado tiene una creciente producción frutícola (Macías y Sevilla, 2024); entre algunos productos agroindustriales de producción se encuentra el aguacate, berries, agave y caña de azúcar. El objetivo de este estudio es realizar un análisis de las tendencias e impacto en la formación de estudiantes de la carrera de ingeniería en innovación agrícola sustentable del Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, unidad Académica Tamazula, ubicada en la región sur del estado de Jalisco, al realizar las residencias profesionales con proyectos generados por las empresas, la universidad asume un rol protagonista en los procesos de desarrollo humano, diseñando y desarrollando estrategias que contribuyen a la construcción de una sociedad más justa. Además, adquiere un compromiso en la promoción del desarrollo sostenible, la justicia social y el desarrollo humano integral.

Metodología

La presente investigación se desarrolló bajo un diseño documental con alcance descriptivo, basado en el análisis de registros institucionales. Su propósito fue identificar y describir las características y tendencias de los proyectos de residencia profesional desarrollados por los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable del Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica Tamazula, Jalisco.

En la residencia profesional, los estudiantes participaron en el desarrollo de un proyecto proporcionado particularmente por empresas agrícolas, centros de investigación

o en esta institución educativa, dependiendo de la elección o disponibilidad de los mismos.

De acuerdo con SIAP (2024), Jalisco es la entidad federativa con mayor superficie sembrada 1,601,767.57 hectáreas entre cultivos de ciclos cíclicos y perennes, también con un mayor valor de la producción de 117,215,952.39 miles de pesos mexicanos (MXN). Consolidándose como un motor clave de la rentabilidad agropecuaria nacional gracias a cultivos de alto valor comercial y de exportación.

En este contexto, el análisis se realizó a partir de una base de datos institucional proporcionada en formato digital por el Área de División de Innovación Agrícola Sustentable de esta institución educativa, que comprende los proyectos de residencia profesional concluidos durante los periodos semestrales de 2018 a 2025, con excepción del año 2020, debido a la ausencia de registros correspondientes a dicho periodo. La población de estudio estuvo integrada por 301 proyectos de residencia profesional elaborados por estudiantes del programa educativo mencionado. A partir de esta información se identificaron y describieron las principales tendencias relacionadas con los cultivos estudiados y las áreas temáticas abordadas.

Estos proyectos fueron clasificados de acuerdo con el cultivo objeto de estudio y el enfoque o área de conocimiento desarrollada. Esta categorización permitió identificar las principales líneas temáticas abordadas, así como los cultivos de mayor atención durante el periodo analizado, proporcionando una caracterización de las tendencias presentes en las residencias profesionales de la carrera de Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable.

Posteriormente, los proyectos fueron agrupados según el cultivo atendido y el área de estudio desarrollada, excluyendo aquellos registros duplicados o con información incompleta. De esta forma, la clasificación se realizó mediante una revisión sistemática de la información contenida en los títulos y registros institucionales de cada proyecto, asignando cada residencia a una sola categoría de cultivo y a una categoría temática predominante, con el propósito de mantener la uniformidad en el análisis.

Debido a que la investigación se sustentó en registros institucionales previamente existentes, no fue necesaria la aplicación de instrumentos adicionales para la recolección de datos.

Como limitación del estudio, el análisis se realizó exclusivamente con información institucional correspondiente a proyectos de residencia profesional desarrollados en un periodo específico, por lo que los resultados reflejan las tendencias observadas en la Unidad Académica Tamazula.

Resultados y Discusión

Los resultados mostraron que los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable de la unidad académica Tamazula, desarrollaron sus residencias profesionales dentro de una diversidad de cultivos agrícolas, destacando algunos por una mayor frecuencia de participación. En la Tabla 1 se muestra la distribución de 22 diferentes cultivos agrícolas, evidenciando que los estudiantes tuvieron una mayor participación en proyectos relacionados al estudio de la frambuesa, aguacate, jitomate, pimiento, arándano, zarzamora y caña de azúcar respectivamente, a su vez cultivos como jícama, papaya, berro e higo presentaron la menor incidencia dentro de los proyectos analizados.

Tabla 1.

Distribución y diversidad de cultivos agrícolas vinculados a las residencias profesionales

Tipo de cultivos	Número de proyectos
Agave	9
Aguacate	72
Arándano	32
Berro	1
Brócoli	1
Caña de azúcar	13
Chile de árbol	3
Chile Habanero	2
Frambuesa	69
Fresa	4
Jícama	1
Jitomate	27
Higo	1
Limón	2
Maíz	7
Papaya	1
Pepino	3
Pitahaya	5
Pimiento morrón	22
Tomate	5

Vid	3
Zarzamora	18
Total 22	301

Fuente: Datos obtenidos de (ITJMMPyH Campus Tamazula)

Estos resultados tienen concordancia con los cultivos de mayor producción en el sur del estado de Jalisco, así mismo los resultados mostraron que el aguacate fue el cultivo con mayor número de proyectos de residencia profesional. De acuerdo a datos de DGSIAP (2025) el cultivo de aguacate ocupó una superficie de siembra de 353,188 hectáreas (has) lo que conlleva a ser el segundo estado productor de aguacate después de Michoacán. La superficie cosechada de aguacate se ha incrementado, al pasar de 13,063 has en 2015 a 28,410 en 2024. La frambuesa representa una superficie sembrada de 62,788 (has) lo que le confiere al estado de Jalisco ser el mayor productor nacional de este fruto, de esta manera se observa el interés del sector productivo por fortalecer áreas relacionadas a la investigación para la producción de estos cultivos.

Los cultivos como jitomate, pimiento, arándano y zarzamora también son de importancia económica en el sur de Jalisco, existen diferentes empresas establecidas en esta zona que permite a los estudiantes vincularse con ellas. En el caso de la caña de azúcar, la vinculación de los estudiantes con este cultivo podría explicarse por la proximidad de la institución educativa a la región de Tamazula de Gordiano, zona caracterizada por una importante actividad cañera y particularmente por la presencia de un ingenio azucarero que genera oportunidades para el desarrollo de residencias profesionales.

El cultivo de maíz ocupa un lugar relevante dentro de la producción agrícola de Jalisco, sin embargo, los resultados mostraron una baja participación de proyectos de residencia profesional enfocados en este sistema productivo. Lo descrito anteriormente podría explicarse por la tendencia de vinculación estudiantil hacia cultivos de exportación y alta rentabilidad económica, donde existe una mayor demanda de asistencia técnica, tecnificación y desarrollo de proyectos especializados. Se puede mencionar un caso similar para el cultivo de agave, ya que Jalisco es líder en la producción de este cultivo.

En contraste, la escasa participación de proyectos vinculados con cultivos como limón, higo, papaya, jícama, berro, brócoli, chile habanero, chile de árbol, entre otros

podría relacionarse con la limitada presencia de unidades productivas especializadas en dichos cultivos dentro de la región de estudio.

Con base en los cultivos en los que los estudiantes desarrollaron sus residencias profesionales, los proyectos fueron analizados de acuerdo con las principales temáticas abordadas. Este análisis de los diferentes proyectos permitió reconocer las áreas de estudio con mayor participación de los estudiantes, destacando temas relacionados con manejo agronómico y fitosanitario, nutrición vegetal, buenas prácticas agrícolas, certificaciones, entre otros. En la tabla 2 se exponen las áreas de estudio de los proyectos de residencia profesional analizados.

Tabla 2.

Identificación de áreas de estudios específicas en proyectos de residencia profesional

Área de estudio	Número de proyectos	Porcentaje (%)
Calidad en frutos	10	3.32
Certificaciones	6	2.00
Control de plagas y enfermedades	115	38.20
Buenas prácticas agrícolas	23	7.64
Evaluación de sustratos	12	3.98
Evaluación de variedades	19	6.31
Inocuidad	8	2.65
Manejo agronómico	63	20.93
Nutrición y fertilización integral	36	11.96
Riego	9	3.00
Total	301	99.99*

Nota: Los porcentajes pueden no sumar exactamente el 100 % debido al redondeo de las cifras decimales.

Fuente: Datos obtenidos de (ITJMMPyH Campus Tamazula)

Los resultados mostrados en la Tabla 2, evidenciaron que el control de plagas y enfermedades fue el principal enfoque de estudio (38.20 %) en los proyectos de residencia profesional, lo que conlleva a exponer la importancia del manejo fitosanitario dentro del sector agrícola de la región. Cabe señalar que el análisis de estos proyectos también aportó información sobre el uso de la aplicación de productos síntesis química y de productos biológicos, entre este último, parasitoides, depredadores o entomopatógenos para reducir las afectaciones de los diferentes organismos fitopatógenos que afectan la producción de los cultivos.

En este sentido Zelaya-Molina et al., (2022) señalan que, debido al continuo crecimiento de la producción mundial, la demanda de la producción de alimentos deberá incrementarse entre 70-100% en los próximos años. De igual forma señalan que la seguridad alimentaria se ve afectada por varios factores, entre ellos los insectos plaga, los cuales actualmente son controlados mediante la aplicación de grandes cantidades de insecticidas sintéticos. Ante esta situación, resulta fundamental promover desde la formación académica estrategias orientadas hacia sistemas de producción de alimentos sustentables y sostenibles a largo plazo. A continuación, se citan algunos ejemplos (Tabla 3) de los proyectos de residencia profesional que formaron parte del desarrollo de una investigación dentro del área del control de plagas y enfermedades particularmente para los cultivos de aguacate y frambuesa:

Tabla 3.

Relación de proyectos del área de estudio control de plagas y enfermedades

Proyectos en cultivo de aguacate	Proyectos en cultivo de frambuesa
Control de <i>Rhizoctonia</i> spp. en el cultivo de aguacate (<i>Persea americana</i> Mill) orgánico.	Comparación de dos métodos de control para la araña roja (<i>Tetranychus urticae</i> Koch) en el cultivo de frambuesa (<i>Rubus idaeus</i> L.)
Evaluación de cepas de <i>Streptomyces</i> para el control de <i>Phytophthora cinnamomi</i> Rand y <i>Fusarium</i> spp. en cultivo de aguacate	Aplicación de <i>Trichoderma viride</i> Pers. para el control de fusarium en el cultivo de frambuesa (<i>Rubus idaeus</i> L.) variedad adelita en Nuevo Poblado de Tuxpan, Jalisco.
Evaluación de fungicidas para el control de antracnosis (<i>Colletotrichum</i> spp.) de aguacate (<i>Persea americana</i> Mill) en postcosecha	Evaluación de Persimilis, <i>Beauveria bassiana</i> y Paecilomyces, como control de araña roja (<i>Tetranychus urticae</i> Koch) en el cultivo de frambuesa (<i>Rubus idaeus</i> L.)

Fuente: Elaboración propia

El manejo integrado agronómico fue la segunda área de estudio con mayor participación (20.93 %) en los proyectos de residencia profesional realizados por los estudiantes. Dicha clasificación se estableció considerando los proyectos cuyos títulos abordaban de manera específica aspectos relacionados con el manejo integrado agronómico de los diferentes cultivos (Tabla 4). Gastesi et al., (2024), mencionan que la agricultura es una actividad esencial para mantener la población humana con vida y que los profesionales y personas dedicadas a la agricultura están aplicando un manejo integrado de cultivos, lo cual necesariamente involucra todos los aspectos de la producción. Esto incluye desde la preparación y manejo del suelo, fertilización y nutrición vegetal, control de plagas, enfermedades y malezas, desarrollo fenológico del

cultivo y la aplicación y monitoreo del riego, así como otros aspectos relacionados a la producción agrícola.

Tabla 4.

Relación de algunos proyectos del área de estudio del manejo agronómico integrado

Proyectos del Manejo Agronómico Integrado en Berries	Proyectos del Manejo Agronómico Integrado en otros cultivos
Manejo Agronómico integrado de la zarzamora (<i>Rubus ulmifolius</i> L.)	Manejo agronómico integrado del cultivo de jitomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) bajo invernadero
Manejo agronómico integrado del cultivo de frambuesa (<i>Rubus idaeus</i> L.) en macrotúneles	Manejo agronómico del cultivo de jitomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) en el ciclo de primavera/verano con la variedad aquiles
Manejo agronómico integrado del arándano (<i>Vaccinium corymbosum</i> L) var. biloxi	Manejo Agronómico Integrado del cultivo de agave azul (<i>Agave tequilana</i> Weber)

Fuente: Elaboración propia

El área de estudio de nutrición y fertilización integral registró un total de 36 proyectos, lo que representó el 11.96% del total de los proyectos de residencia profesional analizados. Partiendo de la importancia de esta área de estudio, la SADER (2023), señala que un suelo sano es un ecosistema vivo y dinámico, lleno de organismos microscópicos y de mayor tamaño que cumplen muchas funciones vitales, entre ellas transformar la materia inerte y en descomposición. Para Lascano-Bello et al., (2021) mencionan que uno de los factores más importantes es la nutrición, debido a que desempeña un papel fundamental durante las diferentes etapas del desarrollo del cultivo. Por ello se emplean soluciones nutritivas balanceadas que permiten satisfacer los requerimientos nutricionales específicos en las etapas de crecimiento vegetativo, floración o fructificación o llenado del fruto.

En este contexto, esta línea de estudio permitió a los estudiantes desarrollar las diferentes herramientas para vincular los conocimientos teóricos y prácticos de acuerdo al cultivo indicado en el proyecto de residencia profesional desarrollado, cabe mencionar que entre los 22 cultivos registrados para su producción se establecen algunos a campo abierto, invernaderos, malla sombra o macrotúneles. A continuación, se enlistan algunos proyectos relacionados a la presente área de estudio expuesta (Tabla 5).

Tabla 5.

Relación de algunos proyectos relacionados al estudio de nutrición y fertilización integral

Proyectos de nutrición y fertilización integral establecidos a campo abierto	Proyectos de nutrición y fertilización integral establecidos bajo invernadero o macrotúneles
Evaluación de dos dosis de fertilización en cultivos de agave vs con la producción tradicional.	Evaluación nutricional en 10 variedades diferentes de jitomate de la genética Nirit bajo condiciones de cultivos protegidos
Aplicación y producción de humus de lombriz en cultivo de aguacate	Producción orgánica del higo (<i>Ficus carica</i> L.) en macrotúnel
Evaluación de diferentes técnicas de fertilización en el desarrollo del cultivo de aguacate (<i>Persea americana</i> Mill.) en el Municipio de Zapotiltic, Jalisco.	Establecimiento nutrimental de frambuesa cultivada en suelo bajo macrotúnel.

Fuente: Elaboración propia

Los proyectos enfocados a las buenas prácticas agrícolas representaron el 7.64 %, esto corresponde a estudios orientados a la implementación de prácticas de producción sustentable, inocuidad alimentaria, manejo adecuado de insumos agrícolas, conservación de recursos naturales, así como el cumplimiento de estándares de calidad en los sistemas de producción agrícola (Tabla 6). En México, el Servicio Nacional de Sanidad Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA), establece que toda operación agrícola debe tener un plan escrito que describa los procedimientos diarios antes y durante la realización de las operaciones desarrolladas, así como la frecuencia con la cual serán conducidas para prevenir la contaminación directa o la adulteración del producto, en la región Sur de Jalisco.

Tabla 6.

Relación de los algunos proyectos relacionados al estudio de la implementación de las buenas prácticas agrícolas

Proyectos de implementación de buenas prácticas agrícolas en cultivos en campo abierto	Proyectos de nutrición y fertilización integral establecidos bajo invernadero o macrotúneles
Asesoramiento de Buenas Prácticas Agrícolas para el Cultivo de Caña (<i>Saccharum officinarum</i> L.)	Implementación de las buenas prácticas agrícolas en cultivo de frambuesa en Rancho de la región de Zapotlán el Grande
Verificación y seguimiento de las BPA para conservar la vigencia de la certificación global G.A.P. y SSRC en el cultivo de aguacate.	Implementación de las buenas prácticas de manufactura en el empaque de Berries
Implementación de las buenas prácticas agrícolas (BPA) en Huerta de Aguacate en el Municipio de San Gabriel, Jalisco.	Implementación de las buenas prácticas agrícolas en cultivo de arándano

Fuente: Elaboración propia

Los proyectos desarrollados para la evaluación de variedades constituyen un objetivo primordial a través de la investigación, desarrollo e innovación para las empresas agroindustriales y biotecnológicas. En este sentido, Ramírez et al., (2016) mencionan que los programas de mejoramiento genético de especies de interés agrícola, realizan la selección de genotipos se realiza considerando rendimiento, resistencia a enfermedades y valor agronómico además de evaluar el comportamiento de dichos parámetros en diversos ambientes durante varios años dentro de una región de potencial adaptación. Los proyectos de residencia profesional correspondientes a esta línea de investigación registraron el 6.29%. Algunos de estos proyectos fueron: evaluación de variedades en cultivos de frambuesa, pimiento, arándano y caña de azúcar, cabe mencionar que dentro de las políticas establecidas por las empresas donde los estudiantes realizaron sus residencias profesionales, no permiten que en el título del proyecto de residencias se registre o señale el nombre de las variedades que se evaluarán.

En los 301 proyectos de residencias profesionales analizados, las áreas de certificación, calidad de fruto y evaluación de sustratos registraron una participación inferior al 4 % cada una. Estos resultados reflejan una limitada presencia de dichas áreas en los proyectos desarrollados, lo que indica que han recibido menor atención dentro de la formación práctica de los estudiantes.

La concentración de proyectos en cultivos de relevancia productiva como aguacate, berries, jitomate y caña de azúcar evidencia una correspondencia entre las temáticas abordadas en las residencias profesionales y las principales actividades productivas del sur de Jalisco. Esta correspondencia, permite observar que las experiencias de residencia se desarrollan en contextos productivos relacionados con las actividades agrícolas de la región, favoreciendo el acercamiento de los estudiantes a las diferentes necesidades, condiciones o problemáticas del sector productivo durante su formación profesional.

Conclusiones

Los resultados evidencian la vinculación de las residencias profesionales con las principales actividades agrícolas de la región y muestran su potencial contribución a la formación profesional y a la vinculación universidad y sector productivo. En este sentido,

los proyectos desarrollados durante las residencias profesionales reflejan características y necesidades del contexto agrícola del sur de Jalisco y proporcionan información relevante para la planeación académica y la identificación de áreas de oportunidad en la formación de futuros Ingenieros en Innovación Agrícola Sustentable.

De esta forma, el predominio de proyectos relacionados con el control de plagas y enfermedades, el manejo agronómico y la nutrición y fertilización integral indica que estas áreas concentran una parte importante de las necesidades técnicas abordadas durante las residencias profesionales. Por otra parte, la menor participación de temas como certificaciones, inocuidad, riego, calidad de frutos y evaluación de sustratos identifica áreas con menor presencia en los proyectos analizados, las cuales podrían considerarse para ampliar futuras líneas de trabajo académico y de investigación.

Los resultados también sugieren que factores como la ubicación geográfica de la institución educativa, la presencia de empresas agrícolas y agroindustriales y la importancia económica de determinados cultivos, pueden influir en la orientación y desarrollo de los proyectos de residencia profesional, al favorecer la disponibilidad de espacios para su desarrollo en los principales sistemas productivos de la región.

Referencias

- Agudelo López, E., y Kurmen Figueroa, R. (2012). *La práctica empresarial como método de enseñanza universitaria: Elemento clave para la competitividad. Suma de Negocios*, 3(1), 149–155.
<https://www.redalyc.org/jatsRepo/6099/609966985007/609966985007.pdf>
- Alvarado Gastesi , J., Cobos Mora , F., Gómez Villalva , J., & Medina Litardo , R. (2024). Manejo integrado de cultivos y desarrollo sostenible. *Magazine De Las Ciencias: Revista De Investigación E Innovación*, 9(1), 22–35.
<https://doi.org/10.33262/rmc.v9i1.3049>
- Baert, S., Neyt, B., Siedler, T., Tobback, I., y Verhaest, D. (2021). *Student internships and employment opportunities after graduation: A field experiment. Economics of Education Review*, 83, 102141. <https://doi.org/10.1016/j.econedurev.2021.102141>

- Bates, G.W., Rixon, A., Carbone, A., & Pilgrim, C. (2019). Beyond employability skills: Developing professional purpose. *Journal of Teaching and Learning for Graduate Employability*, 10(1), 7-26. <https://doi.org/10.21153/jtlge2019vol10no1art794>
- Dirección General del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (DGSIAP). (2025). Panorama agroalimentario 2025. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. https://nube.agricultura.gob.mx/panorama_dgsiap/2025.pdf?utm_source=chatgpt.com
- Jaen Rigaud, X. M. (2024). Formación agronómica: impacto de prácticas preprofesionales. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(2), 1196–1211. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i2.10560
- Sandoval-Castro, E., Lazcano-Bello, M. I., Tornero-Campante, M. A., Hernández-Hernández, B. N., Ocampo-Fletes, I., & Díaz-Ruíz, R. (2021). Evaluación de sustratos, solución nutritiva y enraizador en producción de plántulas de jitomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(1), 77–88. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i1.2450>
- Macias, A., & Sevilla García, Y. (2024). Expansión territorial de la fruticultura agroindustrial en el Sur de Jalisco, México. *Carta Económica Regional*, (134), 179–214. <https://doi.org/10.32870/cer.v0i134.7905>
- Martínez Castañeda, C. Y., & García Castro, I. (2022). Gobernanza universitaria y vinculación académica-empresarial en educación superior: Área de ciencias agropecuarias en Sinaloa-México. *Revista de Ciencias Sociales*, 28, 95–109. <https://doi.org/10.31876/rcs.v28i.38825>
- Quispe Limaylla, A., Victorino Ramírez, L., & Atriano Mendieta, R. Á. (2014). Vinculación de instituciones de educación agrícola superior (IEAS) con sectores productivos: El caso de la residencia profesional en el Instituto Tecnológico del Altiplano de Tlaxcala (ITAT). *Revista de la Educación Superior*, 43 (170), 135–152. <https://doi.org/10.1016/j.resu.2015.02.005>
- Canales Islas, E. I., Tadeo Robledo, M., Mejía Contreras, J. A., García Zavala, J. de J., Espinosa Calderón, A., Castillo González, F., Sierra Macías, M., & Gómez Montiel, N. Estabilidad del rendimiento de grano en híbridos trilineales

- androestériles de maíz para Valles Altos de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(8), 1815–1827. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i8.94>
- Reséndiz, K. B., Mendoza, S. E. B., Navarro, C. C., Zúñiga, R. A., Calderón, J. A. B., y González, J. M. G. (2023). Las residencias profesionales y su contribución a la solución de problemas en la empresa. *South Florida Journal of Development*, 4(7), 2839–2847. <https://doi.org/10.46932/sfjdv4n7-022>
- Rodríguez Montes, D. C., & Ortega Bonfante, J. S. (2021). La relación entre la triple hélice (universidad-empresa-estado) y el trabajo investigativo de los semilleros con noción emprendedora. *Revista Gestión y Desarrollo Libre*, 6(12). <https://doi.org/10.18041/2539-3669/gestionlibre.12.2021.8724>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). (2023). *Se ubican Jalisco, Veracruz y Oaxaca como las entidades con mayor producción agroalimentaria de México*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/se-ubican-jalisco-veracruz-y-oaxaca-como-las-entidades-con-mayor-produccion-agroalimentaria-de-mexico>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2024). Anuario estadístico de la producción agrícola: Cierre de la producción agrícola 1980–2024. https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola
- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA). (2021). Manual de buenas prácticas agrícolas. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://www.gob.mx/senasica/documentos/manual-de-buenas-practicas-agricolas>
- Tecnológico Nacional de México. (2015). Manual de lineamientos académicos administrativos del Tecnológico Nacional de México. Tecnológico Nacional de México. https://www.tecnm.mx/normateca/Direcci%C3%B3n%20de%20Docencia%20e%20Innovaci%C3%B3n%20Educativa/Manual%20Lineamientos%20TecNM%202015/Manual_de_Lineamientos_TecNM.pdf
- Zelaya-Molina, L. X., Chávez-Díaz, I. F., de los Santos-Villalobos, S., Cruz-Cárdenas, C. I., Ruíz-Ramírez, S., & Rojas-Anaya, E. (2022). Control biológico de plagas

en la agricultura mexicana. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13 (27), 69–
79. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i27.3251>

CAPÍTULO 3

Control Biológico como Agrotecnología para Sistemas de Producción Sostenible: Aportes desde la Práctica Profesional en la Ingeniería en Innovación Agrícola

Biological Control as an Agrotechnology for Sustainable Production
Systems: Contributions from Professional Practice in Agricultural
Innovation Engineering

Resumen

El presente capítulo aborda el control biológico como una agrotecnología clave en los sistemas de producción sostenible, a partir de los aportes derivados de las prácticas profesionales realizadas por estudiantes de la Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica Tamazula. El objetivo fue analizar experiencias de aplicación del control biológico desarrolladas durante residencias profesionales, identificando estrategias implementadas, resultados técnicos y competencias fortalecidas.

Metodológicamente, se adoptó un enfoque cualitativo-descriptivo basado en la sistematización de experiencias, mediante el análisis de informes técnicos, bitácoras de campo y reportes de residencia profesional. Los casos abarcan diversos sistemas productivos, incluyendo pimiento morrón, frambuesa, aguacate, limón persa y berries, donde se implementaron estrategias de control biológico bajo esquemas de Manejo Integrado de Plagas (MIP).

Los resultados muestran que la utilización de depredadores, parasitoides y entomopatógenos contribuyó al manejo de poblaciones de plagas, destacando la importancia del monitoreo, la oportunidad de intervención y la adaptación a las condiciones del sistema. Asimismo, la integración de estrategias dentro del MIP favoreció un enfoque de manejo más eficiente y sostenible.

Desde la perspectiva formativa, el análisis de las experiencias permitió identificar el fortalecimiento de competencias técnicas, analíticas y éticas relacionadas con el diagnóstico fitosanitario, la toma de decisiones y la argumentación técnica en contextos reales. En conjunto, las experiencias analizadas muestran que el control biológico constituye una herramienta para el manejo sostenible de plagas y, simultáneamente, un eje formativo que favorece la preparación integral de ingenieros en innovación agrícola.

Palabras clave: Control biológico; Manejo Integrado de Plagas; Sostenibilidad agrícola; Formación profesional; Agrotecnología.

Abstract

This chapter addresses biological control as a key agrotechnology in sustainable production systems, drawing on insights from professional internships undertaken by students of the Sustainable agricultural innovation at the National Technological Institute of Mexico / José Mario Molina Pasquel y Henríquez Institute of Technology, Tamazula Academic Unit. The objective was to analyze biological control application experiences gained during these internships, identifying the strategies implemented, technical outcomes, and competencies strengthened.

Methodologically, a qualitative-descriptive approach based on the systematization of experiences was adopted, involving the analysis of technical reports, field logs, and internship documentation. The cases cover various production systems—including bell pepper, raspberry, avocado, Persian lime, and other berries—where biological control strategies were implemented within Integrated Pest Management (IPM) frameworks.

The results demonstrate that the use of predators, parasitoids, and entomopathogens contributed to pest population management, highlighting the importance of monitoring, timely intervention, and adaptation to specific system conditions. Furthermore, integrating these strategies into IPM fostered a more efficient and sustainable management approach.

From an educational perspective, analyzing these experiences revealed the strengthening of technical, analytical, and ethical competencies related to phytosanitary diagnosis, decision-making, and technical argumentation in real-world contexts. Overall, the analyzed experiences show that biological control serves as both a tool for sustainable pest management and a key educational component that supports the comprehensive training of agricultural innovation engineers.

Keywords: Biological control; Integrated Pest Management; Agricultural sustainability; Professional training; Agrotechnology.

Introducción

En el proceso formativo del estudiante de ingeniería, el desarrollo de prácticas profesionales representa una etapa determinante que transforma su dinámica de aprendizaje. En este sentido, el modelo educativo institucional, centrado en la integración de los saberes: saber conocer, saber hacer y saber ser, encuentra en los contextos reales —como empresas, centros de investigación e instituciones educativas— un espacio propicio para su consolidación. La participación en proyectos vinculados con el control biológico expone al estudiante a una interacción compleja entre el conocimiento teórico adquirido, las propuestas derivadas de su formación académica y los resultados obtenidos en la práctica, lo que incide directamente en la construcción de su identidad profesional (Kolb & Kolb, 2017; Trede et al., 2012).

El uso de organismos benéficos como estrategia de manejo fitosanitario favorece la comprensión de la complejidad inherente a los sistemas agrícolas sostenibles. A partir de la identificación del agente causal de una problemática específica, se procede a la selección del agente biológico más adecuado para su prevención y control, así como al diseño de estrategias que permitan su establecimiento, permanencia y efectividad, manteniendo a la plaga por debajo del umbral de daño económico. Este proceso demanda del estudiante una actitud analítica, reflexiva y sistemática, en la que la evaluación continua de sus decisiones se convierte en un reto tanto personal como profesional (van Lenteren et al., 2018; Heimpel & Mills, 2017).

Conforme avanzan las actividades en campo, los estudiantes experimentan un fortalecimiento progresivo de su confianza profesional. La incertidumbre inicial evoluciona hacia una comprensión más profunda de los procesos productivos y una valoración crítica de las estrategias implementadas. De este modo, la práctica profesional se consolida como un espacio formativo indispensable para interpretar la agricultura sostenible desde una perspectiva aplicada, contextualizada y orientada a la toma de decisiones (FAO, 2020).

Desde el punto de vista ecológico, todos los organismos están expuestos de manera natural a la acción de enemigos naturales. Depredadores, parasitoides y patógenos actúan como reguladores de las poblaciones, constituyendo un mecanismo de control natural; sin embargo, este proceso también puede ser inducido y gestionado por el ser humano, lo que se denomina control biológico aplicado. Dentro de este enfoque, se

reconocen tres estrategias principales: el control biológico clásico, basado en la introducción de enemigos naturales no nativos; el control por conservación, orientado a la protección y promoción de los organismos benéficos presentes en el agroecosistema; y el control aumentativo, que implica la liberación masiva y periódica de agentes biológicos para un control más inmediato. Esta última estrategia constituye el eje central del presente trabajo (van Lenteren et al., 2018).

Por otra parte, el Manejo Integrado de Plagas (MIP) se concibe como un proceso de toma de decisiones orientado a reducir la dependencia de agroquímicos, privilegiando estrategias preventivas y métodos no químicos. Este enfoque reconoce la interacción dinámica entre plaga, cultivo y ambiente, e integra medidas de control genético, etológico, cultural, mecánico, físico, legal y biológico, priorizando estas alternativas antes de recurrir al control químico (Deguine et al., 2021; FAO, 2020).

En este contexto, el presente capítulo tiene como propósito analizar el control biológico como una agrotecnología para sistemas de producción sostenible, a partir de los aportes derivados de las prácticas profesionales de estudiantes de la Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica Tamazula, destacando su contribución en la formación de competencias profesionales orientadas a la sostenibilidad agrícola.

Metodología

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cualitativo de tipo descriptivo, orientado a evidenciar cómo los trabajos de investigación y las prácticas profesionales realizadas por estudiantes de la Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable contribuyen a la generación y fortalecimiento de sistemas de producción sostenibles. Este enfoque permite comprender, desde una perspectiva interpretativa, la relación entre la formación académica y la aplicación práctica del conocimiento en contextos reales (Creswell & Poth, 2018).

El estudio se estructuró en tres etapas metodológicas: recopilación de evidencias, argumentación técnico-científica y análisis técnico de resultados derivados de los trabajos ejecutados.

En la primera etapa, correspondiente a la recopilación de evidencias, se realizó la revisión, selección y sistematización de 469 trabajos desarrollados entre 2014 y 2024, incluyendo informes técnicos, reportes de investigación, tesis, memorias de residencia profesional, bitácoras de campo y otros documentos académicos generados por estudiantes de la Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable. Del total de trabajos revisados, 236 abordaron aspectos relacionados con el control biológico y 106 correspondieron a experiencias desarrolladas en los cultivos considerados dentro del alcance del estudio. Finalmente, se seleccionaron ocho casos, citados en la bibliografía, por documentar con suficiente detalle la implementación de estrategias de control biológico en condiciones reales de producción.

La selección de los casos se realizó considerando la claridad metodológica, la pertinencia de la problemática fitosanitaria abordada, la descripción de las estrategias implementadas y la disponibilidad de información suficiente para realizar un análisis técnico comparativo. Este proceso de sistematización permitió recuperar y organizar el conocimiento generado en contextos aplicados, otorgándole valor académico y favoreciendo su análisis e interpretación dentro del presente estudio (Jara, 2018).

La segunda etapa, denominada argumentación técnico-científica, consistió en la identificación y análisis de los fundamentos biológicos, ecológicos y tecnológicos asociados al uso de agentes de control biológico. A partir de las evidencias recopiladas, se construyó una argumentación sustentada en literatura científica especializada, lo que permitió contextualizar cada experiencia estudiantil dentro del marco de las agrotecnologías sostenibles. Esta etapa facilitó establecer la relación entre los procedimientos implementados, los principios del control biológico y su contribución a sistemas agrícolas de bajo impacto ambiental, en concordancia con los enfoques contemporáneos de manejo integrado de plagas (Deguine et al., 2021; van Lenteren et al., 2018).

La tercera etapa correspondió al análisis técnico de resultados, en la cual se realizó un análisis descriptivo y comparativo de la información reportada en los proyectos y prácticas profesionales seleccionados. Este proceso incluyó la revisión de aspectos como la problemática fitosanitaria abordada, el cultivo involucrado, el agente de control biológico empleado, las estrategias implementadas, los resultados documentados y los ajustes técnicos realizados durante el desarrollo de las experiencias. Debido a que los informes presentaron diferencias en los indicadores evaluados y en la forma de reportar

los resultados, el análisis se realizó considerando la evidencia disponible en cada caso, evitando establecer comparaciones cuantitativas directas entre experiencias no homogéneas. Asimismo, se identificaron los principales alcances y limitaciones descritos en cada experiencia, considerando el contexto particular de implementación de las estrategias de control biológico (Heimpel & Mills, 2017).

Con el propósito de fortalecer la rigurosidad del análisis, la información obtenida de las diferentes fuentes documentales fue contrastada mediante un proceso de triangulación entre informes técnicos, bitácoras de campo y reportes de residencia profesional. Posteriormente, las evidencias fueron organizadas de acuerdo con el cultivo, la problemática fitosanitaria, el agente biológico empleado, las estrategias implementadas y los resultados reportados, lo que permitió identificar patrones comunes, diferencias entre casos y aspectos relevantes de las experiencias analizadas.

Se utilizó ChatGPT como herramienta de apoyo en la redacción, organización y revisión del documento, sin sustituir el análisis crítico, la interpretación de resultados ni la responsabilidad académica del autor.

Resultados y Discusión

El análisis de las prácticas profesionales desarrolladas por estudiantes de la Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable permitió identificar diversas experiencias de aplicación de estrategias de control biológico en sistemas productivos reales. Los casos analizados corresponden a diferentes cultivos y condiciones de producción, donde los estudiantes participaron en actividades relacionadas con el diagnóstico fitosanitario, monitoreo de organismos plaga y benéficos, selección de agentes de control biológico e implementación de estrategias de manejo.

Las experiencias presentaron diferencias asociadas con el cultivo, la problemática fitosanitaria, el agente biológico empleado, las estrategias complementarias utilizadas y las condiciones particulares de cada sistema productivo. Bajo este contexto, el control biológico fue abordado como una estrategia integrada dentro del Manejo Integrado de Plagas (MIP), donde la respuesta observada depende de la interacción entre el organismo benéfico, la plaga objetivo, las condiciones ambientales y las prácticas de manejo implementadas (Deguine et al., 2021; van Lenteren et al., 2018).

Para facilitar la comparación entre experiencias, los casos seleccionados se organizaron considerando los principales elementos técnicos reportados: cultivo, problemática fitosanitaria, agente biológico utilizado, estrategias complementarias, respuesta observada y principales limitaciones o condiciones de respuesta identificadas (Figura 1).

Figura 1.

Síntesis de experiencias de control biológico desarrolladas durante prácticas profesionales

Cultivo	Plaga principal	Agente biológico utilizado	Estrategias complementarias	Respuesta observada	Principales limitaciones
Pimiento morrón (<i>Capsicum annuum</i>)	Pulgones, trips y ácaros	<i>Aphidius colemani</i>	Monitoreo, trampas con melaza y feromonas, seguimiento en campo	Presencia de pulgones momificados y actividad parasitaria; respuesta favorable en pulgones y control observado parcial en otras plagas	Presión continua de infestación y condiciones ambientales variables
Frambuesa (<i>Rubus idaeus</i>)	Araña roja	<i>Amblyseius californicus</i>	Diagnóstico inicial, extractos botánicos y liberación en túneles	Disminución reportada de la población de la plaga y establecimiento del depredador	Importancia del momento de liberación y condiciones del sistema protegido
Aguacate (<i>Persea americana</i>)	Trips	<i>Chrysoperla carnea</i> y <i>Beauveria bassiana</i>	Monitoreo, trampas cromáticas y ajuste de estrategia	Respuesta variable; comportamiento favorable posterior a la integración del agente entomopatógeno	Necesidad de ajustes durante el manejo y respuesta diferencial según la estrategia aplicada
Limón pera (<i>Citrus latifolia</i>)	Mosca blanca y trips	<i>Amblyseius swirskii</i> y <i>Chrysoperla carnea</i>	Muestreo por surcos y seguimiento mediante bitácoras	Disminución reportada de mosca blanca y control observado parcial en trips; presencia de enemigos naturales asociados	Diferencias en la respuesta según la plaga objetivo y las condiciones del cultivo
Otros sistemas (berries, jitomate, chile habanero y arándano)	Diversas plagas	Diferentes agentes biológicos	Manejo integrado, saneamiento, monitoreo y ajustes técnicos	Respuestas favorables condicionadas por el manejo implementado y las condiciones productivas	Influencia del ambiente, manejo previo y compatibilidad con otras prácticas

Fuente: Elaboración propia

La organización de los resultados permitió reconocer patrones comunes entre las experiencias analizadas. En los diferentes sistemas productivos, el monitoreo previo y continuo representó una herramienta fundamental para identificar la presencia de plagas, determinar la necesidad de intervención y ajustar las estrategias implementadas. Asimismo, la selección del agente biológico y el momento de liberación fueron elementos recurrentes asociados con la respuesta observada en campo.

Los casos descritos muestran que el control biológico requiere una implementación dinámica, donde los resultados dependen de múltiples factores del agroecosistema. Más que una estrategia aislada, su aplicación dentro del MIP implica

integrar conocimientos sobre la biología de las plagas, comportamiento de organismos benéficos, condiciones ambientales y prácticas complementarias de manejo.

Las experiencias analizadas correspondieron principalmente a estrategias de control biológico aumentativo, caracterizadas por la liberación planificada de organismos benéficos y el seguimiento de su establecimiento dentro del sistema productivo (Heimpel & Mills, 2017). La respuesta observada en cada caso estuvo relacionada con la interacción entre el agente empleado, la plaga objetivo, el momento de intervención y las condiciones particulares del cultivo.

Desde la perspectiva formativa, las experiencias permitieron identificar la participación de los estudiantes en actividades relacionadas con el diagnóstico fitosanitario, el monitoreo, la interpretación de información de campo, la selección de estrategias de manejo y la comunicación técnica con productores. Estos elementos representan aportaciones dentro del proceso de formación profesional, al vincular el conocimiento académico con problemáticas reales del sector agrícola.

Evidencias en sistemas productivos

○ Pimiento morrón (*Capsicum annuum*)

En este sistema, el estudiante desarrolló un programa integral de monitoreo y control biológico durante el ciclo agrícola 2017 (Pérez Hernández, 2018). El proceso inició con la identificación de plagas clave, incluyendo ácaro blanco, ácaro rojo, trips, mosca blanca y pulgones; se propuso mediante liberación de diferentes individuos tener un control de las plagas en el cultivo (ver Figura 2)

Figura 2.

Liberación de benéficos

Historial de liberaciones					
Fecha de liberación 2017	Nombre del producto	Depredador liberado	Plaga objetivo	Cantidad liberada (botellas)	Total de individuos
28 de julio	SWIRSKI-MITE	<i>Amblyseius swirskii</i>	Acaro blanco	45	2.250.000
1 de agosto	SWIRSKI-MITE	<i>Amblyseius swirskii</i>	Acaro blanco	10	500.000
4 de agosto	SWIRSKI-MITE	<i>Amblyseius swirskii</i>	Acaro blanco	10	500.000
10 de agosto	SWIRSKI-MITE	<i>Amblyseius swirskii</i>	Acaro blanco	72	3.600.000
11 de agosto	SWIRSKI-MITE	<i>Amblyseius swirskii</i>	Acaro blanco	18	900.000
19 de agosto	SPICAL	<i>Neoseiulus californicus</i>	Acaro rojo	40	1.000.000
	THRIPOR-I	<i>Orius insidiosus</i>	Trips/Mosca	4	4.000
	APHIPAR	<i>Aphidius colemani</i>	Pulgón	1	5.000
25 de agosto	THRIPOR-I	<i>Orius insidiosus</i>	Trips/Mosca	40	40.000
8 de septiembre	SPICAL	<i>Neoseiulus californicus</i>	Acaro rojo	30	750.000
	SPIDEX	<i>Phytoseiulus persimilis</i>	Acaro rojo	10	100.000
	APHIPAR	<i>Aphidius colemani</i>	Pulgón	1	5.000
9 de septiembre	SPICAL	<i>Neoseiulus californicus</i>	Acaro rojo	15	375.000
15 de septiembre	SPIDEX	<i>Phytoseiulus persimilis</i>	Acaro rojo	20	200.000
	SPICAL	<i>Neoseiulus californicus</i>	Acaro rojo	30	750.000
	APHIPAR	<i>Aphidius colemani</i>	Pulgón	2	10.000
	CHRYSOPA	<i>Chrysoperla carnea</i>	Pulgón	2	2.000
25 de septiembre	APHIPAR	<i>Aphidius colemani</i>	Pulgón	3	15.000
	CHRYSOPA	<i>Chrysoperla carnea</i>	Pulgón	2	2.000
30 de septiembre	SPICAL	<i>Neoseiulus californicus</i>	Acaro rojo	45	1.125.000
	APHIPAR	<i>Aphidius colemani</i>	Pulgón	3	15.000
6 de octubre	APHIPAR	<i>Aphidius colemani</i>	Pulgón	3	15.000
3 de noviembre	SPICAL	<i>Neoseiulus californicus</i>	Acaro rojo	5	125.000
25 de noviembre	SWIRSKI-MITE	<i>Amblyseius swirskii</i>	Trips/Mosca	40	2.000.000
	SWIRSKI-MITE PLUS	<i>Amblyseius swirskii</i>	Trips/Mosca	4.000	1.000.000
2 de diciembre	SWIRSKI-MITE	<i>Amblyseius swirskii</i>	Trips/Mosca	20	1.000.000
	APHIPAR	<i>Aphidius colemani</i>	Pulgón	2	10.000

Fuente: Elaboración propia

La intervención técnica consistió en:

- Monitoreo sistemático mediante inspección visual y trampas con melaza, con y sin feromonas.
- Identificación de daños específicos en hojas y brotes.
- Liberación dirigida del parasitoide *Aphidius colemani* para el control de pulgones.
- Registro continuo de datos en bitácoras de campo.

La evidencia de actividad de control se observó mediante la presencia de pulgones momificados, lo que indica la ocurrencia de parasitismo por *Aphidius colemani*. En el caso de los pulgones, el informe reportó una respuesta favorable posterior a la liberación

del parasitoide; sin embargo, en trips y ácaros el control observado fue parcial, asociado con la presencia continua de la plaga y las condiciones ambientales durante el periodo de evaluación. Para el monitoreo de palomillas del gusano soldado se utilizaron trampas con melaza con y sin feromonas. Asimismo, el reconocimiento del daño ocasionado por el ácaro blanco en la planta permitió orientar las acciones de manejo, además de documentar la actividad parasitaria de *Aphidius colemani* sobre pulgones (Figura 3).

Figura 3.

*A) Trampas para palomilla sin feromona, B) Trampas para palomillas con feromonas, C) Daño por ácaro blanco, D) adulto de *Aphidius colemani* parasitando a pulgón y pulgones momificados por larva parasitoide (color dorado)*



Fuente: Elaboración propia

Desde el punto de vista formativo, este caso permitió consolidar habilidades en monitoreo, diagnóstico e interpretación de interacciones biológicas, además de evidenciar el impacto negativo del uso indiscriminado de agroquímicos sobre los enemigos naturales.

○ **Frambuesa (*Rubus idaeus*)**

En condiciones de agricultura protegida, el estudiante implementó un programa de control de araña roja mediante control biológico aumentativo (Martínez Sandoval, 2024).

Las actividades incluyeron:

- Diagnóstico inicial por túnel para determinar niveles de infestación.

- Aplicación previa de extractos botánicos para disminuir la población de la plaga.
- Liberación estratégica de ácaros depredadores (*Amblyseius californicus*), con una distribución de 13 sobres por túnel.
- Monitoreo continuo para evaluar establecimiento y eficacia del agente biológico.

Los resultados mostraron una alta efectividad, logrando no solo reducir la población de la plaga, sino mantenerla en niveles bajos durante la fase productiva. Se identificó que el momento de liberación fue determinante para el éxito del control (ver figura 4).

Figura 4.

Daño y control de araña roja en Frambuesa



Fuente: Elaboración propia

Este caso fortaleció competencias en planificación, sincronización de estrategias y evaluación de resultados en campo.

○ **Aguacate (*Persea americana*)**

En este sistema, el estudiante enfrentó una alta incidencia de trips, lo que requirió la implementación de una estrategia integrada (Magaña Sánchez, 2022)

Las acciones realizadas fueron:

- Monitoreo inicial en árboles seleccionados para determinar incidencia.
- Estimación del umbral de daño económico.
- Liberación de *Chrysoperla carnea* como depredador.
- Instalación de trampas cromáticas para seguimiento poblacional.
- Ajuste de la estrategia mediante la aplicación de *Beauveria bassiana* tras un repunte de la plaga.

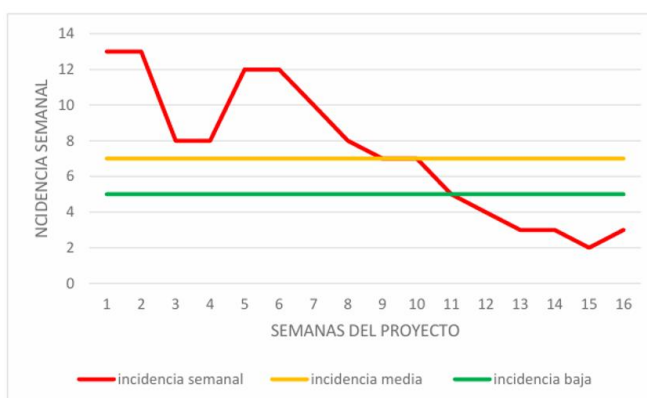
Los resultados evidenciaron una efectividad media inicial, seguida de un control alto tras la integración del hongo entomopatógeno. Este comportamiento evidenció la necesidad de estrategias flexibles y adaptativas (ver Figura 5).

Figura 5.

Monitoreo y control de Trips en aguacate



Fuente: Elaboración propia



Desde la perspectiva formativa, el caso permitió desarrollar habilidades en toma de decisiones, ajuste de estrategias y manejo de incertidumbre en campo.

○ **Limón persa (*Citrus latifolia*)**

En este cultivo, el estudiante diseñó un programa de control biológico basado en monitoreo y umbrales de daño económico (Sánchez Graciliano, 2021).

Las actividades incluyeron:

- Muestreo sistemático por surcos.
- Identificación de plagas: mosca blanca y trips.
- Liberaciones alternadas de *Amblyseius swirskii* y *Chrysoperla carnea*.
- Registro y análisis de datos en bitácoras.

Los resultados mostraron una respuesta favorable en el manejo de mosca blanca, alcanzando niveles bajos de presencia de la plaga, mientras que para trips se observó un control parcial. Asimismo, se registró la presencia de organismos benéficos nativos como *Orius insidiosus*, lo que evidencia la participación de enemigos naturales dentro del sistema productivo y su interacción con la estrategia de manejo implementada.

Este caso destacó la importancia del monitoreo y la diversidad funcional de enemigos naturales en la efectividad del control biológico.

○ **Otros sistemas productivos**

En sistemas de berries, jitomate y chile habanero, se identificaron patrones comunes en la implementación del MIP.

En berries, el saneamiento de fruta infestada permitió una reducción efectiva de plagas como la mosca del vinagre (Zambrano Arzate, 2022). En jitomate, la integración de conocimientos multidisciplinarios permitió abordar problemáticas complejas (Contreras Mendoza, 2017), mientras que en chile habanero se desarrollaron estrategias adaptativas en condiciones protegidas (Mejía Guzmán, 2022).

En el control de trips en arándano mediante *Amblyseius swirskii* y *Orius insidiosus*, se logró un control significativo, aunque condicionado por factores ambientales y residuos de agroquímicos, ver Figura 6 (Araiza Araiza, 2020).

Figura 6.

*Liberación del ácaro *Amblyseius swirskii* y la chinche pirata *Orius insidiosus**



Fuente: Elaboración propia

Los resultados confirman que la efectividad del control biológico depende de factores clave como el momento de intervención, las condiciones ambientales y la adecuada selección de agentes. Asimismo, se evidencia que su implementación requiere un enfoque dinámico y adaptativo, en concordancia con lo reportado en la literatura (van Lenteren et al., 2018; Stenberg et al., 2021).

Desde la perspectiva formativa, las prácticas profesionales favorecen el desarrollo de competencias esenciales:

- Diagnóstico fitosanitario
- Monitoreo y análisis de datos
- Toma de decisiones bajo incertidumbre
- Adaptación a condiciones reales
- Argumentación técnica y ética profesional

Además, la interacción con productores fortalece habilidades de comunicación y liderazgo, fundamentales en el ejercicio profesional.

En conjunto, los resultados evidencian que el control biológico constituye una herramienta que ha arrojado resultados favorables en las experiencias de manejo de plagas analizadas dentro de los sistemas de producción sostenible, siempre que se implemente bajo criterios técnicos adecuados. Paralelamente, su aplicación en prácticas profesionales representa un eje formativo fundamental, al permitir al estudiante consolidar una práctica crítica, fundamentada y orientada a la sostenibilidad agrícola.

Si bien las experiencias analizadas corresponden a diferentes cultivos y condiciones productivas, todas coinciden en que el éxito del control biológico depende de la adecuada integración del monitoreo, la selección del agente biológico, el momento de liberación y el seguimiento técnico posterior. Asimismo, debe reconocerse que las evidencias provienen de experiencias formativas desarrolladas en contextos específicos, por lo que sus resultados no pretenden generalizarse a todos los sistemas agrícolas, sino aportar elementos que orienten futuras intervenciones, investigaciones y procesos de formación profesional.

Conclusiones

Las experiencias desarrolladas durante las residencias profesionales muestran que el control biológico fue implementado en distintos sistemas productivos y condiciones de manejo, obteniéndose respuestas variables de acuerdo con el cultivo, la plaga objetivo, los organismos empleados y las condiciones propias de cada unidad de producción. Lo anterior evidencia que su aplicación debe analizarse dentro del contexto específico de cada sistema agrícola.

En los casos analizados, el monitoreo fitosanitario, el momento oportuno de liberación o aplicación de los agentes de control biológico y su integración con otras prácticas de manejo fueron factores recurrentes asociados con el desarrollo de las estrategias implementadas. Estos elementos constituyen aspectos técnicos relevantes para la toma de decisiones dentro de los programas de Manejo Integrado de Plagas.

Finalmente, las residencias profesionales representaron escenarios de aprendizaje en los que los estudiantes participaron en actividades de diagnóstico, monitoreo y manejo fitosanitario en condiciones reales de producción (Figura 7). Estas experiencias evidencian el potencial de las residencias para fortalecer la vinculación entre la formación académica y el sector productivo; sin embargo, la demostración del desarrollo de

competencias profesionales requiere la aplicación de instrumentos específicos de evaluación que permitan documentar dicho proceso de manera objetiva.

Figura 7.

Estudiantes en Residencias Profesionales



Fuente: Elaboración propia

En conjunto, las experiencias analizadas muestran que las residencias profesionales constituyen un espacio pertinente para la implementación y análisis de estrategias de control biológico en condiciones reales de producción, favoreciendo la vinculación entre la formación académica y las necesidades del sector agrícola. Asimismo, evidencian el potencial del control biológico como una agrotecnología aplicable dentro de esquemas de producción sostenible, cuya implementación depende de las condiciones específicas de cada sistema productivo y de su integración con otras prácticas de manejo.

Referencias

- Araiza Araiza, U. N. (2020). *Control biológico de trips occidental de las flores (Frankliniella occidentalis) en cultivo de arándano variedad Biloxi mediante el uso de ácaro depredador (Amblyseius swirskii) y chinche pirata (Orius insidiosus)*. Informe de residencias profesionales. Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica Tamazula.
- Contreras Mendoza, J. (2017). *Manejo fitosanitario en cultivo de jitomate*. Informe de residencias profesionales. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica Tamazula.
- Deguine, J. P., Aubertot, J. N., Flor, R. J., Lescourret, F., Wyckhuys, K. A. G., & Ratnadass, A. (2021). Integrated pest management: Good intentions, hard realities. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 41, 38. <https://doi.org/10.1007/s13593-021-00689-w>
- Heimpel, G. E., & Mills, N. J. (2017). Biological control: Ecology and applications. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781139029117>
- Magaña Sánchez, R. (2022). *Manejo integrado de trips en cultivo de aguacate*. Informe de residencias profesionales. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica Tamazula.
- Martínez Sandoval, D. (2024). *Control biológico de araña roja en frambuesa*. Informe de residencias profesionales. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica Tamazula.
- Mejía Guzmán, A. (2022). *Producción de chile habanero bajo condiciones protegidas*. Informe de residencias profesionales. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica Tamazula.
- Pérez Hernández, D. (2018). *Control biológico de plagas en pimiento morrón en invernadero*. Informe de residencias profesionales. Tecnológico Nacional de

México/Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica Tamazula.

Ruiu, L. (2018). Microbial biopesticides in agroecosystems. *Agronomy*, 8(11), 235. <https://doi.org/10.3390/agronomy8110235>

Sánchez Graciliano, M. (2021). *Control biológico en cultivo de limón persa*. Informe de residencias profesionales. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica Tamazula.

Stenberg, J. A., Sundh, I., Becher, P. G., Björkman, C., Dubey, M., Egan, P. A., Glinwood, R., Hopkins, R. J., Kabaluk, J. T., Knudsen, G. R., Lindali, B. D., McKee, B., Scheepmaker, J. W. A., Smagghe, G., Sundsboe, A., & Viketoft, M. (2021). When is it biological control? A proposal for clarification in European policies. *Journal of Pest Science*, 94(3), 665–676. <https://doi.org/10.1007/s10340-021-01354-7>

Van Lenteren, J. C., Bolckmans, K., Köhl, J., Ravensberg, W. J., & Urbaneja, A. (2018). Biological control using invertebrates and microorganisms: Plenty of new opportunities. *BioControl*, 63, 39–59.

Zambrano Arzate, J. (2022). *Manejo integrado de plagas en berries*. Informe de residencias profesionales. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica Tamazula.

CAPÍTULO 4

Uso de micorrizas y bacterias promotoras del crecimiento vegetal en jitomate variedad Río Grande: experiencia experimental en el ITJMMPH, Unidad Académica Tamazula

Use of Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Plant Growth-Promoting Bacteria
in Río Grande Tomato: An Experimental Study at ITJMMPH, Unidad
Académica Tamazula

Resumen

El cultivo de jitomate (*Solanum lycopersicum*) constituye uno de los sistemas hortícolas de mayor relevancia en México, especialmente bajo condiciones de agricultura protegida que permiten optimizar la productividad y calidad del fruto. No obstante, la intensificación del sistema productivo ha derivado en un uso excesivo de fertilizantes inorgánicos, generando impactos negativos en el ambiente, la calidad del suelo y la rentabilidad del productor. Ante este escenario, los biofertilizantes emergen como una alternativa sostenible, al incorporar microorganismos benéficos capaces de mejorar la disponibilidad de nutrientes, estimular el crecimiento vegetal y fortalecer la interacción suelo-planta.

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto agronómico de biofertilizantes comerciales en el cultivo de jitomate durante su fase de establecimiento y desarrollo vegetativo bajo condiciones de campo protegido. Se implementó un diseño experimental con cuatro tratamientos: T0 (suelo sin microorganismos), T1 (suelo con microorganismos), T2 (ceniza de caña con microorganismos) y T3 (fibra de coco con microorganismos). Durante un periodo de cinco semanas se analizaron variables morfofisiológicas como altura de planta, diámetro del tallo, dimensiones foliares y biomasa radical.

Los resultados evidenciaron que los tratamientos con biofertilizantes favorecieron significativamente el crecimiento vegetal en comparación con el testigo, destacando el tratamiento T2 por presentar mayor altura, grosor del tallo, desarrollo foliar y acumulación de biomasa radical, así como una menor variabilidad entre individuos. Estos hallazgos sugieren una mejora en la eficiencia de absorción de nutrientes y en el desempeño fisiológico de las plantas.

En conjunto, los resultados indican que la respuesta del cultivo no depende únicamente de la presencia de biofertilizantes, sino de la interacción específica entre el tipo de sustrato y la actividad microbiana. El tratamiento basado en ceniza de caña con microorganismos (T2) mostró un comportamiento consistentemente superior, lo que sugiere condiciones más favorables para la disponibilidad nutrimental y el desarrollo radicular. Este comportamiento evidencia la importancia de integrar enfoques biológicos y edáficos en el manejo del cultivo, más allá de la simple sustitución de insumos. Bajo esta perspectiva, la biofertilización se posiciona como un componente estratégico dentro de sistemas de

producción intensiva orientados a la eficiencia fisiológica y la optimización del crecimiento vegetal.

Palabras clave: Biofertilizantes; *Solanum lycopersicum*; campo protegido; crecimiento vegetativo; sostenibilidad agrícola.

Abstract

Tomato (*Solanum lycopersicum*) cultivation is one of the most important horticultural systems in Mexico, particularly under protected agriculture conditions that enhance productivity and fruit quality. However, production intensification has led to excessive use of inorganic fertilizers, resulting in negative environmental impacts, soil degradation, and increased production costs. In this context, biofertilizers have emerged as a sustainable alternative, incorporating beneficial microorganisms that improve nutrient availability, stimulate plant growth, and strengthen soil-plant interactions.

The objective of this study was to evaluate the agronomic effect of commercial biofertilizers on tomato plants during their establishment and vegetative growth stages under protected field conditions. An experimental design with four treatments was established: T0 (soil without microorganisms), T1 (soil with microorganisms), T2 (sugarcane ash with microorganisms), and T3 (coconut fiber with microorganisms). Morphophysiological variables such as plant height, stem diameter, leaf dimensions, and root biomass were evaluated over a five-week period.

The results showed that biofertilizer treatments significantly enhanced plant growth compared to the control, with treatment T2 showing superior performance in plant height, stem thickness, leaf development, and root biomass accumulation, as well as lower variability among individuals. These findings suggest improved nutrient uptake efficiency and enhanced physiological performance.

Overall, the results indicate that crop response is not solely determined by the presence of biofertilizers, but by the specific interaction between substrate type and microbial activity. The treatment based on sugarcane ash with microorganisms (T2) showed consistently superior performance, suggesting more favorable conditions for nutrient availability and root development. This highlights the importance of integrating biological and edaphic approaches in crop management beyond the mere substitution of

inputs. From this perspective, biofertilization should be considered a strategic component within intensive production systems aimed at improving physiological efficiency and optimizing plant growth.

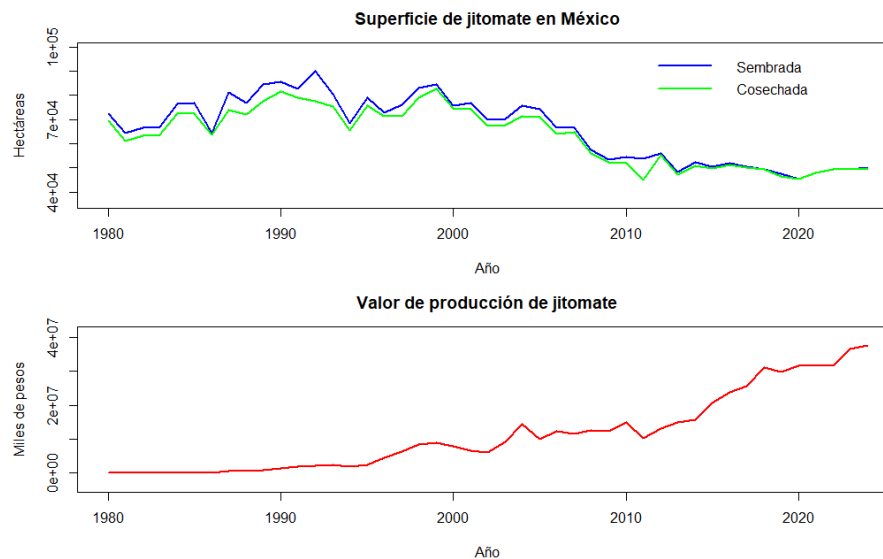
Keywords: Biofertilizers; *Solanum lycopersicum*; protected agriculture; vegetative growth; agricultural sustainability.

Introducción

El jitomate (*Solanum lycopersicum*) constituye uno de los cultivos hortícolas de mayor relevancia a nivel global y, de manera particular, en México, donde su producción representa un componente estratégico tanto para el mercado interno como para la exportación (Figura 1) (SIAP, 2026). Su importancia radica no solo en su valor económico, sino también en su versatilidad agroindustrial y su papel en la alimentación. En las últimas décadas, el desarrollo tecnológico aplicado a la agricultura ha permitido una intensificación del cultivo, destacando la adopción de sistemas de agricultura protegida (Figura 2), los cuales han transformado significativamente los esquemas tradicionales de producción. Estos sistemas, basados en el control parcial o total de variables ambientales como temperatura, humedad relativa, radiación y ventilación, han contribuido a mejorar la eficiencia productiva, reducir riesgos climáticos y elevar la calidad del fruto.

Figura 1.

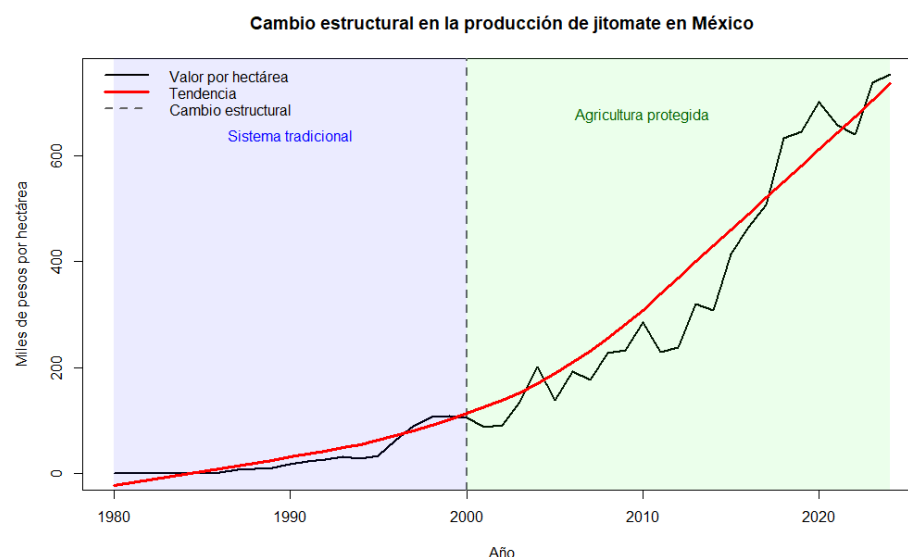
Evolución de la producción nacional de jitomate en México: superficie cultivada (arriba) y valor económico de la producción (abajo) durante el periodo 1980–2024



Fuente: Elaboración propia con datos del SIAP, 2026. La superficie se expresa en hectáreas y el valor de la producción en miles de pesos

Figura 2.

Evidencia de intensificación productiva en el cultivo de jitomate en México: valor de la producción por hectárea y transición hacia agricultura protegida, 1980–2024



Fuente: Elaboración propia con datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), 2026. El valor por hectárea se utiliza como indicador de intensificación productiva. La división temporal es referencial y sugiere el paso de un esquema extensivo a uno tecnificado

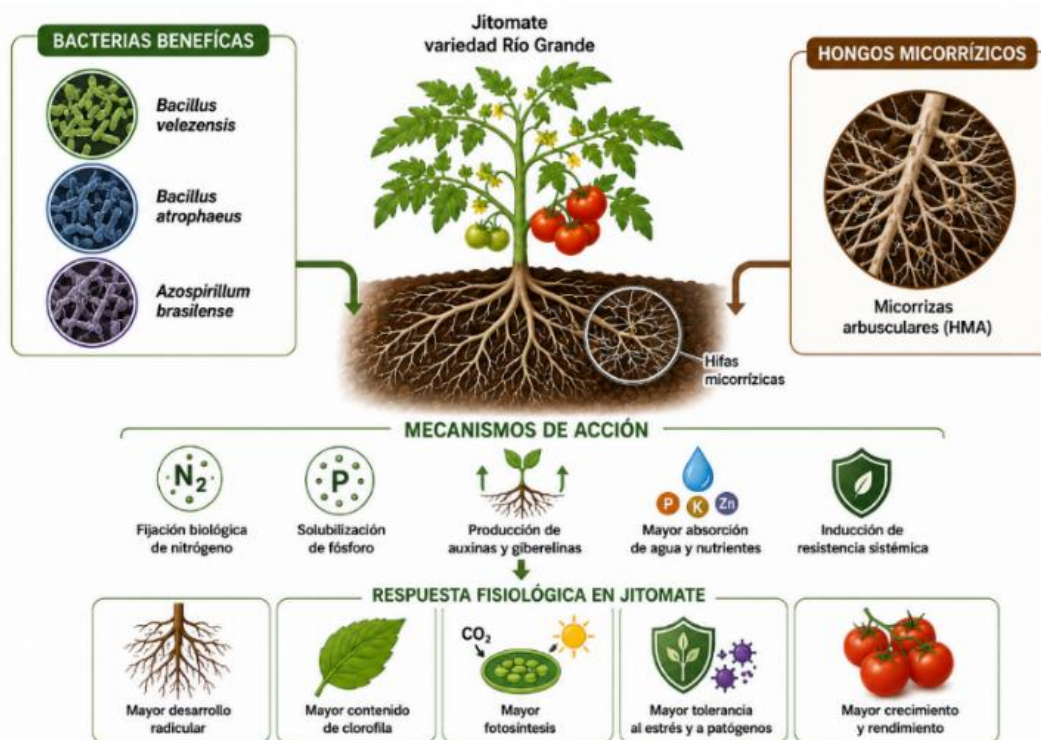
A pesar de estos avances, la intensificación agrícola ha traído consigo una creciente dependencia de insumos químicos, particularmente fertilizantes inorgánicos, cuyo uso excesivo ha generado una serie de problemáticas de carácter ambiental, económico y biológico. Entre los efectos más relevantes se encuentran la lixiviación de nutrientes hacia mantos acuíferos, la acumulación de sales en el suelo, la alteración de la estructura edáfica y la disminución de la biodiversidad microbiana. Estas condiciones no solo comprometen la sostenibilidad del sistema productivo, sino que también incrementan los costos de producción, afectando la rentabilidad del cultivo y la estabilidad económica del productor.

En los últimos años se ha promovido el desarrollo e implementación de alternativas basadas en principios biológicos, entre las cuales destacan los biofertilizantes. Estos productos están constituidos por microorganismos benéficos como bacterias promotoras del crecimiento vegetal y hongos micorrízicos que interactúan con la rizosfera y la raíz de las plantas, generando efectos positivos en la nutrición y el desarrollo vegetal. Entre los mecanismos más importantes asociados a estos microorganismos se encuentran la fijación biológica de nitrógeno, la solubilización de fósforo, la producción de fitohormonas, tales como auxinas, giberelinas y citoquininas, así como la inducción de resistencia sistémica en las plantas (Vessey, 2003; Lugtenberg & Kamilova, 2009; Backer et al., 2018). Estas funciones permiten mejorar la eficiencia en el uso de nutrientes y favorecer un crecimiento más equilibrado y vigoroso.

Sin embargo, la respuesta de los cultivos a la aplicación de biofertilizantes no es uniforme, ya que depende de múltiples factores asociados al sistema de producción. Uno de los más relevantes es el tipo de sustrato utilizado, especialmente en condiciones de agricultura protegida, donde el suelo puede ser sustituido o complementado por materiales alternativos. Sustratos como la fibra de coco, la ceniza de caña o mezclas orgánicas presentan características físicas y químicas particulares, tales como capacidad de retención de agua, porosidad, aireación, pH y contenido de nutrientes, las cuales influyen directamente en la actividad microbiana y en la disponibilidad de elementos esenciales para la planta (Barrett et al., 2016). De esta manera, la interacción entre biofertilizantes y sustratos constituye un factor clave que puede potenciar o limitar los efectos benéficos de la biofertilización.

Figura 3.

*Mecanismos fisiológicos asociados a la interacción de bacterias promotoras del crecimiento vegetal y hongos micorrízicos arbusculares en jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) variedad Río Grande*



Fuente: Elaboración propia

En este contexto, el estudio de las etapas iniciales del cultivo adquiere especial relevancia, ya que durante el establecimiento y el desarrollo vegetativo temprano se definen aspectos fundamentales como el vigor de la planta, la arquitectura del sistema radical y la capacidad de absorción de nutrientes. Un adecuado desarrollo en estas fases se traduce, en etapas posteriores, en un mejor desempeño productivo y una mayor estabilidad frente a condiciones de estrés. Por ello, la evaluación de parámetros morfofisiológicos como altura de planta, diámetro del tallo, desarrollo foliar y biomasa radical permite obtener información clave sobre la respuesta del cultivo a diferentes estrategias de manejo (Bashan et al., 2014; Sánchez-Hernández et al., 2023).

Adicionalmente, el análisis integral de estos parámetros bajo condiciones controladas permite generar evidencia científica que sustente la implementación de prácticas más sostenibles dentro de la agricultura intensiva. En este sentido, la integración de biofertilizantes en sistemas de producción protegida no debe entenderse únicamente

como una sustitución parcial de fertilizantes químicos, sino como un enfoque más amplio orientado a optimizar las condiciones de desarrollo agronómico.

En el presente trabajo se evaluó el efecto de la aplicación de biofertilizantes comerciales en el cultivo de jitomate variedad Río Grande, mediante la implementación de cuatro tratamientos bajo condiciones de campo protegido: un tratamiento testigo sin microorganismos (T0) y tres tratamientos con biofertilizantes (T1, T2 y T3), empleando distintos tipos de sustrato (suelo convencional, ceniza de caña y fibra de coco). Durante un periodo de cinco semanas se analizaron variables morfofisiológicas relacionadas con el crecimiento vegetal, con el objetivo de determinar el tratamiento más eficiente y comprender la interacción entre los factores evaluados.

Metodología

El presente estudio se desarrolló en las instalaciones del Tecnológico Superior de Tamazula, localizado en las coordenadas geográficas 19.687423° N y -103.230130° O, en el municipio de Tamazula de Gordiano, Jalisco, México. La fase experimental se llevó a cabo entre finales del mes de agosto y finales de octubre de 2025, periodo que corresponde a las etapas iniciales de establecimiento y desarrollo vegetativo del cultivo de jitomate bajo condiciones de agricultura protegida (Figura 4).

Figura 4.

Ubicación geográfica del área experimental en las instalaciones del Tecnológico Superior de Tamazula, obtenida mediante imagen satelital



Fuente: Elaboración propia

La investigación se realizó dentro de una estructura de campo protegido con el propósito de minimizar la influencia de factores ambientales externos y proporcionar condiciones más homogéneas para el crecimiento de las plantas. Durante el desarrollo experimental se mantuvo un manejo agronómico convencional, incluyendo riegos periódicos y monitoreo constante de las condiciones del cultivo, con el fin de garantizar una adecuada disponibilidad hídrica y nutricional.

Como material vegetal se emplearon plantas de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) variedad Río Grande, una de las variedades más utilizadas en sistemas de producción hortícola debido a su adaptación a diferentes condiciones agroclimáticas, vigor vegetativo y potencial productivo. Las plantas fueron establecidas en bolsas de cultivo individuales bajo un diseño experimental completamente al azar.

Se evaluaron cuatro tratamientos con el objetivo de analizar la influencia de diferentes sustratos y la aplicación de microorganismos benéficos sobre el crecimiento de las plantas (Figura 5):

T₀: suelo convencional sin aplicación de microorganismos (control).

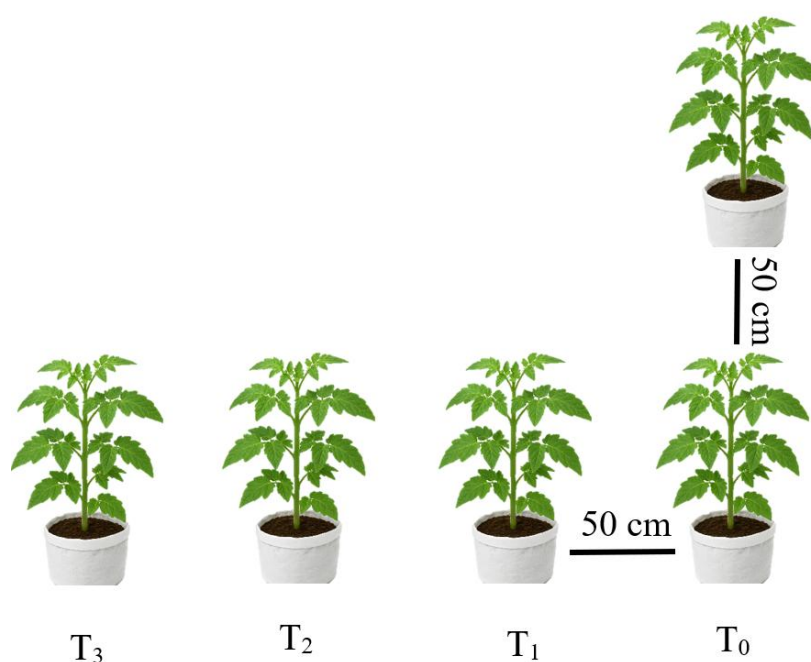
T₁: suelo convencional con aplicación de microorganismos.

T₂: ceniza de caña con aplicación de microorganismos.

T₃: sustrato de fibra de coco con aplicación de microorganismos.

Figura 5.

Organización y separación de los cuatro tratamientos dentro del área de cultivo protegido



Fuente: Elaboración propia

La estrategia de biofertilización consistió en la aplicación conjunta de un consorcio microbiano integrado por hongos micorrízicos arbusculares y el biofertilizante comercial Bactisoil®. La selección de estos microorganismos se fundamentó en su capacidad para promover el crecimiento vegetal mediante mecanismos fisiológicos y bioquímicos que favorecen la absorción de nutrientes, la producción de fitohormonas y la estimulación del sistema radical.

La aplicación de Bactisoil® se realizó de acuerdo con las recomendaciones del fabricante para formulaciones líquidas, utilizando concentraciones entre 3 y 5 mL L⁻¹ de agua. Por su parte, las micorrizas se incorporaron en dosis de 3 a 5 g por planta,

procurando su contacto directo con la zona radicular para favorecer la colonización temprana de las raíces.

La nutrición mineral complementaria se efectuó mediante fertilizantes solubles aplicados de acuerdo con los requerimientos fisiológicos del cultivo en cada etapa fenológica. El programa de fertilización consideró las necesidades nutricionales propias del crecimiento vegetativo inicial, priorizando el suministro balanceado de nitrógeno, fósforo, potasio y micronutrientes esenciales para asegurar un desarrollo adecuado de las plantas.

Con la finalidad de determinar la respuesta de las plantas a los tratamientos evaluados, se realizaron mediciones periódicas de variables morfológicas y fisiológicas asociadas al crecimiento vegetativo. Las evaluaciones se efectuaron a los 14, 21, 28 y 35 días después del establecimiento de las plantas. La altura de planta se determinó utilizando una cinta métrica graduada, registrando la distancia desde la base del tallo hasta el ápice vegetativo. Esta variable constituye uno de los principales indicadores del vigor y capacidad de crecimiento de las plantas durante las primeras etapas de desarrollo. El diámetro del tallo se midió mediante un vernier digital de precisión. Este parámetro se considera un indicador indirecto de la capacidad estructural de la planta y de la acumulación de biomasa vegetal. Tallos con mayor grosor generalmente presentan una mejor capacidad de transporte de agua y nutrientes, además de una mayor resistencia mecánica. Las dimensiones foliares fueron determinadas mediante la medición del largo y ancho de la hoja completamente desarrollada de cada planta. Estas variables permiten estimar indirectamente la superficie fotosintética disponible y constituyen indicadores relevantes del estado nutricional y fisiológico del cultivo (Figura 6).

Figura 6.

Mediciones morfológicas realizadas en plantas y hojas de jitomate (Solanum lycopersicum L.) variedad Río Grande



Fuente: Elaboración propia

Al término del periodo experimental se realizó una evaluación destructiva de las plantas para determinar el desarrollo del sistema radical. Las raíces fueron cuidadosamente extraídas y sometidas a un proceso de lavado para eliminar residuos de suelo o sustrato adheridos. Posteriormente se determinó el peso fresco de raíces utilizando una balanza digital de precisión. Esta variable es particularmente importante debido a que refleja la capacidad de exploración del suelo y la eficiencia potencial para la absorción de agua y nutrientes.

Los datos obtenidos durante las diferentes evaluaciones fueron organizados y analizados mediante estadística descriptiva. Para cada variable se calcularon la media aritmética, desviación estándar, coeficiente de variación, valores máximos y mínimos, así como el número de observaciones correspondientes a cada tratamiento.

Los resultados fueron expresados como media $\pm$ desviación estándar con el propósito de describir la tendencia central y la dispersión de los datos observados. Adicionalmente, se calculó el coeficiente de variación para estimar el grado de uniformidad de las plantas dentro de cada tratamiento, permitiendo identificar diferencias en la consistencia de respuesta asociadas a los distintos sustratos evaluados.

El presente estudio evaluó únicamente la fase inicial de establecimiento y crecimiento vegetativo del cultivo durante cinco semanas bajo condiciones de agricultura

protegida. En consecuencia, los resultados obtenidos no incluyen variables relacionadas con floración, rendimiento o calidad de fruto, por lo que futuras investigaciones deberán ampliar la evaluación hacia etapas fenológicas posteriores.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos de las variables morfológicas del cultivo de jitomate variedad Río Grande fueron organizados en una base de datos y analizados mediante procedimientos de estadística descriptiva e inferencial. Para cada tratamiento se calcularon la media aritmética, desviación estándar, coeficiente de variación, valores mínimos y máximos, con el fin de caracterizar la tendencia central y la dispersión de los datos observados. El experimento se estableció bajo un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos (T_0 , T_1 , T_2 y T_3). Para determinar el efecto de los tratamientos sobre las variables evaluadas al día 35 después del establecimiento, se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía, considerando el tratamiento como factor de estudio.

Las variables analizadas fueron altura del tallo, diámetro del tallo, longitud de hoja y anchura de hoja. Cuando el ANOVA mostró diferencias significativas ($p < 0.05$), se realizó una prueba de comparación múltiple de medias de Tukey (HSD) para identificar específicamente entre qué tratamientos se presentaron dichas diferencias. Los resultados se expresaron como media $\pm$ desviación estándar, reportando además los valores del estadístico F y la probabilidad asociada (p) para cada variable evaluada. Debido a la mortalidad de algunas plantas durante el periodo experimental, el número de observaciones disponibles no fue uniforme entre tratamientos, por lo que el análisis se realizó utilizando el tamaño de muestra efectivo correspondiente a cada tratamiento.

La biomasa radical determinada mediante peso fresco de raíces se analizó únicamente mediante estadística descriptiva, considerando media, desviación estándar, coeficiente de variación y rango de valores, sin realizar análisis inferencial para esta variable. Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software RStudio versión 2024.12.0 (Posit Software, PBC, Boston, MA, EE. UU.), empleando el lenguaje de programación R versión 4.4.1 para el procesamiento de datos, la ejecución del análisis de varianza (ANOVA), la prueba de comparación múltiple de Tukey y la obtención de los estadísticos descriptivos. Se trabajó con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$ (R Core Team, 2025; Posit Software, PBC, 2024).

Resultados y Discusión

Crecimiento longitudinal del tallo

La dinámica de crecimiento del eje caulinar principal mostró diferencias evidentes entre tratamientos desde las primeras etapas de evaluación. El tratamiento T₂ (ceniza de caña con microorganismos) presentó consistentemente los mayores valores de altura durante todo el periodo experimental. A los 35 días después del establecimiento alcanzó una altura promedio de 642.4 ± 146.4 mm, superando a T₁ (571.7 ± 106.7 mm), T₃ (544.1 ± 101.0 mm) y al tratamiento control T₀ (530.9 ± 58.6 mm). Estos resultados sugieren que la combinación de microorganismos y ceniza de caña favoreció el crecimiento vegetativo mediante una mayor disponibilidad de nutrientes y una posible estimulación hormonal del desarrollo (Tabla 1).

Tabla 1.

Dinámica de crecimiento longitudinal del eje caulinar principal

Día	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃
7	60.3 ± 18.9	71.1 ± 18.6	89.5 ± 23.3	56.8 ± 16.1
14	112.3 ± 19.5	124.2 ± 25.0	164.6 ± 46.5	104.1 ± 19.2
21	208.6 ± 176.3	189.6 ± 56.8	268.0 ± 70.8	159.5 ± 24.9
28	416.8 ± 76.2	455.8 ± 88.7	492.3 ± 106.8	380.5 ± 70.0
35	530.9 ± 58.6	571.7 ± 106.7	642.4 ± 146.4	544.1 ± 101.0

Fuente: Elaboración propia. Nota: Parámetros estadísticos: Media $\pm$ Desviación Estándar; n = 20-27 plantas/tratamiento. Las mediciones son milímetros.

Desarrollo del diámetro del tallo

El diámetro basal del tallo mostró una tendencia similar a la observada para la altura. Durante las primeras tres semanas, el tratamiento T₂ registró los mayores valores, alcanzando 4.60 ± 0.90 mm a los 21 días. Un mayor diámetro de tallo generalmente se relaciona con una mejor capacidad de transporte de agua y nutrientes, así como con una mayor resistencia mecánica de la planta (Tabla 2).

Tabla 2.

Desarrollo del diámetro basal del tallo primario

Periodo de Evaluación (día)	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃
7	0.95 ± 0.48	1.67 ± 0.64	1.77 ± 0.48	0.50 ± 0.03
14	1.86 ± 0.73	2.42 ± 0.84	3.35 ± 0.94	1.07 ± 0.44
21	3.23 ± 0.88	3.71 ± 0.97	4.60 ± 0.90	2.75 ± 0.90
28	5.55 ± 0.70	5.29 ± 0.86	5.62 ± 0.86	4.86 ± 0.84
35	5.64 ± 0.89	5.50 ± 1.29	5.46 ± 1.41	5.05 ± 0.92

Fuente: Elaboración propia. *Nota:* Parámetros estadísticos: Media ± Desviación Estándar; n = 20-27 plantas/tratamiento. Las mediciones son milímetros.

Desarrollo foliar

El desarrollo de las hojas constituye un indicador indirecto de la capacidad fotosintética de las plantas. Los tratamientos inoculados mostraron una tendencia favorable respecto al control. Particularmente, T₂ presentó los mayores valores de longitud y anchura foliar durante gran parte del estudio, lo que indica una mayor área de captura de luz y potencial fotosintético (Tabla 3).

Tabla 3.

Desarrollo foliar en los diferentes sustratos

Parámetro Foliar	Periodo de Evaluación (día)	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃
Longitud del Limbo	7	21.4 ± 7.1	24.7 ± 7.9	35.4 ± 11.8	18.0 ± 6.5
	14	45.4 ± 9.6	52.0 ± 16.1	64.9 ± 19.8	34.5 ± 8.9
	21	68.1 ± 17.1	70.8 ± 17.4	86.6 ± 31.6	58.3 ± 14.9
	28	116.2 ± 13.9	103.0 ± 24.2	102.7 ± 27.5	100.1 ± 25.2
	35	112.2 ± 17.5	99.5 ± 27.5	99.9 ± 37.7	114.9 ± 24.2
Anchura Máxima	7	10.4 ± 3.4	13.7 ± 3.6	18.3 ± 4.7	9.5 ± 3.6
	14	22.1 ± 4.8	26.4 ± 9.1	34.7 ± 40.1	17.4 ± 7.8
	21	32.4 ± 7.5	33.0 ± 9.0	40.7 ± 17.1	28.6 ± 13.3
	28	52.5 ± 7.1	47.9 ± 10.7	50.4 ± 12.6	46.0 ± 23.6

35	48.9 ± 9.7	44.7 ± 12.5	108.5 ± 64.6**	51.1 ± 26.7
----	------------	-------------	----------------	-------------

Fuente: Elaboración propia. Nota: Parámetros estadísticos: Media ± Desviación Estándar; n = 20-27 plantas/tratamiento. Las mediciones son milímetros.

Biomasa radical

El peso fresco de raíces fue una de las variables que mejor reflejó el efecto de los tratamientos. El tratamiento T₂ presentó la mayor biomasa radical promedio (8.88 g), mientras que T₁ registró el menor valor (2.43 g). El desarrollo de un sistema radical más extenso puede favorecer la absorción de agua y nutrientes, contribuyendo al crecimiento general de la planta (Tabla 4).

Tabla 4.

Biomasa del sistema radical - peso fresco post-cosecha.

Estadístico Descriptivo	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃
Media aritmética (g)	6.76	2.43	8.88	3.64
Desviación Estándar	2.76	1.16	6.12	2.18
Coefficiente de Variación (%)	40.8	47.7	68.9	59.9
Rango (g)	1.2 - 12.4	0.8 - 4.7	1.07 - 30.27	0.71 - 8.00
n (plantas)	20	24	25	21

Fuente: Elaboración propia

Comparación integral de los tratamientos evaluados y resultados de ANOVA

Tabla 5.

Análisis de varianza y comparación de tratamientos para las variables morfológicas del jitomate al día 35

Variable evaluada	F	p	¿Existen diferencias significativas?	Tratamientos que presentaron diferencias
Altura del tallo (mm)	4.736	0.004	Sí	$T_2 > T_0$ y $T_2 > T_3$
Diámetro del tallo (mm)	0.980	0.406	No	No se encontraron diferencias
Longitud de hoja (mm)	1.817	0.150	No	No se encontraron diferencias
Anchura de hoja (mm)	15.898	<0.001	Sí	$T_2 > T_0, T_1$ y T_3

Fuente: Elaboración propia. Nota: Se realizó un ANOVA de una vía con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$. Cuando el ANOVA mostró diferencias significativas, se realizó la prueba de comparación múltiple de Tukey para identificar entre qué tratamientos se presentaron dichas diferencias. El símbolo > indica que el tratamiento presentó un valor promedio significativamente mayor que el tratamiento indicado.

Tratamientos: T_0 = suelo sin inoculación de microorganismos (control); T_1 = suelo + microorganismos benéficos; T_2 = ceniza de caña de azúcar + microorganismos benéficos; T_3 = fibra de coco + microorganismos benéficos.

La evaluación conjunta de las variables morfológicas permitió identificar diferencias en la respuesta del cultivo de jitomate variedad Río Grande a los tratamientos evaluados. El análisis de varianza mostró que las diferencias entre tratamientos fueron estadísticamente significativas para la altura del tallo ($F = 4.736$; $p = 0.004$) y la anchura de hoja ($F = 15.898$; $p < 0.001$). En contraste, para el diámetro del tallo ($F = 0.980$; $p = 0.406$) y la longitud de hoja ($F = 1.817$; $p = 0.150$) no se detectaron diferencias significativas entre tratamientos. Por lo tanto, las diferencias numéricas observadas en estas últimas variables deben interpretarse como tendencias descriptivas y no como efectos estadísticamente demostrados.

En particular, el tratamiento T_2 (ceniza de caña con microorganismos) presentó los mayores valores promedio de altura y anchura foliar al día 35. Para la altura del tallo, la prueba de comparación múltiple de Tukey mostró diferencias significativas entre T_0 y

T₂, así como entre T₂ y T₃, mientras que las demás comparaciones no presentaron diferencias significativas. Para la anchura de hoja, T₂ presentó diferencias significativas respecto a T₀, T₁ y T₃. Estos resultados indican que la respuesta favorable de T₂ fue particularmente evidente en determinadas características de crecimiento, principalmente altura y desarrollo transversal de las hojas.

El incremento observado en la altura de planta en T₂ podría estar relacionado con una mayor disponibilidad de nutrientes y con mecanismos de promoción del crecimiento asociados con los microorganismos utilizados. Las bacterias promotoras del crecimiento vegetal pueden producir compuestos relacionados con la regulación hormonal, incluyendo auxinas, giberelinas y citoquininas, que participan en procesos de división y elongación celular. Sánchez-Hernández et al. (2023) reportaron incrementos en altura y biomasa de plantas de jitomate inoculadas con *Azospirillum brasilense* y hongos micorrízicos arbusculares, relacionando esta respuesta con una mayor eficiencia en la adquisición de nutrientes y la estimulación del crecimiento vegetal.

Por otra parte, aunque T₂ presentó numéricamente el mayor diámetro de tallo, el ANOVA no detectó diferencias significativas para esta variable. Por ello, no es posible afirmar que la combinación de ceniza de caña y microorganismos haya producido un incremento estadísticamente comprobado en el diámetro del tallo. La tendencia observada podría estar relacionada con una mayor disponibilidad de nutrientes, particularmente fósforo, y con una mejor exploración del sustrato por las hifas de los hongos micorrízicos; sin embargo, esta interpretación debe considerarse como una posible explicación biológica y no como un efecto demostrado estadísticamente en el presente experimento.

De manera similar, la longitud de hoja no presentó diferencias significativas entre tratamientos ($p = 0.150$). Aunque T₂ mostró un valor promedio numéricamente mayor, esta diferencia no fue suficiente para establecer un efecto estadístico del tratamiento. En cambio, la anchura de hoja sí presentó diferencias altamente significativas ($p < 0.001$), siendo T₂ el tratamiento con mayor valor promedio y el único que mostró diferencias significativas respecto de los tres tratamientos restantes. Este resultado sugiere una respuesta diferencial del desarrollo foliar, en la que el efecto del tratamiento fue más evidente sobre la expansión transversal de las hojas que sobre su longitud.

El desarrollo del sistema radical también constituye un indicador importante de la respuesta de las plantas. La combinación de microorganismos promotores del crecimiento

y sustratos alternativos podría favorecer la exploración del medio y la adquisición de agua y nutrientes. En particular, los hongos micorrízicos arbusculares pueden incrementar la superficie efectiva de exploración mediante sus hifas extrarradicales y favorecer la adquisición de nutrientes poco móviles, especialmente fósforo. Smith y Read (2008) señalan que la asociación micorrízica puede favorecer la transferencia de nutrientes entre el hongo y la planta. No obstante, las interpretaciones sobre la biomasa radical deben presentarse como tendencias descriptivas si no se cuenta con un ANOVA específico para esta variable.

El comportamiento observado en T₁ indica que la inoculación microbiana bajo suelo convencional puede asociarse con cambios favorables en algunas características del crecimiento. Sin embargo, los resultados estadísticos obtenidos muestran que estos cambios no fueron uniformes para todas las variables evaluadas. Esto refuerza la importancia de considerar tanto las características del sustrato como la respuesta específica de cada variable morfológica.

En contraste, el tratamiento T₃ presentó una respuesta más variable. La variabilidad observada puede estar relacionada con las características físicas de la fibra de coco, particularmente su capacidad de retención de agua y su baja densidad aparente, condiciones que pueden modificar el ambiente de la rizosfera y la disponibilidad de oxígeno. Barrett et al. (2016) han señalado que las propiedades físicas de los sustratos pueden influir en el crecimiento vegetal y en las condiciones de la zona radical.

En conjunto, los resultados indican que T₂ presentó la respuesta más favorable para determinadas variables de crecimiento, particularmente altura del tallo y anchura foliar, pero no puede afirmarse que haya sido estadísticamente superior para todas las características evaluadas. El ANOVA demuestra que el efecto de los tratamientos dependió de la variable morfológica considerada. Por ello, los resultados respaldan una respuesta diferencial del cultivo a la combinación de microorganismos y sustrato, más que un efecto generalizado de biofertilización sobre todas las variables de crecimiento.

Finalmente, la mortalidad de algunas plantas durante el periodo experimental ocasionó una reducción del número de observaciones disponibles en las evaluaciones posteriores, por lo que el tamaño muestral varió entre tratamientos.

Esta condición debe considerarse en la interpretación de los resultados. A pesar de esta variación, los análisis realizados con las observaciones disponibles permitieron

identificar diferencias estadísticas para altura y anchura foliar al final del periodo de evaluación.

Figura 7.

Desarrollo vegetativo de plantas de jitomate durante la quinta semana de crecimiento



Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

Los resultados obtenidos demostraron que la respuesta del cultivo de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) variedad Río Grande estuvo influenciada tanto por la inoculación con microorganismos benéficos como por las características del sustrato utilizado. La interacción entre estos factores generó diferencias significativas en el crecimiento vegetativo y desarrollo del sistema radical durante las primeras etapas de establecimiento del cultivo.

El tratamiento conformado por ceniza de caña inoculada con micorrizas y bacterias promotoras del crecimiento vegetal (T₂) presentó el mejor desempeño agronómico integral, registrando los mayores valores de altura de planta, diámetro de tallo, dimensiones foliares y biomasa radical. Estos resultados sugieren que dicho sustrato proporcionó condiciones favorables para la actividad microbiana y la disponibilidad de nutrientes, potenciando los mecanismos fisiológicos asociados a la biofertilización.

La inoculación con microorganismos benéficos favoreció el crecimiento vegetal respecto al tratamiento control, evidenciando el potencial de las micorrizas arbusculares

y las bacterias promotoras del crecimiento para mejorar la eficiencia en la absorción de nutrientes y estimular el desarrollo de estructuras vegetativas. La mayor biomasa radical observada en los tratamientos inoculados indica una mejor capacidad de exploración del sustrato y una mayor eficiencia potencial en la captación de agua y nutrientes.

Aunque el tratamiento con fibra de coco inoculada (T₃) mostró individuos con crecimiento adecuado, presentó una elevada variabilidad entre plantas y un menor desempeño general, lo que sugiere que las características físicas del sustrato pueden influir considerablemente en la eficacia de los microorganismos aplicados.

Los resultados obtenidos respaldan la utilización de estrategias de biofertilización basadas en microorganismos benéficos como una alternativa viable para disminuir la dependencia de fertilizantes químicos convencionales y promover sistemas de producción más sostenibles. Asimismo, evidencian la importancia de seleccionar adecuadamente el sustrato de cultivo para maximizar los beneficios derivados de la interacción planta-microorganismo.

Finalmente, la combinación de ceniza de caña con micorrizas y bacterias promotoras del crecimiento vegetal se perfila como una alternativa prometedora para mejorar el establecimiento y desarrollo inicial del cultivo de jitomate bajo condiciones de agricultura protegida. No obstante, se recomienda realizar estudios complementarios durante las etapas de floración, fructificación y rendimiento para determinar si los beneficios observados durante el crecimiento vegetativo se traducen en incrementos significativos en la producción y calidad de fruto.

Referencias

- Backer, R., Rokem, J. S., Ilangumaran, G., Lamont, J., Praslickova, D., Ricci, E., Subramanian, S., & Smith, D. L. (2018). Plant growth-promoting rhizobacteria: Context, mechanisms of action, and roadmap to commercialization of biostimulants for sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1473. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01473>
- Barrett, G. E., Alexander, P. D., Robinson, J. S., & Bragg, N. C. (2016). Achieving environmentally sustainable growing media for soilless plant cultivation systems. *Scientia Horticulturae*, 212, 220–234. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.09.030>
- Bashan, Y., de-Bashan, L. E., Prabhu, S. R., & Hernandez, J.-P. (2014). Advances in plant growth-promoting bacterial inoculant technology: Formulations and practical perspectives (1998–2013). *Plant and Soil*, 378, 1–33. <https://doi.org/10.1007/s11104-013-1956-x>
- Begum, N., Qin, C., Ahanger, M. A., Raza, S., Khan, M. I., Ashraf, M., Ahmed, N., & Zhang, L. (2019). Role of arbuscular mycorrhizal fungi in plant growth regulation: Implications in abiotic stress tolerance. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1068. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01068>
- Lugtenberg, B., & Kamilova, F. (2009). Plant-growth-promoting rhizobacteria. *Annual Review of Microbiology*, 63, 541–556. <https://doi.org/10.1146/annurev.micro.62.081307.162918>
- Posit Software, PBC. (2024). *RStudio: Integrated development environment for R* (Version 2024.12.0) [Software]. <https://posit.co/download/rstudio-desktop/>
- R Core Team. (2025). *R: A language and environment for statistical computing* (Version 4.4.1) [Software]. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- Sánchez-Hernández, G. A., Aceves-Ruiz, E., Aparicio-Juárez, A., Guerrero-Rodríguez, J. D., Olvera-Hernández, J. I., Hernández-Salgado, J. H., & Álvarez-Calderón, N. M. (2023). Fertilización química e inoculación con *Azospirillum* y hongos micorrízicos en el cultivo de jitomate en invernadero. *Terra Latinoamericana*, 41, 1-15. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.991>

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2026). *Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON)*. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://www.gob.mx/siap>

Smith, S. E., & Read, D. J. (2008). *Mycorrhizal symbiosis* (3rd ed.). Academic Press. <http://doi.org/10.1016/B978-0-12-370526-6.X5001-6>

Vessey, J. K. (2003). Plant growth-promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil*, 255(2), 571–586. <https://doi.org/10.1023/A:1026037216893>

CAPÍTULO 5

Aplicación de Herramientas SIG en la Evaluación Preliminar de Cultivos para la Siembra en Zapotiltic, Jalisco

Application of GIS Tools in the Preliminary Evaluation of Crops for Planting
in Zapotiltic, Jalisco

Resumen

En la actividad agrícola, muchas decisiones importantes continúan basándose en la experiencia personal o en prácticas tradicionales de la región, sin recurrir a un análisis territorial sistemático previo. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG), particularmente el visor MDM6 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), ofrecen una alternativa accesible para complementar dicha experiencia con información clara, visual y actualizada sobre las características del terreno.

El objetivo de este trabajo fue evaluar la compatibilidad edafotérmica preliminar de diez cultivos de interés agrícola en el municipio de Zapotiltic, Jalisco, mediante las capas de tipo de suelo y temperatura media anual disponibles en MDM6. El procedimiento consistió en seleccionar el municipio como área de estudio, consultar dichas capas dentro de la plataforma y comparar los valores obtenidos con los requerimientos edáficos y térmicos reportados en la literatura para cada cultivo.

Los resultados muestran que maíz, frijol y aguacate presentaron la mayor compatibilidad preliminar con las condiciones edafotérmicas del municipio, mientras que arroz y café presentaron la menor, principalmente por la falta de coincidencia con los tipos de suelo predominantes en la zona. Este análisis permite identificar de manera práctica cultivos con mayor o menor potencial de desarrollo en el municipio, sin necesidad de una visita de campo previa.

Dado que el estudio se limitó a dos variables (suelo y temperatura media anual), los resultados constituyen una aproximación inicial y no una determinación definitiva de viabilidad agronómica, ya que no se consideraron otros factores relevantes como disponibilidad hídrica, pendiente, riesgo de heladas o propiedades físico-químicas del suelo. Se recomienda complementar este análisis con estudios de campo y con capas adicionales de MDM6 antes de tomar decisiones de siembra.

Palabras clave: agricultura de precisión, MDM6, análisis espacial, selección de cultivos.

Abstract

In agricultural activities, it is common for many important decisions to be based on personal experience or on what has traditionally worked in a region. However, there are now tools that allow producers to analyze the land with much more precision before

deciding where to plant a crop. This chapter shows how the use of Geographic Information Systems, especially through INEGI's MDM6 viewer, can improve agricultural decision-making by providing clear, visual, and updated information about the characteristics of a given area.

The main objective was to demonstrate that, even without advanced knowledge of cartography or specialized software, it is possible to consult layers such as soil types, slope, elevation, water availability, climate, and current land use to evaluate whether an area is suitable for planting. The process consisted of selecting a test region, reviewing the most relevant layers in MDM6, and interpreting them in a practical way by comparing them with the information available for different crops. By combining these data, students were able to identify areas with better conditions for establishing crops, as well as areas that could represent risks or lower yields.

When analyzing a zone using MDM6, the tool provides real values from the site, and with that information in hand, these values can be compared with what other studies or tables indicate as the requirements for each crop. This makes it easier to determine whether planting in that area is worthwhile or if problems could arise. It works similarly to a field analysis, but MDM6 provides the values directly, and users can decide which crops are viable based on the site's conditions and what those studies recommend.

Using GIS tools in agricultural planning allows decisions to be made with greater confidence, as it becomes easier to identify land with favorable conditions for each crop and evaluate key factors without relying solely on intuition or past experience. With information organized into maps, it becomes simpler to prioritize areas, plan routes, estimate yields, and reduce mistakes, ultimately resulting in more efficient and sustainable production.

Keywords: precision agriculture, MDM6, spatial analysis, crop selection.

Introducción

La planeación agrícola basada en información territorial precisa se ha vuelto indispensable frente a fenómenos como el cambio climático, la degradación de suelos y la variabilidad en la disponibilidad de agua (Agencia Europea de Medio Ambiente, 2019). Tradicionalmente, muchas decisiones sobre qué sembrar se han basado en la experiencia acumulada de los productores o en prácticas replicadas de otras zonas; sin embargo, este conocimiento puede complementarse con herramientas que permitan analizar el territorio de manera más sistemática antes de tomar decisiones de inversión.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) constituyen una de estas herramientas, al permitir analizar una región de forma integral mediante capas temáticas que organizan información sobre suelo, clima, topografía y uso del territorio. En el contexto mexicano, el visor Mapa Digital de México (MDM6) del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, s.f.) pone a disposición pública este tipo de información, sin requerir conocimientos avanzados de cartografía o software especializado (Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica, 2021).

Entre las variables que ofrece MDM6, el tipo de suelo y la temperatura media anual constituyen dos parámetros determinantes para evaluar la aptitud agrícola de una región, ya que definen, de manera general, la compatibilidad de un cultivo con las condiciones edáficas y térmicas del sitio. No obstante, MDM6 también incluye otras capas (precipitación, humedad, pendiente, altimetría y uso del suelo, entre otras) cuya incorporación permitiría análisis de aptitud más completos que los presentados en este trabajo.

A pesar de la disponibilidad de estas herramientas, no es clara la medida en que el uso exclusivo de las capas de suelo y temperatura media anual de MDM6 permite anticipar la compatibilidad de distintos cultivos en un municipio específico, ni cuáles son los alcances y limitaciones de esta aproximación frente a evaluaciones agroecológicas más completas que incorporen variables hídricas, topográficas o de riesgo climático.

El objetivo de este trabajo fue evaluar la compatibilidad edafotérmica preliminar de diez cultivos de interés agrícola en el municipio de Zapotiltic, Jalisco, a partir de las capas de tipo de suelo y temperatura media anual disponibles en MDM6. Se planteó la siguiente pregunta de investigación: ¿en qué medida las capas de suelo y temperatura media anual de MDM6 permiten identificar la compatibilidad preliminar de distintos

cultivos con las condiciones de un municipio específico? Se hipotetizó que los cultivos con requerimientos térmicos y edáficos más amplios (como maíz, frijol y aguacate) presentarían mayor compatibilidad preliminar con el clima semicálido subhúmedo de Zapotiltic que aquellos con requerimientos más específicos (como arroz y café).

Con fines educativos, el ejercicio realizado consistió en que estudiantes seleccionaran una zona de prueba, activaran las capas de interés en MDM6 y compararan los valores obtenidos con los requerimientos documentados para distintos cultivos, con el propósito de fortalecer su capacidad de interpretar información geoespacial aplicada a la toma de decisiones agrícolas.

Metodología

El presente trabajo se desarrolló como un estudio descriptivo, exploratorio y de carácter espacial, basado en información secundaria obtenida del visor MDM6 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Se trabajó con dos variables cuantitativas disponibles en la plataforma (tipo de suelo y temperatura media anual) cuyos valores se compararon con los requerimientos agronómicos reportados en la literatura para diez cultivos de interés. No se recolectaron ni analizaron formalmente percepciones, entrevistas u observaciones cualitativas, por lo que el estudio no corresponde a un diseño de métodos mixtos.

Se recopiló información específica sobre los cultivos incluidos en la Tabla 1, seleccionados por su importancia agrícola y por la disponibilidad de datos confiables. Se consideraron como parámetros esenciales la temperatura mínima y máxima necesaria para su desarrollo, así como los tipos de suelo más adecuados para cada cultivo.

Esta información se obtuvo principalmente de artículos científicos y documentos técnicos elaborados por organismos especializados. Entre ellos se consultaron reportes de la FAO sobre requerimientos ambientales (FAO, 2023), estudios enfocados en la adaptación de cultivos a diferentes regiones de México (García & López, 2021) y publicaciones donde se analizan las condiciones óptimas para cultivos de alto valor productivo (Martínez-Hernández et al., 2020).

Una vez recopilados los datos, se organizaron en la Tabla 1 para facilitar la comparación entre cultivos, lo que permitió reconocer similitudes, diferencias y rangos críticos útiles para el análisis posterior.

Tabla 1.

Parámetros ambientales de los cultivos analizados

Cultivo	Temp. mínima (°C)	Temp. máxima (°C)	Tipos de suelo adecuados
Maíz	18	30	Franco, franco-arenoso
Trigo	10	25	Franco, arcilloso
Tomate	20	30	Franco, arenoso, bien drenado
Papa	15	20	Franco-arenoso, suelto
Caña de azúcar	21	32	Franco, arcilloso, profundo
Arroz	20	35	Arcilloso, arcillo-limoso, encharcable
Frijol	18	28	Franco, bien drenado
Café	18	24	Franco-limoso, volcánico
Aguacate	16	25	Franco-arenoso, bien drenado
Fresa	13	22	Franco, suelto, con materia orgánica

Fuente: (Datos basados en FAO, 2023; García & López, 2021; Martínez-Hernández et al., 2020)

Dentro de la plataforma MDM6 del INEGI, la capa de suelos aparece con nombres técnicos que a veces no son tan fáciles de interpretar, especialmente para quienes no están familiarizados con la clasificación oficial. Para hacerlo más claro, se elaboró una tabla donde se relacionan esos nombres técnicos con los términos más comunes usados en campo, siguiendo criterios establecidos por INEGI (2021) y la clasificación WRB en su versión en español (IUSS, 2022). Esta comparación facilita identificar rápidamente el tipo de suelo presente en cada zona analizada, lo cual también coincide con enfoques usados en atlas regionales de suelos (Embrapa, 2003). La explicación general ya se presentó anteriormente y, en la Tabla 2, se muestra la relación completa de equivalencias.

Tabla 2.

Equivalencias entre los tipos de suelo agronómico y la clasificación WRB

Tipo de suelo agronómico	Posibles equivalencias WRB	Justificación técnica
Franco / franco-arenoso	Arenosol, Fluvisol, Regosol	Suelos ligeros, buena aireación y drenaje.
Arcilloso / arcillo-limoso	Phaeozem, Luvisol, Cambisol	Suelos con mayor retención de agua y arcillas activas.
Arenoso / suelto	Arenosol, Regosol, Leptosol	Texturas muy ligeras, drenaje rápido.

Bien drenado / profundo	Fluvisol, Cambisol, Luvisol	Suelos evolucionados, con perfil más desarrollado.
Encharcable	Gleysol, Solonchak	Suelos con saturación frecuente, pobres en aireación.
Limoso / volcánico	Phaeozem, Andosol	Alta materia orgánica y buena estructura.

Fuente: Datos basados en las referencias

El área de estudio corresponde al municipio de Zapotiltic, Jalisco. El análisis se realizó mediante el visor MDM6 del INEGI, consultando la capa de edafología (INEGI, escala cartográfica 1:250,000) y la capa de temperatura media anual (INEGI/CONAGUA, normales climatológicas del periodo 2025) ambas en el sistema de coordenadas utilizado por defecto en MDM6. Los valores se obtuvieron directamente de la consulta interactiva de cada capa sobre el polígono municipal, sin procesamiento adicional.

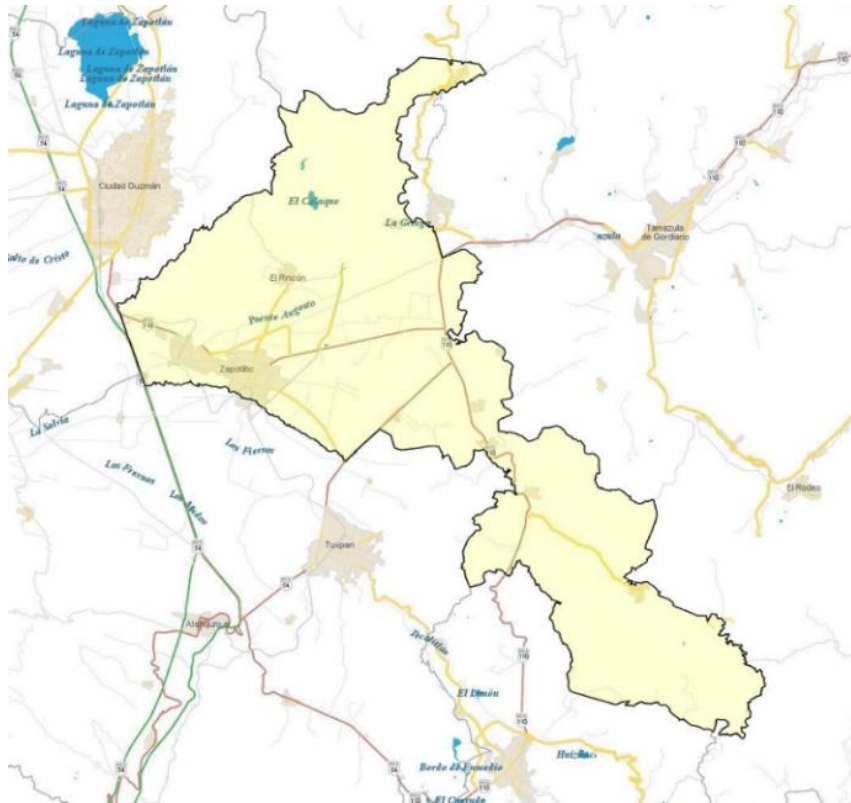
Para llevar a cabo el análisis de datos de la zona, se siguió una serie de pasos que se explican a continuación. Primero se seleccionó el área de interés dentro de la herramienta MDM6 del INEGI (<https://gaia.inegi.org.mx/mdm6/>). En este caso se eligió el poblado de Zapotiltic, Jalisco, con la intención de revisar qué cultivos pueden funcionar mejor en esta región y confirmar si las características del terreno coinciden con los requerimientos agrícolas más comunes. El proceso de selección puede observarse en la Imagen 1.

Para obtener la imagen se siguieron los siguientes pasos:

1. En la ventana flotante del lado izquierdo, en la parte superior, buscamos el municipio Zapotiltic y seleccionamos la primera opción que aparece.
2. En el menú del lado izquierdo identificamos el icono con forma de regla y damos clic ahí. Ese botón permite elegir el área de trabajo; en este caso seleccionamos la opción 0, que indica que se toma todo el municipio.

Figura 1.

Selección del municipio de Zapotiltic



Fuente: Elaboración propia

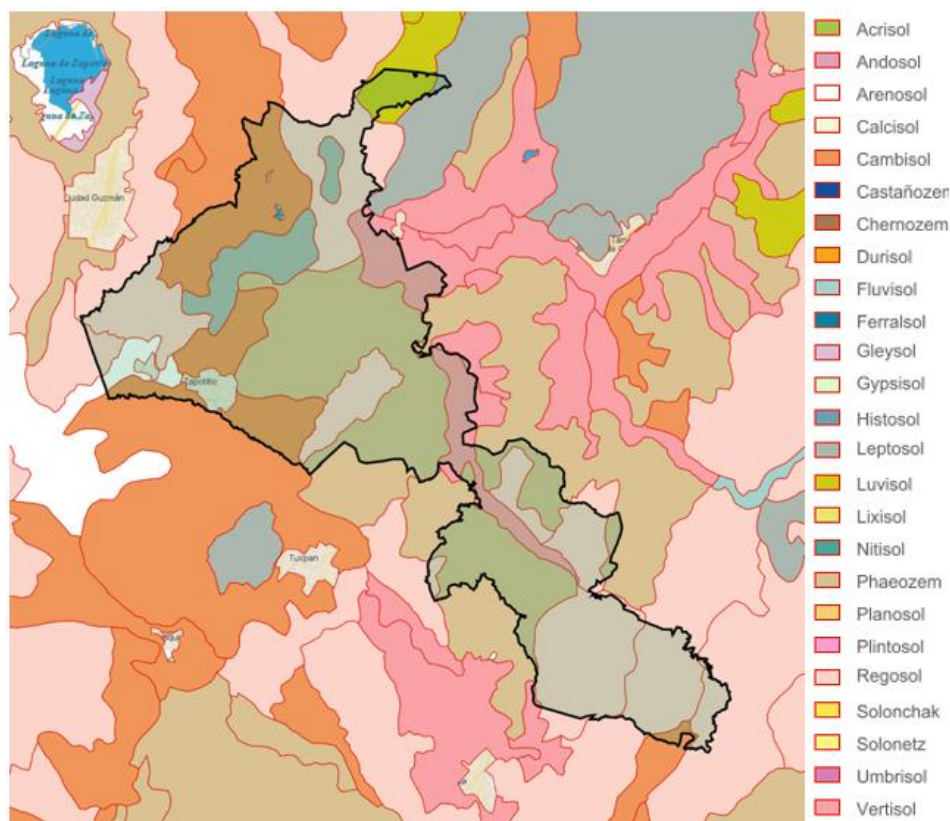
Posteriormente, seleccionamos la capa de suelo, la cual permite visualizar los tipos de suelo presentes en el municipio de Zapotiltic. Para activarla, seguimos estos pasos:

1. En la parte inferior de la pantalla se encuentra un ícono con forma de capas. Damos clic ahí para abrir el panel donde se muestran todas las capas disponibles en la plataforma.
2. Dentro de ese panel, utilizamos el buscador para escribir el nombre de la capa “Suelo”.
3. Una vez que aparece en la lista, la habilitamos y la plataforma despliega inmediatamente la información correspondiente sobre el mapa.

Gracias a esto, pudimos identificar el tipo de suelo presente en la zona, como se aprecia en la Figura 2.

Figura 2.

Aplicación de la capa de suelos a un área



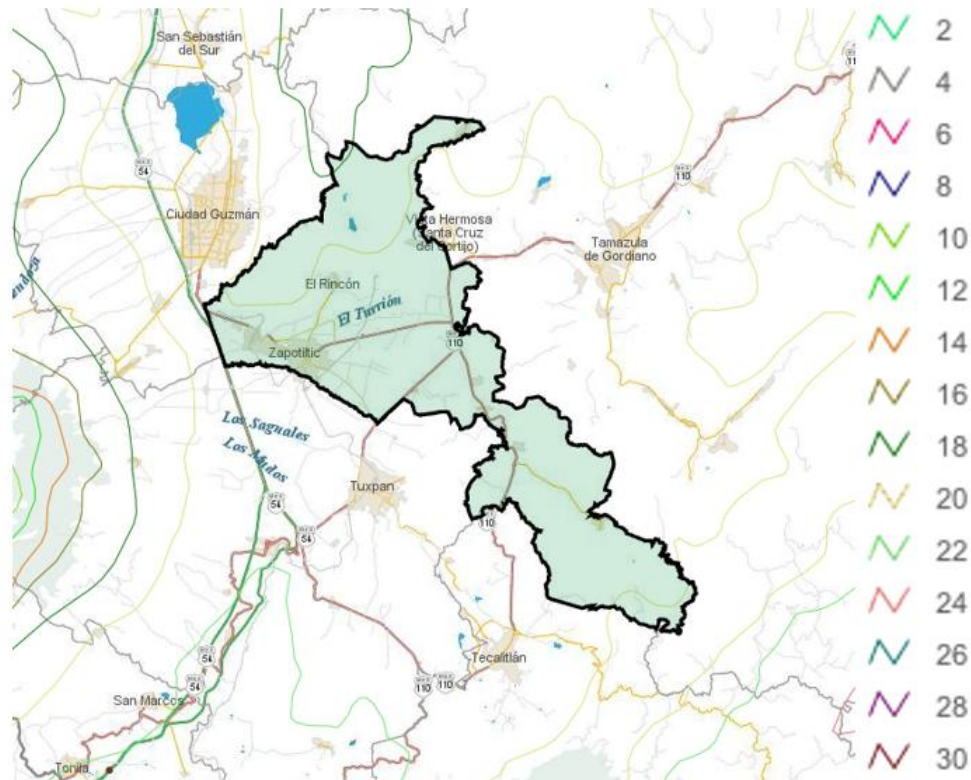
Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenida la información de suelos, se activó la capa de temperatura media anual que ofrece la plataforma. Para hacerlo se siguieron estos pasos:

1. Primero deshabilitamos la capa de suelos para evitar que se encime la información.
2. En la parte inferior de la pantalla se encuentra el ícono de capas; damos clic para abrir el panel donde aparecen todas las capas disponibles.
3. Dentro del panel usamos el buscador y escribimos el nombre de la capa “Temperatura media anual”.
4. Cuando aparece en la lista, la activamos y de inmediato se muestra la información correspondiente en el mapa.

Figura 3.

Aplicación de la capa de temperatura media anual



Fuente: Elaboración propia

Con la información obtenida de las capas de suelo y temperatura media anual, se contó con los datos básicos necesarios para realizar el análisis desarrollado en este trabajo. Estas dos capas permiten analizar si las condiciones del municipio coinciden con los requerimientos de los cultivos evaluados. Es importante señalar que la temperatura media anual constituye una aproximación general al comportamiento térmico del municipio y no permite evaluar con precisión aspectos como heladas, grados-día o variación estacional dentro del ciclo de cada cultivo; ante la ausencia de datos de temperaturas mensuales en MDM6, la evaluación térmica presentada debe interpretarse como una aproximación preliminar y no como una determinación definitiva de compatibilidad climática. En consecuencia, cualquier referencia a temperaturas extremas, meses específicos o precipitación en apartados posteriores debe entenderse como contexto climatológico general del municipio y no como parte de las variables analizadas mediante MDM6.

La herramienta MDM6 incluye además otras capas que también pueden resultar útiles, como humedad, precipitación, altitud y uso del suelo, entre otras. Estas capas no se incorporaron en el presente análisis, pero podrían complementar evaluaciones de aptitud más completas en trabajos futuros.

Resultados

Una vez analizadas las capas de temperatura media anual y tipo de suelo del municipio de Zapotiltic en la plataforma MDM6 del INEGI, se comparó esta información con los requerimientos de los cultivos presentados en la Tabla 1. Esta comparación permitió identificar qué cultivos presentaron mayor compatibilidad preliminar con las condiciones de la zona.

Para identificar qué cultivos pueden funcionar mejor en Zapotiltic, primero se compararon los tipos de suelo que aparecen en la plataforma MDM6 del INEGI con los suelos recomendados para cada cultivo de la tabla original. Esta comparación permitió observar de manera más directa qué especies agrícolas presentan mayor compatibilidad edáfica preliminar con las condiciones reales del municipio. La relación se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 3.

Comparación de parámetros de la capa de suelos con los cultivos

Cultivo	Suelos adecuados	Suelos presentes en la capa
Maíz	Franco, franco-arenoso	Fluvisol, Arenosol
Trigo	Franco, arcilloso	Cambisol (puede comportarse como franco-arcilloso)
Tomate	Franco, arenoso, bien drenado	Arenosol, Fluvisol
Papa	Franco-arenoso, suelto	Arenosol
Caña de azúcar	Franco, arcilloso, profundo	Cambisol (solo en zonas específicas)
Arroz	Arcilloso, arcillo-limoso, encharcable	No coincide
Frijol	Franco, bien drenado	Fluvisol, Phaeozem, Cambisol
Café	Franco-limoso, volcánico	No coincide
Aguacate	Franco-arenoso, bien drenado	Arenosol, Fluvisol
Fresa	Franco, suelto, con materia orgánica	Phaeozem, Fluvisol

Fuente: Elaboración propia

Según los datos climáticos de Zapotiltic obtenidos en MDM6, el municipio presenta un clima semicálido subhúmedo con temperaturas promedio anuales entre 16°C y 23°C. Cabe señalar que la capa consultada en MDM6 reporta únicamente la temperatura media anual del municipio; datos de variación mensual, temperaturas extremas o precipitación no formaron parte de las variables analizadas en este estudio.

En el caso del tomate, aunque requiere temperaturas mínimas de 20°C, su compatibilidad térmica con el promedio anual del municipio (16-23°C) resulta parcial, por lo que su viabilidad dependería de un análisis estacional que este estudio no abordó, además del manejo adecuado del riego.

Además del tipo de suelo, se revisaron también las temperaturas mínima y máxima recomendadas para cada cultivo, comparándolas con los valores que muestra la plataforma MDM6 para Zapotiltic. Esto permitió identificar qué cultivos presentan mayor compatibilidad térmica preliminar con el clima local. La información comparativa se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 4.

Comparación de temperaturas y compatibilidad de cultivos según la capa de suelo

Cultivo	Temp. mínima (°C)	Temp. máxima (°C)	Compatibilidad según la capa
Maíz	18	30	Alta
Trigo	10	25	Baja
Tomate	20	30	Alta
Papa	15	20	Baja
Caña de azúcar	21	32	moderada
Arroz	20	35	Baja
Frijol	18	28	Alta
Café	18	24	moderada
Aguacate	16	25	Alta
Fresa	13	22	Baja

Fuente: Elaboración propia

Según los datos climáticos de Zapotiltic, el municipio presenta un clima semicálido subhúmedo con temperaturas promedio anuales entre 16°C y 23°C, temperaturas mínimas que pueden descender hasta 8°C en enero y máximas que alcanzan

los 31°C en mayo. La temporada de lluvias se concentra entre junio y octubre, con precipitaciones promedio de 148 mm en julio.

Al comparar estos parámetros con la tabla de cultivos, se observa que varios de ellos coinciden con los rangos de temperatura óptimos para especies agrícolas importantes. Por ejemplo, maíz y frijol presentaron alta compatibilidad térmica preliminar con el rango anual de Zapotiltic (16-23°C promedio), lo que es congruente con su cultivo tradicional en sistema de temporal durante la temporada de lluvias.

En el caso del tomate, aunque requiere temperaturas mínimas de 20°C, los meses de abril a septiembre (cuando las temperaturas oscilan entre 15-31°C) resultan adecuados para su cultivo, siempre que se cuide el manejo del riego. El aguacate, por su parte, presentó una alta compatibilidad térmica preliminar con el rango promedio del municipio (16-25°C óptimo vs. 16-23°C real).

Después de revisar la información de temperatura media anual y los tipos de suelo del municipio de Zapotiltic en la plataforma MDM6 del INEGI, se realizó una comparación con los requerimientos de cada cultivo. Con esto se buscó identificar, de una manera más práctica, qué especies agrícolas presentan mayor compatibilidad preliminar bajo las condiciones del municipio.

Tabla 5.

Relación entre tipo de suelo, condiciones térmicas y viabilidad de cultivos

Cultivo	Suelos		Temp. (°C)		Compatibilidad		Viabilidad General
	Adecuados	Capa	Min	Max	Climática	Edáfica	
Maíz	Franco, franco-arenoso	Fluvisol, Arenosol	18	30	Alta	Alta	Muy Alta
Trigo	Franco, arcilloso	Cambisol	10	25	Baja	Moderada	Baja
Tomate	Franco, arenoso, bien drenado	Arenosol, Fluvisol	20	30	Alta	Alta	Alta
Papa	Franco-arenoso, suelto	Arenosol	15	20	Baja	Alta	Baja-Moderada
Caña de azúcar	Franco, arcilloso, profundo	Cambisol (zonas específicas)	21	32	Moderada	Baja-Moderada	Moderada
Arroz	Arcilloso, arcillo-limoso, encharcable	No coincide	20	35	Baja	Muy baja	Muy Baja

Frijol	Franco, bien drenado	Fluvisol, Phaeozem, Cambisol	18	28	Alta	Alta	Muy Alta
Café	Franco-limoso, volcánico	No coincide	18	24	Moderada	Muy baja	Baja-Moderada
Aguacate	Franco-arenoso, bien drenado	Arenosol, Fluvisol	16	25	Alta	Alta	Muy Alta
Fresa	Franco, suelto, con materia orgánica	Phaeozem, Fluvisol	13	22	Baja	Alta	Moderada

Fuente: Elaboración propia

En lo relacionado con el suelo, se observó que en Zapotiltic predominan cuatro tipos: Fluvisol, Phaeozem, Cambisol y Arenosol. Al compararlos con lo que requieren los cultivos, se notan varias coincidencias útiles. Por ejemplo, los suelos Fluvisol y Phaeozem comparten características de suelos francos fértiles, lo cual resulta favorable para maíz, frijol, fresa y aguacate. El Arenosol, aunque es más suelto y exige un manejo adecuado del riego, coincide bien con cultivos como tomate, papa y aguacate. En cuanto al Cambisol, su textura puede asemejarse a un franco-arcilloso, por lo que es una opción viable para trigo, frijol y, en algunos casos, maíz. También hay cultivos que prácticamente no tienen coincidencia con los suelos del municipio, como arroz y café, lo que reduce su compatibilidad edáfica preliminar en esta zona.

En la parte del clima, se revisaron las temperaturas mínimas y máximas recomendadas para cada cultivo y se compararon con los datos locales. Zapotiltic tiene un clima semicálido subhúmedo, con promedios entre 16°C y 23°C, y valores extremos que van desde 8°C en enero hasta cerca de 31°C en mayo. Con estos datos, se encontró que maíz, frijol, tomate y aguacate presentan mayor compatibilidad térmica preliminar con el comportamiento térmico del municipio. Maíz y frijol, por ejemplo, se ajustan casi por completo al rango promedio anual, lo cual es congruente con su presencia tradicional en cultivos de temporal. El tomate puede desarrollarse sin mayores problemas entre abril y septiembre, cuando las temperaturas alcanzan su rango adecuado. En cuanto al aguacate, su temperatura óptima es prácticamente igual a la que reporta la región, lo que sugiere una alta compatibilidad térmica preliminar.

Discusión

El análisis realizado muestra que el uso de herramientas SIG representa una ayuda real para planear de manera más precisa cualquier actividad agrícola. Estas plataformas contienen información validada por instituciones oficiales, algo fundamental cuando se requiere tomar una decisión antes de invertir tiempo, dinero y recursos en el establecimiento de un cultivo. En este estudio, trabajar con las capas de tipo de suelo y temperatura media anual permitió identificar condiciones básicas del sitio que influyen en el rendimiento de distintos cultivos. Esta combinación de datos, aunque limitada a dos variables, ofrece una primera aproximación útil para descartar opciones poco viables y centrar la atención en los cultivos con mayor compatibilidad preliminar con la región seleccionada.

Uno de los puntos más relevantes es que las capas SIG no funcionan de manera aislada, y cada una aporta información parcial sobre el ambiente físico. La capa de suelos utilizada permite clasificar el tipo edafológico general del terreno, sin proporcionar directamente información sobre textura, capacidad de retención de agua u otras propiedades físico-químicas, salvo que estas se encuentren explícitamente incluidas en los metadatos de la capa consultada. Por su parte, la capa de temperatura media anual aporta una referencia general sobre el comportamiento térmico del sitio, aunque no permite evaluar aspectos como heladas o variación estacional dentro del ciclo de cada cultivo. En conjunto, estas dos variables permiten construir una primera evaluación preliminar, pero no sustituyen un diagnóstico agroecológico completo.

Además de estas dos capas, es importante mencionar que la herramienta ofrece muchas más: precipitación, uso de suelo, pendientes, radiación solar, humedad, climas y series históricas. La disponibilidad de esta información abre la puerta a comparaciones más completas. Por ejemplo, un cultivo puede ser compatible en temperatura, pero no soportar las condiciones de precipitación o no adaptarse al tipo de paisaje o pendiente. En otras palabras, el valor real del SIG no está solo en visualizar información, sino en cruzar diferentes tipos de datos para entender el entorno desde varias perspectivas; en este sentido, el presente estudio constituye un primer acercamiento acotado a dos de esas variables.

Es importante reconocer que, al no haberse incorporado variables de precipitación ni series de temperatura mensual, este estudio no permite evaluar la variabilidad climática

interanual. Este tipo de análisis obligaría a considerar escenarios más amplios y no solo un promedio aislado, por lo que se recomienda incorporarlo en estudios futuros que sí integren dichas capas de MDM6. Este comportamiento variable también debe tenerse en cuenta al interpretar los mapas y al planificar cultivos de ciclo largo, donde los cambios en el clima pueden afectar el desarrollo de las plantas en etapas críticas. Aquí los SIG permiten revisar series históricas, comparar tendencias y anticipar posibles riesgos.

Otro punto clave es que estas herramientas no sustituyen el trabajo de campo. Funcionan como una guía inicial útil, pero deben complementarse con observaciones reales, pruebas de suelo, mediciones propias, datos de producción agrícola actual del municipio y experiencia local, ya que la ventaja principal de este tipo de análisis es reducir la incertidumbre inicial y orientar mejor al productor, al investigador o al estudiante en la etapa de planeación.

Conclusiones

El análisis realizado con ayuda de las herramientas SIG, especialmente la plataforma MDM6 del INEGI, permitió obtener una aproximación preliminar a dos características ambientales relevantes del municipio de Zapotiltic: el tipo de suelo y la temperatura media anual. Al trabajar con estas dos capas, se comparó esta información con los requerimientos de distintos cultivos y, con ello, se identificaron aquellos que presentaron mayor compatibilidad preliminar con la región. Este tipo de análisis es útil porque ofrece un primer acercamiento a las condiciones del terreno sin necesidad de invertir tiempo o recursos en una visita inicial.

A partir de los datos obtenidos, se observó que Zapotiltic presenta suelos que coinciden con los tipos recomendados para diversos cultivos comerciales. Además, las temperaturas medias registradas se encuentran dentro de los rangos óptimos para especies agrícolas que ya son comunes en la zona y otras que podrían explorarse como alternativas productivas. Sin embargo, esta información no debe considerarse como una recomendación final, sino como una base para continuar con estudios más detallados que incorporen variables adicionales y validación en campo.

Las herramientas SIG permiten explorar muchos otros factores que influyen directamente en la agricultura, como humedad, precipitación, pendientes, radiación solar, tipos de vegetación, uso actual del suelo y disponibilidad de agua. En este proyecto solo

se utilizaron dos capas, pero la plataforma ofrece bastantes más que pueden complementar un diagnóstico más completo. Esto muestra que los SIG no solo sirven para visualizar mapas, sino que pueden convertirse en una herramienta de planeación agrícola valiosa cuando se integran correctamente en el proceso de toma de decisiones.

Es importante mencionar que, aunque la plataforma digital facilita el análisis inicial, el trabajo de campo sigue siendo necesario. La interpretación de los datos siempre mejora cuando se combina la información obtenida en los mapas con observaciones directas del terreno y con la experiencia local de los productores.

Referencias

- Agencia Europea de Medio Ambiente. (2019). *El suelo, la tierra y el cambio climático*.
<https://www.eea.europa.eu/es/senales/senales-2019/articulos/el-suelo-la-tierra-y>
- Asgrow. (2018, 21 de septiembre). *Sistemas de información geográfica contra el cambio climático*.
<https://www.asgrow.com.mx/es-mx/tendencias/sociedadagricultura/sistemas-de-informacion-geografica-contrael-cambio-climatico.html>
- Lozano, C. (2023, 28 de abril). *Uso de los SIG en la agricultura de precisión*. Avantgeo.
<https://avantgeo.com/uso-de-los-sig-en-la-agricultura-de-precision/>
- Ortega Zabala, A. (2025, 29 de mayo). *El SPEPM capacita en el uso de tecnologías geoespaciales aplicadas al agro*. Canal 12 Misiones.
<https://www.canal12misiones.com/ecologia/el-spepm-capacita-en-el-uso-de-tecnologias-geoespaciales-aplicadas-al-agro>
- Gardi, C., Angelini, M., Barceló, S., Comerma, J., Cruz Gaistardo, C., Encina Rojas, A., Jones, A., Krasilnikov, P., Mendonça Santos Brefin, M. L., Montanarella, L., Muñoz Ugarte, O., Schad, P., Vara Rodríguez, M. I., & Vargas, R. (Eds.). (2014). *Atlas de suelos de América Latina y el Caribe*. Comisión Europea, Oficina de Publicaciones de la Unión Europea.
<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1001699/1/ATLASLA C.pdf>

- Cherlinka, V. (2026, 16 de marzo). *Análisis de suelo: Muestreo y lectura del resultado*. EOSDA. <https://eos.com/es/blog/analisis-de-suelo/>
- Sergieieva, K. (2026, 8 de mayo). *SIG en la agricultura: Mejores prácticas en el sector*. EOSDA. <https://eos.com/es/blog/sig-en-la-agricultura/>
- Food and Agriculture Organization. (2023). *Crop environmental requirements*.
- GeoSolutions Nayarit. (s. f.). *Importancia de los levantamientos topográficos en la agricultura*. <https://geosolutionsnayarit.com.mx/importancia-de-los-levantamientos-topograficos-en-la-agricultura/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2017). *Guía de descarga del sistema y proyecto básico*. https://www.inegi.org.mx/contenidos/temas/MapaDigital/Doc/desc_sis_y_proy_2017.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2021). *Guía para la interpretación de cartografía: Edafología*. https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825076221.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (s. f.). *Mapa Digital de México en línea*. <https://gaia.inegi.org.mx/mdm6/?layers=ca2022>
- IUSS Working Group WRB. (2022). *Base referencial mundial del recurso suelo (WRB)* (4.ª ed.). ISRIC. https://wrb.isric.org/files/WRB_fourth_edition_Spanish.pdf
- Martínez-Hernández, A., López-Ordaz, R., & Aguilar-Rincón, V. (2020). Requerimientos agronómicos para cultivos de interés en México. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 37(2), 55–68.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (s. f.). *Cambio climático, agricultura y suelo en América Latina*. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/62966211-dba9-4999-ba49-6edb7fd69560/content>
- Paz Pellat, F., Palacios Vélez, E., Mejía Saenz, E., Martínez Menes, M., & Palacios Sánchez, L. A. (2010). Análisis de los espacios funcionales en la cuenca del río Texcoco, México. *Investigaciones Geográficas*, (72), 25–38.

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792010000200002

Portal Frutícola. (2024, 13 de septiembre). *Herramientas tecnológicas para la agricultura sustentable*.

<https://www.portalfruticola.com/noticias/2024/09/13/herramientas-tecnologicas-para-la-agricultura-sustentable/>

Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica. (2021). *Manual del Taller Básico MDM 6.3.0*.

https://snieg.mx/SNIEG_Canal/Material2021/MEIP/manual_tallerbasico_mapadigital630.pdf

Universidad Icesi. (s. f.). *Diplomado en agricultura digital*.

<https://www.icesi.edu.co/programas/educacion-continua/agricultura-digital/>

CAPÍTULO 6

Sistemas IoT de Bajo Costo para el Monitoreo

Agroambiental: Arquitectura, Sensores y Experiencias de Implementación en el Sur de Jalisco

Low-Cost IoT Systems for Agro-Environmental Monitoring: Architecture,
Sensors, and Implementation Experiences in Southern Jalisco

Resumen

Este capítulo presenta el diseño, implementación y validación funcional de sistemas IoT de bajo costo orientados al monitoreo agroambiental en el sur de Jalisco. Se desarrollaron estaciones basadas en sensores de bajo costo (DHT22, DS18B20, BH1750, ZMPT101B, ZMCT103C y PZEM-004T), integradas mediante microcontroladores ESP32 y Raspberry Pi Pico W, alimentadas con energía solar y conectadas a plataformas de visualización como Node-RED, Flask y ThingSpeak. La metodología comprendió la revisión de tecnologías disponibles, el diseño modular de nodos de adquisición de datos, la integración de sistemas de alimentación autónoma y la implementación de prototipos en cultivos de caña de azúcar, huertos de aguacate y áreas experimentales del Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica Tamazula. Las pruebas de funcionamiento realizadas permitieron verificar la operación de los sistemas para el monitoreo de variables ambientales y eléctricas, así como evaluar su desempeño en escenarios agrícolas representativos de la región. Los resultados obtenidos muestran que las arquitecturas desarrolladas constituyen una alternativa técnicamente factible para aplicaciones de monitoreo agroambiental de bajo costo y proporcionan una base para futuras investigaciones orientadas a ampliar su validación, incorporar nuevas variables y fortalecer su aplicación en agricultura de precisión.

Palabras clave: Internet de las Cosas; Monitoreo agroambiental; Sistemas embebidos; Agricultura de precisión; Sensores ambientales; Arquitecturas IoT de bajo costo.

Abstract

This chapter presents the design, implementation, and functional validation of low-cost Internet of Things (IoT) systems for agro-environmental monitoring in southern Jalisco, Mexico. The proposed systems integrate low-cost sensors (DHT22, DS18B20, BH1750, ZMPT101B, ZMCT103C, and PZEM-004T) with ESP32 and Raspberry Pi Pico W microcontrollers, powered by standalone photovoltaic systems and connected to data visualization platforms such as Node-RED, Flask, and ThingSpeak. The methodology included a review of available IoT technologies, the modular design of data acquisition nodes, the integration of autonomous power supply systems, and the implementation of prototypes in sugarcane fields, avocado orchards, and experimental areas of the Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Tamazula Academic Unit.

Functional tests were conducted to verify the operation of the proposed systems for monitoring environmental and electrical variables under representative agricultural conditions. The results indicate that the developed architectures provide a technically feasible alternative for low-cost agro-environmental monitoring applications and establish a foundation for future research focused on extended field validation, the integration of additional sensing capabilities, and the advancement of precision agriculture technologies.

Keywords: Internet of Things; Agro-environmental monitoring; Embedded systems; Precision agriculture; Environmental sensors; Low-cost IoT architectures.

Introducción

La agricultura enfrenta actualmente el desafío de incrementar la productividad y la eficiencia en el uso de los recursos naturales, al tiempo que responde a las condiciones impuestas por el cambio climático, la variabilidad ambiental y la creciente demanda mundial de alimentos. En este contexto, la agricultura de precisión ha incorporado tecnologías digitales que permiten monitorear variables ambientales y de cultivo para apoyar la toma de decisiones basada en datos. Entre estas tecnologías, el Internet de las Cosas (IoT) se ha consolidado como una de las herramientas más relevantes al facilitar la adquisición, transmisión y análisis de información en tiempo real mediante redes de sensores distribuidos. La literatura reciente destaca que la integración de sensores, microcontroladores, sistemas de comunicación y plataformas de visualización puede mejorar significativamente la gestión del agua, los insumos y la energía en sistemas agrícolas de pequeña y mediana escala. Por ejemplo, Gutierrez et al. (2014) demostraron que las redes inalámbricas de sensores permiten automatizar el riego mediante la captura continua de variables como la humedad del suelo y la temperatura. De manera complementaria, Jawad et al. (2017) señalan que la eficiencia energética de los nodos sensores constituye un factor determinante para garantizar la operación sostenida de los sistemas IoT en entornos rurales donde la conectividad y el suministro eléctrico suelen ser limitados. Más recientemente, Kumar et al. (2024) y Gatkhal et al. (2024) coinciden en que el desarrollo de plataformas abiertas basadas en microcontroladores como ESP32 y Raspberry Pi Pico ha favorecido la construcción de estaciones agroambientales de bajo

costo, capaces de monitorear variables ambientales y energéticas mediante sistemas de alimentación fotovoltaica.

Asimismo, revisiones recientes muestran que la evolución de los sensores inteligentes y de las arquitecturas IoT está transformando el monitoreo agrícola a nivel mundial, permitiendo aplicaciones que abarcan desde la vigilancia microclimática y el manejo eficiente del riego hasta la supervisión energética de equipos electromecánicos y la integración con plataformas de análisis de datos (Aarif K. O. et al., 2025; Duguma & Bai, 2024). Estos avances evidencian el potencial de las tecnologías IoT para contribuir a una agricultura más eficiente, sostenible y basada en información en tiempo real. La comunicación inalámbrica constituye uno de los elementos fundamentales en las arquitecturas IoT, ya que determina la eficiencia en la transmisión de datos y la interoperabilidad entre dispositivos distribuidos. Diversos estudios han propuesto esquemas ligeros de comunicación para mejorar el rendimiento y reducir la sobrecarga computacional en redes inalámbricas, destacando la importancia de arquitecturas eficientes para aplicaciones distribuidas en tiempo real (Di & Wu, 2023). No obstante, a pesar de estos avances tecnológicos, una parte importante de las soluciones reportadas continúa dependiendo de plataformas comerciales, infraestructura especializada o costos de implementación que dificultan su adopción por pequeños y medianos productores, particularmente en regiones rurales. En el sur de Jalisco, donde predominan cultivos como caña de azúcar y aguacate, aún existe la necesidad de contar con arquitecturas IoT flexibles, modulares y de bajo costo que puedan desarrollarse utilizando componentes comerciales ampliamente disponibles y herramientas de software de código abierto, adaptándose a las condiciones reales de operación de la región.

En respuesta a esta necesidad, el presente capítulo presenta el diseño, implementación y validación funcional de diversos sistemas IoT de bajo costo para el monitoreo agroambiental desarrollados por el Cuerpo Académico Agrotecnología ITJMMPH-CA-19 del Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica Tamazula. Las arquitecturas propuestas integran sensores ambientales y eléctricos, microcontroladores ESP32 y Raspberry Pi Pico W, plataformas de visualización y sistemas fotovoltaicos autónomos para aplicaciones en agricultura de precisión. Asimismo, se describen las principales implementaciones desarrolladas, las pruebas funcionales realizadas y las oportunidades que estas soluciones ofrecen como

base para futuras investigaciones orientadas al monitoreo agroambiental y la transformación digital del sector agrícola.

Objetivo del capítulo. Presentar el diseño, implementación y validación funcional de sistemas IoT de bajo costo para el monitoreo agroambiental, integrando sensores ambientales y eléctricos, plataformas de comunicación y herramientas de software de código abierto, con el propósito de evaluar su funcionamiento en escenarios agrícolas representativos del sur de Jalisco y establecer una base para futuros desarrollos tecnológicos en agricultura de precisión.

Metodología

Enfoque de la investigación

El presente estudio corresponde a una investigación aplicada con enfoque tecnológico, orientada al diseño, implementación y validación funcional de sistemas IoT de bajo costo para el monitoreo agroambiental en escenarios agrícolas representativos del sur de Jalisco. El trabajo se desarrolló con el propósito de integrar tecnologías de hardware y software de código abierto para la adquisición, transmisión, almacenamiento y visualización de variables ambientales y eléctricas, favoreciendo el desarrollo de soluciones accesibles para aplicaciones de agricultura de precisión. La investigación se estructuró en seis etapas secuenciales: i) revisión del estado del arte sobre arquitecturas IoT aplicadas al monitoreo agrícola; ii) selección de sensores, microcontroladores y plataformas de comunicación considerando criterios de costo, disponibilidad comercial y compatibilidad tecnológica; iii) diseño de arquitecturas IoT modulares; iv) desarrollo e integración de prototipos funcionales; v) implementación de los sistemas en escenarios agrícolas y académicos representativos; y vi) validación funcional mediante la evaluación de indicadores operativos relacionados con la estabilidad de las mediciones, la comunicación de datos, la autonomía energética y la utilidad de la información generada.

El desarrollo experimental fue realizado por el Cuerpo Académico Agrotecnología ITJMMPH-CA-19 del Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica Tamazula, como parte de una línea de investigación enfocada en la aplicación de tecnologías IoT, sistemas embebidos y energías renovables para el monitoreo agroambiental y la eficiencia energética en el sector agrícola regional. Dado que el objetivo principal del estudio consistió en verificar el funcionamiento

operativo de las arquitecturas desarrolladas, la investigación se centró en la validación funcional de los prototipos, sin pretender realizar comparaciones experimentales con plataformas comerciales ni establecer conclusiones generalizables sobre productividad agrícola, viabilidad económica o confiabilidad a largo plazo. En este sentido, los resultados obtenidos representan evidencia del desempeño de los sistemas bajo los escenarios evaluados y constituyen una base para futuras investigaciones orientadas a ampliar su validación en diferentes condiciones de operación.

Diseño metodológico

El desarrollo de los sistemas IoT de bajo costo se llevó a cabo mediante una metodología secuencial compuesta por seis etapas, las cuales permitieron integrar de forma sistemática el análisis del estado del arte, el diseño de la arquitectura tecnológica, la construcción de los prototipos y su validación funcional en escenarios agrícolas representativos. Esta metodología fue planteada con el propósito de garantizar la trazabilidad del proceso de desarrollo y facilitar la reproducibilidad de las implementaciones realizadas. En una primera etapa se efectuó una revisión de la literatura científica relacionada con el Internet de las Cosas aplicado a la agricultura de precisión, identificando las arquitecturas de referencia, los sensores más utilizados, los microcontroladores de bajo costo y las plataformas de comunicación y visualización empleadas en investigaciones recientes. Posteriormente, se realizó la selección de los componentes de hardware y software considerando criterios de disponibilidad comercial, costo, facilidad de integración, consumo energético y compatibilidad con plataformas de código abierto.

La tercera etapa comprendió el diseño de las arquitecturas IoT y la integración de los diferentes módulos que conforman los nodos sensores, incluyendo dispositivos de adquisición de datos, sistemas de comunicación inalámbrica, fuentes de alimentación y plataformas para el almacenamiento y visualización de la información. Una vez definida la arquitectura, se desarrollaron e integraron diversos prototipos orientados al monitoreo de variables ambientales y eléctricas de interés para aplicaciones agrícolas. Finalmente, los prototipos fueron implementados en escenarios agrícolas y académicos representativos del sur de Jalisco, donde se realizaron pruebas funcionales para verificar su comportamiento operativo mediante indicadores relacionados con la estabilidad de las

mediciones, la transmisión de datos, la autonomía energética y la utilidad de la información generada. La Figura 1 resume las etapas metodológicas desarrolladas durante la investigación.

Figura 1.

Metodología general para el diseño, implementación y validación funcional de sistemas IoT de bajo costo para el monitoreo agroambiental



Fuente: Elaboración propia

Selección de componentes de hardware y software

La selección de los componentes de hardware y software se realizó considerando criterios técnicos, económicos y operativos que permitieran desarrollar sistemas IoT de bajo costo, modulares y fácilmente replicables para aplicaciones de monitoreo agroambiental. Entre los principales criterios de selección se incluyeron la disponibilidad comercial de los dispositivos, su costo de adquisición, el consumo energético, la facilidad de integración con plataformas de código abierto, la compatibilidad entre componentes y la capacidad de operar en condiciones ambientales propias del sector agrícola. Para la adquisición de variables ambientales se seleccionaron sensores ampliamente utilizados en aplicaciones de agricultura de precisión debido a su adecuada relación entre costo y desempeño. Se incorporaron sensores para medir temperatura y humedad ambiental (DHT22), temperatura del suelo o del ambiente mediante encapsulado impermeable (DS18B20), intensidad luminosa (BH1750), voltaje de corriente alterna (ZMPT101B), corriente eléctrica (ZMCT103C) y variables eléctricas integradas como voltaje, corriente, potencia, energía y frecuencia (PZEM-004T). La Tabla 1 resume las principales características técnicas de los sensores empleados durante el desarrollo de los prototipos.

Como unidad de procesamiento se emplearon los microcontroladores ESP32 y Raspberry Pi Pico W, seleccionados por su bajo costo, disponibilidad en el mercado, capacidad de procesamiento y compatibilidad con diferentes lenguajes de programación y protocolos de comunicación inalámbrica. El ESP32 fue utilizado en aplicaciones que requerían conectividad Wi-Fi integrada y mayor capacidad de procesamiento para la transmisión de datos hacia plataformas IoT. Por su parte, la Raspberry Pi Pico W se incorporó en arquitecturas orientadas al desarrollo de sistemas embebidos de bajo consumo energético y aplicaciones experimentales, aprovechando su conectividad inalámbrica y facilidad de programación mediante MicroPython.

Para la transmisión, almacenamiento y visualización de la información se emplearon plataformas de software de código abierto y servicios en la nube ampliamente utilizados en el desarrollo de aplicaciones IoT. Node-RED se utilizó para la adquisición, procesamiento y visualización local de datos mediante paneles interactivos; Flask permitió desarrollar interfaces web personalizadas para el monitoreo remoto de las variables registradas; mientras que ThingSpeak fue utilizado como plataforma en la nube para el almacenamiento histórico de la información y la generación de gráficas en tiempo real. La combinación de estas herramientas proporcionó una arquitectura flexible que

facilita la integración de nuevos sensores, la escalabilidad de los sistemas y el acceso remoto a la información.

La selección de los sensores respondió a la necesidad de disponer de dispositivos capaces de monitorear variables ambientales y eléctricas relevantes para aplicaciones de agricultura de precisión, manteniendo un equilibrio entre costo, disponibilidad comercial y desempeño operativo. De manera complementaria, los microcontroladores y plataformas de software fueron elegidos por su compatibilidad con arquitecturas IoT abiertas y su facilidad de integración con sistemas de adquisición y visualización de datos. Las principales características técnicas de los componentes empleados durante el desarrollo de los prototipos se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1.

Ventajas, desventajas y aplicaciones de los sensores

Sensor	Variable medida	Rango de operación	Precisión	Consumo energético	Costo aproximado (MXN)
DHT22 (AM2302)	Temperatura y humedad relativa	Temp: -40 a 80 °C; HR: 0–100%	±0.5 °C; ±2–5% HR	Muy bajo	\$120–\$150
DS18B20 (sumergible/no sumergible)	Temperatura (ambiente o suelo)	-55 a 125 °C	±0.5 °C	Muy bajo	\$90–\$140
BH1750	Iluminancia (lux)	0–65,535 lux	±1 lux aprox.	Bajo	\$80–\$130
MQ-135	Calidad del aire (CO ₂ aproximado, COVs)	Dependiente de calibración	Baja–media	Medio	\$120–\$180
SDS011	Partículas PM2.5 y PM10	0–999 µg/m ³	±10%	Medio	\$350–\$500
ZMPT101B	Voltaje en AC	Hasta 250 V	Baja–media (depende de calibración)	Bajo	\$60–\$90
ZMCT103C	Corriente en AC (no invasivo)	0–5 A (según modelo)	Media	Bajo	\$50–\$90
PZEM-004T	Voltaje, corriente, potencia, energía	V: 80–260V; I depende del módulo	Media–alta	Bajo	\$170–\$250

Fuente: Elaboración propia

Como unidades de procesamiento se emplearon los microcontroladores ESP32 y Raspberry Pi Pico W, seleccionados por su adecuada relación entre costo, capacidad de procesamiento y facilidad de integración con sensores y plataformas IoT de código

abierto. El ESP32 se utilizó principalmente en aplicaciones que requerían conectividad Wi-Fi integrada, mayor capacidad de procesamiento y transmisión continua de datos hacia plataformas de monitoreo remoto. Por su parte, la Raspberry Pi Pico W se incorporó en arquitecturas orientadas al desarrollo de sistemas embebidos de bajo consumo energético, aprovechando su conectividad inalámbrica y su compatibilidad con MicroPython para la implementación de aplicaciones experimentales y educativas. Para la adquisición, almacenamiento y visualización de la información se empleó un conjunto de plataformas de software complementarias que permitieron evaluar diferentes estrategias de monitoreo. Node-RED fue utilizado para la integración de dispositivos IoT, el procesamiento de datos y el desarrollo de paneles de visualización en tiempo real mediante un entorno de programación basado en flujos. Flask permitió desarrollar aplicaciones web ligeras para la consulta remota de la información registrada por los prototipos, mientras que ThingSpeak se empleó como plataforma en la nube para el almacenamiento histórico de los datos, la generación de gráficas y el análisis preliminar de las variables monitoreadas.

La integración de estos componentes de hardware y software permitió desarrollar una arquitectura IoT modular, escalable y basada en tecnologías abiertas, facilitando la incorporación de nuevos sensores, la adaptación a diferentes escenarios agrícolas y la implementación de soluciones de bajo costo para el monitoreo agroambiental y energético.

Diseño de la arquitectura IoT

La arquitectura de los sistemas IoT desarrollados fue concebida bajo un enfoque modular, con el propósito de facilitar la integración de sensores ambientales y eléctricos, optimizar el consumo energético y permitir la escalabilidad hacia diferentes escenarios agrícolas. El diseño se fundamentó en la interacción coordinada de cuatro niveles funcionales: adquisición de datos, procesamiento local, comunicación inalámbrica y almacenamiento y visualización de la información. En el nivel de adquisición de datos se integraron sensores para el monitoreo de variables ambientales y eléctricas de interés agrícola, incluyendo temperatura, humedad relativa, intensidad luminosa, voltaje, corriente, potencia y consumo energético. Los sensores fueron conectados a microcontroladores ESP32 y Raspberry Pi Pico W, responsables de la adquisición de las

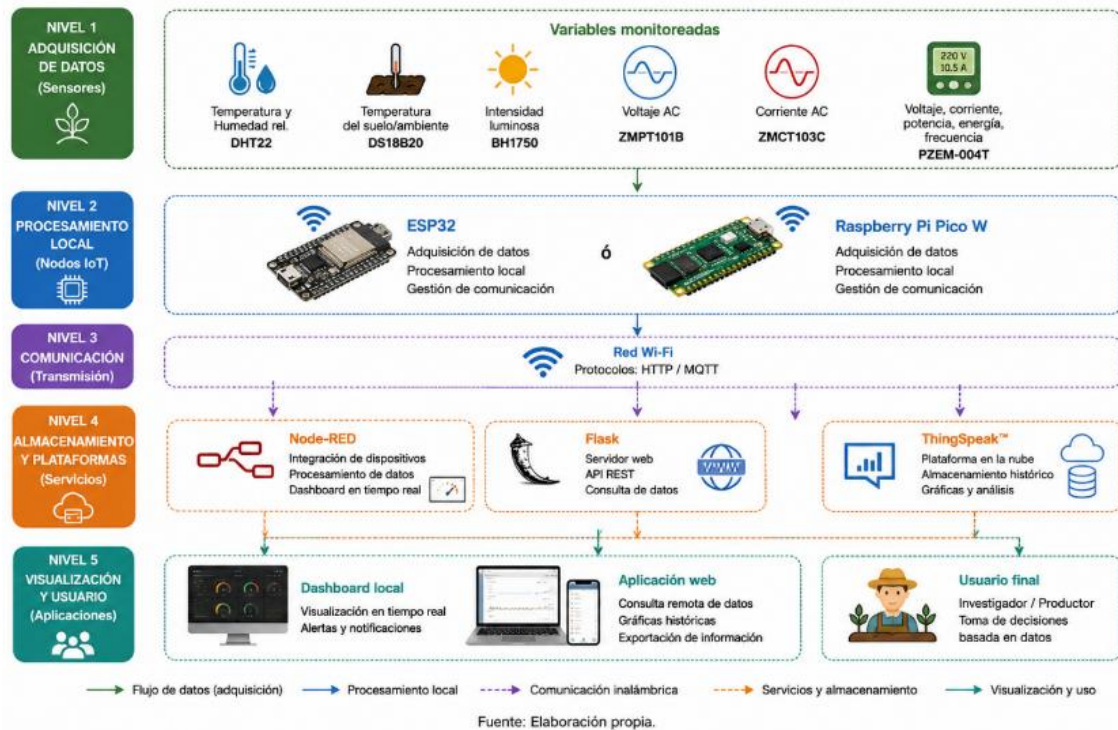
señales, el procesamiento básico de la información y la gestión de la comunicación con las plataformas de monitoreo.

El procesamiento local incluyó tareas de lectura periódica de sensores, verificación de rangos de operación, filtrado básico de datos y empaquetado de la información antes de su transmisión. Esta estrategia permitió reducir errores asociados a mediciones atípicas y mejorar la estabilidad de la información enviada hacia las plataformas de monitoreo, sin incrementar significativamente el consumo energético de los dispositivos. La comunicación entre los nodos sensores y las plataformas de supervisión se realizó mediante redes Wi-Fi empleando protocolos de comunicación compatibles con aplicaciones IoT. Dependiendo de los requerimientos de cada prototipo, los datos fueron enviados hacia servidores locales desarrollados con Flask, plataformas de integración mediante Node-RED o servicios en la nube como ThingSpeak, donde se almacenaron para su consulta, visualización y análisis.

Finalmente, el nivel de aplicación estuvo conformado por interfaces web y paneles de monitoreo que permitieron visualizar en tiempo real el comportamiento de las variables registradas, así como consultar el historial de mediciones almacenadas. Esta organización modular facilitó la incorporación de nuevos sensores, la adaptación de la arquitectura a diferentes necesidades de monitoreo y la reutilización de los componentes en distintos proyectos de investigación desarrollados por el Cuerpo Académico Agrotecnología ITJMMPH-CA-19. La Figura 2 presenta la arquitectura general implementada durante el desarrollo de los sistemas IoT de bajo costo para el monitoreo agroambiental.

Figura 2.

Arquitectura general de los sistemas IoT de bajo costo desarrollados para el monitoreo agroambiental



Fuente: Elaboración propia

La selección de microcontroladores es un elemento crítico en el diseño de sistemas IoT de bajo costo para el monitoreo agroambiental. En la mayoría de las arquitecturas de agricultura inteligente, estos dispositivos se encargan de adquirir datos de sensores, realizar un preprocesamiento básico y enviarlos hacia la nube o servidores locales. Revisiones recientes sobre agricultura inteligente destacan que plataformas como Arduino, ESP32 y la familia Raspberry Pi concentran la mayoría de las implementaciones por su bajo costo, disponibilidad y amplia comunidad de desarrollo (Gatkal et al., 2024). De forma complementaria, los análisis de rendimiento de placas ligeras como Raspberry Pi Pico W muestran que es posible alcanzar tiempos de respuesta inferiores a 100 ms y consumos de aproximadamente 1.3 mW en modo de bajo consumo, además de mantener una conexión Wi-Fi estable de aproximadamente 50 m bajo las condiciones experimentales evaluadas (Bhagat et al., 2025). Estas características hacen de este tipo de microcontroladores una alternativa potencial para nodos IoT de monitoreo ambiental que requieren bajo consumo energético y comunicación inalámbrica.

En el contexto de la agricultura, se ha documentado que el uso de microcontroladores Wi-Fi como ESP32 permite integrar sensores de temperatura, humedad y humedad del suelo con aplicaciones móviles para riego automatizado, reduciendo el desperdicio de agua y facilitando la supervisión remota del cultivo (Daud et al., 2025). Asimismo, se han propuesto soluciones de agricultura inteligente alimentadas con paneles solares y comunicación celular o GSM, donde el microcontrolador coordina estaciones meteorológicas, módulos de calidad de aire y sensores de suelo para mejorar la toma de decisiones en parcelas rurales (Hugeng et al., 2023).

La Raspberry Pi Pico y su variante con conectividad inalámbrica, Pico W, representan microcontroladores de propósito general que combinan capacidades de procesamiento, bajo consumo y un costo accesible. El núcleo RP2040 integra un procesador ARM Cortex-M0+ de doble núcleo a 133 MHz, 264 kB de SRAM y múltiples pines GPIO multifunción, características que permiten integrar diversos sensores ambientales y energéticos. Bhagat et al. (2025) evaluaron experimentalmente el desempeño de la Raspberry Pi Pico W en aplicaciones IoT, reportando tiempos de respuesta inferiores a 100 ms y un consumo reducido en modos de operación de bajo consumo. Estos resultados respaldan su utilización como plataforma para nodos IoT que requieren procesamiento local y comunicación inalámbrica. Desde la perspectiva del prototipado, la familia Raspberry Pi, incluyendo Pico H y Pico W, se ha utilizado como plataforma flexible para automatización y monitoreo en diversos dominios, entre ellos la agricultura, debido a su compatibilidad con diferentes lenguajes y herramientas de desarrollo (Mathe et al., 2024). Esta combinación de características favorece el desarrollo de estaciones agroambientales modulares y escalables mediante componentes de bajo costo.

La familia ESP32 se ha convertido en una plataforma ampliamente utilizada para el desarrollo de soluciones IoT de bajo costo debido a la integración de conectividad Wi-Fi y Bluetooth, sus capacidades de procesamiento y la disponibilidad de herramientas de desarrollo y bibliotecas para la integración de sensores y servicios en la nube. En aplicaciones agrícolas, el ESP32 puede emplearse para integrar sensores de temperatura, humedad relativa y humedad del suelo con plataformas de monitoreo remoto, permitiendo la adquisición y transmisión de información en tiempo real. Palacios et al. (2025) reportan una aplicación basada en ESP32 orientada al monitoreo de variables agrícolas y su

integración con servicios de supervisión remota. La variante ESP32-CAM incorpora capacidades de adquisición de imágenes, lo que permite extender este tipo de arquitecturas hacia aplicaciones de visión artificial, como el análisis visual del cultivo y la detección de condiciones anómalas. No obstante, la implementación de sistemas ESP32 en aplicaciones de campo requiere considerar aspectos como el consumo energético, la protección frente a condiciones ambientales y las estrategias de operación de bajo consumo cuando se utilizan fuentes de alimentación autónomas.

Programación en MicroPython para sistemas agrícolas

MicroPython se ha consolidado como una alternativa atractiva para el desarrollo rápido de firmware en sistemas embebidos orientados a la agricultura. Su sintaxis cercana a Python y la disponibilidad de librerías para buses I²C, SPI, UART y protocolos de red (HTTP, MQTT) reducen significativamente el tiempo de desarrollo y facilitan que estudiantes y técnicos con formación básica en programación puedan implementar sistemas de monitoreo agroambiental. Experiencias reportadas en el uso de microcontroladores de bajo costo muestran que la combinación de hardware accesible (ESP32, Raspberry Pi Pico) con lenguajes de alto nivel permite iterar más rápido sobre prototipos y concentrarse en la lógica agronómica más que en detalles de bajo nivel (Palacios et al., 2025; Gatkál et al., 2024). En sistemas agroambientales, MicroPython resulta especialmente útil para:

- Implementar ciclos de lectura periódica (por ejemplo, cada 10–60 s) de variables climáticas y del suelo.
- Realizar promedios, filtrado básico y detección de umbrales directamente en el nodo.
- Enviar datos mediante MQTT hacia plataformas como Node-RED, ThingSpeak o servidores locales con Flask/Django.
- Activar actuadores (bombas, relevadores, ventiladores, luminarias) en función de reglas sencillas.

Consumo energético y estrategias de autonomía

En entornos rurales, la intermitencia del suministro eléctrico y la distancia a la red hacen que la autonomía de los nodos sea un requisito central. Diversas implementaciones de agricultura inteligente, particularmente en contextos de países en desarrollo, combinan microcontroladores, paneles solares, baterías y comunicación celular o Wi-Fi para lograr estaciones totalmente autónomas (Hugeng et al., 2023). Estos trabajos muestran que un dimensionamiento adecuado del panel (5–20 W, según el consumo del microcontrolador y de los periféricos) y de la batería permite mantener la operación continua incluso con varios días de baja irradiación. Las estrategias de ahorro energético reportadas incluyen:

- Uso de modos de deep sleep en ESP32 y reducción de la frecuencia de muestreo cuando las variables cambian lentamente.
- Desactivación temporal de módulos de radio (Wi-Fi, Bluetooth) cuando no es necesario transmitir datos.
- Programación de ventanas cortas de transmisión hacia la nube y almacenamiento local de datos cuando la conectividad es limitada.
- Uso de protocolos ligeros como MQTT sobre enlaces de baja capacidad.

En el contexto del sur de Jalisco, estas estrategias son directamente transferibles a estaciones agroambientales instaladas en parcelas de caña, aguacate u otros cultivos regionales, donde la energía solar y las baterías recargables pueden proporcionar la autonomía necesaria para operar sin supervisión constante.

Plataformas de visualización y envío de datos

La utilidad final de un sistema IoT en agricultura depende de que la información generada por los sensores se presente de manera clara y accionable para productores y técnicos. La literatura especializada señala el uso recurrente de plataformas como Node-RED, servicios en la nube (ThingSpeak, Blynk, Ubidots) y aplicaciones móviles personalizadas para visualizar variables ambientales, alertas y estados de actuadores. Node-RED, ejecutado en una Raspberry Pi o servidor local, permite construir flujos de datos y paneles de control con gráficas, indicadores y botones de activación de actuadores, sin requerir una programación web avanzada. Por su parte, servicios en la nube como

ThingSpeak o Blynk ofrecen visualización rápida y notificaciones móviles, lo que resulta útil para pequeños productores con acceso limitado a infraestructura de cómputo, pero con buena cobertura de telefonía móvil. La elección de la plataforma de visualización depende de la infraestructura disponible:

- **Escenarios con Wi-Fi local:** ESP32 + Node-RED o dashboards en servidor local.
- **Escenarios con conectividad celular:** nodos con GSM o gateways que envían datos a la nube (ThingSpeak, Blynk).
- **Entornos educativos y demostrativos:** Pico W o ESP32 conectados a un servidor local con Flask/Django, útil para prácticas de laboratorio y capacitación de estudiantes y productores.

Comunicación: Wi-Fi, LoRa y redes híbridas

La selección del protocolo de comunicación es uno de los elementos más críticos en la arquitectura IoT agrícola, pues determina el alcance, el consumo energético y la confiabilidad del sistema.

- **Wi-Fi:** Ideal para parcelas cercanas a viviendas o centros educativos. Además, permite enviar datos directamente a plataformas web, presenta un alcance limitado (30–80 m sin repetidores).
- **LoRa / LoRaWAN:** presenta cobertura de 5 a 15 km en campo abierto, su consumo energético es muy bajo, pero requiere gateways o nodos repetidores, es una alternativa adecuada para el monitoreo distribuido en caña e invernaderos extensos.
- **Redes celulares (3G/4G/LTE):** Útiles para zonas remotas sin infraestructura, lo que genera mayores costos y consumo energético, es ideal para estaciones autónomas. Pueden generar enlaces híbridos. Ejemplo: nodos con LoRa que envían datos a un gateway ESP32 con Wi-Fi → servidor web.

Estas combinaciones permiten adaptar la solución a la geografía local del sur de Jalisco, donde la conectividad varía significativamente entre zonas urbanas, cañeras y comunidades agrícolas.

Procesamiento y almacenamiento de datos

Una arquitectura IoT eficiente debe incluir mecanismos para gestionar la información capturada.

Niveles de procesamiento:

- **Borde (edge):** Realizado directamente en el microcontrolador, sus características: filtrado, detección de valores fuera de rango, compresión de datos, apagado de sensores innecesarios.
- **Gateway:** Recibe datos de varios nodos, puede almacenar temporalmente información. Ejemplo: ESP32 + LoRa + Wi-Fi.
- **Servidor local o nube:** Requiere una base de datos SQL/NoSQL, Dashboards, gráficos, alertas y además una API para futuras integraciones.

Plataformas comunes:

- **ThingSpeak:** fácil de usar, graficación inmediata.
- **Ubidots:** dashboards profesionales.
- **Node-RED:** integración de flujos y dashboards locales.
- **Flask/Django:** para soluciones totalmente personalizadas.

El procesamiento distribuido reduce el consumo energético y asegura continuidad en caso de fallas de conectividad.

Publicación en plataformas web y sistemas de visualización

La visualización de datos es un elemento clave para que productores, técnicos y estudiantes interpreten la información recogida.

Características deseables en un dashboard agrícola:

- Gráficas por variable, por fecha y por estación.
- Alertas automáticas (temperatura alta, bajo voltaje, humedad del suelo baja).
- Exportación de datos para análisis posterior.
- Interfaz intuitiva para usuarios no técnicos.

Opciones recomendadas:

- **Node-RED Dashboard:** intuitivo y ejecutable en una computadora local.
- **Ubidots STEM:** ideal para estudiantes y prototipos institucionales.
- **ThingSpeak:** excelente para graficación rápida.
- **Flask + HTML5:** solución profesional de bajo costo.

Estas herramientas permiten integrar información ambiental con indicadores energéticos, creando sistemas agroambientales más completos.

Arquitectura general del internet de las cosas en agricultura

El Internet de las Cosas (IoT) se ha consolidado como una de las tecnologías más relevantes para apoyar la transformación digital de la agricultura. Su capacidad para integrar sensores, actuadores, sistemas de comunicación y plataformas de análisis permite generar información útil en tiempo real para la toma de decisiones en campo. En el ámbito agrícola, IoT facilita el monitoreo continuo de variables ambientales, el manejo preciso del riego, la automatización de invernaderos y la optimización del uso de recursos, lo que fortalece la agricultura de precisión (Shabeer et al., 2025). El uso de IoT ha demostrado ser especialmente valioso en regiones donde las condiciones climáticas son variables y el acceso a tecnologías comerciales es limitado. Al integrar sensores de bajo costo con sistemas embebidos y plataformas digitales, los productores pueden mejorar la eficiencia operativa, anticipar riesgos y reducir costos asociados a insumos y energía (Sattar et al., 2025).

Arquitectura IoT en aplicaciones agrícolas

Una arquitectura IoT agrícola típica se compone de varios niveles: adquisición de datos mediante sensores, procesamiento local en un microcontrolador, transmisión de información a través de redes inalámbricas, almacenamiento en plataformas locales o en la nube y visualización mediante dashboards o aplicaciones especializadas. Esta estructura modular permite adaptar soluciones tanto a parcelas pequeñas como a unidades productivas más complejas (Kumar et al., 2024). A nivel tecnológico, se observa una tendencia hacia arquitecturas híbridas que combinan redes de largo alcance y bajo

consumo (LPWAN), nodos de borde capaces de realizar procesamiento ligero y plataformas analíticas en la nube. Tales arquitecturas mejoran la escalabilidad, reducen el consumo energético y permiten integrar múltiples estaciones distribuidas en zonas rurales amplias (Duguma & Bai, 2024).

Componentes esenciales de un sistema IoT agroambiental

Los componentes más comunes en proyectos de bajo costo son:

- **Sensores ambientales:** DHT22, DS18B20, BH1750, MQ-x, capacitivos de humedad de suelo.
- **Sensores de energía:** PZEM-004T, ZMPT101B, ZMCT103C, usados para monitorear consumo en bombas, ventilación o sistemas de riego.
- **Microcontroladores:** ESP32, Raspberry Pi Pico, ESP8266.
- **Módulos de comunicación:** LoRa SX1276/SX1278, Wi-Fi integrado, módulos GSM.
- **Sistemas de energía:** paneles solares de 5–20 W, baterías 18650 o LiPo, controladores de carga.
- **Plataformas web:** Node-RED, Flask, Ubidots, ThingSpeak, servidores locales.

La combinación adecuada depende del tipo de cultivo, el presupuesto disponible y la distancia entre nodos.

Requerimientos operativos para zonas rurales (energía, conectividad, distancia)

Las zonas agrícolas rurales, como muchas en el sur de Jalisco, presentan desafíos característicos: infraestructura eléctrica limitada o intermitente, cobertura irregular de comunicación, largas distancias entre parcelas, variabilidad climática y necesidad de sistemas de bajo mantenimiento. Para ello, las arquitecturas IoT deben contemplar:

- **Alimentación autónoma:** paneles solares, baterías de respaldo, bajo consumo.

- Protocolos de comunicación de largo alcance y bajo consumo (LPWAN, LoRa, NB-IoT) cuando la red Wi-Fi no está disponible. Estudios recientes comparan protocolos LPWAN, 4G/5G e híbridos para garantizar cobertura, confiabilidad y eficiencia en ambientes agrícolas (Shabeer et al., 2025).
- Modularidad y escalabilidad: permitir expandir nodos, integrar nuevos sensores o módulos, actualizar firmware, sin requerir infraestructura compleja.
- Robustez física: protección de sensores y nodos contra humedad, polvo, radiación, animales, clima; encapsulado adecuado, sellado, protección IP.

Implementar IoT en zonas rurales con estos requerimientos permite superar barreras históricas de acceso a tecnología, democratizando la agricultura de precisión incluso para pequeños productores, y contribuyendo a la sostenibilidad agrícola (Palacios et al., 2025).

Validación funcional de los prototipos

Con el propósito de verificar el funcionamiento operativo de las arquitecturas IoT desarrolladas, se realizaron pruebas funcionales en los diferentes escenarios de implementación descritos anteriormente. La validación estuvo orientada a comprobar la integración entre sensores, microcontroladores, sistemas de comunicación y plataformas de visualización, así como a evaluar la capacidad de los prototipos para adquirir, transmitir y presentar información agroambiental y energética bajo condiciones representativas de operación. A diferencia de estudios orientados a la comparación entre tecnologías comerciales o a la evaluación del impacto agronómico de los sistemas, la presente investigación se centró en la validación funcional de los prototipos desarrollados. En consecuencia, el proceso de evaluación tuvo como finalidad determinar el comportamiento operativo de las arquitecturas propuestas y verificar su capacidad para generar información útil para actividades de monitoreo agroambiental, sin pretender establecer conclusiones generalizables sobre productividad agrícola, confiabilidad a largo plazo o viabilidad económica.

La evaluación de los prototipos se realizó mediante indicadores operativos previamente definidos, los cuales permitieron analizar el desempeño de los diferentes

componentes que integran la arquitectura IoT. Estos indicadores incluyeron la estabilidad de las mediciones obtenidas por los sensores, la continuidad en la transmisión de datos hacia las plataformas de monitoreo, la autonomía energética de los sistemas alimentados mediante paneles fotovoltaicos, la robustez física de los nodos frente a las condiciones ambientales y la utilidad de la información generada para apoyar el monitoreo de variables agrícolas y energéticas. Con el fin de sistematizar el proceso de evaluación, se establecieron los criterios presentados en la Tabla 2, los cuales fueron utilizados para valorar el comportamiento funcional de los prototipos durante las pruebas de implementación.

Tabla 2.

Criterios empleados para la validación funcional de los sistemas IoT desarrollados

Indicador	Descripción	Criterio de evaluación
Estabilidad de medición	Consistencia de las lecturas registradas durante el periodo de prueba.	Funcionamiento continuo sin variaciones anómalas atribuibles al sistema.
Comunicación de datos	Transmisión de información entre los nodos IoT y las plataformas de monitoreo.	Envío exitoso de datos y disponibilidad para su consulta.
Autonomía energética	Capacidad de operación mediante alimentación autónoma.	Funcionamiento estable con sistemas fotovoltaicos y baterías cuando fueron utilizados.
Robustez física	Comportamiento del sistema bajo condiciones ambientales de operación.	Operación adecuada de los componentes durante las pruebas en campo.
Utilidad de la información	Pertinencia de las variables registradas para aplicaciones agroambientales y energéticas.	Disponibilidad de datos suficientes para el monitoreo y la supervisión de los escenarios evaluados.

Fuente: Elaboración propia

Descripción de los escenarios y condiciones experimentales

Los prototipos considerados en este estudio fueron desarrollados y evaluados en diferentes escenarios de aplicación, incluyendo parcelas agrícolas, domicilios particulares e instalaciones del Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica Tamazula. Debido a que los sistemas fueron concebidos para aplicaciones agroambientales y energéticas con diferentes requerimientos de operación, las condiciones experimentales variaron de acuerdo con el objetivo de cada prototipo, las variables monitoreadas y la infraestructura de comunicación disponible. Para facilitar la interpretación de los resultados y mejorar la reproducibilidad del estudio, se diferenciaron

el contexto de aplicación de cada sistema y el sitio específico donde se realizaron las pruebas utilizadas para documentar sus resultados.

Los sistemas orientados al monitoreo agroambiental fueron evaluados en una parcela de cultivo de caña de azúcar localizada en Tamazula de Gordiano, Jalisco, México, en las coordenadas 19.686686° N, 103.231546° O. En este sitio se implementaron prototipos destinados al monitoreo de variables ambientales y meteorológicas. La estación meteorológica integró sensores de temperatura, humedad relativa y precipitación, mientras que la plataforma de monitoreo agrícola incorporó sensores para la adquisición de variables ambientales. La campaña de validación documentada para la publicación se desarrolló durante 30 días en marzo de 2025. Adicionalmente, se realizaron pruebas preliminares en el mismo escenario durante noviembre de 2022, correspondientes a una etapa inicial del desarrollo y evaluación de los prototipos.

Durante las pruebas realizadas en la parcela de caña de azúcar, los nodos utilizaron la infraestructura de red disponible en el sitio para la transmisión de información. En las configuraciones que emplearon comunicación inalámbrica, se observó conectividad operativa hasta aproximadamente 50 m entre el nodo y el punto de acceso, mientras que a distancias superiores se presentó pérdida de señal que impedía mantener una comunicación estable. Este valor corresponde al alcance operativo observado bajo las condiciones particulares de la parcela y no debe interpretarse como el alcance general de la tecnología Wi-Fi, debido a que este parámetro depende de factores como la potencia y características del punto de acceso, antenas, obstáculos, topografía e interferencias presentes en el entorno.

El prototipo de monitoreo de parámetros eléctricos basado en Raspberry Pi Pico W, ZMCT103C y ZMPT101B fue evaluado en un sitio ubicado en Huescalapa, Jalisco, en las coordenadas 19.637817° N, 103.446717° O. Las pruebas utilizaron una red eléctrica monofásica de 127 V y 60 Hz, con cargas resistivas domésticas de entre 10 y 250 W. El sistema realizó adquisiciones con una frecuencia de muestreo de un segundo y fue ejecutado durante un mes, permitiendo observar su comportamiento temporal y detectar posibles intermitencias o variaciones en las mediciones.

La evaluación experimental de sensores ambientales de bajo costo correspondió a una aplicación de monitoreo desarrollada inicialmente para un domicilio particular en

Tamazula de Gordiano. Para la generación de los resultados empleados en la publicación, las pruebas experimentales se realizaron en las instalaciones del Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica Tamazula, bajo condiciones controladas o semicontroladas. En este desarrollo se utilizó una Raspberry Pi Pico W para integrar sensores DHT22, DS18B20, YL-69 y PH-4502C, orientados al monitoreo de variables ambientales y del suelo. El estudio permitió obtener 3,279 mediciones por variable, utilizadas para analizar el comportamiento de los sensores durante el periodo de evaluación.

De manera similar, el sistema de monitoreo eléctrico residencial basado en ESP32 y PZEM-004T V3.0 fue concebido para el monitoreo de instalaciones eléctricas residenciales en el municipio de Tamazula de Gordiano. No obstante, las pruebas utilizadas para la validación y documentación del artículo se realizaron en las instalaciones del Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica Tamazula. El sistema permitió adquirir variables como voltaje, corriente, potencia activa, energía acumulada, frecuencia y factor de potencia, con un intervalo de adquisición de 15 segundos y transmisión mediante Wi-Fi hacia una plataforma de monitoreo en la nube. Para la validación se utilizaron cargas representativas de diferentes comportamientos eléctricos, incluyendo una carga inductiva, una carga resistiva y una carga electrónica.

En todos los escenarios en los que se empleó conectividad Wi-Fi, los prototipos utilizaron la red local con acceso a Internet disponible en el sitio de prueba, sin depender de un gateway IoT dedicado. La comunicación permitió transmitir los datos desde los nodos hacia las interfaces web o plataformas de almacenamiento y visualización correspondientes. Cuando la distancia al punto de acceso no fue registrada de manera específica durante las pruebas, este parámetro se reporta como no registrado en la Tabla 3, evitando realizar estimaciones posteriores.

La Tabla 3 resume las principales características de los escenarios y condiciones experimentales de los prototipos considerados, incluyendo el contexto de aplicación, sitio de prueba, ubicación geográfica disponible, periodo de evaluación, variables o aplicación, sensores principales, tecnología de comunicación, distancia al punto de acceso y duración de las pruebas.

Tabla 3.

Características de los escenarios y condiciones experimentales de los prototipos IoT

Prototipo / sistema	Contexto de aplicación	Sitio de prueba	Coordenadas	Periodo de prueba	Sensores principales	Comunicación	Distancia al AP	Duración
Plataforma de monitoreo agrícola	Monitoreo agroambiental en caña de azúcar	Parcela de caña, Tamazul de Gordiano, Jalisco	19.686686, -103.231546	Marzo de 2025	Sensores ambientales	Wi-Fi / HT TP	≈50 m	30 días
Estación meteorológica autónoma	Monitoreo meteorológico en caña de azúcar	Parcela de caña, Tamazul de Gordiano, Jalisco	19.686686, -103.231546	Noviembre de 2022; campaña de validación en marzo de 2025	DS18B20, DHT11, pluviómetro de efecto Hall	Ethernet / HT TP	No aplica*	30 días en campaña 2025
Evaluación de sensores de bajo costo	Monitoreo ambiental y de variables del suelo	Instalaciones del Tecnológico, Tamazul de Gordiano	No registrada	No reportado	DHT22, DS18B20, YL-69, PH-4502C	Wi-Fi	No registrada	3,279 mediciones por variable
Monitoreo de parámetros eléctricos con Raspberry Pi Pico W	Monitoreo de parámetros eléctricos	Sitio de prueba, Huescalapa, Jalisco	19.637817, -103.446717	No reportado	ZMCT103C, ZMPT101B	Wi-Fi	No registrada	1 mes
Monitoreo eléctrico residencial con ESP32 y PZEM-004T	Monitoreo de consumo eléctrico residencial	Instalaciones del Tecnológico, Tamazul de Gordiano	No registrada	No reportado	PZEM-004T V3.0	Wi-Fi / HT TP	No registrada	No reportada

Fuente: Elaboración propia con base en los trabajos experimentales y registros de implementación disponibles

Alcances y limitaciones metodológicas

La metodología desarrollada permitió diseñar, implementar y validar funcionalmente diversos sistemas IoT de bajo costo para el monitoreo de variables agroambientales y energéticas mediante arquitecturas modulares basadas en tecnologías

de hardware y software de código abierto. Los prototipos fueron implementados en cultivos de caña de azúcar, huertos de aguacate y áreas experimentales del Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica Tamazula, permitiendo evaluar su funcionamiento en escenarios representativos del contexto agrícola regional.

Los resultados obtenidos permiten verificar la correcta integración entre sensores, microcontroladores, plataformas de comunicación y herramientas de visualización, así como comprobar la capacidad de las arquitecturas desarrolladas para adquirir, transmitir y almacenar información ambiental y eléctrica bajo las condiciones evaluadas. En este sentido, la investigación aporta evidencia sobre la factibilidad técnica de implementar soluciones IoT de bajo costo orientadas al monitoreo agroambiental utilizando componentes comerciales y plataformas abiertas. No obstante, el alcance del estudio se limita a la validación funcional de los prototipos desarrollados. Por tanto, los resultados no deben interpretarse como una demostración concluyente de confiabilidad a largo plazo, viabilidad económica, incremento en la productividad agrícola o transferencia tecnológica hacia otros contextos de producción. Estos aspectos requieren estudios adicionales que contemplen periodos de operación más prolongados, un mayor número de sitios experimentales, diferentes condiciones ambientales y la comparación con tecnologías comerciales o sistemas de referencia.

Como trabajo futuro, se propone ampliar la validación incorporando nuevos sensores para variables como humedad del suelo, precipitación, velocidad del viento y calidad del aire, así como integrar tecnologías de comunicación de largo alcance, algoritmos de inteligencia artificial para análisis predictivo y plataformas de analítica avanzada que fortalezcan el apoyo a la toma de decisiones en agricultura de precisión.

Resultados

Los resultados obtenidos durante el desarrollo de la investigación se presentan de acuerdo con las diferentes etapas de implementación y validación descritas en la metodología. En esta sección se documentan las principales evidencias derivadas del diseño de las arquitecturas IoT, la construcción de los prototipos, su implementación en escenarios agrícolas representativos y la evaluación funcional realizada bajo condiciones de operación. La presentación de los resultados se limita a describir los hallazgos

observados durante el estudio, mientras que su interpretación y comparación con investigaciones previas se desarrollan en la sección de discusión.

Implementación de los sistemas IoT de bajo costo

Como resultado del proceso de diseño e integración tecnológica se desarrollaron diversos prototipos IoT orientados al monitoreo de variables ambientales y eléctricas. Las implementaciones combinaron sensores de bajo costo, microcontroladores ESP32 y Raspberry Pi Pico W, sistemas de alimentación convencionales y fotovoltaicos, así como diferentes plataformas para el almacenamiento y visualización de la información. Las características específicas de los escenarios de prueba, incluyendo ubicación, periodo de evaluación, sensores, comunicación y duración, fueron descritas previamente en la tabla 3.

En los sistemas orientados al monitoreo agroambiental se obtuvieron registros continuos de variables como temperatura, humedad relativa, precipitación e iluminación, dependiendo de la configuración implementada. Las pruebas realizadas en la parcela de caña de azúcar permitieron verificar el funcionamiento de los nodos bajo condiciones reales de operación y mantener la transmisión de información mediante la infraestructura de comunicación disponible en el sitio. Durante la campaña de validación de marzo de 2025 se mantuvo la operación durante un periodo de 30 días, lo que permitió generar registros temporales para el seguimiento de las variables ambientales.

En la parcela de caña de azúcar se observó que la comunicación inalámbrica permaneció operativa cuando los nodos se localizaron aproximadamente a 50 m del punto de acceso. Al incrementar esta distancia se presentó pérdida de señal que impedía mantener una comunicación estable. Este resultado corresponde a las condiciones particulares del sitio de prueba y permitió establecer el alcance operativo observado para la configuración utilizada durante la campaña experimental.

En los prototipos orientados al monitoreo eléctrico se obtuvieron registros de variables como voltaje RMS, corriente RMS, potencia aparente y energía, mediante diferentes configuraciones de sensores y microcontroladores. El sistema basado en Raspberry Pi Pico W fue evaluado durante una semana bajo condiciones controladas, utilizando una red monofásica de 127 V y 60 Hz y diferentes niveles de carga. La comparación con un equipo de referencia mostró errores relativos de 2.18 % para voltaje,

5.68 % para corriente y 7.73 % para potencia aparente, con un error relativo promedio global de 5.19 %.

En la evaluación experimental de sensores ambientales de bajo costo se analizaron 3,279 mediciones por variable. Los resultados mostraron errores relativos inferiores al 10 % para las variables evaluadas. El sensor DS18B20 presentó el menor error relativo, con aproximadamente 1.74 %, mientras que el DHT22 presentó un error de 8.35 % para temperatura y 3.18 % para humedad relativa. El sensor YL-69 presentó un error relativo de 2.27 %, aunque con una mayor dispersión en las mediciones.

La integración de los prototipos con plataformas de monitoreo permitió transmitir y visualizar los datos obtenidos durante las pruebas. Dependiendo de la arquitectura empleada, la información fue presentada mediante interfaces web, Node-RED, Flask o ThingSpeak, permitiendo consultar mediciones en tiempo real y, en las configuraciones que incorporaron almacenamiento histórico, revisar los registros generados durante los periodos de evaluación.

En los prototipos alimentados mediante sistemas fotovoltaicos se verificó la continuidad de operación durante los periodos de evaluación establecidos. Asimismo, la arquitectura modular permitió utilizar diferentes sensores y microcontroladores de acuerdo con las variables de interés, manteniendo una estructura general de adquisición, procesamiento, comunicación y visualización. La Figura 3 presenta algunos de los principales prototipos desarrollados durante la investigación e implementados en los diferentes escenarios de evaluación.

Figura 3.

Prototipos IoT desarrollados e implementados para el monitoreo: a) Agroambiental y b) Energético en el sur de Jalisco



a)



b)

Fuente: Elaboración propia

Desempeño funcional de los prototipos

Con el propósito de evaluar el comportamiento operativo de las arquitecturas desarrolladas, se realizaron pruebas funcionales en los diferentes escenarios de implementación descritos en la metodología. Los resultados obtenidos permitieron verificar la correcta integración entre los sensores, los microcontroladores, las plataformas de comunicación y las herramientas de visualización empleadas durante el estudio. En relación con la adquisición de datos, los prototipos registraron de manera continua las variables ambientales y eléctricas programadas para cada escenario de implementación. Las estaciones agroambientales permitieron monitorear temperatura, humedad relativa e intensidad luminosa, mientras que los módulos de monitoreo energético registraron voltaje, corriente, potencia, energía y frecuencia mediante los sensores incorporados en cada configuración experimental.

Durante las pruebas de funcionamiento, la transmisión de información hacia las plataformas de monitoreo se realizó de forma satisfactoria mediante redes Wi-Fi, permitiendo la actualización periódica de las variables registradas y su almacenamiento en servidores locales o plataformas en la nube, dependiendo de la arquitectura utilizada. Asimismo, la integración con Node-RED, Flask y ThingSpeak facilitó la consulta de los datos en tiempo real y el acceso al historial de mediciones para su posterior análisis.

En los prototipos alimentados mediante sistemas fotovoltaicos se verificó la continuidad de operación durante los periodos de evaluación establecidos, observándose un funcionamiento estable de los nodos sensores bajo las condiciones ambientales presentes durante las pruebas. De igual manera, la estructura modular de las arquitecturas permitió sustituir sensores, incorporar nuevos dispositivos y adaptar las configuraciones de monitoreo sin modificar el funcionamiento general del sistema. De manera general, los resultados obtenidos evidenciaron que las arquitecturas desarrolladas permitieron adquirir, transmitir, almacenar y visualizar información agroambiental y energética de forma continua durante los periodos de evaluación considerados en este estudio. La Tabla 4 presenta una síntesis de los principales resultados obtenidos para cada uno de los criterios de validación funcional definidos en la metodología.

Tabla 4.

Resultados de la validación funcional de los sistemas IoT desarrollados

Indicador evaluado	Resultado observado
Estabilidad de las mediciones	Registro continuo de las variables ambientales y eléctricas durante los periodos de evaluación.
Comunicación de datos	Transmisión exitosa de la información hacia Node-RED, Flask y ThingSpeak mediante redes Wi-Fi.
Procesamiento local	Adquisición periódica de datos y procesamiento básico realizado por ESP32 y Raspberry Pi Pico W.
Autonomía energética	Funcionamiento continuo de los prototipos alimentados mediante sistemas fotovoltaicos durante las pruebas realizadas.
Visualización de la información	Consulta en tiempo real e historial de datos mediante interfaces web y plataformas IoT.
Escalabilidad de la arquitectura	Integración de nuevos sensores y adaptación de configuraciones sin modificar la arquitectura general del sistema.

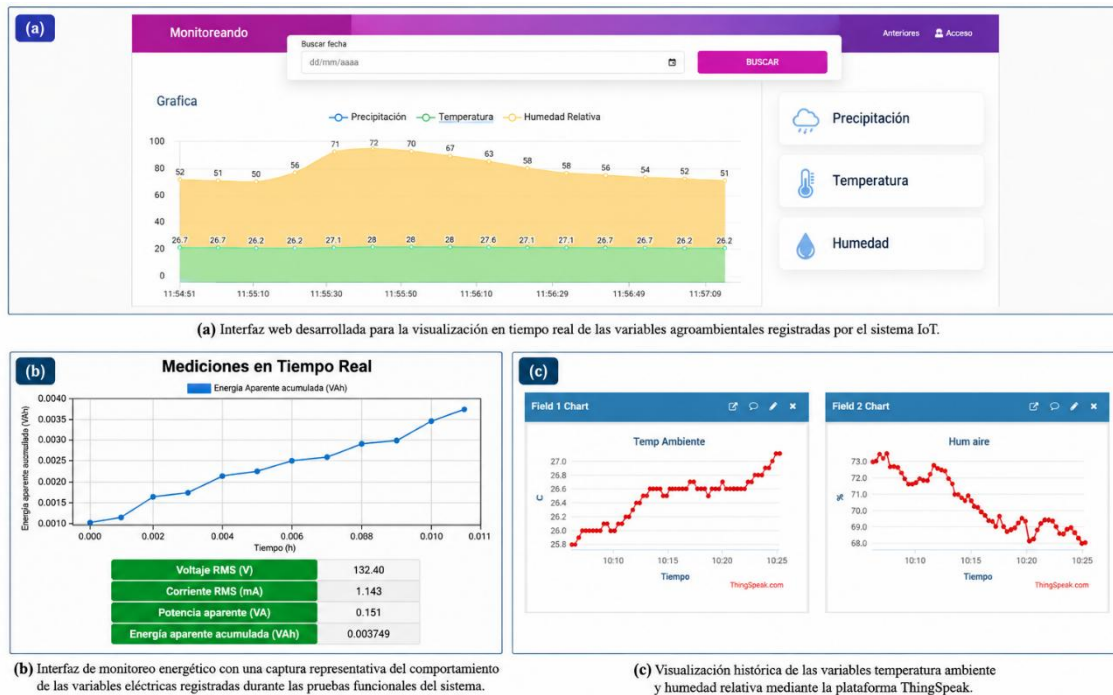
Fuente: Elaboración propia

La Figura 4 presenta ejemplos de las interfaces desarrolladas para la visualización y consulta de la información adquirida durante las pruebas experimentales. Como puede observarse, las plataformas implementadas permitieron representar gráficamente las variables ambientales y eléctricas, consultar mediciones en tiempo real y almacenar

registros históricos para su posterior análisis. Estas evidencias confirman el funcionamiento integrado de los módulos de adquisición, comunicación y visualización definidos en la arquitectura propuesta.

Figura 4.

Evidencias de funcionamiento de las plataformas de monitoreo desarrolladas



Fuente: Elaboración propia

Comportamiento de las variables monitoreadas

Las pruebas experimentales realizadas con los sistemas IoT desarrollados permitieron registrar de forma continua variables agroambientales y eléctricas mediante sensores de bajo costo integrados a las arquitecturas propuestas. La información adquirida fue almacenada y visualizada utilizando plataformas web y servicios en la nube, generando registros históricos que facilitaron el seguimiento del comportamiento temporal de las variables monitoreadas.

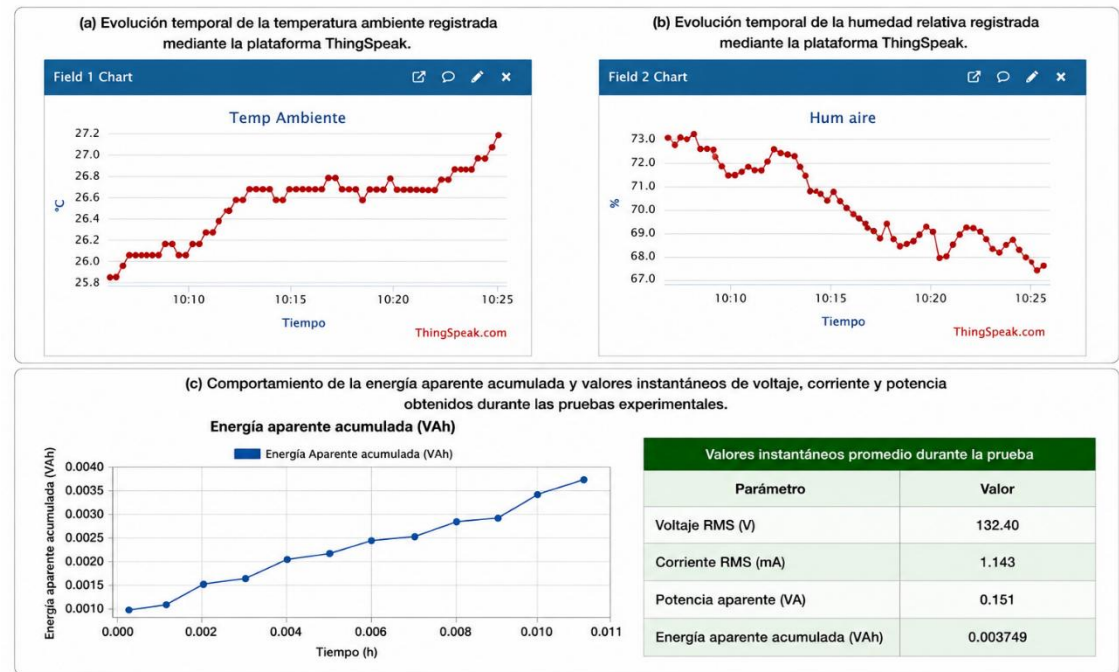
En las estaciones agroambientales se registraron variables como temperatura ambiente, humedad relativa y precipitación. Las gráficas obtenidas durante las pruebas muestran la evolución temporal de estas variables, permitiendo identificar las variaciones naturales presentes durante los periodos de monitoreo. En particular, la temperatura ambiente presentó una tendencia de incremento gradual durante el intervalo analizado,

mientras que la humedad relativa mostró una disminución progresiva, comportamiento consistente con la relación inversa que suele presentarse entre ambas variables bajo condiciones ambientales normales. Por otra parte, el sistema de monitoreo energético registró parámetros eléctricos como voltaje RMS, corriente RMS, potencia aparente y energía aparente acumulada. Durante las pruebas experimentales se observó un incremento continuo de la energía acumulada conforme avanzó el tiempo de medición, mientras que las variables instantáneas permanecieron estables de acuerdo con las condiciones de operación de la carga conectada. Estos resultados evidencian la capacidad del sistema para realizar mediciones continuas y registrar la evolución temporal de las variables eléctricas monitoreadas.

La integración de plataformas como ThingSpeak y las interfaces web desarrolladas permitió consultar tanto las mediciones en tiempo real como los registros históricos almacenados, facilitando la supervisión de las variables ambientales y energéticas desde una interfaz gráfica accesible para el usuario. La Figura 5 presenta ejemplos representativos del comportamiento temporal observado durante las pruebas experimentales. Con el propósito de sintetizar la información obtenida durante la evaluación funcional, la Tabla 5 resume las principales variables monitoreadas, los sensores empleados, las plataformas utilizadas para su visualización y el comportamiento observado durante las pruebas.

Figura 5.

Comportamiento temporal de las variables monitoreadas durante las pruebas experimentales



Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.

Variables monitoreadas durante las pruebas experimentales y comportamiento observado

Variable	Sensor utilizado	Plataforma de visualización	Comportamiento observado
Temperatura ambiente	DHT22	ThingSpeak / Interfaz web	Incremento gradual durante el periodo de monitoreo.
Humedad relativa	DHT22	ThingSpeak / Interfaz web	Disminución progresiva conforme aumentó la temperatura.
Precipitación*	Sensor correspondiente	Interfaz web	Registro de las condiciones observadas durante las pruebas.
Voltaje RMS	ZMPT101B o PZEM-004T	Interfaz de monitoreo energético	Valores estables durante la evaluación.
Corriente RMS	ZMCT103C o PZEM-004T	Interfaz de monitoreo energético	Variaciones acordes con la carga conectada.
Potencia aparente	PZEM-004T	Interfaz de monitoreo energético	Comportamiento consistente con las condiciones de operación.
Energía aparente acumulada	PZEM-004T	Interfaz de monitoreo energético	Tendencia creciente conforme transcurrió el tiempo de medición.

Fuente: Elaboración propia

En conjunto, los resultados obtenidos evidencian que los sistemas IoT desarrollados permitieron adquirir, transmitir, almacenar y visualizar información agroambiental y energética de forma continua durante las pruebas experimentales. La integración de sensores de bajo costo con plataformas de monitoreo locales y en la nube permitió generar registros útiles para la supervisión de variables de interés en aplicaciones agrícolas. Estos hallazgos constituyen la base para el análisis comparativo y la discusión de las implicaciones técnicas de la arquitectura propuesta, los cuales se presentan en la siguiente sección.

Resultados derivados de proyectos tecnológicos y producción científica

El trabajo del cuerpo académico Agrotecnología ITJMMPH-CA-19 se caracteriza por integrar docencia, investigación aplicada y vinculación, articulando proyectos que combinan instrumentación, control, energía renovable y tecnologías IoT para fortalecer la formación de estudiantes y atender necesidades reales del sector agrícola y agroindustrial del sur de Jalisco. Estas iniciativas se derivan de las LGAC de la carrera y de la línea oficial del CA (control de sistemas electromecánicos y su aplicación en procesos biotecnológicos), lo que ha permitido consolidar un portafolio de proyectos con impacto demostrado. Entre los desarrollos más representativos destacan los siguientes:

1. Desarrollo de plataformas web agrícolas. Publicación en International Journal of Electrical and Computer Engineering Research. Incluye una plataforma desarrollada por estudiantes y docentes para optimizar decisiones en agricultura de precisión (Magaña et al., 2025).
2. Diseño de turbinas eólicas de pequeña escala para autoconsumo agrícola. Publicada en Investigación y Ciencia Aplicada a la Ingeniería. Prototipo diseñado para zonas rurales con acceso limitado a la red eléctrica (Alberto Cárdenas Magaña et al., 2024).
3. Diseño y validación de incubadoras microbiológicas con control PID usando ESP32. Desarrollada entre por el CA. Incluye control térmico, monitoreo remoto y operación para prácticas de laboratorio Vega Negrete et. Al (2021).

4. Estación meteorológica autónoma de bajo costo para el sector cañero. Publicada en Ideas en Ciencias de la Ingeniería. Sistema que integra sensores, panel solar y transmisión de datos para zonas cañeras de la región (Magaña, 2025).
5. Prototipo de brazo robótico SCARA para manufactura y control. Desarrollado para prácticas de automatización y manufactura inteligente (Hernández López et al., 2025). Incluye control por microcontroladores, cinemática básica y aplicación formativa.

En conjunto, estos proyectos representan el capital tecnológico acumulado del CA Agrotecnología ITJMMPH-CA-19 y evidencian un modelo educativo basado en la integración de tecnologías emergentes con problemas reales del entorno. La diversidad de prototipos desde plataformas web y estaciones climáticas hasta turbinas eólicas y brazos robóticos demuestra la madurez progresiva del cuerpo académico y su contribución directa a la formación de capital humano especializado en el sur de Jalisco.

Síntesis de los resultados obtenidos

Los resultados presentados en los apartados anteriores evidencian que las arquitecturas IoT desarrolladas permitieron integrar de manera satisfactoria sensores de bajo costo, microcontroladores, sistemas de comunicación inalámbrica y plataformas de visualización para el monitoreo de variables agroambientales y energéticas. La implementación de los diferentes prototipos en escenarios representativos permitió verificar el funcionamiento conjunto de los módulos de adquisición, procesamiento, transmisión y almacenamiento de información. Las pruebas experimentales mostraron que los sistemas desarrollados fueron capaces de registrar de forma continua variables ambientales como temperatura, humedad relativa y precipitación, así como parámetros eléctricos relacionados con el consumo energético. Asimismo, las plataformas de monitoreo implementadas facilitaron la consulta de datos en tiempo real y el almacenamiento de registros históricos para su posterior análisis, proporcionando una interfaz accesible para la supervisión de la información generada. La tabla 6 muestra esta síntesis de resultados obtenidos.

En términos generales, los resultados obtenidos durante la validación funcional confirman la factibilidad técnica de las arquitecturas propuestas para aplicaciones de

monitoreo agroambiental de bajo costo dentro del alcance de las condiciones evaluadas. No obstante, la interpretación de estos hallazgos, su comparación con investigaciones previamente publicadas y el análisis de sus implicaciones para la agricultura de precisión se presentan en la siguiente sección.

Tabla 6.

Síntesis de los principales resultados obtenidos durante la validación funcional de los sistemas IoT

Aspecto evaluado	Evidencia obtenida
Integración del hardware	Funcionamiento conjunto de sensores, microcontroladores y módulos de comunicación.
Adquisición de datos	Registro continuo de variables ambientales y eléctricas durante las pruebas.
Comunicación inalámbrica	Transmisión satisfactoria de información mediante redes Wi-Fi.
Visualización de información	Consulta en tiempo real mediante interfaces web y plataformas IoT.
Almacenamiento de datos	Conservación de registros históricos en plataformas locales y en la nube.
Flexibilidad de la arquitectura	Adaptación de sensores y configuraciones sin modificar la estructura general del sistema.
Implementación en campo	Funcionamiento operativo en cultivos de caña de azúcar, huertos de aguacate y áreas experimentales.

Fuente: Elaboración propia

En conjunto, los resultados obtenidos proporcionan evidencia del funcionamiento operativo de las arquitecturas IoT desarrolladas para el monitoreo agroambiental y energético mediante tecnologías de bajo costo. La información presentada constituye la base para la discusión de los principales aportes del estudio, su relación con trabajos previos y las oportunidades de aplicación identificadas en el contexto de la agricultura de precisión.

Discusión

Los resultados obtenidos durante la implementación y validación funcional de los sistemas IoT desarrollados permiten analizar el potencial de las arquitecturas propuestas para aplicaciones de monitoreo agroambiental de bajo costo. En esta sección se interpretan los principales hallazgos del estudio, se comparan con investigaciones previamente reportadas en la literatura especializada y se discuten sus implicaciones dentro del contexto de la agricultura de precisión.

Integración de tecnologías IoT de bajo costo para el monitoreo agroambiental

Los resultados obtenidos evidencian que la integración de sensores de bajo costo, microcontroladores de arquitectura abierta y plataformas IoT permitió desarrollar sistemas funcionales para la adquisición y visualización de información agroambiental y energética. La implementación modular facilitó la incorporación de diferentes sensores y plataformas de comunicación sin requerir modificaciones sustanciales en la arquitectura general, característica que favorece la adaptabilidad de este tipo de soluciones a distintos escenarios agrícolas.

Un aspecto relevante identificado durante el desarrollo de los prototipos fue la posibilidad de combinar tecnologías ampliamente disponibles, como ESP32, Raspberry Pi Pico W, ThingSpeak, Node-RED y aplicaciones web desarrolladas mediante Flask, para construir sistemas de monitoreo con una arquitectura flexible y escalable. Esta integración permitió disponer de herramientas para la adquisición, transmisión, almacenamiento y visualización de datos utilizando componentes de bajo costo y software de código abierto. Los hallazgos obtenidos son consistentes con la tendencia observada en investigaciones recientes sobre agricultura de precisión, donde las plataformas IoT basadas en dispositivos de bajo consumo energético y arquitecturas abiertas representan una alternativa viable para incrementar la disponibilidad de información ambiental en explotaciones agrícolas. Diversos autores han señalado que la modularidad y la interoperabilidad constituyen factores determinantes para facilitar la adopción de estas tecnologías, especialmente en contextos donde las restricciones económicas limitan el acceso a soluciones comerciales de mayor complejidad.

No obstante, los resultados de esta investigación deben interpretarse dentro del alcance metodológico definido. La validación realizada permitió verificar el funcionamiento operativo de las arquitecturas desarrolladas durante las pruebas experimentales; sin embargo, no constituye una evaluación de confiabilidad a largo plazo ni una demostración del impacto agronómico o económico de los sistemas implementados. En consecuencia, la utilidad práctica de estas soluciones deberá complementarse mediante estudios posteriores que incluyan periodos prolongados de operación y su aplicación en diferentes condiciones de producción agrícola.

Comparación con investigaciones previas

Los resultados obtenidos en este estudio son consistentes con la evolución reciente de las aplicaciones del Internet de las Cosas (IoT) en agricultura de precisión, donde el uso de sensores de bajo costo, plataformas abiertas y arquitecturas modulares ha permitido ampliar las capacidades de monitoreo ambiental en diferentes sistemas de producción agrícola. En este contexto, las arquitecturas desarrolladas demostraron la posibilidad de integrar componentes comerciales con herramientas de software libre para la adquisición, transmisión y visualización de información agroambiental y energética. Diversos estudios han reportado arquitecturas IoT orientadas al monitoreo de variables ambientales utilizando sensores distribuidos y plataformas de comunicación inalámbrica. Por ejemplo, Gutierrez et al. (2014) fueron pioneros en la implementación de redes de sensores para la supervisión de cultivos mediante tecnologías IoT, destacando la importancia de contar con información ambiental en tiempo real para apoyar la toma de decisiones agrícolas. De manera similar, Jawad et al. (2017) señalaron que la incorporación de redes inalámbricas y plataformas IoT representa una estrategia eficaz para optimizar los procesos de monitoreo en agricultura inteligente. Los resultados obtenidos en la presente investigación coinciden con estos planteamientos, al demostrar la integración funcional de sensores, microcontroladores y plataformas de visualización dentro de una arquitectura de bajo costo.

Las investigaciones más recientes también destacan la necesidad de desarrollar soluciones IoT con mayor flexibilidad y capacidad de adaptación. En este sentido, Kumar et al. (2024) y Gatkhal et al. (2024) describen arquitecturas modulares capaces de integrar múltiples sensores y servicios en la nube para el seguimiento de variables agrícolas. Los prototipos desarrollados en este trabajo presentan características similares al emplear dispositivos ESP32 y Raspberry Pi Pico W junto con plataformas como Node-RED, Flask y ThingSpeak, permitiendo una integración flexible entre los componentes de adquisición, comunicación y visualización de datos. Asimismo, Duguma y Bai (2024) destacan que uno de los principales desafíos de las plataformas IoT para agricultura de precisión consiste en lograr soluciones accesibles para pequeños y medianos productores sin sacrificar la funcionalidad del sistema. Desde esta perspectiva, la utilización de hardware comercial de bajo costo y software de código abierto implementada en este estudio representa una alternativa técnicamente viable para aplicaciones de monitoreo

agroambiental dentro del alcance evaluado, favoreciendo la reducción de barreras de adopción asociadas al costo de implementación.

Finalmente, Aarif et al. (2025) resaltan la creciente incorporación de tecnologías como inteligencia artificial, computación en el borde (Edge Computing) y análisis predictivo para incrementar el valor de la información generada por los sistemas IoT. Aunque estas capacidades no fueron incorporadas en la presente investigación, la arquitectura modular desarrollada facilita la integración futura de este tipo de herramientas, permitiendo ampliar las funcionalidades del sistema sin modificar significativamente su estructura básica. En conjunto, la comparación con los trabajos previamente publicados muestra que los resultados obtenidos se encuentran alineados con las tendencias actuales de investigación en agricultura de precisión. La principal aportación de este estudio no radica en el desarrollo de nuevos sensores o protocolos de comunicación, sino en la integración y validación funcional de una arquitectura IoT modular, basada en tecnologías de bajo costo y código abierto, implementada en escenarios agrícolas representativos del sur de Jalisco.

Implicaciones para la agricultura de precisión

Los resultados obtenidos permiten identificar diversas implicaciones para la implementación de tecnologías IoT en el ámbito de la agricultura de precisión. La integración de sensores de bajo costo, plataformas de software de código abierto y arquitecturas modulares constituye una alternativa técnicamente viable para ampliar las capacidades de monitoreo de variables agroambientales y energéticas, favoreciendo la disponibilidad de información para la supervisión de procesos agrícolas. Una de las principales contribuciones de la arquitectura desarrollada radica en su flexibilidad para adaptarse a diferentes escenarios de aplicación. La posibilidad de incorporar nuevos sensores, modificar las plataformas de visualización o integrar distintos medios de comunicación sin alterar significativamente la estructura general del sistema facilita su utilización en diversas actividades agrícolas, incluyendo el monitoreo de cultivos, sistemas de riego, consumo energético y variables ambientales de interés para la gestión de los recursos.

Desde una perspectiva tecnológica, el empleo de componentes comerciales ampliamente disponibles, como ESP32 y Raspberry Pi Pico W, junto con plataformas abiertas como Node-RED, Flask y ThingSpeak, contribuye a reducir la dependencia de

soluciones propietarias y favorece el desarrollo de aplicaciones personalizadas de acuerdo con las necesidades específicas de cada proyecto. Esta característica resulta especialmente relevante en instituciones educativas, centros de investigación y pequeñas unidades de producción agrícola interesadas en implementar sistemas de monitoreo con recursos limitados. Asimismo, la naturaleza modular de la arquitectura facilita su evolución hacia aplicaciones más avanzadas dentro del contexto de la agricultura inteligente. La incorporación futura de sensores adicionales, protocolos de comunicación de largo alcance, algoritmos de inteligencia artificial, modelos de aprendizaje automático y técnicas de computación en el borde podría ampliar las capacidades del sistema para realizar análisis predictivos, detección temprana de anomalías y apoyo automatizado a la toma de decisiones.

No obstante, es importante señalar que las implicaciones descritas corresponden al potencial de aplicación de la arquitectura propuesta y no deben interpretarse como una validación del impacto económico o productivo de su implementación. La evaluación de aspectos como la rentabilidad, la reducción de costos operativos o el incremento en la productividad agrícola requiere estudios específicos desarrollados bajo condiciones de operación prolongadas y con indicadores de desempeño claramente definidos. En este sentido, la investigación proporciona una base tecnológica sobre la cual pueden desarrollarse futuras aplicaciones orientadas a fortalecer la digitalización del sector agrícola mediante soluciones IoT accesibles, escalables y adaptables a diferentes contextos de producción.

Limitaciones del estudio y perspectivas futuras

Los resultados obtenidos durante la presente investigación permitieron validar funcionalmente la arquitectura IoT propuesta en diferentes escenarios de aplicación agrícola. Sin embargo, es importante reconocer que el estudio presenta algunas limitaciones metodológicas que deben considerarse al interpretar los hallazgos y al extrapolar su aplicación a otros contextos de producción. En primer lugar, la validación experimental se realizó en un número limitado de escenarios agrícolas representativos del sur de Jalisco, por lo que el comportamiento de la arquitectura podría variar bajo diferentes condiciones climáticas, tipos de cultivo, escalas de producción o infraestructuras de comunicación. Asimismo, las pruebas desarrolladas estuvieron orientadas a verificar el funcionamiento operativo de los prototipos durante los periodos

de evaluación establecidos y no constituyen una evaluación de confiabilidad a largo plazo ni del desempeño continuo de los sistemas durante ciclos agrícolas completos.

Otra limitación corresponde al alcance funcional de la arquitectura desarrollada. Aunque los sistemas implementados permitieron adquirir, transmitir y visualizar información agroambiental y energética, la investigación no incluyó la integración de modelos predictivos, algoritmos de inteligencia artificial, mecanismos automáticos de control o plataformas de apoyo a la toma de decisiones. En consecuencia, el estudio se centra en la validación de la infraestructura tecnológica necesaria para el monitoreo, dejando como trabajo futuro el desarrollo de herramientas de análisis avanzado basadas en los datos generados. De igual manera, aspectos como la evaluación económica, el análisis costo-beneficio, la aceptación tecnológica por parte de los usuarios finales y el impacto sobre la productividad agrícola no fueron objeto de esta investigación. Estos elementos requieren estudios específicos que incorporen periodos de seguimiento más prolongados, un mayor número de unidades de producción y metodologías orientadas a evaluar indicadores técnicos, económicos y sociales.

A partir de los resultados obtenidos, se identifican diversas líneas de investigación que pueden fortalecer la arquitectura propuesta. Entre ellas destacan la incorporación de sensores adicionales para el monitoreo de humedad del suelo, velocidad del viento, radiación solar y calidad del aire; la integración de tecnologías de comunicación de largo alcance como LoRaWAN y NB-IoT para ampliar la cobertura en zonas rurales; y el desarrollo de algoritmos de inteligencia artificial y aprendizaje automático que permitan realizar análisis predictivos, detección temprana de anomalías y apoyo automatizado a la toma de decisiones. Asimismo, la incorporación de técnicas de Edge Computing permitiría procesar parte de la información directamente en los nodos de adquisición, reduciendo la latencia y el consumo de ancho de banda, mientras que la integración con plataformas de analítica de datos y gemelos digitales representa una oportunidad para evolucionar hacia sistemas de agricultura inteligente con mayores capacidades de supervisión y gestión. En conjunto, estas líneas de trabajo constituyen una ruta de evolución para la arquitectura presentada en este capítulo y podrían ampliar su aplicabilidad en proyectos de agricultura de precisión, eficiencia energética y monitoreo ambiental, manteniendo el enfoque de soluciones IoT de bajo costo basadas en tecnologías abiertas.

Conclusiones

La presente investigación permitió diseñar, implementar y validar funcionalmente una arquitectura IoT modular de bajo costo para el monitoreo de variables agroambientales y energéticas, integrando sensores comerciales, microcontroladores de arquitectura abierta y plataformas de software libre para la adquisición, transmisión, almacenamiento y visualización de información. Los resultados obtenidos durante las pruebas experimentales confirmaron el funcionamiento conjunto de los diferentes componentes de la arquitectura y su capacidad para generar registros continuos de variables ambientales y eléctricas en los escenarios evaluados.

Uno de los principales aportes del estudio consiste en demostrar la factibilidad técnica de integrar tecnologías como ESP32, Raspberry Pi Pico W, Node-RED, Flask y ThingSpeak dentro de una arquitectura flexible y escalable, capaz de adaptarse a diferentes necesidades de monitoreo mediante la incorporación de nuevos sensores y módulos de comunicación. Esta característica facilita el desarrollo de soluciones personalizadas para aplicaciones de agricultura de precisión, monitoreo energético e investigación aplicada utilizando componentes de bajo costo y plataformas de código abierto. La comparación con investigaciones recientes muestra que la arquitectura propuesta se encuentra alineada con las tendencias actuales en agricultura inteligente, particularmente en el uso de sistemas IoT modulares y plataformas interoperables para el monitoreo de variables ambientales. En este sentido, la principal contribución del trabajo no radica en el desarrollo de nuevos dispositivos electrónicos, sino en la integración y validación funcional de una solución tecnológica accesible que puede servir como base para futuras investigaciones y desarrollos tecnológicos.

Es importante señalar que las conclusiones derivadas de este estudio corresponden al alcance metodológico definido, el cual se centró en la validación funcional de los prototipos implementados. Por tanto, los resultados no constituyen una demostración de confiabilidad a largo plazo, rentabilidad económica o impacto sobre la productividad agrícola, aspectos que deberán ser abordados mediante investigaciones posteriores desarrolladas bajo diferentes condiciones de operación y con periodos de evaluación más prolongados.

Como líneas futuras de investigación, se plantea la incorporación de sensores adicionales para ampliar el monitoreo agroambiental, la integración de tecnologías de

comunicación de largo alcance como LoRaWAN y NB-IoT, el desarrollo de algoritmos de inteligencia artificial y aprendizaje automático para análisis predictivo, así como la implementación de estrategias de Edge Computing que permitan incrementar la autonomía y capacidad de procesamiento de los nodos IoT. Estas acciones contribuirán a fortalecer la arquitectura propuesta y ampliar su aplicabilidad en proyectos de agricultura de precisión y transformación digital del sector agroalimentario. Finalmente, este trabajo proporciona una base tecnológica para el desarrollo de sistemas IoT de bajo costo orientados al monitoreo agroambiental y energético, aportando una arquitectura modular que puede adaptarse a distintos escenarios de investigación y aplicación. La experiencia obtenida durante el diseño, implementación y validación funcional de los prototipos demuestra el potencial de las tecnologías abiertas para impulsar soluciones accesibles y escalables en el ámbito de la agricultura de precisión.

Referencias

- Mohammed Aarif, K. O., Alam, A., & Hotak, Y. (2025). Smart Sensor Technologies Shaping the Future of Precision Agriculture: Recent Advances and Future Outlooks. *Journal of Sensors*, 2025(1), 2460098. <https://doi.org/10.1155/JS/2460098>
- Bhagat, P., Ambhore, V. B., & Gawande, P. G. (2025). Design and performance analysis of Raspberry Pi Pico W microcontroller for IoT applications. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*, 7(11). <https://doi.org/10.56726/IRJMETS85253>
- Cárdenas Magaña, J. A., Vega Negrete, E., Hernández López, F. M., & Celis Crisóstomo, M. A. (2024). Evaluación experimental de turbinas eólicas de pequeña escala con generadores de corriente directa y pruebas en túnel de viento. *Investigación y Ciencia Aplicada a la Ingeniería*, 7(46), 8–17. <https://www.ojsincaing.com.mx/index.php/ediciones/article/view/369>
- Di, C., & Wu, W. (2023). A novel and lightweight wireless communication scheme for Vehicular Ad hoc Networks. *Ad Hoc Networks*, 143, 103122. <https://doi.org/10.1016/J.ADHOC.2023.103122>

- Duguma, A. L., & Bai, X. (2025). How the internet of things technology improves agricultural efficiency. *Artificial Intelligence Review*, 58(2). <https://doi.org/10.1007/S10462-024-11046-0>
- Gatkal, N. R., Nalawade, S. M., Sahni, R. K., Bhanage, G. B., Walunj, A. A., Kadam, P. B., & Ali, M. (2024). Review of IoT and electronics enabled smart agriculture. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 17(5), 1–14. <https://ijabe.org/index.php/ijabe/article/view/8496>
- Gutierrez, J., Villa-Medina, J. F., Nieto-Garibay, A., & Porta-Gandara, M. A. (2014). Automated irrigation system using a wireless sensor network and GPRS module. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 63(1), 166–176. <https://doi.org/10.1109/TIM.2013.2276487>
- Hernández López, F. M., Celis Crisóstomo, M. A., Vega Negrete, E., & Cárdenas Magaña, J. A. (2025, septiembre 18). Construcción y adaptación de un brazo robótico SCARA para la manipulación automatizada de sellos. *Revista FEGLININ*, 1(34), 21–29. <http://dx.doi.org/10.70417/-w12n2514sso->
- Hugeng, H., Trisnawarman, D., Irving, A., & Huntarso, Y. (2023). Enhanced IoT Solution System for Smart Agriculture in Indonesia. *Green Intelligent Systems and Applications*, 3(2), 111–125. <https://doi.org/10.53623/GISA.V3I2.325>
- Jawad, H. M., Nordin, R., Gharghan, S. K., Jawad, A. M., & Ismail, M. (2017). Energy-Efficient Wireless Sensor Networks for Precision Agriculture: A Review. *Sensors*, 17(8), 1781. <https://doi.org/10.3390/S17081781>
- Kumar, V., Sharma, K. V., Kedam, N., Patel, A., Kate, T. R., & Rathnayake, U. (2024). A comprehensive review on smart and sustainable agriculture using IoT technologies. *Smart Agricultural Technology*, 8, 100487. <https://doi.org/10.1016/J.ATECH.2024.100487>
- Cárdenas-Magaña, J. (2025). Diseño y Validación de una Estación Meteorológica Autónoma de Bajo Costo para el Sector Cañero. *Ideas en Ciencias de la Ingeniería*, 3(2), 78–94. <https://doi.org/10.36677/RICI.V3I2.26210>
- Cardenas Magaña, J. A., Celis Crisóstomo, M. A., Vega Negrete, E., Hernández López, F. M., & Mojica Sanchez, J. P. (2025). Development of a Web Platform for Precision Agriculture Optimization. *International Journal of Electrical and*

Computer Engineering Research, 5(3).
<https://doi.org/10.53375/IJECER.2025.476>

Mathe, S. E., Kondaveeti, H. K., Vappangi, S., Vanambathina, S. D., & Kumaravelu, N. K. (2024). A comprehensive review on applications of Raspberry Pi. *Computer Science Review*, 52, 100636. <https://doi.org/10.1016/J.COSREV.2024.100636>

Sánchez-Palacios, L. E., Cárdenas-Rodríguez, M., Murillo-Molina, J. L., & Chacón-Franco, V. M. (2025). El Internet de las cosas en la agricultura. *Polo del Conocimiento*, 10(2), 766–778.
<https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/8914/pdf>

Sattar, K., Arslan, M., Majeed, S., & Iqbal, S. (2025). *Wireless sensor networks data synchronization using node MCU memory for precision agriculture applications*. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2502.18671>

Mohamed Rafi, M. S., Behjati, M., & Rafsanjani, A. S. (2025). *Reliable and cost-efficient IoT connectivity for smart agriculture: A comparative study of LPWAN, 5G, and hybrid connectivity models*. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2503.11162>

Sharipah B. Daud, R. Abdul Rahman & Muhammad H. A. Bin Mohd Zainal. (2025). *IoT-Based Smart Agriculture Monitoring System*. International Journal of Creative Research Thoughts (IJCRT). Recuperado de <https://ijcrt.org/papers/IJCRT2205774.pdf>

Vega Negrete, E., Cárdenas Magaña, J. A., Ruiz Ibarra, G., & Sandoval Pérez, S. (2021). *Construcción de incubadora para microbiología y tejidos vegetales*. Pistas Educativas, 43(139), 839–858.
<https://pistaseducativas.celaya.tecnm.mx/index.php/pistas/article/view/2672/2092>