

**LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y
Humanidades, Asunción, Paraguay**

ISSN en línea: 2789-3855, 2026

Agrobot IA: robótica avanzada con visión artificial para la agricultura inteligente y sostenible

**Agrobot AI: advanced robotics with artificial vision for smart and
sustainable agriculture**

Carmin Hernández Domínguez

chernandez@itesa.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0002-3319-074X>

Instituto Tecnológico Superior del Oriente del
Estado de Hidalgo. Tecnológico Nacional de
México

Apan Hidalgo – México

Alicia Guevara Franco

aguevara@itesa.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0002-8885-8241>

Instituto Tecnológico Superior del Oriente del
Estado de Hidalgo. Tecnológico Nacional de
México

Apan Hidalgo – México

Ma. Isabel Flores Ortega

aguevara@itesa.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0002-9067-7861>

Instituto Tecnológico Superior del Oriente del
Estado de Hidalgo. Tecnológico Nacional de
México

Apan Hidalgo – México

DOI: <https://doi.org/10.56712/latam.v7i4.6208>


Redilat
Red de Investigadores
Latinoamericanos


LATAM

Revista Latinoamericana de
Ciencias Sociales y Humanidades

Artículo recibido: 05 de marzo de 2026.

Aceptado para publicación: 16 de abril de 2026.

Conflictos de Interés: Ninguno que declarar.

VOLUMEN VII

DOI: <https://doi.org/10.56712/latam.v7i4.6208>

Agrobot IA: robótica avanzada con visión artificial para la agricultura inteligente y sostenible

Agrobot AI: advanced robotics with artificial vision for smart and sustainable agriculture

Carmin Hernández Domínguez

chernandez@itesa.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0002-3319-074X>

Instituto Tecnológico Superior del Oriente del Estado de Hidalgo. Tecnológico Nacional de México

Apan Hidalgo – México

Alicia Guevara Franco

aguevara@itesa.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0002-8885-8241>

Instituto Tecnológico Superior del Oriente del Estado de Hidalgo. Tecnológico Nacional de México

Apan Hidalgo – México

Ma. Isabel Flores Ortega

aguevara@itesa.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0002-9067-7861>

Instituto Tecnológico Superior del Oriente del Estado de Hidalgo. Tecnológico Nacional de México

Apan Hidalgo – México

Artículo recibido: 05 de marzo de 2026. Aceptado para publicación: 16 de julio de 2026.

Conflictos de Interés: Ninguno que declarar.

Resumen

La agricultura contemporánea enfrenta el desafío de satisfacer la creciente demanda global de alimentos bajo criterios de sostenibilidad y seguridad laboral, el objetivo general de esta investigación fue desarrollar un robot autónomo, denominado AgroBot IA, equipado con visión artificial e inteligencia artificial para optimizar y automatizar el control de riego, la fumigación y la selección de frutos en invernaderos. Metodológicamente, el estudio adoptó un enfoque mixto, empleando como técnicas de recolección de información el registro en bitácoras de pruebas técnicas de navegación y la aplicación de entrevistas estructuradas a expertos del sector agrícola. Los hallazgos centrales demostraron que el sistema automatizado permite determinar con precisión el grado de madurez de los frutos y optimizar la distribución de recursos hídricos e insumos químicos según las necesidades específicas de cada planta. Como conclusión, la implementación de esta tecnología no solo reduce significativamente la exposición de los trabajadores a agroquímicos y minimiza el impacto ambiental mediante el ahorro de agua y fertilizantes, sino que también incrementa el valor comercial del producto final al garantizar una cosecha en su punto óptimo. Este desarrollo tecnológico representa una oportunidad clave para impulsar la investigación e innovación en México, fortaleciendo de manera efectiva la vinculación entre el sector académico y la industria agroalimentaria hacia un modelo de producción más eficiente, seguro y sustentable.

Palabras clave: agricultura inteligente, inteligencia artificial, automatización, optimización, agricultura sostenible

Abstract

Contemporary agriculture faces the challenge of meeting the growing global demand for food under sustainability and labor safety criteria. The general objective of this research was to develop an autonomous robot, named AgroBot IA, equipped with computer vision and artificial intelligence to optimize and automate irrigation control, spraying, and fruit selection in greenhouses. Methodologically, the study adopted a mixed-method approach, using engineering test logs and structured interviews with agricultural sector experts as data collection techniques. The central findings demonstrated that the automated system accurately determines fruit maturity and optimizes the distribution of water resources and chemical inputs according to the specific needs of each plant. In conclusion, the implementation of this technology not only significantly reduces worker exposure to agrochemicals and minimizes environmental impact through water and fertilizer savings, but also increases the commercial value of the final product by ensuring harvest at its optimal point. This technological development represents a key opportunity to boost research and innovation in Mexico, effectively strengthening the link between the academic sector and the agri-food industry toward a more efficient, safe, and sustainable production model.

Keywords: smart agriculture, artificial intelligence, automation, optimization, sustainable agriculture

Todo el contenido de LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades, publicado en este sitio está disponibles bajo Licencia Creative Commons.



Cómo citar: Hernández Domínguez, C., Guevara Franco, A., & Flores Ortega, M. I. (2026). Agrobot IA: robótica avanzada con visión artificial para la agricultura inteligente y sostenible: Agrobot AI. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades* 7 (4), 103 – 123. <https://doi.org/10.56712/latam.v7i4.6208>

INTRODUCCIÓN

En un contexto actual alimentar a una población mundial en constante crecimiento, la escasez de recursos naturales como el agua y la tierra, y los impactos del cambio climático, la adopción de tecnologías avanzadas se presenta como una vía crucial para transformar la producción agrícola y hacerla más eficiente, sostenible y resiliente. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2017) estima que la población mundial alcanzará los 9.700 millones de personas en 2050, lo que aumentará la demanda de alimentos en un 70%, lo que implica que para satisfacer esta demanda, será necesario aumentar la producción agrícola de manera sostenible, reduciendo al mismo tiempo el impacto ambiental y garantizando la seguridad de los trabajadores.

Los invernaderos, como entornos de producción controlada, ofrecen un escenario ideal para la implementación de soluciones tecnológicas innovadoras. Sin embargo, las tareas que se realizan en los invernaderos, como el riego, la fumigación y la selección de frutos, a menudo requieren de mano de obra intensiva y pueden exponer a los trabajadores a productos químicos nocivos. En este contexto, la robótica y la inteligencia artificial (IA) se presentan como herramientas prometedoras para automatizar y optimizar las operaciones en invernaderos. La robótica permite realizar tareas repetitivas y peligrosas de manera autónoma, mientras que la IA puede analizar grandes cantidades de datos para tomar decisiones más precisas y eficientes.

Según la información de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, la automatización en el sector agrícola es una táctica crucial para asegurar que haya suficiente comida y enfrentar los retos que surgen del crecimiento demográfico y del cambio climático. De acuerdo con la FAO (2017), el empleo de tecnologías inteligentes contribuye a aumentar el rendimiento agrícola al utilizar adecuadamente los recursos hídricos, fertilizantes y procedimientos de recolección.

El diseño de un sistema robótico para detectar frutas maduras, utilizando cámaras RGB y sensores de profundidad, posibilita la conjunción de inteligencia artificial con robótica móvil a fin de identificar los frutos adecuadamente y optimizar los procesos de recolección. Esto es lo que afirma Sa et al (2016).

Por otra parte, Patel y Kumar (2020) crearon e implementaron un sistema de visión artificial para clasificar automáticamente magos mediante técnicas de procesamiento de imágenes; por eso, concluyeron que la automatización reduce los errores humanos en la clasificación de frutos.

Bac et al (2014) indican que los robots agrícolas, así como los equipos equipados con cámaras, sensores y sistemas de navegación, tienen la habilidad de moverse independientemente dentro de las cosechas, eludiendo impedimentos y simplificando el trabajo de control.

El proyecto AgroBot IA tiene como objetivo la creación de un robot autónomo que cuente con inteligencia artificial y visión artificial, a fin de mejorar los procesos en invernaderos. El propósito primordial es establecer un sistema integrado que facilite la automatización de labores esenciales, como el control del riego, la fumigación y la selección de los frutos. Esto mejorará la eficiencia, la sostenibilidad y la calidad de lo que se produce. Esta perspectiva tecnológica brinda varios beneficios. En primer lugar, la salud y seguridad de los trabajadores mejorará al disminuir su exposición a productos químicos usados en la fumigación y fertilización (FAO, 2018). En segundo término, se perfeccionará la utilización de recursos como los fertilizantes y el agua, lo que favorecerá una agricultura más sustentable (WWAP, 2019). En tercer lugar, se perfeccionará la calidad de los frutos al escoger solo aquellos que han llegado a su madurez ideal. Esto resultará en productos que tendrán más valor para el mercado (Gustavsson et al., 2011).

El proyecto AgroBot IA está en línea con las prioridades del sector agrícola en la actualidad, que se enfocan en incrementar la productividad, disminuir costos y reducir el impacto ambiental. Asimismo,

este proyecto es una ocasión para fomentar el desarrollo y la investigación de tecnologías de vanguardia en México, consolidando la conexión entre soluciones robóticas e inteligencia artificial en la agricultura a gran escala. Esto permitirá lograr una producción alimentaria más segura, sostenible y eficaz.

Este proyecto ayudará a aumentar el conocimiento técnico y científico en las áreas de inteligencia artificial, visión artificial y robótica, enfocándose en la agricultura. Se prevé la creación de nuevos conocimientos relacionados con el diseño y la construcción de robots autónomos para invernaderos, además del empleo de inteligencia artificial (IA) para determinar cuándo los frutos están listos y mejorar las labores en la agricultura. Otros investigadores y compañías del sector agrícola tendrán la posibilidad de emplear los hallazgos de esta investigación para crear soluciones tecnológicas innovadoras que optimicen la productividad y la sustentabilidad de la producción alimentaria.

A través del proyecto se definió como objetivo general el desarrollo y la implementación un prototipo funcional de robot con visión artificial para la detección del grado de madurez de frutos en invernaderos, capaz de identificar y clasificar al menos tres tipos de frutos con una precisión mínima del 80%, con el fin de optimizar la selección y recolección automatizada. Al igual que 4 objetivos específicos:

- Desarrollar un sistema de visión artificial capaz de capturar y procesar imágenes de frutos en invernaderos. Este sistema deberá extraer características relevantes de los frutos, como el color, tamaño y textura, que estén asociadas a su grado de madurez.
- Entrenar un modelo de inteligencia artificial utilizando técnicas de aprendizaje automático. Este modelo deberá ser capaz de clasificar el grado de madurez de al menos tres tipos de frutos con una precisión mínima del 80%, basándose en las características extraídas por el sistema de visión artificial.
- 3.- Integrar el sistema de visión artificial desarrollado en un robot móvil. Este robot deberá ser capaz de navegar de forma autónoma en un entorno de invernadero y realizar la detección de madurez de los frutos en tiempo real.

La pregunta de investigación a través de los elementos definidos es ¿Cómo desarrollar e implementar un robot artificial capaz de detectar y clasificar el grado de madurez de frutos en invernaderos con una precisión mínima del 80% para optimizar la selección y la recolección de los frutos de forma autónoma.

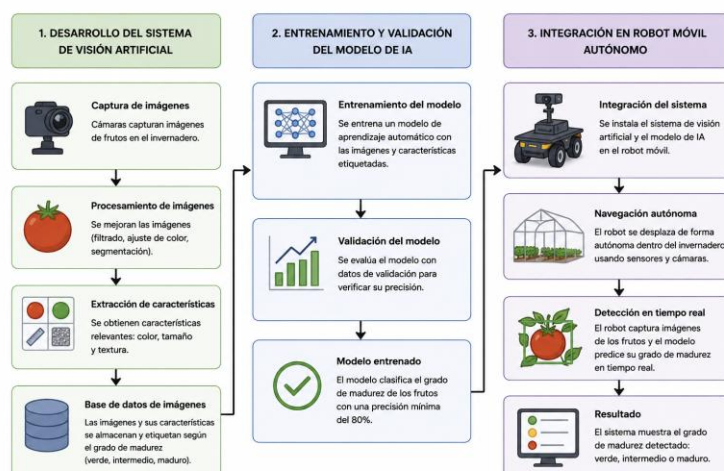
METODOLOGÍA

Para el desarrollo de la investigación se consideró un enfoque mixto por una parte se busca analizar la interacción del robot móvil dentro del entorno invernadero, con base en la percepción de especialistas en el área agrícola respecto a la funcionalidad y su uso, en cuanto al enfoque al enfoque cuantitativo se busca en etapas posteriores que permitan medir el impacto de la implementación del sistema de Visión Artificial y el modelo de Inteligencia Artificial con indicadores de exactitud, precisión, tiempo de respuesta y porcentaje de clasificación correcta en el grado de madurez de los frutos. El proyecto consiste en el diseño, desarrollo e implementación de una solución automatizada orientada al sector agrícola, con el uso de herramientas de inteligencia artificial, robótica móvil y visión artificial.

Por otra parte el diseño de la investigación es de tipo experimental porque desarrolló un prototipo funcional y en avances posteriores se busca analizar el su impacto en entornos controlados, también se utilizó un diseño de tipo descriptivo para la documentación de las características observadas en los frutos y el comportamiento del sistema durante el proceso de clasificación para lo cual se tienen tres etapas como muestra en la figura 1, que son el desarrollo del sistema de visión artificial a través de herramientas de aprendizaje automático, después el entrenamiento y validación del modelo inteligente y por último la integración del sistema del robot móvil.

Figura 1

Fases del Desarrollo Técnico e Integración del Sistema AgroBot IA



Nota: Diagrama de flujo que ilustra las tres etapas clave del proyecto: el desarrollo del sistema de visión artificial, el entrenamiento y validación del modelo de inteligencia artificial, y la integración final en el robot móvil autónomo para la detección en tiempo real.

Fuente: elaboración propia.

El equipo considerado para el desarrollo del proyecto son expertos en temas agrícolas, operadores de invernaderos, frutos seleccionados para el estudio, en el caso de los especialistas participarán en la validación de la clasificación del grado de madurez a través de la comparación de parámetros como el color, textura y tamaño del fruto.

En cuanto a los instrumentos utilizados se consideró la recolección de datos en diferentes instrumentos tecnológicos y documentales. Se llevó una bitácora técnica donde se anotaron variables como tiempo de procesamiento.

Las fases que desarrollaron en el proyecto fueron cuatro como se muestra en la imagen 2:

Captura y procesamiento de imágenes: para el estudio de los frutos en sus diferentes etapas de madurez en el invernadero, estudiando características como el color, tamaño y textura.

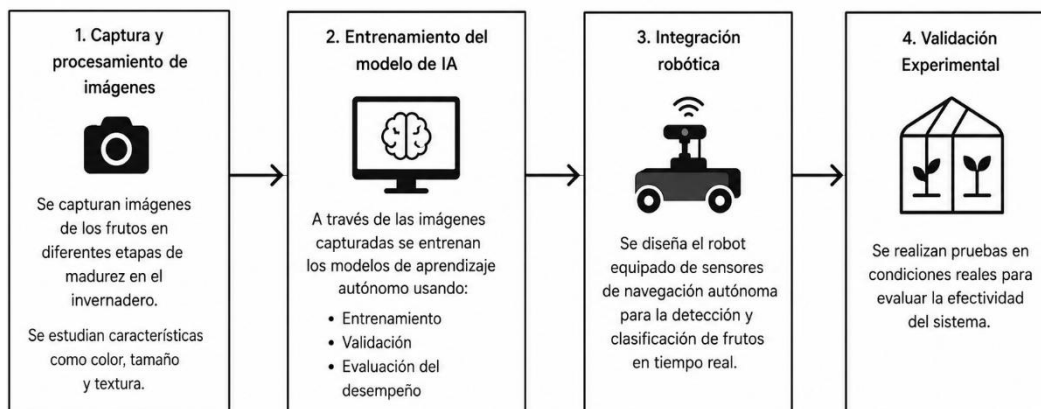
Entrenamiento del modelo de inteligencia artificial: En esta etapa a través de las imágenes capturas se espera entrenar los modelos de aprendizaje autónomo usando el entrenamiento, validación y evaluación del desempeño.

Integración robótica: Se diseñó el Robot equipado de sensores de navegación autónoma para la detección y clasificación de frutos en tiempo real.

Validación Experimental: Finalmente se realizaron pruebas en condiciones reales para evaluar la efectividad del sistema.

Figura 2

Diagrama de Bloques Metodológico para la Validación del Sistema AgroBot IA



Nota: Secuencia metodológica de la investigación, estructurada en cuatro fases: captura y procesamiento de imágenes, entrenamiento del modelo de inteligencia artificial, integración robótica en el vehículo móvil y la validación experimental final en el invernadero.

Fuente: elaboración propia.

Los resultados obtenidos se documentaron a través de imágenes, gráficas y comparaciones estadísticas para la interpretación. Durante la realización del proyecto se buscó garantizar la confidencialidad de los datos recolectados y de uso exclusivo para la investigación, además el sistema robótico fue instalado y probado en condiciones controladas y seguras evitando en todo momento situaciones que provocaran daños a la salud.

DESARROLLO

El proyecto AgroBot IA se fundamenta en la intersección de tres áreas principales de conocimiento: la agricultura de precisión, la robótica y la visión artificial, y la inteligencia artificial. A continuación, se describen los conceptos y teorías clave de cada una de estas áreas: 1. Agricultura de Precisión La agricultura de precisión (AP) es un enfoque de gestión agrícola que utiliza tecnologías de la información y la comunicación (TIC) para recopilar y analizar datos sobre la variabilidad espacial y temporal de los campos. Esta información se utiliza para tomar decisiones más precisas y eficientes sobre el riego, la fertilización, la siembra y otras prácticas agrícolas (Gebbers & Adamchuk, 2010).

En el contexto del proyecto AgroBot IA, la AP proporciona el marco conceptual para la gestión eficiente de los recursos en invernaderos. Al utilizar sensores y sistemas de visión artificial para recopilar datos sobre el estado de las plantas y el ambiente, el robot puede tomar decisiones más precisas sobre el riego y la fumigación, optimizando el uso de agua y productos químicos. 2. Robótica y Visión Artificial La robótica es el campo de la ingeniería que se ocupa del diseño, construcción, operación y aplicación de robots. Los robots son máquinas programables que pueden realizar tareas de forma autónoma o semiautónoma. La visión artificial es una rama de la IA que se enfoca en el desarrollo de sistemas que pueden "ver" e interpretar imágenes digitales (Forsyth & Ponce, 2011). En el proyecto AgroBot IA, la robótica y la visión artificial se combinan para crear un robot autónomo capaz de realizar tareas en invernaderos. El robot utiliza su sistema de visión artificial para identificar y analizar los frutos, determinar su grado de madurez y tomar decisiones sobre el riego y la fumigación. La visión artificial se basa en técnicas de procesamiento de imágenes y aprendizaje automático para extraer información relevante de las imágenes digitales. En el caso de AgroBot IA, el sistema de visión artificial debe ser

capaz de identificar los frutos, segmentarlos del fondo y extraer características como el color, el tamaño y la forma, que están relacionadas con su grado de madurez. 3. Inteligencia Artificial La inteligencia artificial (IA) es un campo de la informática que se enfoca en el desarrollo de sistemas que pueden realizar tareas que normalmente requieren inteligencia humana, como el aprendizaje, el razonamiento y la toma de decisiones (Russell & Norvig, 2010). En el proyecto AgroBot IA, la IA se utiliza para dos propósitos principales: Detección de madurez de frutos: Se utilizan técnicas de aprendizaje automático para entrenar un modelo que pueda clasificar el grado de madurez de los frutos basándose en las características extraídas por el sistema de visión artificial. Toma de decisiones: Se utilizan algoritmos de IA para tomar decisiones sobre el riego y la fumigación, optimizando el uso de los recursos y maximizando la calidad de los frutos. El aprendizaje automático es una rama de la IA que se enfoca en el desarrollo de algoritmos que pueden aprender de los datos sin ser programados explícitamente. En el caso de AgroBot IA, se utilizan técnicas de aprendizaje supervisado para entrenar el modelo de detección de madurez de frutos. Se proporciona al modelo un conjunto de datos etiquetados, que consisten en imágenes de frutos en diferentes etapas de madurez.

El Altiplano Hidalguense se caracteriza por un clima semiárido con escasez de agua, lo que plantea desafíos importantes para la agricultura en la región. La implementación del proyecto AgroBot IA en esta región podría generar beneficios específicos como: Optimización del uso del agua: En una región con escasez de agua, la capacidad del robot para optimizar el riego es crucial. El sistema de visión artificial y la IA permitirán al robot determinar las necesidades hídricas específicas de cada planta y aplicar el riego de forma precisa, evitando el desperdicio de agua. Reducción del uso de agroquímicos: La aplicación precisa de productos químicos mediante el robot reducirá la contaminación del suelo y del agua, contribuyendo a la protección del medio ambiente en la región. Mejora de la competitividad de los productores locales: La adopción de tecnologías avanzadas como la robótica y la IA permitirá a los productores del Altiplano Hidalguense mejorar la calidad de sus productos y aumentar su competitividad en el mercado. Generación de empleos especializados: La implementación y el mantenimiento del robot AgroBot IA requerirán de personal capacitado en nuevas tecnologías, lo que podría generar nuevas oportunidades de empleo en la región. En resumen, el proyecto AgroBot IA tiene el potencial de generar un impacto positivo tanto a nivel general como en la región específica del Altiplano Hidalguense. La introducción de esta tecnología innovadora en la agricultura contribuirá a una producción de alimentos más eficiente, sostenible y segura, con beneficios para los agricultores, los trabajadores y el medio ambiente.

Agricultura Inteligente y Automatización Agrícola

La agricultura enfrenta actualmente uno de los mayores desafíos de la historia moderna: satisfacer la creciente demanda mundial de alimentos bajo condiciones de limitación de recursos naturales y efectos derivados del cambio climático. De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, la población mundial alcanzará aproximadamente los 9.700 millones de habitantes para el año 2050, incrementando significativamente la demanda de alimentos y obligando al sector agrícola a mejorar sus procesos productivos mediante tecnologías sostenibles y eficientes.

En este contexto surge el concepto de agricultura inteligente o Smart Farming, el cual integra tecnologías digitales, sensores, automatización, robótica e inteligencia artificial para optimizar la producción agrícola. Según Wolfert et al. (2017), la agricultura inteligente permite mejorar la productividad mediante la recopilación y análisis de datos en tiempo real, favoreciendo la toma de decisiones automatizadas relacionadas con riego, fertilización, monitoreo de cultivos y cosecha.

La automatización agrícola busca reducir la dependencia de mano de obra intensiva, disminuir costos operativos y minimizar errores humanos durante los procesos de producción y recolección. Asimismo,

permite incrementar la eficiencia en el uso de recursos como agua, energía y fertilizantes, contribuyendo al desarrollo de una agricultura sostenible.

Invernaderos como Entornos de Producción Controlada

Los invernaderos representan sistemas agrícolas de ambiente controlado que permiten regular variables como temperatura, humedad, iluminación y nutrientes para mejorar el crecimiento de los cultivos. Estos espacios facilitan la producción continua de alimentos y reducen el impacto de factores climáticos externos.

De acuerdo con Castilla (2013), los invernaderos modernos han evolucionado hacia sistemas tecnificados que incorporan automatización y monitoreo inteligente para maximizar la producción y calidad de los cultivos. Sin embargo, muchas actividades dentro de los invernaderos continúan realizándose manualmente, particularmente aquellas relacionadas con la inspección visual, clasificación de frutos y monitoreo del estado de madurez.

Las tareas manuales pueden generar problemas relacionados con tiempos elevados de operación, errores en la selección de frutos y exposición de los trabajadores a sustancias químicas empleadas en fumigación y fertilización. Por ello, el uso de tecnologías robóticas y sistemas inteligentes representa una alternativa viable para optimizar dichas actividades.

Robótica Aplicada a la Agricultura

La robótica agrícola consiste en el desarrollo de máquinas autónomas capaces de ejecutar tareas agrícolas de forma automática mediante sensores, actuadores y sistemas de control inteligente. Estas tecnologías han sido utilizadas en procesos de siembra, monitoreo, fumigación, cosecha y clasificación de productos agrícolas.

Bac et al. (2014) señalan que los robots agrícolas modernos utilizan sensores de navegación, cámaras y sistemas de posicionamiento para desplazarse de manera autónoma en ambientes de cultivo. La incorporación de robots móviles permite disminuir la intervención humana en tareas repetitivas o peligrosas, aumentando la precisión y eficiencia operativa.

Por otra parte, Duckett et al. (2018) establecen que los robots agrícolas autónomos representan una solución importante para enfrentar problemas relacionados con la escasez de mano de obra y el incremento de costos de producción agrícola. Estos sistemas son capaces de recopilar información del entorno en tiempo real y ejecutar acciones automáticas con alta precisión.

En el caso de los invernaderos, la robótica móvil ofrece ventajas significativas debido a que los ambientes controlados facilitan la navegación autónoma y la integración de sensores para el monitoreo de cultivos.

Visión Artificial en la Agricultura

La visión artificial es una rama de la inteligencia artificial enfocada en la adquisición, procesamiento e interpretación de imágenes digitales para identificar objetos, patrones y características específicas.

En agricultura, la visión artificial ha sido utilizada para detectar enfermedades, monitorear crecimiento vegetal, identificar malezas y determinar el grado de madurez de frutos. Según Patel y Kumar (2020), los sistemas de visión artificial permiten automatizar la clasificación de frutos mediante el análisis de características visuales como color, textura, forma y tamaño.

El procesamiento digital de imágenes comprende diversas etapas:

- Captura de imágenes.
- Preprocesamiento.
- Segmentación.
- Extracción de características.
- Clasificación.

Durante el preprocesamiento se mejora la calidad de las imágenes mediante técnicas de filtrado, reducción de ruido y ajuste de iluminación. Posteriormente, la segmentación permite separar el objeto de interés del fondo para facilitar el análisis.

Las características visuales más utilizadas para determinar la madurez de frutos son:

- Color.
- Textura.
- Tamaño.
- Forma.
- Patrones superficiales.

Estas variables permiten entrenar modelos de aprendizaje automático capaces de clasificar automáticamente el estado de madurez de los frutos.

Inteligencia Artificial y Aprendizaje Automático

La inteligencia artificial es un conjunto de técnicas computacionales diseñadas para simular procesos de razonamiento y aprendizaje humano. Dentro de la IA, el aprendizaje automático (Machine Learning) permite que los sistemas aprendan patrones a partir de datos sin necesidad de ser programados explícitamente.

Actualmente, el aprendizaje profundo (Deep Learning) y las redes neuronales convolucionales (CNN) son ampliamente utilizadas en tareas de clasificación de imágenes agrícolas. Estas redes permiten identificar patrones complejos relacionados con el color, textura y forma de los frutos.

Sa et al. (2016) desarrollaron un sistema denominado DeepFruits, basado en redes neuronales profundas para detectar frutos maduros mediante cámaras RGB y sensores de profundidad. Los autores concluyeron que la combinación de visión artificial y aprendizaje profundo mejora significativamente la precisión en la identificación automática de frutos.

Asimismo, Bargoti y Underwood (2017) utilizaron modelos CNN para detectar y contar frutos en árboles frutales, obteniendo altos niveles de precisión en ambientes agrícolas reales.

El entrenamiento de modelos de inteligencia artificial requiere bases de datos estructuradas y etiquetadas, donde cada imagen se clasifica según el grado de madurez correspondiente. Posteriormente, el modelo aprende patrones visuales y genera predicciones automáticas sobre nuevas imágenes.

Sistemas de Navegación Autónoma

La navegación autónoma permite que un robot se desplace de manera independiente dentro de un entorno sin intervención humana. Para ello se emplean sensores como:

- LiDAR.
- Ultrasonido.
- Cámaras RGB.
- Sensores infrarrojos.

- Sistemas GPS e IMU.

Estos dispositivos permiten detectar obstáculos, planificar rutas y mantener estabilidad durante el desplazamiento.

De acuerdo con Siegwart, Nourbakhsh y Scaramuzza (2011), los robots móviles autónomos integran algoritmos de percepción, localización y control para interactuar eficientemente con entornos dinámicos. En aplicaciones agrícolas, la navegación autónoma facilita el monitoreo continuo de cultivos y la automatización de procesos de inspección.

Detección del Grado de Madurez de Frutos

La determinación del grado de madurez es un proceso fundamental dentro de la producción agrícola debido a que influye directamente en la calidad, sabor, vida útil y valor comercial de los frutos.

Tradicionalmente, esta tarea se realiza mediante inspección visual humana, lo que puede generar errores derivados de la subjetividad y fatiga del operador. Por ello, diversos estudios han implementado técnicas de visión artificial para automatizar este proceso.

Según Cubero et al. (2014), los sistemas automatizados de clasificación de frutos permiten mejorar la uniformidad del producto y reducir pérdidas durante la cosecha y comercialización.

El color es uno de los indicadores más utilizados para evaluar la madurez de los frutos, debido a que durante el proceso de maduración ocurren cambios en pigmentos como clorofilas y carotenoides. Asimismo, la textura y tamaño complementan la información necesaria para una clasificación más precisa.

Relación del Marco Teórico con el Proyecto AgroBot IA

El proyecto AgroBot IA integra los fundamentos teóricos de agricultura inteligente, robótica móvil, visión artificial e inteligencia artificial para desarrollar un sistema autónomo capaz de detectar y clasificar frutos en invernaderos.

La investigación se basa en el uso de cámaras RGB, procesamiento digital de imágenes y algoritmos de aprendizaje automático para identificar características visuales asociadas al grado de madurez de los frutos. Posteriormente, estas tecnologías serán integradas en un robot móvil autónomo equipado con sensores de navegación para realizar detección en tiempo real dentro del invernadero.

La implementación de este sistema permitirá optimizar la selección y recolección automatizada, mejorar la eficiencia operativa y contribuir al desarrollo de soluciones tecnológicas sostenibles para la agricultura moderna.

RESULTADOS

Una vez aplicada la metodología establecida se obtuvieron los siguientes resultados:

Etapas 1 – Captura y procesamiento de imágenes

En esta primera etapa se tomaron diferentes imágenes del proceso de cosecha y las lechugas en sus diferentes etapas de madurez, bajo condiciones controladas y reales de iluminación y cultivo. Primero se llevó a cabo la instalación de la estructura hidropónica y las líneas de conducción empleadas al cultivo y monitoreo de las plantas como se muestra en las siguientes imágenes.

Figura 3

Fase de Preparación del Terreno para la Instalación del Invernadero



Nota: Fotografía que muestra los trabajos iniciales de nivelación y adecuación del espacio físico donde se ubicará el invernadero del proyecto.

Fuente: elaboración propia.

Figura 4

Ensamble y Adecuación de la Estructura de Soporte Hidropónico



Nota: Fotografía que documenta el proceso de montaje de la estructura hidropónica dentro del invernadero, incluyendo la instalación de los conductos de cultivo.

Fuente: elaboración propia.

Figura 5

Pruebas de Conexión y Funcionamiento del Sistema de Riego Hidropónico



Nota: Fotografía tomada durante la instalación final y conexión de los sistemas de flujo de nutrientes y agua del sistema hidropónico.

Fuente: elaboración propia.

Posteriormente se procedió al cultivo de las plantas mediante el sistema hidropónico dentro del invernadero, se observan características relacionadas con la coloración de hojas, textura, y morfología, elementos para el análisis visual y monitoreo del sistema del cultivo como se muestra en la imagen.

Figura 6

Proceso de Cultivo y Germinación de Semillas en Bandejas de Semillero



Nota: fotografía del proceso manual de siembra y colocación de semillas en bandejas de germinación para el desarrollo del cultivo controlado en invernadero.

Fuente: elaboración propia.

Se muestra el crecimiento en una etapa temprana de crecimiento, durante esta etapa se evaluaron características físicas como tamaño, tonalidad y estado general de la planta para generar registros visuales, el desarrollo se llevó en un contenedor hidropónico, el análisis de las raíces permitió evaluar el estado del crecimiento y adaptación del cultivo dentro del entorno controlado.

Figura 7

Crecimiento de la Planta en un Contenedor Hidropónico



Nota: Fotografía que muestra el desarrollo vegetativo y el estado del sistema radicular de la planta dentro del contenedor hidropónico.

Fuente: elaboración propia.

La planta muestra un buen desarrollo color uniforme y hojas firmes, lo que indica condiciones adecuadas para el crecimiento.

Figura 8

Evaluación del Desarrollo Foliar y Radicular de Cultivo en Tubería Hidropónica



Nota: Fotografía del estado de crecimiento avanzado de las hojas y la densidad de las raíces de la planta en el sistema de flujo hidropónico.

Fuente: elaboración propia.

La planta muestra un sistema radicular abundante y relativamente sano con raíces claras y buena densidad, sin embargo, la hojas muestran deformaciones lo que sugiere un tipo de estrés fisiológico lo que sugiere un exceso de humedad, balance nutricional especialmente calcio y PH.

Figura 9

Inspección del Balance Nutricional y Sistema Radicular de la Planta en Etapa Adulta



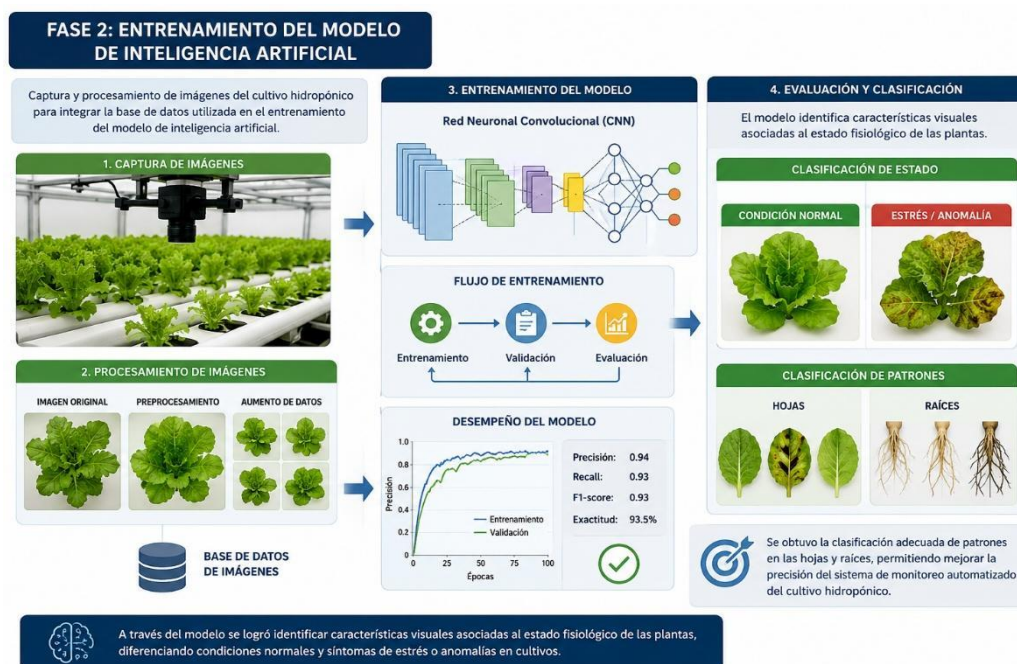
Nota: Fotografía que documenta la evaluación de la densidad radicular y el follaje de la planta para asegurar un buen balance nutricional.

Fuente: elaboración propia.

En la fase 2. Entrenamiento del modelo de inteligencia artificial: Durante esta etapa se realizó la captura y procesamiento de imágenes del cultivo hidropónico para integrar la base de datos utilizada en el entrenamiento del modelo de inteligencia artificial. Las imágenes obtenidas permitieron desarrollar procesos de aprendizaje autónomo mediante las fases de entrenamiento, validación y evaluación del desempeño del sistema. A través del modelo se logró identificar características visuales asociadas al estado fisiológico de las plantas diferenciando condiciones normales y síntomas de estrés o anomalías en cultivos. Asimismo, se obtuvo la clasificación adecuada de patrones en las hojas y raíces permitiendo mejorar la precisión del sistema de monitoreo automatizado.

Figura 10

Metodología de Captura, Procesamiento y Entrenamiento del Modelo de Inteligencia Artificial para el Diagnóstico del Cultivo



Nota: Infografía técnica que detalla la Fase 2 del proyecto, abarcando la captura y procesamiento de imágenes, la arquitectura de la Red Neuronal Convolutiva (CNN), el flujo de entrenamiento con sus métricas de desempeño y la posterior evaluación para la clasificación de estados de estrés o anomalías en hojas y raíces.

Fuente: elaboración propia.

En la fase 3 de Integración robótica: En esta etapa se diseñó e integró el sistema robótico con sensores de navegación autónoma y módulos de visión artificial para la detección y clasificación de plantas en tiempo real. Como resultado, el robot logró desplazarse dentro del entorno de cultivos y obtener imágenes de manera automática facilitando el monitoreo continuo del sistema hidropónico. A través de esta etapa se permitió ejecutar un modelo de inteligencia artificial y el sistema robótico.

Figura 11

Instalación de la Bomba de Presión en el Sistema de Riego

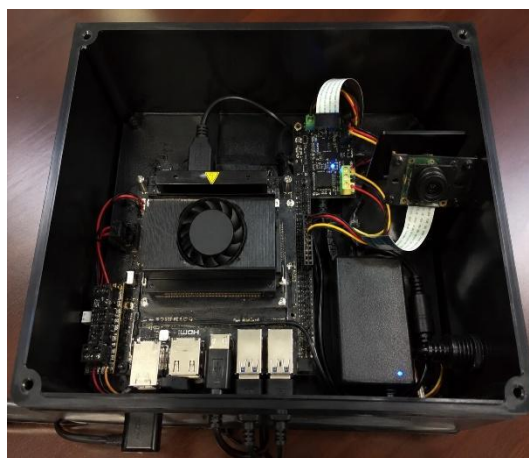


Nota: Fotografía del componente electromecánico correspondiente a la bomba de presión encargada de la distribución del flujo hídrico e insumos químicos en el invernadero.

Fuente: elaboración propia.

Figura 12

Componentes de la Unidad Central de Procesamiento y Sistema de Visión



Nota: Fotografía del hardware interno que integra la tarjeta de procesamiento principal, el sistema de enfriamiento y las conexiones del módulo de visión artificial para el robot autónomo.

Fuente: elaboración propia.

Figura 13

Instalación del Gabinete de Control y Protección del Sistema en la Estructura Superior



Nota: Fotografía de la caja o gabinete de protección para los componentes electrónicos colocada en la parte superior de la estructura interna del invernadero.

Fuente: elaboración propia.

En etapas posteriores se espera la realización de pruebas en condiciones reales para evaluar la efectividad del sistema con una diversidad de frutos.

DISCUSIÓN

Los hallazgos adquiridos a lo largo de la realización del proyecto AgroBot IA evidencian que incorporar inteligencia artificial, visión artificial y robótica móvil es una opción factible para automatizar procedimientos agrícolas en entornos controlados, como los invernaderos. En la primera fase, se creó una base de datos visual a partir de la toma y procesamiento de imágenes del cultivo hidropónico. Esto posibilitó el reconocimiento de rasgos vinculados a la condición fisiológica de las plantas, como son color, textura, forma y desarrollo radicular. Estos descubrimientos están en línea con lo que han señalado Patel y Kumar (2020), quienes indican que los sistemas de visión artificial posibilitan la clasificación automática de plantas y frutos a través del análisis de patrones visuales.

Además, los hallazgos de la etapa de entrenamiento del modelo de inteligencia artificial hicieron posible el desarrollo de procedimientos de aprendizaje autónomo que pueden distinguir entre condiciones normales y síntomas de estrés fisiológico en las plantaciones. Lo anterior está en línea con estudios como el de Sa et al. (2016), que evidenciaron que la detección y clasificación automática en sistemas agrícolas inteligentes aumenta considerablemente cuando se emplean redes neuronales y procesamiento digital de imágenes.

El prototipo creado, en lo que respecta a la integración robótica, consiguió moverse de manera autónoma por el medio hidropónico y efectuar la captura automática de imágenes para supervisar constantemente el cultivo. Estos hallazgos están vinculados con las investigaciones de Bac et al. (2014), que sostienen que los robots de campo equipados con sistemas de navegación y sensores hacen posible la automatización de labores de supervisión y control en entornos agrícolas. En términos generales, los hallazgos muestran que la combinación de inteligencia artificial y robótica puede ayudar

a mejorar la eficiencia operativa en los sistemas de producción controlada, disminuir las equivocaciones humanas y optimizar los procedimientos agrícolas.

En términos teóricos, la investigación ayuda a mejorar el conocimiento sobre la agricultura inteligente, la robótica móvil y la visión artificial en el área agrícola. El proyecto evidencia la factibilidad de combinar sistemas robóticos autónomos con modelos de aprendizaje automático para crear soluciones que sean aptas para examinar variables fisiológicas en las plantas en tiempo real. También proporciona pruebas sobre el uso de técnicas de procesamiento digital de imágenes para reconocer patrones vinculados a la salud y madurez de las cosechas.

En la práctica, AgroBot IA es una opción tecnológica enfocada en optimizar la eficacia de los procedimientos agrícolas en invernaderos. La automatización del monitoreo y la clasificación de plantas posibilita que se reduzca la dependencia de procesos manuales, se mejore el empleo de fertilizantes y recursos hídricos, y se minimice la exposición de los empleados a productos químicos que se emplean en las fumigaciones. Asimismo, la puesta en marcha de sistemas inteligentes de monitoreo tiene el potencial de aumentar la productividad agrícola y la calidad de los productos. Este tipo de tecnologías puede contribuir a que el agua se gestione de una manera más eficaz y a que la producción agrícola sea más sostenible en áreas con escasez de agua, como el Altiplano Hidalguense.

Asimismo, el proyecto promueve la conexión entre la investigación académica y el avance tecnológico en el campo agroindustrial, incentivando así la innovación y la implementación de tecnologías emergentes en México. El estudio, a pesar de los resultados que se han conseguido, tiene algunas limitaciones significativas. Primeramente, el prototipo se valoró solamente en un ambiente controlado de cultivo hidropónico; por ende, hasta ahora no hay ensayos amplios realizados en otras circunstancias ambientales o en invernaderos más grandes.

El volumen de la base de datos que se empleó para entrenar el modelo de inteligencia artificial es otra restricción. A pesar de que se logró crear un sistema funcional, sería posible mejorar la exactitud y la capacidad de generalización del modelo si se emplea un número más grande de imágenes y una variedad más extensa de condiciones de iluminación y especies vegetales.

Además, el sistema se centró esencialmente en la supervisión de lechugas y cultivos hidropónicos; por lo tanto, para adaptarse a otras variedades de frutas o cultivos, necesitará nuevos procesos de capacitación y validación. Además, se detectan restricciones vinculadas a los gastos de puesta en marcha, mantenimiento y compra de sensores especializados, lo que podría obstaculizar que pequeños productores agropecuarios adopten esta tecnología. Como el proyecto está en una fase de desarrollo experimental, hasta ahora no se han llevado a cabo análisis exhaustivos de indicadores económicos, efecto productivo ni retorno de inversión a raíz de la puesta en marcha del sistema. Para investigaciones futuras, se aconseja aumentar la base de datos empleada para entrenar el modelo de inteligencia artificial incluyendo diversas especies vegetales, cambios climáticos y variadas condiciones lumínicas. Esto va a facilitar que el sistema mejore su capacidad para clasificar y su solidez frente a situaciones reales de producción agrícola.

Para aumentar la exactitud al detectar anomalías fisiológicas y madurez en los cultivos, también se recomienda el uso de modelos avanzados de aprendizaje profundo, sobre todo las redes neuronales convolucionales (CNN). Sería además apropiado incorporar sensores ambientales adicionales para controlar factores como la humedad, el pH, la temperatura y los niveles de nutrientes, lo que posibilitará crear sistemas de agricultura inteligente de manera más integral.

En etapas posteriores, se aconseja llevar a cabo ensayos experimentales en invernaderos comerciales y analizar indicadores vinculados con la eficacia operativa, el ahorro de agua, la disminución de agroquímicos y la productividad. Asimismo, sería importante examinar el efecto económico que tiene

la implementación del sistema y su factibilidad para los productores de tamaño pequeño y mediano. Por último, se sugiere examinar la implementación de tecnologías de Internet de las Cosas (IoT), computación en la nube y análisis predictivo para crear plataformas completas que monitoreen la agricultura en tiempo real. Esto posibilitará el progreso hacia modelos de agricultura autónoma que sean aptos para tomar decisiones inteligentes y mejorar constantemente los procesos de producción agrícola sostenible.

CONCLUSIÓN

El proyecto AgroBot IA contribuye de manera significativa al fortalecimiento de la sostenibilidad alimentaria, ambiental y tecnológica mediante la incorporación de herramientas de inteligencia artificial, visión artificial y robótica aplicada al sector agrícola. La implementación del sistema permitió demostrar que el uso de tecnologías inteligentes puede optimizar la administración de recursos críticos dentro de los invernaderos, particularmente el agua, los fertilizantes y los agroquímicos. A través del análisis automatizado de imágenes y la toma de decisiones basada en modelos de inteligencia artificial, el sistema es capaz de identificar las condiciones fisiológicas de las plantas y aplicar acciones específicas de monitoreo y control, reduciendo el desperdicio de insumos y favoreciendo una producción más eficiente y sustentable.

Uno de los principales aportes del proyecto radica en la disminución potencial del impacto ambiental asociado a la agricultura tradicional. La aplicación precisa y localizada de agua y agroquímicos reduce la contaminación del suelo y de los mantos acuíferos, además de contribuir al uso racional de los recursos naturales en regiones con problemas de disponibilidad hídrica como el Altiplano Hidalguense. De esta manera, AgroBot IA se alinea con los objetivos de la agricultura inteligente y sostenible promovidos a nivel internacional para enfrentar los desafíos relacionados con el cambio climático y el crecimiento poblacional.

Además, el proyecto constituye una valiosa oportunidad para fomentar la transformación tecnológica del sector agropecuario mexicano. El avance de soluciones robóticas adecuadas a las condiciones productivas de la zona ayuda a que los sistemas de cultivo se modernicen y potencia la competitividad de los productores locales. La puesta en marcha de estas tecnologías posibilita disminuir los costos operativos, aumentar la producción y elevar la calidad de los productos agrícolas a través de procesos automatizados de monitoreo y clasificación. Desde un punto de vista social, AgroBot IA produce un efecto directo en la seguridad y el bienestar del personal agrícola. La automatización de tareas como la fumigación y la vigilancia reduce notablemente la exposición de las personas a sustancias químicas que podrían ser peligrosas, lo cual disminuye el riesgo de intoxicaciones, accidentes en el trabajo y enfermedades respiratorias. Este escenario es particularmente importante en áreas agrícolas, donde las labores se llevan a cabo de forma manual y con escasas condiciones de protección en el trabajo. Asimismo, el proyecto ayuda a afrontar problemas asociados con la falta de trabajadores agrícolas, posibilitando que algunos trabajos repetitivos y físicamente exigentes los lleven a cabo sistemas automatizados. Esto no significa reemplazar por completo la intervención humana, sino cambiar las actividades agrícolas hacia tareas de supervisión, análisis y administración tecnológica.

Un tema importante es el fortalecimiento de la educación académica y tecnológica de los alumnos e investigadores del Instituto Tecnológico Superior del Oriente del Estado de Hidalgo (ITESA). El involucrarse en el diseño y la creación del prototipo posibilitó la generación de habilidades vinculadas con inteligencia artificial, visión artificial, robótica móvil, automatización agrícola y programación. Para asegurar la continuidad, el mantenimiento y la posibilidad de escalar este tipo de soluciones tecnológicas en la región, es crucial formar capital humano con especialización en estos campos.

Por último, AgroBot IA establece las bases para investigaciones futuras que busquen crear sistemas agrícolas autónomos más sofisticados. La incorporación de plataformas de monitoreo en tiempo real,

algoritmos de aprendizaje profundo y sensores inteligentes permite generar modelos de agricultura inteligente que pueden aumentar la productividad alimentaria sosteniblemente. En su totalidad, el proyecto no solo supone un progreso en términos de tecnología, sino que también aporta al desarrollo social, económico y medioambiental del campo nacional y regional.

REFERENCIAS

- Bac, C. W., Hemming, J., & Van Henten, E. J. (2014). Harvesting robots for high-value crops: State-of-the-art review and challenges ahead. *Journal of Field Robotics*, 31(6), 888-911.
- Bargoti, S., & Underwood, J. (2017). Deep fruit detection in orchards. *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 3626-3633.
- Castilla, N. (2013). *Greenhouse Technology and Management*. CABI Publishing.
- Cubero, S., Aleixos, N., Moltó, E., Gómez-Sanchis, J., & Blasco, J. (2014). Advances in machine vision applications for automatic inspection and quality evaluation of fruits and vegetables. *Food and Bioprocess Technology*, 4(4), 487-504.
- Duckett, T., Pearson, S., Blackmore, S., & Grieve, B. (2018). *Agricultural robotics: The future of robotic agriculture*. UK-RAS White Papers.
- FAO (2017). *The State of Food and Agriculture 2017*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO (2018). *The State of Food and Agriculture 2018*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO. (2017). *The future of food and agriculture: Trends and challenges*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- FAO. (2018). *Transforming food and agriculture to achieve the SDGs*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Forsyth, D. A., & Ponce, J. (2011). *Computer vision: A modern approach*. Pearson Education.
- Gebbers, R., & Adamchuk, V. I. (2010). *Precision agriculture*. Springer.
- Global food losses and food waste. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Gustavsson, J., Cederberg, C., Sonesson, U., van Otterdijk, R., & Meybeck, A. (2011).
- Gustavsson, J., Cederberg, C., Sonesson, U., Van Otterdijk, R., & Meybeck, A. (2011). *Global food losses and food waste*. FAO.
- Patel, K., & Kumar, A. (2020). Machine learning-based fruit classification using image processing techniques. *International Journal of Advanced Science and Technology*, 29(5), 1450-1462.
- Sa, I., Ge, Z., Dayoub, F., Upcroft, B., Perez, T., & McCool, C. (2016). DeepFruits: A fruit detection system using deep neural networks. *Sensors*, 16(8), 1222.
- Siegwart, R., Nourbakhsh, I., & Scaramuzza, D. (2011). *Introduction to Autonomous Mobile Robots*. MIT Press.
- Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M. J. (2017). Big Data in Smart Farming: A review. *Agricultural Systems*, 153, 69-80.
- WWAP. (2019). *The United Nations World Water Development Report 2019: Leaving No One Behind*. UNESCO World Water Assessment Programme.

Todo el contenido de LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades, publicados en este sitio está disponibles bajo Licencia Creative Commons .