



Ciencia Latina
Internacional

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), julio-agosto 2024,
Volumen 8, Número 4.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i4

EL USO DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN UN INVERNADERO

**THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN
A GREENHOUSE**

Ingrid Angélica García Torres
Universidad de Guayaquil, Ecuador

Rosa Elizabeth Castillo León
Universidad de Guayaquil, Ecuador

William Ricardo Navas Espín
Universidad de Guayaquil, Ecuador

Jairo Geovanny Veintimilla Andrade
Universidad de Guayaquil, Ecuador

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rem.v8i4.12331

El Uso de la Inteligencia Artificial en un Invernadero

Ingrid Angélica García Torres¹

ingrid.garcia@ug.edu

<https://orcid.org/0000-0003-0796-8527>

Universidad de Guayaquil
Ecuador

Rosa Elizabeth Castillo León

rosa.castillo@ug.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-0172-3916>

Universidad de Guayaquil
Ecuador

William Ricardo Navas Espín

william.navase@ug.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-8492-9997>

Universidad de Guayaquil
Ecuador

Jairo Geovanny Veintimilla Andrade

jairo.veintimillaa@ug.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-2841-2344>

Universidad de Guayaquil
Ecuador

RESUMEN

En la presente investigación aborda el "Uso de Inteligencia Artificial en un Invernadero". Este estudio plantea diversos desafíos en el ámbito agrícola, como la pérdida de rendimiento de los cultivos, la degradación del suelo y la ineficiencia en el uso del agua, que afectan a diversas regiones del mundo. Para abordar estos problemas, se propone investigar métodos de automatización basados en Inteligencia Artificial para mejorar la eficiencia en invernaderos, optimizando las condiciones de crecimiento de las plantas y maximizando la productividad agrícola. El objetivo es analizar el estado del arte de la automatización en invernaderos, comparar las necesidades y desafíos en la implementación de sistemas automatizados, desarrollar algoritmos basados en inteligencia artificial para la automatización de invernaderos y analizar los resultados obtenidos. La investigación destaca la contribución significativa del Internet de las Cosas (IoT) en la optimización de procesos agrícolas, especialmente en el contexto de la Agricultura 4.0. Se explora el desarrollo de un sistema de monitoreo remoto basado en IoT para incrementar la productividad agrícola, integrando diversas tecnologías como máquinas inteligentes, sensores, análisis de big data, e inteligencia artificial.

Palabras Claves: inteligencia artificial, invernadero, agricultura 4.0, internet de las cosas (iot), productividad agrícola

¹ Autor principal.

Correspondencia: ingrid.garcia@ug.edu.ec

The Use of Artificial Intelligence in a Greenhouse

ABSTRACT

This research addresses the "Use of Artificial Intelligence in a Greenhouse". This study raises various challenges in the agricultural field, such as loss of crop yield, soil degradation and inefficiency in water use, which affect various regions of the world. To address these problems, it is proposed to investigate automation methods based on Artificial Intelligence to improve efficiency in greenhouses, optimizing plant growth conditions and maximizing agricultural productivity. The objective is to analyze the state of the art of greenhouse automation, compare the needs and challenges in the implementation of automated systems, develop algorithms based on artificial intelligence for greenhouse automation and analyze the results obtained. The research highlights the significant contribution of the Internet of Things (IoT) in the optimization of agricultural processes, especially in the context of Agriculture 4.0. The development of a remote monitoring system based on IoT is explored to increase agricultural productivity, integrating various technologies such as smart machines, sensors, big data analysis, and artificial intelligence.

Keywords: artificial intelligence, greenhouse, agriculture 4.0, internet of things (IOT), agricultural productivity

*Artículo recibido 08 junio 2024
Aceptado para publicación: 11 julio 2024*



INTRODUCCIÓN

La Agricultura 4.0, también conocida como agricultura de precisión, ha revolucionado el sector agrícola mediante la integración de tecnologías avanzadas como el Internet de las Cosas (IoT), la inteligencia artificial y el análisis de big data. Estas innovaciones han permitido una optimización sin precedentes en la gestión de recursos y en la productividad agrícola, abordando de manera efectiva los desafíos tradicionales de la agricultura convencional, tales como la dependencia excesiva de la mano de obra humana y la vulnerabilidad a condiciones climáticas extremas debido a la falta de sistemas de apoyo basados en datos (Maraveas & Bartzanas, 2022).

La evolución de la agricultura ha sido impulsada por la necesidad de satisfacer la creciente demanda de alimentos de una población en constante aumento. Desde la modernización agrícola del siglo XVII hasta las revoluciones tecnológicas de los siglos XX y XXI, la agricultura ha avanzado significativamente. La Agricultura 4.0 se caracteriza por la utilización de tecnologías de precisión para optimizar el uso de insumos y reducir el impacto ambiental, enfrentando los retos del cambio climático y promoviendo la sostenibilidad a través de enfoques como la agroecología (Elena et al., 2023).

El Internet de las Cosas (IoT) ha demostrado ser una contribución significativa en la agricultura moderna, facilitando la automatización de procesos y la optimización de recursos. La integración de máquinas inteligentes, sensores, sistemas aéreos no tripulados y análisis de datos ha permitido aplicaciones diversas que van desde la prevención de heladas en invernaderos hasta la gestión de riego y la detección de plagas (Maraveas & Bartzanas, 2022). Estudios recientes han explorado la creación de sistemas inteligentes que combinan realidad virtual y tecnología inalámbrica para mitigar el estrés abiótico en cultivos (Chiliqinga & Mañay, 2021), así como la implementación de sistemas de control y monitoreo de riego que mejoran la eficiencia y productividad agrícola (Román, 2022).

El presente estudio se enfoca en el desarrollo de un sistema de monitoreo remoto basado en IoT para incrementar la productividad agrícola. A través de una revisión de la literatura y la implementación de un marco metodológico adecuado, se busca consolidar el conocimiento existente y aportar nuevas perspectivas para la mejora de la gestión agrícola. La exploración de fundamentos teóricos y la selección de herramientas y metodologías adecuadas permitirán una aplicación efectiva del sistema propuesto, promoviendo una agricultura más eficiente y sostenible en el contexto de la Agricultura 4.0.



Esta investigación no solo contribuye al entendimiento de las tecnologías IoT aplicadas en la agricultura, sino que también ofrece una guía práctica para la implementación de soluciones tecnológicas que aborden los desafíos actuales del sector agrícola. Con un enfoque en la optimización de recursos y la sostenibilidad, el estudio aspira a sentar las bases para futuras innovaciones en la agricultura inteligente, beneficiando tanto a los pequeños agricultores como a las grandes explotaciones agrícolas.

En el apartado de fundamentos teóricos, se examinan los conceptos clave que respaldan el desarrollo de un sistema de monitoreo remoto basado en Internet de las Cosas (IoT) para maximizar la productividad en el contexto de la Agricultura 4.0. Esta exploración busca no solo consolidar el conocimiento existente, sino también ampliar la comprensión con nuevas perspectivas y teorías relevantes al tema tratado. Al obtener una visión integral y detallada, se facilita la selección de la metodología más adecuada y la arquitectura para implementar los diversos algoritmos, así como la elección de las herramientas o software necesarios. Esto permite una respuesta más sólida a los desafíos planteados inicialmente, promoviendo una aplicación más efectiva del sistema de monitoreo remoto en el marco de la Agricultura 4.0 para mejorar la productividad agrícola.

Internet de las cosas (IoT) se refiere a una red de dispositivos físicos conectados a Internet que pueden recolectar y compartir datos automáticamente. Estos dispositivos, equipados con sensores, software y conectividad, pueden interactuar entre sí para realizar tareas específicas sin necesidad de intervención humana directa. La IoT facilita la automatización de procesos, el monitoreo remoto y la optimización de recursos, lo que permite crear sistemas inteligentes que mejoran la eficiencia y la comodidad en diversos ámbitos como hogares, ciudades, salud, agricultura e industria (Internet de las cosas (IoT), 2023).

Según (Calva, 2022) el Internet de las cosas representa el futuro de la conectividad, donde objetos físicos se comunican entre sí para intercambiar información y colaborar en diversas tareas. Estos objetos pueden ser desde dispositivos de identificación por radiofrecuencia hasta sensores inteligentes y vehículos autónomos, tanto en entornos industriales como comerciales. La creciente popularidad del IoT se debe a su capacidad de conectarse con todo, lo que ha inspirado diversas aplicaciones en campos



como la agricultura, la medicina y las ciudades inteligentes, donde ofrece mejoras significativas en eficiencia y capacidad de recopilación de datos para tomar decisiones cruciales.

El Internet de las Cosas (IoT) se ha utilizado ampliamente en la agricultura para el monitoreo de diversos aspectos como cultivos, suelos, riego, clima, maquinaria agrícola, instalaciones, ganado y calidad del agua, entre otros. También se ha aplicado en la documentación, trazabilidad y seguridad de la cadena de suministro agrícola, así como en la gestión de enfermedades y plagas de cultivos, fertilización, fumigación y detección de intrusos en campos agrícolas. Además, el IoT se ha empleado en la gestión de herramientas agrícolas y en sistemas de control de riego, así como en muestreo y mapeo de suelos y predicción del clima.(Urquilla Castaneda, 2023).

La también llamada agricultura de precisión consiste en un conjunto de tecnologías destinadas a mejorar la eficiencia de la producción agrícola al abordar la variabilidad espacial y temporal de los factores que influyen en los cultivos. Estas tecnologías, que incluyen drones, sensores y aprendizaje profundo, se integran en la maquinaria agrícola para realizar tareas de mapeo topográfico con mayor detalle. (Castro et al., 2022) La adopción de estas nuevas herramientas busca transformar los métodos de producción agrícola a nivel global, ofreciendo ventajas como la autoguiada, sistemas de riego automatizados y geolocalización, lo que motiva a los agricultores a adoptar prácticas más avanzadas y eficientes.

La Agricultura 5.0 se visualiza como un sistema agrícola altamente integrado y digitalizado, donde tecnologías avanzadas como el Internet de las Cosas (IoT), big data, inteligencia artificial, redes 5G, robótica y automatización trabajan juntas para optimizar cada aspecto del cultivo y la gestión de recursos, aumentando la eficiencia, sostenibilidad y productividad del sector agrícola.

La implementación del Internet de las Cosas (IoT) en la agricultura implica conectar dispositivos físicos y objetos comunes con sensores, software y acceso a Internet para recolectar, compartir y analizar datos de manera automática. Este sistema busca supervisar y dirigir diversos aspectos agrícolas, como la calidad del suelo, la humedad, la temperatura y la salud del ganado, entre otros, con el objetivo de mejorar la eficiencia, la productividad y la sostenibilidad en las operaciones agrícolas. Al integrar dispositivos inteligentes en el entorno agrícola, el IoT facilita la automatización de tareas, la gestión eficiente de cultivos y la prevención de problemas, lo que contribuye a modernizar y avanzar hacia una agricultura más inteligente y conectada.



La agricultura de precisión representa un avance significativo en la gestión de la producción agrícola al aprovechar diversas tecnologías para abordar la variabilidad inherente a este sector. Su enfoque radica en optimizar la utilización de recursos, desde la tierra hasta los insumos, con el fin de maximizar la productividad y la calidad de los cultivos. Esta estrategia se fundamenta en la implementación de herramientas innovadoras para el monitoreo y control de procesos, lo que permite una gestión más eficiente y precisa de las operaciones agrícolas.

(Andrea et al., 2022) nos indica que entre los beneficios clave de la agricultura de precisión se encuentra la capacidad de reducir los costos operativos y mejorar la rentabilidad de las explotaciones agrícolas. Al optimizar la aplicación de agroquímicos y otros insumos, se minimiza el desperdicio y se maximiza la eficiencia en el uso de estos recursos, lo que se traduce en una mayor rentabilidad para los agricultores. Además, esta práctica fomenta una gestión más sostenible al reducir el impacto ambiental de las actividades agrícolas, como la contaminación del suelo y el agua, y la emisión de gases de efecto invernadero.

La implementación de sistemas automatizados en invernaderos presenta tanto necesidades como desafíos que deben ser considerados cuidadosamente para lograr una solución efectiva y sustentable.

Los sistemas automatizados permiten monitorear y ajustar de manera precisa variables críticas como temperatura, humedad, iluminación y concentración de CO₂ para crear el ambiente ideal para el desarrollo de los cultivos (Hortalan, 2022).

La automatización de sistemas de riego, fertilización y control climático ayuda a reducir el consumo de agua, energía y otros insumos, mejorando la sostenibilidad de la producción (AGRO FACTO, 2022).

El ambiente controlado de los invernaderos, combinado con la monitorización automatizada, disminuye significativamente la incidencia de plagas y enfermedades, minimizando la necesidad de pesticidas (Hortalan, 2022).

La optimización de las condiciones de cultivo y la eficiencia operativa de los sistemas automatizados se traducen en mayores rendimientos y calidad de los cultivos (Hortalizas, 2024).

La instalación de sistemas automatizados requiere una inversión inicial significativa en equipos, sensores, controladores y software, lo cual puede ser una barrera para algunos agricultores (igus, 2023)



La implementación y mantenimiento de estos sistemas demanda conocimientos técnicos especializados que pueden no estar disponibles en todas las regiones (JAIME CHAFLA AND DIEGO MONTA, 2016). Para establecer un sistema de monitoreo podría estar compuesto por una variedad de componentes diseñados para recopilar datos relevantes en el entorno agrícola. En primer lugar, el controlador ESP-WROOM-32, también conocido como ESP32, desempeña una función crucial al facilitar la conectividad inalámbrica y la transmisión de datos, lo que permite una comunicación eficiente entre los diferentes elementos del sistema.

Además, se emplean varios sensores especializados para medir distintas variables ambientales: el sensor de humedad del suelo LM393 proporciona información sobre el contenido de humedad en el suelo, el sensor de lluvia LM393 detecta la presencia de precipitación, el sensor de temperatura DHT22 mide la temperatura ambiente, y el sensor ultravioleta digital LTR390 registra la intensidad de la radiación ultravioleta.

Para asegurar una fuente de alimentación estable y proteger el ESP32 de posibles daños, se utilizará una placa Arduino para conectar el ESP32 a los pines de 3.3V. Esto permitirá que el ESP32 reciba energía de cualquier fuente de alimentación sin riesgo de daño, garantizando así la fiabilidad y seguridad del sistema.

Estos componentes trabajan en conjunto para ofrecer un monitoreo completo y en tiempo real de las condiciones medioambientales en el ámbito agrícola, permitiendo una toma de decisiones informada y una gestión eficaz de los recursos agrícolas.

METODOLOGÍA

La metodología de esta investigación en la presente investigación se centra en un sistema de monitoreo remoto basado en Internet de las Cosas (IoT) para mejorar la productividad agrícola. Este enfoque metodológico combina la recopilación y análisis de datos a través de sensores y dispositivos IoT, integrando tecnologías de inteligencia artificial y aprendizaje automático para optimizar las condiciones de crecimiento en invernaderos.

El proceso de recolección de datos fue exhaustivo y minucioso. Se consultaron diversas fuentes académicas y científicas de gran relevancia, como Google Académico, Scopus y repositorios institucionales. Estas plataformas brindaron acceso a una amplia variedad de publicaciones, artículos



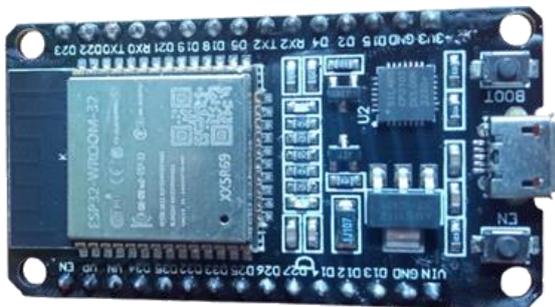
científicos, tesis y otros recursos valiosos, asegurando la recopilación de información de alta calidad y pertinencia para el estudio.

La búsqueda en estas fuentes especializadas garantizó la obtención de datos sólidos y confiables, provenientes de prestigiosas fuentes académicas y científicas. Esto permitió fundamentar el análisis en información de primera mano, respaldada por el rigor y la rigurosidad característicos de estos repositorios de conocimiento.

Para las simulaciones de conexiones de los sensores con la placa se utilizó la herramienta Fritzing

A continuación, tenemos los sensores

Figura 1. Controlador ESP-WROOM-32



Elaborado por Investigación correcta

Los sensores de un sistema de monitoreo son el Sensor de Humedad del Suelo FC-28, el Sensor de Lluvia FC-37, el Sensor de Temperatura DHT22 y el Sensor Ultravioleta Digital LTR390. El Sensor de Humedad del Suelo FC-28 se emplean para medir la humedad del suelo, mientras que el Sensor de Lluvia FC-37 detecta la presencia de lluvia.

Por otro lado, el Sensor de Temperatura DHT22 se encarga de medir la temperatura ambiental, y el Sensor Ultravioleta Digital LTR390 proporcionando información sobre la radiación ultravioleta. Estos sensores, con sus respectivas funciones, son componentes clave para recopilar datos importantes que contribuirán al monitoreo preciso de las condiciones ambientales y al análisis de datos en el sistema.

Algoritmos para el control de un invernadero automatizado utilizando sensores

Descripción de los algoritmos para el control para un invernadero automatizado utilizando los siguientes sensores:

1. Sensor de humedad del suelo FC-28
2. Sensor de lluvia FC-37

3. Sensor de temperatura DHT22
4. Sensor ultravioleta digital LTR390

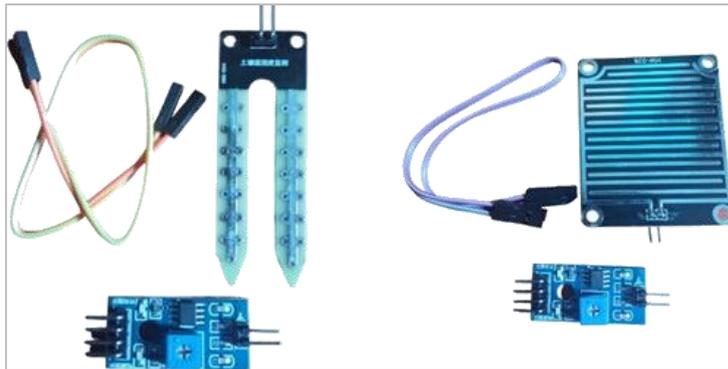
Algoritmo de control de riego

El algoritmo de control de riego se basa en la medición de la humedad del suelo mediante el sensor FC-

28. El algoritmo funcionará de la siguiente manera:

1. Leer el valor de humedad del suelo del sensor FC-28.
2. Comparar el valor de humedad del suelo con un umbral preestablecido. Si el valor de humedad del suelo es inferior al umbral preestablecido, activar el sistema de riego.
3. Si el sensor de lluvia FC-37 detecta lluvia, desactivar el sistema de riego.
4. El sistema de riego se mantendrá activo hasta que el valor de humedad del suelo alcance un nivel adecuado.

Figura 2. Sensor FC-28 y Sensor FC-37



Algoritmo de control de temperatura

El algoritmo de control de temperatura se basa en la medición de la temperatura y la humedad del aire mediante el sensor DHT22. El algoritmo funcionará de la siguiente manera:

1. Leer los valores de temperatura y humedad del aire del sensor DHT22.
2. Comparar los valores de temperatura y humedad del aire con unos rangos preestablecidos. Si los valores de temperatura o humedad del aire se encuentran fuera de los rangos preestablecidos, activar el sistema de calefacción o refrigeración.
3. El sistema de calefacción o refrigeración se mantendrá activo hasta que los valores de temperatura y humedad del aire alcancen los rangos preestablecidos.

Figura 3. Sensor DHT22



Algoritmo de control de iluminación

El algoritmo de control de iluminación se basa en la medición de la radiación ultravioleta (UV) mediante el sensor LTR390. El algoritmo funcionará de la siguiente manera:

1. Leer el valor de radiación UV del sensor LTR390.
2. Comparar el valor de radiación UV con un umbral preestablecido. Si el valor de radiación UV es inferior al umbral preestablecido, activar el sistema de iluminación artificial.
3. El sistema de iluminación artificial se mantendrá activo hasta que el valor de radiación UV alcance el umbral preestablecido.

Consideraciones adicionales

- Los umbrales y rangos preestablecidos para cada algoritmo deben ajustarse en función del tipo de cultivo y las condiciones climáticas específicas del invernadero.
- Los algoritmos deben implementarse en un microcontrolador o una computadora que pueda leer los datos de los sensores y controlar los actuadores (por ejemplo, sistema de riego, sistema de calefacción/refrigeración, sistema de iluminación).
- Se debe implementar un sistema de monitoreo para visualizar los datos de los sensores y el estado de los actuadores.

Plataformas y Herramientas de Análisis de Datos en IoT posible

Tabla. 1. Plataformas

Plataformas	Características
ThingSpeak	<ul style="list-style-type: none"> • Código abierto • API para cargar datos con protocolo HTTP • Fácil integración con MATLAB para el procesamiento de datos • Soporte técnico • Opciones de licencia: gratuita (con limitaciones) y de pago
Blynk	<ul style="list-style-type: none"> • No requiere programación avanzada, ideal para usuarios con poca experiencia. • Altamente personalizable para adaptarse a las necesidades específicas de cada proyecto. • Permite crear interfaces intuitivas para el control y monitoreo remoto desde smartphones o tablets. • Integración perfecta con placas Arduino y diversos sensores y actuadores. • Permite recopilar datos en tiempo real sobre variables como temperatura, humedad, luminosidad y pH del suelo. • Facilita la automatización de sistemas de riego para optimizar el uso del agua. • Permite automatizar tareas repetitivas como la apertura y cierre de invernaderos o la alimentación de ganado.
Adafruit IO	<ul style="list-style-type: none"> • Permite recopilar, almacenar y visualizar datos de sensores conectados de forma intuitiva. • Personaliza la visualización de datos con gráficos, tablas y otros widgets. • Soporta una amplia gama de dispositivos IoT y protocolos de comunicación como MQTT y HTTP. • Ofrece APIs REST para conectar con otros servicios web y aplicaciones.

Nota. Tomado de la investigación directa por los autores (2024)

Tabla 2. Tecnologías de Comunicación

Protocolo	Definición	Características	Aplicaciones en Agricultura	Ventajas
WiFi	Tecnología de red inalámbrica que permite la conexión a internet y la comunicación entre dispositivos	Frecuencia: 2.4 GHz y 5 GHz Velocidad: Alta Alcance: Limitado a la infraestructura existente	Conexión de sensores y actuadores a la red local Transmisión de datos a plataformas en la nube	Alta velocidad Capacidad para manejar múltiples dispositivos
Bluetooth Low Energy (BLE)	Versión optimizada de Bluetooth diseñada para intercambios de datos a baja velocidad con mínimo consumo energético	Frecuencia: 2.4 GHz Velocidad: Baja Alcance: ~100 metros	Comunicación entre dispositivos cercanos Uso en sensores de batería	Bajo consumo energético Fácil integración con dispositivos móviles
LoRa	Tecnología de modulación inalámbrica que permite transmisión de datos a larga distancia con bajo consumo energético	Frecuencia: 433 MHz, 915 MHz Alcance: Hasta 15 km Velocidad: Baja	Monitoreo de grandes extensiones agrícolas Uso en sensores remotos	Largo alcance Bajo consumo energético



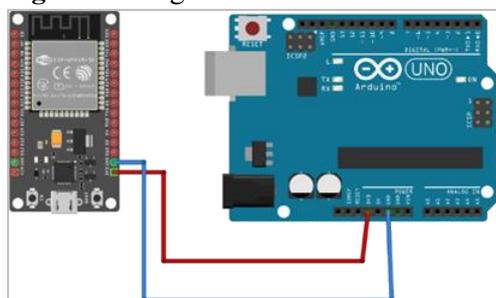
Zigbee	Protocolo de comunicación inalámbrica basado en IEEE 802.15.4 para redes de baja velocidad y bajo consumo energético	Frecuencia: 2.4 GHz Velocidad: Hasta 250 kbps Alcance: ~100 metros, puede extenderse mediante redes de malla	Creación de redes de sensores en campos agrícolas Comunicación entre dispositivos con baja latencia y alta confiabilidad	Bajo consumo energético Capacidad para formar redes de malla
NB-IoT (Narrowband IoT)	Protocolo LPWAN que utiliza espectro celular existente para ofrecer conectividad de bajo costo y largo alcance	Frecuencia: Bandas licenciadas (LTE) Hasta 10 km Velocidad: Baja	Monitoreo de sensores en áreas rurales Conexión de dispositivos con baja frecuencia de transmisión	Amplia cobertura Bajo consumo energético
Sigfox	Protocolo LPWAN que utiliza una red propietaria para proporcionar conectividad de largo alcance y bajo costo	Frecuencia: Bandas ISM (varía por región) Alcance: Hasta 50 km en zonas rurales Velocidad: Muy baja	Monitoreo de sensores en grandes áreas Conexión de dispositivos con baja frecuencia de transmisión	Muy bajo consumo energético Largo alcance

Nota. Tomado de (Saavedra et al., 2022).

Comunicación entre Arduino Uno R3 y ESP32

La comunicación entre Arduino Uno R3 y ESP32 se enriquece por la disponibilidad de diversos protocolos como UART, I2C y SPI. Cada uno ofrece características y ventajas únicas, lo que permite seleccionar el más adecuado para las necesidades específicas del proyecto.

Figura 4. Diagrama de Conexión serial entre ESP32 y Arduino Uno.



En la presente investigación el Arduino Uno R3 puede actuar como controlador principal para los sensores de humedad del suelo, lluvia, temperatura y UV, mientras que el ESP32 maneja la conectividad Wi-Fi y Bluetooth, transmitiendo los datos recolectados a plataformas de análisis como ThingSpeak. (Sharma et al., 2024)

Buscando un creador de circuito se encontró la aplicación Fritzing que es un software de diseño electrónico de código abierto y gratuito, creado para facilitar el proceso de creación de prototipos y el desarrollo de productos electrónicos, también permite realizar simulaciones básicas del comportamiento del circuito para verificar su funcionamiento.

Con ello se realizó lo siguiente:

Integración de Sensores con el Sistema Central

Los sensores conectados al Arduino Uno R3 y ESP32 deben ser configurados para transmitir datos de manera eficiente y en tiempo real. Esto implica el uso de bibliotecas de software específicas y protocolos de comunicación adecuados para cada tipo de sensor. (Narula & Pathak, 2022)

Los sensores de humedad del suelo FC-28, sensor de lluvia FC-37, sensor de temperatura DHT22 y sensor ultravioleta digital LTR390 se integrarán al sistema central a través de interfaces digitales y analógicas, asegurando una recolección de datos precisa y oportuna para el monitoreo y control agrícola.

Figura 5. Diagrama de circuito para el sensor de humedad del suelo FC-28 con el controlador ESP32

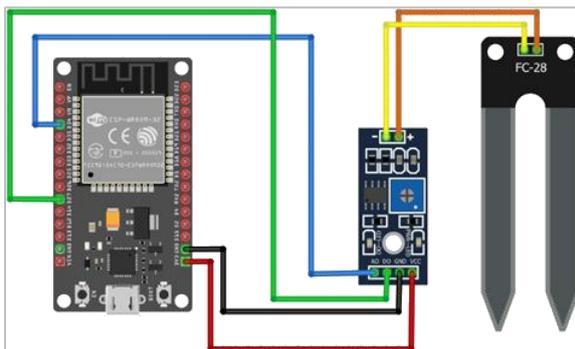


Figura 6. Diagrama de circuito para el sensor de temperatura y humedad ambiental DHT22 con el controlador ESP32.

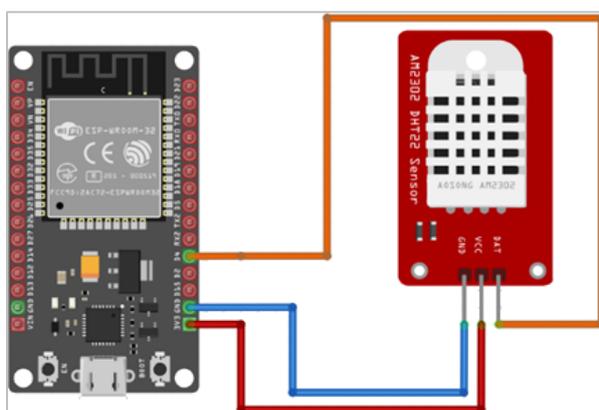


Figura 7. Diagrama de circuito para el sensor ultravioleta LTR390 con el controlador ESP32.

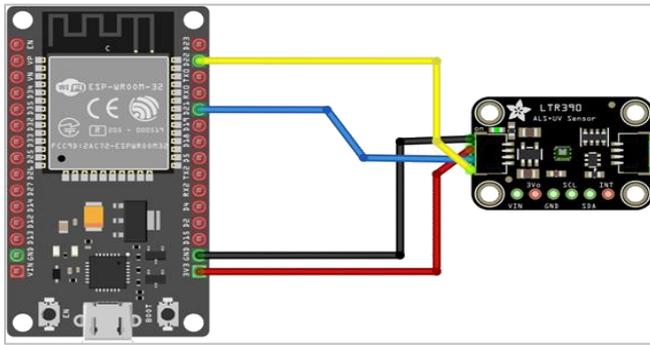
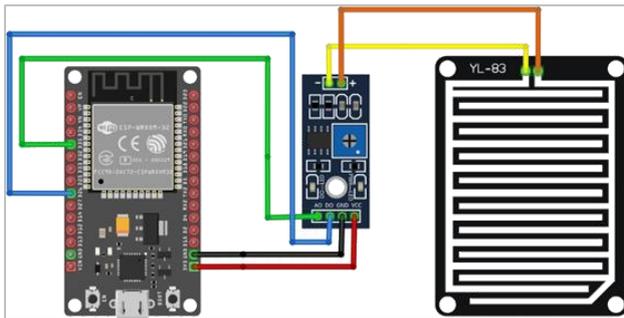


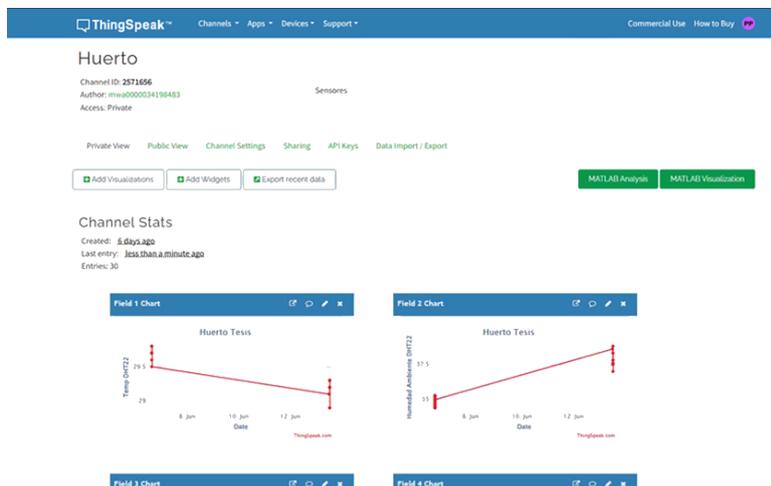
Figura 8. Diagrama de circuito para el sensor de LLUVIA FC-37 con el controlador ESP32.



Modelos de Análisis de Datos con ThingSpeak y MATLAB

MATLAB es una herramienta de software desarrolladas por MathWorks que se utilizan para el análisis y predicción de datos. Estas herramientas son extremadamente poderosas para aplicaciones de IoT en agricultura, debido a su capacidad de manejar grandes volúmenes de datos y realizar análisis complejos. (Sharma et al., 2024) Además, MATLAB ofrece una amplia gama de funciones y herramientas específicas para el procesamiento de señales, la modelización de sistemas, y la visualización de datos, lo que facilita la toma de decisiones informadas en tiempo real.

Figura 9. Captura de la plataforma ThingSpeak mostrando gráficos en tiempo real generados por MatLab,



Aplicaciones IoT en la Agricultura

El Internet de las Cosas (IoT) ha transformado significativamente la agricultura moderna, permitiendo un monitoreo y control más preciso de los procesos agrícolas, lo que resulta en una mayor eficiencia y productividad. A continuación, se describen algunas de las aplicaciones más destacadas de IoT en la agricultura.

Sensores de Humedad del Suelo

Los sensores de humedad, como el LM393, permiten monitorear los niveles de agua en el suelo en tiempo real, asegurando que las plantas reciban la cantidad adecuada de agua. Esto optimiza el riego y previene tanto el exceso como la escasez de agua, mejorando la salud y el rendimiento de los cultivos. (Fauziyah et al., 2021)

Sistemas de Riego Automatizado

Utilizando sensores de humedad y clima, los sistemas de riego automatizados pueden ajustar la cantidad de agua suministrada a las plantas. (Medina Carrasco & Coral Ygnacio, 2022) Es decir que en función de las necesidades específicas y las condiciones meteorológicas actuales ayudan a reducir el desperdicio de agua.

Estaciones Meteorológicas IoT

Las estaciones meteorológicas equipadas con sensores IoT pueden proporcionar datos en tiempo real sobre temperatura, humedad, velocidad del viento y precipitación. Estos datos son vitales para la planificación de actividades agrícolas y la toma de decisiones informadas sobre el manejo de cultivos. (Cordero & José, 2023.)

Sensores y Trampas Inteligentes

Dispositivos IoT pueden detectar la presencia de plagas y enfermedades mediante sensores y cámaras, permitiendo una intervención temprana y la aplicación selectiva de pesticidas, lo que minimiza el uso de químicos y reduce el impacto ambiental (Mesa, 2023)

Rastreo de Equipos y Maquinaria

Utilizando GPS y otros sensores IoT, los agricultores pueden rastrear la ubicación y el estado de su maquinaria y equipos agrícolas, mejorando la eficiencia operativa y reduciendo el tiempo de inactividad. (Chandra Pandey et al., 2021) Además, estos sistemas pueden integrarse con plataformas



de gestión agrícola para ofrecer análisis en tiempo real y recomendaciones específicas, optimizando así la salud de los cultivos y aumentando la eficiencia en la producción agrícola.

Criterios para medir la productividad Agrícola

La productividad agrícola se ve influenciada por una amplia variedad de factores que interactúan de manera compleja. Para maximizar la producción y eficiencia en la agricultura, es crucial monitorear y gestionar adecuadamente los siguientes criterios y parámetros. En esta sección, se describen los principales parámetros que afectan la productividad agrícola y cómo las tecnologías IoT pueden ayudar a optimizarlos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presenta una tabla que analiza de toda la investigación las condiciones ambientales óptimas, utilizando la Inteligencia Artificial:

Tabla 3: Análisis de los Beneficios de la Implementación de Inteligencia Artificial en la Agricultura

Beneficio	Análisis
Condiciones ambientales óptimas	Los sistemas automatizados IoT permiten el monitoreo y ajuste precisos de variables críticas (temperatura, humedad, intensidad de luz, concentración de CO2) creando un entorno ideal para el desarrollo de los cultivos, aumentando el rendimiento, la calidad y la resistencia a enfermedades.
Uso sostenible de recursos	La automatización de sistemas de riego, fertilización y control del clima optimiza el uso de agua, energía y otros insumos, reduciendo el consumo y la huella ambiental de las actividades agrícolas.
Disminución de plagas y enfermedades	El ambiente controlado y monitoreo constante permiten la detección temprana de plagas y enfermedades, facilitando medidas preventivas y reduciendo la necesidad de pesticidas químicos.
Aumento de la productividad	Las mejores condiciones de crecimiento y mayor eficiencia operativa en sistemas automatizados conducen a un aumento significativo en la productividad y calidad de los cultivos.
Beneficios económicos	Las maquinarias agrícolas de precisión, impulsada por tecnologías IoT, reduce costos operativos y aumenta la rentabilidad de las explotaciones agrícolas al optimizar el uso de insumos y recursos.
Sostenibilidad medioambiental	La adopción de sistemas automatizados contribuye a una mayor sostenibilidad al reducir el impacto ambiental de la agricultura (contaminación del suelo y agua, emisiones de gases de efecto invernadero).



La revolución de la IA en la agricultura: un futuro más sostenible y productivo

La agricultura se encuentra en un punto de inflexión. Los desafíos del cambio climático, la escasez de recursos y la creciente demanda de alimentos exigen un cambio radical en la forma de producir. En este contexto, la inteligencia artificial (IA) emerge como una poderosa herramienta con el potencial de transformar el sector y garantizar un futuro más sostenible y productivo.

Imagine campos donde sensores inteligentes monitorean en tiempo real las condiciones del suelo, el clima y la salud de las plantas. Al analizar estos datos, la IA puede tomar decisiones precisas sobre riego, fertilización y control de plagas, optimizando el uso de recursos y asegurando un crecimiento óptimo de los cultivos.

Agricultores de todas las escalas pueden beneficiarse de esta revolución tecnológica. La IA puede ayudar a pequeños productores a acceder a información valiosa y tomar decisiones informadas, mientras que a grandes explotaciones les permite automatizar tareas repetitivas y optimizar sus procesos de producción.

Más allá del aumento de la productividad, la IA también juega un papel crucial en la sostenibilidad. Al reducir el uso de agua, fertilizantes y pesticidas, la IA ayuda a proteger el medio ambiente y a mitigar el cambio climático.

Sin embargo, la implementación de la IA en la agricultura no está exenta de desafíos. Es necesario garantizar el acceso equitativo a la tecnología, la capacitación adecuada para los agricultores y el desarrollo de sistemas de IA éticos y responsables.

En definitiva, la IA se presenta como un aliado fundamental para el futuro de la agricultura. Con un enfoque responsable y colaborativo, esta tecnología puede ayudarnos a alimentar al mundo de manera sostenible, eficiente y rentable, al tiempo que protegemos nuestro planeta para las generaciones venideras.

CONCLUSIONES

En esta investigación, hemos explorado la implementación de la inteligencia artificial (IA) en invernaderos, centrándonos en cómo estas tecnologías pueden revolucionar la agricultura moderna, optimizando recursos y aumentando la productividad. La integración de tecnologías avanzadas como el Internet de las Cosas (IoT), el análisis de big data y los algoritmos de IA puede abordar desafíos



tradicionales del sector agrícola, como la ineficiencia en el uso del agua, la pérdida de rendimiento de los cultivos y la degradación del suelo.

La adopción de sistemas de monitoreo remoto basados en IoT ha permitido una automatización sin precedentes en la gestión de los invernaderos. Estos sistemas, que incorporan sensores inteligentes para medir variables ambientales críticas, han facilitado la creación de algoritmos precisos para el control de riego, temperatura e iluminación. Al comparar los métodos tradicionales con las nuevas tecnologías, se observa una clara ventaja en la precisión y eficiencia de los sistemas automatizados, que no solo reducen el consumo de recursos, sino que también mejoran la calidad y el rendimiento de los cultivos.

Además, la agricultura de precisión, apoyada por la IA, ha demostrado ser una estrategia efectiva para minimizar el impacto ambiental de las actividades agrícolas. Al optimizar la aplicación de agroquímicos y otros insumos, se reduce significativamente la contaminación del suelo y del agua, promoviendo prácticas agrícolas más sostenibles y responsables. Esto es especialmente relevante en el contexto del cambio climático, donde la agricultura debe adaptarse rápidamente para garantizar la seguridad alimentaria mundial.

La implementación de tecnologías IoT y algoritmos de IA en invernaderos también ha presentado ciertos desafíos, como la necesidad de una inversión inicial significativa y la demanda de conocimientos técnicos especializados. Sin embargo, los beneficios a largo plazo, como el aumento de la productividad y la sostenibilidad, superan con creces estas barreras iniciales. La capacitación y la educación en el uso de estas tecnologías son cruciales para que los agricultores puedan aprovechar al máximo sus ventajas. Para finalizar, la investigación concluye que la inteligencia artificial y el Internet de las Cosas tienen un potencial inmenso para transformar la agricultura moderna. La automatización de invernaderos no solo optimiza recursos y aumenta la productividad, sino que también promueve una agricultura más sostenible y resiliente. Con el avance continuo de estas tecnologías y su integración en las prácticas agrícolas, se vislumbra un futuro prometedor para la agricultura inteligente, beneficiando tanto a pequeños agricultores como a grandes explotaciones agrícolas.

Esta investigación sienta las bases para futuras innovaciones en el ámbito de la agricultura 4.0, proporcionando una guía práctica y un marco teórico sólido para la implementación de soluciones tecnológicas avanzadas en la agricultura. La colaboración entre científicos, ingenieros y agricultores



será esencial para seguir desarrollando y perfeccionando estas tecnologías, asegurando que la agricultura pueda enfrentar los desafíos del futuro de manera eficiente y sostenible.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Andrea, C., Eduardo, C., Borray, R., & Rey, R. (2022). Estado del Arte: APLICACIONES DE LA AGRICULTURA 4.0. 6

AGRO FACTO. (2022). Ingeniería para la Excelencia. <https://agrofacto.com/ventajas-y-desventajas-riego-automatizado/>

Calva, F. F. (2022). METODOLOGÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE IOT APLICADO A LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN.

<https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/19810/1/TTFIC-2022-IS-DE00035.pdf>

Carrillo, M. V. (2021). Introducción de Arduino. Vida Científica Boletín Científico de la Escuela Preparatoria No. 4, 9(17), Article 17.

Castro Santana, Carrillo Rodríguez, C., Iván. (2022). Agricultura de precisión aplicada en el departamento de Cundinamarca con el uso de tecnologías Deep Learning. <https://acofipapers.org/index.php/eiei/article/view/2642/1816>

Chiliquinga, M., & Mañay, E. (2021). Sistema de agricultura inteligente con entorno de realidad virtual mediante el uso de tecnología LORA orientado a minimizar el estrés abiótico. [masterThesis, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Maestría en Electrónica y Automatización Mención Redes Industriales]. <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/28921>

Cordero, H., & José, M. (s. f.). Análisis e implementación de un sistema meteorológico mediante el uso de IOT y Raspberry.

Da Silva Santos , F., & López Vargas , R. (2020). Efecto del Estrés en la Función Inmune en Pacientes con Enfermedades Autoinmunes: una Revisión de Estudios Latinoamericanos. Revista Científica De Salud Y Desarrollo Humano, 1(1), 46–59. <https://doi.org/10.61368/r.s.d.h.v1i1.9>

Elena, M., Cortés, T., Alcántara, A., Romero, A., Nohemi, A., Castillo, P., García, A., Ramírez, A., Alberto, C., Mastachi, C., Verónica, C., Balderrama, V., Durán, E., Salinas, E., Chavez, R., & ALCARAZ, J. (2023). Los objetivos del desarrollo sostenible VERSUS La pandemia de la COVID-19 (p. 66 al 83). <https://doi.org/10.59955/9786075967530>



- Fauziyah, M., Safitri, H. K., Dewatama, D., & Aulianta, E. (2021). Conditioning of Temperature and Soil Moisture in Chrysanthemum Cut Flowers Greenhouse Prototype based on Internet of Things (IoT). ELKHA, 13(1), 25. <https://doi.org/10.26418/elkha.v13i1.43078>
- Hortalan, G. (2022). LivePlant Biotech Group. <https://hortalan.com/ultimas-noticias/invernaderos-para-cultivos-optimizando-la-produccion-agricola/>
- Hortalizas. (2024). Hortalizas. <https://www.hortalizas.com/>
- igus. (2023). Automatización de invernaderos y cultivos. <https://www.igus.es/info/automatizacion-invernaderos-cultivos>
- JAIME CHAFLA AND DIEGO MONTA. (2016). Diseño E Implementación De Un Módulo Electrónico Para La Automatización De Un Invernadero Comunitario De Producción De Hortalizas Y Legumbres <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/12361/1/UPS%20-%20ST002206.pdf>
- Maraveas, C., & Bartzanas, T. (2022). Aplicación de internet de las cosas (IoT) para entornos de invernadero optimizados. Magna Scientia UCEVA, 2(2), Article 2. <https://doi.org/10.54502/msuceva.v2n2a11>
- Medina Carrasco, E. S., & Coral Ygnacio, M. A. (2022). Una revisión de procesos de implementación para sistemas de riego automatizado. Recibe, revista electrónica de computación, informática, biomédica y electrónica, 11(2), C1-1-C1-19. <https://doi.org/10.32870/recibe.v11i1.216>
- Mesa, A. F. (2023). Análisis de las Técnicas de Prevención y Detección de Enfermedades y Plagas en Cultivos.
- Martínez Ortiz, C. (2023). Critical and Creative Skills in Mexican Education: An Innovative Approach. Revista Veritas De Difusão Científica, 4(1), 30–51. <https://doi.org/10.61616/rvdc.v4i1.36>
- Martínez, O., Aranda , R., Barreto , E., Fanego , J., Fernández , A., López , J., Medina , J., Meza , M., Muñoz , D., & Urbieta , J. (2024). Los tipos de discriminación laboral en las ciudades de Capiatá y San Lorenzo. Arandu UTIC, 11(1), 77–95. Recuperado a partir de <https://www.uticvirtual.edu.py/revista.ojs/index.php/revistas/article/view/179>



- Narula, H., & Pathak, Dr. A. (2022). IoT Based Smart Agriculture and Animal Detection System. International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology, 10(5), 5032-5041. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2022.43548>
- Pesantez , F. F., Gadvay Yambay , E. R., León Cueva , W. P., & Cuenca Torres , M. E. (2024). Aplicación Del Modelo 2c En El Desarrollo Sustentable Para Estudiantes De Ingeniería En Una Universidad Pública Ecuatoriana. Estudios Y Perspectivas Revista Científica Y Académica , 4(2), 359–373. <https://doi.org/10.61384/r.c.a.v4i2.227>
- Román, R. (2022). Sistema de monitoreo y control de irrigación usando Internet de las Cosas (IoT) [bachelorThesis]. <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/12080>
- Saavedra, E., Mascaraque, L., Calderon, G., del Campo, G., & Santamaria, A. (2022). A Universal Testbed for IoT Wireless Technologies: Abstracting Latency, Error Rate and Stability from the IoT Protocol and Hardware Platform. Sensors, 22(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/s22114159>
- Sharma, A., Soni, G., & Aggarwal, N. (2024). Implementation of Smart Agriculture System using IoT on ThingSpeak cloud and MATLAB. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1285(1), 012022. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1285/1/012022>
- Tantalean Tapia, I. O. (2024). La Empresa como Instrumento del Delito: Una Aproximación Teórica y Doctrinal en Perú. Emergentes - Revista Científica, 4(1), 22–48. <https://doi.org/10.60112/erc.v3i2.81>
- Urquilla Castaneda, A. (2023). ¿Será la Agricultura 4.0 la solución al hambre global? Realidad y Reflexión, 57, 39-58. <https://doi.org/10.5377/ryr.v1i57.16696>
- Vera Polanco, L. A. (2023). prototipo de telecontrol para agricultura inteligente mediante iot y tecnología inalámbrica. <https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/5947/1/VERA%20POLANCO%20LUIS%20ALEXANDER.pdf>
- Zeballos , F. (2024). Accidente Cerebrovascular en Terapia Intensiva Adulto del Hospital San Juan de Dios de la ciudad de Tarija. Revista Científica De Salud Y Desarrollo Humano, 5(2), 165–178. <https://doi.org/10.61368/r.s.d.h.v5i2.127>

