



Ciencia Latina
Internacional

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), noviembre-diciembre 2024,
Volumen 8, Número 6.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i6

AGRICULTURA DE PRECISIÓN DE UN INVERNADERO A TRAVÉS DE VIRTUALIZACIÓN Y COMUNICACIÓN IOT

**PRECISION AGRICULTURE OF A GREENHOUSE
THROUGH VIRTUALIZATION AND IOT
COMMUNICATION.**

Hernan Vinicio Morales Villegas

Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE" Extensión Latacunga

Douglas Joel Orozco Morocho

Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE" Extensión Latacunga

Alexis Sebastian Morales Barreno

Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE" Extensión Latacunga

Flavio Paúl Pinto Muñoz

Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE" Extensión Latacunga

Ian Saúl Duque Fernandez

Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE" Extensión Latacunga

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i6.15304

Agricultura de precisión de un invernadero a través de virtualización y comunicación IoT

Hernan Vinicio Morales Villegas¹hvmorales@espe.edu.ec<https://orcid.org/0000-0001-8211-1238>Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” Ex-
tensión Latacunga
Ecuador**Douglas Joel Orozco Morocho**djorozco@espe.edu.ec<https://orcid.org/0009-0009-6064-5277>Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” Ex-
tensión Latacunga
Ecuador**Alexis Sebastian Morales Barreno**asmorales3@espe.edu.ec<https://orcid.org/0009-0007-2297-2811>Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” Ex-
tensión Latacunga
Ecuador**Flavio Paúl Pinto Muñoz**fppinto1@espe.edu.ec<https://orcid.org/0009-0002-3642-7359>Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” Ex-
tensión Latacunga
Ecuador**Ian Saúl Duque Fernandez**isduque@espe.edu.ec<https://orcid.org/0009-0002-6208-4062>Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” Ex-
tensión Latacunga
Ecuador

RESUMEN

Este proyecto se centra en la agricultura de precisión mediante el control de la humedad en un invernadero virtualizado, integrando la tecnología de Internet de las Cosas (IoT) para optimizar el crecimiento de los cultivos. A través de sensores, se realiza un monitoreo constante de la humedad, proporcionando datos en tiempo real en un servidor que servirá para la ejecución de un sistema de riego automatizado. Además, se ha incorporado un sistema de fumigación automatizado que recolecta los datos y los retransmite a un servidor que los almacena y los analiza para poder controlar de manera precisa y proteger los cultivos contra plagas y enfermedades, manteniendo así su salud y calidad. Con esto se logra reducir la necesidad de una intervención humana constante. La virtualización del invernadero permite simular distintas condiciones ambientales, lo que ayuda a determinar las mejores configuraciones de humedad para diversos tipos de cultivos eliminando errores y a la vez optimizando recursos.

Palabras clave: agricultura de precisión, control, automatización, virtualización, iot,

¹ Autor principal

Correspondencia: hvmorales@espe.edu.ec

Precision agriculture of a greenhouse through virtualization and IoT communication.

ABSTRACT

This project focuses on precision agriculture through humidity control in a virtualized greenhouse, integrating Internet of Things (IoT) technology to optimize crop growth. Through sensors, a constant monitoring of humidity is performed, providing real-time data on a server that will serve for the execution of an automated irrigation system. In addition, an automated spraying system has been incorporated that collects data and relays it to a server that stores and analyzes it in order to precisely control and protect crops against pests and diseases, thus maintaining their health and quality. This reduces the need for constant human intervention. The virtualization of the greenhouse allows simulating different environmental conditions, which helps to determine the best humidity settings for different types of crops, eliminating errors and optimizing resources.

Key words: precision agriculture, control, automation, virtualization, iot

Artículo recibido 12 octubre 2024
Aceptado para publicación: 15 noviembre 2024



1. INTRODUCCIÓN

La agricultura de precisión, o también conocida como agricultura inteligente define una estrategia para la gestión de datos y el análisis de toma de decisiones de gestión agrícola, con el objetivo de mejorar la productividad, la sostenibilidad y la rentabilidad de la producción agrícola al reducir el uso de recursos humanos y económicos [1]. El crecimiento económico se caracteriza por una transformación estructural, siendo la agricultura el motor principal de este proceso. La erradicación del hambre y la malnutrición es crucial tanto para la modernización agrícola como para el desarrollo económico [2]. Las técnicas de la agricultura de precisión han suscitado un gran interés entre los agricultores debido a la amplia disponibilidad de sensores inalámbricos basados en el Internet de las cosas (IoT), que son económicos y de bajo consumo [3]. Los sensores inalámbricos permiten un monitoreo continuo de los cultivos con una precisión mejorada y, lo que es aún más crucial, tienen la capacidad de detectar las primeras etapas de condiciones no deseadas. Esta es la razón por la cual la agricultura moderna involucra el uso de herramientas y kits inteligentes, desde la siembra hasta la cosecha de cultivos, e incluso durante el almacenamiento y el transporte. [4] Los avances en IoT están permitiendo un monitoreo más preciso de los ecosistemas agrícolas para garantizar una producción de alta calidad. Sin embargo, la implementación de la agricultura inteligente y sostenible enfrenta desafíos, como la dispersión de los procedimientos agrícolas y la gestión de datos masivos [5]. Por otro lado, en algunos mercados extranjeros, la agricultura de precisión se emplea como una técnica que maximiza el uso de los recursos naturales disponibles, lo que conduce tanto a la estabilidad de los agricultores como al cuidado del medio ambiente [6]. Para promover la sostenibilidad ambiental, es fundamental fomentar el consumo de una proporción significativa de los alimentos producidos con el fin de prevenir o reducir el desperdicio alimentario y sus consecuencias adversas. El desperdicio de alimentos no solo resulta en la pérdida de recursos, sino que también contribuye a la emisión de gases de efecto invernadero en los vertederos [7]. La relación entre la agricultura y factores como el crecimiento de la población, el cambio climático y la sostenibilidad ha impactado significativamente en el panorama agrícola. Ante la necesidad de alimentar a una población mundial en constante aumento, se requiere el desarrollo de tecnologías agrícolas innovadoras, como sistemas avanzados de gestión de cultivos, para aumentar la productividad y asegurar la seguridad alimentaria [8]. En países tanto desarrollados como en vías de desarrollo, garantizar la seguridad alimentaria implica la

capacidad de alimentar a una población en constante crecimiento. Para lograr este objetivo, es necesario implementar diversas estrategias, como la adopción de sistemas de riego automatizados [9]. Los sistemas de riego convencionales requieren mano de obra y son sensibles a las condiciones climáticas. La escasez de lluvia afecta la cosecha. Aunque las tecnologías de riego buscan mejorar la productividad, su uso excesivo de agua plantea riesgos para el futuro [10].

El Internet de las cosas (IoT), posibilita una implementación completa de la agricultura de precisión. Esto ayuda a reducir los recursos asociados, al mismo tiempo que generan un volumen significativo de datos que facilitan la monitorización de los cultivos y la detección temprana de enfermedades en los cultivos [11]. Las redes de IoT están transformando la monitorización y gestión de operaciones agrícolas al recopilar datos en tiempo real, la IoT en la agricultura implica la integración de sensores, comunicación y procesamiento de datos para una gestión agrícola holística [12]. En el siguiente nivel, las puertas de enlace de IoT gestionan los flujos de datos entre diferentes redes y protocolos, facilitando la comunicación entre dispositivos conectados y sensores. Los datos recopilados se envían a la nube en donde se procesa, almacena y gestiona grandes cantidades de datos [13]. Cuando se considera adoptar una nueva tecnología, es crucial analizar varios aspectos. Por ejemplo, al implementar un sistema de agricultura de precisión, se deben evaluar los costos asociados, como la instalación de sensores, infraestructura y cumplir con los requisitos de conectividad necesarios para su funcionamiento [14]. El paradigma del (IoT) se centra en extraer conocimiento a partir de datos generados por dispositivos y sensores. Sin embargo, un desafío importante es la conectividad limitada en las zonas rurales. Por ello, una viable opción es llevar los ordenadores con información más cerca de donde se encuentran los cultivos [15]. Los beneficios potenciales de la cuarta revolución agrícola para la productividad y el medio ambiente podrían verse reducidos si no se distribuyen equitativamente los beneficios sociales. Por ello es crucial entender el concepto de agricultura de precisión y sus componentes para garantizar un desarrollo justo entre los diferentes sistemas agrícolas. Ignorar estas cuestiones podría resultar en la creación de más problemas sociales de los que se resuelven [16].

2. METODOLOGÍA

El sistema de agricultura de precisión en el invernadero busca optimizar el uso de recursos como el agua y los pesticidas, contribuyendo así a la sostenibilidad ambiental y económica. La monitorización y control de la humedad del suelo y la fumigación automatizada son aspectos clave para garantizar un crecimiento óptimo de los cultivos y prevenir plagas y enfermedades.

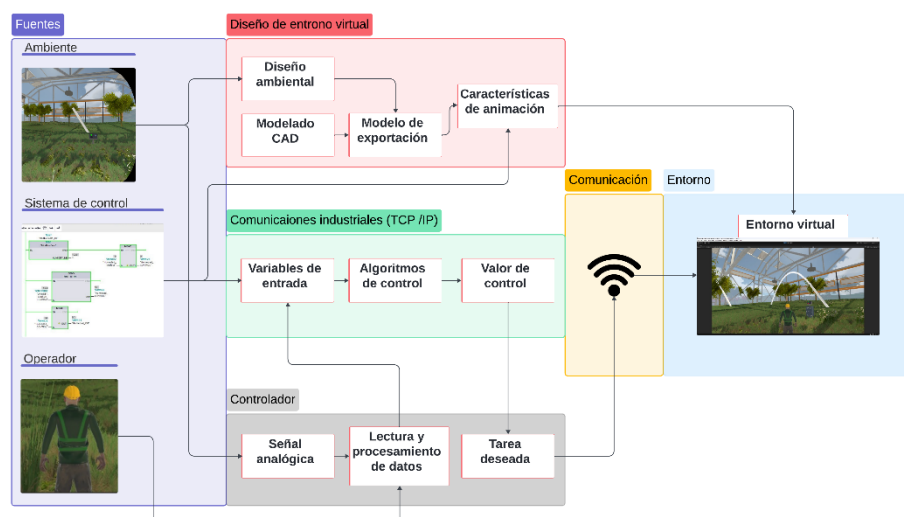
El PLC Siemens S7-1500 AC/DC/Rly se destaca por su robustez y capacidad para adaptarse a entornos industriales exigentes, lo que lo convierte en la elección ideal para este proyecto. Además, el uso del software TIA Portal de Siemens proporciona una plataforma de programación versátil y fácil de usar, lo que facilita el desarrollo y la implementación del sistema.

El proceso de conceptualización para el desarrollo del control en conjunto con el simulador de realidad virtual se presenta en la Figura 1. Este proceso se divide en cinco bloques que estructuran conjuntamente el sistema de control y el entorno virtual.

i) Fuentes. Estas son las fuentes físicas esenciales y consisten en: el entorno físico donde se realizarán las pruebas de control, el cual está digitalizado con animaciones que representan el trabajo a realizar; la programación utilizada para el procesamiento de datos; y el operador responsable de la supervisión y control a través del HMI del proceso. **ii) Comunicaciones industriales.** Para definir el comportamiento del sistema, se obtienen las variables del entorno y se procesan a través de la programación propuesta para emular el comportamiento en el entorno físico. **iii) Diseño del entorno virtual.** Una vez que se tienen las variables con las que trabajará el proceso y se definen las fuentes que se utilizarán para el sistema, se crea el entorno virtual. Se utiliza un entorno creado en el software Blender, que permite crear entornos virtuales interactivos con gran detalle y realismo. La simulación en Unity proporciona una representación visual precisa del funcionamiento del sistema en diferentes condiciones, facilitando la evaluación de su desempeño y la identificación de posibles mejoras antes de la implementación en el invernadero real. Unity también permite la integración de elementos de realidad virtual y aumentada, ofreciendo una experiencia inmersiva que puede ser útil para el entrenamiento del personal y la toma de decisiones. **iv) Controlador.** Para el desarrollo del controlador, se utiliza una programación en lenguaje Ladder ejecutada y realizada en el software TIA Portal, el cual define la forma en que se comportará el sistema, así como las variables que este tendrá. **v) El entorno.** Este bloque consta de un subproceso que

permite la comunicación del software donde se ejecuta el controlador con el entorno de realidad virtual a través del módulo IoT 2050. En cuanto al sistema IoT, la recopilación de datos en la nube no solo facilita el monitoreo remoto, sino que también abre la puerta a análisis avanzados de datos y la implementación de algoritmos de aprendizaje automático para mejorar aún más la eficiencia y la productividad agrícola.

Figura 1. Esquema del proceso



Se busca no solo mejorar la productividad y rentabilidad de la agricultura, sino también promover prácticas agrícolas más sostenibles y responsables.

Desarrollo

La implementación de un sistema de control para el suministro de agua y fertilizante en entornos agrícolas es fundamental para optimizar los recursos y garantizar un crecimiento saludable de los cultivos. En este contexto, la programación del PLC mediante el lenguaje Ladder se ha convertido en un componente esencial para lograr un control preciso y eficiente.

El proceso de control para la bomba de fertilizante se ha diseñado de manera automática, donde se establece un tiempo específico de funcionamiento repitiéndose en un periodo de tiempo establecido. Este enfoque asegura una aplicación adecuada del fertilizante sin intervención directa, mejorando la eficiencia del proceso y optimizando el uso de insumos.

El control de la bomba de agua presenta una lógica más compleja basada en la retroalimentación del sensor de humedad. El sistema responde dinámicamente a las condiciones del suelo, activando la bomba

solo cuando se detecta un nivel de humedad inferior al mínimo aceptado. En este escenario, el PLC interpreta la señal del sensor y ejecuta el encendido de la bomba por un periodo inicial. Si, tras este intervalo, el sensor aún indica niveles de humedad bajos, el sistema sigue activando la bomba en ciclos establecidos hasta alcanzar el valor deseado.

La adaptabilidad del sistema permite una gestión eficiente del riego, evitando el desperdicio de agua y garantizando que las plantas reciban la cantidad necesaria en función de sus necesidades. La respuesta dinámica del control de la bomba de agua a las condiciones cambiantes del suelo demuestra la capacidad del sistema para adaptarse y ajustarse en tiempo real.

La implementación exitosa de un sistema de control mediante la herramienta SIMATIC WinCC, integrada en el software TIA Portal, ha demostrado ser un componente esencial para la gestión eficiente y segura de procesos industriales. En este contexto, se estableció un control de usuarios que garantiza la seguridad y optimización del monitoreo y control del proceso.

La herramienta ha permitido la configuración de roles específicos para los usuarios involucrados en el sistema. El usuario ALEXIS ostenta un control completo sobre el proceso, incluyendo la capacidad de monitorizar y controlar parámetros según sea necesario. Por otro lado, el usuario DOUGLAS se ha designado como supervisor, poseyendo permisos limitados que restringen su capacidad para interactuar con el proceso, enfocándose únicamente en la observación.

Una característica destacada de la herramienta es su capacidad para proporcionar información detallada sobre el estado operativo del sistema. Los usuarios pueden acceder a datos cruciales como tiempos de funcionamiento y el estado de las bombas (encendido o apagado) de manera instantánea. Esta funcionalidad agrega un nivel de transparencia que facilita la toma de decisiones informadas y la identificación rápida de posibles problemas en el proceso.

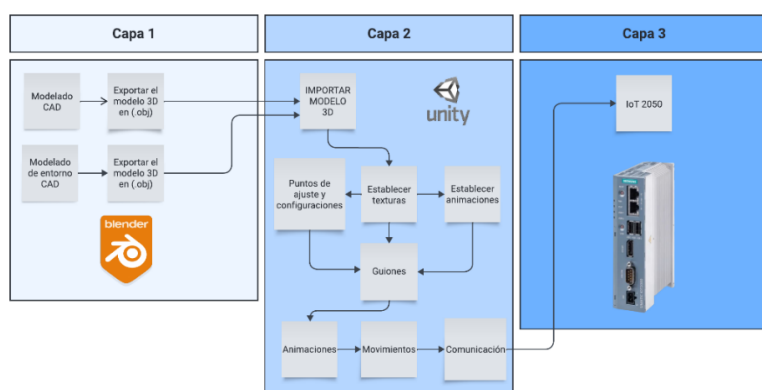
El cumplimiento exitoso de la programación detallada para cada bomba, junto con la eficiente entrega de datos en la Interfaz Hombre-Máquina (HMI), marcó el siguiente paso crucial en nuestro proyecto. Para proporcionar una perspectiva más completa y visual del sistema, se optó por la virtualización utilizando el software Blender, una herramienta que nos permite crear una representación virtual precisa de nuestro proceso.

La implementación virtual del sistema en UNITY llevó la comprensión y evaluación del proyecto a un nivel superior. Este software nos brinda la capacidad de crear un entorno virtual que replica el comportamiento del sistema en el mundo real.

Diseño de entorno virtual

El diagrama multicapa representado en la Figura 2 detalla los pasos necesarios para la creación del simulador, los cuales se dividen en tres etapas distintas: **Capa 1:** En esta fase inicial, se procede al desarrollo de los modelos 3D. Utilizando el software Blender, adecuado para el modelado CAD de prototipos, se elabora el modelo del sistema de riego. Posteriormente, estos modelos se exportan en un formato compatible con Unity (.obj). **Capa 2:** La segunda etapa se enfoca en la programación del simulador en realidad virtual, llevada a cabo en el software Unity. Aquí, se importan los modelos previamente desarrollados del sistema de riego y del entorno. Se definen las características de animación de cada modelo y se programan los scripts de animación, incluyendo aquellos destinados a la animación del sistema de riego. Además, se crea un script de comunicación en Unity para establecer una conexión con el TIA Portal y el IoT 2050. **Capa 3:** En la última etapa, se establece la conexión entre el controlador HMI desarrollado en WinCC TIA Portal y el módulo IoT 2050. Esto permite enviar una señal analógica del sistema y visualizar el proceso emulado en Unity.

Figura 2. Esquema del proceso

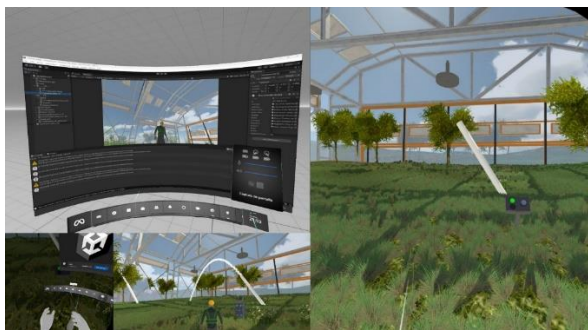


3. Resultados y discusión

Para verificar la eficacia del sistema de control, se exhibe el resultado obtenido de la simulación de este. En la Figura 3 se visualizan las animaciones generadas en el entorno virtual. Dado que este sistema

inicialmente permite emular el comportamiento del sistema de riego, se procede a ajustar los valores de las señales que activarán las animaciones correspondientes.

Figura 3. Medio ambiente en el simulador de realidad virtual



En el contexto del entorno virtual presentado en la Figura 4, se incluye un Human-Machine Interface (HMI) diseñado para establecer una interfaz gráfica intuitiva y accesible entre el operador humano y el sistema de control industrial. Este HMI facilita la supervisión, control y diagnóstico eficientes del proceso en cuestión. La integración del HMI permite a los usuarios acceder a información en tiempo real sobre el estado del proceso, recibir alertas sobre eventos críticos y llevar a cabo acciones de mantenimiento predictivo o correctivo, como el restablecimiento del contador implementado en el proceso.

Figura 4. Interfaz gráfica implementada con WinCC de TIA Portal



4. Conclusiones

La integración de la tecnología de Internet de las Cosas (IoT) y la virtualización en la agricultura de precisión ha demostrado ser una estrategia efectiva para optimizar el crecimiento de los cultivos en invernaderos. Al permitir un monitoreo constante de la humedad y la implementación de sistemas de riego y fumigación automatizados, se mejora la productividad, la sostenibilidad y la rentabilidad de la producción agrícola. La programación del controlador PLC Siemens S7-1500 AC/DC/Rly a través del

software TIA Portal proporciona una plataforma robusta y versátil para la gestión eficiente y segura de los procesos industriales. La adaptabilidad del sistema permite una gestión precisa del suministro de agua y fertilizantes, optimizando el uso de recursos y garantizando un crecimiento saludable de los cultivos. La virtualización del entorno mediante el software Unity ofrece una representación visual precisa del sistema, permitiendo la evaluación de su desempeño y la identificación de posibles mejoras antes de la implementación en el invernadero real. La interfaz gráfica implementada con WinCC de TIA Portal facilita la supervisión, el control y el diagnóstico eficientes del proceso, proporcionando información en tiempo real sobre su estado y permitiendo acciones de mantenimiento predictivo o correctivo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] A. Rabak *et al.*, “Sensor system for precision agriculture smart watering can,” *Results in Engineering*, vol. 19, Sep. 2023, doi: 10.1016/j.rineng.2023.101297.
- [2] M. Javaid, A. Haleem, R. P. Singh, and R. Suman, “Enhancing smart farming through the applications of Agriculture 4.0 technologies,” *International Journal of Intelligent Networks*, vol. 3, pp. 150–164, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.ijin.2022.09.004.
- [3] S. Qazi, B. A. Khawaja, and Q. U. Farooq, “IoT-Equipped and AI-Enabled Next Generation Smart Agriculture: A Critical Review, Current Challenges and Future Trends,” *IEEE Access*, vol. 10. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., pp. 21219–21235, 2022. doi: 10.1109/ACCESS.2022.3152544.
- [4] M. Ayaz, M. Ammad-Uddin, Z. Sharif, A. Mansour, and E. H. M. Aggoune, “Internet-of-Things (IoT)-based smart agriculture: Toward making the fields talk,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 129551–129583, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2932609.
- [5] A. A. Alzubi and K. Galyna, “Artificial Intelligence and Internet of Things for Sustainable Farming and Smart Agriculture,” *IEEE Access*, vol. 11, pp. 78686–78692, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3298215.
- [6] V. Kumar Singh Mahatma Gandhi Chitrakoot Gramoday Vishwavi, V. Kumar Patel, and M. Gandhi, *Precision Agriculture: Concepts and Techniques; Their Issues and Concerns Reference for Indian Agriculture*. 2023. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/376080710>



- [7] S. Piramuthu, "IoT, Environmental Sustainability, Agricultural Supply Chains," in *Procedia Computer Science*, Elsevier B.V., 2022, pp. 811–816. doi: 10.1016/j.procs.2022.08.098.
- [8] A. Morchid, R. El Alami, A. A. Raezah, and Y. Sabbar, "Applications of internet of things (IoT) and sensors technology to increase food security and agricultural Sustainability: Benefits and challenges," *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 15, no. 3, Mar. 2024, doi: 10.1016/j.asej.2023.102509.
- [9] G. S. Prasanna Lakshmi, P. N. Asha, G. Sandhya, S. Viviek Sharma, S. Shilpashree, and S. G. Subramanya, "An intelligent IOT sensor coupled precision irrigation model for agriculture," 2023.
- [10] V. R. Pathmudi, N. Khatri, S. Kumar, A. S. H. Abdul-Qawy, and A. K. Vyas, "A systematic review of IoT technologies and their constituents for smart and sustainable agriculture applications," *Sci Afr*, vol. 19, Mar. 2023, doi: 10.1016/j.sciaf. 2023.e01577.
- [11] S. Condran, M. Bewong, M. Z. Islam, L. Maphosa, and L. Zheng, "Machine Learning in Precision Agriculture: A Survey on Trends, Applications and Evaluations over Two Decades," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 73786–73803, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3188649.
- [12] A. H. A. Hussein, K. A. Jabbar, A. Mohammed, and L. Jasim, "Harvesting the Future: AI and IoT in Agriculture," *E3S Web of Conferences*, vol. 477, p. 00090, Jan. 2024, doi: 10.1051/e3sconf/202447700090.
- [13] Y. V. Leonova, E. A. Skvortsov, A. S. Gusev, and E. G. Skvortsova, "The main areas of application of IoT technologies in agriculture," in *E3S Web of Conferences*, EDP Sciences, Nov. 2023. doi: 10.1051/e3sconf/202344909006.
- [14] P. Kewat and C. Rai, "IoT Based Smart Agriculture Monitoring System," 2023.
- [15] M. San Emeterio de la Parte, J. F. Martínez-Ortega, P. Castillejo, and N. Lucas-Martínez, "Spatio-temporal semantic data management systems for IoT in agriculture 5.0: Challenges and future directions," *Internet of Things (Netherlands)*, vol. 25. Elsevier B.V., Apr. 01, 2024. doi: 10.1016/j.iot.2023.101030.

[16] D. C. Rose, R. Wheeler, M. Winter, M. Lobley, and C. A. Chivers, “Agriculture 4.0: Making it work for people, production, and the planet,” *Land use policy*, vol. 100, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.landusepol.2020.104933.

