

REVISTA INGENIO



Diseño e Implementación de un Robot Autónomo para Jardinería Urbana

Desing and implementation of an Autonomous Robot for Urban Gardening

Saida Miriam Charre Ibarra |  Universidad de Colima, Facultad de Ingeniería Electromecánica (México)

Rogelio Espinosa Vázquez |  Universidad de Colima, Facultad de Ingeniería Electromecánica (México)

Janeth Aurelia Alcalá Rodríguez |  Universidad de Colima, Facultad de Ingeniería Electromecánica (México)

Jorge Gudiño Lau |  Universidad de Colima, Facultad de Ingeniería Electromecánica (México)

Miguel Ángel Durán Fonseca |  Universidad de Colima, Facultad de Ingeniería Electromecánica (México)

Recibido: 2/6/2025

Recibido tras revisión: 11/9/2025

Aceptado: 8/10/2025

Publicado: 28/1/2026

PALABRAS CLAVE

Robot, automatización, agricultura, tecnología.

RESUMEN

El trabajo presenta el diseño e implementación de un robot autónomo orientado al cuidado y mantenimiento de jardines urbanos, automatizando tareas esenciales como la siembra, el riego y el monitoreo del estado de las plantas. Este sistema combina componentes mecánicos, electrónicos y de control que permiten un funcionamiento eficiente, preciso y adaptado a las necesidades del espacio hortícola. Debido a la integración de sensores, el robot puede recopilar datos en tiempo real para ajustar sus acciones, optimizando así el crecimiento y desarrollo de los cultivos. Su estructura mecánica está basada en un diseño cartesiano que facilita el desplazamiento en el área de trabajo. Además, cuenta con una interfaz visual que permite la supervisión y control remoto en tiempo real, facilitando la monitorización del cultivo y el mantenimiento del sistema. Los resultados experimentales mostraron que el robot puede realizar varias tareas automatizadas, demostrando la funcionalidad del prototipo. El sistema propuesto contribuye a promover espacios verdes en zonas urbanas y apoya la agricultura sustentable mediante tecnologías abiertas y automatización.

KEY WORDS

Robot, automation, agriculture, technology.

ABSTRACT

This study presents the design and implementation of an autonomous robot for the care and maintenance of urban gardens, focusing on the automation of essential tasks such as sowing, irrigation, and plant monitoring. The system integrates mechanical, electronic, and control components to achieve efficient and precise operation adapted to horticultural environments. Equipped with sensors, the robot collects real-time data to dynamically adjust its actions, thereby optimizing plant growth and overall system performance. Its Cartesian-based mechanical structure allows accurate movement throughout the work area, while a graphical user interface enables real-time monitoring and remote control of both the crops and the robotic system. Experimental results confirm the robot's ability to perform multiple automated tasks effectively, validating the functionality and reliability of the prototype. The proposed approach contributes to the development of sustainable urban agriculture and the promotion of green spaces through the application of open-source technologies and automation.

1. INTRODUCCIÓN

La robótica representa una de las tecnologías con mayor capacidad para revolucionar tanto el ámbito laboral como la vida cotidiana. Tal como expone Mercader [1], se trata de un indicador claro de avance y sofisticación tecnológica. Aquellos países y organizaciones que han incorporado de forma significativa sistemas robóticos no solo mejoran su productividad y competitividad, sino que

también refuerzan su imagen como sociedades modernas e innovadoras. En los contextos más desarrollados, la inversión en robótica ha experimentado un crecimiento considerable, muy superior al de otros sectores tecnológicos. A pesar de ello, el conocimiento general sobre esta disciplina sigue siendo escaso entre la población.

Mercader [1] también plantea que uno de los objetivos fundamentales de la robótica es apoyar o reemplazar

a los seres humanos en actividades repetitivas, riesgosas o poco gratificantes. En determinadas industrias, estas soluciones ya se implementan a gran escala, mostrando su eficacia y potencial.

Además, esta tecnología ofrece beneficios sociales importantes, ya que permite enfrentar diversos retos en ámbitos muy variados, aportando soluciones útiles para todas las edades y sectores. Contribuye así a mejorar la calidad de vida al disminuir la carga de trabajo y reducir los riesgos asociados a determinadas tareas [2]. Su evolución constante impulsa una mejora continua en sus capacidades y amplía las posibilidades de aplicación en numerosos campos.

Los sectores y aplicaciones de la robótica incluyen una variedad de áreas en las que los robots cumplen funciones específicas para mejorar procesos y servicios. Los sectores destacados son:

- Industria del automóvil
- PYMES (Pequeñas y Medianas Empresas)
- Industria manufacturera pequeña
- Sector alimentario
- Sectores productivos de compleja robotización
- Agricultura
- Construcción
- Servicios al ciudadano
- Uso doméstico
- Educación y entretenimiento
- Sanidad (salud)
- Investigación
- Medio ambiente

Estas aplicaciones muestran cómo la robótica está presente en diversas áreas, contribuyendo tanto a la productividad como a la calidad de vida [3].

En consecuencia, la robótica se perfila como un área en expansión que demanda una formación sólida y actualizada por parte de los profesionales de la ingeniería, ya sea en ramas especializadas como automatización, mecánica o informática. Esta formación debe ir más allá de las definiciones tradicionales y brindar una comprensión funcional y contextualizada del papel de los robots en la sociedad actual.

La agricultura, considerada la actividad económica más antigua de la humanidad, continúa siendo esencial para nuestra subsistencia, ya que provee alimentos, forrajes, fibras y fuentes de energía. Según el Grupo Banco Mundial, ante el crecimiento demográfico estimado para 2050 —cuando la población mundial podría superar los 10 mil millones de personas— será necesario duplicar la producción agrícola para cubrir la creciente demanda de alimentos y bioenergía [4].

En este escenario, la robótica y la automatización surgen como herramientas clave para afrontar los retos del sector agrícola. Durante más de sesenta años, los robots han contribuido significativamente al incremento de la

eficiencia y la disminución de costos en la industria. En los últimos treinta años, esta transformación tecnológica ha comenzado a reflejarse también en el ámbito agrícola, con la introducción de tecnologías como tractores y cosechadoras autónomas equipados con sistemas GPS y visión artificial, los cuales ya se encuentran disponibles en el mercado.

En años recientes, los productores agrícolas han empezado a incorporar soluciones robóticas para optimizar tareas específicas como la poda, el raleo y la cosecha, así como el corte de pasto, la aplicación de pesticidas y el control de malezas. Un caso destacado es el de la industria frutícola, donde se ha demostrado que los operarios que utilizan plataformas robóticas pueden duplicar la eficiencia en comparación con aquellos que realizan sus labores utilizando escaleras, figura 1 [5].

Fig. 1.

Robótica y Automatización Agrícola.



Nota. La figura muestra la robótica y automatización aplicada a la agricultura [5].

La incorporación de la robótica en el sector agrícola y de jardinería ha cobrado cada vez mayor relevancia, dado el incremento en la demanda de soluciones automatizadas que permitan optimizar recursos y mejorar la eficiencia en el cuidado y mantenimiento de espacios verdes y cultivos. La historia de la robótica ha evolucionado para abordar diversas necesidades, desde tareas industriales hasta aplicaciones específicas en agricultura, donde la implementación de robots ha demostrado ser fundamental para reducir la intervención humana y aumentar la precisión en tareas como la siembra, riego y poda [6].

El trabajo realizado por Lin Haibo, Dong Shuliang, Liu Zunmin y Yi Chuijie en 2015 [7], muestra que el robot puede ser una herramienta eficiente y confiable para mejorar la agricultura de precisión en la siembra de trigo, superando en rendimiento a los métodos tradicionales. Este estudio presenta un robot móvil de cuatro

ruedas diseñado específicamente para la siembra de trigo de precisión, con el objetivo de aumentar el rendimiento del cultivo figura 2.

Fig. 2.
Robot sembrador de trigo.



Nota. El robot móvil de cuatro ruedas para la siembra de trigo [7].

Digital Farmhand desarrolló una plataforma agrícola pequeña y móvil creada por el Centro Australiano de Robótica de Campo en la Universidad de Sydney. Esta herramienta está equipada con un teléfono inteligente, sensores y equipos de control que permiten realizar tareas como la siembra de precisión, la pulverización y la eliminación de malezas de manera eficiente. El objetivo principal es apoyar a los pequeños agricultores, especialmente en comunidades rurales de Australia, Indonesia y en el Pacífico, ayudándolos a incrementar su productividad, reducir costos y mejorar la seguridad alimentaria mediante el uso de tecnologías digitales y análisis de datos. La plataforma busca ser asequible, fácil de usar y adaptable a las necesidades de diversos contextos agrícolas, promoviendo la adopción de la agricultura digital entre pequeños productores, figura 3 [8].

Fig. 3.
Di-Wheel.



Nota. Experimento en una pequeña granja en Indonesia, usando un selfie stick para sujetar un teléfono inteligente con el que se toman fotos claras [8].

En 2016, Hassan, Ullah e Iqbal dieron a conocer el diseño de un robot autónomo creado específicamente para operar bajo las condiciones propias de un entorno agrícola. Este vehículo modular, fabricado localmente y con un enfoque de bajo costo, incorpora como elemento distintivo un innovador sistema de selección de semillas. A pesar de su simplicidad, este mecanismo se caracteriza por su alta eficiencia y un margen de error mínimo, lo que lo diferencia de otros modelos existentes. Las pruebas realizadas, que incluyeron el seguimiento de trayectorias mediante un minirrobot y la validación del rendimiento del selector de semillas, evidencian el gran potencial del sistema robótico desarrollado, figura 4 [9].

Fig. 4.
Sowing robot 1.



Nota. Imagen del prototipo robótico con selector de semillas [9].

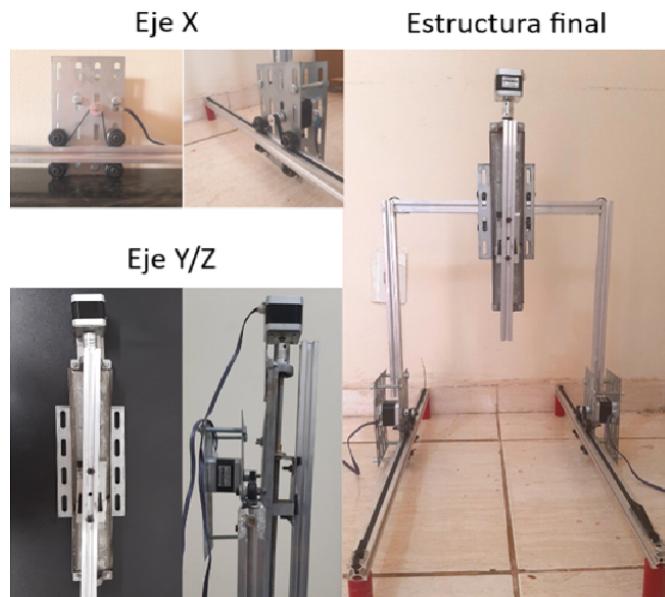
En este contexto, el robot cartesiano ha destacado debido a su simplicidad y utilidad en tareas lineales y repetitivas, siendo la base para múltiples aplicaciones en jardinería y agricultura automatizada. La tendencia actual se centra en el desarrollo de sistemas mecatrónicos que integren componentes mecánicos, electrónicos y de control para tareas de cuidado de cultivos, promoviendo prácticas sostenibles y el uso eficiente de los recursos disponibles.

Investigaciones recientes se han centrado en el desarrollo de robots cartesianos para aplicaciones agrícolas. Estos robots están diseñados para realizar diversas tareas, como la siembra de semillas, el riego y la monitorización ambiental. Los robots cartesianos pueden moverse a lo largo de tres ejes (X, Y, Z) para posicionar con precisión herramientas y sensores [10]. Están equipados con sensores para medir parámetros como la humedad, la temperatura y la humedad del suelo, así como cámaras para la inspección visual y la posible integración futura con sistemas de visión artificial [11]. Estos robots tienen como objetivo mejorar la eficiencia en los procesos agrícolas, especialmente en entornos controlados como los invernaderos. Los investigadores han explorado diferentes configuraciones, incluyendo plataformas móviles con manipuladores paralelos para la siembra de semillas [12].

y sistemas estacionarios para huertos frutales y viveros industriales [13]. El desarrollo de estos sistemas robóticos representa un avance hacia la integración de las tecnologías de la Industria 4.0 en la agricultura.

Fig. 5.

Robot cartesiano aplicado a la agricultura.



Nota. Estructura física final [10].

El presente trabajo aborda la propuesta y diseño de un sistema autónomo mediante un robot jardinero basado en tecnología open source, capaz de realizar funciones básicas en el mantenimiento de un huerto, como riego, poda y monitorización. El desarrollo e implementación de este robot reduce la necesidad de intervención manual, contribuyendo así a una gestión más eficiente y sostenible de los espacios verdes urbanos. La incorporación de sensores de humedad, temperatura, proximidad, cámaras y sistemas de riego permite que el robot responda a las condiciones del entorno para optimizar su funcionamiento, favoreciendo prácticas sostenibles mediante la automatización y el uso racional de los recursos.

La relevancia de este estudio radica en su contribución a la innovación en el campo de la robótica agrícola, fomentando soluciones sostenibles y adaptables a diferentes tipos de jardines y cultivos. Además, mediante la utilización de tecnologías accesibles y de bajo costo, se busca facilitar la adopción y replicabilidad de este tipo de sistemas en contextos domésticos y comunitarios.

2. MÉTODO

El desarrollo del sistema autónomo de un robot jardinero ha involucrado una serie de fases metodológicas que comprenden desde la conceptualización y diseño de la estructura mecánica hasta la implementación de los

sistemas electrónicos y de control, con el fin de garantizar un funcionamiento eficiente y preciso en tareas de jardinería. El proceso se dividió en varias etapas, comenzando por la definición de requerimientos y especificaciones, seguido por su modelado, construcción, integración y pruebas experimentales.

2.1. DISEÑO CONCEPTUAL Y MECÁNICO

La primera fase del método consistió en definir las necesidades y funcionalidades que el robot debía cumplir. Esto incluyó el análisis del entorno, los tipos de tareas a automatizar (siembra, riego, poda, monitoreo), las condiciones del espacio de trabajo, y la selección de materiales adecuados para garantizar durabilidad y funcionalidad. Se atendieron requisitos específicos como la precisión en desplazamiento, la capacidad de carga, la integración de sensores y actuadores, y la facilidad de control y monitoreo remoto.

Para esto, se realizó una revisión bibliográfica sobre robots agrícolas y sistemas mecatrónicos, identificando las mejores prácticas y tecnologías disponibles.

El robot jardinero autónomo posee varias características, funciones y tareas diseñadas para facilitar el cuidado y mantenimiento de los espacios verdes urbanos. Entre sus principales características se encuentran su estructura mecánica basada en un diseño de robot cartesiano, que le permite moverse con precisión en el espacio de trabajo, y su integración de componentes electrónicos y de control que aseguran una operación eficiente y automatizada.

Las funciones principales del robot incluyen:

- Siembra de plantas: utilizando accesorios, puede excavar y colocar semillas, garantizando una distribución uniforme en el jardín.
- Riego automatizado: mediante sensores de humedad, controla el sistema de riego para mantener las condiciones óptimas de las plantas.
- Podado y mantenimiento: puede recortar plantas y realizar tareas de limpieza para fomentar un crecimiento saludable.
- Monitoreo del estado de las plantas: emplea cámaras y sensores para supervisar el crecimiento.
- Adaptación a diferentes cultivos: gracias a su diseño modular, puede ser configurado para trabajar con distintos tipos de plantas y tareas específicas en función de las necesidades del usuario.

Las tareas que realizará contemplan:

- La preparación del terreno para nuevas siembras.
- La dispersión de semillas en espacios específicos.
- La irrigación en puntos estratégicos y en función de las mediciones de los sensores.
- La poda de plantas para promover un crecimiento saludable.

Estas capacidades permiten que el robot mejore la eficiencia del mantenimiento de jardines urbanos, promoviendo la sustentabilidad y reduciendo la intervención humana en tareas rutinarias.

Los robots con configuración cartesiana, debido a que utilizan tres ejes prismáticos, pueden adoptar distintas disposiciones según los requerimientos específicos de la tarea a realizar. En la fig. 6 (Ver anexo) se ilustran varias variantes de robots cartesianos utilizadas en entornos industriales, basadas en la guía técnica proporcionada por Schneider Electric [14].

Posicionador lineal

En esta disposición, el actuador lineal se ubica por encima o por debajo del área de operación, generalmente alineado a los ejes X o Z. Está pensado para el movimiento ágil de cargas en distancias reducidas.

Robot lineal

Este tipo de robot se sitúa a un costado de la zona de trabajo y ha sido optimizado para desplazar objetos a alta velocidad a lo largo de trayectos breves. Es común en procesos de ensamblaje o manipulación rápida.

Robot tipo portal

Este sistema se instala por encima del área operativa, lo que permite un mejor aprovechamiento del espacio en planta. Se emplea para el transporte de elementos sobre distancias amplias y con buena capacidad de carga.

Pórtico portal de pared

Diseñado especialmente para funcionar sobre superficies verticales, este tipo de robot pórtico permite automatizar tareas en planos perpendiculares al suelo, como en paredes o paneles verticales.

En el presente trabajo se usa la configuración tipo portal, ya que es ideal para un robot de jardinería porque permite cubrir de manera precisa y eficiente amplias áreas de cultivo sin interferir con las plantas, al estar suspendido sobre el área de trabajo. Esta disposición facilita el movimiento en los ejes X, Y y Z, lo que es fundamental para realizar tareas repetitivas como el riego, la poda o la recolección con alta precisión. Además, evita la compactación del suelo al no requerir desplazamiento a nivel del terreno y permite incorporar fácilmente distintos módulos o herramientas según las necesidades.

2.2. DISEÑO E INTEGRACIÓN DEL SISTEMA

El modelo del jardín autónomo corresponde al diseño final del prototipo, el cual fue desarrollado mediante el uso del software CAD SolidWorks. Gracias a esta herramienta, fue posible diseñar cada una de las piezas y llevar a cabo el ensamblaje completo del sistema. Las dimensiones del prototipo son las siguientes: 1.68 metros de ancho, 1.53 metros de altura y 1.5 metros de longitud, (Anexo, fig. 7).

La estructura del prototipo está conformada por cuatro soportes de aluminio de 1 pulgada de diámetro y 1.15 metros de longitud, ubicados en los extremos laterales. Los carriles responsables del desplazamiento en el eje Y están construidos con perfiles de 1 pulgada y tienen una longitud de 2.02 metros. En su interior se integran dos varillas de 3/8 de pulgada, que proporcionan soporte y estabilidad al movimiento en dicho eje. Por encima de estos carriles se encuentra el sistema encargado del desplazamiento en el eje X, el cual está fabricado con perfiles de ½ pulgada y tiene una longitud de 1.25 metros. Este carril incorpora un tornillo rosado tipo acmé de 3/8 de pulgada para garantizar la precisión del movimiento.

Para permitir la ejecución de las distintas tareas asignadas al robot, se diseñaron diversos efectores finales, los cuales pueden intercambiarse mediante un sistema de acoplamiento basado en electroimanes.

2.2.1. Efecto fijo.

Como se observa en la figura 8 del anexo, este efecto fue diseñado para alojar tres electroimanes, e incluye las respectivas entradas y salidas para el cableado. Además, presenta una perforación circular en la que se encuentra montado el efecto destinado al riego.

2.2.2. Efecto intercambiable para siembra.

Para permitir el intercambio de efectores mediante el uso de electroimanes, se emplean rondanas del mismo radio que estos, las cuales, debido a las propiedades de su material, pueden ser atraídas magnéticamente. Estas rondanas se insertan en las ranuras circulares ubicadas en la parte superior del efecto. El diseño incluye una perforación circular que permite el paso libre de la boquilla de riego, en la parte inferior, se incorpora un compartimento de forma rectangular destinado a alojar una bomba de aire, la cual genera la succión necesaria para el manejo de las semillas, o en su caso para insertar el motor que al activarse realizará el corte mediante un güiro para podar, (ver anexo, fig. 9).

Las fig. 10 y 11 muestran el desarrollo del prototipo diseñado.

En las fig. 12 y 13 del anexo, se presenta el diagrama de los componentes eléctricos y electrónicos del sistema, junto con sus respectivas conexiones. Se eligió un microcontrolador Arduino Mega debido a su capacidad de manejo de múltiples entradas y salidas. El sistema cuenta con tres fuentes de corriente directa: una de 5V y dos de 12V, ya que algunos de los efectores finales requieren un voltaje superior para su funcionamiento.

Para el monitoreo del nivel de humedad en las plantas, se instalaron 16 sensores de humedad tipo YL-69, lo que permite al prototipo operar de forma autónoma, sin intervención humana. Los sensores de humedad YL-69 fueron calibrados experimentalmente, estableciendo un umbral de 40% de humedad en suelo como punto de riego. El mecanismo de intercambio de efectores utiliza

dos electroimanes de alta potencia, capaces de sostener firmemente los módulos intercambiables.

2.3. PROGRAMACIÓN Y CONTROL

Para el control y operación del robot jardinero autónomo, se desarrollaron dos componentes esenciales utilizando los lenguajes de programación Python y Arduino. Por un lado, se implementó una interfaz gráfica en Python que permite al usuario interactuar con el sistema de manera intuitiva, ofreciendo un menú principal donde se describen las funciones disponibles, como regar, sembrar o cortar. Además, incluye una representación visual del jardín (ver anexo, Fig. 14) en el lado derecho de la pantalla, lo que facilita la comprensión del estado y funcionamiento del sistema en tiempo real.

Por otro lado, en la plataforma de Arduino se programó el control lógico del hardware del jardín. Este código define las funciones que el sistema debe ejecutar y responde a los comandos enviados a través del puerto serial. También se estableció un punto de referencia o posición “home”, que actúa como origen y destino de todas las operaciones del robot. El programa está estructurado en múltiples funciones específicas, cada una dedicada a realizar una tarea concreta como riego, siembra o corte.

La programación del código de Arduino, junto con la interfaz gráfica en Python, se desarrolló siguiendo la lógica representada en el diagrama de flujo mostrado en la fig. 15, el cual describe la secuencia de operaciones necesarias para llevar a cabo las actividades del jardín de forma autónoma y coordinada. Presenta el diagrama lógico que guía el funcionamiento del sistema automatizado del robot jardinero. Este diagrama describe la secuencia de decisiones y acciones que el sistema sigue desde su inicio hasta la finalización de cada tarea.

El proceso comienza en el estado de inicio, donde el robot verifica las condiciones del entorno a través de sus sensores. A continuación, el sistema evalúa qué tarea debe ejecutarse en función de los datos recibidos, como el nivel de humedad del suelo o la programación del usuario.

Una vez determinada la tarea (regar, plantar o podar), el robot selecciona el efecto correspondiente mediante el sistema de electroimanes, y se dirige a la posición específica dentro del área de trabajo. Allí, ejecuta la acción indicada y posteriormente retorna al estado de inicio para verificar si hay más tareas pendientes.

Este enfoque basado en decisiones secuenciales garantiza una operación ordenada, autónoma y eficiente, minimizando la intervención humana y optimizando el uso de los recursos del jardín.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. RESULTADOS

Para validar el correcto funcionamiento del sistema, se llevaron a cabo diversas pruebas en condiciones reales del

entorno de trabajo, simulando tareas como la siembra en hoyos, riego y monitorización de plantas.

Se realizaron mediciones de la precisión en desplazamiento, eficiencia en tareas específicas, tiempo de respuesta a las variaciones en los sensores y estabilidad del sistema en diferentes condiciones climáticas. La tabla 1 resume los valores esperados y obtenidos durante las pruebas:

TABLA I

Comparativa de desempeño del Sistema

	Esperado	Obtenido
Precisión	±5 mm	±3 mm
Tiempo de respuesta	<3 s	2.3 s

El uso del sensor YL-69 para la medición de la humedad del suelo permitió un control más preciso del riego, ajustándolo a las necesidades reales de las plantas. Esta regulación contribuyó a prevenir el riego excesivo, favoreciendo el ahorro de agua y optimizando el desarrollo del cultivo de cilantro.

El prototipo se evaluó en un huerto experimental con plantas de cilantro, seleccionadas por su ciclo corto y facilidad de observación. La figura 16 muestra el crecimiento de cultivos en el huerto controlado, evidenciando la efectividad del sistema en la gestión del cultivo bajo las acciones automatizadas.

El robot cartesiano implementado mostró una capacidad para navegar de manera precisa y autónoma dentro del huerto, cumpliendo con los objetivos planteados en la fase de diseño.

Durante las pruebas de campo, el robot llevó a cabo tareas específicas de cuidado de las plantas, tales como la siembra, riego y monitoreo. Los datos recopilados a través de los sensores de humedad, temperatura y proximidad confirmaron la correcta recepción y procesamiento de la información, permitiendo que el robot ajustara sus acciones en tiempo real para optimizar el crecimiento de los cultivos.

Como resultado, se observó que los cultivos alcanzaron un desarrollo adecuado, evidenciado mediante imágenes. La interfaz visual y la lectura de sensores facilitaron la monitorización y control del sistema en tiempo real, evidenciando la funcionalidad y usabilidad del prototipo.

El video de demostración disponible en [https://youtu.be/87_9QgjO1e4] complementa la evaluación visual del rendimiento del robot, permitiendo una comprensión clara del funcionamiento general del sistema.

3.2. DISCUSIÓN

El desarrollo del robot jardinero autónomo basado en tecnología open source demuestra una aplicación de la automatización de tareas hortícolas urbanas. Los resultados obtenidos durante las pruebas, que evidenciaron una desplazamiento correcto y realización de tareas

como siembra, riego y monitoreo, confirman la viabilidad técnica del sistema para operar de forma autónoma en un huerto controlado. La incorporación de sensores permitió al robot ajustar sus acciones en tiempo real, lo que favorece no solo la eficiencia operativa y aspectos clave en la sostenibilidad de los entornos urbanos.

Desde una interpretación pragmática, el sistema aporta beneficios al reducir la intervención humana en actividades rutinarias y laboriosas, disminuyendo la carga de trabajo en el cuidado de las plantas. Esto es especialmente relevante en contextos urbanos donde el tiempo y la mano de obra especializada pueden ser limitados. Por tanto, el robot puede contribuir a facilitar el acceso a técnicas de cultivo más eficientes y sostenibles, incluso en espacios reducidos y complejos.

El prototipo presenta ciertas limitaciones técnicas y de escalabilidad que deben considerarse en futuras versiones. Una de las principales se relaciona con la autonomía energética. El sistema depende actualmente de una fuente de alimentación externa, lo que restringe su movilidad y su uso en áreas donde no existe un suministro eléctrico cercano. La incorporación de fuentes de energía renovable, como paneles solares o baterías de alta eficiencia, sería esencial para dotar al robot de una verdadera autonomía operativa y reducir su huella ambiental.

Así mismo, la escalabilidad del diseño hacia áreas de cultivo más amplias implica desafíos. El sistema cartesiano, aunque eficiente en superficies reducidas, podría requerir una reconfiguración estructural o modular para operar en extensiones mayores sin perder precisión ni aumentar excesivamente el consumo energético. La implementación de módulos autónomos cooperativos capaces de comunicarse entre sí y distribuir tareas podría ser una estrategia viable para ampliar su alcance funcional.

La tecnología open source utilizada ofrece una plataforma flexible para mejorar y adaptar el sistema, pero su éxito dependerá en gran medida de la accesibilidad técnica para usuarios finales y de la integración con otros sistemas inteligentes urbanos. Además, la capacidad del robot para manejar diferentes tipos de cultivos y adaptarse a condiciones cambiantes del entorno podría establecer un camino hacia soluciones más personalizadas y escalables en agricultura urbana.

La Cuarta Revolución Industrial, impulsada por IA, robótica y Big Data, está transformando los sectores económicos en México, generando tanto oportunidades como desafíos. La automatización amenaza empleos rutinarios y de baja calificación en manufactura, servicios, finanzas y comercio electrónico, pero también impulsa avances y nuevos empleos en salud, educación, agricultura y finanzas. Los principales retos incluyen la vulnerabilidad laboral, la polarización salarial y la necesidad de una mejor preparación del capital humano, así como la adaptación educativa para enfrentar los cambios tecnológicos [15], [16].

Mientras la reducción de intervención humana puede mejorar la eficiencia, también plantea preguntas sobre la

reconversión de habilidades laborales y la importancia de mantener ciertos niveles de interacción humana para la supervisión y el cuidado cualitativo de los espacios verdes. En términos ambientales, la automatización puede facilitar prácticas más sostenibles, pero es necesario validar cómo se traducen estas mejoras en la biodiversidad urbana y la resiliencia ecológica.

En síntesis, el robot jardinero representa un aporte a la robótica agrícola urbana, incorporando tecnologías accesibles y fomentando una gestión sostenible. Su evolución debe equilibrar la precisión tecnológica con las necesidades sociales y ambientales, asegurando que la automatización sea una herramienta que potencie, y no reemplace, la interacción humana en la conservación de los ecosistemas urbanos.

4. CONCLUSIONES

El desarrollo del sistema mecatrónico para el jardín autónomo demostró ser una solución eficaz y eficiente para el cuidado y mantenimiento automatizado de cultivos en un entorno hortícola. A través del diseño e implementación de un robot cartesiano equipado con sensores de humedad, temperatura y proximidad, se lograron tareas específicas, como siembra y riego con autonomía.

La correcta incorporación de componentes eléctricos y electrónicos, así como la eficiente integración con la interfaz de control, permitieron una supervisión en tiempo real y un monitoreo efectivo de las plantas, logrando un crecimiento adecuado de cultivos como cilantro, perejil y cebolla.

Este proyecto contribuye a la aplicación práctica de tecnologías de robótica y automatización en la agricultura urbana, promoviendo el desarrollo sustentable y optimizando el uso de espacios verdes en viviendas y edificaciones, en línea con la tendencia global hacia la agricultura inteligente. Además, la implementación de herramientas open source abre las puertas a futuras mejoras y adaptaciones del sistema.

En suma, el sistema desarrollado aporta a la promoción de técnicas sostenibles en la gestión de huertos urbanos.

REFERENCIAS

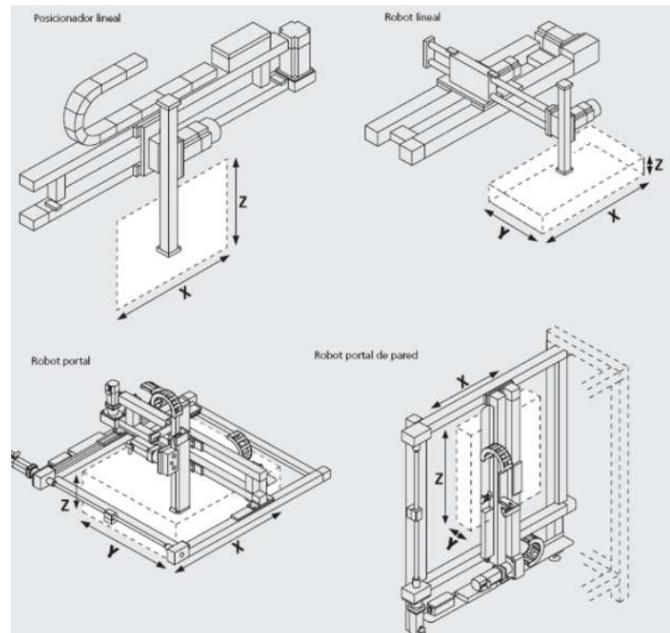
- [1] J. Mercader, «El impacto de la robótica y el futuro del trabajo», *Revista de la Facultad de Derecho de México*, vol. Tomo LXVII, n.º 269, 2017, [En línea]. Disponible en: www.revistas.unam.mx/index.php/rfdm/article/download
- [2] A. J. Pérez Vidal, Á. Castro-González, F. Alonso, J. C. Castillo, y M. Á. Salichs, «Evolución de la robótica social y nuevas tendencias», *XXXVIII Jornadas de Automática*, pp. 836-843, 2017, doi: <https://doi.org/10.17979/spudc.9788497497749.0836>.

- [3] B. I. Valverde Castro, «La importancia de la Robótica como eje en el desarrollo de la sociedad», *Polo del Conocimiento: Revista científico - profesional*, vol. 5, n.º 8, pp. 1368-1377, 2020.
- [4] GRUPO BANCO MUNDIAL, «Agricultura y alimentos», World Bank. [En línea]. Disponible en: <https://www.bancomundial.org/es/topic/agriculture/overview>
- [5] Agricultural Robotics & Automation Society - IEEE, «Robótica y automatización agrícola». [En línea]. Disponible en: <https://www.ieee-ras.org/agricultural-robotics-automation>
- [6] L. F. P. Oliveira, A. P. Moreira, y M. F. Silva, «Advances in Agriculture Robotics: A State-of-the-Art Review and Challenges Ahead», *Robotics*, vol. 10, n.º 2, p. 52, mar. 2021, doi: 10.3390/robotics10020052.
- [7] H. Lin, S. Dong, Z. Liu, y C. Yi, «Study and Experiment on a Wheat Precision Seeding Robot - Haibo - 2015 - Journal of Robotics - Wiley Online Library», *Jornal of Robotics*, vol. 2015, n.º 1, p. 696301, 24 de noviembre de 2015.
- [8] S. Sukkarieh, «Mobile on-farm digital technology for smallholder farmers», presentado en Crawford Fund 2017: Transforming Lives and Livelihoods: The Digital Revolution in Agriculture, 7-8 August 2017, AgEcon, ago. 2017. doi: <https://doi.org/10.22004/ag.econ.266635>.
- [9] M. U. Hassan, M. Ullah, y J. Iqbal, «Towards autonomy in agriculture: Design and prototyping of a robotic vehicle with seed selector», presentado en 2016 2nd International Conference on Robotics and Artificial Intelligence (ICRAI), Rawalpindi, Pakistan, nov. 2016, pp. 37-44. doi: 10.1109/ICRAI.2016.7791225.
- [10] I. P. Ferreira Silva y K. Resende Mendoça, «PROTÓTIPO DE UM ROBÔ CARTESIANO PARA A APLICAÇÃO EM AGRICULTURA», Actas del XXIV Congreso Brasileiro de Automática. [En línea]. Disponible en: https://sba.org.br/open_journal_systems/index.php/cba/article/view/3190/2718
- [11] H. M. Torres, I. A. Cordero, y F. D. Salgado, «Implementation of a Cartesian Robot XYZ for the Control of Agricultural Parameters in Seed Germination», en 2022 IEEE ANDESCON, Barranquilla, Colombia, nov. 2022, pp. 1-6. doi: 10.1109/ANDESCON56260.2022.9989747.
- [12] J. Cornejo, R. Palomares, M. Hernández, D. Magallanes, y S. Gutierrez, «Mechatronics Design and Kinematic Simulation of a Tripteron Cartesian-Parallel Agricultural Robot Mounted on 4-Wheeled Mobile Platform to Perform Seed Sowing Activity», presentado en 2022 First International Conference on Electrical, Electronics, Information and Communication Technologies (ICEEICT), Trichy, India, feb. 2022, pp. 1-7. doi: 10.1109/ICEEICT53079.2022.9768422.
- [13] C. J. Choque Moscoso, E. M. Fiestas Sorogastúa, y R. S. Prado Gardini, «Efficient Implementation of a Cartesian Farmbot Robot for Agricultural Applications in the Region La Libertad-Peru», presentado en 2018 IEEE ANDESCON, Santiago de Cali, Colombia, 2018, pp. 1-6. doi: doi:10.1109/ANDESCON.2018.8564607.
- [14] Schneider Electric Company, «Lexium Cartesian Robots», World Bank. [En línea]. Disponible en: https://download.schneider-electric.com/files?p_Doc_Ref=DIA7ED2210101EN&p_enDocType=Catalog&p_File_Name=Catalog+Lexium+Cartesian+Robots_November+2021.pdf
- [15] M. V. Pilco Núñez y J. Achachi, «Impacto de la Inteligencia Artificial en las Actividades Humanas: Un análisis de las consecuencias | CONECTIVIDAD», vol. 6, n.º 1, pp. 256-270, 2025.
- [16] A. Ultreras-Rodríguez, M. T. de J. De La Paz-Rosales, J. D. Santana-Alaniz, y A. G. Ramírez-Ortega, «Inteligencia artificial y su impacto en la automatización del trabajo en México | Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía», *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía*, vol. 10, n.º 19, pp. 4-25, 2025, doi: <https://doi.org/10.35381/r.k.v10i19.4364>.

ANEXOS

Fig. 6.

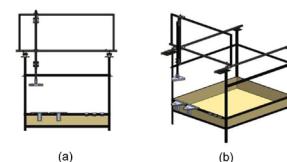
Robots cartesianos.



Nota. Descripción de las configuraciones cartesianas [14].

Fig. 7.

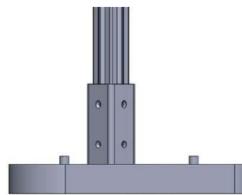
(a) Vista frontal, (b) Vista isométrica



Nota. Diseño de la estructura.

Fig. 8.

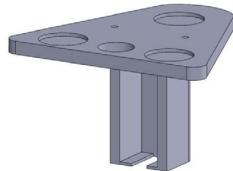
Efector fijo



Nota. Efector fijo fijado a perfil de aluminio 20x20.

Fig. 9.

Efector intercambiable.



Nota. Vista isométrica del efector intercambiable.

Fig. 10.

Efector ensamblado con el efector de sembrado.



Nota. Efector fijo realizando el intercambio para la función de sembrado.

Fig. 11.

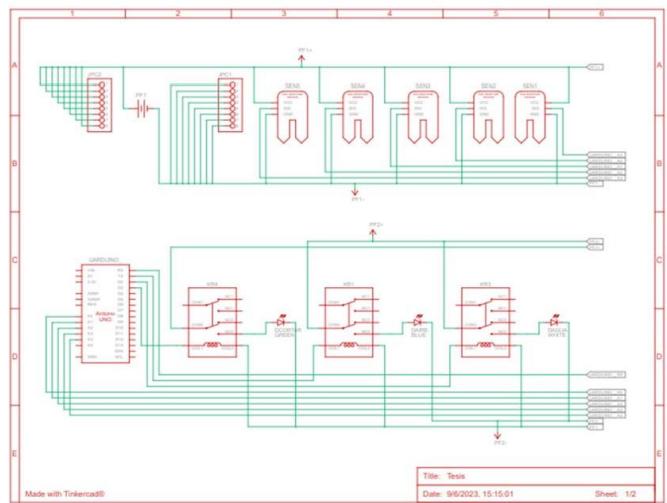
Estructura del prototipo



Nota. Ensamble final de la estructura.

Fig. 12.

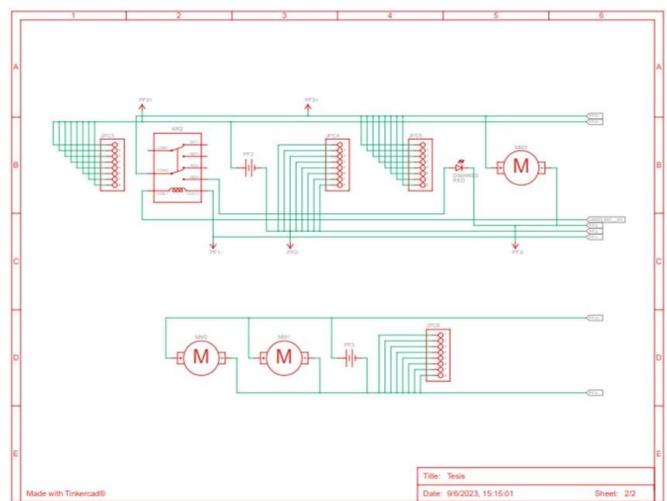
Circuito eléctrico.



Nota. Componentes electrónicos y sensores.

Fig. 13.

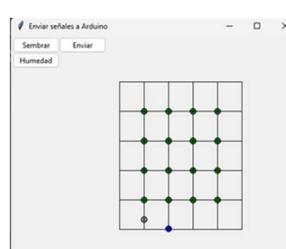
Diagrama eléctrico.



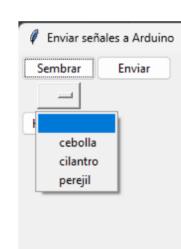
Nota. Componentes electrónicos y actuadores.

Fig. 14.

Interfaz (a) para monitoreo, (b) para envío de señales.



(a)

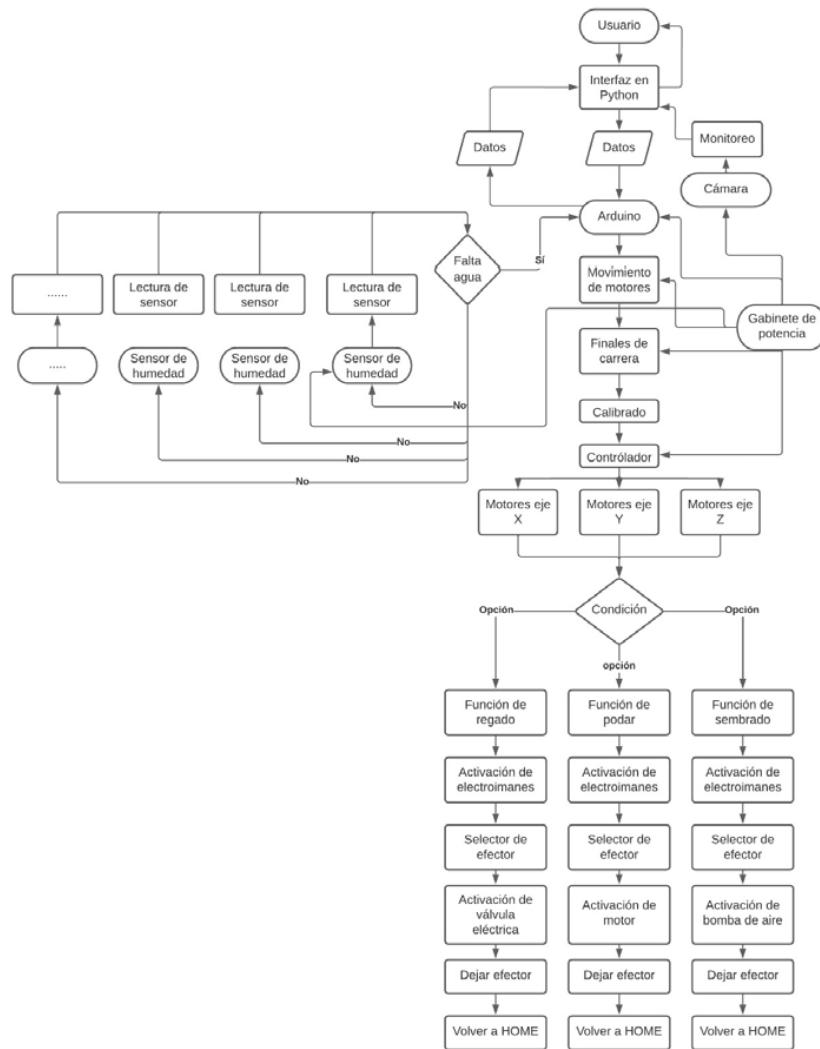


(b)

Nota. Interfaz para sembrar o monitorear la humedad, así como la indicación del tipo de planta.

Fig. 15.

Diagrama de flujo del programa.



Nota. Lógica de programación considerando las funciones del robot jardinero.

Fig. 16.

(a) Prototipo (b) Resultados de cultivos.



(a)



(b)

Nota. En las imágenes se muestra el prototipo con cultivos en crecimiento.