

Escenario robótico cooperativo para la automatización de la agricultura vertical

Arambarri-Calvo, Javier.^a, Hernandez-Cardenas, Ignacio.^a, Alangua-Duñabeitia, Martin.^a, Mancisidor, Aitziber.^{a,*}, Cabanes, Itziar.^a

^aDepartamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, Escuela de Ingeniería de Bilbao, Universidad del País Vasco (UPV/EHU), 48013-Bilbao, España.

Resumen

La escasez de mano de obra y las exigentes condiciones agrícolas impulsan la adopción de sistemas robóticos. En este contexto, la agricultura vertical es un método eficiente, pero su automatización presenta complejidades específicas. Sus principales retos son las oclusiones generadas por la alta densidad de cultivo y las severas restricciones espaciales para el movimiento de los robots. Superarlos exige desarrollar nuevas estrategias de manipulación, colaboración y movilidad. Ante esta necesidad, este trabajo propone un escenario robótico que reproduce los desafíos esenciales de la agricultura vertical. El montaje físico integra dos manipuladores colaborativos, uno de ellos sobre un eje lineal motorizado para extender su alcance. Además, se ha desarrollado una réplica virtual en NVIDIA Isaac Sim para validar estrategias de control y planificación en un entorno seguro. Este planteamiento busca verificar la viabilidad técnica de la robotización en estos entornos, dando respuesta a sus limitaciones operativas fundamentales.

Palabras clave: trabajo en entornos reales y virtuales, percepción y sensado, robótica de campo, robótica agrícola, robots manipuladores, robótica inteligente

Cooperative robotic scenario for the automation of vertical farming

Abstract

Labor shortages and demanding agricultural conditions are driving the adoption of robotic systems. In this context, vertical farming stands out as an efficient method, yet its automation presents specific complexities. Its main challenges include occlusions caused by high crop density and severe spatial constraints for robot movement. Overcoming these obstacles requires the development of novel manipulation, collaboration, and mobility strategies. To address this need, this paper proposes a robotic scenario designed to reproduce the essential challenges of vertical farming. The physical setup integrates two collaborative manipulators, one of which is mounted on a motorized linear axis to extend its reach. Additionally, a virtual replica has been developed in NVIDIA Isaac Sim to validate control and planning strategies within a safe environment. This approach aims to verify the technical feasibility of robotizing these environments, addressing their fundamental operational limitations.

Keywords: work in real and virtual environments, perception and sensing, field robotics, agricultural robotics, robots manipulators, intelligent robotics

1. Introducción

El sector agrícola afronta una crisis marcada por la escasez de mano de obra y el progresivo envejecimiento de la población rural. Además, las tareas manuales suelen ser repetitivas, estacionales y físicamente exigentes, lo que compromete la viabilidad operativa de las explotaciones. En este contexto, la automatización robótica permite asegurar la productividad y la estandarización de los procesos, mitigando el impacto de la limitada disponibilidad de mano de obra cualificada.

Sin embargo, la automatización agrícola difiere sustancialmente de la industrial. A diferencia de las fábricas, los entornos agrícolas son no estructurados y presentan una alta variabilidad impredecible (Kootstra et al., 2021). En este marco, los manipuladores robóticos enfrentan retos específicos según su entorno operativo. Por ejemplo, los productos agrícolas poseen una naturaleza deformable y delicada (Subedi et al., 2025), lo que complica su manipulación frente a la rigidez de gran parte de objetos industriales. En campo abierto, deben soportar condiciones climáticas adversas como viento, lluvia e iluminación

*Autor para correspondencia: aitziber.mancisidor@ehu.eus

variable. En invernaderos, la dificultad radica en las oclusiones por densidad de cultivo (Subedi et al., 2025) y las restricciones de movimiento en pasillos estrechos.

La variabilidad inherente a estos escenarios exige soluciones dotadas de una gran adaptabilidad, basada principalmente en tres pilares: manipulación, cooperación y colaboración, y movilidad. La manipulación requiere una gran dexteridad para interactuar con productos vegetales delicados sin dañarlos. La cooperación y colaboración resulta esencial tanto para garantizar la seguridad en la interacción humano-robot como para coordinar sistemas de múltiples brazos que mejoren la alcanzabilidad en geometrías complejas (Yin et al., 2025; Rodríguez-Nieto et al., 2025). Finalmente, la movilidad es imprescindible para cubrir la vasta extensión de las explotaciones, lo que obliga a integrar los manipuladores en plataformas autónomas (UGV) o sistemas de raíles (Rodríguez-Nieto et al., 2025; Kootstra et al., 2021).

A pesar de la complejidad inherente a los entornos de agricultura, diversos estudios han validado la viabilidad técnica de manipuladores robóticos en operaciones específicas. Entre las aplicaciones más destacadas se encuentran la cosecha selectiva, la pulverización localizada, la poda invernal y la polinización artificial (Zhang et al., 2024; Adamides and Edan, 2023; Jin and Han, 2024). Estas soluciones comparten una base tecnológica común para garantizar su eficacia. Todas requieren efectores finales adaptados, sensores y estrategias rigurosas de control de posición. Algunas soluciones recientes también implementan estrategias de control de fuerza (Bu et al., 2022).

Asimismo, en las soluciones existentes, la integración de visión e inteligencia artificial resulta fundamental para la localización de frutos, la clasificación de madurez y la planificación de agarres en tiempo real (Zhang et al., 2021, 2024). Estos estudios demuestran la viabilidad de emplear cámaras RGB-D para la identificación precisa del cultivo y la generación adecuada de trayectorias de manipulación. Sin embargo, su implementación técnica recurre predominantemente a manipuladores de bajos grados de libertad. Este enfoque limita su despliegue práctico, ya que carecen de la destreza cinemática y las garantías de seguridad necesarias para operar en espacios confinados.

Consecuentemente, el uso de plataformas avanzadas de simulación se ha convertido en una estrategia fundamental. Herramientas como NVIDIA Isaac Sim (NVIDIA, 2025) permiten crear réplicas virtuales de los entornos agrícolas con un alto grado de fidelidad física y visual, como se desarrolla en Subedi et al. (2025). Estas plataformas proporcionan un marco de desarrollo seguro y controlado, desligando el avance algorítmico de las restricciones del mundo físico. Además, destaca por su integración nativa con técnicas de inteligencia artificial y su interoperabilidad con ROS2 (Robot Operating System 2) (Macenski et al., 2022). Este marco de trabajo, basado en estándares abiertos y arquitecturas distribuidas, simplifica la integración de sistemas heterogéneos y optimiza el desarrollo y control de plataformas robóticas en entornos agrícolas altamente variables.

En este contexto, el presente trabajo aborda el desarrollo de un entorno robotizado de agricultura. Así, se propone el diseño de una instalación física de agricultura vertical y su correspondiente réplica virtual. El sistema real estará formado por dos brazos robóticos colaborativos de seis grados de libertad cada uno, el UFactory xArm 6 y el UFactory 850 (UFactory,

2026), colocando el primero de ellos sobre un eje lineal para ampliar su movilidad a lo largo del invernadero. La réplica virtual se diseñará en NVIDIA Isaac Sim, unificando la arquitectura de control de ambos dominios mediante ROS2 para garantizar una transferencia directa y transparente entre la simulación y la realidad (Sim2Real).

Por último, este artículo está organizado de la siguiente manera. En la Sección 2 se presenta el estudio de la técnica sobre la agricultura vertical automatizada, incluyendo los usos actuales de la robótica en invernaderos verticales. En la Sección 3 se detallan los materiales y métodos, esto es el escenario multitirobot cooperativo propuesto. En la sección 4 se presenta la metodología de desarrollo, con la arquitectura de control unificada planteada y los resultados esperados. Finalmente, en la Sección 5 se exponen las conclusiones y líneas futuras de este trabajo.

2. Agricultura vertical: estado del arte

La agricultura vertical es un método de producción basado en el cultivo de hortalizas de hoja en capas superpuestas. Este enfoque optimiza el uso del espacio tridimensional y reduce significativamente el consumo de agua. Al desarrollarse en entornos cerrados, permite un control exhaustivo de la climatología y la iluminación artificial. La introducción de manipuladores robóticos en estos entornos persigue automatizar tareas como la inspección, poda o recolección. Sin embargo, la maximización del rendimiento impone restricciones físicas para su automatización, caracterizadas principalmente por una alta densidad de cultivo y pasillos de trabajo muy estrechos, (Cañadas-Aránega et al., 2024).

Para solventar estas restricciones, recientemente se han propuesto diversas arquitecturas robóticas adaptadas. Un ejemplo es el sistema propuesto por Watawana and Isaksson (2023). Este plantea una estructura autoensamblable con múltiples niveles, todos ellos atendidos por un manipulador de cuatro grados de libertad que se desplaza verticalmente a lo largo de una columna central (Figura 1). Sin embargo, la mayoría de las instalaciones de agricultura vertical existentes están organizadas en estructuras longitudinales en lugar de columnas verticales, como se observa en la Figura 4. Por consiguiente, esta propuesta no resulta fácilmente integrable en instalaciones existentes.

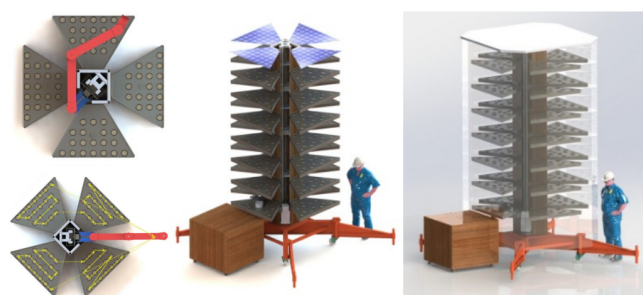


Figura 1: Escenario de agricultura vertical propuesto en Watawana and Isaksson (2023).

Como alternativa orientada a las estructuras longitudinales convencionales, otros enfoques plantean el uso de un único manipulador estático (Liu et al., 2024; Chitre et al., 2023), lo que

reduce la complejidad de integración. Sin embargo, esta estrategia restringe el alcance operativo del brazo robótico, dificultando la atención de módulos de cultivo distribuidos en el espacio. Por otro lado, al no implementar sistemas de cooperación con varios robots, se limitan también las capacidades operativas globales del sistema para tareas complejas.

Consecuentemente, a la vista de las limitaciones operativas de las arquitecturas propuestas hasta la fecha, se han identificado retos tecnológicos específicos para la automatización integral de invernaderos verticales. Estos retos se estructuran en tres pilares fundamentales:

- Manipulación.** La abundancia y proximidad de las hojas en una planta o cultivo (alta densidad foliar) y la distribución del cultivo en múltiples niveles, generan oclusiones continuas y reducen drásticamente el espacio libre. El reto principal consiste en planificar y ejecutar trayectorias de alta precisión que permitan al efector final acceder al objetivo (tallo o fruto) sin dañar el follaje adyacente.
- Movilidad.** La estrechez de los pasillos de trabajo impide el uso de vehículos terrestres autónomos (AGV) convencionales. El desafío radica en desarrollar e integrar soluciones de movilidad compactas, como sistemas de raíles fijos o ejes lineales, que garanticen una mayor accesibilidad y un posicionamiento exacto a lo largo de toda la extensión del cultivo, sin penalizar el área útil de plantación.
- Cooperación y Colaboración.** Las restricciones de alcance y las oclusiones limitan la viabilidad de operar con un único robot. Se identifica el reto de coordinar múltiples manipuladores para optimizar la ejecución de tareas complejas. Paralelamente, dado el confinamiento del entorno, es imperativo garantizar una segura interacción humano-robot.

3. Materiales y métodos

En esta sección se van a tratar los componentes propuestos y en el siguiente apartado la metodología del desarrollo en el que se utilizará el simulador NVIDIA Isaac Sim.

Para dar respuesta a los desafíos mencionados en la sección anterior, se ha diseñado una celda de cultivo sobre una mesa de 2,66 metros x 1,20 metros. Este escenario contempla los principales retos de la agricultura vertical mediante una disposición estructurada en niveles.

Sobre la mesa se disponen dos estanterías para el cultivo de hortalizas separadas por 1,20 metros. Estas estructuras cuentan con tres niveles de altura, replicando la configuración habitual de los invernaderos verticales, caracterizada por una alta densidad de plantas y un espacio libre reducido.

Para atender las demandas de este escenario se incorporan dos brazos robóticos colaborativos UFactory (UFactory, 2026) que forman el sistema de manipulación y movilidad del escenario, el UF xArm 6 y el UF 850. Ambos robots tienen 6 grados de libertad (*DOF*) y una carga máxima útil (*payload*) de 5 kilogramos. El primero de ellos, de menor tamaño y por tanto, con menor alcance, incorpora un eje lineal motorizado de desplazamiento para extender su rango operativo. En la Tabla 1 se recogen las especificaciones de los robots.

Tabla 1: Especificaciones de los robots y del motor lineal de desplazamiento

	UF 850	UF xArm 6	Motor Lineal
Alcance (mm)	850	700	700
Repetibilidad (mm)	0,2	0,1	-
Payload (kg)	5	5	-
DOF	6	6	-
Velocidad (m/s; %/s)	1; 180	1; 180	-
Peso (kg)	20	12,2	-

La movilidad que el eje lineal de desplazamiento le confiere al xArm 6 le capacita para cubrir múltiples áreas de cultivo y ejecutar su tarea principal: la monitorización, colocación y aplicación de tratamientos a las hortalizas durante la fase de cultivo, además de asistir al brazo fijo en operaciones que requieren cooperación.

El segundo brazo robótico, el UF 850, que opera de forma estática (sin sustentarse en un eje lineal), se encargará principalmente de ejecutar tareas de manipulación sobre las hortalizas y la aplicación algún tratamiento que requieran tras el cultivo, como por ejemplo, la retirada selectiva de hojas en los cultivos y la cooperación con el otro robot.

Ambos brazos robóticos incorporan el sensor de fuerza o torque (*ft sensor*) de 6 ejes, la pinza de dos dedos de UFactory y la cámara de visión RGB-D RealSense D435f (Intel Corporation, 2024), tal y como se muestra en la Figura 2.

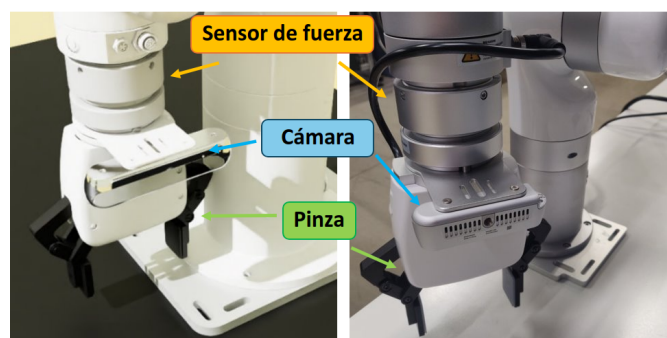


Figura 2: Efector de los robots con el sensor de fuerza, la cámara de visión y la pinza de dos dedos. A la izquierda, su réplica virtual en NVIDIA Isaac Sim. A la derecha, el robot real.

La pinza de dos dedos tiene una carrera ajustable de 86 milímetros y es ideal para objetos rígidos, ya que al detectar resistencia se detiene, pero no incorpora sensor de fuerza que le permita ejercer un control de fuerza preciso. Por ello, según las necesidades de los proyectos en desarrollo, así como la delicadeza y deformación de los objetos a manipular, se alternará con la pinza “bio” (UF *BIO gripper*), Figura 3, que sí permite control de fuerza. La pinza “bio” tiene una carrera entre 71 y 150 milímetros o entre 4 y 83 milímetros, según la configuración de los dedos.



Figura 3: Pinza UF *BIO gripper* con control de fuerza.

Al tratarse de brazos colaborativos, se garantiza poder compartir el espacio de forma segura con operarios humanos. Por su parte, la dotación sensorial y mecánica mencionada es la que les permite cooperar entre sí, regulando rigurosamente las fuerzas de interacción conjunta. Asimismo, la integración de visión artificial facilita la percepción del entorno para la identificación de frutos o enfermedades, guiando con precisión el posicionamiento y la actuación de las pinzas sobre el cultivo.

4. Metodología de desarrollo

En esta sección se va a tratar la metodología de desarrollo, es decir, la arquitectura de control unificada planteada y los resultados esperados. Esta arquitectura enlaza el *hardware* físico gestionado mediante ROS2 con su correspondiente réplica virtual en NVIDIA Isaac Sim, Figura 4.

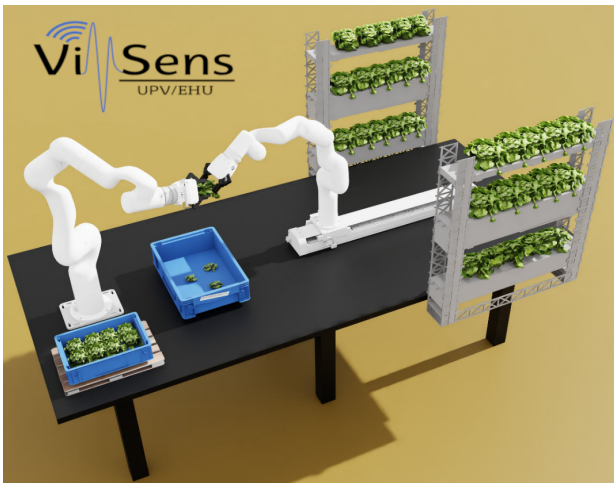


Figura 4: Réplica virtual del escenario robótico cooperativo propuesto en NVIDIA Isaac Sim.

4.1. Planteamiento

Para gestionar la complejidad de este entorno y orquestar el funcionamiento conjunto de ambos manipuladores y sus sensores, tanto en la simulación como en la realidad, la arquitectura de software se fundamenta íntegramente en ROS2. Esta plataforma actúa como el *middleware* central del sistema, proporcionando un entorno estandarizado y robusto para el desarrollo robótico. Su adopción resulta estratégica fundamentalmente por su capacidad para facilitar una transferencia directa y transparente entre la simulación y la realidad. Al compartir la misma

interfaz de comunicación, el código de control y sistema de visión artificial que se desarrollará en la réplica virtual, puede desplegarse en la instalación física sin requerir modificaciones estructurales. En la Figura 5 se muestra el esquema de la arquitectura propuesta, donde las flechas verdes representan las interfaces de comunicación con la réplica virtual, y las azules con el escenario real.

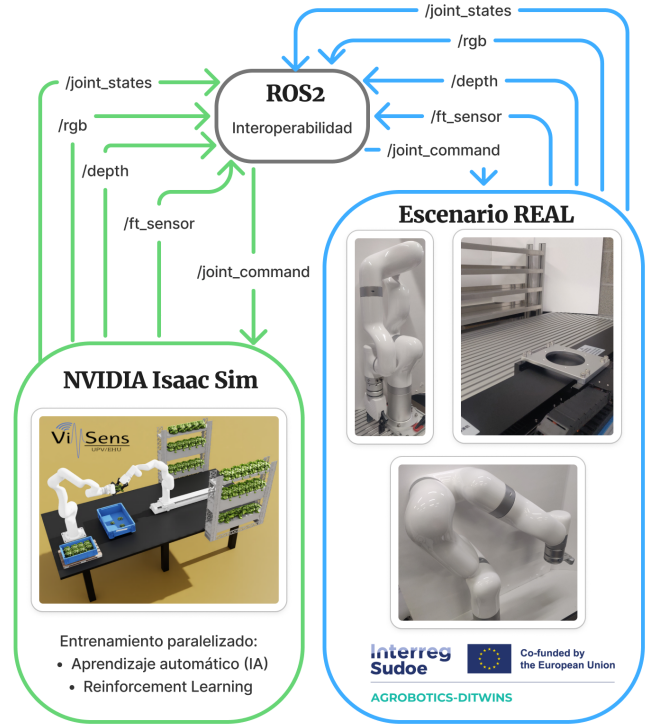


Figura 5: Arquitectura de control unificada propuesta.

Además, ROS2 proporciona un amplio ecosistema de herramientas indispensables para la operación del escenario agrícola. Por un lado, ofrece mecanismos nativos de comunicación distribuida (basados en DDS), lo que resulta esencial para habilitar una comunicación entre robots eficiente y coordinar de forma segura las acciones concurrentes del brazo estático y el brazo móvil sobre la guía lineal. Por otro lado, dispone de paquetes especializados para la adquisición, sincronización y tratamiento en tiempo real del flujo de datos generados. Esto permite integrar y procesar de manera unificada la información de los sensores de fuerza, las nubes de puntos de las cámaras RGB-D y las lecturas de distancia, simplificando la percepción del entorno y la planificación de movimientos de los robots.

La configuración descrita constituye un entorno experimental completo y representativo de los desafíos reales de la agricultura vertical robotizada. La combinación de estructuras de cultivo en múltiples niveles, manipuladores colaborativos con capacidades de desplazamiento y una arquitectura de control unificada basada en ROS2 permite reproducir condiciones de operación exigentes, donde la percepción, la planificación y la cooperación segura resultan esenciales.

Esta metodología también habilita una transferencia directa entre simulación y realidad, garantizando que las soluciones que se obtengan sean robustas, escalables y aplicables a instalaciones agrícolas reales.

4.2. Resultados esperados

El principal resultado esperado es la consecución de técnicas y/o arquitecturas, como la expuesta en la Figura 5, que permitan desarrollar aplicaciones automatizadas para entornos altamente variables, en este caso, de agricultura vertical. Las características de estos entornos dificultan el desarrollo de estas aplicaciones, puesto que habitualmente no es factible trabajar sobre los propios materiales, y es necesario recurrir a herramientas de simulación. Consecuentemente, estas herramientas tienen que ser altamente fieles al entorno real y fácilmente interoperables entre simulación y realidad.

En definitiva, la validación de esta arquitectura representa un paso significativo para la escalabilidad de sistemas autónomos en la agricultura vertical. Al explorar la reducción de tiempos y costes de desarrollo mediante la simulación, se espera facilitar una futura adopción industrial de estas herramientas. A largo plazo, este enfoque tiene el potencial de contribuir a la mejora de la eficiencia operativa en las explotaciones agrícolas verticales y apoyar la transición hacia un modelo de producción más resiliente frente a la actual crisis de mano de obra.

5. Conclusiones

Este trabajo establece las bases para la automatización de escenarios de agricultura vertical mediante el uso de brazos robóticos colaborativos, pudiendo incluir motores lineales adicionales para aumentar su accesibilidad, incorporar sensores de fuerza y/o cámaras de visión para incrementar su percepción. En concreto, en esta propuesta se abordan los principales retos tecnológicos de estos entornos, siendo los más críticos: la manipulación precisa de cultivos, la movilidad en espacios confinados, y la colaboración y cooperación segura.

Asimismo, se ha creado una réplica virtual desarrollada en NVIDIA Isaac Sim que proporciona un entorno seguro y controlado para el diseño, validación y optimización de estrategias de percepción, planificación y control en la operatividad de este sector. Esta plataforma, diseñada para el desarrollo de aplicaciones con inteligencia artificial, permite generar fácilmente múltiples escenarios de entrenamiento, acelerar el desarrollo algorítmico y reducir así la dependencia de campañas experimentales en el terreno real.

Toda esta arquitectura se articula sobre ROS2, un estándar consolidado en el desarrollo de aplicaciones robóticas. Su adopción proporciona una estructura modular que simplifica drásticamente la integración de los dispositivos mencionados —brazos robóticos, cámaras RGB-D, sensores de fuerza u otros periféricos futuros— asegurando una transferencia transparente y directa de los algoritmos entre la réplica virtual y el sistema físico.

Con este propósito, la construcción de estos escenarios constituye un paso esencial para el desarrollo futuro de sistemas cooperativos multiagente capaces de inspeccionar, monitorizar y manipular hortalizas en estanterías verticales, así como de ejecutar tareas colaborativas —como la eliminación selectiva de hojas en los cultivos—. Estas funcionalidades integrarán técnicas avanzadas de visión artificial, planificación, control de movimiento y control de fuerza basadas en inteligencia artificial, con el fin de garantizar una adaptación robusta a la variabilidad y complejidad propias de los entornos agrícolas. Como

línea futura se plantea también un método de calibración automatizado de los parámetros extrínsecos de las cámaras para tareas específicas de la agricultura vertical.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por FEDER/Programa Interreg Europa Suroccidental (SUDOE) 2021-2027 proyecto AGROBOTICS-DITWINS – S2/1.1/E0173.

Referencias

- Adamides, G., Edan, Y., 2023. Human–robot collaboration systems in agricultural tasks: A review and roadmap. *Computers and Electronics in Agriculture* 204, 107541.
URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169922008493>
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107541>
- Bu, L., Chen, C., Hu, G., Sugirbay, A., Sun, H., Chen, J., 2022. Design and evaluation of a robotic apple harvester using optimized picking patterns. *Computers and Electronics in Agriculture* 198, 107092.
URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169922004094>
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107092>
- Cañadas-Aránega, F., Blanco-Claraco, J. L., Moreno, J. C., Rodríguez-Díaz, F., 2024. Multimodal mobile robotic dataset for a typical mediterranean greenhouse: The greenbot dataset. *Sensors* 24 (6).
URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/24/6/1874>
DOI: 10.3390/s24061874
- Chitre, N., Dogra, A., Singla, E., 2023. Optimal synthesis of reconfigurable manipulators for robotic assistance in vertical farming. *Robotica* 41 (8), 2283–2297.
DOI: 10.1017/S0263574723000358
- Intel Corporation, 2024. Intel realsense depth camera d435. <https://www.realsenseai.com/products/d435f-3/>.
- Jin, T., Han, X., 2024. Robotic arms in precision agriculture: A comprehensive review of the technologies, applications, challenges, and future prospects. *Computers and Electronics in Agriculture* 221, 108938.
URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169924003296>
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.108938>
- Kootstra, G., Wang, X., Blok, P. M., et al., 2021. Selective harvesting robotics: Current research, trends, and future directions. *Current Robotics Reports* 2, 95–104.
URL: <https://doi.org/10.1007/s43154-020-00034-1>
DOI: 10.1007/s43154-020-00034-1
- Liu, J., Lai, W., Sim, B. R., Rui Tan, J. M., Magdassi, S., Phee, S. J., 2024. Smart grow-and-twine gripper for vegetable harvesting in vertical farms. In: 2024 IEEE 7th International Conference on Soft Robotics (RoboSoft). pp. 460–466.
DOI: 10.1109/RoboSoft60065.2024.10521949
- Macenski, S., Foote, T., Gerkey, B., Lalancette, C., Woodall, W., 2022. Robot operating system 2: Design, architecture, and uses in the wild. *Science Robotics* 7 (66), eabm6074.
URL: <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/scirobotics.abm6074>
DOI: 10.1126/scirobotics.abm6074
- NVIDIA, 2025. Isaac Sim.
URL: <https://github.com/isaac-sim/IsaacSim>
- Rodríguez-Nieto, D., Navas, E., Fernández, R., 2025. Automated seeding in hydroponic greenhouse with a dual-arm robotic system. *IEEE Access* 13, 30745–30761.
DOI: 10.1109/ACCESS.2025.3541954
- Subedi, N., Yang, H.-J., Jha, D. K., Sarkar, S., 2025. Find the fruit: Zero-shot sim2real rl for occlusion-aware plant manipulation.
URL: <https://arxiv.org/abs/2505.16547>
- UFactory, 2026. xarm and 850 robotic arm. Shenzhen UFactory Technology Co., Ltd., available: <https://www.ufactory.cc>.
- Watawana, B., Isaksson, M., 2023. Design and simulations of a self-assembling autonomous vertical farm for urban farming. *Agriculture* 13 (1).
URL: <https://www.mdpi.com/2077-0472/13/1/112>
DOI: 10.3390/agriculture13010112

Yin, C., Huang, J., Xia, Y., Zheng, H., Fu, W., Zhang, B., 05 2025. Design, development, integration and field evaluation of a dual robotic arm mango harvesting robot. *Journal of Field Robotics* 42, 3705–3725.
DOI: 10.1002/rob.22580

Zhang, J., Kang, N., Qu, Q., et al., 2024. Automatic fruit picking technology: a comprehensive review of research advances. *Artificial Intelligence Review* 57 (54).

URL: <https://doi.org/10.1007/s10462-023-10674-2>
DOI: 10.1007/s10462-023-10674-2

Zhang, K., Lammers, K., Chu, P., Li, Z., Lu, R., 2021. System design and control of an apple harvesting robot. *Mechatronics* 79, 102644.
URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957415821001173>
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mechatronics.2021.102644>