



JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Convocatoria 2023
3ª fase. Ejercicio 2025

Documento 2 – Memoria técnica de actuación

Entidad Beneficiaria	TREYAT INGENIERIA Y DESARROLLO COOP V
NIF	F10642320
Título del Proyecto	RECOLECCIÓN INTELIGENTE Y AUTOMATIZADA DE CULTIVOS DE ALTO VALOR EN INVERNADEROS SOSTENIBLES
Número de Expediente	INNEST/2023/131

Índice

1. Resumen ejecutivo.
2. Objeto y finalidad del proyecto.
3. Actividades desarrolladas y resultados obtenidos.
4. Grado de cumplimiento de los objetivos/tareas/hitos previstos en el plan de trabajo. Respecto de los Entregables comprometidos en la Memoria de solicitud, adjuntar los mismos como Anexos a esta Memoria o en caso de que se encuentren incluidos en la redacción de la misma, indicar las páginas en las que se encuentren recogidos. Medios empleados. Justificación de las desviaciones acaecidas en el proyecto respecto al aprobado, si procede.
5. Descripción detallada de cada uno de los conceptos cargados en la aplicación de justificación, con referencia a su naturaleza y objeto, motivo y necesidad de imputación y vinculación con el proyecto, así como sus posibles desviaciones económicas respecto a lo presupuestado inicialmente. En el caso de modificación del Personal participante respecto de la Memoria de solicitud, indicar el motivo del cambio, describir los nuevos perfiles y argumentar su capacidad para el desarrollo de las tareas.
6. Cambios producidos en las diferentes partidas del presupuesto financiable no sometidos a autorización expresa. Justificación expresa del motivo del cambio

1. Resumen ejecutivo.

El proyecto DRAGONBOT es un proyecto estratégico para el sector agroindustrial valenciano, cuyo principal objetivo científico-técnico radica en la investigación avanzada para sistemas de recolección inteligente en nuevos cultivos de alto valor producidos en invernaderos sostenibles, también innovadores, donde se aplican conceptos avanzados como la recolección diferenciada automatizada, el análisis de calidad de fruto en tiempo real, y la circularidad de la energía generada (fotovoltaica) y consumida por el propio invernadero.

La mecanización de labores agrícolas ha solucionado importantes problemas de coste y disponibilidad de mano de obra para algunos cultivos, reduciendo además los riesgos asociados a tareas tediosas que frecuentemente conllevan problemas ergonómicos de movimientos repetitivos y sobreesfuerzos realizadas en un ambiente desfavorable por ocurrir al aire libre en la mayor parte de las tareas. Sin embargo, la recolección mecanizada no ha sido desarrollada de manera efectiva para muchos cultivos de alto valor, en especial aquellos destinados al consumo en fresco. La dificultad de realizar una recolección selectiva que sólo retire los frutos en estado óptimo de recolección, la delicadeza que requiere el manejo de algunos productos, y en general la agresividad de manipuladores mecánicos con escasa capacidad para discriminar hace que las labores se sigan realizando de forma manual.

En muchos casos, cuando estas dificultades técnicas se han superado, el escaso rendimiento en comparación con la recolección manual ha hecho que sean causas económicas y de rentabilidad las que han acabado con proyectos de asistencia a la recolección. Aun así, los costes de recolección pueden llegar a suponer el 50 % de los costes productivos en cultivo de alto valor, lo que hace que siga siendo un tema recurrente de alto impacto para una agricultura sostenible y de futuro, cuya falta de soluciones podría poner en riesgo la continuidad de algunos cultivos. Por otro lado, la introducción de nuevos cultivos tropicales y subtropicales en la zona mediterránea, como el caso de la pitaya (*Selenicereus undatus*) con uno de los mayores valores añadidos en el mercado, estimula el desarrollo de nuevas soluciones para abordar de forma eficiente las labores de cultivo. De hecho, la propia estructura vegetativa de la pitaya, un cactus cuyos frutos son grandes y con colores vistosos, ofrece una oportunidad única para desarrollar nuevos sistemas que combinen técnicas espectrales, ópticas, de visión e inteligencia artificial para llevar a cabo el sueño de todo agricultor: la recolección diferenciada y automatizada que garantice la máxima calidad, y en consecuencia precio, de la fruta producida. El tamaño de los frutos y su disposición en las pencas sin hojas elimina el problema de las oclusiones de fruta, y favorece el sistema de detección y evaluación de los frutos.

2. Objeto y finalidad del proyecto.

El proyecto tuvo como objetivo principal la investigación y el desarrollo de una solución avanzada e innovadora para la recolección automatizada e inteligente del cultivo subtropical de la pitaya, contribuyendo al desarrollo de un modelo de agricultura más sostenible desde los ámbitos social, económico y medioambiental. Este objetivo se materializó en el diseño y construcción de un sistema robótico completamente operativo, capaz de navegar de forma autónoma dentro de un invernadero sostenible y de realizar la cosecha selectiva de pitaya en función de su estado de madurez, permitiendo optimizar la fase de recolección, mejorar la calidad del producto, reducir pérdidas en postcosecha y aumentar la rentabilidad del cultivo.

El sistema robótico desarrollado integró un avanzado módulo de percepción basado en la fusión de visión 3D, tecnología lidar y una red ultrasónica. La detección de la posición del fruto se llevó a cabo mediante visión artificial, mientras que la evaluación de la madurez y propiedades del cultivo se realizó mediante técnicas multispectrales. Además, se incorporó un brazo robótico equipado con una garra terminal específica que ejecutó el corte de los frutos y su depósito en una bandeja integrada en la plataforma sin producir daños al fruto.

Todas estas funcionalidades (navegación autónoma, identificación del fruto, evaluación de madurez y recolección) fueron implementadas, probadas y validadas con éxito durante los ensayos de campo. Las pruebas demostraron la operatividad y coherencia del sistema en condiciones reales de cultivo.

Asimismo, el diseño del robot siguió un enfoque sostenible y circular, funcionando con energía eléctrica almacenada en baterías que pueden ser alimentadas por las placas fotovoltaicas instaladas en el invernadero, cumpliendo así con los principios de eficiencia energética establecidos en el proyecto.

3. Actividades desarrolladas y resultados obtenidos.

PT0. Gestión y coordinación del proyecto

Tarea 0.1. Coordinación del proyecto

Líder: UPV. Participantes: UPV, INDEREN, GRENVISION, NUTAI

Duración: M1- M28

Durante el desarrollo del proyecto la Universitat Politècnica de València (UPV) ha desarrollado las labores de gestión y coordinación del proyecto. Se han llevado a cabo siete reuniones generales con todos los miembros del consorcio, todas presenciales en la UPV menos una en línea, una en 2023, cinco en 2024 y dos en 2025 (Actas de las reuniones en anejo 1 de este documento). Además, se han organizado varias reuniones de algunos miembros, para coordinar actuaciones concretas, UPV-Greenvision (en las instalaciones de la UPV), Greenvision-Nutai-Inderen (en las instalaciones del invernadero sostenible experimental de fruta situado en Picassent (Valencia), UPV-Inderen (en línea) y en la finca Mipitaya en Puzol (Valencia), especialmente en el año 2025, para concretar aspectos específicos de coordinación de los distintos subsistemas del prototipo robot.

Tarea 0.2. Gestión de la propiedad intelectual de los resultados del proyecto

Líder: UPV. Participantes: UPV, INDEREN, GRENVISION, NUTAI

Duración: M1- M28

La gestión de la propiedad intelectual del proyecto ha sido realizada por la UPV, asegurando la protección y correcta titularidad de los resultados generados, con la participación del resto de miembros del consorcio. Esta gestión incluye tanto los distintos subsistemas desarrollados como el prototipo robótico final.

PT2. Diseño, desarrollo y validación del sistema de visión artificial para detección de la posición del fruto investigado en cultivo

Tarea 2.2: Investigación en sistemas hardware de captación de imágenes

Líder: NUTAI. Participantes: NUTAI, UPV (ai2)

Duración: M9 – M26

Nutai y el grupo ai2 de la UPV, en colaboración con Greenvision, han analizado varios dispositivos comerciales destinados a la captura de imágenes, evaluando sus prestaciones, limitaciones y adecuación al entorno específico del proyecto. Este proceso permitió identificar tanto sus ventajas como sus inconvenientes y, a partir de ello, definir los requisitos mínimos necesarios para su aplicación en el sistema a desarrollar.

Una vez establecidos estos requerimientos, se inició el diseño del hardware correspondiente al modelo funcional de captura de imágenes. Como parte de este trabajo, se ha creado un soporte específico (diseñado y fabricado mediante impresión 3D) que permite colocar la cámara y obtener imágenes de las plantas y los frutos desde diferentes posiciones.

La cámara utilizada ha sido una OAK-D Pro PoE (IP65) de Luxonis (Figura 1), un dispositivo de visión artificial de grado industrial diseñado para aplicaciones de procesamiento visual avanzado. Esta cámara integra un sistema de visión RGB-D, compuesto por una cámara RGB de alta resolución y dos sensores monocromos con obturador global que permiten la obtención de información de profundidad en tres dimensiones mediante visión estéreo. El procesamiento se realiza directamente en la propia cámara gracias a su procesador RVC2, lo que posibilita la ejecución de algoritmos de visión por computador y modelos de inteligencia artificial en el borde, reduciendo la latencia y la necesidad de hardware externo.



Figura 1: Cámara utilizada para el sistema de análisis de imagen.

Asimismo, la OAK-D Pro PoE dispone de iluminación infrarroja y proyector de puntos IR, lo que mejora el rendimiento en condiciones de baja iluminación. Su diseño cuenta con una carcasa robusta con certificación IP65, adecuada para entornos industriales o exteriores, y conectividad Power-over-Ethernet (PoE), que permite la transmisión de datos y alimentación eléctrica mediante un único cable Ethernet. Estas características hacen que la cámara sea adecuada para su uso en trabajos de investigación relacionados con robótica, percepción 3D, automatización industrial y sistemas de visión inteligente.

Tarea 2.3: Investigación en técnicas avanzadas de software basado en Inteligencia Artificial

Líder: NUTAI. **Participantes:** NUTAI

Duración: M9 – M26

En esta actividad se ha identificado la arquitectura de red neuronal que mejor se adaptara a los desafíos visuales de la localización de pitayas, tales como variaciones de iluminación, oclusiones por follaje y la diversidad de texturas. Este proceso de permite evaluar no solo el rendimiento teórico de los modelos, sino también su comportamiento en condiciones reales de captura.

- Arquitecturas Propuestas para Evaluación:

Para alcanzar una localización robusta, es necesario investigar modelos que equilibren la precisión con el uso eficiente de recursos computacionales.

- **Modelos de Alta Eficiencia:** El uso de EfficientNetV2 es crucial debido a su capacidad de procesamiento en tiempo real mediante el aprendizaje progresivo y bloques Fused-MBConv, lo que optimiza la latencia en hardware móvil o de campo.
- **Captura de Detalles y Texturas:** Arquitecturas como ConvNeXt permiten capturar características complejas y texturas sutiles mediante convoluciones profundas, lo cual es vital para diferenciar el fruto del entorno vegetal.
- **Modelos Híbridos y Transformers:** La investigación de modelos como Swin Transformer o CoAtNet resulta prioritaria. Estos modelos combinan la capacidad de las CNN para extraer características locales con la potencia de los Transformers para modelar relaciones a larga distancia, facilitando una comprensión holística de la escena.

La adaptación de estas técnicas avanzadas requiere un enfoque iterativo de ajuste de hiperparámetros (tasas de aprendizaje, regularización y resolución de imagen) para garantizar la robustez ante el ruido y la variabilidad de los datos de entrada. Asimismo, la implementación de sistemas como RegNet permite un diseño de red cuantizado

que optimiza la relación entre profundidad y anchura, logrando tasas de detección que pueden superar el 95% en entornos dinámicos.

Finalmente, la literatura demuestra que la integración de mecanismos de atención y procesamiento convolucional ofrece mejoras de entre un 12% y un 20% en la detección de elementos sutiles en comparación con métodos tradicionales.

Tarea 2.4: Desarrollo de sistema integrado de visión para posicionamiento inteligente de brazo robótico

Líder: NUTAI. **Participantes:** NUTAI

Duración: M15 – M28

Tras completar los desarrollos independientes de hardware y software, se llevó a cabo el diseño final del sistema. Ambos componentes fueron integrados en un único sistema funcional, conectando de manera conjunta los sensores, la cámara y la placa de control del brazo manipulador, y verificando que el software gestiona adecuadamente el control y la recepción de información de todos los elementos.

En un principio se propuso colocar una primera cámara para identificar las frutas óptimas para recolectar en el momento adecuado de madurez, estimando calidad interna mediante análisis de imagen externo) y una segunda cámara para identificación de la posición y realización del acercamiento para localizar el punto de corte. Posteriormente, debido a problemas de espacio y simplicidad se colocó una única cámara para las dos tareas, para evitar las interferencias en la operación de acercamiento a la fruta y adaptación a la recogida, Figura 2.



Figura 2: Colocación de la cámara en el brazo y garra robótica.

Tarea 2.5: Pruebas de validación de sistema de visión para identificación de pitaya en cultivo

Líder: NUTAI. **Participantes:** NUTAI, INDEREN, UPV (ai2), GREENVISION

Duración: M15 – M28

Como resultado de los desarrollos realizados en las tareas previas, se llevaron a cabo las pruebas de concepto destinadas a validar el correcto funcionamiento del sistema. El objetivo fue comprobar su capacidad para reconocer los frutos en distintas posiciones y morfologías y, tras el procesamiento de las imágenes, determinar con precisión su ubicación para permitir un posicionamiento adecuado del brazo manipulador.

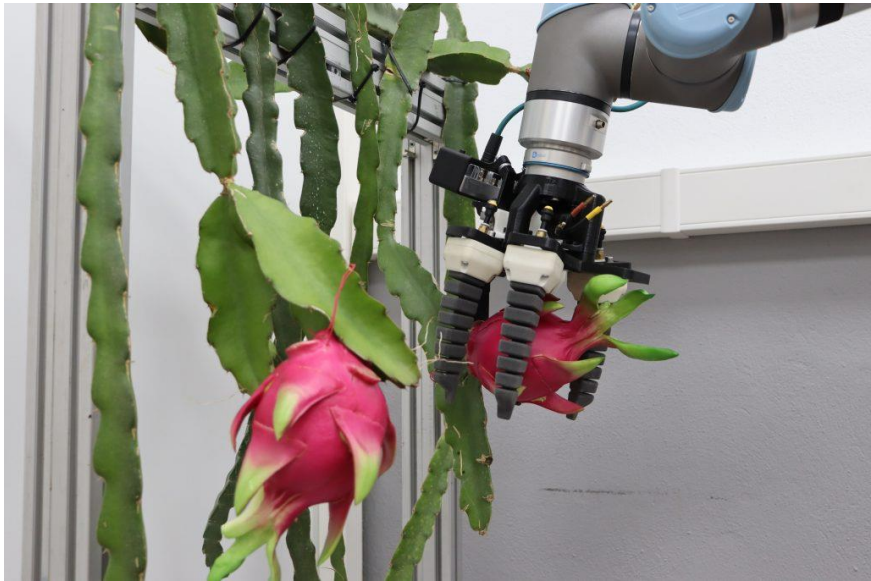


Figura 3: Ensayos de validación del sistema de visión Enel montaje de laboratorio que reproducía una plantación de pitaya.

Las pruebas llevadas a cabo se desarrollaron en las dos siguientes fases:

- En la primera fase, se trabajó en un montaje de laboratorio que reproducía una plantación de pitaya, Figura 3. Para ello se construyó una estructura metálica formada por postes y alambres que sostenían pencas reales de pitaya, sobre las cuales se colocaron frutos simulados elaborados en goma espuma, con dimensiones equivalentes a las reales. Los frutos se fijaron mediante un sistema de enganche a las pencas, lo que permitió repetir las operaciones de identificación y localización bajo condiciones controladas y validar de forma precisa el comportamiento del sistema de visión.
- En la segunda fase, se realizó la comprobación en condiciones reales de cultivo, Figura 4. Las pruebas se desarrollaron inicialmente en el invernadero de la Finca Experimental Picassent Solar y, posteriormente, en la finca comercial Mipitaya, situada en Puçol. Esta etapa permitió evaluar el desempeño del sistema frente a variaciones reales de iluminación, disposición de la planta y presencia de frutos naturales.



Figura 4: Ensayos de validación del sistema de visión en la finca Mipitaya de Puzol (Valencia).

CONCLUSIONES PT2:

Los resultados obtenidos permiten concluir que la selección de la cámara OAK-D Pro PoE ha sido adecuada para los objetivos planteados, ya que su robustez mecánica y su capacidad para estimar profundidad mediante estereoscopia pasiva la convierten en una solución fiable para operar en el entorno de invernadero. Las pruebas confirmaron que, mediante la fijación del enfoque en un rango de trabajo entre 300 y 700 mm y la corrección del error de profundidad, es posible alcanzar un elevado nivel de precisión, suficiente para guiar al brazo robótico hasta el punto de corte del pedúnculo evitando daños en el fruto y en la planta.

Asimismo, se ha validado la eficacia de una estrategia de percepción estructurada en tres fases (detección general, posicionado orbital y corrección final), que permite aumentar la precisión de forma controlada a medida que el robot se aproxima al fruto. La evolución del sistema ha ampliado la sensibilidad para reconocer pitayas maduras y verdes, y el entrenamiento de modelos de estimación de pose para cabeza, unión y penca ha resultado determinante para reducir el riesgo de aproximaciones erróneas.

En cuanto a la integración, la utilización del protocolo OPC-UA ha facilitado un intercambio de información fluido entre el módulo de visión y el brazo robótico, mientras que la calibración experimental y la definición del TCP asociado al punto central de la cámara han simplificado la planificación de trayectorias. En conjunto, las pruebas en laboratorio y en campo confirman que el sistema ha alcanzado un grado de madurez suficiente para afrontar la siguiente fase del proyecto, centrada en su validación integrada en condiciones reales de producción.

PT3. Diseño, desarrollo y validación de un sistema de visión artificial multispectral para la recolección inteligente y clasificación de calidad, obteniendo la caracterización y estimación del estadio del fruto a través de técnicas avanzadas de deep-learning

Tarea 3.4: Creación y validación de modelos predictivos con deep-learning para la identificación y caracterización de la calidad externa e interna

Líder: GREENVISION **Participantes:** GREENVISION, INDEREN, UPV (ARL)

Duración: M8-M22

Los trabajos desarrollados en esta tarea han permitido validar de forma rigurosa la idoneidad del enfoque basado en deep learning para la estimación no destructiva de la calidad interna de la pitahaya a partir de parámetros externos capturados mediante visión artificial. El análisis detallado del conjunto de datos, la arquitectura propuesta y la estrategia de entrenamiento confirma que las redes neuronales profundas son capaces de modelar relaciones complejas entre variables morfológicas y cromáticas, superando las limitaciones detectadas en aproximaciones estadísticas iniciales. Los resultados obtenidos durante la fase de evaluación muestran que el modelo predice con precisión la tendencia del contenido en azúcares, manteniendo errores medios reducidos y un comportamiento estable en el conjunto de prueba, lo que demuestra su solidez dentro del rango de condiciones considerado. Los resultados estadísticos obtenidos sobre el conjunto completo de 1545 muestras fueron los siguientes: media del error absoluto (μ) = 0,68 °Brix; desviación típica (σ) = 1,58 °Brix; error mínimo = 0,00025 °Brix y error máximo = 29,29 °Brix

Asimismo, el rendimiento observado evidencia que el modelo posee una adecuada capacidad de generalización, con desviaciones concentradas únicamente en casos asociados a estados extremos de madurez, coherentes con la complejidad del problema. A partir de estos resultados, se confirma la viabilidad del sistema como componente predictivo dentro de un proceso de recolección inteligente, al permitir la estimación de un parámetro interno relevante a partir de información externa obtenida por sensores embarcados. En consecuencia, esta tarea sienta una base técnica sólida para fases posteriores del proyecto, proporcionando un modelo funcional validado en entorno controlado y listo para su adaptación e integración en condiciones reales de operación.

Tarea 3.5: Diseño, desarrollo y fabricación de un sistema de visión artificial para la clasificación inteligente en el Dragonbot

Líder: GREENVISION. **Participantes:** GREENVISION, INDEREN, UPV (ARL, ai2)

Duración: M4-M28

Esta tarea tiene como objetivo principal dotar al vehículo de capacidades de percepción y decisión que le permitan evaluar de forma objetiva la calidad del fruto antes de la recolección. Para ello, se emplean técnicas de visión artificial e inteligencia artificial que permiten extraer parámetros externos del fruto y utilizarlos como base para la estimación de su calidad interna.

Durante 2024 se desarrolló un sistema de visión artificial en entorno de laboratorio (box de visión), concebido para trabajar bajo condiciones controladas. Dicho sistema permitió validar el enfoque científico y técnico del proyecto, así como generar los modelos necesarios para la predicción de calidad.

Durante 2025, y en el marco de la Tarea 3.5, se ha realizado un trabajo específico de adaptación, desarrollo e integración del software de visión artificial para su funcionamiento real en el vehículo Dragonbot, lo que ha requerido las siguientes modificaciones técnicas relevantes respecto al software de laboratorio:

- **Adaptación del software de visión desarrollado para el box de laboratorio a condiciones reales de operación, con iluminación no controlada, variaciones de fondo y distancia variable cámara–fruto**

Se ha llevado a cabo la adaptación del software de visión artificial originalmente desarrollado para operar en un box de laboratorio bajo condiciones controladas. En su versión inicial, el sistema estaba diseñado para funcionar con iluminación artificial constante y estable, específicamente configurada para eliminar sombras, reflejos y variaciones cromáticas. Esta configuración permitía la adquisición de imágenes homogéneas y altamente comparables, reduciendo de forma significativa la variabilidad en el análisis visual del fruto.

Asimismo, el entorno visual del laboratorio presentaba un fondo homogéneo y libre de elementos interferentes, lo que facilitaba enormemente la segmentación del fruto y reducía la probabilidad de errores en la delimitación del contorno. La distancia entre la cámara y el fruto se mantenía fija y conocida en todo momento, evitando la necesidad de recalcular escalas y simplificando el tratamiento geométrico de las imágenes. Además, el sistema de visión no estaba sometido a vibraciones ni desplazamientos durante la captura, lo que contribuía a la consistencia de los datos adquiridos y a la alta repetibilidad de los ensayos.

No obstante, estas condiciones no representaban un escenario real de operación agrícola. Por este motivo, el software se ha evolucionado para su integración en el sistema embarcado del Dragonbot, que opera en un entorno caracterizado por una elevada complejidad y variabilidad. La iluminación pasó a depender de factores externos como la hora del día, la orientación del cultivo o la presencia de nubosidad, introduciendo cambios significativos en el aspecto visual del fruto. Del mismo modo, el entorno visual dejó de ser controlado, incorporando fondos complejos formados por hojas, tallos, suelo y estructuras del invernadero, que podían interferir en la percepción del fruto.

Adicionalmente, el sistema de visión pasó a operar sobre un vehículo en desplazamiento, lo que implicó variaciones continuas en la posición y el encuadre del fruto, así como una distancia cámara–fruto variable en cada instante. Esta transición obligó a una evolución profunda del software, que dejó de asumir condiciones ideales y pasó a incorporar mecanismos de robustez, validación y coherencia geométrica para garantizar un funcionamiento estable y fiable en condiciones reales de operación.

- **Ajustes en el tratamiento de la distancia focal y en la conversión de píxeles a unidades métricas, incorporando la distancia como variable de entrada para garantizar la coherencia geométrica en un sistema móvil**

Se han realizado ajustes específicos en el tratamiento geométrico del sistema de visión para adaptarlo a un contexto móvil. En el entorno de laboratorio, la distancia entre la cámara y el fruto se mantenía constante y conocida, lo que permitía realizar una conversión directa y fija de las medidas obtenidas en píxeles a unidades

métricas. Esta configuración simplificaba el procesamiento y evitaba la necesidad de recalcular escalas en cada adquisición.

En el entorno real del Dragonbot, la distancia cámara–fruto dejó de ser constante y pasó a depender de la posición del robot durante la operación. Para resolver esta limitación, se ha incorporado la distancia aproximada entre la cámara y el fruto como un metadato asociado a cada imagen capturada. Este dato se ha utilizado como variable de entrada en el procesamiento, permitiendo realizar una conversión métrica dinámica de las medidas geométricas extraídas.

A partir de la máscara segmentada del fruto, se han calculado variables geométricas como la diagonal mayor, la diagonal menor, el área proyectada y el perímetro. Estas medidas, inicialmente expresadas en píxeles, se han convertido dinámicamente a milímetros utilizando la distancia real al fruto, garantizando la coherencia geométrica del sistema en un entorno móvil y asegurando la validez de las variables geométricas empleadas posteriormente en la predicción de calidad.

- **Adaptación y ajuste del modelo de segmentación (YOLO con máscara) para mantener estabilidad del contorno en presencia de sombras, reflejos y cambios de exposición**

Se ha adaptado y ajustado el modelo de segmentación basado en inteligencia artificial para su funcionamiento en condiciones reales de operación. En el entorno de laboratorio, la iluminación artificial controlada y el fondo homogéneo reducían de forma significativa la dificultad de la segmentación, facilitando la delimitación precisa del contorno del fruto.

En el entorno real del Dragonbot, la segmentación se ha visto condicionada por la presencia de iluminación natural variable, sombras parciales, reflejos, cambios de exposición y fondos no controlados. Para afrontar esta situación, el software ha integrado un modelo de segmentación que delimita el contorno del fruto mediante una máscara, permitiendo identificar de forma explícita la región correspondiente al fruto y separarla del entorno.

La segmentación ha permitido aislar el fruto de elementos externos como hojas, tallos o estructuras del invernadero, reduciendo la influencia del entorno en el análisis posterior. El software ha incorporado mecanismos de validación de la máscara obtenida y ha descartado resultados no fiables antes de continuar el flujo de procesamiento, reforzando la estabilidad del contorno y la fiabilidad de las variables extraídas en presencia de perturbaciones visuales.

- **Modificaciones en el preprocesado de imagen y extracción de características, necesarias para garantizar que las variables de entrada al modelo predictivo fueran comparables a las obtenidas en laboratorio**

Se han introducido modificaciones en el preprocesado de la imagen con el fin de adaptar la entrada del sistema de visión a las condiciones reales de operación. Antes de la inferencia, la imagen se ha transformado al tamaño y formato requeridos por el modelo de segmentación, garantizando la compatibilidad entre la imagen adquirida y el modelo de inteligencia artificial empleado.

Se han aplicado ajustes estándar destinados a reducir variaciones extremas que pudieran afectar al procesamiento, contribuyendo a una mayor estabilidad del sistema frente a condiciones cambiantes. Asimismo, el software ha incorporado un proceso de validación de la imagen de entrada, comprobando que cumplía unos requisitos mínimos antes de continuar el flujo, evitando así el procesamiento de imágenes no válidas.

Una vez obtenida la máscara del fruto, la extracción de características geométricas y cromáticas se ha realizado exclusivamente sobre la región segmentada. En el caso de las características cromáticas, se han calculado los valores medios de los canales rojo, verde y azul únicamente sobre la superficie del fruto, eliminando la contaminación por fondo y evitando la influencia de hojas, sombras externas o suelo. Este enfoque ha resultado especialmente sensible en campo y ha requerido una adaptación específica del software respecto al entorno de laboratorio.

Antes de la predicción de calidad interna, se ha aplicado el mismo proceso de normalización utilizado durante el entrenamiento del modelo, garantizando la coherencia estadística entre los datos de entrenamiento y los datos

generados en campo. Adicionalmente, el software ha verificado la coherencia de las variables de entrada, reduciendo la probabilidad de obtener resultados aberrantes durante la inferencia.

- Integración completa del flujo software en el sistema embarcado del Dragonbot, incluyendo comunicación con el sistema de control y toma de decisiones operativas

Se ha llevado a cabo la integración completa del flujo software del sistema de visión artificial en el sistema embarcado del Dragonbot. La arquitectura del software se ha apoyado en un flujo de procesamiento bien definido, desde la adquisición de la imagen hasta la generación de la decisión final, facilitando la trazabilidad del proceso y la identificación del origen de posibles errores.

La interacción con el sistema de control del Dragonbot se ha realizado mediante una comunicación estandarizada basada en el protocolo OPC UA, lo que ha permitido separar claramente el sistema de visión del sistema de control. Se han definido estados claros de funcionamiento, como reposo, procesamiento y resultado, facilitando la supervisión, el diagnóstico y la sincronización entre módulos.

Todo el flujo (captura de imagen, asociación de la distancia cámara) fruto, preprocesado, segmentación, extracción de características, predicción del contenido de azúcares y generación de decisión — se ha ejecutado sobre un único equipo y utilizando la misma cámara que emplea el robot para percibir su entorno. Esta decisión ha garantizado una coherencia total entre percepción y actuación, ha reducido latencias, ha simplificado la arquitectura del sistema y ha permitido que las salidas generadas se tradujeran directamente en decisiones operativas binarias (fruto apto / no apto) utilizables por la lógica de control del robot.

Tarea 3.6: Pruebas de validación del sistema de visión artificial y los modelos predictivos generados para la clasificación inteligente de la pitaya.

Líder: GREENVISION **Participantes:** GREENVISION, INDEREN, UPV (ARL, ai2)

Duración: M19-M28

Los ensayos de comprobación realizados confirman la viabilidad técnica y operativa del sistema de visión artificial embarcado en el vehículo Dragonbot para la evaluación de la calidad de frutos en un entorno de invernadero agro-voltaico. El sistema ha sido capaz de operar en condiciones reales de campo, integrando de forma efectiva los componentes hardware y software y generando información útil para la toma de decisiones asociadas a la recolección.

Durante los ensayos se ha validado el funcionamiento completo del proceso, desde la captura de imágenes en campo hasta la generación de una salida de clasificación operativa. La secuencia de adquisición, segmentación, extracción de características geométricas y cromáticas, predicción de azúcares y categorización final se ejecutó de manera estable, demostrando que el enfoque planteado es técnicamente sólido y aplicable fuera de entornos controlados.

El modelo de segmentación basado en YOLO, tras su adaptación a condiciones de iluminación no controlada, ha mostrado un comportamiento global adecuado para su uso en campo. Si bien se han identificado degradaciones puntuales en escenarios complejos, la calidad de las máscaras obtenidas ha sido suficiente para permitir la extracción de características relevantes del fruto y alimentar correctamente las etapas posteriores del sistema.

El sistema fue capaz de producir de forma consistente una categorización operativa del fruto, basada en la información visual y geométrica extraída en tiempo real, Figura 5. Las salidas generadas mostraron una coherencia general con el estado visual de los frutos observados, permitiendo distinguir diferentes rangos de calidad y maduración de manera funcional.

Las discrepancias detectadas en algunos casos no impidieron el uso del sistema como herramienta de apoyo, ya que la salida generada se mantuvo dentro de márgenes interpretables para un uso práctico en campo. Estas

observaciones ponen de manifiesto que el sistema cumple su objetivo principal de evaluación operativa, si bien los factores que influyen en dichas discrepancias serán analizados en detalle en el apartado siguiente.



Figura 5: Ejemplo de estimación de la calidad de los frutos por el sistema integrado en el prototipo robot basado en análisis de imagen en condiciones de campo.

El sistema ha demostrado capacidad para **categorizar frutos de forma operativa**, aportando una estimación coherente del estado de calidad y madurez a partir de información visual. Aunque las predicciones de azúcares no deben interpretarse como mediciones exactas en todos los escenarios, sí resultan útiles como indicador relativo dentro de un proceso de apoyo a la decisión, especialmente cuando se consideran tendencias y comparaciones entre frutos.

Las discrepancias observadas durante los ensayos se explican de manera consistente por dos factores principales: la aparición de variedades distintas a las empleadas durante el entrenamiento del predictor y la variabilidad lumínica propia del entorno agro-voltaico. Ambos factores introducen un desplazamiento del dominio de datos que afecta a la estabilidad de las relaciones aprendidas por el modelo, sin comprometer la validez general del enfoque.

Las posibles líneas de evolución futura del sistema se basarían en la realización de ensayos con iluminación controlada, la ampliación del entrenamiento a nuevas variedades y la posible inclusión explícita de la variedad como parámetro de entrada del predictor.

CONCLUSIONES PT3:

Los trabajos desarrollados en esta tarea han permitido validar de forma rigurosa la idoneidad del enfoque basado en deep learning para la estimación no destructiva de la calidad interna de la pitahaya a partir de parámetros externos capturados mediante visión artificial. Los resultados obtenidos durante la fase de evaluación muestran que el modelo predice con precisión la tendencia del contenido en azúcares, manteniendo errores medios reducidos y un comportamiento estable en el conjunto de prueba, lo que demuestra su solidez dentro del rango de condiciones considerado. Los resultados estadísticos obtenidos sobre el conjunto completo de 1545 muestras fueron los siguientes: media del error absoluto (μ) = 0,68 °Brix; desviación típica (σ) = 1,58 °Brix; error mínimo = 0,00025 °Brix y error máximo = 29,29 °Brix. Asimismo, el rendimiento observado evidencia que el modelo posee una adecuada capacidad de generalización, con desviaciones concentradas únicamente en casos asociados a estados extremos de madurez, coherentes con la complejidad del problema.

Los ensayos de comprobación realizados confirman la viabilidad técnica y operativa del sistema de visión artificial embarcado en el vehículo Dragonbot para la evaluación de la calidad de frutos en un entorno de invernadero agro-voltaico. Durante los ensayos se ha validado el funcionamiento completo del proceso, desde la captura de imágenes en campo hasta la generación de una salida de clasificación operativa. La secuencia de adquisición,

segmentación, extracción de características geométricas y cromáticas, predicción de azúcares y categorización final se ejecutó de manera estable, demostrando que el enfoque planteado es técnicamente sólido y aplicable fuera de entornos controlados.

El modelo de segmentación basado en YOLO, tras su adaptación a condiciones de iluminación no controlada, ha mostrado un comportamiento global adecuado para su uso en campo, y el sistema fue capaz de producir de forma consistente una categorización operativa del fruto, basada en la información visual y geométrica extraída en tiempo real. Aunque las predicciones de azúcares no deben interpretarse como mediciones exactas en todos los escenarios, sí resultan útiles como indicador relativo dentro de un proceso de apoyo a la decisión, especialmente cuando se consideran tendencias y comparaciones entre frutos.

Desde el punto de vista de ingeniería e integración, el sistema de visión artificial ha sido evolucionado con éxito desde un entorno de laboratorio hacia un contexto agrícola real. El software ha incorporado tolerancia a variaciones lumínicas, movimiento del sistema y fondos no controlados, manteniendo la validez del enfoque inicial en condiciones operativas. Se ha definido e implementado un flujo de procesamiento completo, claro y reproducible, alineado con el funcionamiento real del robot, integrando de forma coherente adquisición, procesamiento, inferencia y toma de decisión, lo que permite una operación autónoma del sistema.

La integración mediante estándares industriales ha resultado clave para garantizar una comunicación robusta y escalable entre el sistema de visión y el sistema de control del vehículo, reforzando la alineación del desarrollo con arquitecturas industriales reales. Asimismo, la unificación de hardware y sensores sobre un único equipo y una única cámara ha demostrado ser la opción más eficiente desde el punto de vista técnico, energético y operativo, permitiendo cumplir los objetivos del sistema sin necesidad de incorporar hardware adicional.

Finalmente, las discrepancias observadas durante los ensayos pueden explicarse principalmente por la presencia de variedades no contempladas durante el entrenamiento del predictor y por la variabilidad lumínica propia del entorno agro-voltaico. Estos resultados permiten definir con claridad las líneas de evolución futura del sistema, centradas en la ampliación del entrenamiento a nuevas variedades, la posible inclusión explícita de la variedad como parámetro de entrada y la realización de ensayos adicionales bajo condiciones de iluminación más controladas.

PT4. Diseño, desarrollo y validación de la plataforma robótica autónoma para recolección y monitorización inteligente de pitaya

Tarea 4.5. Validación del robot recolector en condiciones reales de producción de pitaya en invernadero fotovoltaico

Líder: UPV (ARL). **Participantes:** UPV (ARL), INDEREN, GREENVISION, NUTAI

Duración: M12-M28

Las pruebas de campo se han completado con éxito tras disponer de la primera versión del prototipo con movimiento automatizado, validando su operatividad en escenarios representativos del entorno real de trabajo. El proceso se ha desarrollado las siguientes fases:

- Fase 1: Validación individual de subsistemas

En los ensayos previos se realizaron comprobaciones específicas para garantizar el correcto funcionamiento de los componentes principales:

- Sistema de posicionamiento de la garra robótica.
- Sistema de corte mediante sierra eléctrica.
- Sistema de navegación de la plataforma con el brazo en posición de recolección.

- Sistema de evaluación de la calidad óptima para la recolección.

Estas validaciones permitieron asegurar la operatividad de cada subsistema antes de la integración completa.

- Fase 2: Ensayos integrados en condiciones reales

En esta etapa se verificó el funcionamiento del prototipo en operaciones concretas de recolección de fruta real, evaluando la coordinación entre la plataforma móvil, el brazo robótico, la garra y el sistema de visión artificial, Figura 6.



Figura 6: Funcionamiento del prototipo en condiciones de campo.

Asimismo, se llevaron a cabo dos tandas de ensayos en condiciones de campo: dos días de pruebas continuas en el invernadero sostenible de Inderen (Picasent) y cuatro días de pruebas en la finca comercial MiPitaya (Puzol) .

Los ensayos confirmaron la correcta integración de los subsistemas y la capacidad del robot para realizar la recolección autónoma en entornos productivos.

La plataforma móvil demostró una navegación autónoma estable entre filas de vegetación heterogénea, manteniendo la precisión incluso durante maniobras complejas. Se validó la eficiencia del sistema de paro y arranque, la seguridad en giros mediante bloqueo de tijeras y retracción del brazo, y la respuesta ante la presencia de operarios. El sistema de gestión de baterías cumplió los objetivos previstos, considerando el consumo por desplazamiento, operación del brazo, accionamiento de la garra y funcionamiento del sistema de visión.

La interacción entre el sistema de visión artificial y los actuadores mecánicos permitió la identificación y localización precisa del fruto, así como la ejecución eficiente de la operación de recolección. La coordinación entre todos los subsistemas ha sido satisfactoria, cumpliendo los objetivos de diseño y demostrando la viabilidad del prototipo para su aplicación en entornos productivos reales de campo. Estos resultados constituyen una base para futuras mejoras orientadas a incrementar la autonomía y eficiencia del sistema en condiciones reales de campo con diferentes condiciones de iluminación y distintas variedades.

CONCLUSIONES PT4

Los resultados experimentales obtenidos confirman el correcto funcionamiento del sistema de comunicación implementado. La plataforma respondió de manera consistente a las órdenes transmitidas a través del protocolo RS232, avanzando exactamente la distancia estipulada en cada ensayo en el que se emitió la orden correspondiente. Asimismo, en todas las situaciones en las que no se envió una orden de avance, la plataforma permaneció completamente detenida, sin registrar movimientos no deseados. Estos resultados validan la fiabilidad del enlace de comunicación y demuestran su adecuación para aplicaciones de control secuencial basadas en estrategias stop-and-go.

La correcta ejecución de las órdenes de movimiento y la estabilidad del control constituyen un elemento fundamental para el desempeño global del sistema, ya que sirven como base para la integración efectiva de los distintos subsistemas que conforman la plataforma robótica. Sobre esta base de control confiable, fue posible evaluar el comportamiento del sistema completo durante las operaciones de navegación y recolección en entornos reales.

Los ensayos han confirmado el correcto funcionamiento integrado de la plataforma robótica en condiciones representativas del proceso de recolección. La plataforma móvil ha demostrado una navegación autónoma estable en entornos de campo, manteniendo la precisión incluso durante operaciones que implican el contrapeso del brazo y la garra robótica. Además, el conjunto ha mostrado una interacción eficiente con el sistema de visión artificial para la identificación y localización del fruto, y con el brazo y la garra para la ejecución de la operación de recolección de las pitayas.

La coordinación entre los subsistemas ha sido satisfactoria, validando la operatividad del prototipo como una solución completa. Asimismo, se ha verificado la capacidad del sistema para detectar y evitar obstáculos, garantizando la seguridad durante las maniobras. En conjunto, los resultados evidencian el cumplimiento de los objetivos de diseño y rendimiento planteados, demostrando la viabilidad del sistema para su aplicación en entornos productivos de campo y estableciendo una base sólida para futuras mejoras orientadas a incrementar su operatividad.

PT5. Diseño, desarrollo y validación de brazo manipulador con garra colaborativo para la manipulación y recolección de pitayas en invernadero

Tarea 5.4. Rediseño de modelos o desarrollo de nuevas alternativas de manipulación y corte de pedúnculo

Líder: UPV (ai2). Participantes: UPV (ai2), NUTAI, INDEREN

Duración: M14-M21

Durante esta tarea se llevaron a cabo pruebas experimentales y trabajos de validación funcional del sistema robótico de recolección de pitaya, con el objetivo de evaluar su viabilidad técnica y definir mejoras de diseño y de operativa de cara a su evolución futura.

Se realizaron pruebas iniciales con distintos modelos de garra en el invernadero de Inderen (Picassent, Valencia) y, posteriormente, se efectuó una jornada de ensayos en el invernadero MiPitaya (Puçol, Valencia), aprovechando su floración tardía. Estas pruebas permitieron validar por primera vez el funcionamiento del brazo robot integrado en la plataforma robot móvil en un entorno real de cultivo. Durante los ensayos se evaluaron de forma independiente los sistemas de navegación y de recolección, verificándose la correcta integración mecánica del conjunto y la estabilidad de la plataforma durante la ejecución de la operativa de recolección.



Figura 7: Primeras pruebas de garra con chasis con circuitos integrados

A partir de los resultados obtenidos se llevó a cabo un análisis comparativo de dos sistemas de garra con tecnologías de corte diferentes: corte neumático y corte eléctrico. El sistema neumático mostró una capacidad adecuada de corte del pedúnculo, pero presentó limitaciones geométricas y riesgos de colisión en determinadas trayectorias, especialmente en frutos situados en zonas bajas de la planta. Tras analizar posibles modificaciones y alternativas comerciales, se concluyó que este sistema no ofrecía garantías suficientes de mejora, por lo que se decidió priorizar el desarrollo del sistema de corte eléctrico. En la figura 7 se muestra el sistema de garra.

El modelo de garra con corte eléctrico por vibración demostró un comportamiento satisfactorio en cuanto a agarre, corte, desprendimiento y transporte del fruto, así como una mayor versatilidad y facilidad de adaptación al cultivo. Se analizaron distintas configuraciones de dedos flexibles y sistemas de sujeción trasera, seleccionándose como opción preferente el uso de un quinto dedo flexible trasero frente a soluciones pasivas, al reducir el riesgo de daños en el fruto y mejorar la estabilidad durante la recolección.

Con el fin de mejorar la fiabilidad del sistema neumático y reducir riesgos operativos, se diseñó y fabricó un modelo alternativo de garra con circuitos neumáticos integrados en el propio chasis. Este primer prototipo se fabricó mediante impresión 3D por tecnología FDM y permitió validar el concepto funcional, si bien se detectaron ligeras fugas de aire que evidenciaron la necesidad de emplear tecnologías de fabricación más avanzadas en fases posteriores.

Asimismo, se desarrollaron y evaluaron nuevos modelos de dedos flexibles, detectándose problemas de estanqueidad en algunos de ellos. Se realizaron pruebas con distintos tratamientos superficiales y se iniciaron acciones con el proveedor para la corrección de estos defectos o la búsqueda de alternativas que garanticen la funcionalidad requerida.

En paralelo, se llevó a cabo el desarrollo inicial de la programación del brazo robot en modo local, definiendo una operativa basada en posiciones y orientaciones variables que permita, en fases posteriores, la integración con un sistema de visión artificial. Estas pruebas se realizaron tanto en laboratorio como sobre un modelo artificial de cultivo, permitiendo validar trayectorias, filtrados de coordenadas y estrategias de aproximación seguras, minimizando riesgos de singularidades y paradas de protección.

Adicionalmente, se inició el desarrollo de la programación del robot en modo remoto, mediante comunicación con un PC industrial utilizando lenguaje Python y librerías de comunicación específicas del fabricante, sentando las bases para la futura integración mediante protocolo OPC UA con el resto de los subsistemas del proyecto.

Finalmente, se seleccionaron y validaron los equipos auxiliares necesarios para la operativa del sistema, incluyendo un inversor de potencia para la alimentación eléctrica del brazo robot desde las baterías de la

plataforma y un sistema de almacenamiento de aire comprimido mediante calderín, con el objetivo de garantizar la estabilidad energética y neumática durante el ciclo completo de recolección.

Adicionalmente, se abordó la calibración del sistema de visión como un proceso fundamental para establecer una correspondencia precisa entre la información capturada por la cámara y los movimientos físicos ejecutados por el robot. El método implementado se basó en el uso de una plantilla estándar (checkerboard) de tamaño configurable, posicionada frente a la cámara OAK-D Pro, realizando una serie de capturas desde diferentes posiciones y orientaciones del brazo robótico. A partir de estas imágenes, se calculó la relación espacial entre el sistema de referencia de la cámara y el sistema de coordenadas del robot, optándose por un enfoque experimental para compensar errores mecánicos derivados del montaje y tolerancias estructurales.

Como evolución técnica, se modificó la gestión de coordenadas definiendo explícitamente el TCP (Tool Center Point) en el punto central de la cámara, de modo que todas las coordenadas medidas por el sistema de visión se expresan de forma relativa a dicho TCP. De forma complementaria, se realizó un ajuste del comportamiento intrínseco de la cámara para maximizar la precisión en el rango de trabajo relevante para la recolección: se desactivó el enfoque automático y se fijó el plano de enfoque para distancias comprendidas entre 300 y 700 mm. Asimismo, a partir de los datos obtenidos en las pruebas de laboratorio, se entrenó un modelo de regresión lineal destinado a corregir el error sistemático de medición de profundidad detectado en dicho rango. Los resultados tras esta calibración muestran un error medio total de 0,91 mm, con una desviación estándar de 0,65 mm, métricas validadas mediante ensayos con ejes lineales de alta precisión.

En paralelo, el diseño del acople mecánico de la cámara evolucionó de manera progresiva durante la integración con el brazo y las pruebas en entornos controlados y de campo. Las primeras versiones se plantearon con un enfoque universal para validar la captación, orientación y montaje ante una disposición final aún no definida. Posteriormente, se desarrollaron iteraciones intermedias orientadas a reducir tamaño y volumen y a simplificar el diseño, incorporando mejoras de robustez y elementos de refrigeración pasiva y ventilación mediante huecos y aperturas. La versión final del acople corresponde a la solución más compacta e integra la reducción máxima de volumen y huecos de ventilación/disipación pasiva, quedando optimizada y orientada a operación real.

Tarea 5.5. Integración del dispositivo sobre plataforma móvil, sistema de visión y coordinación entre dispositivos

Lidera: UPV (ai2). **Participantes:** UPV (ai2), INDEREN, GREENVISION, NUTAI

Duración: M20-M26

Durante esta tarea se realizó la integración y validación del sistema completo de recolección automatizada e inteligente de pitayas. El prototipo desarrollado integró una plataforma robótica móvil, un brazo robot con garra específica de recolección y un sistema de visión artificial para la detección, posicionamiento 3D e inspección de calidad del fruto, permitiendo la ejecución autónoma de la operativa de recolección.



Figura 8: Prototipo usado en últimas pruebas en invernadero

Se continuó con el desarrollo y mejora de los dedos flexibles de la garra, figura 8, realizando iteraciones de diseño, fabricación y simulación para resolver problemas de estanqueidad y garantizar su durabilidad y comportamiento mecánico. Paralelamente, se implementó y ajustó la ubicación definitiva de la cámara de visión en la garra, optimizando su campo visual para la detección del fruto y la referencia del punto de corte mediante el extremo de la cuchilla.

Se desarrolló la comunicación entre el sistema de visión y el brazo robot mediante protocolo OPC UA, utilizando scripts en Python ejecutados desde un PC industrial, lo que permitió coordinar la detección, el posicionamiento y la ejecución de la secuencia de recolección. La programación se validó inicialmente en laboratorio mediante un modelo artificial de cultivo, definiendo trayectorias, límites de alcance y estrategias de aproximación seguras.

Posteriormente, se integraron los equipos auxiliares necesarios en la plataforma robótica y se realizaron pruebas de funcionamiento en invernadero con pitayas reales, ajustando los algoritmos del sistema de visión mediante reentrenamiento con datos reales. Estas pruebas permitieron validar la correcta ejecución del ciclo completo de recolección, con cortes precisos del pedúnculo y recogida del fruto sin daños significativos.

Como mejora adicional, se desarrolló un modelo de garra con circuitos neumáticos integrados que simplifica el diseño y mejora la robustez del sistema, el cual fue fabricado y validado en laboratorio, quedando disponible para futuras fases de explotación y demostración del proyecto.

Además, se definió el flujo completo de funcionamiento del sistema de visión para su integración con el sistema de control del Dragonbot. El sistema de control genera una petición de evaluación de calidad cuando detecta un fruto susceptible de ser analizado, y dicha petición se transmite al sistema de visión mediante una interfaz de comunicación estandarizada (OPC UA). Una vez recibida la petición, se adquiere la imagen del fruto utilizando la misma cámara que emplea el robot para percibir su entorno durante la navegación, registrando junto con la imagen la distancia aproximada cámara-fruto para realizar la conversión métrica de las medidas extraídas posteriormente.

Antes de la inferencia, la imagen se adapta al formato requerido por el modelo, se aplican ajustes estándar de estabilidad y se valida la imagen de entrada. A continuación, el sistema ejecuta un modelo de segmentación basado en inteligencia artificial que delimita el contorno del fruto mediante una máscara, aísla el fruto del fondo y proporciona la base para el cálculo de características, validando la máscara obtenida y descartando resultados no fiables. A partir de la máscara segmentada se calculan características geométricas (diagonal mayor, diagonal menor, área proyectada y perímetro), convirtiéndose dinámicamente de píxeles a milímetros utilizando la

distancia real al fruto. Asimismo, se extraen características cromáticas mediante el cálculo del color medio (R, G, B) exclusivamente sobre la superficie segmentada, evitando la contaminación por fondo.

Posteriormente, se normalizan las variables de entrada conforme al entrenamiento del modelo y se verifica la coherencia de los datos antes de la predicción, obteniéndose una estimación del contenido de azúcares del fruto. Este valor continuo se compara con un umbral operativo para generar una decisión binaria (fruto apto o no apto para la recolección), que se transmite al sistema de control del Dragonbot mediante OPC UA. El uso de OPC UA permite separar claramente el sistema de visión del sistema de control, definir estados claros de funcionamiento (reposo, procesamiento y resultado), facilitar la escalabilidad futura del sistema e integrar el módulo de visión sin dependencia directa del resto del software.

Finalmente, se optó por integrar la captura de imagen, el procesamiento de visión, la inferencia de modelos y la comunicación con el sistema de control sobre el mismo equipo y cámara, garantizando la coherencia total percepción-actuación, reduciendo latencias, simplificando el sistema, disminuyendo el consumo energético y facilitando el mantenimiento y la escalabilidad.

CONCLUSIONES PT5

Las pruebas realizadas en invernadero permitieron evaluar los modelos de garra y aplicar mejoras de diseño, determinándose que el sistema de corte eléctrico es la opción más adecuada para continuar su desarrollo por su buen funcionamiento, compacidad, facilidad de maniobra e integración de la cámara. Para la integración del sistema autónomo de recolección se seleccionó un inversor para alimentar el brazo robot y otros equipos, y se incorporó un calderín de 2 L para evitar pérdidas de presión durante el agarre y descarga de las pitayas.

En cuanto a la programación, se desarrollaron y validaron pruebas tanto en modo local como remoto mediante scripts en Python, sentando las bases para la comunicación por protocolo OPC UA. Se implementó una comunicación bidireccional entre el brazo robot y el sistema de visión, permitiendo la ejecución de tareas en función del estado de variables compartidas.

Finalmente, se integraron todos los componentes del sistema y se diseñaron nuevos dedos flexibles y piezas de garra más resistentes, logrando validaciones satisfactorias en invernadero y una recolección mayoritaria de pitayas sin daños significativos.

PT6. Validación del sistema de recolección inteligente en la Finca experimental Picassent Solar

T6.1 Validación en condiciones reales el uso del sistema de recolección inteligente en el invernadero Finca Picassent Solar: caso de estudio de la pitaya

Líder: UPV (ARL). Participantes: UPV (ARL, ai2), INDEREN, GREENVISION

Duración: M19- M28

Durante el Paquete de Trabajo 6 se llevó a cabo la validación del sistema de recolección inteligente desarrollado en el proyecto DRAGONBOT en un entorno real de operación, concretamente en la Finca experimental Picassent Solar, caracterizada por su configuración de invernadero agrovoltáico. Este paquete de trabajo supuso la transición desde la validación de subsistemas individuales hacia la evaluación del sistema completo en condiciones productivas reales.

La validación se realizó en un entorno con elevada variabilidad lumínica, sombras dinámicas y fondos visuales complejos, propios de explotaciones agrovoltáicas reales, lo que permitió evaluar la robustez del sistema más allá de condiciones controladas de laboratorio, Figura 9. El sistema validado integró de forma funcional el sistema de visión artificial embarcado, los modelos de segmentación y predicción de calidad interna del fruto, la lógica de decisión operativa y su integración con el flujo de operación del vehículo robótico.



Figura 9: Brazo y garra robótica bajo estructura agrovoltaica.

El sistema fue sometido a pruebas en condiciones reales de operación con el objetivo de verificar su comportamiento fuera del entorno controlado de laboratorio. Estas pruebas no se orientaron únicamente a validar métricas aisladas, sino a comprobar el funcionamiento global del sistema dentro del flujo operativo real del robot.

Durante los recorridos reales por las líneas de cultivo, el sistema mostró un funcionamiento estable y continuo, siendo capaz de capturar imágenes en movimiento, detectar y segmentar frutos, extraer parámetros externos, ejecutar la inferencia del modelo predictivo y generar una categorización operativa interpretable en tiempo real. La integración hardware–software resultó satisfactoria, sin incidencias críticas que comprometieran la operación. En particular, se comprobó que todas las etapas del flujo de procesamiento, adquisición de imagen, preprocesado, segmentación, extracción de características, predicción y generación de decisión, se ejecutan de forma secuencial y continua, sin bloqueos ni interrupciones, confirmando su viabilidad para un uso prolongado en campo.

Asimismo, se validó la correcta sincronización entre el sistema de visión y el sistema de control del Dragonbot mediante el intercambio de estados y señales a través de OPC UA. Se verificó que las peticiones de evaluación, los cambios de estado (idle, working) y la devolución de resultados se producen de forma coherente y sincronizada.

El sistema demostró una adecuada adaptación al entorno agrovoltaico, manteniendo su funcionalidad pese a sombras parciales, contrastes elevados y variaciones cromáticas inducidas por la iluminación natural. El sistema operó bajo condiciones reales de iluminación natural, incluyendo sombras parciales, cambios de exposición y fondos complejos propios del entorno agrícola y, a pesar de esta variabilidad, mantuvo un comportamiento funcional consistente.

Además, se validó la utilidad real de la lógica de recolección inteligente, confirmándose que la predicción de calidad interna proporciona información accionable compatible con una toma de decisiones automatizada para la recolección selectiva. Las salidas del sistema, expresadas en forma de decisión operativa (fruto apto / no apto), resultaron directamente utilizables por la lógica de control del robot, demostrando que el sistema de visión aporta valor práctico al proceso de recolección.

Finalmente, la validación permitió identificar limitaciones actuales del sistema, principalmente relacionadas con la dependencia de variables cromáticas sensibles a la iluminación, la generalización del modelo y la influencia de sombras intensas y oclusiones. Estas limitaciones delimitan el estado de madurez alcanzado y aportan información relevante para orientar futuras fases de optimización y escalado del sistema.

CONCLUSIONES PT6

La validación en la Finca experimental Picassent Solar confirma que el sistema de recolección inteligente desarrollado en el proyecto DRAGONBOT es técnicamente viable y funcional en un entorno agrícola real, incluso en condiciones agrovoltáicas exigentes.

El sistema integra de forma efectiva percepción, análisis y toma de decisiones, actuando como una solución completa y robusta para la automatización de la recolección selectiva. Además, reduce la dependencia de la mano de obra intensiva y de criterios subjetivos, y establece una base sólida para futuras fases de optimización, escalado y preindustrialización, cumpliendo plenamente los objetivos del PT6 y cerrando el ciclo de validación en campo del proyecto.

PT7. Comunicación y Difusión del Proyecto

T7.1: Creación, puesta en marcha, y seguimiento de un plan de difusión para el proyecto. (INDEREN) M1-M28.

Líder: INDEREN. Participantes: INDEREN, UPV (ARL), GREENVISION, NUTAI

Duración: M13- M28

Todos los socios del proyecto han colaborado activamente en dar a conocer los resultados y avances del proyecto mediante la publicación de contenidos en sus canales propios, la participación en eventos y webinars, la difusión de anuncios relevantes en sus páginas web corporativas y la comunicación periódica a través de las redes sociales de cada entidad. Estas acciones se han orientado a asegurar una visibilidad continuada del proyecto durante su ejecución, cubriendo tanto el lanzamiento como la difusión de hitos y resultados a medida que se alcanzaban.

Toda la comunicación ha estado coordinada entre los distintos agentes públicos y privados del sector, desempeñando un papel fundamental en la identificación de tecnologías innovadoras, en el establecimiento de una colaboración público-privada fluida y de confianza mutua y en la detección de nuevas demandas de I+D+i sectoriales. Para alcanzar los objetivos del plan de comunicación, se han desarrollado e implementado diversas actividades a lo largo del proyecto, asegurando coherencia en los mensajes y consistencia en la presentación de los contenidos divulgativos.

Como eje central de difusión, se ha creado y puesto en marcha una página web específica del proyecto, diseñada de forma intuitiva y actualizada periódicamente con información relevante sobre su desarrollo y avances:

<https://www.dragonbot.es/>

Adicionalmente, cada uno de los socios ha publicado en su propia página web corporativa una entrada informativa con los aspectos fundamentales del proyecto. En concreto:

- INDEREN publicó la presentación del proyecto DRAGONBOT en su sitio web corporativo, describiendo sus objetivos y enfoque: <https://inderen.es/es/presentacion-proyecto-dragonbot-inderen/>
- NUTAI difundió una entrada específica sobre la recolección inteligente de pitaya en el contexto del proyecto DRAGONBOT, destacando el uso de tecnologías de automatización y visión artificial: <https://nutai.com/actualidad/recoleccion-inteligente-pitaya-dragonbot/>

Asimismo, se ha desarrollado una imagen corporativa e identidad visual propia, utilizada de manera homogénea en todos los materiales de comunicación y difusión, reforzando el reconocimiento del proyecto en las distintas plataformas empleadas.

En paralelo, se han realizado acciones de difusión digital a través de la web y redes sociales del consorcio, cubriendo las principales fases del proyecto: lanzamiento, hitos relevantes y cierre del mismo. El primer comunicado oficial se publicó tras la aceptación de la resolución definitiva de concesión del proyecto, y se difundió a través de los canales corporativos, incluyendo:

- **LinkedIn:** <https://www.linkedin.com/feed/update/urn:li:activity:7404932202855194625>
- **Facebook:**
<https://www.facebook.com/INDEREN.ENERGIA/posts/pfbid025WujtKaSspuN4jk5ymdnyme47cY1jHpvos9uwMME2HkPsvCx6EHDZGueZMm4t8TYI>
- **X / Twitter:** https://x.com/INDEREN_ENERGIA/status/1999168975377219946
- **Google My Business:** <https://share.google/OmmRcfALIM2jv7NqY>

T7.2: Difusión entre el sector agronómico mediante demostraciones, simposios, notas de prensa, y artículos de divulgación.

Líder: UPV (ARL). **Participantes:** UPV (ARL), INDEREN, NUTAI

Duración: M1- M28

Con el fin de promover la transferencia de conocimiento y la difusión de los resultados del proyecto en el sector agronómico y científico-técnico, se han llevado a cabo diversas acciones de divulgación mediante la participación activa en congresos, simposios y foros especializados, así como a través de la publicación de artículos científicos y técnicos.

Estas actuaciones han permitido dar visibilidad a las tecnologías desarrolladas, fomentar el intercambio de conocimiento con la comunidad investigadora y profesional, y validar los avances del proyecto en entornos científicos de reconocido prestigio.

Presentaciones a congresos y simposios:

Durante el desarrollo del proyecto, se han presentado distintos trabajos en congresos nacionales e internacionales relevantes del ámbito de la ingeniería agronómica, la robótica agrícola y la visión artificial, entre los que destacan:

- Agricultural Engineering Challenges in Existing and New Agroecosystems AgEng2024, Atenas 1-4 Julio 2024: <https://pcoconvin.eventsair.com/ageng24/>
- Madrigal, C. A., Rovira-Más, F., Cuenca, A. C., Blanes, C., Sanchez, M. C. O., & Alegre, V. (2025). Evaluación de una plataforma inteligente dotado de un sistema de recolección para la fruta del dragón. Simposios del Comité Español de Automática (CEA): <https://doi.org/10.64117/simposioscea.v1i1.53>

Este trabajo fue distinguido con el **Premio al Mejor Trabajo de Robótica Agrícola** en el **Simposio CEA de Robótica, Bioingeniería, Visión Artificial y Automática Marina**, celebrado del 4 al 6 de junio en Almería, lo que pone de manifiesto la relevancia y calidad de los resultados obtenidos, figura 10.



Figura 10: Evidencia del premio al mejor trabajo de robótica agrícola

- González-Planells, P., Calé-Cristóbal, D., Alegre, V., Rovira-Más, F., Ortiz C. Evaluación de daños externos en productos de alto valor añadido mediante análisis de imagen. XIII Congreso Ibérico de AgroEngenharia - XIII Congreso Ibérico de Agroingeniería 21-23/07/2025
- González-Planells, P., Calé-Cristóbal, D., Blanes, C., Ortiz C. Manipulación mediante una garra robot de productos agrícolas delicados de alto valor añadido. XIII Congreso Ibérico de AgroEngenharia - XIII Congreso Ibérico de Agroingeniería 21-23/07/2025

Impacto de la difusión

La participación en estos eventos ha permitido difundir los avances del proyecto entre profesionales del sector agronómico, investigadores y agentes tecnológicos, reforzando la transferencia de resultados, el posicionamiento del proyecto en el ámbito científico-técnico y la generación de interés por parte de potenciales usuarios y colaboradores.

Estas acciones evidencian la correcta ejecución, seguimiento y cumplimiento de la tarea T7.2, contribuyendo de manera significativa a la visibilidad y valorización de los resultados del proyecto.

T7.3: Difusión entre el sector de energía fotovoltaica mediante demostraciones, notas de prensa, y artículos de divulgación.

Líder: INDEREN. Participantes: INDEREN

Duración: M1- M28

En el marco de esta tarea, se han desarrollado diversas jornadas demostrativas y acciones de divulgación científica orientadas a mostrar de forma práctica los avances tecnológicos del proyecto y su integración con soluciones energéticas sostenibles.

Estas actividades han permitido acercar los resultados del proyecto a profesionales, investigadores, estudiantes y agentes del sector energético y agronómico, favoreciendo la transferencia de conocimiento y la visibilidad de las soluciones desarrolladas en contextos reales y entornos especializados.

Participaciones en jornadas demostrativas y de divulgación científica:

- **Jornada Cátedra Energías Renovables y Territorios Sostenibles**, celebrada en las instalaciones de la Escuela Técnica Superior de Agronomía y Media Natural de la UPV (Valencia) en noviembre de 2023.

- **Jornada demostrativa 15th European Conference on Precision Agriculture (ECPA 2025)**, celebrado en Barcelona del 29 de junio al 3 de julio de 2025.
- **Jornada de Demostración del Robot Recolector de Fruta Tropical DRAGONBOT**, instalaciones Mipitaya (Puzol) y Escuela Técnica Superior de Agronomía y Media Natural de la UPV (Valencia) (<https://dragonbot.es/exito-rotundo-jornada-demostracion-robot-recolector-fruta-tropical-dragonbot/>) (Disponible vídeo de la jornada), figuras 11, 12 y 13.



Figura 11: Jornada de demostración del robot recolector

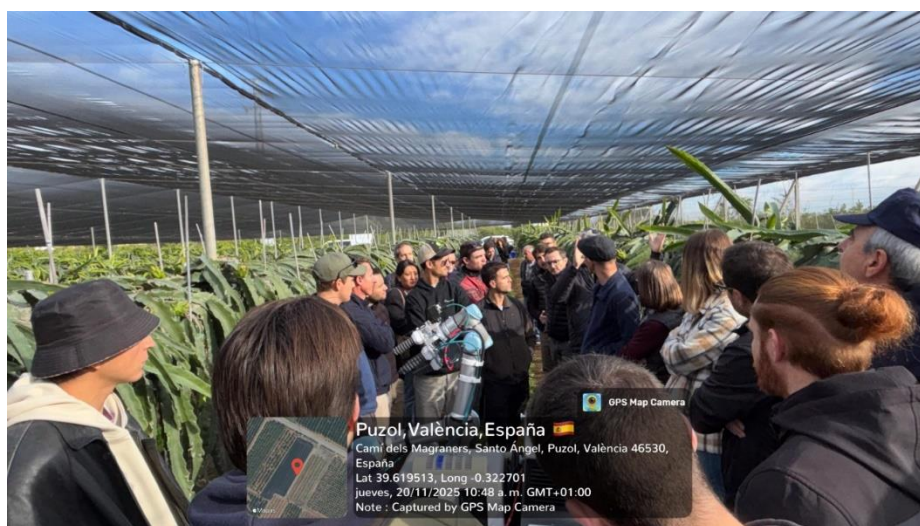


Figura 12: Jornada de demostración del robot recolector



Figura 13: Jornada de demostración del robot recolector

Divulgación de resultados

Para dar a conocer el proyecto los socios han participado en diferentes eventos (ferias, workshops, conferencias, etc.) donde han presentado los objetivos del proyecto y los resultados obtenidos.

Se han realizado visitas técnicas dentro de la feria internacional “Energy Global Expo and Congress” donde se expuso el impacto positivo de la agrovoltaje a los cultivos como la pitaya y como se puede utilizar la energía generada para el funcionamiento del robot. También se han realizado visitas de cursos de formación profesional a las instalaciones y de otros proyectos agrovoltajeos.

También se realizó un evento “Jornada de Demostración del Robot Recolector de Fruta Tropical DRAGONBOT”.

Post: <https://dragonbot.es/exito-rotundo-jornada-demostracion-robot-recolector-fruta-tropical-dragonbot/>

Las imágenes y vídeo: <https://dragonbot.es/galeria/>

YouTube: https://www.youtube.com/watch?v=VxAk_GYrgkw

CONCLUSIONES GLOBALES. FIN DE PROYECTO

Con base en los trabajos realizados y en los resultados obtenidos a lo largo de todos los paquetes de trabajo, puede concluirse que el proyecto ha alcanzado plenamente los objetivos planteados.

Se ha diseñado, desarrollado, integrado y validado con éxito un sistema completo de recolección inteligente de pitaya, capaz de operar de forma autónoma en condiciones reales de invernadero agrovoltajeo. El proyecto ha demostrado la viabilidad técnica de combinar visión artificial avanzada, modelos de deep learning para detección, localización y estimación no destructiva de la calidad interna del fruto, y su integración efectiva con una plataforma robótica móvil, un brazo manipulador y una garra específica de recolección.

Las validaciones en laboratorio, invernadero experimental y finca comercial confirman que el sistema es robusto frente a variaciones lumínicas, complejidad del entorno y diversidad de escenarios productivos, generando información fiable y accionable para la toma de decisiones automatizada. Asimismo, el desarrollo ha alcanzado un grado de madurez tecnológica suficiente para afrontar fases posteriores de optimización, escalado y preindustrialización.

Los resultados obtenidos justifican plenamente la ayuda concedida en el marco de del proyecto, al haberse cumplido los objetivos científicos, técnicos e industriales del proyecto y haberse generado una base sólida para la transferencia de la tecnología desarrollada al sector productivo.

4. **Grado de cumplimiento de los objetivos/tareas/hitos previstos en el plan de trabajo. Respecto de los Entregables comprometidos en la Memoria de solicitud, adjuntar los mismos como Anexos a esta Memoria o en caso de que se encuentren incluidos en la redacción de la misma, indicar las páginas en las que se encuentren recogidos. Medios empleados. Justificación de las desviaciones acaecidas en el proyecto respecto al aprobado, si procede.**

El proyecto global está planteado para realizarse entre septiembre de 2023 y diciembre de 2025, con el detalle de tareas que se muestran a continuación.

Tabla 1: Detalle de paquetes de trabajo y tareas del cronograma global del proyecto

PT0. Gestión y coordinación del proyecto
T0.1. Coordinación del proyecto
T0.2. Gestión de la propiedad intelectual de los resultados del proyecto
PT1. Especificación de diseño del sistema de recolección inteligente para invernaderos sostenibles
T1.1. Análisis de las características de los invernaderos sostenibles y cultivos investigados
T1.2. Especificaciones técnicas requeridas para el sistema de recolección inteligente: plataforma robótica y sistemas de visión artificial
T1.3. Metodología de evaluación del sistema de recolección inteligente
PT2. Diseño, desarrollo y validación del sistema de visión artificial para detección de la posición del fruto investigado en cultivo
T2.1. Antecedentes y requisitos del sistema de posicionamiento de pitaya
T2.2. Investigación en sistemas hardware de captación de imágenes
T2.3. Investigación en técnicas avanzadas de software basado en Inteligencia Artificial
T2.4. Desarrollo de sistema integrado de visión para posicionamiento inteligente de brazo robótico
T2.5. Pruebas de validación de sistema de visión para identificación de pitaya en cultivo
PT3. Diseño, desarrollo y validación de un sistema de visión artificial multispectral para la recolección inteligente y clasificación de calidad, obteniendo la caracterización y estimación del estadio del fruto a través de técnicas avanzadas de deep-learning
T3.1. Estudio de las características, defectos y longitudes de onda asociadas al fruto de la pitaya
T3.2. Diseño, desarrollo y fabricación de sistemas de visión artificial multispectrales para realizar análisis en laboratorio
T3.3. Adquisición y procesamiento de imágenes de pitaya en laboratorio
T3.4. Creación y validación de modelos predictivos con deep-learning para la identificación y caracterización de la calidad externa e interna
T3.5. Diseño, desarrollo y fabricación de un sistema de visión artificial para la clasificación inteligente en el Dragonbot
T3.6. Pruebas de validación del sistema de visión artificial y los modelos predictivos generados para la clasificación inteligente de la pitaya.
PT4. Diseño, desarrollo y validación de la plataforma robótica autónoma para recolección y monitorización inteligente de pitaya
T4.1. Diseño y construcción de la plataforma robótica DRAGONBOT.
T4.2. Diseño, implementación y evaluación de sistema de carga inalámbrico desde energía fotovoltaica
T4.3. Definición, programación y validación del protocolo de comunicación entre el robot y el brazo recolector de pitayas
T4.4. Definición, programación y validación del protocolo de comunicación entre el robot y el sistema de detección de fruto por visión
T4.5. Validación del robot recolector en condiciones reales de producción de pitaya en invernadero fotovoltaico
PT5. Diseño, desarrollo y validación de brazo manipulador con garra colaborativo para la manipulación y recolección de pitayas en invernadero
T5.1. Definición de las necesidades para el brazo manipulador del robot recolector
T5.2. Diseño, fabricación y pruebas de primer modelo de manipulación y corte de pedúnculo
T5.3. Pruebas en invernadero con primer modelo
T5.4. Rediseño de modelos o desarrollo de nuevas alternativas de manipulación y corte de pedúnculo
T5.5. Integración del dispositivo sobre plataforma móvil, sistema de visión y coordinación entre dispositivos
PT6. Validación del sistema de recolección inteligente en la Finca experimental Picassent Solar
T6.1. Validación en condiciones reales el uso del sistema de recolección inteligente en el invernadero Finca Picassent Solar: caso de estudio de la pitaya
PT7. Comunicación y Difusión del proyecto
T7.1. Creación, puesta en marcha, y seguimiento de un plan de difusión para el proyecto.
T7.2. Difusión entre el sector agronómico mediante demostraciones, simposios, notas de prensa, y artículos de divulgación.
T7.3. Difusión entre el sector de energía fotovoltaica mediante demostraciones, notas de prensa, y artículos de divulgación.

El periodo de justificación que abarca este informe es desde enero de 2025 a diciembre de 2025. Seguidamente se presenta el cronograma finalmente ejecutado durante este periodo:

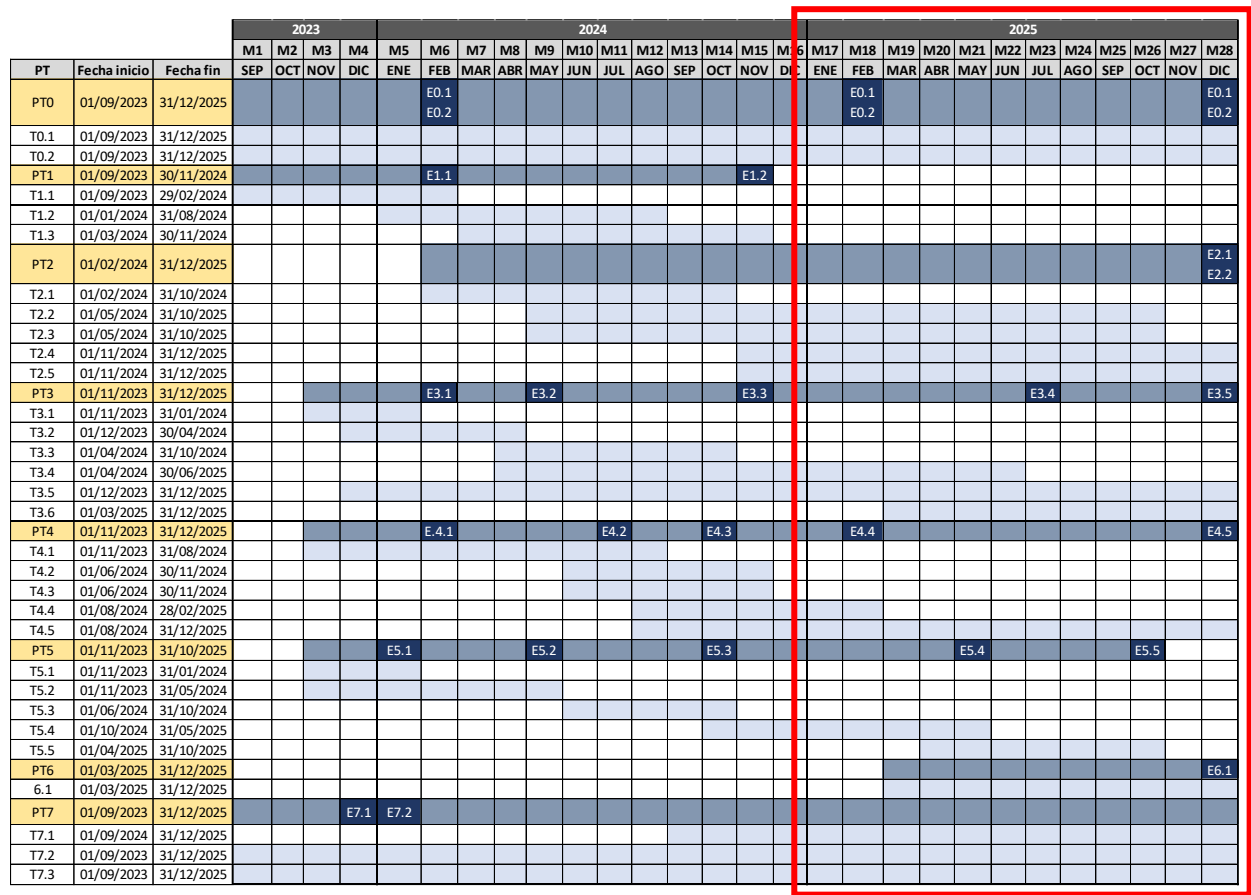


Figura 14: Cronograma global del proyecto. Periodo de justificación marcado en rojo.

Seguidamente de presenta una tabla donde se puede ver de una forma clara la evolución de los trabajos a fecha 31/12/2025:

Tabla 2: Grado de cumplimiento de las tareas a 31/12/2025.

TÍTULO PAQUETE DE TRABAJO	% DESARROLLO
PT0. Gestión y coordinación del proyecto	100%
T0.1. Coordinación del proyecto	100%
T0.2. Gestión de la propiedad intelectual de los resultados del proyecto	100%
PT1. Especificación de diseño del sistema de recolección inteligente para invernaderos sostenibles	100%
T1.1. Análisis de las características de los invernaderos sostenibles y cultivos investigados	100%
T1.2. Especificaciones técnicas requeridas para el sistema de recolección inteligente: plataforma robótica y sistemas de visión artificial	100%
T1.3. Metodología de evaluación del sistema de recolección inteligente	100%
PT2. Diseño, desarrollo y validación del sistema de visión artificial para detección de la posición del fruto investigado en cultivo	100%
T2.1. Antecedentes y requisitos del sistema de posicionamiento de pitaya	100%
T2.2. Investigación en sistemas hardware de captación de imágenes	100%
T2.3. Investigación en técnicas avanzadas de software basado en Inteligencia Artificial	100%
T2.4. Desarrollo de sistema integrado de visión para posicionamiento inteligente de brazo robótico	100%
T2.5. Pruebas de validación de sistema de visión para identificación de pitaya en cultivo	100%
PT3. Diseño, desarrollo y validación de un sistema de visión artificial multiespectral para la recolección inteligente y clasificación de calidad, obteniendo la caracterización y estimación del estadio del fruto a través de técnicas avanzadas de deep-learning	100%
T3.1. Estudio de las características, defectos y longitudes de onda asociadas al fruto de la pitaya	100%
T3.2. Diseño, desarrollo y fabricación de sistemas de visión artificial multiespectrales para realizar análisis en laboratorio	100%
T3.3. Adquisición y procesamiento de imágenes de pitaya en laboratorio	100%
T3.4. Creación y validación de modelos predictivos con deep-learning para la identificación y caracterización de la calidad externa e interna	100%
T3.5. Diseño, desarrollo y fabricación de un sistema de visión artificial para la clasificación inteligente en el Dragonbot	100%
T3.6. Pruebas de validación del sistema de visión artificial y los modelos predictivos generados para la clasificación inteligente de la pitaya.	100%
PT4. Diseño, desarrollo y validación de la plataforma robótica autónoma para recolección y monitorización inteligente de pitaya	100%
T4.1. Diseño y construcción de la plataforma robótica DRAGONBOT.	100%
T4.2. Diseño, implementación y evaluación de sistema de carga inalámbrico desde energía fotovoltaica	100%
T4.3. Definición, programación y validación del protocolo de comunicación entre el robot y el brazo recolector de pitayas	100%
T4.4. Definición, programación y validación del protocolo de comunicación entre el robot y el sistema de detección de fruto por visión	100%
T4.5. Validación del robot recolector en condiciones reales de producción de pitaya en invernadero fotovoltaico	100%
PT5. Diseño, desarrollo y validación de brazo manipulador con garra colaborativo para la manipulación y recolección de pitayas en invernadero	100%
T5.1. Definición de las necesidades para el brazo manipulador del robot recolector	100%
T5.2. Diseño, fabricación y pruebas de primer modelo de manipulación y corte de pedúnculo	100%
T5.3. Pruebas en invernadero con primer modelo	100%
T5.4. Rediseño de modelos o desarrollo de nuevas alternativas de manipulación y corte de pedúnculo	100%
T5.5. Integración del dispositivo sobre plataforma móvil, sistema de visión y coordinación entre dispositivos	100%
PT6. Validación del sistema de recolección inteligente en la Finca experimental Picassent Solar	100%
T6.1. Validación en condiciones reales el uso del sistema de recolección inteligente en el invernadero Finca Picassent Solar: caso de estudio de la pitaya	100%
PT7. Comunicación y Difusión del proyecto	100%
T7.1. Creación, puesta en marcha, y seguimiento de un plan de difusión para el proyecto.	100%
T7.2. Difusión entre el sector agronómico mediante demostraciones, simposios, notas de prensa, y artículos de divulgación.	100%
T7.3. Difusión entre el sector de energía fotovoltaica mediante demostraciones, notas de prensa, y artículos de divulgación.	100%

En general, se observa principalmente avance en el desarrollo de un sistema robótico integral de recolección inteligente de pitaya, con especial consolidación en la percepción mediante visión artificial (detección, segmentación y localización 3D), la estimación no destructiva de calidad interna mediante deep learning y su integración funcional con la plataforma móvil, el brazo manipulador y la garra de corte, validado en condiciones reales de invernadero agrovoltaico.

Tabla 3: Grado de cumplimiento de los hitos a 31/12/2025.

		RROLLO
H1	Plan de Comunicación y Difusión	100%
H2	Especificaciones de diseño para el sistema de recolección inteligente	100%
H3	Caracterización de calidad para pitaya en laboratorio (UPV)	100%
H4	Prototipo del sistema de visión de posicionamiento	100%
H5	Sistema de visión completo con estimación de calidad	100%
H6	Sistema de recolección inteligente para la producción sostenible de pitaya	100%

A nivel entregables, se aportan los siguientes entregables:

Tabla 4: Entregables a fecha 31/12/2025

Entregable Nº	Nombre del entregable	PT Nº
E2.1	Informe de diseño de sistema de visión para identificación de pitaya	PT2
E2.2	Informe de pruebas y resultados de sistema de visión para identificación de pitaya	PT2
E3.4	Informe de los modelos predictivos creados a través de deep-learning	PT3
E3.5	Informe de los ensayos del sistema de visión artificial emplazado sobre el vehículo Dragonbot	PT3
E4.4	Informe de los ensayos de comunicación de la plataforma robot con el sistema de análisis de imagen	PT4
E4.5	Informe de los ensayos de comprobación del funcionamiento de la plataforma robot en condiciones encaminada al proceso de recolección	PT4
E5.4	Informe de pruebas de modelo mejorado de garra manipuladora para manipulación y corte	PT5
E5.5	Informe de los ensayos de comprobación del funcionamiento del brazo robot con garra para robot recolector en condiciones de invernadero	PT5
E6.1	Resultados de la validación final del funcionamiento del sistema inteligente DRAGONBOT en el invernadero de la Finca experimental Picassent solar para el cultivo de la pitaya	PT6

5. Descripción detallada de cada uno de los conceptos cargados en la aplicación de justificación, con referencia a su naturaleza y objeto, motivo y necesidad de imputación y vinculación con el proyecto, así como sus posibles desviaciones económicas respecto a lo presupuestado inicialmente. En el caso de modificación del Personal participante respecto de la Memoria de solicitud, indicar el motivo del cambio, describir los nuevos perfiles y argumentar su capacidad para el desarrollo de las tareas.

PERSONAL

Tabla 5: Comparativa personal. Solicitud 2023 vs Justificación 2025

PERSONAL							
SOLICITUD 2023				JUSTIFICACIÓN 2025			
NOMBRE	HORAS	COSTE/HORA	COSTE TOTAL	NOMBRE	HORAS	COSTE/HORA	COSTE TOTAL
Vicente Alegre Sosa	810	17,00 €	13.770,00 €	Vicente Alegre Sosa	1248	14,34 €	17.897,18 €
Carlos Bataller Martí	810	17,00 €	13.770,00 €	Carlos Bataller Martí	1139	14,44 €	16.443,25 €
Santiago Lopez Alamán	810	17,00 €	13.770,00 €	Santiago Lopez Alamán	0	- €	- €
Diego Sandoval Boluda	810	17,00 €	13.770,00 €	Diego Sandoval Boluda	1040	15,30 €	15.911,55 €
Albert Martínez Cintero	810	17,00 €	13.770,00 €	Albert Martínez Cintero	1116	16,51 €	18.429,29 €
TOTAL	4050	-	68.850,00 €	TOTAL	4543	-	68.681,27 €

Las desviaciones producidas en la partida de gasto de personal respecto a lo previsto en la memoria inicial del proyecto se deben a las siguientes circunstancias surgidas durante el periodo de ejecución del mismo:

En primer lugar, se ha producido una modificación en la participación de Santiago López. En la planificación inicial se contemplaba la participación de cinco personas; sin embargo, durante la ejecución del proyecto, Santiago, aun manteniendo su vinculación con la empresa, dejó de desempeñar funciones laborales debido a un cambio de residencia, lo que hizo inviable su participación efectiva en las actividades del proyecto. Como consecuencia, los gastos de personal finalmente justificados corresponden a las cuatro personas que han participado de forma activa y continuada en su desarrollo.

En segundo lugar, las tareas inicialmente asignadas a dicho participante tuvieron que ser asumidas por el resto del equipo, lo que implicó un incremento de la dedicación individual de las cuatro personas participantes.

Adicionalmente, se ha producido una desviación en el número total de horas dedicadas al proyecto, pasando de las 4.050 horas previstas inicialmente a 4.543 horas finalmente ejecutadas.

Este aumento de horas ha sido necesario para garantizar el cumplimiento de los objetivos técnicos del proyecto, especialmente debido a la mayor complejidad asociada a la adaptación del software desde un entorno de laboratorio controlado a un entorno real de operación agrícola, caracterizado por variabilidad de iluminación, movimiento del sistema, distancia variable al fruto y fondos no controlados. Esta circunstancia ha requerido ajustes adicionales en el software, así como pruebas y validaciones en condiciones reales.

El incremento de horas imputadas responde exclusivamente a estas necesidades técnicas y no supone una modificación de los objetivos del proyecto, sino que ha sido imprescindible para su correcta ejecución y para alcanzar los resultados previstos en la Tarea 3.5.

MATERIALES FUNGIBLES

En la planificación inicial del proyecto se preveía un gasto en materiales fungibles por importe de 3.300 €, destinado a la adquisición de cámaras adicionales, sistemas de iluminación artificial y equipamiento informático específico. No obstante, durante el desarrollo del proyecto se ha constatado que dicha inversión no ha sido necesaria.

La arquitectura finalmente implementada se basa en una unificación de los sistemas de captura y procesamiento, utilizando una única cámara y un único equipo de procesamiento, lo que ha resultado suficiente para alcanzar los objetivos técnicos y funcionales del proyecto. Esta solución garantiza una total coherencia entre el entorno percibido por el sistema de visión y el entorno real de actuación del robot, evitando la necesidad de sensores o equipos adicionales.

Asimismo, la centralización del procesamiento ha permitido simplificar la comunicación entre los distintos módulos del sistema, reducir la complejidad técnica, minimizar latencias y facilitar el mantenimiento y la escalabilidad futura.

Por otro lado, la reducción del número de dispositivos activos conlleva un menor consumo energético del robot, mejorando su eficiencia operativa y su autonomía, aspectos especialmente relevantes en un sistema robótico integrado como DragonBot.

Finalmente, los ensayos realizados se han llevado a cabo en condiciones de iluminación natural, verificándose que la calidad de imagen obtenida es suficiente para el correcto funcionamiento de los modelos de visión artificial, sin que haya sido necesaria la incorporación de sistemas de iluminación artificial.

Por todo lo anterior, **la no ejecución del gasto previsto en materiales fungibles** se considera plenamente justificada desde el punto de vista técnico y operativo, sin impacto negativo en el cumplimiento de los objetivos del proyecto.

AUDITORÍA

Tabla 6: Comparativa auditoría. Solicitud 2023 vs Justificación 2025

AUDITORIA			
SOLICITUD 2023		JUSTIFICACIÓN 2025	
PROVEEDOR	COSTE	PROVEEDOR	COSTE
A determinar	1.400,00 €	LUIS CARUANA & ASOCIADOS, S.L.	1.400,00 €

No ha habido cambios en el gasto de auditoría.

6. Cambios producidos en las diferentes partidas del presupuesto financiable no sometidos a autorización expresa. Justificación expresa del motivo del cambio

Las diferentes partidas del presupuesto financiable no reflejan cambios reseñables en cuanto a lo inicialmente presupuestado en la solicitud.

Ficha técnica resumen de Resultados publicables del Proyecto.

(En caso de proyectos en colaboración, esta ficha técnica será común para todo el consorcio)

(sólo aplica a Convocatoria 2023 que finaliza proyecto en anualidad 2025)

Nº Expediente	INNEST/2023/131	Ayuda total concedida	98.046,00€
Entidad Beneficiaria	TREYAT INGENIERIA Y DESARROLLO COOP V		
Resumen de los objetivos iniciales del proyecto (máx. 150 palabras)			
<p>Desarrollo de un sistema inteligente y sostenible de recolección automatizada para frutos delicados de alto valor añadido</p> <p>Diseñar e implementar un robot móvil robusto, capaz de operar en invernaderos con autonomía prolongada, alimentado por energía fotovoltaica generada en el propio invernadero, garantizando cero emisiones y balance neutro de carbono. El sistema debe integrar una plataforma robot con capacidad de navegación autónoma y alimentación eléctrica, un sistema de visión artificial e inteligencia artificial para identificar frutos, estimar su calidad y planificar la recolección optimizando tiempo y consumo energético, y un brazo con garra robot capaz de capaz de posicionarse y desprender frutos de alto valor, como la pitaya, sin causar daños, siguiendo la información del sistema de visión. El robot deberá almacenar hasta 25 kg de fruta y emitir alertas para la evacuación de la carga, asegurando la operatividad en entornos productivos.</p>			
Resultados obtenidos (máx. 200 palabras)			
<p>Resultado alcanzado: Sistema inteligente y sostenible de recolección automatizada</p> <p>Se ha desarrollado un robot móvil robusto capaz de operar en invernaderos con autonomía de 15 horas, alimentado por energía fotovoltaica generada en el propio invernadero, garantizando cero emisiones y balance neutro de carbono. El sistema integra una plataforma con navegación, un módulo de visión artificial con inteligencia artificial para identificar frutos, estimar su calidad y planificar la recolección optimizando tiempo y consumo energético, y un brazo robótico con garra diseñada para desprender, recoger y colocar las pitayas sin causar daños.</p> <p>Subsistemas principales:</p> <p>La plataforma robótica con movilidad autónoma incorpora un chasis de acero con cuatro baterías de ion-litio (64 Ah, 24 V) y tracción mediante cuatro motores eléctricos con dirección Ackermann, garantizando movilidad eficiente y capaz de mantener la posición en las operaciones de recolección de fruta. El sistema de visión utiliza la cámara OAK-D Pro PoE (RGB-D, IP65) con procesamiento en el borde para reducir latencia. El brazo seleccionado es el UR5e, equipado con una garra flexible en TPU y actuador brushless con sistema de corte por vibración, diseñada para manipular frutos delicados sin producir daño.</p>			
Valor diferencial frente a otras alternativas en el mercado (máx. 200 palabras)			
<p>El sistema desarrollado presenta un valor diferencial significativo frente a otras soluciones existentes. La plataforma robótica es capaz de desplazarse en invernaderos y otros sistemas de plantación manteniendo la estabilidad incluso en condiciones de desbalance generadas por la inclinación del brazo durante la recolección. El sistema de visión artificial no solo identifica la posición exacta del fruto, sino también el punto preciso de inserción en la penca, garantizando un desprendimiento seguro y sin daños. Además, los modelos de inteligencia artificial permiten evaluar la calidad del fruto basándose en parámetros derivados de la imagen, como tamaño y coordenadas de color, para estimar el contenido de azúcares y seleccionar únicamente aquellos en estado óptimo de recolección.</p> <p>La garra robótica incorpora un diseño avanzado que asegura un acercamiento preciso y un desprendimiento mediante un sistema de corte eléctrico con sierra, evitando daños en frutos delicados y pesados como la pitaya. Posteriormente, el agarre se realiza mediante dedos flexibles que protegen la integridad del producto durante la manipulación y el almacenamiento. Este enfoque garantiza tres aspectos críticos: detección</p>			

exacta del punto de corte, ejecución precisa sin daño y agarre seguro, consolidando una solución única para la recolección automatizada de frutos de alto valor.

Interés comercial y proximidad al mercado (máx. 150 palabras)

El sistema desarrollado presenta un alto interés comercial por su capacidad para resolver uno de los principales retos en la recolección de frutos delicados y de alto valor, como la pitaya, en entornos protegidos. El prototipo se presenta como una solución innovadora frente a la recolección manual, que resulta costosa y depende de personal cualificado, cada vez más escaso, especialmente para frutos delicados y de alto valor como la pitaya. El robot desarrollado permite avanzar en la automatización de esta tarea crítica, garantizando precisión y calidad en cada operación.

La proximidad al mercado se ha reforzado mediante la colaboración directa con la comunidad de productores de fruta tropical en la Comunidad Valenciana, incluyendo cooperativas y empresas del sector. Al finalizar el proyecto, se realizó una demostración en campo con jornada de intercambio, donde participaron productores, cooperativas, representantes institucionales y desarrolladores de equipos, validando el interés y la aplicabilidad comercial de la solución.

Contribución de los socios y/o de las entidades contratadas (máx. 150 palabras)

Inderen ha proporcionado el cultivo de pitaya en un invernadero sostenible y ha aportado conocimiento sobre las limitaciones del cultivo en entornos reales. La **Universitat Politècnica de València** (UPV) ha desarrollado la plataforma robótica con navegación autónoma en condiciones de campo y durante operaciones de recolección. Además, la UPV ha diseñado la garra robótica con dedos flexibles para un agarre delicado y el sistema de corte preciso que evita daños en el fruto. **Nutai** ha desarrollado la localización exacta del punto de corte mediante visión artificial, identificando la unión fruto-penca para garantizar un desprendimiento sin daños. **Greenvision** ha implementado el sistema de análisis de imagen con inteligencia artificial para evaluar la calidad del fruto y seleccionar los óptimos para la recolección. Inderen ha liderado la comunicación y difusión. La UPV ha coordinado con apoyo de todos los socios, y ha desarrollado la jornada final demostrativa con productores, cooperativas e instituciones.