

Aplicación de tecnologías de detección 3D LiDAR y satélite para el desarrollo de un modelo integral de seguimiento y mejora del rendimiento productivo y económico en almendro superintensivo

Resumen

El sistema tradicional de formación del almendro, en secano, se ha basado en el vaso clásico, con una poda normalmente severa y con unos marcos de plantación amplios debidos a la limitación en la disponibilidad de agua. Actualmente, con la incorporación del riego, de nuevos materiales vegetales mejorados, la tecnificación y el uso de suelos más fértiles y con más calidad, es posible plantear nuevos modelos productivos, con diferentes sistemas de conducción de la plantación y de recogida de la almendra. Entre los nuevos modelos productivos, destacan las plantaciones de alta densidad, que son posibles gracias al uso de portainjertos de moderado o reducido vigor, que combinados con nuevas variedades pueden permitir lograr una producción alta y precoz. Desgraciadamente, todavía hay una considerable carencia de conocimiento sobre el manejo adecuado de estos nuevos sistemas de cultivo.

Es por eso que, con este proyecto, y mediante el uso de tecnologías de procesamiento de imágenes se desarrollarán nuevos modelos predictivos y de identificación de mejoras en la cosecha, que se correlacionarán con diferentes técnicas de formación y dimensionado del cultivo (poda de formación y poda en verde), de manejo agronómico (efectividad en la aplicación del riego, fertilizantes y fitosanitarios, y uso de cubiertas vegetales) y necesidades de recursos (mano de obra y materiales); y así establecer los mejores modelos de funcionamiento del almendro superintensivo (con variedades modelo como Avijor y Marinada con portainjerto INRA GF-677), para lograr plantaciones de alta densidad (hasta 3.000 plantas/ha). Además, el cultivo del almendro en superintensivo implica un elevado riesgo tecnológico debido al desconocimiento en detalle del efecto que tiene la intensificación del cultivo; entre otras modificaciones, puede generar sobre la fisiología de la planta y su respuesta en términos de precocidad y rendimiento, y de manera indirecta sobre la sostenibilidad del cultivo.

Tal como ya se ha empezado a estudiar y aplicar en otros cultivos como la viña, los fruteros de hueso y semilla o el olivo, donde se ha evolucionado desde sistemas tradicionales en vaso hacia sistemas de mayores densidades de plantación y con una mayor efectividad en el aprovechamiento de recursos. En este contexto, destaca la importancia de desarrollar un modelo integral de seguimiento y mejora del cultivo de almendro en superintensivo que pueda integrar las medidas locales y de alta resolución de los sistemas de escaneo 3D basados en LiDAR (*Light Detection and Ranging* o *Laser Imaging Detection and Ranging*) con imágenes satelitales de menos resolución, pero a mayor escala. Este sistema integral de análisis de imagen permitirá una monitorización de alta resolución del dosel foliar del cultivo. Así, el desarrollo vegetativo del cultivo se podrá correlacionar en continuo con las operaciones agrícolas realizadas y la producción obtenida, permitiendo un manejo agronómico más preciso y eficiente.

Objetivos

El objetivo de este proyecto es establecer un nuevo modelo integral de seguimiento del nuevo cultivo de almendro en superintensivo, basado en nuevas tecnologías (LiDAR y análisis de imágenes de satélite) que mediante la medida del dosel foliar y otros parámetros fenológicos permitan establecer los mejores modelos de manejo de formación inicial del cultivo y otras estrategias de mantenimiento en campaña (poda

de invierno, poda en verde, fertilización, tratamientos fitosanitarios, necesidades de riego y uso de cubiertas vegetales) y su dimensionado hacia superficies productivas más grandes.

Para lograr este objetivo general, se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Determinar los parámetros dimensionales óptimos de dosel foliar en plantaciones superintensivas de almendro (altura, anchura y densidad) en relación con la precocidad de entrada en producción y a su rendimiento.
- Optimizar el manejo de formación del cultivo (poda de invierno y poda en verde) y otras modificaciones agrícolas que permitan llegar a los parámetros dimensionales óptimos de dosel foliar en plantaciones superintensivas de almendro.
- Evaluar el efecto de diferentes sistemas experimentales de poda de formación sobre el desarrollo del dosel foliar de nuevos cultivos de almendro en super intensivo, y determinar las necesidades de recursos (mano de obra, tratamientos fertilizantes y fitosanitarios, cubiertas vegetales, necesidades hídricas, entre otros) asociadas a cada prueba piloto.
- Reducir el uso de recursos, principalmente de fitosanitarios, mediante nuevos modelos de desarrollo del dosel foliar de nuevos cultivos de almendro en superintensivo.
- Validar los parámetros de seguimiento: dosel foliar (tamaño y densidad), número de flores, y porcentaje de cuajado, frutos y rendimiento productivo, como parámetros con significación dentro de los nuevos modelos, surgidos de la correlación entre dos tecnologías de procesamiento de imágenes (imágenes de satélite y sensores 3D LiDAR).
- Definir un modelo integral de seguimiento continuo del cultivo a partir de la relación establecida entre las medidas 3D de un escáner terrestre móvil e imágenes satélites.
- Establecer un sistema de prioridades en la toma de decisiones que se tendrá que implementar dentro del modelo integral de seguimiento continuo del cultivo de almendro en superintensivo.
- Realizar una transferencia del modelo integral de seguimiento del cultivo del almendro en superintensivo, para validarlo (mejora continua del modelo) y hacerlo más robusto, con datos basados en la heterogeneidad de diferentes parcelas productivas.

Descripción de las actuaciones llevadas a cabo en el proyecto

Las actuaciones llevadas a cabo en este proyecto se resumen en:

- I. Parametrizado de diferentes ensayos experimentales para determinar el efecto de variables del cultivo superintensivo, como son: la variedad de almendro, características del dosel foliar (altura, anchura y densidad del cultivo, y modificaciones de su manejo), caracterización del suelo y las aportaciones de fertilizantes y riego, entre otros.
- II. Aplicación del procesamiento de imágenes que empezó con la puesta a punto de metodologías de seguimiento (teledetección y escaneo 3D *LiDAR) y continuar con los escaneos y con la obtención y procesamiento de las imágenes y los datos obtenidos a la parcela de almendro superintensivo.
- III. Complementariamente, se ha hecho un seguimiento del cultivo (pre- y puesto-cosecha) para correlacionarlo con la información del procesamiento de imágenes, por el que se ha desarrollado un nuevo modelo de gestión.
- IV. Desarrollo y validación de un modelo de seguimiento en continuo del cultivo, mediante la información generada con las actuaciones anteriores.

Resultados finales y recomendaciones prácticas

Como resultado del proyecto se ha generado un análisis de la tecnología de teledetección para usarla como herramienta de análisis del cultivo, que, una vez corregida y correlacionada con la tecnología de LiDAR, ha permitido obtener información valiosa mediante el análisis y procesamiento de las imágenes generadas.

Se ha de tener en cuenta que, por un lado, el análisis de imágenes de satélite es una herramienta muy económica, pero no es muy precisa. Todo lo contrario que con la tecnología LiDAR, que genera información muy precisa y altamente valiosa, a pesar de tener un coste económico de aplicación muy elevado y difícil de asumir dentro de los costes de cualquier agricultor. Así, el cruce de información generada con estas herramientas ha permitido desarrollar nuevos modelos de optimización de la teledetección, haciéndola más precisa y aplicable en el día a día de los agricultores para la toma de decisiones en el manejo del cultivo del almendro en nuevos modelos superintensivos (o cualquier cultivo en el que se ponga a punto la tecnología).

Con todo esto, se han podido optimizar nuevos procesos más tecnificados y precisos, basados a la aplicación de la teledetección (con garantías LiDAR) en diferentes fases fenológicas del cultivo de forma que el agricultor tiene acceso a la información necesaria para la presa de las decisiones más adecuadas, tanto para optimizar la producción del cultivo, como para incidir en otros aspectos importantes del cultivo (avanzar la entrada en producción, minimizar costes - materiales y mano de obra -, hacer una gestión más sostenible del cultivo principal y otros secundarios - ej., cubiertas vegetales -, mejorar rendimientos productivos y económicos), así como desarrollar una agricultura más precisa, eficiente, sostenible, profesional y tecnificada.

Conclusiones

- Las imágenes satelitales de la plataforma Sentinel-2 dan mejores correlaciones al cruzarlas con las imágenes generadas mediante LiDAR. Necesarias para desarrollar modelos de gestión a las explotaciones agrícolas, en este caso de almendro superintensivo.
- El histórico del índice NDVI da información para llevar a cabo cualquier análisis espacio-temporal de la explotación siendo el índice NDVI una variable representativa del dosel foliar y fácilmente accesible por el agricultor.
- Los mapas de distribución espacial del índice NDVI del total de la explotación, junto con los mapas de NDVI clasificado en 3 clases (segundo densidad y salud de la vegetación del cultivo), tienen una aplicación directa por el análisis de la variabilidad de la explotación y la determinación de la dosis basándose en el LAI para la aplicación de productos fitosanitarios, fertilizantes y riego.
- Los modelos obtenidos para el cultivo de almendro superintensivo son específicos para cada fase fenológica del cultivo (pre- y postpoda y pre- y postcosecha).

Líder del Grupo Operativo

ENTIDAD: ALMOND FOODS SL

Coordinador del Grupo Operativo

ENTIDAD: ALMOND FOODS SL

Otros miembros del Grupo Operativo (no perceptores de ayuda)

ENTIDAD: UNIVERSITAT DE LLEIDA CCT

ENTIDAD: GRUP COPERATIU FRUITS DE PONENT

ENTIDAD: ASOCIACIÓN NACIONAL DE DESCASCADORES DE ALMENDRAS

ENTIDAD: FRUPINSA

ENTIDAD: AGROMILLORA

Ámbito/s territorial/s de aplicación

PROVINCIA/S	COMARCA/S
Lleida	Segrià

Difusión del proyecto (publicaciones, jornadas, multimedia...)

- Redes sociales: <https://x.com/GrapUdL>
- Previstas: Publicación científica, Comunicación a “15th European Conference On Precision Agriculture” (ECPA 2025) y nueva difusión web en las distintas webs de los miembros, que influyen también los resultados obtenidos recientemente.

Página web del proyecto<https://www.grap.udl.cat/ca/recerca/projectes-dinnovacio/grup-operatiu-aei-2021/>**Otra información del proyecto**

DATOS DEL PROYECTO	PRESUPUESTO TOTAL
Fecha de inicio: Julio 2021	Presupuesto total: 249.928,80 €
Fecha final: Septiembre 2024	Financiamiento DACC: 113.967,53 €
Estado actual: Finalizada	Financiamiento UE: 85.975,51 €
	Financiamiento propio: 49.985,76 €

Con el financiamiento de:

Proyecto financiado a través de la Operación 16.01.01 (Cooperación para la innovación) a través del Programa de desarrollo rural de Catalunya 2014-2020.

Orden ARP/113/2021, de 20 de mayo, por la que se aprueban las bases reguladoras de las ayudas a la cooperación para la innovación a través del fomento de la creación de grupos operativos de la Asociación Europea para la Innovación en materia de productividad y sostenibilidad agrícolas y la realización de proyectos piloto innovadores por parte de estos grupos, y Resolución ARP/1660/2021, de 27 de mayo, por la que se convoca la mencionada ayuda.



Generalitat de Catalunya
Departament d'Acció Climàtica,
Alimentació i Agenda Rural



Fons Europeu Agrícola
de Desenvolupament Rural:
Europa inverteix en les zones rurals