

*En 2019 el almendro ocupaba una superficie de 653.021 ha y la pasada campaña se produjeron 101.900 t de almendra grano*

## **El almendro en España: situación, innovación tecnológica, costes y retos para una producción sostenible**

---

**Dr. Ignasi Iglesias, 2D Technical Manager. Agromillora Group**

En el presente artículo se describe los aspectos más importantes del cultivo del almendro en España, superficies, producciones, ubicación geográfica y tecnología de producción, en particular en lo relativo a portainjertos, variedades y sistemas de formación. En los últimos años el almendro ha sido el cultivo revelación al que se han destinado miles de hectáreas de nuevas plantaciones.



*Foto: G.Rutigliano.*

En 2019 el almendro ocupaba una superficie de 653.021 ha, siendo Andalucía, Castilla la Mancha y Aragón las Comunidades Autónomas que más aportaron a una producción nacional, que para la campaña 2019-2020 fue de 101.900 t de almendra grano. En cuanto variedades las más plantadas en los últimos años han sido 'Guara', 'Soleta', 'Avijor' ('Lauranne'), 'Vairo', 'Belona', 'Marinada' Marta' y 'Penta', entre otras, con importancia variable de las mismas según zona.

Se han desarrollado en paralelo dos sistemas de formación: el intensivo con sus diferentes modalidades y el superintensivo en seto. En el primer caso los patrones utilizados han sido mayoritariamente el GF-677 y el Garnem, mientras que en el seto lo ha sido el Rootpac 20. Ambos sistemas muestran una evolución constante que ha posibilitado mejorar sus producciones y eficiencia como es el caso de la Poda Aragonesa Sistema 4.0 en el sistema intensivo. En seto, la mayor densidad de plantación permite reducir el período improductivo, optimizar el uso de inputs, incluida la mano de obra, y reducir el coste total de producción. La tendencia ha sido a reducir las distancias entre líneas con sus diferentes

versiones. Los costes anuales de producción, transporte y procesado, considerando una producción de 2.200 kg/ha de almendra grano, oscilan entre los 1,5 €/kg de almendra grano (3.371 €/ha) y los 2,0 €/kg (4.429 €/ha), para el sistema en seto y el modelo californiano, respectivamente. Tras un largo período de bonanza de precios, la caída del 2020 debido a múltiples factores siembra un cierto grado de incertidumbre sobre este cultivo, en el que siempre en la historia se han dado vaivenes en las cotizaciones. En cualquier caso, la innovación tecnológica seguirá siendo la hoja de ruta de los próximos de una especie que ya es considerada como un frutal. Los aspectos de eficiencia y sostenibilidad en la producción de alimentos, ligados a su impacto en el clima y medio ambiente requerirán una especial atención dado que constituyen la hoja de ruta de la futura PAC enmarcada dentro del 'Pacto Verde' y de la estrategia 'De la granja a la mesa'. Estrategia focaliza en el uso eficiente de inputs para un justo saludable y “ambientalmente amigable” sistema alimentario.

### La situación actual del almendro: superficies, producciones y zonas productoras

Las especies leñosas ocupaban en España una superficie de 900.612 ha en el año 2018, de las cuales 194.259 ha correspondían a la fruta dulce y 706.353 ha a la fruta seca. La producción media para el período 2017-2019 fue de 2.575.367 t de fruta dulce y 372.063 t de fruta seca, respectivamente, como se observa en la Tabla 1. En fruta dulce las especies más importantes son el melocotonero, el manzano y el peral, mientras que en fruta seca el almendro lidera el ranking. De hecho, esta especie es la que ha incrementado más las superficies de entre todas las leñosas expuestas en la Tabla 1. Le siguen el pistacho, en fase de fuerte crecimiento, y el nogal, con superficies muy inferiores al almendro y variables según sea la fuente de los datos. Por supuesto que dentro de las leñosas destaca el olivo con 2.578.000 ha, la viña (941.927 ha) y los cítricos (294.258 ha). Un total de 4.714.797 ha dedicadas a los cultivos leñosos, lo que convierten a España en el primer país productor de Europa.

Especie	Superficie 2018 (ha)	Producción media 2016-2018 (t)
MANZANO	29.922	483.700
PERAL	21.327	322.700
MELOCOTONERO	80.306	1.382.000
CEREZO	27.501	102.000
ALBARICOQUERO	20.567	112.000
CIRUELO	14.636	172.967
<b>TOTAL FRUTA DULCE</b>	<b>194.259</b>	<b>2.575.367</b>
	<b>Sup. 2018 (ha)</b>	<b>Produc. 2018 (t)*</b>
ALMENDRA	653.021	339.033
PISTACHO	29.235 (41.200)	8.230
NOGAL	10.997 (16.300)	15.700
AVELLANO	13.100	9.100
<b>TOTAL FRUTA SECA</b>	<b>706.353</b>	<b>372.063</b>
*: cáscara		

Tabla 1: Superficies y producciones de las principales especies de fruta dulce y de fruta seca en España (Fuente: elaboración propia a partir de los datos del MAPA, Afrucat, Eurpech y Prognosfruit).

Dentro de los frutos secos el almendro destaca de forma destacable, tanto por la superficie como por la producción. De ser un cultivo marginal, ha pasado a ser el foco de

atención y la revolución dentro de los cultivos leñosos, todo ello gracias a diferentes factores. En primer lugar, la innovación varietal que ha aportado variedades autofértiles y de floración tardía, lo que ha permitido una mejor adaptación a climas donde el riego de heladas es recurrente. A este factor se ha unido la innovación en portainjertos, con un tránsito desde la almendra amarga como principal patrón, pasando por ‘Garrigues’, para confluir mayoritariamente en las dos últimas décadas en los híbridos melocotón x almendro GF-677 y Garnem, junto a Roopac R y Rooppac 20, estos últimos de la serie Rootpac, creada y desarrollada por Agromillora. Esta genética innovadora en patrones ha posibilitado un salto cuantitativo y cualitativo en la adaptación del almendro al clima y suelo de las principales zonas de producción de España. Además, ha posibilitado el tránsito hacia sistemas de formación cada vez más intensivos.

El segundo aspecto a destacar ha sido la evolución en sistemas de formación y poda. Puede resumirse en un proceso de intensificación continua, con menores marcos de plantación, y menos intervenciones de poda de invierno, en particular en el período de formación, y una mayor mecanización de la poda y recolección. Ello ha posibilitado obtener una entrada en producción más rápida con respecto al sistema tradicional en vaso con bajas densidades de plantación. Esta intensificación tiene máxima expresión en la conducción en seto, modelo o sistema basado en copas de pequeño volumen, en la eficiencia y sostenibilidad. Un tercer factor que ha conducido a la mejora de la eficiencia del cultivo ha sido considerar al almendro como una especie frutal, con todo lo que ello conlleva en lo referido a tecnología de producción en particular protección del cultivo, riego y fertilización. Y todo ello unido a un amplio período de bonanzas en los precios, nunca visto con anterioridad, que ha situado su rentabilidad en un nivel muy superior a la de cualquier otro cultivo leñoso.

La producción de almendro a escala global sigue liderada por Estados Unidos, en particular por el Estado de California. Con el 80% de la producción mundial (Figura 1), es el país referente en cuanto a precios, tipificación de producto, promoción y comunicación (Waycott y Saa, 2020). Con una producción altamente tecnificada, con el uso intensivo de inputs, focalizada en variedades de cáscara blanda no autofértiles y recolección del suelo, la producción media de la superficie en producción se sitúa en 2.400 kg de almendra grano/ha, muy lejos de los 240 kg/ha de España. Le sigue en segundo lugar Australia con una producción para la campaña 2019-2020 de 104.437 t y modelo productivo similar al California. La Unión Europea aporta tan solo el 6% de la producción mundial. Otros países con producciones similares son Túnez, Irán, Chile, Turquía y Marruecos (Figura 1).

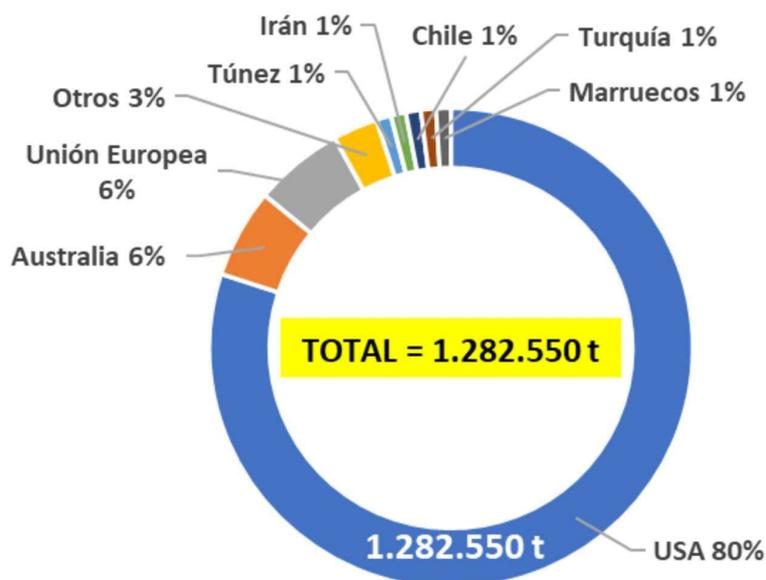


Figura 1: Producción mundial de almendra grano por países, campaña 2019-2020 (Fuente: Almond Board of California).

La Unión Europea tan solo produce el 6% de la producción mundial, y al igual que Estados Unidos con una tendencia claramente alcista. Los principales países productores son España, Italia y Portugal, ocupando Grecia un lugar secundario. España e Italia han sido tradicionalmente los dos principales productores. Actualmente España lidera la producción con 101.900 t de almendra grano para la campaña 2019-2020 y una superficie cultivada de 653.021 ha.

Italia es actualmente el segundo productor de Europa con una superficie cultivada en el año 2018 de 53.076 ha y una producción de 81.600 t de almendra cáscara. Las principales regiones productoras son Sicilia y Puglia que aportan el 96% de la producción. El sector viverístico produce 1,5 millones de plantones anualmente, el 30% de los cuales son exportados. La plantación anual es de 3.000 has. Aún y así la tendencia de los últimos años muestra una clara reducción de la superficie ocupada por este cultivo (Catalano et al., 2020).

Portugal es el tercer productor de almendra de Europa con una superficie total 36.000 ha y una producción de 34.200 t de almendra cascara en el año 2018. Este cultivo tradicional en las regiones del norte del país, donde se cultiva mayoritariamente en secano, ha experimentado un avance sin precedentes en la última década al amparo de la tecnología y de fuertes inversiones por empresas españolas y otras extranjeras. La distribución territorial muestra que la principal región productora es el Trás-os-Montes seguida por las regiones del Alentejo y el Algarve. En el Alentejo la amplia zona regable del embalse de Alqueva ha supuesto un cambio sin precedentes en la expansión del almendro y olivo.

España es el tercer productor mundial con una producción en 2019 muy próxima a la de Australia. El almendro, junto al olivo y la viña han constituido la trilogía mediterránea durante siglos con un cultivo mayoritariamente en secano, basado en árboles en vaso de volumen considerable y amplios marcos de plantación. Es por ello que su zona de cultivo tradicional ha sido la vertiente mediterránea (Figura 2), por ser donde ha encontrado su mejor adaptación edafo-climática. En las últimas décadas su expansión ha propiciado el desplazamiento hacia otras regiones del norte, centro y oeste, incluido Portugal.

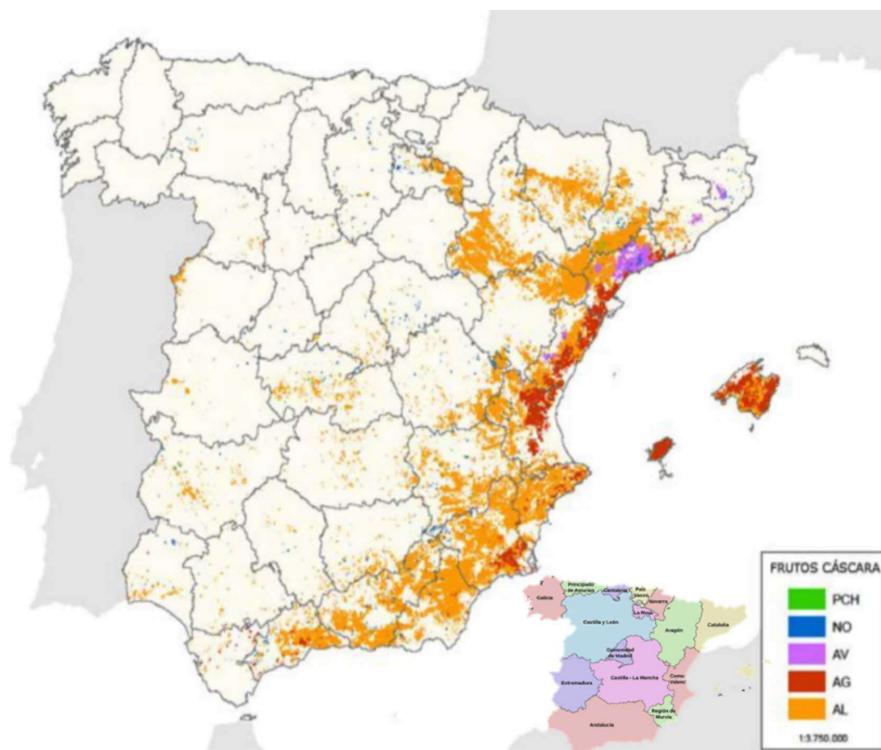


Figura 2: Localización de la superficie de frutos secos (PCH: pistacho, NO: nogal, AV: avellano, AG: algarrobo y AL: almendro) en España en el año 2018 (Fuente: MAPA, 2019 y TRAGSATEC: Estudio caracterización del sector de los frutos secos, 2018).

La evolución total de la superficie de almendro en España a lo largo del período 2004-2019 muestra una disminución progresiva hasta el año 2014, para después iniciar un ascenso progresivo y continuado hasta la actualidad. Ello es el resultado de importantes plantaciones a lo largo de las dos últimas décadas que se ha traducido en un incremento muy significativo, tanto de las superficies como de las producciones, alcanzando 101.900 t de almendra grano en la campaña 2019-2020. Se contó en dicha campaña con una superficie total de 653.021 ha de las cuales 557.069 ha corresponden al secano y tan solo 95.952 al regadío (Figura 2), por lo que esta opción se ha incrementado un 45% en los últimos 5 años, representando actualmente el 15% de la superficie total. El 29% de la superficie de regadío corresponde a nuevas plantaciones.

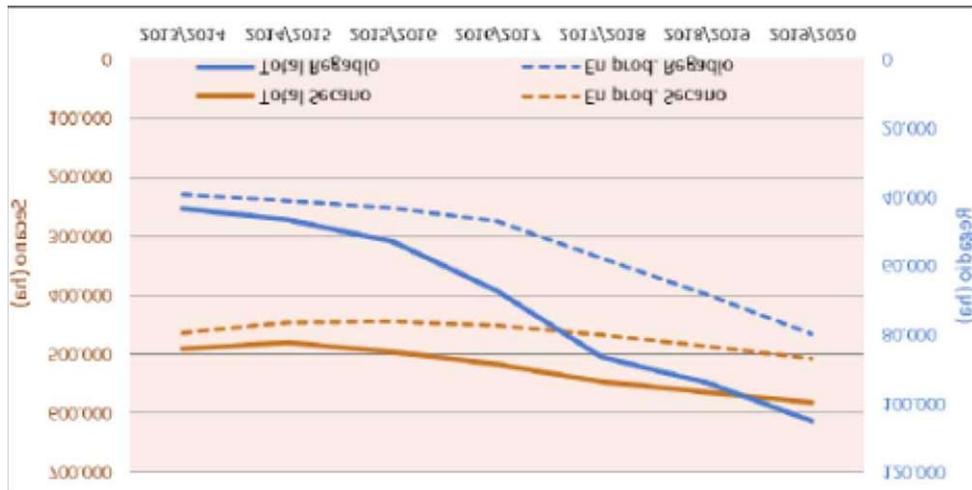


Figura 3: Evolución de la superficie total y de la superficie productiva de almendro de secano y de regadío en España por Comunidades Autónomas a lo largo del período 2013-2020 (Fuente: MAPA, Sectorial de frutos de cascara, septiembre 2020).

La distribución geográfica actual del cultivo del almendro en España muestra claramente como la mayor parte de la superficie se sitúa en la vertiente mediterránea, expandiéndose en la última década hacia otras zonas de Castilla León, Extremadura y Andalucía, donde esta especie ha sido tradicionalmente menos importante. La distribución de la producción por comunidades autónomas muestra esta amplia distribución territorial, pero evidencia también que las regiones realmente importantes son tres, dado que aportan el 75% de la producción nacional. Se trata de Andalucía, Castilla la Mancha y Aragón, tal y como se observa en la Figura 4, donde se expone también su evolución a lo largo del período 2004-2018. Dicha evolución muestra además algo característico del almendro como son las oscilaciones entre años dependiente de las condiciones climáticas, en particular las heladas primaverales. Estas afectan a variedades de floración precoz de amplia implantación territorial como son 'Marcona' o 'Desmayo Llangueta' de floración precoz.

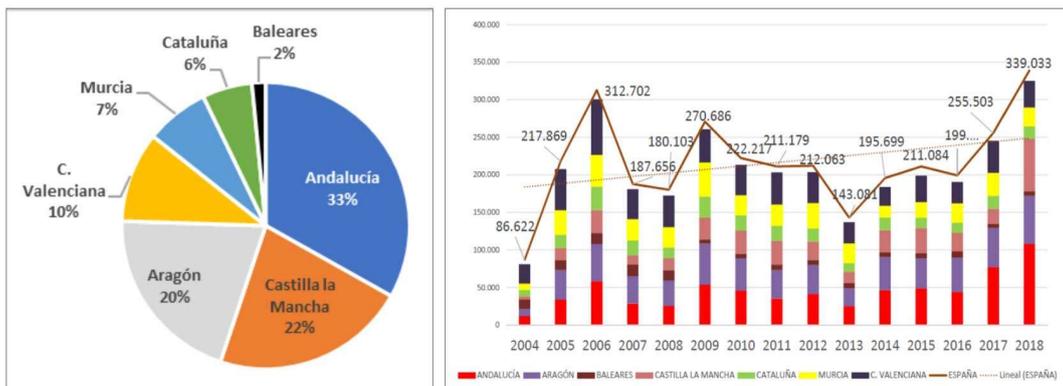


Figura 4: Distribución de la producción de almendra cáscara (t) en España por Comunidades Autónomas correspondiente al año 2018 (izquierda). A la derecha su evolución a lo largo del período 2004-2018 (Fuente MAPA).

Las producciones medias de las hectáreas productivas han sido tradicionalmente muy bajas en España, con valores medios de 240 kg/ha de almendra grano, al tratarse de un cultivo en muchas regiones marginal y de secano. En el caso de secanos frescales y dada la baja rentabilidad de los cultivos extensivos, se dispone en la actualidad de nuevas opciones productivas como son los almendros autoenraizados en fase de evaluación y desarrollo en diferentes regiones de España combinando tres factores: variedades autofértiles de floración tardía, la tecnología de micropropagación y la conducción en seto de pequeño volumen (Iglesias, 2019b). Sin embargo, en regadío la producción media asciende a 600 kg/ha. La evolución de las producciones desde el año 2011 hasta el año 2019 (campaña 2019-2020) y su previsión hasta el año 2025 se indica en la Figura 5, tanto para la producción convencional como ecológica. Puede observarse el notable incremento a lo largo del período 2013-2019, pasando de 42.300 t a 101.900 t. Una tendencia similar se observa para su proyección al año 2025.

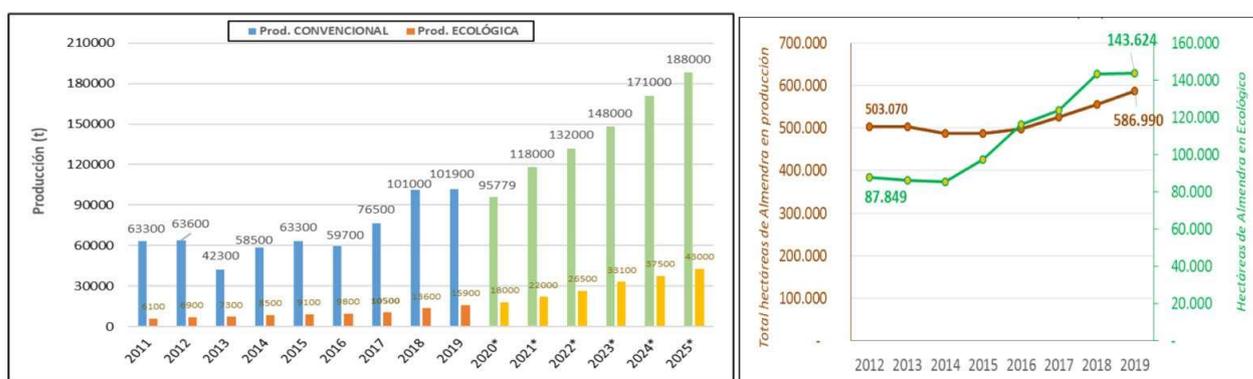


Figura 5: A la izquierda evolución de la producción de almendra grano (t) en producción convencional y ecológica a lo largo del período 2011-2019 y previsión para el período 2020-2025\*. A la derecha evolución de la superficie total productiva y en ecológico a lo largo del período 2012-2019. (Fuente: izquierda, elaboración propia a partir de los datos del MAPA y de la Mesa Nacional de Frutos Secos. Derecha: MAPA).

En producción ecológica se ha dado también un incremento constante a lo largo de dicho período. En el año 2019 se produjeron 15.900 t procedentes de 143.624 ha (Figura 5). El 85% de la superficie de frutos secos en ecológico corresponde al almendro, con un crecimiento del 63% en tan solo 8 años. En 2019 esta opción productiva representó el 22% de la superficie total y el 15% de la producción nacional.

Tanto las producciones de los últimos años como las previsiones proyectadas hasta el 2025 (Figura 4), indican un crecimiento sostenido de las producciones. Ello es el resultado de las importantes plantaciones realizadas en la última década, tanto en España como en Portugal. A falta de datos oficiales y en base a las ventas de los principales viveristas de España, se estima que en los 5 últimos años se han producido anualmente entre 15 y 20 millones de almendros con destino mayoritario a España (77%) y a Portugal (19%) y en menor grado a Italia. La mayoría se han destinado a los secanos (75-80%) y a sistemas tradicionales e intensivos (94%). Considerando el número de plántulas producidas, puede estimarse que la superficie plantada anualmente entre España y Portugal no ha sido inferior a las 30.000 ha/año. Ello supone un incremento acumulado muy importante que permite realizar la proyección estimada de las producciones en el horizonte 2025 expuesto en la Figura 4.

## La tecnología de producción

### Portainjertos

Con respecto a los patrones, su utilización ha ido muy ligada al sistema de formación utilizado en las diferentes zonas productoras. El vaso, con sus diferentes variantes, ha sido el sistema predominante, utilizándose tradicionalmente como patrón la almendra amarga y la variedad 'Garrigues'. En las dos últimas décadas para este sistema de formación se ha generalizado el uso de los patrones vigorosos GF-677, Garnem y más recientemente Rootpac R, por conferir este un menor vigor, permitir intensificar la plantación y presentar una buena adaptación a suelos compactos, poco fértiles o con problemas de replantación. Para el sistema en seto el principal patrón utilizado es Rootpac 20 por conferir un vigor controlado y un buen comportamiento en suelos fértiles, pero también pesados o con problemas de asfixia o nematodos. En ocasiones en que los suelos lo requieran por su baja fertilidad, textura compacta, mal drenaje, etc., el Rootpac R proporciona muy buenos resultados por su excelente adaptabilidad. El vigor de los patrones mencionados puede observarse en la Figura 6, donde es evidente la diferencia de vigor conferida a la variedad. Para el sistema en seto el patrón utilizado mayoritariamente en España y Portugal es el Rootpac 20 junto al Rootpac R, en casos donde lo justifiquen las limitaciones edáficas. Este último presenta a la vez un notable interés para el sistema intensivo con menores marcos de plantación por posibilitar un mejor control del vigor.

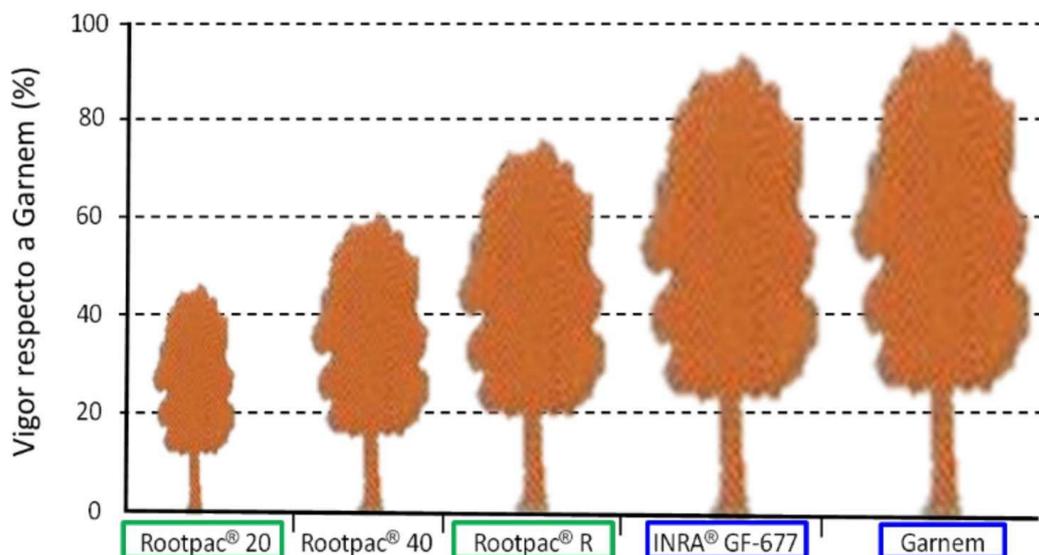


Figura 6: Vigor conferido por diferentes patrones de la serie 'Rootpac', con respecto a los de referencia: Garnem y GF-677.

### Variedades

La actual estructura productiva del almendro en España muestra como diferentes variedades se producen en las diferentes áreas productivas, buscando la mejor adaptación posible, otras son comunes a muchas zonas. De forma global, las que aportan el mayor volumen productivo son 'Guara', 'Avijor' y 'Soleta', las tres autofértiles. Sin embargo, en muchos secanos sin o con poco riego de heladas siguen cultivándose 'Marcona' (referente en calidad) y 'Llargueta Desmayo'.

La notable innovación en variedades procedente de España ha sido "la clave de vuelta" sobre la que descansa el notable desarrollo del almendro en las dos últimas décadas en el sur de Europa, en particular en España y Portugal. Dichas variedades proceden mayoritariamente de los programas de mejora genética del CEBAS-CSIC (Murcia), CITA (Aragón) e IRTA (Cataluña), además de 'Lauranne' (Avijor) del INRA (Francia). En conjunto aportan como caracteres destacables la autofertilidad y la floración mayoritariamente media

o tardía, cubriendo un amplio calendario de maduración (Figura 7). Además, muchas de ellas presentan una fructificación mayoritaria sobre ramilletes de mayo que pueden perpetuarse durante años si el manejo es adecuado, en particular la disponibilidad de luz y nutrientes (Miarnau et al., 2016, 2018). Sus características del grano, sensoriales y aptitud al procesado varían, siendo todas de cascara dura o semidura, lo que las hace menos sensibles a la afección por plagas y enfermedades. Las variedades de procedencia californiana como ‘Nonpareil’, ‘Bute’ o ‘Padre’, de cascara blanda han tenido escasa implantación en España y Portugal. La distribución de las variedades depende de su adaptación a las principales zonas de producción, principalmente del riesgo de heladas y también su aptitud a la industrialización. Destacar como variedades más plantadas globalmente en los últimos años ‘Guara’, ‘Soleta’ y ‘Avijor’, a las que hay que añadir otras con notable implantación según zonas productoras ‘Vairo’, ‘Marinada’ y ‘Penta’ (muy buena calidad gustativa), ‘Belona’ (calidad comparable a ‘Marcona’) y otras mejor adaptadas al sur como ‘Marta’ y ‘Antoñeta’ o con una buena rusticidad como ‘Vialfás’.



Figura 7: Periodos de floración y de maduración (<75% frutos con pericarpio abierto) de diferentes variedades de almendra en el Valle del Ebro. Media periodo 2010-2016 (Fuente: Adaptado de IRTA, CITA y CEBAS)

### Sistemas de formación

La combinación específica variedad/patrón, unido al sistema de formación y su correspondiente marco de plantación, constituyen los dos principales componentes del rendimiento en plantaciones de almendra. Al igual que en otras especies frutales, pero con un considerable retraso, en el almendra se está dando una tendencia clara hacia la intensificación de plantaciones (Iglesias, 2019a). El objetivo es alcanzar una entrada en producción más rápida y lograr una mayor eficiencia en el uso de los inputs, ligado a un menor volumen y accesibilidad de la copa. Con el objetivo de clasificar los sistemas de formación/plantación en almendra, en la Tabla 2 se indican de forma simplificada los más utilizados en la actualidad en base al marco de plantación.

TRADICIONAL	INTENSIVO	SETO
7 a 6 x 6 m	6 a 5 x 4 a 3 m	3,5 a 3,0 x 1,3 a 1,0 m
238 a 278 árboles	417 a 666 árboles	2.197 a 3.333 árboles

Tabla 2: Principales sistemas de formación utilizados en plantaciones de almendro en España en función del marco de plantación.

La intensificación de plantaciones permite una entrada en producción más rápida, por el hecho de que cada árbol ocupa rápidamente el espacio asignado. Esta intensificación va ligada también al vigor conferido por el patrón. Así en plantaciones superintensivas, por tratarse de copas de menor volumen y más bidimensionales con respecto al vaso, el control del vigor se consigue de forma natural con la utilización de patrones de poco vigor como el Rootpac 20. Se ha demostrado también que la intensificación de las plantaciones permite una más rápida entrada en producción y una amortización más rápida de la misma, tal y como se observa en la Figura 8.

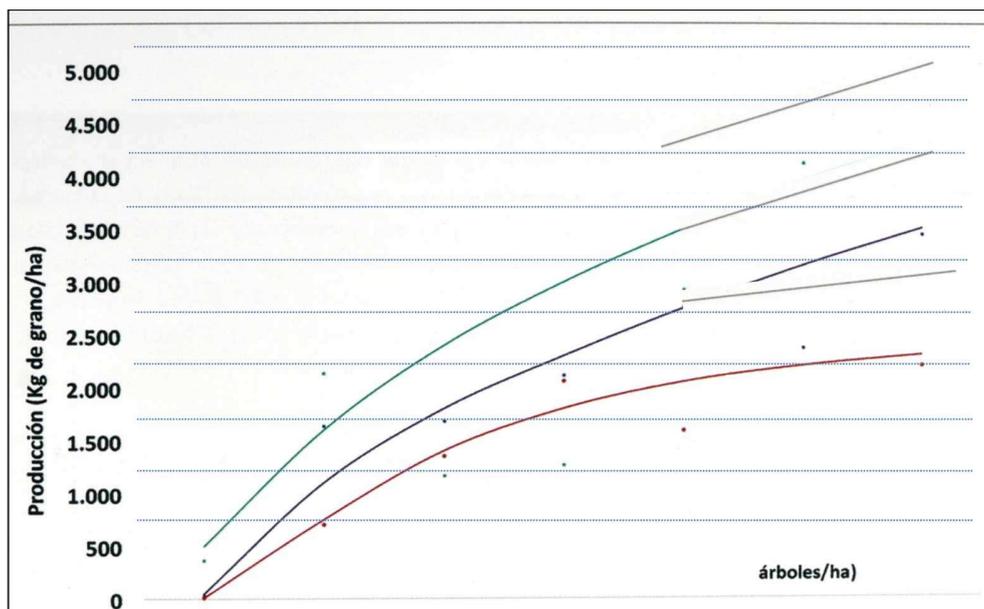


Figura 8: Efecto de la densidad de plantación en la producción anual de almendra grano (kg/ha) desde el 2º al 8º año de plantación (Fuente: Miarnau et al., 2018).

Este hecho, contrastado desde hace décadas en diferentes especies frutales (Iglesias y Torrents, 2020), unido a la disponibilidad de patrones de vigor medio y bajo (Rootpac R y Rootpac 20) ha conllevado al diseño de nuevos sistemas de formación más intensivos ya sea en vaso o en seto cuando la intensificación es superior.

La elección del sistema de formación en almendro lo determinará en buena parte la superficie de la plantación de cada empresa y de su disponibilidad de mano de obra. En plantaciones de dimensión media o grande el uso de paraguas invertido no es una opción factible en la actualidad por el tiempo que requiere y el riesgo de caída de almendra al suelo. La mano de obra, tanto en España como en Portugal, es cada vez más cara, escasa y de disponibilidad incierta, lo que supone un riesgo para sistemas más dependientes de mano de obra como son los mantos y buggies.

El sistema intensivo se basa en patrones de vigor medio a alto, principalmente GF-677, Garnem y Rootpac R (Figura 6). Los marcos de plantación más utilizados actualmente oscilan de 6 a 5 m entre líneas y de 6 a 2 m entre árboles, según sea el sistema de recolección elegido. El sistema de formación más utilizado es el vaso, con sus diferentes modalidades, mientras que con marcos menores se utiliza también el eje central, con recolección mantos + buggies o desde el suelo. El vaso puede ser el tradicional con 3 o 4 ramas principales con el punto de cruz a 1,10 m y poda de retorno al final del año 1 para reforzar la estructura del árbol, especialmente con marcos de plantación amplios. Buscando una mayor facilidad de formación, mano de obra menos especializada y una entrada en producción más rápida, el sistema intensivo ha dado lugar a diferentes variantes de entre las cuales la 'Poda Aragonesa 4.0', desarrollado por el Vivero de Abel (Caspé, Zaragoza) es ampliamente utilizado en España y Portugal. Este sistema, que comparte principios de poda y manejo del seto, se basa en intervenciones o 'pinzamientos' en verde, de forma manual combinada con la poda mecánica hasta el cuarto año (4.0). Con ello se consigue la multiplicación de las ramas y la rápida ocupación del espacio, además de una entrada en producción más rápida, en particular cuando se intensifica la plantación. A partir del cuarto año solo se realizan intervenciones de poda mecánica de forma puntual mecánica y solo cuando la luz interceptada supera el 80%. Ello permite mantener constante el volumen de copa y optimizar la intercepción de la radiación. En sistemas intensivos el marco de 6 x 4 m es el límite para el uso de paraguas invertido, con marcos menores se impone el uso del sistema de mantos y buggies o el sistema californiano de recogida del suelo.

El sistema del almendro 'en seto', también denominado también SES por sus siglas en inglés: Sustainable and Efficient System y en frutales 2D, es el resultado de una intensificación del cultivo gracias a la utilización de patrones de bajo vigor como es el Rootpac 20 que permite la intensificación (Figura 6 y Tabla 2) y un buen control del vigor. Con ello y con un correcto manejo de la tecnología de cultivo, en particular la poda, el riego y la fertilización, se consigue la plena producción al tercer o cuarto año de plantación que permite compensar el mayor coste de plantación con respecto a los sistemas menos intensivos. El sistema se basa en árboles pequeños, con una copa de volumen controlado y constante a lo largo de los años mediante 1 o 2 pases de poda mecánica anualmente. Esta peculiar arquitectura de árbol posibilita en almendro la utilización de máquinas cabalgantes para la recolección que cada vez más están mejorando sus prestaciones y eficiencia. Además, este tipo de formación en seto es muy eficiente en la reducción de las pérdidas por deriva al realizar los tratamientos fitosanitarios. Se estima que esta reducción con respecto al vaso puede oscilar del 25 al 40% del volumen aplicado, según sea su volumen. La primera plantación de este sistema se realizó en el año 2010 en La Granja d'Escarp (Lleida) con un marco de plantación de 4,0 x 1,0 m (2.500 árboles/ha). La segunda en 2013 en la finca de Porxina-Mequinenza (Zaragoza), marco de plantación de 3,5 x 1,0 m (2.857 árboles/ha), por lo que se trata de un sistema relativamente reciente comparado con el vaso y sus diferentes modalidades. Su desarrollo se está dando de forma paralela en diferentes países del mundo y en 2020 alcanzó una superficie de 5.304 ha tal como se ilustra en la Figura 9. España, Portugal e Italia, constituyen la referencia en este modelo productivo.

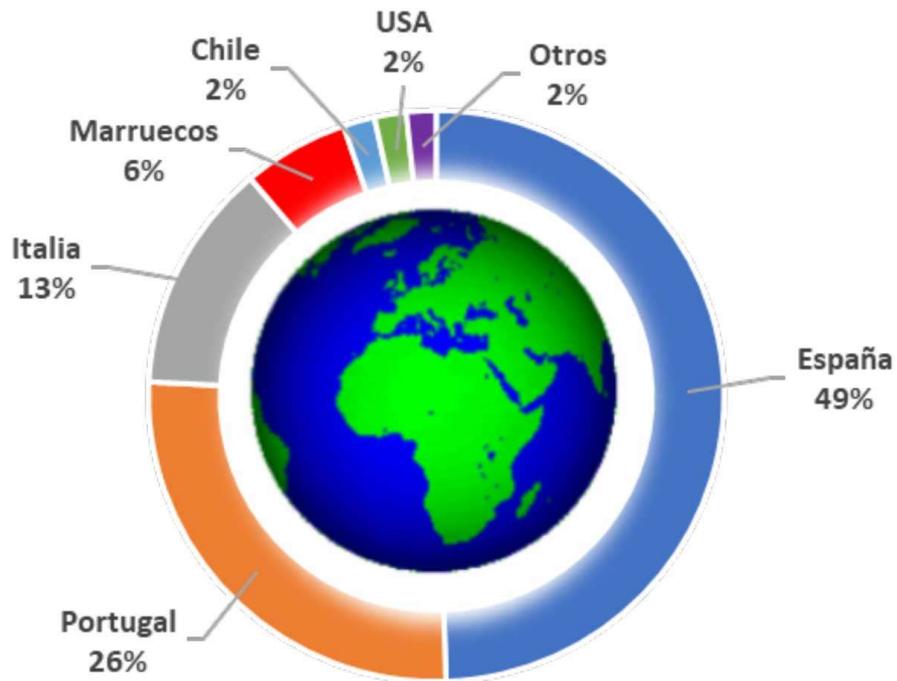


Figura 9: Distribución mundial de la superficie (ha) total de almendro en seto por países. Los datos corresponden a Marzo de 2020 e incluyen únicamente las plantaciones realizadas con el patrón Rootpac 20.

La base agronómica para el desarrollo de cualquier sistema de formación eficiente pasa por la optimización de la luz interceptada y su conversión en fotoasimilados. Además, cuanto menor sea la madera estructura y menor la copa inactiva por una iluminación insuficiente, tanto mejor será la eficiencia. Optimizar la luz interceptada es importante en todos los sistemas de formación, pero lo es más en el seto por su estructura vertical. Conseguirlo requiere un diseño óptimo de los marcos de plantación, en concreto de la distancia entre líneas, puesto que ocupar el espacio dentro de la línea se puede conseguir por la poda. En el seto su altura se ve limitada por la altura útil de las máquinas cabalgantes que cada vez ofrecen mejores prestaciones y adaptabilidad. La anchura de la calle deberá ir siempre relacionada con la altura del seto para no perder para siempre su potencial productivo. Así esta depende de la latitud, asumiendo que siempre que sea posible la orientación de las líneas será norte-sur. En la Figura 10 y siempre considerando la orientación N-S de las líneas, se ilustra como la latitud de una determinada zona determinará la distancia entre las líneas. Por ejemplo para una latitud de 45° N la relación anchura/altura es 1-1.

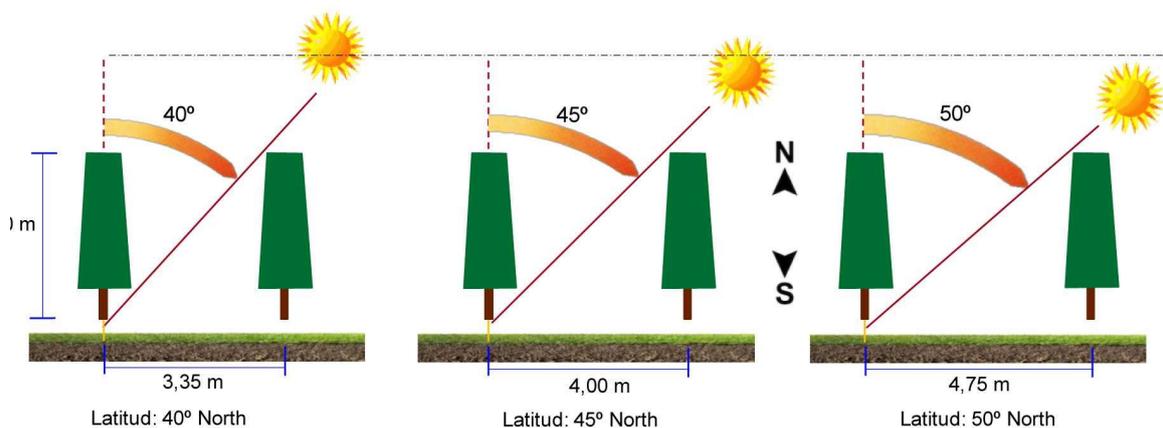


Figura 10: Efecto de la latitud en la distancia entre líneas en plantaciones frutales conducidas en formas planas, bidimensionales o 2D.

El segundo aspecto clave para optimizar la eficiencia del seto es conseguir una pared lo más uniforme y continua posible, evitando los vacíos sobre todo en la parte basal de los árboles por encima de los 50 cm. La pared frutal puede formarse con estructura de soporte y en eje central, que fue también la utilizada en olivo inicialmente. La segunda opción es la formación en multi-eje partiendo de un Smart Tree y con un soporte individual para cada árbol. Este sistema por el hecho de poseer múltiples ramas permite ocupar de forma más eficiente el espacio asignado a cada árbol, en especial cuando la distancia entre árboles es superior a 1 m. La ocupación del espacio se consigue con pinzamientos repetitivos a partir de la plantación y hasta que el seto alcance su altura final al tercer o cuarto año de plantación (Figura 11).

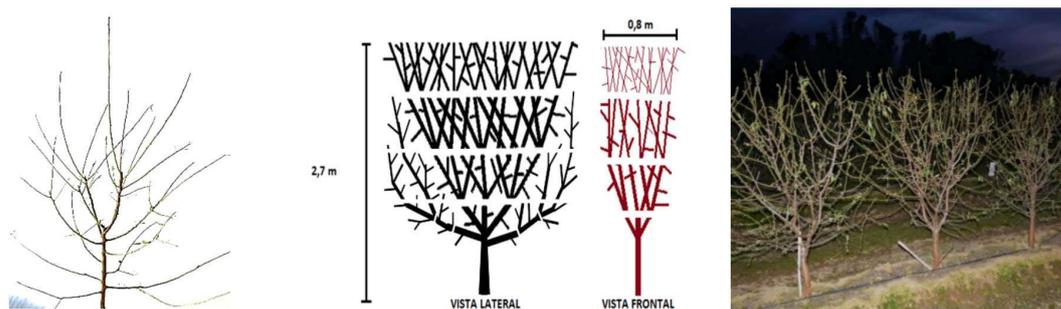


Figura 11: Pinzamientos repetitivos de los brotes, ramificación progresiva y ocupación del espacio asignado para alcanzar al 3er o 4º año el volumen final. A la derecha detalle de árboles plantados en mayo de 2018 en diciembre de 2019, al final de su 2º verde.

A medida que el sistema en seto se ha desarrollado en diferentes regiones y países ha evolucionado mejorándose aspectos relativos al diseño de la plantación (marcos de plantación), de la formación (eje central, multieje) y la poda (frecuencia de pinzamientos, poda anual de mantenimiento). Ello ha dado lugar a las diferentes versiones del modelo que han posibilitado mejorar la intercepción de la luz y la producción. Para una variedad concreta, los factores del diseño y manejo de la plantación (poda) que afectan directamente a la producción, en orden de mayor a menor importancia son:

- La distancia entre filas y entre árboles.
- La ocupación del espacio asignado a cada árbol.
- La altura y anchura del seto, limitadas por las máquinas cabalgantes.
- La orientación de las líneas.
- La forma de la copa para optimizar la intercepción de la radiación.

Dichas variables determinarán el volumen de copa ( $m^3/ha$ ) y en base a las componentes del rendimiento: nº de frutos después del cuajado y peso del grano (g), se obtendrá la producción por  $m^3$  de copa y por hectárea con un rendimiento en grano dependiente principalmente de la variedad.

De los factores de diseño de la plantación anteriormente expuestos, el de mayor peso en el rendimiento es la distancia entre filas, dado que la ocupación del espacio entre árboles, la altura y anchura del seto pueden compensarse con la poda y variedad adecuadas. El ajuste y mejora continuada de las variables anteriormente descritas, en particular del marco de plantación, ha dado lugar a diferentes versiones del modelo de conducción en seto. Estas versiones se han denominado: V1 (inicial, a 4,0 x 1,0 m); V2 (3,5 m x 1,0) y V3 (3 m x 1,25 m). La distancia entre árboles más común es entre 1,00 y 1,30 m. Su ocupación óptima dependerá fundamentalmente de la poda (pinzamientos y su frecuencia) y de la variedad (más menos aptitud a la ramificación, Figura 12) y se optimizará con la conducción en ramas múltiples en lugar del eje central. Los rendimientos medios obtenidos en plantaciones comerciales existentes en España y Portugal se exponen en la

Figura 11. Puede observarse la progresión de las producciones según sea la versión utilizada. Las producciones obtenidas hasta el 4º año con la V3 y un manejo óptimo de la copa han sido superiores a las esperadas.

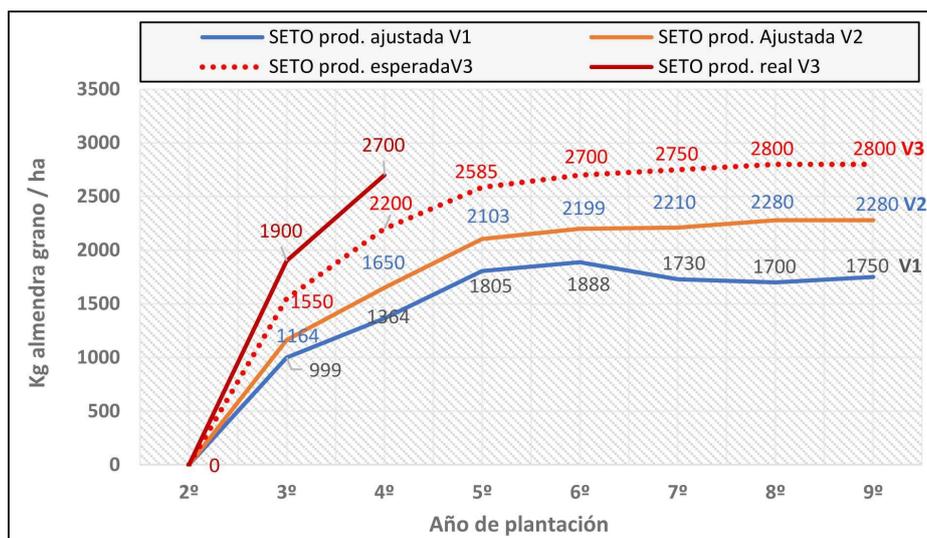


Figura 12: Producciones medias anuales de almendra grano (kg/ha) correspondientes a diferentes versiones del sistema en seto (V1, V2 y V3), obtenidas en plantaciones experimentales y comerciales de España y Portugal desde el año 2010.

Los volúmenes de copa en plantaciones adultas, considerando una altura total de seto de 2,7 m y una anchura de 80 cm, correspondientes a la Versión 1 (4 x 1,0 m), Versión 2 (3,5 x 1,0 m) y Versión 3 (3,0 x 1,25 m) son de 4.400, 5.028 y 5.867 m<sup>3</sup>/ha, respectivamente, comparado con los 15.200 m<sup>3</sup>/ha del sistema intensivo en vaso tradicional con un marco de 6 x 4 m. Ello se traduce, entre otros aspectos, en la reducción casi a la mitad de los volúmenes aplicados en los tratamientos, además de una importante disminución de las pérdidas por deriva que conduce a un ahorro de casi 100 €/ha-año en el coste de los tratamientos y a un beneficio ambiental considerable.

En el modelo en seto de almendro, ocupar el espacio asignado a cada árbol y conseguir una pared frutal lo más uniforme posible, constituye la base para obtener plantaciones eficientes con rendimientos óptimos a lo largo de los años. Para alcanzar este objetivo es preciso un manejo óptimo de la poda (pinzamientos), pero dependerá también de la variedad, su aptitud a la ramificación y el porte del árbol. Así variedades con aptitud a la ramificación ocuparán más fácilmente el espacio asignado y el porte semierecto facilitará su manejo en la recolección con respecto a las de porte péndulo como 'Llargueta'. En la Figura 13 se indica la evolución de las yemas de almendro y la aptitud a la ramificación de diferentes variedades.

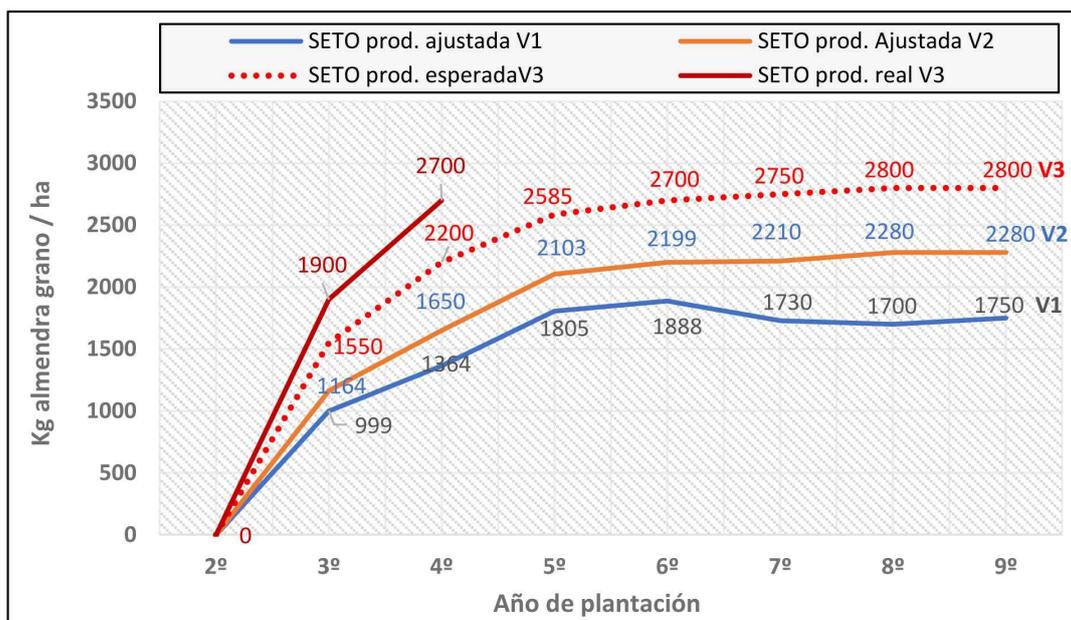


Figura 13: Evolución de las yemas de almendro y aptitud a la ramificación de diferentes variedades cultivadas.

La observación detallada de la copa de los árboles en el sistema intensivo (6 x 4 m) y en seto o SES multiteje (3,5 x 1,20 m) mediante su escaneo con la tecnología LIDAR permite observar diferencias importantes tanto en volumen como en ocupación del espacio asignado a cada árbol (Figura 14), características que van a influir tanto en la intercepción de la luz, su distribución en el interior de la copa o la eficiencia de los tratamientos fitosanitarios, entre otros aspectos.

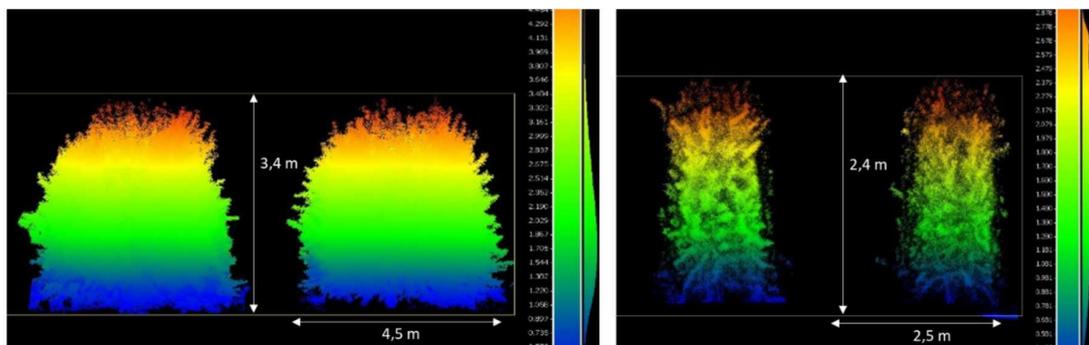


Figura 14: Diferentes volúmenes y alturas de copa y de ocupación del espacio correspondientes al vaso (izquierda) y al seto (derecha) de plantaciones en su cuarto año de plantación escaneadas con la tecnología LIDAR (Fuente: GRAP-ETSEA-UdL, 2020).

## Costes de producción y procesado

En cualquier especie frutal, uno de los aspectos más interesantes ligado a los sistemas de formación es conocer su efecto en los costes de producción, dado en particular en períodos de precios bajos, un menor coste de producción favorece a los sistemas que permiten reducirlos. Lo mismo ocurre con la mano de obra y conocer que sistemas son más dependientes de la misma, dado que su disponibilidad se ha visto aún más limitada en todos los países por los efectos de la Covid-19 y su coste no para de aumentar a un ratio muy superior a la inflación anual. Así para el año 2020 el salario bruto mensual para el personal de campo es de 950 €. La previsión para el año 2023 es de 1.300 €/año, mientras que para el año 2002 fue de tan solo 442 €.

Un análisis preliminar, dado que pueden darse importantes diferencias entre costes, producciones, regiones y productores, de los diferentes costes en fincas comerciales, incluida la recolección, el transporte hasta la planta de secado, limpiado y el secado, se expone en la Figura 15. No se han incluido los costes de amortización ni el de oportunidad de la tierra. Se han considerado dos sistemas que son los más utilizados en explotaciones de tamaño medio y grande: el seto recolección con cabalgante y marco de plantación de 3,5 x 1,20 m y el intensivo recolección con mantos + buggies a un marco de 6 x 4 m. En ambos casos se ha considerado una producción de 2.200 kg/ha de almendra grano. El coste total es superior en el intensivo con respecto al seto, por el mayor importe de algunos costes como la fertilización, los tratamientos o la recolección, entre otros. Sin embargo, la inversión inicial es superior en el seto, debido al mayor coste de plantación, asociado principalmente a una mayor densidad de plantación. Así, los costes totales de plantación correspondientes al seto y al intensivo de ambos sistemas, son de 13.406 y 7.456 €/ha, respectivamente.

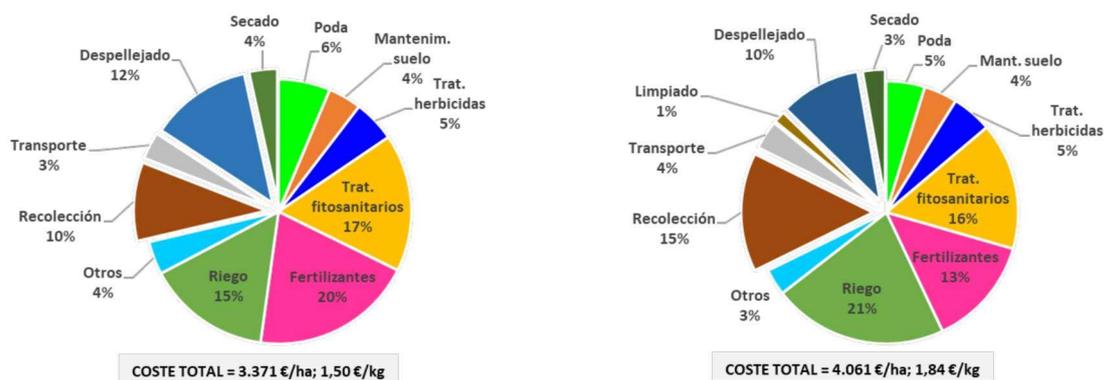


Figura 15: Costes preliminares de producción y procesado y su partición por conceptos para los sistemas en seto (recolección con cabalgante, izquierda), e intensivo (recolección con mantos y buggies, derecha), correspondientes a fincas comerciales del Valle del Ebro en el año 2019.

Los valores expuestos anteriormente correspondientes al sistema en seto y al vaso, recolección con mantos + buggies, junto a los correspondientes a otros sistemas de formación utilizados en España como son el paraguas invertido secado al sol o secado industrial, intensivo con Tenías y el sistema californiano de recogida del suelo, se han representado gráficamente en la Figura 16. Para su cálculo se ha considerado también la misma producción para todos los sistemas de 2.200 kg grano/ha. Los resultados obtenidos permiten observar algunas diferencias. Así, el mayor coste total corresponde al sistema californiano (2,0 €/kg), mientras que el más bajo se ha obtenido con el seto (1,50 €/kg), siendo el resto intermedios y con pocas diferencias. Las mayores diferencias entre sistemas se dan en los costes de producción en campo, en la recolección, en el limpiado y en el despellejado.

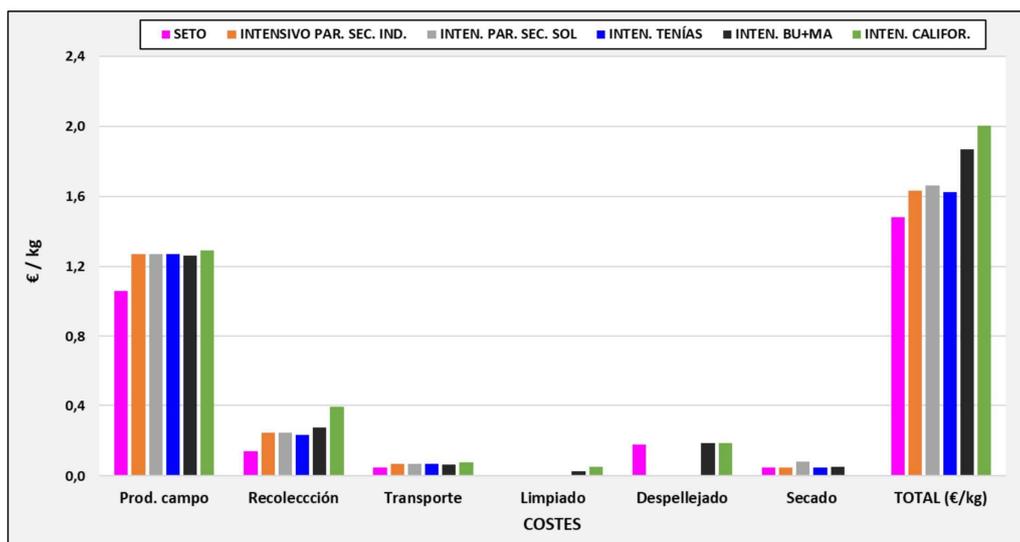


Figura 16: Coste total de producción y partición de costes (€/kg almendra grano) correspondientes a fincas comerciales con diferentes sistemas de formación de almendro en España el año 2019, considerando una producción de 2.200 kg/ha de almendra grano

Con respecto a la necesidad de mano de obra, el sistema de paraguas invertido junto al de mantos + buggies son los más exigentes, el sistema californiano se sitúa en la parte intermedia y requiere mano de obra más cualificada, al igual que el de Tenías y las cabalgantes, estos dos últimos con los menores requerimientos.

El análisis de la partición del coste de la mano de obra en campo y por conceptos, de los flujos de caja y de los indicadores de rentabilidad y será objeto de otro artículo. Los datos preliminares indican una alta dependencia de la rentabilidad con el precio de la almendra. Además muestran una similitud entre el seto y el intensivo, con algunos más favorables al seto y otros más favorables al intensivo. De ello se deduce que la elección por uno u otro sistema de plantación, además de la disponibilidad financiera, vendrá dada principalmente por tres factores:

- La mano de obra, su coste y disponibilidad futura, por el riesgo que puede suponer para grandes plantaciones, especialmente con los efectos de la Covid-19.
- La dimensión, orografía y localización de las futuras plantaciones, dado que condicionaron la inversión y la disponibilidad de maquinaria para la recolección.
- La optimización en el uso de los inputs, eficiencia productiva y sostenibilidad, al depender en gran medida del volumen de copa, en particular los tratamientos fitosanitarios, agua y fertilizantes, sin olvidar la mano de obra. Es más difícil conseguir dicha eficiencia con copas en volumen de los sistemas en vaso.

## Conclusiones

Se han expuesto los aspectos más destacables del cultivo del almendro en España, donde esta especie está experimentando una expansión sin precedentes, impulsada por la innovación tecnológica y por los buenos precios de los últimos años, a excepción de 2020. A lo largo de la última década se han plantado en España las mejores áreas para el cultivo del almendro desde el punto de vista edafo-climático, por lo que se deberá ser especialmente cauto en las nuevas plantaciones, su ubicación y posibles limitaciones edafo-climáticas por su efecto negativo en las producciones. Sin embargo, el almendro sigue contando con el viento a favor de un crecimiento sostenido de la demanda a escala nacional y global. Además, se dispone de las mejores condiciones climáticas del sur de Europa y es un cultivo altamente mecanizable, que lo hace menos dependiente la mano de obra.

La innovación se ha traducido en modernas plantaciones, manejadas de forma similar a los frutales desde el punto de vista tecnológico, con nuevas variedades autofértiles de floración media-tardía, nuevos portainjertos con una amplia gama de vigor, adaptabilidad y sistemas de formación que incluyen el vaso en sus diferentes modalidades y el seto. Sea cual sea el sistema elegido, la tendencia de los últimos años es hacia plantaciones cada vez más intensivas, con copas de volumen más reducido, que posibilitan una entrada en producción más rápida y una mayor eficiencia en el uso de los inputs, incluida la menor dependencia de la mano de obra. La Unión Europea va a focalizar su política agraria y las ayudas de la PAC al sector agroalimentario en la protección del clima y del medio ambiente, la denominada 'Europa verde'. Para ello se van a establecer limitaciones en el uso de inputs y ayudas a modelos productivos basados en la eficiencia y sostenibilidad. Estos pasan inequívocamente por la intensificación del cultivo para enmarcarlo dentro del concepto de Agricultura 4.0, también denominada de 'Precisión o Smart Agriculture', como parte de la Agricultura Intensiva Sostenible. Como afirma la FAO es el nuevo paradigma para alimentar el mundo en 2050: 'La intensificación sostenible de la producción de cultivos'.



Foto: G.Rutigliano.

### **Bibliografía**

- Almond Board of California, 2019. Annual Report. Almond Almanac 2019.
- Casanovas-Gascon, J.; Figueras-Panillo, M.; Iglesias-Castellarnau, I.; Martín-Ramos, P., 2019. Comparison of SHD and Open-Center Training Systems in Almond Tree Orchards cv. 'Soleta'. *Agronomy*, 2019, 9, 874, 1-15.
- Catalano, L.; Laghezza, L.; Digiario, D.; Gentile, G. 2020. Uno sguardo sulla nuova mandorlicoltura italiana. *Riv. di Frutticoltura*, In Press.
- Iglesias, I. 2019a. Sistemas de plantación 2D: una novedad en almendro, una realidad en frutales. *Hacia una alta eficiencia. Revista de Fruticultura*, 67, 22-44.

- Iglesias, I. 2019b. #reinventamoslossecanos: el almendro autoenraizado. *Revista de Fruticultura*, 72, 32-47.
- Iglesias, I.; Torrents, J. 2020. Diseño de nuevas plantaciones adaptadas a la mecanización en frutales. *Dossier fruta de pepita. Horticultura*, 346, 60-67.
- Miarnau, X.; Torquet, L.; Batlle, I.; Romero, A.; Rovira, M. y Alegre, S. (2016). Comportamiento Agronómico y productivo de las nuevas variedades de almendro. *Fruticultura Profesional, especial almendro*, 2016, 42-59.
- Miarnau, X.; Torquet, L.; Zazurca, L.; Maldonado, M.; Girabet, R.; Batlle, I.; Rovira, M. 2018. El futuro del almendro en España: ¿Será posible producir 4.000 kg de grano/ha?. *Horticultura*, Sept. 16-26.
- Waycott, R.; Saa, S. 2020. Principales características del sector de la almendra en California: los inicios, la consolidación, las perspectivas. *Olint*, 36, 13-19.