

Mejora genética del almendro: pasado, presente y futuro

El cultivo del almendro está experimentando una revolución debida a sus posibilidades de nuevos sistemas de cultivo y mecanización que permiten la modernización de las explotaciones. Las variedades y patrones obtenidos en el programa de mejora del CITA se han adaptado satisfactoriamente a las exigencias de los nuevos sistemas de cultivo.

Beatriz Bielsa¹, Álvaro Montesinos¹, María Teresa Espiau¹, José Miguel Ansón¹, Santiago José Jaime¹, Diego Laya², María Ángeles Sanz^{3,4}, Gloria Estopañán³, Vicente González^{4,5}, Jérôme Grimplet^{1,4} y María José Rubio-Cabetas^{1,4}

¹ Unidad de Hortofruticultura. Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA)

² Unidad de Cultivos Leñosos. Centro de Transferencia Agroalimentaria (CTA)

³ Área de Laboratorios de Análisis y Asistencia Tecnológica. Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA)

⁴ Instituto Agroalimentario de Aragón – IA2 (CITA-Universidad de Zaragoza)

⁵ Protección Vegetal. Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA)



España es el país que más superficie dedica al cultivo del almendro, unas 687.230 ha (FAOSTAT, 2021), siendo el tercer productor mundial de almendra con una producción estimada para 2020 de 352.200 t de almendra en cáscara (**Figura 1**) (MAPA, 2020), y unas 85.000 t de almendra en grano, que supone sólo un 9,7% de la producción mundial. Estas cifras denotan una baja productividad de las plantaciones, muy inferior con respecto a la productividad media en EE. UU. o Australia, países con un modelo de producción basado en plantaciones totalmente en regadío con rendimientos por encima de los 2.000 Kg en grano/ha. En España, solo un 20% está dedicado a regadío. Sin embargo, en los últimos años el cultivo del almendro ha dejado de ser un cultivo marginal para convertirse en un cultivo frutal de regadío altamente tecnificado, pudiendo llegar a superar los 2.000 Kg en grano/ha. Igualmente, es destacable el paso a cultivo en ecológico



carles todo su potencial productivo en cada zona de cultivo dependiendo de la biodiversidad del suelo y del clima.

Mejora genética de variedades

El cultivo del almendro en España estuvo liderado en la década anterior por las variedades tradicionales 'Desmayo Langueta' y 'Marcona', muy adaptadas a las condiciones edafoclimáticas típicas de la cuenca mediterránea de suelos áridos y clima cálido. Sin embargo, son variedades de floración muy temprana por lo que, excepto en zonas costeras del litoral mediterráneo, el peligro de heladas era constante en zonas del interior del país, más frías, con mayor pluviometría y con mayores posibilidades de riesgo que en las zonas tradicionales de producción.

Otro problema de las variedades tradicionales era su autoincompatibilidad. La polinización requiere el uso de otra variedad para que actúe como polinizadora. Para ello las dos variedades deben florecer simultáneamente, lo cual no ocurre siempre para un par de variedades, cuyo solape puede variar según las condiciones climáticas del año.

Por ello, el programa de mejora genética del CITA, iniciado en 1974 por Antonio J. Felipe, consideró la autocompatibilidad y la floración tardía como dos objetivos primordiales, sin dejar de lado la calidad del fruto. Hoy en día, las variedades autocompatibles (autógamas) son imprescindibles en las plantaciones monovarietales (**Tabla 1**), la mayoría tecnificadas. Los primeros resultados en la selección y mejora genética llevaron al registro de tres variedades: 'Ayles', 'Moncayo' y 'Guara' (Felipe y Socias i Company, 1986). 'Guara' fue la primera variedad puesta a disposición del sector productor en 1988, que reunía estos dos caracteres de interés y que se ha expandido posteriormente llegando a considerarse como referencia. En Aragón, ayudó a liderar la producción durante años al retrasar la floración por su cultivo en las zonas de Moncayo con pluviometrías más altas, y con la seguridad de una autogamia independiente de la actividad polinizadora de los insectos, a veces impedida por el cierzo de Aragón. Otros cultivares

que están llevando a cabo plantaciones convencionales en secano debido al aumento de ese nicho de mercado y la disponibilidad de bioestimulantes de todo tipo autorizados para cultivo ecológico. Por ello, se prevé que en 2025

la producción de almendra en grano alcance las 150.000 t en España. Aun así, quedan algunos aspectos importantes sin resolver, como la divulgación del manejo agronómico del nuevo material vegetal, variedades y patrones, para sa-

Figura 1

Evolución de la producción de almendra en cáscara en España desde 2010.
Fuentes: Elaboración propia a partir de datos de FAOSTAT, MAPA y Almendrave.

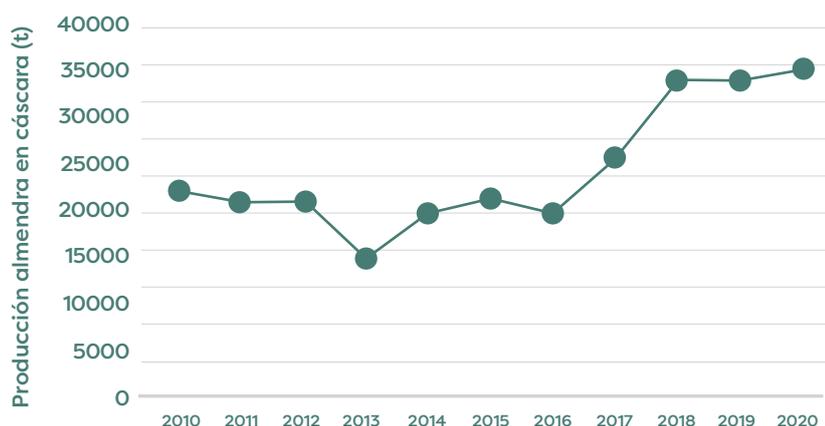


Tabla 1.
Características principales de las variedades del CITA. Fuente: Felipe *et al.*, 2017.

VARIEDAD	FLORACIÓN	POLINIZACIÓN	VIGOR	MADURACIÓN	RENDIMIENTO (%)
'Ayles'	Tardía	Autógama	Medio	Tardía	33
'Belona'	Semitardía	Autógama	Medio	Semitardía	33
'Blanquerna'	Semitardía	Autógama	Medio	Muy Temprana	30
'Cambra'	Tardía	Autógama	Medio	Semitardía	27
'Felisia'	Muy tardía	Autógama	Medio	Semitardía	35
'Guara'	Tardía	Autógama	Medio	Muy Temprana	35
'Mardía'	Extratardía	Autógama	Alto	Temprana	24
'Soleta'	Semitardía	Autógama	Medio	Tardía	33
'Vialfas'	Extratardía	Autógama	Medio	Temprana	25

registrados con diferentes épocas de floración y con ausencia de pepitas dobles fueron 'Blanquerna', 'Cambra' y 'Felisia' (Socias i Company y Felipe, 1999), pero no llegaron a difundirse tanto.

Las plantaciones monovarietales y en regadío que se han implantado en la última década han permitido una mayor facilidad en la gestión de las prácticas agronómicas a realizar y en el manejo comercial de la producción. La introducción de variedades de floración tardía y extratardía, ha reducido significativamente el daño por heladas por medio del escape a las mismas (**Figura 2**). Sin embargo, no sólo la floración tardía es interesante para evitar el daño de las heladas, sino también la propia resistencia a la helada del material vegetal evaluado. Este carácter reviste una importancia fundamental en relación a la expansión del cultivo hacia el interior. Por ello, las últimas variedades, resultado de los trabajos de mejora genética, fueron la selección de nuevas variedades autógamas con alta calidad de fruto. En 2005, se registraron 'Soleta' y 'Belona' caracterizadas por ser autógamas, de floración tardía y con relativa tolerancia a

las heladas primaverales (Socias i Company y Felipe, 2007). Estas dos últimas, han tenido una excelente acogida en todas las plantaciones intensificadas y altamente tecnificadas. Por último, las variedades 'Mardía' y 'Vialfas' de floración extratardía (Socias i Company *et al.*, 2015, 2008) se han expandido también en las zonas de interior peninsular.

En 2007, se incorporó el estudio de la calidad de la almendra como un objetivo prioritario del programa de mejora genética del almendro del CITA. Entre otros compuestos químicos, se ha investigado la concentración de los isómeros de tocoferol, monofenoles con actividad antioxidante, fundamental para la estabilidad a la oxidación de los ácidos grasos poliinsaturados (PUFAs) presentes en el aceite de la pepita y, por tanto, en el mantenimiento de su calidad. Las variedades CITA 'Soleta' y 'Belona' presentan un contenido equiparable o incluso superior al de variedades como 'Marcona', de reconocida calidad, y 'Desmayo Largueta', ambas con gran comercialización. Esto desemboca en una identificación singular para 'Belona' en el mercado. Actualmente, los

estudios continúan y se han ampliado con la determinación e identificación de polifenoles, flavonoides y proantocianinas, y la evaluación de la capacidad antioxidante.

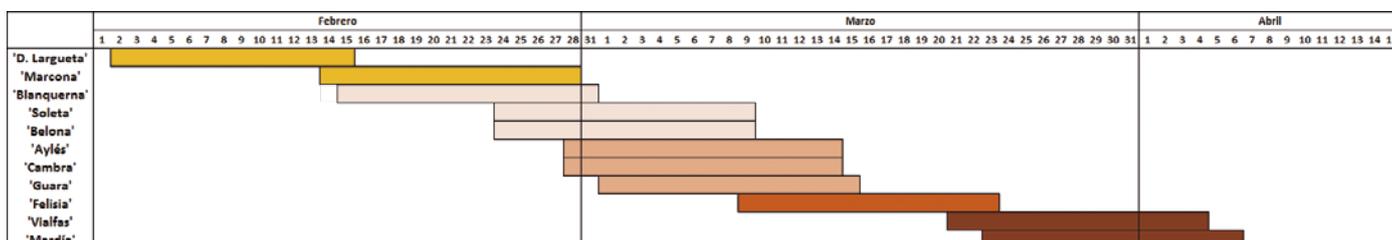
Mejora genética de portainjertos

La elección del patrón es un factor determinante en el diseño de las plantaciones modernas ya que dicha elección afectará a características finales del árbol como son su vigor, anclaje, tamaño, productividad y calidad de fruto, así como su tolerancia a estreses abióticos y bióticos. El conocimiento y estudio de las características edafoclimáticas y las condiciones agronómicas de la zona de cultivo son el punto de partida para decidir la mejor combinación patrón/variedad ya que son unidades distintas, pero interdependientes, haciendo de su interacción un aspecto complejo.

El almendro presenta una buena compatibilidad de injerto no solo con patrones de su misma especie, sino también con melocotonero y sus híbridos interespecíficos. En España, se pasó de utilizar patrones francos de almendro como 'Garrigues' a híbridos interespecíficos especialmente en regadío, pero también en secano. En la actualidad, los patrones comerciales de almendro utilizan germoplasma de melocotón, y diversos ciruelos con el fin de incorporar resistencias a plagas y enfermedades, así como tolerancias a estreses abióticos (**Figura 3**).

Un aspecto importante a considerar en la expansión del cultivo en regadío era el control de los nematodos, presentes en el sur de España, y otros patógenos del suelo. Por ello actualmente, en estas zonas es común la sustitución de cultivos como el melocotonero y olivo por almendro, siendo desaconsejable

Figura 2
Época de floración de las variedades tradicionalmente cultivadas y las registradas por el CITA. Fuente: Felipe *et al.*, 2017.





La elección del patrón es determinante en el diseño de las plantaciones modernas ya que afectará a las características finales del árbol

Figura 3
Diferentes patrones clonales comerciales en fase de propagación.

la utilización de patrones susceptibles a nematodos como el franco y el híbrido 'INRA GF-677' que ha sido el híbrido más difundido en España desde los años 70. Desde el CITA, se dio solución a esta problemática desarrollando los híbridos de hoja roja de la serie 'Garfi' x 'Nemared' (G×N): 'Garnem', 'Felinem' y 'Monegro' (Felipe, 2009). Estos aportaban la resistencia a nematodos, además de otros caracteres de interés como el tamaño de la planta, vigor, productividad y la facilidad de propagación. De ellos, destaca 'Garnem' que ya representa un

20% de los patrones utilizados para almendro (**Figura 4**). Su éxito radica principalmente en transmitir un buen vigor, su resistencia a nematodos del género *Meloidogyne*, su adaptación a suelos calcáreos y buena tolerancia a clorosis, además de un buen comportamiento en replantación. Se propagan bien a nivel comercial y se comportan bien en vivero. Además de estos híbridos, desde el CITA también se seleccionó como patrón clonal el ciruelo 'Montizo', el cual se adapta a suelos húmedos y pesados, reduciendo el tamaño de los

árboles en comparación con los francos (Felipe *et al.*, 1997). Actualmente, se está ensayando otro híbrido ('GN-8') de la misma serie con una considerable reducción del vigor.

La innovación tecnológica en los programas de mejora

El grupo actual de mejora genética de variedades y patrones de almendro del CITA continúa con la innovación tecnológica. Mediante la aplicación de los avances en las herramientas biotecnológicas y el uso de las tecnologías de nueva generación, se han implementado estrategias ómicas que permitirán la selección final de los mejores materiales vegetales con producciones más rentables, eficientes y sostenibles. En ese sentido, desde el CITA se están llevando a cabo diferentes estudios en los que, gracias a la obtención del genoma del almendro (Alioto *et al.*, 2020), muchas de las labores llevadas a cabo se están desarrollando satisfactoriamente. Por un lado, la obtención de nuevas variedades autocompatibles, de floración extratardía aplicando la selección asistida por marcadores de la autocompatibilidad (gen *Sf*) y en estudio de la floración tardía (gen *Lb*). Se estudian los genes de resistencia a enfermedades, además del comportamiento agronómico y una alta calidad de fruto. También,

Figura 4
Distribución de los genotipos de patrones para almendro utilizados en España durante los años 2014-2015 (%).

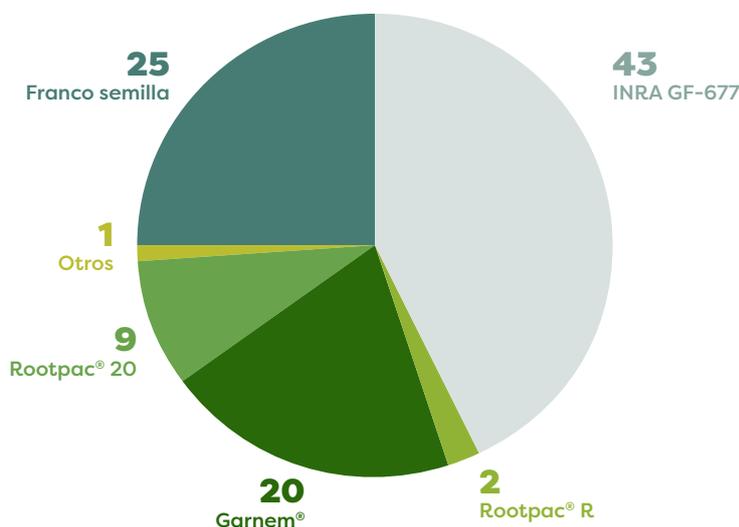
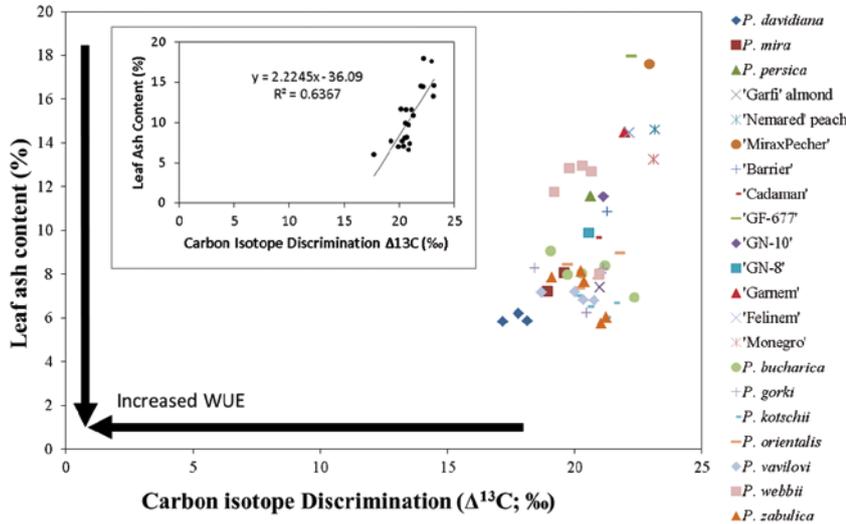


Figura 5
Relación entre la discriminación del isótopo de carbono [$\Delta^{13}\text{C}$ (‰)] y el contenido en cenizas foliar en distintos genotipos de *Prunus*. Las flechas indican la relación negativa existente entre estos dos parámetros y el uso eficiente del agua.



se están analizando distintos genes de respuesta al estrés por heladas en diferentes variedades de almendro y así, identificar marcadores genéticos de tolerancia al frío útiles en selecciones futuras. Por otro lado, la obtención de patrones tolerantes a enfermedades de suelo, que controlen el vigor y que posean un uso eficiente del agua. Así, se han establecido las bases moleculares de la tolerancia a la asfixia radicular en ciruelos mirabolanes (Amador *et al.*, 2012; Rubio-Cabetas *et al.*, 2018) y a la

sequía en ‘Garnem’ (Bielsa *et al.*, 2019, 2018b, 2018a, 2016), sugiriendo, además, que los híbridos GxN, especialmente ‘Monegro’, poseen un uso más eficiente del agua que otros patrones (Figura 5) (Bielsa *et al.*, 2018a) y poniendo en valor su potencial tolerante a sequía. En la misma línea, se están estudiando los mecanismos moleculares que regulan la arquitectura del almendro, la influencia del portainjerto y la interacción entre éste y la variedad a la hora de desarrollar un porte o unas ramificaciones deter-

minadas y así, seleccionar patrones y variedades con distintos tamaños y portes que puedan satisfacer las necesidades de los nuevos sistemas de cultivo en marcos más estrechos (Figura 6). Todo ello hace posible el desarrollo de marcadores genéticos útiles en la selección asistida para todos estos caracteres de interés. Asimismo, la identificación de los genes asociados a la resistencia de nematodos agalladores en almendro facilitará los trabajos de selección y la introducción de este carácter resistente en las nuevas selecciones.

En cuanto al estudio de la resistencia a enfermedades, se pretende caracterizar y comparar el microbioma de genotipos tolerantes y sensibles a distintas enfermedades fúngicas como la mancha ocre, el cribado o la podredumbre de cuello y raíz, mediante un enfoque metagenómico que permita detectar diferencias en las comunidades microbianas asociadas a distintas variedades, así como los microorganismos-clave que modulan esos perfiles de tolerancia/sensibilidad para su incorporación a estrategias de mejora.

Manejo de la información generada y su digitalización

El programa de mejora del almendro del CITA, a través de su extensa vida, y el legado dejado por los predecesores Antonio Felipe y Rafel Socias i Company



Figura 6
(A) Ramificación y eje central característica (A) de un ideotipo de almendro, y (B) porte y ramificación igual de una selección de almendro mostrando distinto vigor según el portainjerto: mayor vigor en ‘Garnem’ (izquierda) y reducción de vigor en ‘GN-8’ (derecha).

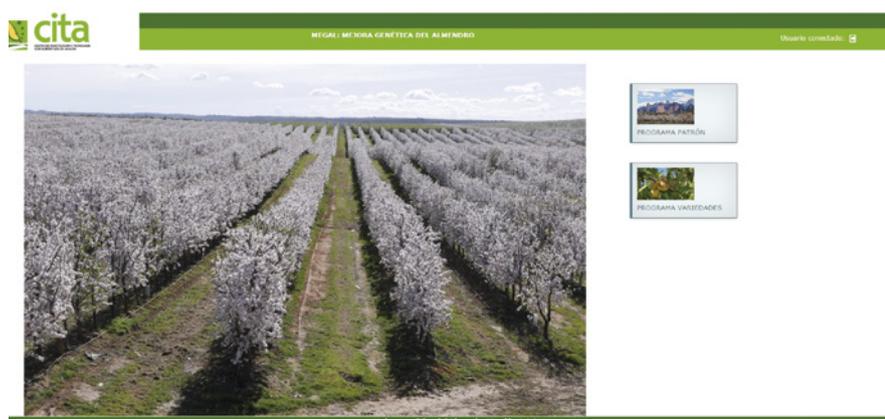


Figura 7
Detalle de la interfaz de la base de datos MEGAL del CITA.

ha generado, y sigue generando, una infinidad de datos de interés, muy útiles en la labor de investigación. El inconveniente de esa gran cantidad de información es su gestión y manejo. Por ello, se ha desarrollado una base de datos donde poder almacenar los datos existentes y recoger los nuevos generados durante el proceso

experimental. Su característica principal es su desarrollo como aplicación web modular (**Figura 7**), accesible desde cualquier dispositivo con acceso a internet, facilitando la labor del mejorador con más sencilla introducción y consulta de los datos, incluso en el propio campo. Todo ello posibilita un ahorro de tiempo

y recursos que tiene como consecuencia final la selección más eficiente de nuevas variedades y patrones adaptados a las nuevas condiciones de cultivo.

Conclusiones

El objetivo global del programa de mejora de almendro del CITA es incrementar los rendimientos del cultivo del almendro mediante la mejora del material genético en los frentes de adaptabilidad a los factores abióticos y a las plagas y enfermedades, o a la mecanización, siempre preservando la calidad del producto. Para ello, dispone simultáneamente de la tradición de investigación de excelencia sobre el tema y de herramientas innovadoras.

Bibliografía

Queda a disposición del lector interesado en el correo electrónico: redaccion@editorialagricola.com

NOVEDAD EDITORIAL

Variedades de vid en España

2ª Edición
Actualizada y revisada

50€

