

MATERIAL VEGETAL PARA UN CULTIVO MÁS SOSTENIBLE DEL ALMENDRO

El programa de mejora genética del CITA Aragón busca desarrollar variedades de almendro más tolerantes a enfermedades fúngicas y bacterianas

Beatriz Bielsa^{1,2} Clara Córdoba^{1,2}, Pablo Bruna³, Carlos Agustí-Brisach⁴, Vicente González^{2,5}, Jérôme Grimplet^{1,2} y María José Rubio-Cabetas^{1,2}

¹Departamento de Ciencia Vegetal. Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA). Avda. Montañana 930, 50059, Zaragoza, España. ²Instituto Agroalimentario de Aragón – IA2 (CITA-Universidad de Zaragoza), Zaragoza, España. ³Unidad de Leñosos. Centro de Transferencia Agroalimentaria (CTA). Avda. de Movera 580, 50071, Zaragoza, España. ⁴Departamento de Agronomía (DAUCO), Unidad de Excelencia María de Maeztu 2021-2024, Universidad de Córdoba, 14071, Córdoba, España. ⁵Departamento de Sistemas Agrícolas Forestales y Medio Ambiente (SAFMA). Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA). Avda. Montañana 930, 50059, Zaragoza, España.

El cultivo del almendro está considerado un cultivo de alto valor, y ha experimentado en los últimos años una auténtica revolución. La demanda ha sido superior a la producción debido a su alta calidad nutricional y a los nuevos hábitos de consumo de la población. España ha sido siempre una potencia en su producción y, Aragón en particular, ha tenido siempre una gran tradición en su cultivo. Las variedades y patrones obtenidos en los programas de mejora del Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA) se han adaptado satisfactoriamente a las exigencias de los nuevos sistemas de cultivo. En este artículo se presenta

el programa de mejora genética del almendro del CITA mostrando los últimos avances más innovadores para el sector.

MEJORA GENÉTICA DE VARIEDADES

El programa de mejora genética del almendro del CITA, iniciado en 1974 por Antonio J. Felipe, estableció como objetivos principales la autocompatibilidad y la floración tardía, manteniendo también un enfoque en la calidad del fruto. Hoy en día, las variedades autocompatibles son imprescindibles en las



Figura 2. Propagación de los portainjertos rojos Garnem® y Pilowred® en viveros comerciales.

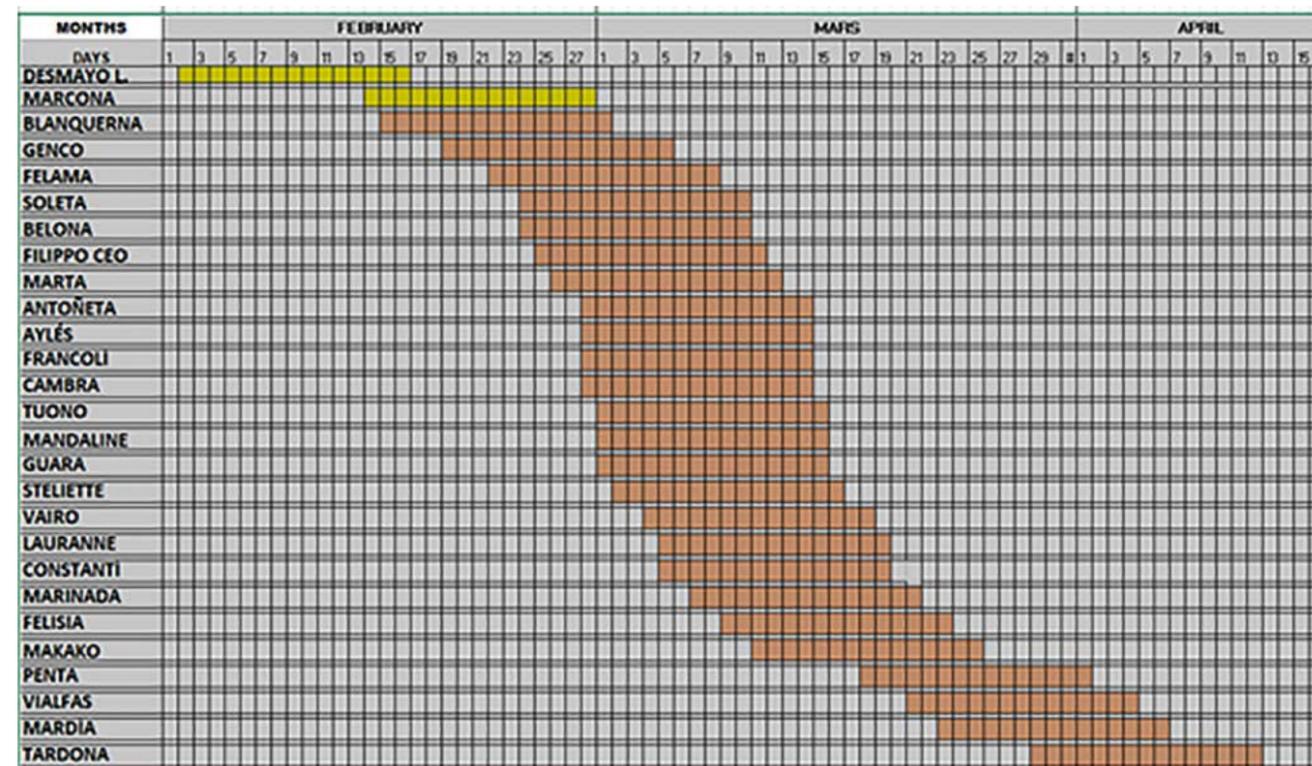


Figura 1. Fecha de floración en distintas variedades de almendro autocompatibles (en naranja) en comparación con variedades no compatibles (en amarillo). Fuente: Rubio-Cabetas et al., (2024).

plantaciones monovarietales. ‘Guara’ fue la primera variedad que reunía estos dos caracteres de interés, llegando a considerarse una variedad de referencia.

“Las variedades autocompatibles son imprescindibles en las plantaciones monovarietales”

La introducción de variedades de floración tardía y extratardía ha reducido significativamente el daño por heladas por medio del escape a las mismas. Entre las variedades obtenidas por el CITA se encuentran Soleta® e Isabelona®, dos variedades autógamas, de floración tardía y, además, con relativa tolerancia a las heladas primaverales (Socias i Company y Felipe, 2007); y Felama®, variedad de reciente obtención (Rubio-Cabetas et al., 2024) con floración igual que Soleta® pero con maduración más temprana. Como variedades de floración extratardía, se seleccionaron Mardía® y Vialfas® (Fig. 1), consideradas las más tolerantes a enfermedades (Socias i Company et al., 2008, 2015).

MEJORA GENÉTICA DE PORTAINJERTOS

La elección del portainjerto resulta fundamental ya que afectará al vigor, anclaje, tamaño, productividad del árbol y calidad de fruto, así como a la tolerancia a estreses abióticos y bióticos (Felipe et al., 2022). El 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 interdependientes.

En la actualidad, los patrones comerciales empleados son principalmente híbridos de almendro x melocotonero. Desde el CITA, se desarrolló la serie de híbridos rojos ‘Garfi’ x ‘Nemared’ (GxN) (Fig. 2), que entre sus características destaca la resistencia a nematodos agalladores del género *Meloydogyne*. Existen otros híbridos con ciruelo entre sus parentales con el fin de incorporar tolerancias a estreses abióticos y resistencias a enfermedades con gran relevancia socioeconómica, como son la podredumbre de raíces causada por *Armillaria mellea* o la podredumbre de cuello y raíz causada por especies del género *Phytophthora*, principalmente por *Ph. niederhauseri*

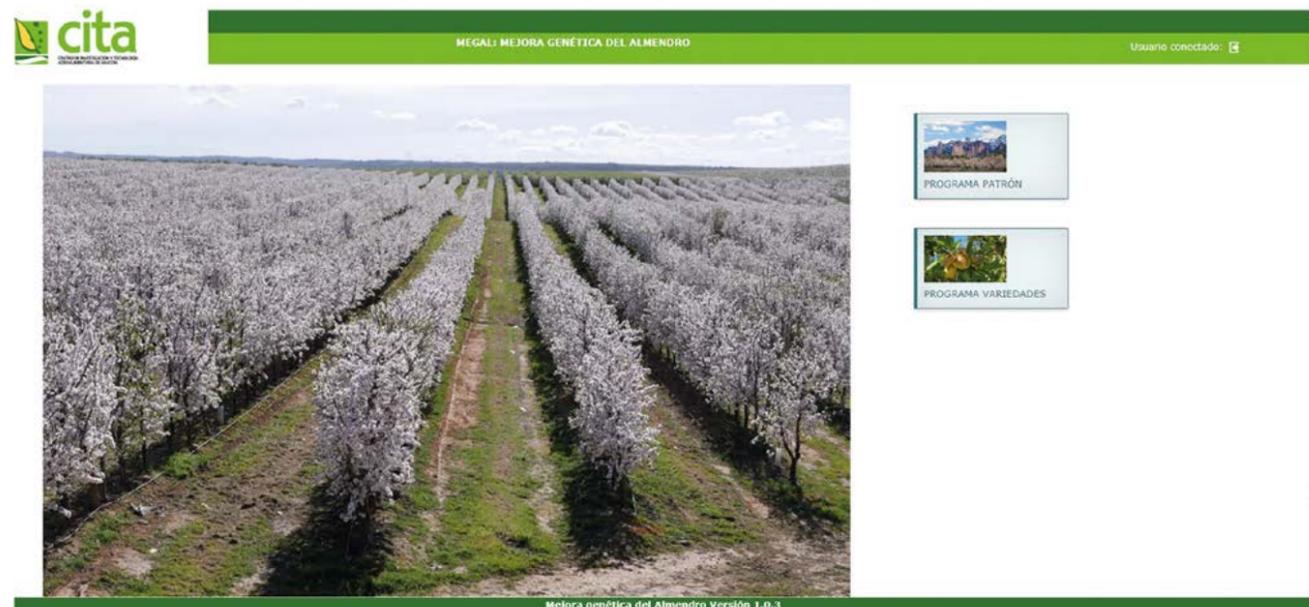


Figura 3. Detalle de la interfaz de la base de datos MEGAL del CITA.

(Palacio et al., 2017). En esta línea, resultados recientes de distintos ensayos realizados en el CITA han revelado distintas selecciones que presentan pocos o ausencia de síntomas asociados a *A. mellea* y *Phytophthora* spp., lo que les otorga un gran potencial para su uso como patrones comerciales resistentes a estos hongos.

LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA PARA UN CULTIVO MÁS SOSTENIBLE

Con el fin de mejorar la producción de los cultivos, es común recurrir al uso de agroquímicos que, en muchos casos, genera importantes problemas medioambientales. Por ello, es crucial la búsqueda de alternativas que proporcionen equilibrio entre productividad y sostenibilidad. En este sentido, la mejora genética vegetal supone una alternativa efectiva, sostenible e innovadora.

En la expansión del cultivo en regadío, es importante considerar el control de los nematodos, presentes en el sur de España. Desde el CITA, se dio solución a esta problemática desarrollando los híbridos de hoja roja: Garnem®, Felinem® y Monegro® (Felipe, 2009), y Pilowred® (Bielsa et al., 2023). Su éxito radica principalmente en transmitir la resistencia a nematodos del género *Meloidogyne*, la adaptación a suelos calcáreos y la tolerancia a clorosis, además de un buen comportamiento en replantación de los tres primeros. El híbrido de reciente obtención, Pilowred®, reduce considerablemente el vigor y tiene menos necesidades de frío, aspecto importante en un contexto climático de falta de horas de frío en muchas áreas frutícolas.

Asimismo, en lo que respecta al desarrollo de nuevas variedades, el CITA además de haber desarrollado la variedad Mardia®, resistente a mancha ocre, está evaluando variedades tolerantes a cribado y chancros y seca de ramas ('Fusicoccum' y 'Diaporthe'). Para ello, se está llevando a cabo la evaluación mediante el fenotipado con inoculaciones controladas de los microorganismos responsables de estas enfermedades en individuos de poblaciones segregantes.

"El CITA ha desarrollado la variedad Mardia®, resistente a mancha ocre"

Por otro lado, la implementación de estrategias "ómicas" ha permitido el desarrollo en el CITA de nuevas variedades autocompatibles y de floración tardía mediante selección asistida por marcadores. Además de facilitar el desarrollo de portainjertos tolerantes a enfermedades de suelo que controlan el vigor y con un mayor uso eficiente del agua (UEA). En el CITA, se han desarrollado las bases moleculares de la tolerancia a la asfixia radicular en ciruelos mirabolanes (Rubio-Cabetas et al., 2018) y a la sequía en Garnem® (Bielsa et al., 2019, 2018b), sugiriendo, además, que el híbrido de hoja roja Pilowred® posee un mayor UEA que otros patrones comerciales (Bielsa et al., 2018a). Actualmente, se están identificando los marcadores del gen *RMia*, asociado a la resistencia de

nematodos agalladores en almendro para la selección de los múltiples de genotipos híbridos, para desarrollar variedades más tolerantes. Con todo ello se pretende llevar a cabo la identificación de los genes R en el nuevo genoma del almendro.

"La selección asistida por marcadores es una de las técnicas más útiles para el desarrollo de nuevas variedades"

Una de las alternativas más prometedoras en la actualidad para el control biológico de plagas y enfermedades es el aprovechamiento del potencial de los microorganismos rizosféricos y endofíticos (Lucena et al., 2021). En este contexto, se pretende caracterizar y comparar las comunidades microbianas de genotipos tolerantes y sensibles a enfermedades fúngicas como la mancha ocre, el cribado o la podredumbre de cuello y raíz, mediante un enfoque metagenómico con el fin de identificar los microorganismos que influyen en esos perfiles de tolerancia/sensibilidad para su incorporación a estrategias de reproducción y mejora.

MANEJO DE LA INFORMACIÓN GENERADA Y SU DIGITALIZACIÓN

Para facilitar el manejo de información generada por el programa de mejora del almendro del CITA, se ha desarrollado una base de datos (Fig. 3), accesible desde cualquier dispositivo con acceso a internet, facilitando la labor del mejorador, 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

En la actualidad, el CITA, mediante sus dos programas de mejora genética centra sus actividades en el desarrollo de variedades de almendro más tolerantes a enfermedades fúngicas y bacterianas, y de portainjertos del género *Prunus* resistentes a enfermedades fúngicas y nematodos, principalmente. La adaptabilidad a estreses abióticos y bióticos, y la mecanización son puntos clave para promover un cultivo del almendro más sostenible, tanto en términos económicos como medioambientales. Para ello, el CITA dispone simultáneamente de la tradición de investigación de excelencia sobre el tema y de herramientas innovadoras. ■

Bibliografía

- Bielsa, B., Bassett, C., Glenn, D.M., Rubio-Cabetas, M.J., 2018a. Assessing field *Prunus* genotypes for drought responsive potential by carbon isotope discrimination and promoter analysis. *Agronomy* 8, 42. <https://doi.org/10.3390/agronomy8040042>
- Bielsa, B., Hewitt, S., Reyes-chin-wo, S., Dhingra, A., Rubio-Cabetas, M.J., 2018b. Identification of water use efficiency related genes in 'Garnem' almond-peach rootstock using time-course transcriptome analysis. *PLoS One* 1–24. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0205493>
- Bielsa, B., Montesinos, A., Gheban, T.I., Rubio-Cabetas, M.J., 2023. Pilowred®: una nueva generación de portainjerto híbrido rojo para *Prunus* spp. *Revista de Fruticultura*. Núm. 91. Enero-febrero, pp. 48-57. Editorial Técnica Quatrebcn (España). ISSN: 2013-5742.
- Bielsa, B., Sanz, M., Rubio-Cabetas, M., 2019. Uncovering early response to drought by proteomic, physiological and biochemical changes in the almond × peach rootstock 'Garnem'. *Funct. Plant Biol.* 46, 994–1008. <https://doi.org/10.1071/FP19050>
- Felipe, A.J., 2009. 'Felinem', 'Garnem', and 'Monegro' almond × peach hybrid rootstocks. *HortScience* 44, 196–197. <http://dx.doi.org/10.21273/HORTSCI.44.1.196>
- Felipe, A.J., Rius, X., Rubio-Cabetas, M.J., 2022. El Cultivo del Almendro. El Almendro II. ISBN: 0-646-85851-3, 568.
- Lucena, C., Alcalá, M.T., Romera, F.J., Ramos, J., 2021. Several Yeast Species Induce Iron Deficiency Responses in Cucumber Plants (*Cucumis sativus* L.). *Microorganisms* 9, 2603. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9122603>
- Palacio-Bielsa, A., Cambra, M., Martínez, C., Olmos, A., Pallás, V., López, M.M., Adaskaveg, J.E., Förster, H., Cambra, M.A., Duval, H., Esmenjaud, D., 2017. Almond Diseases. In: *Almonds: Botany, Production and Uses*. R. Socias i Company & T. M. Gradziel (Eds.), CABI. pp. 321-374
- Rubio-Cabetas, M.J., Espiau, M.T., Bielsa, B., 2024. 'Felama' Almond. *HortScience* 59, 1033-1036. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.17764-24>
- Rubio-Cabetas, M.J., Pons, C., Bielsa, B., Amador, M.L., Martí, C., Granel, A., 2018. Preformed and induced mechanisms underlies the differential responses of *Prunus* rootstock to hypoxia. *J. Plant Physiol.* 228, 134–149. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2018.06.004>
- Socias i Company, R., Felipe, A.J., 2007. 'Belona' and 'Soleta' almonds. *HortScience* 42, 704–706. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.42.3.704>
- Socias i Company, R., Kodad, O., Alonso, J., Felipe, A., 2008. 'Mardia' Almond. *HortScience* 43, 2240–2242. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.7.2240>
- Socias i Company, R., Kodad, O., Ansón, J., Alonso, J., 2015. 'Vialfas' Almond. *HortScience* 50, 1726–1728. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.50.11.1726>