

MEJORA RA VEGETAL



Mejorar para conservar

VARIETADES TRADICIONALES DE MELÓN CON RESISTENCIA A VIROSIS Y HONGOS, UNA ALTERNATIVA RENTABLE Y SOSTENIBLE



Cata de melones.

Imagen superior, melones en el campo.

El melón (*Cucumis melo* L.) es una especie de origen asiático. Los estudios taxonómicos y moleculares realizados con distintas metodologías de secuenciación genómica y transcriptómica revelan que sufrió dos domesticaciones independientes en Asia y una en África (Endl et al., 2018). Las domesticaciones asiáticas, realizadas a partir de la diversidad genética de la India, dieron lugar a los melones que se extendieron tanto hacia occidente como hacia oriente. Así, los que hoy cultivamos y consumimos son derivados de estos (Gonzalo et al., 2019). Por su parte, la domesticación africana no se difundió.

La domesticación que dio lugar a melones occidentales resultó en una gran diversidad de tipos que se extendieron por Asia Central y Oriente Medio y Próximo y que llegaron por distintas rutas al continente europeo. España fue una de las primeras rutas de entrada y, debido al clima y la tradición agrícola, el país europeo donde mejor se estableció y diversificó el melón.

Los primeros tipos de melones que se cultivaron en la península ibérica, ya en época romana, eran melones no dulces, alargados, que se consumían como pepino y que acabaron dando lugar a variedades como la actual alficòs, alpicoz, cohombro o melón serpiente por su forma alargada y sinuosa —perteneciente al subgrupo *flexuosus*) (Lázaro et al., 2022). Este tipo de melón ha sido muy popular en la región sudeste mediterránea. Es todavía un cultivo importante en el Norte de África y Oriente Próximo y Medio, pero **prácticamente ha desaparecido en nuestro país.**

Los primeros tipos de melones que se cultivaron en la península ibérica, ya en época romana, eran melones no dulces, alargados, que se consumían como el pepino.



Tipos varietales de melón tradicional español. De arriba abajo, Piel de Sapo, Amarillo, Blanco, Rochet, Tendral y Alficoç.

Los melones de tipo dulce se introdujeron en la península ibérica más tarde, posiblemente asociados a la conquista musulmana. Los agricultores españoles seleccionaron muchos tipos diferentes de melones, que se conservaron durante siglos y que, desarrollándose en distintas zonas, llegaron a ser muy apreciados, incluso internacionalmente. Los tipos varietales que más se difundieron fueron Piel de Sapo, Amarillo, Blanco, Tendral, Rochet e Hilo Carrete (Flores -León et al., 2022). Conocido es el caso del Meló d'Or, Melón de Oro o Groc d'Ontinyent, que se exportaba en la época medieval a las casas reales de toda Europa (Picó et al., 2019).

Muchas de estas variedades tradicionales llegaron a nuestros días. De su cultivo entre los siglos XV y XX dejan constancia numerosas representaciones pictóricas, cuadros de bodegones que muestran una diversidad notable (Lázaro et al., 2017). No obstante, estos melones seleccionados en la península ibérica pertenecen mayoritariamente al subgrupo *ibericus* de la especie *C. melo*, excepto el Alficoç, y comparten características que los diferencian de otros melones que se diversificaron en otros países europeos, como los del grupo *cantalupensis*. Son en general muy dulces, pero poco aromáticos, y presentan una larga vida poscosecha debido a su maduración no climatérica.

Con la llegada de la agricultura intensiva y el desarrollo de cultivares híbridos, fue el melón Piel de Sapo el que fundamentalmente se empleó en la mejora por parte de las empresas de semillas y el que más se extendió en España e internacionalmente. De este tipo de melón, España es el primer productor de la Unión Europea, y Brasil, de Sudamérica. Otras variedades tradicionales dejaron de cultivarse, aunque sus semillas se han conservado, bien por los agricultores, bien en bancos de germoplasma, como el banco de germoplasma del COMAV de la Universitat Politècnica de València (UPV).

Cuadro representativo de la variabilidad de variedades tradicionales de melón en España entre los siglos XV y XVIII (Juan Sánchez Cotán (1560-1627), citado en Lázaro et al., 2017).



MEJORA GENÉTICA PARA LA TRANSICIÓN AL CULTIVO ECOLÓGICO

El objetivo es potenciar el desarrollo de variedades de melón que puedan cultivarse en condiciones de agricultura ecológica y sostenible.



El investigador Santiago García Martínez y personal técnico realizando la selección de variedades tradicionales de melón resistentes a las condiciones salinas cultivadas en el Parque Natural Agrario de Els Carrissals de Elche (Alicante).

A la derecha, fotografías de plantas afectadas por cada uno de estos patógenos: CMV, CYSDV, oídio, ToLCNDV, WMV y ZYMV.

Nuestro grupo de Mejora Genética de Cucurbitáceas de la UPV está desarrollando un proyecto para grupos de excelencia financiado por la Conselleria de Educación, Universidades, Empleo y Cultura de la Generalitat Valenciana en el que participa junto al grupo del CIAGRO de la Universidad Miguel Hernández y el grupo de Genómica en Mejora Vegetal del IBMCP (UPV-CSIC), para potenciar el desarrollo de variedades de melón que puedan cultivarse en condiciones de agricultura ecológica y sostenible (**PROMETEO 2021/072**) —«Mejora genética en cucurbitáceas para su transición al cultivo ecológico, los retos del cambio climático global y la revitalización de la economía agraria local»—. En este contexto, un aspecto clave para abordar con éxito la transición ecológica y sostenible en el cultivo del melón es diversificar las variedades empleadas, a fin de proporcionar a los agricultores variedades alternativas que permitan ofrecer a los consumidores nuevas experiencias mediante la recuperación de formas, sabores y aromas tradicionales. Conservamos parte de la diversidad genética seleccionada durante siglos, pero utilizarla no puede basarse únicamente en un deseo romántico de recuperar sabores de antaño. Esta recuperación debe optimizarse utilizando toda la información y las tecnologías que los avances científico-técnicos han puesto a nuestro alcance.

El primer paso en nuestro proyecto ha sido conocer los factores que limitan la producción de estas variedades tradicionales en sistemas agrícolas sostenibles. Tras años de estudio de decenas de variedades tradicionales en distintos sistemas de cultivo, hemos seleccionado algunas por su adaptación, buena producción y aceptación por los consumidores (**Flores-León et al., 2024**).

Sin embargo, también hemos determinado que su recuperación es inviable si no se protegen de los principales patógenos que afectan su desarrollo: el oídio, causado por el hongo *Podosphaera xanthii*; virosis transmitidas por pulgón, como el virus del mosaico de la sandía, del calabacín y del pepino (WMV, ZYMV, CMV), y por mosca blanca, como el virus del rizado amarillo de Nueva Delhi (ToLCNDV) o el virus del enanismo amarillo de las cucurbitáceas (CYSDV) (**López-Martín et al., 2024**).



Como se ha dicho, el melón es ampliamente diverso y las variedades de los grupos *ibericus* y *flexuosus* son altamente susceptibles a todos los patógenos descritos. Sin embargo, sobre todo en el grupo que dio lugar a los melones orientales, se encuentran muchas resistencias a estos patógenos. Así es en varios subgrupos de melón, como *momordica*, *acidulus*, *chinensis* y *kakri*, considerados exóticos en Europa, pero muy populares en India, China y Japón. Alguno de ellos es incluso multirresistente (**Martín-Hernández y Picó, 2021**).

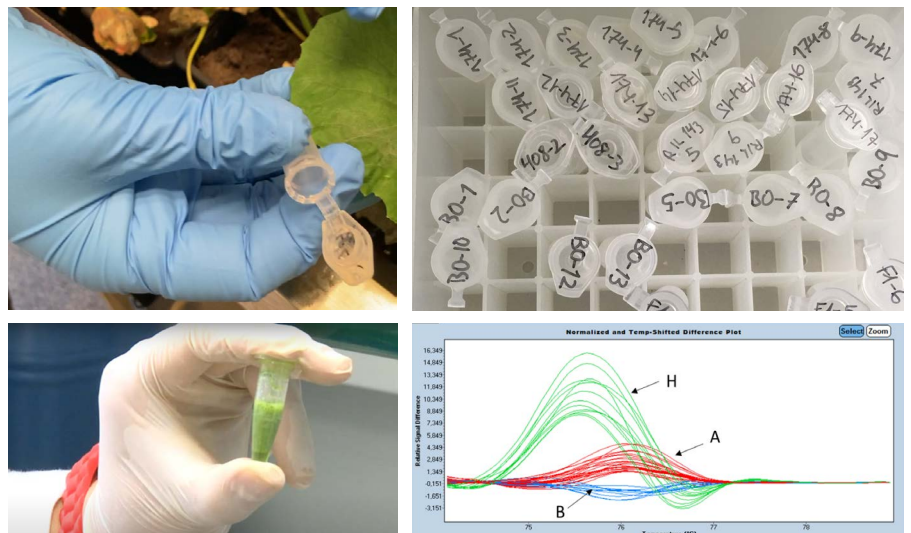
La investigación y la aplicación de la biotecnología ha permitido obtener variedades tradicionales de melón con resistencia a los principales patógenos, especialmente apropiadas para sistemas de cultivo que, como el ecológico, requieren reducir los plaguicidas y fungicidas.

Nuestro grupo ha dedicado mucho esfuerzo a identificar variedades exóticas resistentes a los principales virus y hongos que afectan al cultivo del melón y a caracterizar las variantes nucleotídicas de los genes que confieren resistencia a los mismos. Se han identificado regiones genómicas que contienen genes que confieren resistencia al oídio (en el cromosoma V) a ZYMV, a WMV, a CMV, a ToLCNDV, y a CYSDV (en los cromosomas II, XI, XII, XI, y V) del melón. Este trabajo, que ha requerido de la aplicación de biotecnologías novedosas, ha proporcionado una información imprescindible para mejorar nuestras variedades tradicionales.

El genoma del melón se secuenció en 2012 (**García Mas et al., 2012**); desde entonces, se ha trabajado con gran empeño en resecuenciar los genomas y transcriptomas de múltiples variedades. Este afán ha proporcionado mucha información sobre variaciones en la secuencia de ADN en distintos puntos del genoma de las diferentes variedades (**Esteras et al., 2013**). Estas variaciones pueden identificarse utilizando técnicas moleculares y, al estar localizadas en regiones concretas del genoma, sirven para definir molecularmente esa región. Las variantes puntuales en la secuencia de ADN se denominan SNP (*Single Nucleotide Polymorphisms*) y pueden utilizarse como «marcadores moleculares» que indican la presencia de un tipo u otro de secuencia de ADN en una región genómica determinada. Los SNP pueden identificarse mediante técnicas basadas en la PCR (*Polymerase Chain Reaction*), de forma individual o de forma colectiva. A estas estrategias de detección de SNP se las denomina estrategias de genotipado, porque proporcionan el genotipo (conjunto de variantes nucleotídicas del ADN) de la variedad analizada. Cuando los marcadores moleculares de tipo SNP se encuentran en la secuencia de ADN de un gen determinado, o cerca de ella, podemos seleccionar una variedad por la presencia de una determinada variante del gen, seleccionándola indirectamente por la presencia de una variante del SNP. Esta estrategia se denomina selección asistida por marcadores moleculares (SAM). Las metodologías utilizadas para identificar SNP o seleccionar mediante SAM pueden consultarse en **Mejora genética vegetal (Jamilena et al., 2024)**.

FIGURA 1
SELECCIÓN ASISTIDA POR MARCADORES

De izquierda a derecha: toma de muestras, tubos rotulados con el código asignado a cada planta, detalle de una muestra durante la extracción de ADN e imagen de un marcador SNP visualizado mediante la técnica HRM.



Esta estrategia de selección asistida por marcadores es la que hemos seguido para introgresar en las variedades tradicionales del grupo *ibericus* y del grupo *flexuosus*, mediante cruzamientos y selección, las variantes de los genes procedentes de los melones exóticos que confieren resistencia a los principales virus y hongos. Parte de los marcadores disponibles, asociados a los genes de resistencia de distintas fuentes, han sido desarrollados en trabajos previos del grupo de investigación. Es el caso de los marcadores asociados a la resistencia a WMV (**Pérez de Castro et al., 2019**; **López-Martín et al., 2024**), a CYSDV (**Pérez de Castro et al., 2020**) y a oídio (**López Martín et al., 2022**), derivados de la entrada TGR-1551 o a la resistencia a ToLCNDV derivada de las entradas WM-7 y PI 414723 (**Sáez-Sánchez et al., 2017**; **Pérez-Moro et al., 2024**).

Los programas de mejora para conseguir esta introgresión llevan tres fases:

- 1 Selección de la variedad resistente que proporcione la variante del gen de resistencia y selección de la variedad tradicional que proporcione las características de calidad, adaptación a los distintos sistemas de cultivo sostenible y apreciación por el consumidor.
- 2 Realización de un cruzamiento inicial entre ambas variedades (en este video se describe **cómo hacer cruzamientos controlados en melón**) seguido de cruzamientos hacia la variedad tradicional, para la recuperación de sus características de calidad y adaptación, combinados con fases de selección por resistencia, inoculando las plantas con el patógeno y seleccionando las que resistan o seleccionando las plantas que tengan la variante del gen que confiere resistencia al patógeno mediante genotipado con SNP.
- 3 Tras varios ciclos de cruzamiento y selección, autofecundación de aquellas plantas que siendo resistentes mantienen las características de calidad y adaptación de las variedades tradicionales originales.

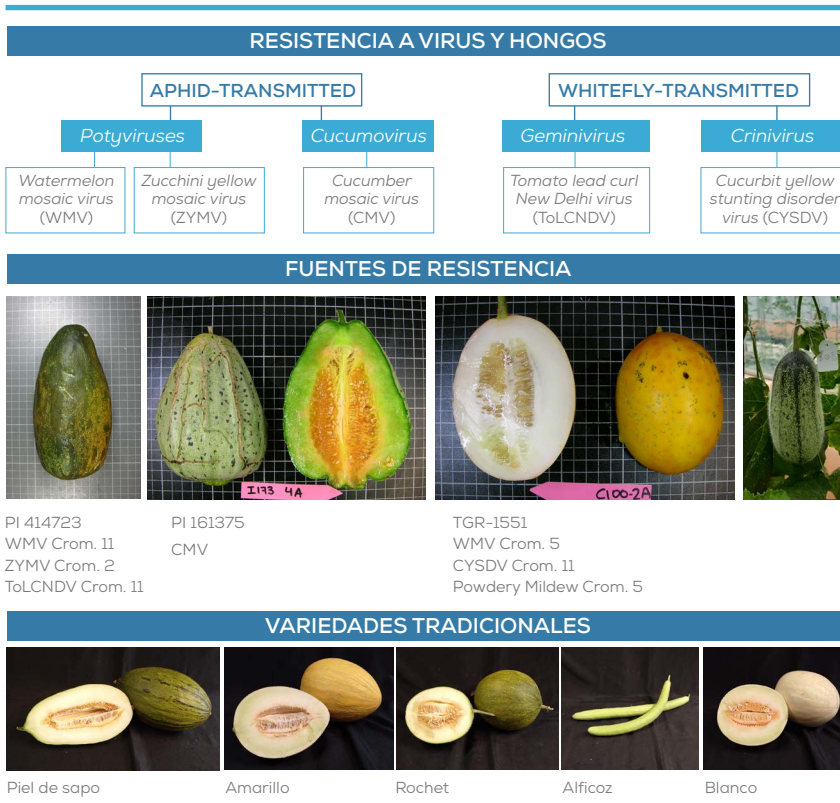


FIGURA 2
PROGRAMA DE MEJORA



Seguido mediante "Selección asistida por marcadores" para introducir, procedentes de melones orientales resistentes, resistencia a Potivirus, Cucumovirus, Geminivirus y Crinivirus en distintas variedades tradicionales.



Comportamiento de la variedad Meló d'Or portadora de resistencia genética a oídio (imágenes izquierda) y a virus, frente a la variedad sin resistencia (imágenes derecha).

VÍDEO

Presentación de los investigadores Antonio J. Monforte y Belén Picó donde se describe el programa de mejora realizado en la Fundación Cajamar en Paiporta (València, 18-7-2024).

FINANCIACIÓN

Se agradece a los Proyectos PROMETEO/2021/072 Conselleria d'Educació, Cultura, Universitats i Ocupació (Generalitat Valenciana); (PID2021-125998OB-C22, PID2021-125787OR-C33 financiado por MCIU/AEI/10.13039/501100011033-y por FEDER UE; PID2020-116055RB (C21 y C22), (MCIU/AEI/10.13039/501100011033); Programa AGROALNEXT (proyecto AGROALNEXT/2022/025) del MCIN, con financiación de la Unión Europea NextGenerationEU (PRTR-C17.11) y de la Generalitat Valenciana; Proyecto TED (2021-132130B-I00) «Proyectos Estratégicos Orientados a la Transición Ecológica y a la Transición Digital» 2021, financiado por MCIU/AEI/10.13039/501100011033 y por la Unión Europea Next Generation EU /PRTR; REGAGE22e00014997141 por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación y FEADER. Cristina Saez agradece la ayuda Margarita Salas grant (MS/60), Ministerio de Universidades, European Union-Next Generation EU. Clara Pérez Moro agradece la ayuda postdoctoral del "Programa de Ayudas de Investigación y Desarrollo (PAID-01-19)" de la Universitat Politècnica de València. Andrea Berruga agradece la ayuda dentro del "Programa Investigo" (GVA, Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia – financiado por la Unión Europea – NextGenerationEU).

>Autores del artículo:

Belén Picó¹, Gorka Perpiñá¹, Santiago García-Martínez², Antonio J. Monforte³, Cristina Sáez¹, María López Martín¹, Clara Pérez¹, Andrea Berruga¹, Lorena Bellver¹, Carlos Alandes¹ y Ana María Pérez de Castro¹

¹Grupo de Mejora Genética de Cucurbitáceas. Instituto Universitario de Conservación y Mejora de la Agrodiversidad Valenciana (COMAV-UPV). ²Instituto de Investigación e Innovación Agroalimentaria y Agroambiental (CIAGRO-UMH). ³Instituto de Biología Molecular y Celular de Plantas (CSIC-UPV).

mpicosi@btc.upv.es

Como resultado de este proceso, se dispone actualmente de estas variedades tradicionales con resistencia a los principales patógenos que afectan al melón y que pueden utilizarse en distintos sistemas de cultivo, pero son especialmente interesantes para sistemas de cultivo ecológicos y sostenibles donde se reduce el uso de plaguicidas para el control de los vectores virales y de fungicidas para el control de los hongos.

Como la mejora se ha realizado utilizando marcadores SNP muy cercanos a los genes de resistencia, durante el proceso de SAM no se han arrastrado otras regiones genómicas procedentes de los melones exóticos que puedan alterar las características de calidad de las variedades tradicionales, que son un parámetro de enorme importancia en la selección por parte de los consumidores.

Durante la campaña de primavera-verano se han cultivado estas variedades en distintas localizaciones de huerta próxima a la ciudad de València, confirmándose el buen comportamiento de estas en cuanto a resistencia.

Durante el desarrollo del proyecto se están realizando numerosas actividades de difusión. Se han realizado charlas con técnicos, agricultores, cooperativas, presentando las variedades y realizando visitas de campo. Se trata de acciones imprescindibles para poder avanzar e integrar el conocimiento del sector para que las mejoras que realicemos sean de verdadera utilidad. Además, hemos establecido una red de contactos con cocineros para dar a conocer estos productos y recuperar su uso, **hemos involucrado a colectivos de ciudadanos en la mejora de las variedades** y colaboramos con el grupo operativo **Go Fitonet**, red social de los recursos fitogenéticos, financiado por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, en el marco de la cual estamos potenciando la difusión de los resultados del proyecto.

La investigadora Belén Picó durante una de las actividades de difusión y transferencia asociadas al proyecto.

