

Mejora genética de la calidad nutracéutica de la berenjena

El incremento del contenido en polifenoles permitirá obtener variedades más saludables

La mejora del contenido en polifenoles permitirá desarrollar nuevas variedades de berenjena con una mayor calidad nutracéutica. Utilizando algunas variedades locales españolas como fuentes de variación, se están llevando a cabo programas de mejora para desarrollar nuevas variedades con mayor contenido en polifenoles. Sin embargo, al mismo tiempo se debe controlar el pardeamiento causado por la oxidación de los polifenoles, para lo cual se propone realizar la selección por baja actividad polifenoloxidasa.

Jaime Prohens, Julio E. Muñoz, S. Vilanova, M.D. Raigón y F. Nuez.

Instituto de Conservación y Mejora de la Agrodiversidad Valenciana, Universidad Politécnica de Valencia.

Las frutas y hortalizas representan una fuente importante de compuestos beneficiosos para la salud humana, y está comprobado que una dieta rica en estos productos está asociada a una mejor salud. En muchos cultivos hortícolas, los programas de mejora genética han atendido principalmente a aspectos como la productividad, resistencia a enfermedades, uniformidad del producto y la calidad externa, haciéndose poco énfasis en el contenido en compuestos beneficiosos para la salud. Sin embargo, en los últimos años, existe un interés creciente por parte de los consumidores en productos vegetales más sanos y que protejan frente a enfermedades. Es por ello que los programas de mejora genética van paulatinamente incorporando entre sus objetivos la mejora del contenido en compuestos beneficiosos para la salud humana y que prevengan enfermedades (calidad nutracéutica).

Entre los objetivos más importantes de mejora de la calidad nutracéutica, se encuentra el de incrementar el contenido en sustancias con poder antioxidante, como el contenido en ácido ascórbico (vitamina C), o los polifenoles. Estos últimos están adquiriendo un interés creciente por sus múltiples efectos beneficiosos, habiéndose demostrado

que muchos de ellos tienen un poder antioxidante superior al de la vitamina C. Además, al contrario que la vitamina C, los polifenoles tienen una gran estabilidad térmica, por lo que la degradación de los mismos es mínima incluso después de ser cocinados o procesados.

Dentro de las especies hortícolas, la berenjena (*Solanum melongena* L.) es una de las más ricas en compuestos fenólicos, lo

cual le confiere un alto poder antioxidante. Es por ello que el desarrollo de nuevas variedades con un mayor contenido en polifenoles es un objetivo de mejora en este cultivo. Sin embargo, la oxidación de los polifenoles en contacto con el aire produce el pardeamiento de la carne, lo cual es una característica negativa para la calidad aparente del fruto. En este sentido los programas de mejora genética para aumentar el



Foto 1. Berenjenas de diferentes colores. El color negro y morado es debido a la acumulación de compuestos fenólicos del tipo de los flavonoides en la piel.



Foto 2. Diversidad en frutos de berenjena de variedades locales españolas.

contenido en polifenoles del fruto de berenjena, también deben tener en cuenta que los valores de pardeamiento se encuentren en valores admisibles.

Los polifenoles de la berenjena

La berenjena contiene compuestos fenólicos en la piel y en la carne del fruto. Los compuestos fenólicos de la piel del fruto representan una fracción mínima de los polifenoles totales presentes en el fruto y consisten básicamente en flavonoides derivados del delphinidol, los cuales confieren el color morado o negro al fruto (**foto 1**). De esta forma, los principales compuestos fenólicos de la berenjena consisten en conjugados del ácido hidroxicinámico, los cuales se encuentran en la carne del fruto.

Los derivados del ácido hidroxicinámico, como el ácido clorogénico o el ácido cafeico, forman parte de un gran grupo de metabolitos secundarios denominados fenilpropanoides, los cuales son producidos por conversión del aminoácido fenilalanina a ácido cinámico. Entre los ácidos hidroxicinámicos, el ácido clorogénico (ácido 5-O-cafeoilquínico y sus isómeros) constituye entre un 70 y un 95% de los polifenoles totales de la carne de la berenjena. El ácido clorogénico es un potente antioxidante, y se ha demostrado que retrasa el envejecimiento, reduce los niveles de colesterol en sangre y presenta actividad antitumoral, por lo que el desarrollo de variedades de berenjena con una mayor concentración en polifenoles en la carne del fruto es de interés.

Para el análisis del contenido total en polifenoles se pueden utilizar distintas técnicas analíticas. Sin embargo, en los programas de mejora es necesario disponer de técnicas rápidas y fiables para la determinación de los compuestos objeto de mejora. En este sentido, una de las técnicas más utilizadas para determinar el contenido en polifenoles totales en berenjena y en otros frutos, y que ha sido utilizada en los ensayos realizados por nosotros, es el

método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu, el cual permite evaluar de forma rápida el contenido en polifenoles totales de una muestra de berenjena.

Fuentes de variación para el contenido en polifenoles en berenjena

Para iniciar con éxito un programa de mejora, es necesario disponer de fuentes de variación para el carácter que se pretende mejorar. En este sentido, existen algunos trabajos que indican que existe una considerable variación en berenjena para el contenido en polifenoles. Así, los investigadores John Stommel y Bruce Whitaker encontraron diferencias de hasta cuatro veces en el contenido en polifenoles en una colección nuclear de berenjena del banco de germoplasma del Departamento de Agricultura de Estados Unidos.

Con el fin de estudiar la variación en las variedades tradicionales españolas, y su potencial interés para la mejora genética, hemos realizado una evaluación del contenido en polifenoles totales en la carne de berenjena de un total de cuarenta variedades de berenjena, que incluyeron variedades tradicionales españolas y de otros países, así como variedades comerciales híbridas y no híbridas europeas (**foto 2**). Un resumen de los resultados se presenta en el **cuadro I**.

En la evaluación realizada hemos encontrado importantes diferencias en el contenido en polifenoles de la berenjena común, encontrándose los valores más altos (834 mg/kg) y más bajos (280 mg/kg) en variedades tradicionales españolas (**cuadro I**), indicando que, tal como hemos comprobado con anterioridad, estos materiales presentan una alta diversidad no sólo morfológica

Cuadro I.

Contenido en polifenoles totales (mg/kg) en la carne del fruto en variedades de berenjena correspondientes a distintos grupos de materiales.

Tipo varietal	Nº	Máximo	Mínimo	Media
Variedades locales españolas	18	834	314	503,4
Variedades locales extranjeras	10	718	424	508,8
Variedades comerciales europeas	12	517	280	405,7



Foto 3. Frutos de berenjena de Almagro, la variedad local española con mayor contenido en polifenoles entre las estudiadas.

ca y genética, sino también para caracteres de composición. A este respecto, los valores más altos se han obtenido en materiales de berenjena de Almagro (**foto 3**), indicando que este tipo

varietal podría ser una fuente de variación importante para la mejora del contenido en polifenoles.

Es de destacar que entre las variedades comerciales estudiadas no se encuentran valores elevados para el contenido en polifenoles, siendo los valores más

altos de 507 mg/kg (**cuadro I**). Asimismo, el valor medio del contenido en polifenoles en las variedades comerciales es, como media, menor que el de los materiales tradicionales. Cuando comparamos los resultados obtenidos por Stommel y Whitaker, también se observa que en las variedades comerciales se obtienen valores

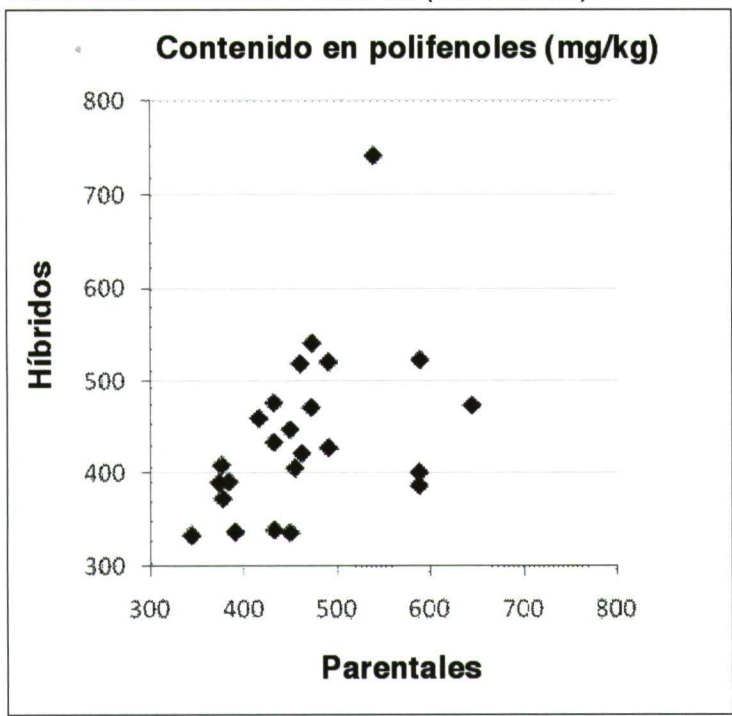
menores que en las tradicionales para el contenido en polifenoles. Este hecho probablemente sea debido a que uno de los criterios de selección de las variedades comerciales es que presenten un bajo pardeamiento de la carne del fruto. Dado que los polifenoles, al oxidarse dan lugar al pardeamiento de la carne, es probable que la selección por bajo pardeamiento haya resultado en la selección indirecta en las variedades modernas por bajo contenido en polifenoles. En consecuencia, por su menor contenido en polifenoles, las variedades modernas presentan, como media, un menor valor nutracéutico que las variedades tradicionales.

Dada la importancia de los híbridos en la producción comercial de berenjena, y con el fin de estudiar la transmisión a la descendencia híbrida del contenido en polifenoles, hemos evaluado el contenido en polifenoles de 24 híbridos y de sus respectivos padres. Los resultados muestran que existe una correlación positiva entre ambos parámetros, siendo el coeficiente de regresión lineal de los híbridos sobre el pa-

DENTRO DE LAS ESPECIES HORTÍCOLAS, la berenjena (*Solanum melongena* L.) es una de las más ricas en compuestos fenólicos, lo cual le confiere un alto poder antioxidante

Figura 1.

RELACIÓN ENTRE EL CONTENIDO EN POLIFENOLES DE HÍBRIDOS ENTRE VARIEDADES TRADICIONALES ESPAÑOLAS (EJE DE ORDENADAS) Y LA MEDIA DEL CONTENIDO EN POLIFENOLES DE SUS RESPECTIVOS PARENTALES (EJE DE ABCISAS).



rental medio (heredabilidad en sentido estricto) de 0,50 (figura 1), lo cual indica que la probabilidad de obtener híbridos con contenidos altos en polifenoles, será mucho mayor si se utilizan parentales con niveles altos en estas sustancias.

Estos resultados muestran que las variedades tradicionales españolas constituyen una fuente de variación de gran interés para el desarrollo de nuevas variedades de berenjena con un mayor contenido en polifenoles. No obstante, el éxito de una nueva variedad de berenjena rica en polifenoles dependerá también de conseguir aunar esta característica deseable con una apariencia atractiva, en este caso un grado de pardeamiento bajo.

El problema del pardeamiento

Al igual que en otras frutas y hortalizas, como la manzana o la alcachofa, la oxidación de los polifenoles de la carne de la berenjena causada por la exposición de ésta al aire resulta en una pérdida de la calidad aparente (foto 4). Cuando se corta un fruto de be-

renjena, la destrucción de los compartimentos celulares permite que los sustratos ortodifenólicos (derivados del ácido hidroxicinnámico) entren en contacto con las polifenoloxidasas, que son enzimas que catalizan la oxidación de estos compuestos a quinonas, las cuales a su vez, reaccionan no enzimáticamente con el oxígeno del aire, aminas, aminoácidos, proteínas y compuestos sulfhidrilos para dar compuestos de color marrón que provocan el pardeamiento. En este sentido, a igualdad de condiciones, a mayor contenido en polifenoles en la carne del fruto, mayor pardeamiento.



Foto 4. Diferencias en pardeamiento después del proceso de fritura entre una variedad con bajo grado de pardeamiento (izquierda) y otra con alto grado de pardeamiento (derecha).

Sin embargo, existen distintos factores que pueden afectar al proceso de pardeamiento y que podrían permitir obtener variedades con alto contenido en polifenoles y un pardeamiento moderado. Así, varios autores han encontrado diferencias entre variedades de berenjena para la actividad polifenoloxidasas. De esta forma, la selección simultánea por baja actividad polifenoloxidasas y alto contenido en polifenoles podría resultar en materiales con mayor actividad antioxidante y bajo pardeamiento. También otros factores, como el pH intracelular, el cual afecta la actividad de la enzima polifenoloxidasas o la presencia de cantidades significativas de ácido ascórbico, el cual previene la oxidación de los ortodifenoles, podrían jugar un papel en la reducción del grado de pardeamiento.

La medición del pardeamiento puede realizarse de manera subjetiva, otorgando una puntuación referida a una escala según la apreciación del observador. Este método, aunque es rápido, es poco preciso y está sujeto a factores externos como la luz externa, e incluso el estado anímico del observador. La valoración del pardeamiento de forma objetiva puede llevarse a cabo con un colorímetro y expresando el color medido con un sistema de coordenadas de color utilizado de forma habitual, como puedan ser las coordenadas Hunter o Cielab. En nuestro caso, utilizamos las coordenadas de color Cielab, donde se miden los parámetros L^* , a^* y b^* . La coordenada L^* se refiere a la luminosidad y puede tomar va-

lores entre 0 (negro puro) y 100 (blanco puro). Las coordenadas colorimétricas a^* y b^* forman un plano perpendicular a L^* . La coordenada a^* define la desviación del punto cromático correspondiente a L^* , hacia el rojo si $a^* > 0$, y hacia el verde si $a^* < 0$. Análogamente la coordenada b^* define la desviación hacia el amarillo si $b^* > 0$, y hacia el azul si $b^* < 0$.

De esta forma, para la medición del pardeamiento, los frutos se cortan transversalmente mediante un cuchillo bien afilado (para producir cortes limpios) en el punto medio del fruto y se realizan mediciones de las coordenadas de color inmediatamente después del corte y a los 10 minutos. Para medir el pardeamiento utilizamos la diferencia en la distancia al blanco puro ($L^*=100$, $a^*=0$, $b^*=0$) antes y después del corte, medida usando la fórmula $DB=[(100-L^*)^2+a^{*2}+b^{*2}]^{0.5}$. El grado de pardeamiento (GP) se considera como la diferencia entre DB a 10 minutos (DB_{10}) y a 0 minutos (DB_0) después de cortar el fruto ($GP=DB_{10}-DB_0$).

En los materiales estudiados, el grado de pardeamiento varió ampliamente, con valores de entre 1,29 y 7,87 (cuadro II). Es de destacar que se detectaron importantes variaciones dentro de cada uno de los grupos varietales estudiados, pero, en general, las variedades comerciales presentaban un grado de pardeamiento mucho menor (media de 2,67) que las variedades tradicionales (media de 3,84 para las variedades españolas y de 4,85 para las extranjeras).

Relación entre contenido en polifenoles y pardeamiento

Hemos encontrado que existe una correlación positiva entre el contenido en polifenoles y el grado de pardeamiento ($r=0,389$). Sin embargo, el porcentaje de variación total en estos parámetros debida al contenido en polifenoles (parámetro r^2) es de sólo 15,1%, indicando que otros factores contribuyen de forma sustancial a la variación

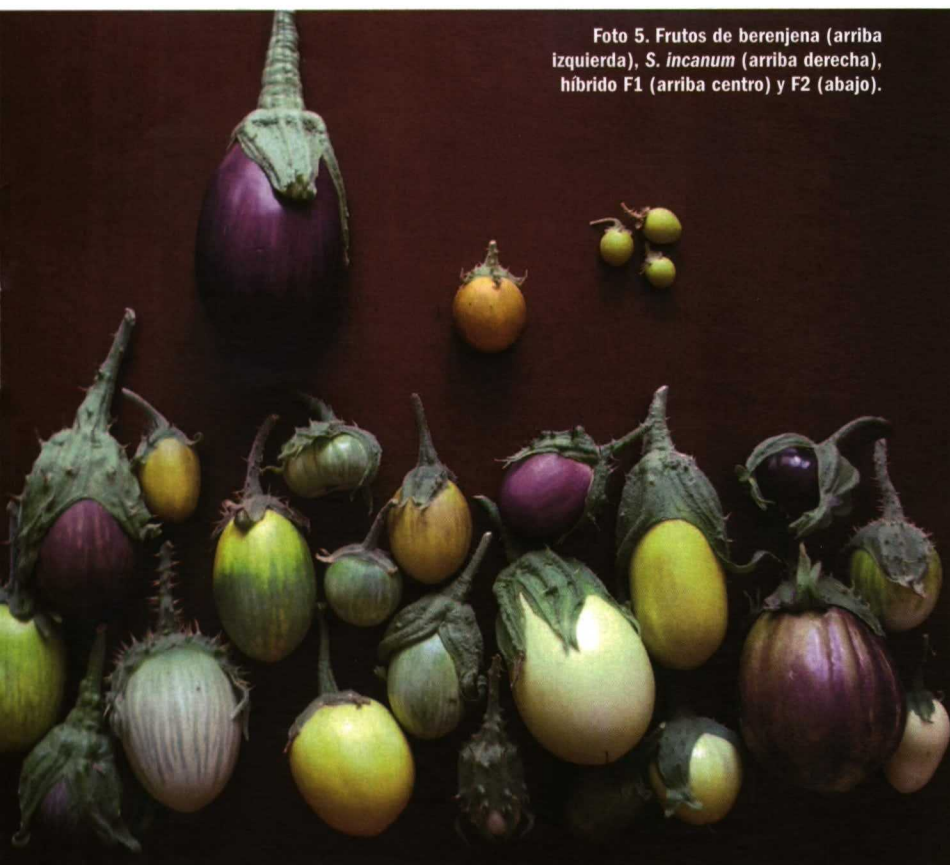


Foto 5. Frutos de berenjena (arriba izquierda), *S. incanum* (arriba derecha), híbrido F1 (arriba centro) y F2 (abajo).

Cuadro II.

Grado de pardeamiento en la carne del fruto en variedades de berenjena correspondientes a distintos grupos de materiales.

Tipo varietal	Nº	Máximo	Mínimo	Media
Variedades locales españolas	18	7,87	1,29	3,84
Variedades locales extranjeras	12	7,27	1,79	4,85
Variedades comerciales europeas	10	4,38	1,36	2,67

en el grado de pardeamiento. Esto indica que es posible encontrar variedades con valores altos para el contenido en polifenoles y moderados para el pardeamiento.

En los mismos materiales en que estudiamos el contenido en polifenoles y el pardeamiento de

la carne del fruto, también hemos estudiado el contenido en ácido ascórbico y el pH, los cuales pueden contribuir a diferencias en el pardeamiento. Los resultados obtenidos por nosotros muestran que, a pesar de que existen diferencias entre variedades para el contenido en ácido ascórbico, los

valores absolutos son bajos (media alrededor de 2 mg/100 g), por lo que las diferencias entre variedades probablemente no son suficientemente altas como para tener un efecto significativo en el pardeamiento. Asimismo, el pH varía entre valores de 5 y 6 en los materiales estudiados. Dentro de este rango de pH la actividad polifenoloxidasasufre pocos cambios, lo cual explica el que no se encuentre una relación significativa entre este carácter y el pardeamiento.

Estos datos sugieren que las diferencias en actividad polifenoloxidasas pueden ser responsables en gran medida de las diferencias en pardeamiento observadas entre los distintos materiales.

En este sentido, hemos realizado mediciones de la actividad polifenoloxidasas en distintas variedades españolas de berenjena y hemos constatado diferencias muy importantes (de más de seis veces) entre ellas, lo cual indica que existen importantes diferencias genéticas entre variedades para la actividad polifenoloxidasas.

Perspectivas de futuro

El desarrollo de nuevas variedades de berenjena con un mayor contenido en polifenoles y

bajo pardeamiento puede beneficiarse de la utilización de nuevas fuentes de variación, así como de nuevas herramientas de la biotecnología. A este respecto, la especie silvestre *Solanum incanum*, la cual es el ancestro silvestre de la berenjena, presenta un contenido mucho más alto de polifenoles que la berenjena cultivada. Es por ello que estamos realizando un programa de retrocruzamiento entre la berenjena cultivada y *S. incanum*, con el objetivo de desarrollar materiales de berenjena con un alto contenido en polifenoles introgresado de *S. incanum* (foto 5). En este programa estamos realizando un mapa genético con el fin de buscar marcadores moleculares ligados a regiones del genoma que confieren un alto contenido en polifenoles. De esta forma, podremos llevar a cabo selección asistida por marcadores para estos dos caracteres.

Por otra parte, estamos buscando variantes alélicas para genes implicados en la síntesis de ácido clorogénico y en genes de polifenoloxidasas, con el fin de poder seleccionar aquellas variantes alélicas más interesantes en los genes estudiados.

En definitiva, el objetivo último es desarrollar nuevos materiales de berenjena con una mayor calidad nutracéutica, consecuencia de un mayor contenido en polifenoles, pero que presenten una adecuada calidad aparente (bajo pardeamiento). Para ello utilizamos las fuentes de variación disponibles y las herramientas de mejora genética apropiadas. ■



SOLUCIONES INTEGRALES EN TRACTORES Y MAQUINARIA AGRÍCOLA, CON EL MEJOR SERVICIO.

ENGANCHES TRASEROS

Para todo tipo de marcas y modelos de tractor

Enganches regulables a diferentes alturas, con corredera, de bola, barra de tiro...

