

# El brócoli: fuente de salud. Factores que afectan a su calidad y valor nutricional

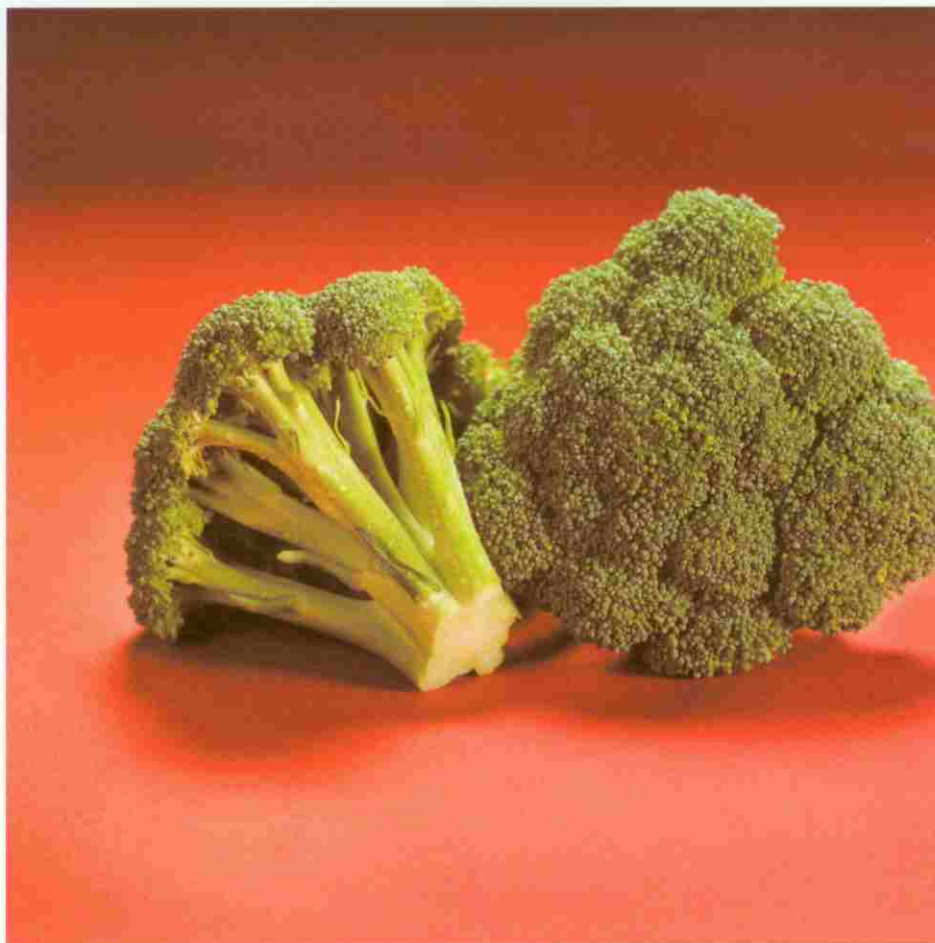
SANTIAGO PÉREZ-BALIBREA, DIEGO A. MORENO, M.<sup>ª</sup> CARMEN MARTINEZ BALLESTA, LUIS LÓPEZ PÉREZ, MICAELA CARVAJAL Y CRISTINA GARCÍA-VIGUERA  
CEBAS-CSIC DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS 30100-ESPINARDO (MURCIA) SPAIN



*Alimentarse correctamente, llevar una dieta saludable, son aspectos de nuestra vida diaria que están tomando una relevancia cada vez mayor en nuestros intereses y preocupaciones diarias. En este sentido, las frutas y las hortalizas son una parte muy importante de una dieta equilibrada, particularmente por su papel en la prevención de enfermedades (ej., obesidad, diabetes, etc.) y ciertos tipos de cáncer. El consumo de alimentos vegetales en los países industrializados de Europa y Norte América es relativamente bajo, y casi siempre está por debajo de las cantidades diarias recomendadas (375 g/día), a pesar de las indicaciones de las diferentes autoridades sanitarias.*

# El brócoli: fuente de salud. Factores que afectan a su calidad y valor nutricional

SANTIAGO PÉREZ-BALIBREA, DIEGO A. MORENO, M.<sup>a</sup> CARMEN MARTINEZ BALLESTA, LUIS LÓPEZ PÉREZ, MICAELA CARVAJAL Y CRISTINA GARCÍA-VIGUERA  
CEBAS-CSIC DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS 30100-ESPINARDO (MURCIA) SPAIN



*Alimentarse correctamente, llevar una dieta saludable, son aspectos de nuestra vida diaria que están tomando una relevancia cada vez mayor en nuestros intereses y preocupaciones diarias. En este sentido, las frutas y las hortalizas son una parte muy importante de una dieta equilibrada, particularmente por su papel en la prevención de enfermedades (ej., obesidad, diabetes, etc.) y ciertos tipos de cáncer. El consumo de alimentos vegetales en los países industrializados de Europa y Norte América es relativamente bajo, y casi siempre está por debajo de las cantidades diarias recomendadas (375 g/día), a pesar de las indicaciones de las diferentes autoridades sanitarias.*



**A** la hora de satisfacer las demandas actuales de alimentos de origen vegetal, es necesario estudiar e investigar de forma integrada la obtención de frutas y hortalizas de calidad, teniendo en consideración los efectos genéticos y medioambientales durante el desarrollo de los cultivos, para inducir un enriquecimiento de los alimentos vegetales en compuestos beneficiosos para la salud en el momento de su cosecha. Esto conlleva igualmente el estudio de la influencia de los factores que durante las fases de postrecolección y procesado de los alimentos pueden ayudar a mantener sus características nutricionales y organolépticas, con el fin de llegar al consumidor en forma de alimentos sanos y saludables.

Los estudios dietéticos que comparan los estilos occidentales (ricos en grasas y azúcares como en Norte América), con los hábitos mediterráneos (ricos en frutas y hortalizas) ponen de manifiesto los beneficios cardiovasculares de una dieta rica en alimentos vegetales. En este sentido, y entre los alimentos de origen vegetal de los que disponemos en la dieta española está el brócoli (o bróculi, o brécol), hortaliza de la familia *Brassicaceae* (*Cruciferae*), cuyo nombre botánico es *Brassica oleracea* L. var. *italica*.

Aunque sus orígenes se sitúan en el Mediterráneo Oriental y en Asia Menor, el brócoli se cultivaba en Italia en la época del Imperio Romano, siendo introducido en Francia en el siglo XVI. No se conoció la existencia del brócoli en Inglaterra hasta 1720 y en los Estados Unidos no se inició su comercialización hasta el año 1920. Hoy en día el brócoli se conoce en todo el mundo y su consumo está ampliamente extendido en

Europa, siendo la Región de Murcia la principal productora-suministradora de estos países, entre los que destaca el Reino Unido, Alemania y Holanda, con un consumo del total exportado del 36%, 25% y 11%, respectivamente (PRO-EXPORT, 2006).

En el ámbito de la salud a nivel internacional, la Fundación Mundial para el Estudio del Cáncer (World Cancer Research Foundation) estimó en 11 millones los nuevos casos de cáncer que se diagnostican anualmente en el mundo. Los investigadores del WCRF observaron que una dieta equilibrada y saludable podría prevenir el 50% de los cánceres de pulmón, el 75% de los casos de los cánceres de estómago o de colon, y que entre un 30-40% de los casos de cáncer están directamente relacionados con nuestra dieta y nuestro estado físico. Debido a ello diversos estudios concluyen que el consumo de, al menos 5 porciones de fruta y hortalizas al día puede reducir las tasas de incidencia de cáncer en un 20%; y una dieta saludable acompañada de actividad física regular y moderada podría reducir estas cifras de cáncer diagnosticados entre un 30 y 40% (<http://www.wcrf-uk.org>).

### Compuestos bioactivos presentes en el brócoli y sus propiedades beneficiosas para la salud

La recomendación del consumo de vegetales del género *Brassica* en general, y de brócoli, en particular tiene su fundamento en los datos epidemiológicos que unen este hecho con numerosos beneficios pa-

ra la salud humana (Fahey y Stephenson, 1999).

Los compuestos bioactivos son compuestos químicos que se encuentran en cantidades pequeñas en las plantas, con respecto a otros macronutrientes, pero que contribuyen significativamente a regular mecanismos de protección frente a situaciones de estrés en los vegetales y tienen propiedades biológicas de interés para la prevención de algunas enfermedades en los seres humanos que las consumen. En este sentido, numerosos estudios han demostrado una gran relación entre el consumo de crucíferas (como por ejemplo el brócoli) y un descenso en la incidencia de cáncer (Hooper y Cassidy, 2006). Las crucíferas son una excelente fuente de compuestos fitoquímicos, entre los que cabe destacar a los glucosinolatos (Keck y Finley,

### "Hortaliza de la familia *Brassicaceae* (*Cruciferae*), cuyo nombre botánico es *Brassica oleracea* L. var. *italica*"

2004), antioxidantes naturales como las vitaminas C, E y K, los folatos y los compuestos fenólicos: flavonoides y ácidos hidroxicinnámicos (Podsedeck, 2007), así como elementos minerales esenciales para la salud del consumidor (Finley *et al.* 2001). Los glucosinolatos (fig. 1) son compuestos

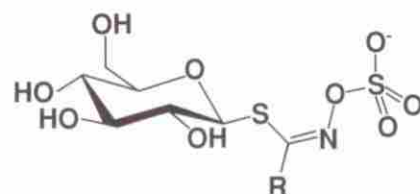


Figura 1. Estructura básica de los glucosinolatos



que comparten una estructura básica común de B-D-tioglucoσίdo, una oxima sulfonada y una cadena lateral variable (Finley, 2005).

### “Se atribuyen a estos alimentos vegetales propiedades en la prevención del cáncer”

La gran diversidad de glucosinolatos que existen en la naturaleza es debida a la modificación en las cadenas laterales (R-) por hidroxilación, desaturación y glicosilación, después de la síntesis del glucosinolato de origen (Keck y Finley, 2004).

Los glucosinolatos se clasifican en tres grupos principales según su aminoácido precursor: los alifáticos, que poseen un grupo alquilo de cadena lateral (derivados de la metionina), los aromáticos (derivados de la L-fenilalanina y la L-tirosina) y los indólicos (derivados del L-triptófano) (Grubb y Abel, 2006).

La estructura química de los glucosinolatos y su contenido total en la planta pueden variar entre especies, e incluso entre variedades dentro de una misma especie (tabla 1). Se han caracterizado más de 120 glucosinolatos y aunque sus funciones aún no están descritas en su totalidad,

confieren características organolépticas de olor y sabor a muchos alimentos de crucíferas como la coliflor, las coles de Bruselas, las mostazas, el brócoli, etc., lo que sugiere que estos compuestos están relacionados con los mecanismos de defensa de la planta frente a agresiones externas (por plagas o enfermedades)

(Pracros *et al.*, 1992), aunque también parecen estar relacionados con ciertos efectos beneficiosos para los insectos que se alimentan de ellos (Rask *et al.*, 2000). Los seres humanos son sensibles a los característicos sabores de los productos de hidrólisis de los glucosinolatos. Los alil-isotiocianatos son los principales responsables del sabor picante de los condimentos hechos a partir de mostaza y los glucosinolatos sinigrina y progoitrina le dan el sabor amargo a las coles de Bruselas y a otras crucíferas (Schonhof *et al.*, 2004).

Las propiedades en la prevención del cáncer que se atribuyen a estos alimentos vegetales se deben fundamentalmente a estos compuestos nitrógeno-azufrados, más concretamente a sus productos de hidrólisis, los isotiocianatos, como el sulforafano, y los indoles, como el indol-3-carbinol. El sulforafano (producto de la hidrólisis

de la glucorafanina (fig. 2) está presente en cantidades significativas en las diferentes variedades de brócoli. Numerosos estudios han demostrado el efecto del sulforafano en diferentes etapas de los procesos del cáncer. La principal función biológica del sulforafano en particular, y los isotiocianatos en general, es inducir la actividad de enzimas detoxificadoras de fase II (Seow *et al.*, 2005; Aggarwal y Ichi-kawa, 2005; Fahey y Kensler, 2007).

Los principales antioxidantes naturales presentes en el brócoli son las vitaminas C y E, carotenos y compuestos fenólicos, especialmente flavonoides (Tabla 1) (Podsedek *et al.*, 2006).

Más del 85% de vitamina C que tomamos por la dieta la aportan las frutas y las hortalizas. Los efectos beneficiosos de la vitamina C en el organismo humano han sido ampliamente estudiados. Respecto al brócoli, cabe destacar que contiene un elevado nivel de vitamina C, lo que lo convierte en una fuente natural muy interesante desde el punto de vista nutricional (Davey *et al.*, 2000).

Los compuestos fenólicos son un grupo de metabolitos secundarios ampliamente distribuidos en el reino vegetal. Se clasifican en flavonoides (fig. 3) en los que se in-

ESTRUCTURA	NOMBRE	ISOTIOCIANTO ASOCIADO
	Alifáticos	Clororafanina Gluconapina
	Aromáticos	Glucosasturtina
	Indólicos	Glucobrasicina Neoglucobrasicina

Tabla 1. Estructura química de los glucosinolatos.

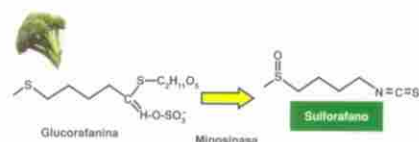


Figura 2. Los glucosinolatos (ej. Glucorafanina) del brócoli, por reacción enzimática con la miosinasa vegetal o de la microflora del cólon, se degradan a isotiocianatos (ej. sulforafano), que son los que tienen un efecto positivo sobre la detoxificación o prevención del daño al DNA celular en el organismo humano.



cluyen flavonoles, flavanonas, antocianinas, chalconas, flavanoles, etc., y compuestos no flavonoides (ácidos fenólicos y estilbenos). El brócoli es una fuente rica de flavonoles y derivados del ácido hidroxicinámico (Vallejo *et al.*, 2002a), principalmente derivados del ácido sinápico, ferúlico y, en menor concentración, del ácido cafeico. Se encuentran en formas conjugadas como ésteres o glicósidos. Los glicosidos más abundantes encontrados en el brócoli son los soforósidos de quercetina y kaempferol (Price *et al.*, 1998; Vallejo *et al.*, 2004).

Estos compuestos juegan un papel importante en las propiedades organolépticas de los alimentos. Los antocianos son los pigmentos responsables de la mayoría de los azules, púrpuras, rojos y tonos intermedios de alimentos vegetales. Diversos estudios han señalado el importante papel beneficioso de los distintos compuestos fenólicos en la salud huma-

na debido a sus propiedades antioxidantes y antitumorales (Alía *et al.*, 2006a, 2006b; Khanduja *et al.*, 2006). Concretamente los compuestos fenólicos presentes en el brócoli desempeñan un papel beneficioso para la salud debido a su poder protector frente a enfermedades relacio-

**“La recomendación del consumo de brócoli en particular tiene su fundamento en datos epidemiológicos”**

nadas con el estrés oxidativo, especialmente los derivados del ácido cafeico y los flavonoles (principalmente quercetina y sus derivados). Estudios en los que se aplicaban concentraciones de 0,1-100  $\mu$ M a células HepG2 (células de cáncer hepático) indicaron que ambos tipos de antioxidantes naturales inducían cambios favorables en el sistema de defensa celular antioxidante (Alía *et al.*, 2006a y 2006b). Los minerales esenciales para el hombre se diferencian en macronutrientes (Na, Ca, K, Mg, Cl, N, P, S), que el organismo hu-

mano demanda en cantidades superiores a 50 mg al día y microelementos o micronutrientes (Fe, Zn, Cu, Mn, I, F, Se, Cr, Mo, Co, Ni), que son necesarios en cantidades inferiores a 50 mg al día. Los minerales presentan múltiples funciones como electrolitos, materiales estructurales y componentes enzimáticos. El brócoli es una buena fuente vegetal de minerales para los humanos, especialmente calcio y magnesio (Krauss *et al.*, 2000).

**Factores que afectan a los compuestos beneficiosos para la salud presentes en el brócoli**

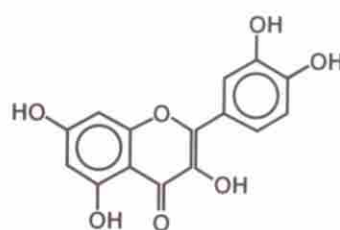


Figura 3. Estructura química de los flavonoides.

**TABLA 1: ANTIOXIDANTES PRESENTES EN INFLORESCENCIAS DE BRÓCOLI (MG/100G PESO FRESCO)**

AA	Vitamina C (AA+DHA)	Compuestos fenólicos				Fenoles totales	Referencias
		$\beta$ -caroteno	Flavonoides	Derivados Cafeico	Derivados del Sinápico y ferúlico		
54.0-119.8		0.37-2.42					Kurilich <i>et al.</i> (1999) <sup>1</sup>
34-146		0.28-1.92					Podsedek (2007) <sup>2</sup>
	25.5-82.3	0.48-1.13				44.5-82.9	Jagdish <i>et al.</i> (2006) <sup>3</sup>
	43.1-146.3		1.23-6.54	0.76-3.82	2.54-8.25		Vallejo <i>et al.</i> (2002a) <sup>4</sup>
	72.2-122.6		6.8-97.0	2.35-15.09	5.73-20.14		Vallejo <i>et al.</i> (2003c) <sup>5</sup>

1. Rango de valores de 51 variedades comerciales híbridos producidos en EEUU.

2. Datos obtenidos de varios países

3. Seis híbridos/variedades comerciales de brócoli producidos en la India

4. 14 híbridos/variedades comerciales y experimentales producidos en España

5. 8 cultivares comerciales y experimentales producidos en España

Las variaciones en el contenido de compuestos bioactivos de las plantas están reguladas genéticamente, pero existen también otros factores como las condiciones ambientales, las prácticas agronómicas, el tipo de almacenamiento o las condiciones de procesado, que igualmente influyen en el contenido final de compuestos bioactivos presentes en un vegetal y, por tanto, en la ingesta de fitoquímicos (Lee y Kader 2000; Oerlemans *et al.*, 2006). Se diferencian dos grupos de factores que pueden influir en el contenido de compuestos en el brócoli. Por una parte, los factores pre-cosecha y, por otro, las técnicas de conservación y procesado o post-cosecha. Estudiando de qué manera afectan los factores pre y post-cosecha al contenido de glucosinolatos, compuestos fenólicos y elementos minerales, se puede enriquecer los alimentos vegetales en compuestos bioactivos (Jeffery *et al.*, 2003; Vallejo *et al.*, 2002b, 2003b; López-Berenguer *et al.*, 2007; Moreno *et al.*, 2007; Pérez-Balibrea *et al.*, 2008).

En el grupo de los factores pre-cosecha se incluyen aquellos factores que afectan al brócoli durante su desarrollo, y engloban las condiciones medioambientales, los tratamientos tecnológicos, las prácticas agro-

en el contenido de glucosinolatos en crucíferas, positivo para las propiedades saludables de estos vegetales (Fahey *et al.*, 2001).

Además de los factores genéticos, las condiciones climáticas y los demás factores agronómicos y ecofisiológicos como la temperatura y la radiación, la humedad relativa, el grado de hidratación y de sequía, las estaciones, etc., ejercen un papel determinante en el contenido de fitoquímicos de los vegetales que se destinan a alimentos (Jeffery *et al.*, 2003; Abercrombie *et al.*, 2005; Charron *et al.*, 2005).

Otros factores como la edad de la planta y la época de recolección también afectan a la concentración de estos fitoquímicos. Así, por ejemplo, las inflorescencias que se desarrolla en plantas más jóvenes pueden contener hasta 20 veces más glucosinolatos totales que las inflorescencias que se producen en un estado vegetativo más tardío (Fahey *et al.*, 1997; Rangkadilok *et al.*, 2002a; Rangkadilok *et al.*, 2004).

Los factores post-cosecha también afectan de forma importante al contenido de compuestos bioactivos presentes en el brócoli. En este grupo se incluyen los factores que influyen en los alimentos vegetales, desde el momento de su recolección, pasando por los procesos de selección y almacenamiento, la conservación en atmósferas controladas y el envasado en atmósferas modificadas, así como el transporte y distribución y el procesado doméstico o cocinado.

Las crucíferas, antes de llegar a la mesa, se someten a diferentes formas de procesado, tanto industrial como doméstico. En este sentido se sabe que los procesos de transporte y almacenamiento afectan seriamen-

te a algunos de los compuestos beneficiosos para la salud (Vallejo *et al.*, 2003a).

Además, recientemente se han evaluado los efectos de los principales procesos de postrecolección empleados en el brócoli como la temperatura de almacenamiento, la humedad relativa, almacenamiento en atmósferas controladas o el envasado en atmósferas modificadas y los procesos de cocinado sobre el contenido en glucosinolatos de inflorescencias de brócoli. Aun no se puede establecer cuáles son las prácticas de conservación más adecuadas para mantener la calidad y la máxima cantidad de compuestos fitoquímicos en el brócoli.

El brócoli es un producto altamente perecedero, después de la recolección que requiere ser almacenado rápidamente a temperaturas inferiores a 4°C y envasado convenientemente para preservar una humedad relativa superior al 90% (Song y Thornalley, 2007). Estudios recientes indican que el contenido de glucorafanina en inflorescencias de brócoli puede descender un 82% después de 5 días a 20°C. Sin embargo, la pérdida en el mismo periodo de tiempo pero a 4 °C, es del 31% (Rodríguez y Rosa 1999). Otros estudios indican que el almacenamiento a bajas temperaturas (< 4 °C) y una humedad relativa del orden del 98-100% es de vital importancia para mantener la calidad del brócoli durante el periodo de postrecolección (Toivonen y Forney, 2004).

El envasado en atmósferas controladas resulta efectivo para preservar las propiedades de calidad del brócoli, pudiéndose duplicar su vida útil. Sin embargo, el efecto del almacenamiento en atmósferas controladas sobre el contenido en glucosinolatos no está muy claro. En relación con esto existen trabajos de investigación que indican que inflorescencias de brócoli "Marat-

## “Los diferentes tipos de cocinado tienen un efecto importante sobre las propiedades organolépticas del brócoli”

nómicas y los factores genéticos y ontogénicos. Así, las diferencias del contenido en compuestos bioactivos entre variedades de una misma especie vienen determinadas, en primer lugar, por el genotipo y los estudios realizados hasta la fecha sugieren que se puede producir una mejora

**TABLA 2: GLUCOSINOLATOS PRESENTES EN INFLORESCENCIAS DE BRÓCOLI**

Experimentos en Campo	Glucorafanina	Total GLS Alifáticos	Total GLS Indólicos	Total GLS	Unidades	Referencias	
Cultivares experimentales en investigación <sup>1</sup>	Cultivo de primavera y otoño	1.5-22.9	1.3-26.3	0.7-5.9	mmol/g peso seco	Brown <i>et al.</i> 2002	
Cultivares comerciales y experimentales <sup>2</sup>	Cultivo de primavera	1.3-8.3		3.0-28.3	μmol/g peso seco	Vallejo <i>et al.</i> 2002a	
Cultivares comerciales <sup>3</sup>	Cultivo de otoño	6.6-39.7	10.3-42.4	9.9-15.2	mg/100g peso fresco	Schönhof <i>et al.</i> 2004	
Cultivares comerciales <sup>4</sup>	Cultivo de primavera y otoño	0.3-14.9	5.3-13.8	6.7-14.9	18.9-25.2	μmol/g peso seco	Charron <i>et al.</i> 2005

1. Ev6-1(F6), Eu8-1(F6), Su003 y Vi-158, 5 híbridos comerciales, 'Baccus', 'Brigadier', 'High Sierra', 'Majestic' y 'Pirate' y una variedad local 'Broccolette Neri E Cespuglio' (EEUU).

2. Cultivares comerciales 'Marathon', 'Lord', 'Monterey', 'Pentahton', 'Vencedor', 'Furia', y las líneas experimentales 'Z-2724', 'SG-4515', 'SG-4514', 'I-9905', 'I-9904', 'I-9903', 'I-9809' (España).

3. Variedades de brócoli verde y violeta ('Emperor', 'Shogun', 'Marathon', 'Viola') (Alemania).

4. Cultivares comerciales 'Brigadier', 'Emperor', 'Bubbles' (EEUU)

