

EL AUMENTO EN EL CONOCIMIENTO SOBRE LOS FITOQUÍMICOS DE LAS CRUCÍFERAS ESTÁ DIRIGIENDO LÍNEAS DE TRABAJO HACIA LA MEJORA DE LA CALIDAD Y DE LA PRODUCCIÓN DE ESTOS VEGETALES

# PAPEL DEL BRÓCOLI EN LA ALIMENTACIÓN Y LA SALUD

## INVESTIGACIÓN Y RETOS

/ María Teresa López-Chillón<sup>1</sup>, Nieves Baenas<sup>2</sup>, Débora Villaño<sup>1</sup>, Pilar Zafrilla<sup>1</sup>, Cristina García-Viguera<sup>2,3</sup>, Diego A. Moreno<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Dpto. Ciencias de la Salud. Universidad Católica 'San Antonio' de Murcia (UCAM)

<sup>2</sup>Phytochemistry Lab. Food Science and Technology Dept., CEBAS-CSIC, Campus Universitario de Espinardo (Murcia)

<sup>3</sup>Unidad Asociada 'Calidad y evaluación de riesgos en alimentos', UPCT y CEBAS-CSIC

Actualmente es bien conocida por parte de la sociedad la relación directa entre los alimentos y la salud. Frutas y hortalizas son los principales componentes de una dieta equilibrada, especialmente por sus implicaciones en la prevención de ciertos tipos de cáncer y enfermedades crónicas. El brócoli (*Brassica oleracea L. var. italica*) es una hortaliza perteneciente a las crucíferas, muy rica en productos bioactivos como glucosinolatos (GLS) y sus metabolitos, los isotiocianatos (ITC), los cuales pueden ejercer actividades biológicas beneficiosas frente a diferentes enfermedades a través de la protección contra la inflamación y estrés oxidativo en las células, retardando o previniendo ciertos cánceres y otras enfermedades cardiovasculares o neurodegenerativas.

*Nowadays, society accepts the direct relationship between foods and health. In this sense, fruits and vegetables are the major components in balanced diets, particularly for their implications in the prevention of certain conditions and types of cancer and chronic diseases. Broccoli (*Brassica oleracea L. var. italica*), is a cruciferous food very rich in glucosinolates (GLS) and their bioactive hydrolysis products, the isothiocyanates (ITC), which may exert beneficial biological activities against different conditions through protection against inflammation and oxidative stress in the cells, slowing or preventing a number of cancers and other diseases, such as cardiovascular or neurodegenerative.*

Las inflorescencias y los brotes de brócoli son las principales fuentes alimentarias de glucorafanina (GR), glucosinolato precursor del sulforafano (SFN), que ha sido ampliamente estudiado en diversas patologías. En esta línea de trabajo se muestra un enfoque multidisciplinar en la investigación que integra diferentes eslabones en la cadena alimentaria del brócoli y las crucíferas en general, desde la evaluación de los factores pre y poscosecha que afectan a la composición fitoquímica de los alimentos, a la valorización de los subproductos transformándolos en ingredientes para la industria y para aplicaciones culinarias. En este sentido se persigue enriquecer alimentos naturales en fitoquímicos bioactivos mediante prácticas medioambientalmente sostenibles.

A continuación, evaluar la biodisponibilidad y metabolismo de los glucosinolatos y los isotiocianatos de estos alimentos, que es uno de los desafíos actuales en el diseño de estudios clínicos para comprobar los beneficios en la salud que proporcionan las crucíferas y que están relacionados con sus propiedades antioxidantes, efectos antiinflamatorios y quimiopreventivos.

En el marco de esta línea de trabajo se realizó una intervención aleatorizada con 40 sujetos sanos con sobrepeso, que consumieron brotes de brócoli, en raciones de 20-25 g/día durante 10 semanas. Se determinaron parámetros antropométricos como peso, índice de masa corporal, masa grasa y parámetros bioquímicos (colesterol total, LDL, HDL). El estado de inflamación fue evaluado mediante la medición de los niveles de TNF- $\alpha$ , IL-6, IL-1 $\beta$  y proteína C reactiva. Los resultados preliminares mostraron que los parámetros de colesterol total, IL-6 y proteína C reactiva disminuyeron significativamente. No se observaron diferencias significativas en los valores de TNF- $\alpha$  ni IL-1 $\beta$ .

Actualmente se considera que la obesidad tiene un cierto componente inflamatorio, de bajo grado y es común la existencia de sobrepeso y obesidad en fases tempranas de ciertas patologías en las que sí existe un componente inflamatorio claro. Esta metodología y línea de investigación representa un avance en los estudios de intervención nutricional al incluir los brotes de brócoli en la rutina alimenticia diaria, en dosis no excesivas sino en cantidades que reflejan

un consumo real. De los resultados observados concluimos que para obtener cambios mayores en los niveles lipídicos e inflamatorios es necesario períodos de ingesta más prolongados. Sin embargo, los resultados obtenidos hasta la fecha son prometedores y apoyan la evidencia actual sobre las propiedades saludables de las variedades de *Brassica*.

### Introducción

Actualmente es bien conocida por parte de la sociedad la relación directa entre los alimentos y la salud. En este sentido, las frutas y hortalizas son una parte muy importante de una dieta equilibrada, especialmente por su papel en la prevención de ciertas enfermedades y tipos de cáncer. Las dietas ofrecen una mejor y mayor cantidad de compuestos bioactivos de la planta que los medicamentos, sin olvidar mencionar que muchos medicamentos se derivan de los compuestos descubiertos originalmente en los vegetales. Numerosos estudios epidemiológicos indican que los productos vegetales del género *Brassica* en general, y el brócoli en particular, tienen efectos protectores frente al cáncer ya que son fuentes ricas en compuestos bioactivos como glucosinolatos, flavonoides, vitaminas y minerales. Las condiciones de procesado, el cocinado, etc., afectan a la composición y por tanto a las posibles propiedades beneficiosas del brócoli (Moreno et al., 2006). Se han

propuesto algunos criterios para evaluar las posibilidades de desarrollo de nuevos 'alimentos funcionales' con el fin de reducir el riesgo de ciertos tipos de cáncer. Por lo tanto, es importante establecer la relevancia del brócoli y las crucíferas para la salud humana, a través de la investigación, desarrollo y aplicaciones innovadoras, que vayan desde el conocimiento de los fitoquímicos y de los compuestos del brócoli beneficiosos para la salud y su análisis, pasando por el estudio de la influencia del cultivo, el procesado y los parámetros tecnológicos que afecten a la composición y calidad de los alimentos, para finalmente validar científicamente su funcionalidad a través de conocer su metabolismo, biodisponibilidad y bioactividad, tanto en estudios in vitro como en intervenciones clínicas.

### Brócoli: un alimento rico en compuestos bioactivos y saludables

El brócoli (*Brassica oleracea L. Italica*) pertenece a la familia *Brassicaceae*, familia que incluye gran variedad de especies y cultivos, algunos de los más conocidos son *B. oleracea* (coles, coles de Bruselas, brócoli), *B. rapa* (nabo), *B. napus* (rábanos), *Sinapis spp* (mostazas), etc. En los últimos años, estos cultivos son cada vez más consumidos por sus características organolépticas y posibles beneficios por ser una buena fuente de compuestos bioactivos.

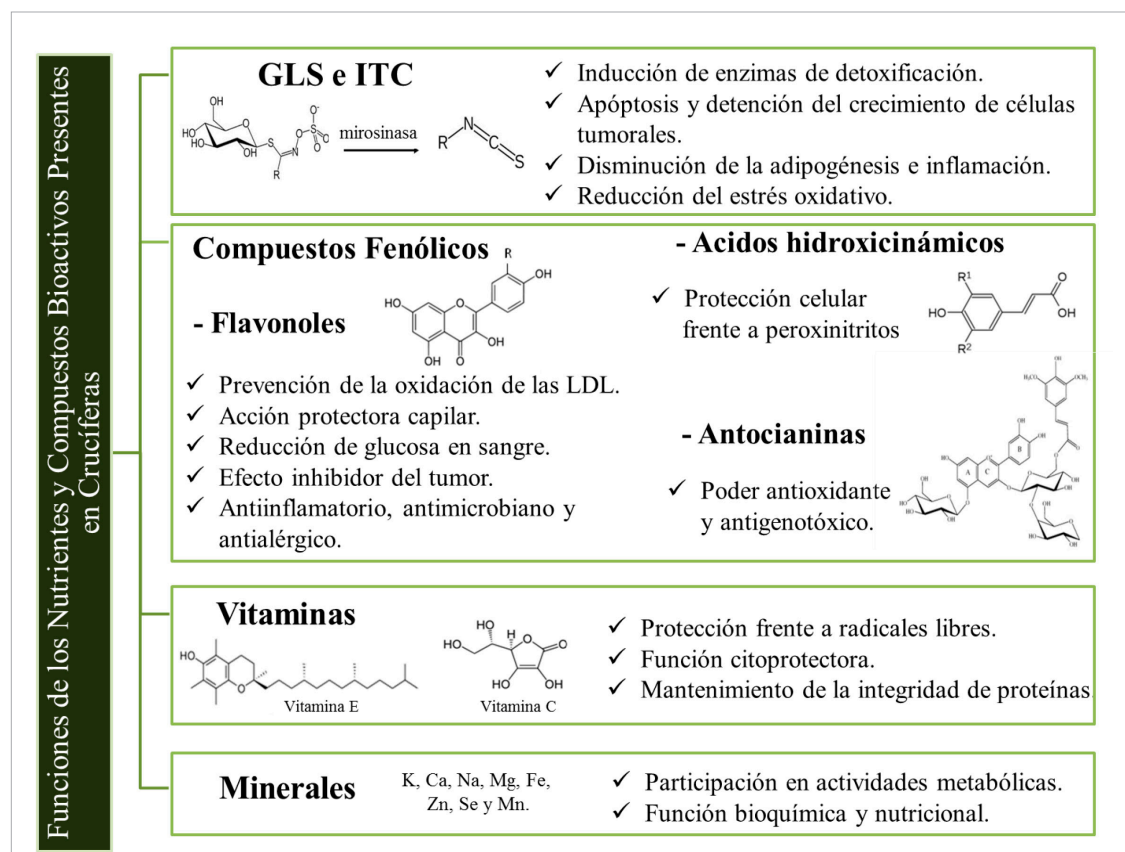


Figura 1. Nutrientes y fitoquímicos en crucíferas (brócoli) asociados a beneficios para la salud.

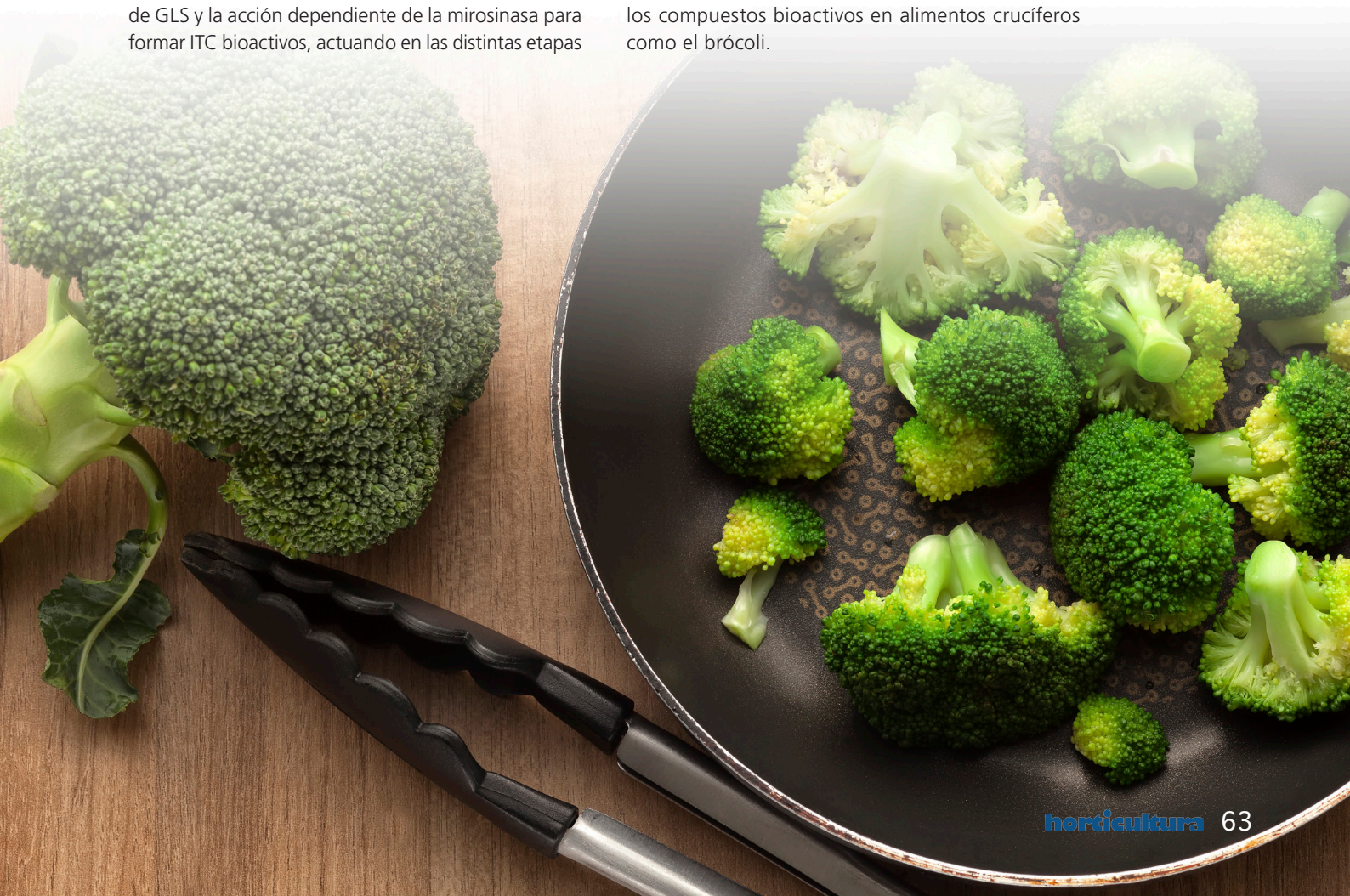
Los glucosinolatos (GLS) son compuestos del metabolito secundario de los vegetales, que contienen azufre y nitrógeno en su estructura química, y que se encuentran casi exclusivamente en esta familia botánica y hortícola. Sus productos de hidrólisis, los isotiocianatos (ITC) e indoles, son los responsables de los efectos beneficiosos para la salud, al ser los compuestos bioactivos. Entre los principales compuestos fenólicos del brócoli encontramos los flavonoides, antocianos y ácidos hidroxicinnámicos, cuya principal actividad biológica es su capacidad antioxidante. Los carotenoides, así como vitaminas (C, E, K), también se consideran nutrientes con actividad biológica.

Los glucosinolatos (GLS) no tienen ninguna bioactividad en el organismo, pero se hidrolizan para liberar ITC, compuestos altamente reactivos que pueden activar factores de transcripción como el Nrf2 (nuclear factor erythroid-derived-2) y al hacerlo mejoran la defensa de nuestras células. Por otro lado, se ha descubierto que estos compuestos favorecen la actividad de enzimas de detoxificación capaces de eliminar carcinógenos químicos. La riqueza fitoquímica de los alimentos de *Brassica* está acaparando la atención de la comunidad científica por ser potencialmente protectoras para el sistema cardiovascular, neurológico y contra ciertos tipos de cáncer, principalmente debido a sus propiedades antiinflamatorias y antioxidantes (Baenas et al 2016). Es posible optimizar el contenido de GLS y la acción dependiente de la mirosinasa para formar ITC bioactivos, actuando en las distintas etapas

de la cadena alimentaria desde las semillas hasta la planta adulta y aumentando de este modo la aplicación de vegetales del género *Brassica* en la salud y el bienestar (Jeffery, 2014; Moreno et al., 2006).

### Investigación de la cadena agroalimentaria del brócoli

Diferentes factores pueden afectar a los compuestos bioactivos y fitonutrientes del brócoli, y podrían clasificarse en aspectos de pre y poscosecha. El primer grupo implica condiciones agronómicas y ambientales o factores genéticos y ontogenéticos. Las variedades de brócoli como 'Naxos', 'Parthenon', etc. se desarrollan mejor en áreas de producción en condiciones adversas, como las que se encuentran en el Sureste Mediterráneo de España, donde se adaptan al clima semiárido y a la irrigación con aguas de baja calidad (salinizadas) manteniendo unos elevados estándares de calidad en las exportaciones (Dominguez-Perles et al. 2011). El uso de elicidores o bioestimuladores naturales, durante la etapa de formación de la inflorescencia o pella del brócoli, podría ser beneficioso para su enriquecimiento en sustancias fitoquímicas, ya que mejora su valor nutritivo sin necesidad de utilizar mejora genética (Moreno et al., 2008; Baenas et al 2016). Las evidencias disponibles indican que las estrategias de manejo de los cultivos afectan a la calidad poscosecha, y a la bioactividad y biodisponibilidad de los compuestos bioactivos en alimentos crucíferos como el brócoli.



El brócoli se consume principalmente cocinado y procesado en el hogar, y se ha demostrado que los procesos culinarios afectan considerablemente a su composición (López-Berenguer et al. 2007), observando grandes pérdidas significativas de vitamina C, glucosinolatos y compuestos fenólicos, que dependiendo del procedimiento, la presencia de agua y el tiempo de cocción, serán de mayor o menor grado. Así, tanto el genotipo, como la fertilización, el riego, la edad y el momento de cosecha son todos factores importantes que pueden afectar a los componentes bioactivos del brócoli. Los factores de poscosecha tales como el almacenamiento, transporte y cocinado también han sido ampliamente estudiados en nuestro grupo de investigación, enfocándonos en el perfil fitoquímico del brócoli (Moreno et al., 2006, 2007).

#### Innovación con ingredientes procedentes de subproductos del brócoli

La actividad socioeconómica del brócoli y las coles en la Región de Murcia representa una importante fuente de subproductos (destrío, no comerciales, re-hijos, etc.). El aprovechamiento de subproductos (no-waste) para obtener nuevos ingredientes potencialmente funcionales, dando la oportunidad de obtener productos de valor añadido es una oportunidad y un reto para la innovación. Los estudios previos se han enfocado en las partes comerciales (pellas, inflorescencias), pero añadir valor a los subproductos del brócoli, que representan un problema real medioambiental y fitosanitario en las zonas de producción, es de importancia crucial. Los subproductos o coproductos del brócoli son una buena fuente de ingredientes bioactivos para la industria alimentaria, con la ventaja añadida de la reducción de problemas ambientales (Dominguez-Perles et al., 2010), en este sentido los ingredientes del brócoli añadidos al té verde dieron lugar a una combinación de fitoquímicos con actividad antitumoral (Dominguez-Perles et al. 2012), con potencial para el diseño de nuevos alimentos y bebidas funcionales.

#### Consumo de brócoli: beneficios para la salud

Prevenir y tratar la obesidad es una prioridad mundial. La obesidad se define como la acumulación anormal o excesiva de grasa que puede afectar negativamente a la salud e implica desequilibrios en el metabolismo de la glucosa, hipertensión arterial, dislipidemia, y se caracteriza por un estado proinflamatorio crónico. Los estudios en personas adultas demostraron que los marcadores de inflamación interleuquina-6 (IL-6), proteína C reactiva (PCR) y el factor de necrosis tumoral (TNF- $\alpha$ ) se elevan cuando hay elevada grasa visceral. En la actualidad, más del 55% de la población española adulta es obesa y casi el 60% de la población de la Unión Europea tiene sobrepeso o es obesa. Es urgente y necesario desarrollar estrategias

seguras y eficaces para el tratamiento de esta patología. El consumo de alimentos ricos en compuestos bioactivos y biodisponibles que actúan en el tejido adiposo puede representar una herramienta útil coadyuvante de las intervenciones nutricionales y clínicas que controlan y tratan esta condición crónica. El brócoli (*Brassica oleracea l. var. Italica*), de la familia de las crucíferas (*Brassicaceae*), es rico en glucosinolatos (GLS), y sus productos de hidrólisis, los isotiocianatos, pueden ejercer una actividad beneficiosa sobre diferentes condiciones patológicas.

### Frutas y hortalizas son los principales componentes de una dieta equilibrada, especialmente por sus implicaciones en la prevención de ciertos tipos de cáncer y enfermedades crónicas

Los brotes de brócoli (*Brassica oleracea var. italica*) son las semillas germinadas de sólo unos pocos días de edad, ricos en fitoquímicos bioactivos (vitaminas, minerales, antioxidantes naturales polifenólicos y glucosinolatos), con niveles de concentración de hasta 10 veces superiores a los encontradas en el brócoli adulto (Pérez-Balibrea et al., 2008). Los brotes de brócoli son ricos en glucorafanina, glucosinolato (GLS) precursor del sulforafano (SFN), con efectos quimiopreventivos y antiinflamatorios, disminuyendo el riesgo de varias enfermedades crónicas (Wagner, et al., 2013). Los efectos beneficiosos del consumo de brócoli están ligados a los isotiocianatos (ITC) formados por la acción hidrolítica de la mirosinasa de la planta durante la masticación y las glucosidasas presentes en el tracto gastrointestinal (Jeffery, 2014; Moreno et al., 2006).

Un estudio reciente utilizando el modelo in vivo de *Drosophila melanogaster* ha demostrado una disminución de los niveles de glucosa de hasta un 20% en las moscas alimentadas con brotes de rábano, que contienen SFN, así como una regulación positiva del gen homólogo de PGC - 1 $\alpha$  en mamíferos, el gen de *spargel*, asociado a la regulación de la homeostasis de la glucosa en los mamíferos, lo que sugiere una actividad efectiva de las crucíferas en la reducción de la absorción intestinal de glucosa (Baenas et al. 2015). Con respecto a la actividad antiinflamatoria de las crucíferas, el consumo de brotes de brócoli se ha relacionado con la modulación de la excreción de biomarcadores de la inflamación (tromboxanos)

y a las reacciones vasculares (Medina et al., 2015). Además, el efecto analgésico producido por la ingestión de extractos acuosos de brotes de brócoli en roedores podría estar asociado con la reducción de la fase de inflamación aguda en problemas de dolor crónico (Baenas et al., 2017).

Nuestro equipo de investigación realizó un estudio de intervención nutricional, aleatorizado, con 40 voluntarios sanos con sobrepeso. Se recogieron datos sobre sus hábitos alimenticios y ejercicio físico. El estudio se dividió en dos fases: A) Fase de tratamiento: consumo de brotes de brócoli (25 g/día) durante 10 semanas y B) Fase control: 10 semanas con una dieta normal sin consumo de brotes de brócoli. En general, la absorción de los compuestos polifenólicos de los alimentos es baja; se absorbe el 1% del contenido total, y esto hay que tenerlo en cuenta al considerar la cantidad de brotes de brócoli que debemos consumir para obtener una dosis eficaz (Prior, 2003; Manach et al., 2005). En el organismo no vamos a encontrar valores apreciables de los metabolitos polifenólicos y de los metabolitos de los glucosinolatos, ya que sufren metabolismo, principalmente por enzimas de Fase II con reacciones de conjugación con glutatión. Los datos obtenidos en este estudio indican que sólo una pequeña parte de los compuestos son absorbidos como tal y encontrados en plasma u orina. En las muestras recogidas a día cero no se encontró uno de los marcadores de ingesta de brócoli más importantes, el sulforafano-glutatión. Los voluntarios llevaron a cabo un período de lavado (wash-out) antes del inicio del estudio, por lo que no aparecen cantidades de metabolitos de SFN en todos los voluntarios, lo que indica el buen cumplimiento de las instrucciones dietéticas por parte de los sujetos en estudio.

En un análisis de los datos se pudo observar que los metabolitos de SFN conjugados con N-acetil-cisteína y cisteína aumentaron durante los 70 días de consumo de los brotes y posteriormente descendieron a valores iniciales. Los valores del metabolito indólico 3,3-diindolmetano (3,3-DIM) también aumentaron, alcanzando un máximo a día 35. En este compuesto los valores iniciales y finales no son cercanos a cero, sino que encontramos un valor inicial de 0,4  $\mu\text{M}$ , al cual se retorna durante el período de seguimiento en el cual no se consumieron los brotes de brócoli.

Se determinaron los parámetros antropométricos: grasa corporal, peso, índice de masa corporal; y parámetros bioquímicos: colesterol total, LDL, HDL.

El estado de inflamación fue evaluado mediante la medición de los niveles de TNF- $\alpha$ , IL-1 $\beta$ , IL-6 y proteína C reactiva. Se realizó un análisis no paramétrico con los datos obtenidos. Los valores promedio de colesterol total mostraron una tendencia significativa de disminución después del consumo de brócoli (192 mg/dL iniciales, disminuyendo a 185 mg/dL en 10 semanas y durante la fase de control, reducción hasta 164 mg/dL,  $p < 0,001$ ). Además, los niveles de IL-6 disminuyeron significativamente (de 4,67 pg/mL a 1,78 pg/mL) con 70 días de consumo de brócoli ( $p < 0,001$ ) y en la fase de control los



niveles de estas interleucinas, se mantuvieron bajos (0,86 - 2,09 pg/mL,  $p < 0,001$ ). La proteína C reactiva disminuyó también significativamente. No se observaron diferencias significativas en los valores de TNF- $\alpha$  ni IL-1 $\beta$ . Tanto la IL-6 como la proteína C reactiva están involucradas en la respuesta de la inflamación y aumentan en personas con sobrepeso. La obesidad es considerada como una condición en la que existe una inflamación de bajo grado y por otra parte es una etapa temprana de patologías que presentan componente inflamatorio. Este estudio representa un avance

en los estudios de intervención ya que incluimos los brotes de brócoli en la dieta diaria en dosis no excesivas sino en cantidades que reflejan un consumo real. De los resultados observados concluimos que para obtener cambios mayores en los niveles lipídicos e inflamatorios es necesario períodos de ingesta más prolongados. Son necesarios otros estudios para dilucidar el papel de este rico y nutritivo producto alimenticio, pero estos resultados prometedores apoyan la evidencia actual sobre las propiedades saludables de las variedades Brassica.●



### Conclusiones

En la actualidad, el aumento en el conocimiento sobre los fitoquímicos de las crucíferas entre los científicos, los productores y la industria, así como los consumidores, está dirigiendo estas líneas de trabajo hacia la mejora de la calidad y de la producción de estos vegetales. Estas investigaciones sobre la biofortificación de Brassicas tiene potencial para el desarrollo de estudios en pacientes y sujetos adultos sobre los efectos específicos de un compuesto en la salud. Los trabajos recientes sugieren que el potencial antiinflamatorio y quimiopreventivo de estos alimentos mediante su inclusión en la dieta requiere del establecimiento de recomendaciones dietéticas que incluyan de 3 a 5 porciones o raciones de alimentos de crucíferas a la semana, además de las recomendaciones actuales de 3 a 5 raciones al día de frutas y hortalizas, basado en las evidencias científicas y epidemiológicas sobre la influencia de los compuestos bioactivos del brócoli y otros alimentos de crucíferas, sobre diferentes estados de enfermedades degenerativas y cáncer.

## Agradecimientos

Este trabajo fue financiado en parte por el Ministerio de Economía y Competitividad (MINECO) a través del proyecto de investigación AGL2013-46247-P y la Ayuda a Grupos de Excelencia en la Investigación de la Agencia Regional de Murcia de Ciencia y Tecnología (Fundación Séneca), proyecto 19900/GERM/15. Además, N. Baenas, recibió financiación mediante beca de doctorado FPU (Formación Profesorado Universitario) del Ministerio de Educación.

## Referencias bibliográficas

- Baenas N., Francisco M., Velasco P., Cartea M.E., García-Viguera C., Moreno D.A. (2016). Bioactive Compounds from Brassicaceae as Health Promoters. In: Luis R. da Silva and Branca Silva (Eds.), *Natural Bioactive Compounds from Fruits and Vegetables as Health Promoters: Part 2*. (pp. 27-47). Sharjah, United Arab Emirates: Bentham Science Publishers Ltd. ISBN: 978-1-68108-244-8.
- Baenas, N., Piegholdt, S., Schloesser, A., Moreno, D. A., García-Viguera, C., Rimbach, G., Wagner, A. E., (2016). Metabolic activity of radish sprouts derived isothiocyanates in *Drosophila melanogaster*. *International Journal of Molecular Sciences*, 17 (2).
- Baenas, N., Gonzalez-Trujano, M. E., Guadarrama-Enriquez, O., Pellicer, F., Garcia-Viguera, C., Moreno, D. A., (2017). Broccoli sprouts in analgesia - preclinical in vivo studies. *Food & Function*, 8, 167-176.
- Domínguez-Perles R., Martínez-Ballesta M.C., Carvajal M., García-Viguera C., Moreno D.A. (2010). Broccoli-derived by-products – A promising source of bioactive ingredients. *Journal Food Science* 75 (4), C383-92.
- Dominguez-Perles R., Martínez-Ballesta M.C., Riquelme F., Carvajal M., García-Viguera C., Moreno D.A. (2011). Novel varieties of broccoli for optimal bioactive components under saline stress. *Journal Science Food Agriculture* 91(9), 1638-1648.
- Domínguez-Perles R., Moreno D.A., García-Viguera C. (2012). Analysis of the tumoral cytotoxicity of Green tea-infusions enriched with broccoli. *Food Chemistry* 132 (3), 1197-1206.
- Jeffery E.H. (2014). Cancer prevention with Brassica vegetables. ISHS 2015. XXIX IHC – Proceedings of the VI Int. Symp. on Human Health Effects of Fruits and Vegetables (FAVHEALTH 2014). *Acta Hort.* 1106, 143-146. DOI: 10.17660/ActaHortic.2015.1106.22
- López-Berenguer C., Carvajal M., Moreno D.A., García-Viguera C. (2007). Effects of microwave cooking conditions on bioactive compounds present in broccoli inflorescences. *Journal Agricultural Food Chemistry* 55 (24), 10001-10007.
- Medina, S., Domínguez-Perles, R., Moreno, D. A., García-Viguera, C., Ferreres, F., Gil, J. I., Gil-Izquierdo, Á., (2015). The intake of broccoli sprouts modulates the inflammatory and vascular prostanoids but not the oxidative stress-related isoprostanes in healthy humans. *Food Chemistry*, 173, 1187-1194.
- Moreno D.A., Carvajal M., López-Berenguer C., García-Viguera C. (2006). Chemical and biological characterisation of nutraceutical compounds of broccoli. *Journal Pharmaceutical and Biomedical Analysis* 41 (5), 1508-1522.
- Moreno D.A., López-Berenguer C., Carvajal M., García-Viguera C. (2007). Health Benefits of Broccoli. Influence of Pre- and Post-harvest Factors on Bioactive Compounds. *Food* 1(2) 297-312.
- Moreno D.A., López-Berenguer C., Martínez-Ballesta M.C., Carvajal M., García-Viguera C. (2008). Basis for the new challenges of growing broccoli for health in hydroponics. *Journal Science Food Agriculture* 88 (8), 1472-1481.
- Pérez-Balibrea S., Moreno D.A., García-Viguera C. (2008). Influence of light on health-promoting phytochemicals of broccoli sprouts. *Journal Science Food Agriculture* 88 (5), 904-910.
- Prior, R. L. (2003). Fruits and vegetables in the prevention of cellular oxidative damage. *American Journal of clinical Nutrition*, 78, 570S-578S.
- Tomás-Barberán F.A., Gil-Izquierdo A., Moreno D.A. Bioavailability and Metabolism of Phenolic Compounds and Glucosinolates. Chapter 19. Pg. 194-221. In: *Designing functional foods: understanding, measuring and controlling food structure breakdown and nutrient absorption for the development of health-promoting foods. Part 3. Digestion and adsorption of food components*. (Eds.) D.J. McClements & E.A. Decker. Woodhead Publishing Ltd. CRC Press. Boca Raton, Fl., USA. ISBN: 978-1-84569-432-6 (2009).
- Wagner, A. E., Terschluessen, A.M., G. Rimbach, G, (2013). Health promoting effects of brassica-derived phytochemicals: from chemopreventive and anti-inflammatory activities to epigenetic regulation, *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 964539, 23.