

EL BRÓCOLI: SU IMPORTANCIA, PROPIEDADES FUNCIONALES Y BIODISPONIBILIDAD

Vázquez-González C.^{1,2}, Robles-López M.R.¹, García-Meza, M. G.¹, Rivera-Hernández K.N.¹, Villa-Ramírez M.S. y Ramírez-López, C.¹

¹Instituto Politécnico Nacional. Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada. ExHacienda San Juan Molino. Carretera Estatal, Tecuexcamac-Tepetitla Km. 1.5, Tlaxcala. C.P. 90700. México. cr181@hotmail.com

²Universidad Tecnológica de Tecamachalco. Av. Universidad Tecnológica Núm. 1 Col. Barrio La Villita. Tecamachalco, Puebla. C.P. 75483. México. c-v-g@hotmail.com

RESUMEN

El brócoli (*Brassica oleraceae* var. *italica* Plenck) es una hortaliza con un alto valor nutricional. Las condiciones ambientales para su cultivo al aire libre provocan que esté sometido a períodos de estrés durante su desarrollo, lo que conlleva a la activación de rutas metabólicas secundarias como mecanismos de defensa y a la síntesis de compuestos bioactivos que incluyen compuestos nitrogenados, azufrados, terpénicos y fenólicos. Al respecto, existe evidencia que señala la poderosa actividad antioxidante de estos compuestos contra radicales libres e incluso que su consumo resulta beneficioso para la salud toda vez que pueden proporcionar un efecto preventivo contra algunos tipos de cáncer. En el presente artículo se hablará de diversas investigaciones en torno a la funcionalidad y biodisponibilidad de compuestos presentes en el brócoli, que lo convierten en una excelente alternativa para satisfacer las actuales demandas de consumidores que buscan conseguir a partir de los alimentos la prevención de enfermedades o simplemente mantener un estado de salud óptimo.

Palabras clave: brócoli, biodisponibilidad, glucosinolatos, isotiocianatos.

ABSTRACT

Broccoli (*Brassica oleraceae* var. *italica* Plenck) is a vegetable with a high nutritional value. The environmental conditions for outdoor cultivation cause it to be subjected to periods of stress during its development, which leads to the activation of secondary metabolic pathways as mechanisms of defense and active the synthesis of bioactive compounds that include nitrogen derivatives, sulfur, terpene and phenolic. In this regard, there is evidence that indicates a high antioxidant activity of these compounds against free radicals and even that their consumption is beneficial for health since they can provide a preventive effect against some types of cancer. In the present article we will talk about several researches about the functionality and bioavailability of compounds present in broccoli, which make it an excellent alternative to meet the current demands of consumers seeking to obtain from food the prevention of diseases or simply maintain an optimal state of health.

Keywords: broccoli, bioavailability, glucosinolates, isothiocyanates.



I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad existen diversas evidencias científicas sobre la abundancia de sustancias fitoquímicas que contienen los alimentos, siendo los vegetales los responsables de sintetizarlas. La industria alimentaria a nivel nacional e internacional, en el sector de los llamados “alimentos funcionales”, ha presentado una mayor demanda por consumidores cada vez más conscientes y responsables del tipo de alimentación por una parte, y por otra, aquellos que los requieren debido al padecimiento de enfermedades crónico degenerativas (Vallejo et al., 2002; Herr et al., 2010; Dominguez-Perles et al., 2010). En relación a esto, existen diversas investigaciones sobre el estudio de compuestos funcionales presentes en el brócoli y los factores que afectan su concentración, biodisponibilidad y capacidad antioxidante (Hwang et al., 2013; Deng et al., 2015; Cai et al., 2016). Consecutivamente, se explica el papel que juegan los compuestos funcionales que se originan e inclusive el proceso para metabolizarlos “in situ” e “in vivo”, para producir compuestos funcionales tales como los isotiocianatos, responsables de prevenir o tratar enfermedades crónicas como el cáncer (Saha et al, 2012). También se reportan estudios sobre compuestos fenólicos, carotenoides, clorofila, ácido ascórbico, flavonoides y tocoferoles presentes en el brócoli. En base a lo anterior, el objetivo de la presente revisión bibliográfica es dar a conocer la importancia del consumo del brócoli, a través de las investigaciones que se han realizado sobre los compuestos de interés funcional, así como los factores que afectan su actividad y biodisponibilidad.

I.1 Orígenes del brócoli.

El nombre científico del brócoli es *Brassica oleraceae* L. var. *Italica* Plenck, la clasificación taxonómica se presenta en la Tabla I. Este género también incluye un gran número de vegetales que son cultivados para el consumo de sus inflorescencias, tallos frescos y raíces o bien para la extracción de aceite de sus semillas. Es originaria de las costas del Mediterráneo y Asia Occidental y fue introducida a Europa, principalmente a Italia en épocas medievales (Latté et al., 2011). En México se estima que su cultivo inició en los años 70's debido a su alta rentabilidad y al cambio hacia hábitos de consumo sano.

Tabla I. Clasificación Taxonómica del brócoli

Subdivisión	Angiospermas
Clase	Dicotiledónea
Orden	Brasicales
Familia	Brasicáceas
Género	Brassica
Especie	Oleracea
Variedad	Italica
Nombre trinomial	<i>Brassica oleracea</i> L. var <i>Italica</i> .

Las principales partes comestibles del brócoli son los brotes y las flores llamadas inflorescencia (Figura 1).

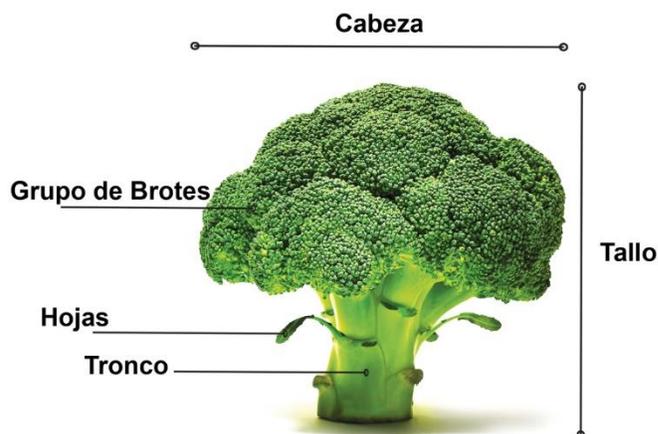


Figura 1. Diagrama de florete de brócoli (*Brassica oleraceae* L. var. *Italica*).

I.2 El cultivo de brócoli y su importancia económica en México.

Sus demandas climáticas lo hace un cultivo apto para zonas de clima templado y frío, tolerando temperaturas de hasta -2°C , siendo 17°C la temperatura óptima de desarrollo, prefiere suelos con textura arenosa, uniformes, profundos con buenas condiciones de humedad y drenaje y con un pH óptimo de 6 a 7.5 (SIAP, 2017). De acuerdo a la FAO en 2014, los productores principales de brócoli fueron: China con el 41.20% en primer lugar, seguido por India con el 35.40%, España con el 2.43% y México ocupa el 4to lugar a nivel mundial en la producción de brócoli con 2.16%, Italia con el 1.71%, Francia con el 1.52% y el 15.58% correspondería a otros países del mundo. El SIAP 2017 reporta a nivel nacional que los principales cinco estados productores de brócoli en orden descendiente son: Guanajuato, Michoacán, Puebla, Jalisco y Sonora. Con respecto al comercio exterior, cabe mencionar que 7 de cada 10 toneladas de brócoli que se producen en México se exportan, siendo los principales destinos Estados Unidos, Canadá y Japón, flujo que en 2016 generó un valor comercial de 390 mdd.



(Tabla 2), se observa que existen variaciones en el contenido de sulforafano dependiendo del tejido analizado.

Tabla 2. Contenido de sulforafano ($\mu\text{g/g}$ peso seco en brócoli)

Cabeza	Inflorescencia	Tallo	Hoja	Cabeza entera
1	448.35	250.58	313.91	195.30
2	513.69	202.33	495.86	267.28
3	218.93	154.43	239.04	108.82
4	634.02	234.62	430.71	297.68
5	683.27	231.82	437.50	359.02
Promedio	499.65±183	214.75±38	383.40±104	246.21±97

Fuente: Adaptado de Campas-Baypoli et al., 2009

No obstante, el tipo y concentración de compuestos funcionales presentes en el brócoli así como su capacidad antioxidante, es afectada por diversos factores; entre los que destacan la variedad de la planta, estado de madurez, condiciones de cultivo, condiciones de manejo post-cosecha y formas de consumo. (Vallejo et al., 2002; Gliszczynska-Swiglo et al 2006; Aires et al., 2012; Alanís-Garza et al., 2015).

Borges-Márques et al. (2004) y Galgano et al. (2007) señalan que el ácido ascórbico es uno de los fitonutrientes más importantes en el brócoli, sin embargo esta vitamina es sensible a la oxidación química y enzimática, así como soluble en agua y se utiliza como indicador en el monitoreo de la calidad. Se ha demostrado que el brócoli en fresco tiene una calidad superior, comparado con el brócoli ultracongelado, además puede disminuir si no se consume inmediatamente después de ser adquirido, también la técnica de cocción determina la calidad del brócoli, así como un volumen excesivo de agua puede llevar a disminuir el contenido de vitaminas.

Otros compuestos de interés son los fenólicos, carotenoides, clorofila, ácido ascórbico, flavonoides y tocoferoles. En la Tabla 3, se resumen algunas investigaciones sobre la función de compuestos funcionales de interés, presentes en el brócoli.

2.3 Biodisponibilidad.

Cuando hablamos de la cantidad realmente absorbida y metabolizada hablamos de biodisponibilidad. Hwang et al. (2013) señalan que los compuestos de promoción de la salud en el brócoli se ven afectados significativamente por métodos de calentamiento, sin embargo con el proceso de calentamiento adecuado pueden aumentarse las concentraciones de glucosinolato, carotenoides y tocoferoles. Por otro lado determinaron que los tratamientos de calentamiento reducen las concentraciones de glucosinolatos pero aumentan los

Tabla 3. Estudios en relación a los componentes funcionales de interés en brócoli.

Compuesto	Función	Referencia
Isotiocianatos (ITC), tiocianatos y nitrilos (sulforafano)	Anticancerígeno	Latté et al., 2011. Soares et al., 2017. Campas-Baypoli et al., 2009. Herr and Büchler 2010.
Compuestos fenólicos	Anticancerígeno	Fahey et al., 2016. Zhang, et al., 2004
Carotenoides y clorofilas (Neoxantina, violaxantina, clorofila b, luteína, clorofila a, trans- β -cryptoxantina, trans- β -caroteno).	Antioxidantes	Alanís-Garza et al., 2015. Hwang et al., 2013. Caj et al., 2016. Zhang, et al., 2004.
Ácido ascórbico	Antioxidante	Borges-Márques et al., 2004. Galgano et al., 2007. Gliszczynska-Swiglo et al., 2006. Kaur et al., 2007 Munyaka et al., 2010. Zhang, et al., 2004
Flavonoides	Antioxidante	Dominguez-Perles et al., 2010 Gliszczynska-Swiglo et al., 2006. Vallejo, et al., 2004.
Tocoferoles	Anticancerígeno Antioxidante	Hwang et al., 2013.

de carotenoides y tocoferoles. Los tratamientos con microondas y vapor tuvieron efectos mínimos sobre las concentraciones de glucosinolato, carotenoides y tocoferoles, sin embargo, la ebullición aumentó la pérdida de los mismos, concluyendo que la facilidad de extracción química también podría traducirse en una mayor biodisponibilidad.

Saha y col. (2012) señalan que el brócoli es comúnmente adquirido en fresco o congelado y antes de ser consumido, se cocina. En su estudio los autores compararon la biodisponibilidad y el metabolismo del sulforafano en dieciocho voluntarios sanos, encontrando la presencia significativa en orina de un compuesto conjugado de la erucina N-acetilcisteína, además que la microbiota intestinal puede producir sulforafano, erucina y sus nitrilos a partir de glucorafanina, siguiendo la ruta de degradación o metabolismo ejemplificada en la Figura 3, previamente discutida.

3. CONCLUSIONES

Es indiscutible que el brócoli tiene una gran importancia nutrimental en la actualidad, que en cada una de las secciones de la hortaliza (tallo, inflorescencia y hojas) contiene compuestos con propiedades funcionales que pueden proporcionar grandes beneficios a la salud de los seres humanos, atribuyéndose principalmente al magno aporte de compuestos bioactivos (principalmente isotiocianatos). Dentro de las nuevas investigaciones se puede concebir al brócoli, así como los productos que puedan desarrollarse a partir de dicha Brassica,

2. PROPIEDADES FUNCIONALES Y BIODISPONIBILIDAD

2.1 Características nutricionales del brócoli.

La porción comestible de brócoli crudo aporta por cada 100 g un alto contenido de agua (89.30%) y bajo en grasa (0.37%). Otros componentes son proteínas (2.82%), fibra dietética total (2.60%) e hidratos de carbono (6.64%). Es una rica fuente de minerales como potasio, fósforo, calcio y sodio. Además el brócoli proporciona vitaminas especialmente vitamina C, vitamina A y ácido fólico (Departamento de Agricultura de EE.UU. 2016). Campas-Baypoli y col. (2009) obtuvieron harina de brócoli proponiéndola como una fuente de nutrientes y con la posibilidad de utilizarse como suplemento dietético, dado el alto contenido de aminoácidos como tirosina, ácido aspártico, ácido glutámico, prolina y valina. Así como la presencia de ácidos grasos como el ácido linoléico, ácido palmítico y ácido linoleico.

2.2 Compuestos con características funcionales presentes en el brócoli.

De manera general, las brassicáceas son consideradas alimentos funcionales. En la Figura 2 se presenta un esquema comparativo entre alimento, alimento funcional y nutraceutico. Los alimentos funcionales se definen como “aquellos alimentos que consumidos en la dieta en las cantidades normales, ya sea de forma natural o procesada, contienen componentes biológicamente activos que ejercen efectos beneficiosos para la salud que van más allá de la nutrición”. En tanto que un compuesto nutraceutico puede definirse como “un suplemento dietético, presentado en una matriz no alimentaria (píldoras, cápsulas, polvo), de una sustancia natural bioactiva concentrada, presente usualmente en los alimentos y que, tomada en dosis superior a la existente en esos alimentos, presumiblemente, tiene un efecto favorable sobre la salud mayor que el que podría tener el alimento normal” (Blades, 2000).

Dentro de los compuestos fitoquímicos más importantes en el brócoli están los glucosinolatos y sus productos de degradación, los isotiocianatos (Latté et al., 2011). El brócoli es la principal fuente natural de sulforafano, su precursor glucorafanina constituye entre el 81-88 % de los glucosinolatos totales de este vegetal. Los glucosinolatos (GL) no son biológicamente activos hasta que se hidrolizan (Figura 3) por la acción de la enzima endógena mirosinasa (β -thioglucosidasa) cuando el tejido del vegetal se rompe a consecuencia de un daño mecánico (por corte o masticación) o cuando la enzima mirosinasa también presente en microflora intestinal se pone en contacto con el sustrato GL

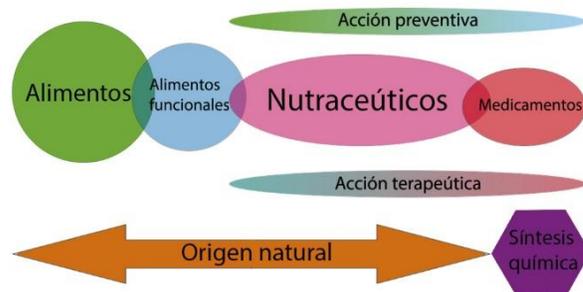


Figura 2. Descripción gráfica de la relación entre alimentos, alimentos funcionales y nutraceuticos.

y libera glucosa, bisulfato y aglucona. Posteriormente, esta última experimenta un acomodo intramolecular que genera isotiocianatos, nitrilos, metilisotiocianatos, metilnitrilos y tiocianatos (todos de bajo peso molecular), los cuales son responsables del aroma y olor típico de estos productos debido a la presencia del enlace disulfuro (Aires et al., 2012; Chuanphongpanich et al., 2006; Soares et al., 2017).

Este incremento en la concentración de glucosinolatos, se observa por ejemplo cuando después de la cosecha,

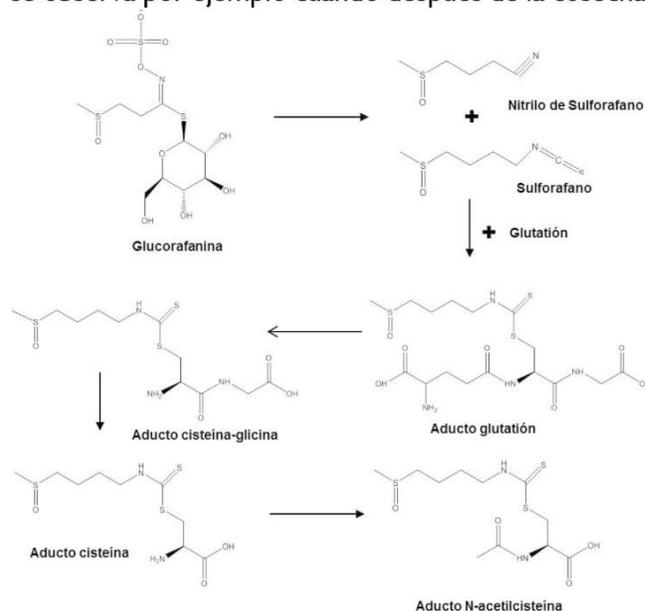


Figura 3. Ruta de degradación de glucosinolatos a través de la ruta metabólica del ácido mercaptúrico (adaptado de Saha et al., 2012).

las cabezas de brócoli se cocinan durante dos minutos con vapor de agua y luego se almacenan a temperaturas menores de 4°C y alta humedad relativa (Jones et al., 2006). En un estudio realizado por Campas-Baypoli et al. (2009), donde se analiza el contenido de sulforafano entre las diferentes partes de la planta de brócoli

como una nueva opción que contribuya a la prevención y/o tratamientos de enfermedades crónicas degenerativas, tales como el cáncer. Finalmente, es definitivo que un reto fundamental para los biotecnólogos y la industria alimentaria será el poder también comercializar de manera efectiva dichos alimentos funcionales, pero también para el cuerpo científico sigue siendo un reto aportar evidencias científicas sobre la biodisponibilidad de dichas sustancias, así como demostrar el impacto positivo para la salud de la población en el mundo.

4. AGRADECIMIENTOS

La autora, Cecilia Vázquez-González agradece a la Universidad Tecnológica de Tecamachalco (UTT) y a la empresa Agroindustria de Brócoli Poblana S.A. de C.V. (AGROIBPSA), por el apoyo brindado para la realización del presente trabajo en el marco del programa de Doctorado en Biotecnología Productiva del CIBA-IPN.

5. REFERENCIAS

Aires, A., Carvalho, R., Rosa, E. 2012. Glucosinolate composition of brassica is affected by postharvest, food processing and myrosinase activity. *Journal of Food Processing & Preservation*. 36 (3):214-224.

Alanís-Garza, P.A., Becerra-Moreno, A., Mora-Nieves, J.L., Mora-Mora, J.P. & Jacobo-Velázquez, D.A. 2015. Effect of industrial freezing on the stability of chemopreventive compounds in broccoli. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. 66(3): 282–288.

Blades, M. 2000. Functional foods or nutraceuticals. *Nutrition & Food Science*, 30(2):73–76.

Borges-Marques, R.M., Von Atzinge, M.C. & Machado Pinto e Silva, M.E. 2004. Sensory evaluation and ascorbic acid of frozen and fresh vegetables. *Revista Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 4:240-245.

Campos-Baypoli, O.N., Sánchez-Machado, D.I., Bueno-Solano, C., Nuñez-Gastelum, J.E., Reyes-Moreno, C., & López-Cervantes, J. 2009. Biochemical composition and physicochemical properties of broccoli. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 60(54):163-173.

Cai, C., Miao, H., Qian, H., Yao, L., Wang, B., & Wang, Q. 2016. Effects of industrial pre-freezing processing and freezing handling on glucosinolates and antioxidant attributes in broccoli florets. *Food Chemistry*, 210:451-456.

Chuanphongpanich, S. & Phanichphant, S. 2006. Method and determination of phenolic compounds in broccoli seeds samples. *Chiang Mai Journal Science*, 33(1):103 -17.

Domínguez-Perles, R., Martínez-Ballesta, M. C., Carvajal, M., García-Viguera, C. and Moreno, D. A. 2010. Broccoli-Derived By-Products—A Promising Source of Bioactive Ingredients. *Journal of Food Science*, 75:C383–C392.

Fahey, J.W. 2016. Brassica: Characteristics and Properties. *Encyclopedia of Food and Health*, Academic Press, Oxford. Pages 469-477. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00083-0>. Último acceso: 22/11/2017

Galgano, F., Favati, F., Caruso, Pietrafesa, M.A. and Natella, S. 2007. The Influence of Processing and Preservation on the Retention of

Health-Promoting Compounds in Broccoli. *Journal of Food Science*, 72(2):S130-S135.

Gliszczynska-Swiglo, A.E., Ciska, A.E., Pawlak-Iemanska, K., Chmielewski, J., Borkowski, T. & Tyrakowska, B. 2006. Changes in the content of health-promoting compounds and antioxidant activity of broccoli after domestic processing. *Food Additives and Contaminants*. 23(11):1088–1098.

Hwang Eun-Sun & Kim, Gun-Hee. 2013. Effects of various heating methods on glucosinolate, carotenoid and tocopherol concentrations in broccoli. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 64(1):103–111.

Herr, I. & Büchler, L.W. 2010. Dietary constituents of broccoli and other cruciferous vegetables: Implications for prevention and therapy of cancer. *Cancer Treatment Reviews*, 36(5):377–383.

Jones, R.B., Faragher, J.D., Winkler, S. 2006. A review of the influence of postharvest treatments on quality and glucosinolate content in broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) heads. *Postharvest Biology and Technology*, 41:1–8.

Kaur, Ch., Kumar, K., Anil, D. & Kapoor, H.C. 2007. Variations in antioxidant activity in broccoli (*Brassica oleracea* L.) cultivars. *Journal of Food Biochemistry*, 31:621–638.

Latté, P.K., Appel, K.E. & Lampen, A. 2011. Health benefits and possible risks of broccoli – An overview. *Food and Chemical Toxicology*, 49:3287-3301.

Munyaka, A. W., Makule, E. E., Oey, I., Van Loey, A. & Hendrickx, M. 2010. Thermal Stability of L-Ascorbic Acid and Ascorbic Acid Oxidase in Broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*). *Journal of Food Science*, 75: C336–C340. doi:10.1111/j.1750-3841.2010.01573.x

Saha, S., Hollands, W., Teucher, B., Needs, P.W., Narbad, A, Ortori, C.A., Barret, D.A., Rossiter, J.T., Mithen, R.F. & Kroon, A. 2012. Isothiocyanate concentrations and interconversion of sulforaphane to erucin in human subjects after consumption of commercial frozen broccoli compared to fresh broccoli. *Molecular Nutrition Food Research*, 56:1906-1916.

Soares, A., Carrascosa, C. & Raposo, A. 2017. Influence of Different Cooking Methods on the Concentration of Glucosinolates and Vitamin C in Broccoli. *Food & Bioprocess Technology*, 10(8):1387-1411.

SIAP, 2017. <http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Estudios/Documents/monografias/brocoli.pdf>. Último acceso: 22/10/2017.

Vallejo, F., Tomás-Barberán, F. & García-Viguera, C. 2002. Potential bioactive compounds in health promotion from broccoli cultivars grown in Spain. *Journal of Science of Food Agriculture*, 82:1293–1297.

Vallejo, F., Tomas-Barberan, F.A. & Garcia-Viguera, C. 2004. Characterization of flavonols in broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) by liquid chromatography-UV diode-array detection-electrospray ionization mass spectrometry. *Journal of Chromatography*, 1054:181–193.

Zhang, D. y Hamazu Y. 2004. Phenolics, ascorbic acid, carotenoids and antioxidant activity of broccoli and their changes during conventional and microwave cooking. *Food Chemistry*, 88(4), 503-509

