

**New contributions in the production and processing of Broccoli  
(*Brassica oleracea* L var. *italic* Plenck): a review**

**Nuevos aportes en la producción y procesamiento de Brócoli  
(*Brassica oleracea* L var. *itálica* Plenck): una revisión**



Cuesta, G.<sup>1,2\*</sup> y Fusari Gómez, C. M.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Estación Experimental Agropecuaria La Consulta – INTA. Mendoza, Argentina.

<sup>2</sup>Departamento de Agronomía, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de San Juan (UNSJ). San Juan, Argentina.

<sup>3</sup>Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo (UNCuyo), Mendoza, Argentina

\*Autor de correspondencia: [cuesta.graciela@inta.gob.ar](mailto:cuesta.graciela@inta.gob.ar)

Recibido: 25/06/2022

Aceptado: 28/09/2022

**ABSTRACT**

Cuesta, G. y Fusari Gómez, C. M. (2022). New contributions in the production and processing of Broccoli (*Brassica oleracea* L var. *italic* Plenck): a review. *Horticultura Argentina* 41 (106): 223 – 245. <http://id.caicyt.gov.ar/ark:/s18519342/3g9w3m0o4>

Broccoli, *Brassica oleracea* L. var. *italic* Plenck, belonging to the Brassica family, are known for their nutritional health benefits, as they contain bioactive compounds that could reduce cardiovascular, neurological or cancer risk. The demand has been growing in recent decades and is expected to continue in the coming years. Due to its growing popularity, considerable research is focused on different production topics. The main objective of this review is to update the information on broccoli related to the market, genetic improvement, crop management, postharvest and recycling of crop residues. Most of the articles focus on

two topics: the functional value of broccoli in human health and the sustainable approach in the production chain. In the first, pre- and post-harvest factors are evaluated to obtain the maximum of bioactive compounds, in the second, new post-harvest practices are developed to minimize losses and new alternatives are proposed for the recycling of harvest and processing residues. Genetic breeding is being used to incorporate pest and disease resistance genes, and more stable cultivars to use in organic management systems. Very few studies are focused on crop management and those are referred to the efficient water and soil use. It will be necessary to maximize efficiency in all links of the production chain in order to reduce the impact on climate change indicators.

**Keywords:** vegetable, glucosinolates, genetic breeding, organic management,

agroindustrial waste recycling, sustainability.

## RESUMEN

Cuesta, G. y Fusari Gómez, C. M. (2022). New contributions in the production and processing of Broccoli (*Brassica oleracea* L var. *italic* Plenck): a review. Horticultura Argentina 41 (106): 223 – 245. <http://id.caicyt.gov.ar/ark:/s18519342/3g9w3m0o4>

El brócoli, *Brassica oleracea* L. var. *itálica* Plenck, es una hortaliza de la familia Brassicaceae que se caracteriza por su riqueza en compuestos bioactivos que podrían reducir el riesgo de contraer enfermedades cardiovasculares, neurodegenerativas o algunos tipos de cáncer. Como consecuencia, su demanda ha crecido en las últimas décadas y se espera que el crecimiento continúe. Debido a su creciente popularidad muchos grupos de investigación se han focalizado en distintos aspectos de su producción. Por esto, el objetivo de esta revisión es actualizar conocimientos, con énfasis en el mercado, mejoramiento, prácticas de manejo, poscosecha y reutilización de residuos. La mayor parte de los trabajos publicados en los últimos años se centran en el valor funcional del brócoli sobre la

salud, y en lograr un enfoque sostenible de la cadena de producción. En el primer caso, se evalúan factores de pre y poscosecha que permiten mantener o aumentar el contenido de compuestos bioactivos en las cabezas frescas o procesadas; en el segundo, se desarrollan tecnologías para reducir pérdidas en poscosecha y se buscan alternativas para valorizar restos de cosecha y procesamiento. A través de mejoramiento genético se busca aumentar la oferta de cultivares resistentes a plagas y enfermedades así como también cultivares más estables en distintas condiciones, aptos para sistemas de manejo orgánico. Pocos estudios se enfocan en el manejo de cultivo, y los que hay se refieren al uso eficiente de agua y suelo. Será necesario maximizar la eficiencia en todos los eslabones de la cadena de producción a fin de reducir el impacto sobre indicadores de cambio climático.

**Palabras claves:** hortalizas, glucosinolatos, revalorización de residuos, mejoramiento genético, manejo orgánico, sostenibilidad.

## 1. Introducción

El brócoli, *Brassica oleracea* L. var. *itálica* Plenck, se originó por el cultivo y domesticación de la especie *Brassica oleracea* L. en la región del Mediterráneo. El término brócoli, deriva de la palabra italiana “broccolo” que hace referencia a la inflorescencia inmadura de cualquier miembro de la familia Brassicaceae (Das & Ghosh, 2021).

Su cultivo se remonta a la época de los etruscos, una antigua civilización italiana localizada en lo que hoy es la región de la Toscana, y conocida porque sus habitantes fueron grandes horticultores. En el siglo XVIII se introdujo en Inglaterra donde comenzó a ser llamado “el espárrago italiano” y en pocos años se convirtió en uno de sus alimentos preferidos. En las primeras décadas del siglo XX y como consecuencia de la inmigración italiana a Estados Unidos, el brócoli ingresó a América (Das & Ghosh, 2021) pero recién adquiere fama internacional después de la segunda guerra mundial, cuando entra al mercado el cultivar

“Walthman 29”, primer cultivar comercial de polinización abierta (Stansell & Björkman, 2020).

La popularidad de esta hortaliza se debe a los potenciales efectos beneficiosos sobre la salud. Posee alto contenido de glucosinolatos (GLS) y, en consecuencia, de isotiocianatos (ITC), ya que estos últimos son el producto bioactivo obtenido a partir de la hidrólisis de los GLS. Entre los GLS presentes en brócoli se destacan, por su concentración, la glucorafanina y la glucobrasicina y los ITC derivados el sulforafano y el indol-3-carbinol. Los ITC tienen actividad biológica benéfica disminuyendo o evitando el estrés oxidativo en células por lo que podrían reducir el riesgo de contraer distintos tipos de cáncer, enfermedades cardiovasculares o neurodegenerativas. Estos compuestos se producen en las plantas como un mecanismo de defensa contra insectos y patógenos ya que en altas concentraciones les producen un estrés metabólico que termina dañando su crecimiento (Lazzeriet al., 2013; Lv et al., 2022). El brócoli también contiene compuestos fenólicos como flavonoides, antocianos y ácidos hidroxycinámicos, cuya principal actividad biológica es su capacidad antioxidante (Cartea et al., 2011; López Chillón et al., 2018) (Figura 1).



**Figure 1:** Bioactive compounds in broccoli: glucosinolates (GLS) are stored in vacuoles in vegetable cells, after tissue damage by pest feeding or processing for consumption they are hydrolyzed by *B*-glucosidases, specially mirosinases, to ITC in toxic concentrations for herbivores and pathogens, but beneficial to human health. The most important phenolic compounds in broccoli are flavonoids, anthocyanes and hydroxycinnamic acid (Cartea et al., 2011; Lv et al., 2022).

**Figura 1:** Compuestos bioactivos en plantas de brócoli: los glucosinolatos (GLS) contenidos en las vacuolas se liberan cuando se rompen los tejidos a causa de daños por insectos o por el procesamiento para el consumo. Enzimas *B*-glucosidasas, especialmente mirosinasas, producen la hidrólisis de los GLS dando como resultado ITC a una concentración tóxica para herbívoros y patógenos pero con acción benéfica en la salud humana. Dentro de los compuestos fenólicos se destacan por su concentración en brócoli los flavonoides, antocianas y ácido hidroxycinámico (Cartea et al., 2011; Lv et al., 2022).

El valor nutricional del brócoli lo ha llevado a situarse entre los 20 mejores alimentos en la escala de ANDI (Aggregate Nutrient Density Index) que mide el contenido de vitaminas, minerales y fitonutrientes en relación con las calorías aportadas por los alimentos (AgMRC, 2021).

Debido a su creciente popularidad muchos grupos de investigación se han focalizado en distintos aspectos de la producción de brócoli. El objetivo de esta revisión es actualizar conocimientos relacionados con la producción de brócoli, con énfasis en el mercado, mejoramiento, prácticas de manejo, poscosecha y reutilización de residuos.

## 2. Metodología

En la elaboración y organización de este trabajo se ha buscado seguir el enfoque de cadena con énfasis en dos aspectos: aportar información relacionada al uso eficiente de los recursos en cada una de las etapas de producción, y bajo el concepto de economía circular, presentar distintas alternativas para la reutilización de residuos de cultivo e industria. La información ha sido seleccionada de capítulos de libros, publicaciones científicas en revistas nacionales y extranjeras, estudios de mercado y artículos periodísticos.

## 3. Importancia Económica

### 3.1. Producción y mercados:

A nivel mundial, los países con mayor producción son China (11 M de t), India (9,2 M de t) y Estados Unidos (1,2 M de t), quienes concentran el 78% de la producción. España y México en conjunto aportan un 5,6%, sin embargo concentran el 51% de las exportaciones. El rendimiento medio mundial es de 19 t.ha<sup>-1</sup> y se ha mantenido estable en los últimos años (Index Box Marketing, 2020).

Las estadísticas sobre producción mundial de hortalizas realizan sus análisis de mercado agrupando productos similares, en el caso del brócoli, las mediciones incluyen también a coliflor. El mercado internacional de coliflor y brócoli creció a una tasa del 4,6% entre 2013 y 2019 (Index Box Marketing, 2020) y se espera que continúe a una tasa del 4,2% entre 2022 y 2027 (Market Data Forecast, 2022).

En América, la reducción gradual de la superficie cultivada en Estados Unidos como consecuencia del alto costo de la mano de obra estimuló el crecimiento de México como productor y exportador. El bajo costo de la mano de obra y la cercanía a los mercados de consumo posicionaron a este último como el principal proveedor de brócoli de Estados Unidos (Rocha Ibarra & Cisneros Reyes, 2019) y Canadá (Plantatium International, 2016).

En Argentina, el brócoli no es una hortaliza de consumo tradicional, aunque su demanda tiene un crecimiento constante desde hace diez años. Las variables son muchas, pero los productores coinciden en que se trata de modas y que las recomendaciones por parte de *chefs* famosos argentinos es uno de los motivos que impulsa a las personas a elegir esta hortaliza (Internos, 2021). El mayor volumen que llega al Mercado Central de Buenos Aires proviene del cinturón verde de Buenos Aires (MCBA, 2018) donde representa una alternativa para la diversificación productiva, no obstante su rentabilidad está ligada a la posibilidad de obtener rendimientos mayores a las 15 t.ha<sup>-1</sup> debido al fuerte impacto de los costos fijos del cultivo (Durante *et al.*, 2020). El 60 % de la superficie cultivada con brócoli se encuentra en Buenos Aires, le siguen en importancia Santa Fe y Córdoba con un 15 % cada una (Aprea, 2008). En San Juan y en Mendoza (Figura 2) los cultivos de brócoli se destinan principalmente a la industria del congelado y se comercializan en el país o se exportan a Estados Unidos y Canadá. San Juan también realiza exportaciones de brócoli orgánico a la Unión Europea y el Reino Unido (Acosta, 2021; Alonso, 2022).



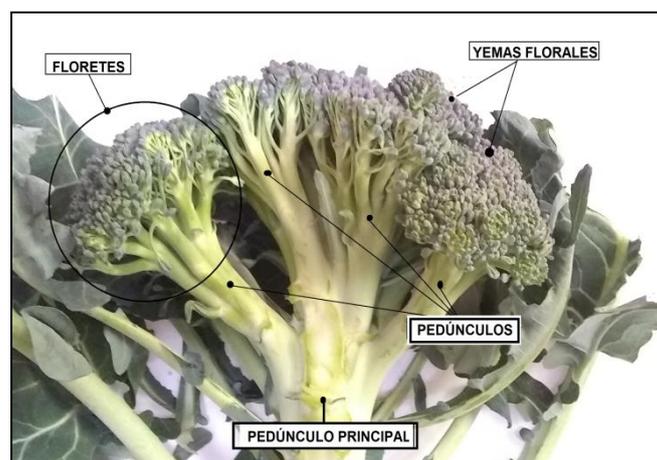
**Figure 2:** Broccoli crop for fresh market in Mendoza, Argentina.2022

**Figura 2:** Cultivo de brócoli con destino a mercado en fresco en Mendoza, Argentina. 2022.

### 3.2. Formas de comercialización:

El órgano de consumo o parte comestible es la inflorescencia junto con el raquis y las partes tiernas de la sección superior del tallo. La inflorescencia principal, “cabeza” o “pella”, se forma en el extremo de un tallo no ramificado y se compone de yemas florales diferenciadas pero todavía inmaduras sostenidas por un pedúnculo grueso y muy ramificado (Welbaun, 2015) (Figura 3).

El brócoli es un producto que se puede comercializar en fresco o procesado. Para venta en fresco se comercializan las “cabezas” enteras o cortadas (floretes), en algunos casos acondicionadas en bolsas de polietileno o cubiertas con film de polietileno (Welbaum, 2015).



**Figure 3:** Broccoli inflorescence showing the main stem, peduncles of different orders, flower buds and florets. "Florets" are sets of buds supported by the same peduncle. Mendoza, Argentina, 2022.

**Figura 3:** Inflorescencia de brócoli donde se puede ver el tallo principal, los pedúnculos de distinto orden, las yemas florales y los floretes. Los “floretes” son conjuntos de yemas sostenidos por un mismo pedúnculo. Mendoza, Argentina, 2022.

El creciente mercado de productos cuarta gama, donde el brócoli se presenta en floretes seleccionados o preparado en ensalada lista para consumir, ha permitido expandir el mercado aportando valor agregado al productor y conveniencia al consumidor (AgMRC, 2021). Otra forma de consumo con demanda creciente son los germinados de brócoli (Das & Ghosh, 2021), tal es así que este producto representa el 18% de las exportaciones desde México a Estados Unidos (Rocha Ibarra & Cisneros Reyes, 2019).

Cuando se destina a industria, lo más frecuente es el brócoli congelado, ya sea en floretes, o en trozos (AgMRC, 2021) y en menor proporción deshidratado para la elaboración de comidas listas para preparar (Welbaum, 2015).

### 3.3. Demanda, consumo *per cápita*:

La preferencia por esta hortaliza varía con el país de origen, la edad y el nivel socio cultural de los consumidores. La mayor demanda de brócoli se encuentra en los Países Bajos y en Inglaterra (Market Data Forecast, 2022), y entre ciertos grupos étnicos como los asiáticos (Thepacker, 2022) siendo uno de los principales componentes del “yan-tsai-shim”, comida tradicional de Taiwán elaborada con brócoli fermentado y de otros platos de Malasia quienes demandan en especial brócoli orgánico (Vázquez González, 2020; Market Data Forecast, 2022). En Estados Unidos, el mayor consumo se produce en personas mayores de 60 años aunque se ha observado un aumento del 12 % en jóvenes entre 18 a 29 años (Thepacker, 2022). Para la mayoría de los consumidores el color y la textura son atributos importantes en la decisión de compra, mientras que la ausencia de pesticidas lo es entre los compradores más jóvenes y con mayor nivel educativo. Los sectores con menor nivel educativo tienen pocas exigencias en cuanto al color, textura o ausencia de pesticidas en el producto (Morris, 1997). En Alemania, el 88% de los encuestados de un total de mil personas indicó que consume brócoli al menos una vez al mes y el 41 % lo hace semanalmente. Los compradores prefieren pellas turgentes y firmes con tallos delgados, la presencia de yemas amarillas o marrones es causa para rechazar el producto (Frieman *et al.*, 2022). En Argentina hay una demanda creciente en la población de altos ingresos (Acosta, 2021; Internos, 2021) que se atribuye a la mayor conciencia sobre la salud y a la mejora del nivel de vida de los consumidores (Al Dairiet *al.*, 2022). Además, la tendencia hacia el vegetarianismo y veganismo y la necesidad de reducir la ingesta de hidratos de carbono han contribuido a expandir el mercado (Market Data Forecast, 2022). Acompañando a la demanda, el precio de estos productos también muestra una tendencia creciente (Index Box Marketing, 2020).

En el año 2019, el mayor consumo *per cápita* se registró en China (7,45 kg), India (6,68 kg) y México (3,81 kg), en Estados Unidos el consumo de brócoli fresco aumentó de 0,6 a 3,23 kg por persona entre 1980 y 2017 mientras el brócoli congelado pasó de 0,68 a 1,18 kg por persona en el mismo periodo (AgMRC, 2021). En ese país, con una tasa de crecimiento anual de 3,6%, el brócoli es la 6° hortaliza más popular (Thepacker, 2022)

## 4. Panorama Varietal

### 4.1. Tipos varietales:

En la actualidad, se denominan brócolis de cabeza o “calabrés” a aquellos en que las ramificaciones del pedúnculo son cortas y forman una inflorescencia grande y compacta y, brócolis de rama (*sprouting broccoli*) a los que tienen varias ramificaciones largas y forman varias cabezas pequeñas y laxas. Las inflorescencias pueden ser de color verde oscuro o púrpura en los dos tipos de brócoli, aunque los compradores muestran marcada preferencia

por el color verde oscuro (Welbaum, 2015; Stansell & Björkman, 2020). Además del brócoli tradicional se puede encontrar en el mercado una hortaliza similar, pero con tallos más finos, cabezas pequeñas y sabor dulce, conocido como “Brocolino®” o “Bimi®” que corresponde al producto de un cruzamiento entre el brócoli convencional (*B. oleracea* grupo Itálica) y el brócoli chino o kailan (*Brassica oleracea* grupo Alboglabra) (Martínez Hernández *et al.*, 2013; Das & Ghosh, 2021). En cuanto a los cultivares comerciales, existe una amplia oferta en el mercado con diferencias en la forma y compacidad de la cabeza, longitud de las ramificaciones del pedúnculo, tamaño y color de los pimpollos florales y longitud del tallo (Welbaum, 2015), muchos se pueden utilizar tanto para consumo en fresco como para industria (AgMRC, 2021) y la mayoría de las variedades actuales son híbridos (Welbaum, 2015). En Argentina, si bien en el Registro Nacional de Cultivares (INASE), en mayo de 2022 había 68 cultivares inscriptos, las variedades más difundidas son pocas, entre ellas Batavia (Bejo) de ciclo muy corto (90 días) y pella verde intenso, Avenger (Sakata) y Legacy (Seminis), de ciclo corto y desarrollo otoño invernal, e Imperial (Sakata) de mayor calidad y con un ciclo de producción más largo y mayor demanda en primavera y verano (Bertola, 2020; Acosta, 2021; Internos, 2021).

#### 4.2. Tendencias en el mejoramiento:

En la actualidad los programas de mejoramiento están enfocados en la introducción de resistencia a diversas plagas y enfermedades, tolerancia a distintos tipos de estrés, adaptación a cultivo orgánico y mejora de características agronómicas y de calidad de la cabeza (Farnham & Björkman, 2011, Branca *et al.*, 2013; Branham *et al.*, 2017; Branham & Farnham, 2017; Stansell *et al.*, 2019; Akter *et al.*, 2021). La base genética de los cultivares comerciales actuales es reducida lo que limita su utilización como fuente de diversidad genética, estudios del pangenoma de *Brassica oleracea* L. indican que un 18,7% de los genes originales no están presentes en los cultivares comerciales actuales, y muchos de estos genes tienen funciones relacionadas con características de interés agronómico como resistencia a enfermedades, tiempo de floración o contenido de glucosinolatos (Goliczet *et al.*, 2016).

Por ello se ha recurrido a razas o poblaciones locales de brócoli que todavía se cultivan en el sur de Italia, así como también a otras subespecies de *Brassica oleracea* L. u otras especies del género *Brassica* (Han *et al.*, 2021). Las poblaciones o razas locales de Sicilia mantienen gran variabilidad, en especial en características de las cabezas como peso fresco, tamaño, color y ángulo de curvatura (Branca *et al.*, 2013), y contenido de compuestos con capacidad antioxidante (Nicoletto *et al.*, 2016) y *Brassica macrocarpa* Guss, especie no cultivada, posee una gran cantidad de genes únicos relacionados con distintos tipos de estrés como, por ejemplo, los causados por salinidad o sequía (Goliczet *et al.*, 2016).

*Brassica carinata* L. “mostaza etíope” y *Brassica oleracea* var capitata “repollo” contienen genes de resistencia a *Xanthomonas campestris*, “podredumbre negra de las coles”, (Dakouriet *et al.*, 2021; Han *et al.*, 2021) mientras que *Brassica rapa* L. var rapa, “nabo” contiene genes de resistencia a *Fusarium* (Akteret *et al.*, 2021). El nabo y la rutabaga (*Brassica napus* var. *napobrassica* (L.) Rchb.) contienen genes de resistencia a distintas razas del hongo *Plasmiodiophora brassicae*, “hernia de las coles”, algunos de los cuales ya han sido introducidos en cultivares comerciales. No se han encontrado genes de resistencia a plagas, que puedan ser introducidas en brócoli por mejoramiento tradicional, no obstante, se ha logrado introducir el gen *cryIAa* a través de transformación de plantas. Este gen codifica para los cristales proteicos con acción insecticida de *Bacillus thuringiensis* y es efectivo contra la palomilla dorso de diamante (*Plutellaxylostella*) (Kumaret *et al.*, 2018).

El gen Myb28 introducido a partir de *Brássica villosa* Biv. es responsable del alto contenido de glucorafanina en híbridos que se comercializan bajo la marca Beneforté®. Los cultivares

portadores del gen *Myb28* de *B. villosa* tienen mayor eficiencia en la absorción de sulfatos del suelo y en la síntesis de este glucosinolato en particular, en consecuencia acumulan entre 2,5 a 3 veces más glucorafanina que los cultivares normales (Traka *et al.*, 2013). El contenido de glucosinolatos totales no asegura una alta concentración de isotiocianatos, Jo *et al.*, (2022) evaluaron los productos de hidrólisis de 3 cultivares comerciales y 11 líneas de programas de mejoramiento con alto contenido de GSL y encontraron que no en todas las líneas existe correlación entre estos y los ITC, probablemente porque en algunas líneas hay una mayor tasa de formación de nitrilos, producto sin valor como bioactivo, en consecuencia sugieren seleccionar no solo por el contenido de GLS sino también de ITC.

La mayoría de los programas de mejoramiento de brócoli están utilizando selección asistida por marcadores moleculares (MAS), técnica que facilita notablemente la introducción de caracteres de interés hortícola acortando los ciclos de selección (Akter *et al.*, 2021; Han *et al.*, 2021).

Con el objetivo de extender las zonas de producción se están desarrollando en la actualidad cultivares tolerantes a altas temperaturas. El brócoli requiere temperaturas menores a 23 °C para producir una pella de calidad; con temperaturas más altas se produce un desarrollo incompleto de la cabeza, con yemas de tamaño irregular, presencia de hojas y superficie áspera y en casos extremos la planta permanece en estado vegetativo. Se ha encontrado mayor tolerancia a altas temperaturas en algunos híbridos comerciales y en poblaciones doble haploides de brócoli (Farnham & Bjorkman, 2011; Branham & Farnham, 2017) y se han desarrollado marcadores de tipo QTL (marcadores para caracteres de tipo cuantitativo) para facilitar la selección, no obstante, el avance en la introducción de este carácter es limitado (Branham & Farnham, 2017; Farnham, 2019).

La tendencia actual en el mercado respecto al tipo de cultivares es hacia una mayor comercialización de materiales híbridos (Welbaum, 2015). La obtención tradicional de parentales para la producción de híbridos es un proceso lento que requiere varios ciclos de selección y autofecundación, la haploidización de los mejores genotipos a través del cultivo de anteras o microsporas y la duplicación posterior de manera espontánea o inducida permite reducir el tiempo de obtención de los parentales a pocos años. Los doble haploides (DH) obtenidos son totalmente homocigotas y generan híbridos con alto nivel de heterosis que se expresa a través de una mayor uniformidad en el cultivo (Alan *et al.*, 2021). Los híbridos que se comercializan actualmente se obtiene a través de mecanismos de androesterilidad citoplasmática ya que este mecanismo asegura aborto completo de las gametas masculinas, herencia materna y fácil introducción entre líneas (Han *et al.*, 2021).

La mayor demanda de brócoli orgánico promueve el desarrollo de cultivares con características específicas como, por ejemplo, un rendimiento estable bajo diferentes condiciones agroclimáticas, resistencia a factores bióticos y abióticos y habilidad de competir con las malezas a fin de reducir el uso de agroquímicos (Torricelli *et al.*, 2014). Es poco probable que estas características se encuentren en un híbrido, por el contrario, se requiere un cultivar con una estructura genética más amplia (Renaud *et al.*, 2014). Los métodos de mejoramiento utilizados se basan en la generación de variedades sintéticas obtenidas por mezcla de semilla de diversas poblaciones locales sometidas a selección natural y dirigida, en diferentes ambientes, con esto se logra obtener variedades con características propias pero que conservan la diversidad genética original. (Ciancaleoni & Negri, 2020). La selección en un sistema de manejo orgánico tiene ventajas ya que al no utilizar fertilizantes de síntesis química y pesticidas permite la expresión de caracteres como mayor eficiencia en el uso de nitrógeno, resistencia a plagas y enfermedades y mayor vigor en las plantas (Renaud *et al.*, 2014).

## 5. Factores relacionados con el rendimiento y la calidad

### 5.1. Factores climáticos:

El brócoli es un cultivo de estación fría que posee ciertos requerimientos climáticos para producir una pella de calidad comercial, (Monge Bailón *et al.*, 2015; Das & Ghosh, 2021). El ciclo del cultivo para producción de la pella tiene dos fases bien diferenciadas, en la primera solo hay formación de hojas, y en la segunda que se produce luego de la inducción a floración se detiene la formación de hojas y comienza el desarrollo de la pella. La inducción se produce por acumulación de horas de frío en un proceso llamado vernalización (Wien & Wurr, 1997). Las temperaturas óptimas están entre 20 a 25°C para la fase de crecimiento vegetativo y entre 12 a 18°C para la fase de formación de la pella (Castagnino, 2008). El umbral de temperatura vernalizante en brócoli es mayor que en otras brásicas y depende del cultivar, “Medium late 145” requiere temperaturas menores a 10 °C, “Walthman 29” se mantiene en estado vegetativo a temperaturas de 24/27 °C día/noche mientras que “Coastal” puede formar cabezas aun estando a temperatura constante de 27 °C (Wien & Wurr, 1997; Maroto, 2017). En la mayoría de los cultivares la inducción a floración no se produce cuando la temperatura media supera los 27 °C o las temperaturas día/noche superan los 30/25 °C respectivamente (Lin *et al.*, 2019).

Las condiciones ambientales y por tanto, las fechas de plantación, influyen sobre las características de la pella y sobre la duración del ciclo de cultivo (Monge Bailón *et al.*, 2015). La producción de cabezas de calidad se logra en regiones con temperatura media por debajo de 23°C, temperaturas mayores durante la formación de la pella pueden provocar una apertura prematura de las yemas perdiendo calidad comercial (Castagnino, 2008). Por el contrario, las bajas temperaturas no tienen impacto sobre la calidad visual del brócoli y solo producen un retardo en el crecimiento (Plantatum International, 2016). Para una misma variedad, cuando el cultivo se realiza en ciclos primaverales o de principios de otoño, en los que el desarrollo de las plantas no se ve limitado por la temperatura e iluminación, el tamaño de la inflorescencia suele ser mayor que en los ciclos invernales donde las plantas tienen menor desarrollo antes de comenzar la floración (Maroto, 2017). Fluctuaciones en la temperatura y baja humedad pueden provocar falta de compacidad o “cabezas laxas”, el mismo defecto se produce por un crecimiento vegetativo excesivo a consecuencia de una alta fertilización con nitrógeno (Johnson, 2021). Las altas temperaturas en el inicio de la formación de la cabeza pueden provocar anomalías y muerte de yemas en algunos sectores de los floretes, lo que se manifiesta a través de manchas marrones en las pellas maduras (Johnson, 2021). Las temperaturas que ocurren durante el crecimiento de la pella también afectan el contenido de compuestos saludables, Steindal *et al.*, (2013) encontraron que a temperaturas de 21/15°C (día/noche) y fotoperiodos de 12 horas las pellas tenían mayor contenido de glucosinolatos alifáticos, quercetinas y kaempferol que a 15/9°C, aunque el contenido de vitamina C en estas condiciones fue menor.

### 5.2. Factores agronómicos:

En brócoli se observa una marcada respuesta a la densidad de plantación que difiere con el cultivar. Para una misma variedad y ciclo de cultivo el peso de la inflorescencia es mayor cuanto más amplio es el marco de plantación (Wien & Wurr, 1997; Maroto, 2017), aunque en estas condiciones también aumenta el riesgo de producir cabezas con tallo hueco (Wien & Wurr, 1997; Johnson, 2021). Las densidades de plantación más utilizadas consideran 6 a 8 pl.m<sup>2</sup> aunque existen cultivares que pueden colocarse a 10 pl.m<sup>2</sup> sin afectar el tamaño de la pella (Wien & Wurr, 1997).

Si bien el cultivo se puede iniciar por siembra directa o trasplante a raíz desnuda, en la actualidad está generalizado el uso de plantines con pan de tierra o cepellón. El volumen de la celda para la producción de plantines afecta la longitud de la raíz y el rendimiento final del cultivo, Gherbin *et al.*, (2013) obtuvieron plantines con raíces de 2,19 cm.cm<sup>3</sup> de sustrato y rendimientos de 12 t.ha<sup>-1</sup> en celdas de 90 cm<sup>3</sup> mientras que estos valores se redujeron a 1,81 cm.cm<sup>3</sup> y 7 t.ha<sup>-1</sup> en celdas de 12 cm<sup>3</sup>. El efecto positivo del tamaño del plantín es mayor en trasplantes tardíos de otoño (Vavrina, 1998), aunque no en todos los cultivares (Kaymak *et al.*, 2009) y siempre que no se supere el periodo juvenil en vivero ya que en este caso hay mayor riesgo de inducir una floración temprana obteniéndose una pella que no llega a alcanzar tamaño comercial (Johnson, 2021). La utilización de envases biodegradables facilita las labores de trasplante sin producir efectos negativos en el rendimiento final (Gherbin *et al.*, 2013).

Condiciones de estrés producido por baja disponibilidad de agua, nitrógeno o micronutrientes inducen una floración prematura siendo los cultivares tempranos más susceptibles (Johnson, 2021).

La fertilización y el riego son factores que pueden limitar el rendimiento y afectar la calidad de las hortalizas cuando no se optimiza su aplicación en cantidades, dosis, fuentes y épocas adecuadas, en función del desarrollo del cultivo. El cultivo de brócoli es altamente demandante en fertilización para alcanzar su potencial productivo, no obstante, los requerimientos varían entre cultivares y entre zonas de cultivo por lo que se hace necesaria una estimación local (Horticultivos, 2010). La fertilización nitrogenada aumenta el número de hojas y la altura de las plantas, aunque este aumento puede o no impactar en el rendimiento del cultivo (Hussain *et al.*, 2012; Bhattarai *et al.*, 2022; Berrios & Pérez Pastor, 2022) ya que dosis crecientes de nitrógeno también provocan un aumento en la incidencia de tallo hueco, desorden fisiológico que afecta la firmeza y vida poscosecha de las cabezas (Hussain *et al.*, 2012).

Bajo el concepto de sustentabilidad es necesario adoptar un manejo integrado de la nutrición vegetal utilizando, además de los fertilizantes químicos, subproductos de otras industrias como por ejemplo distintos tipos de composta, biofertilizantes, abonos verdes y otros productos orgánicos. El brócoli es un cultivo eficiente en recuperar nitrógeno del suelo, y su capacidad de absorción aumenta en presencia de fuentes orgánicas de este elemento disponibles en el suelo (Torres Nava *et al.*, 2017; Sullivan *et al.*, 2021). Esta mayor eficiencia en el aprovechamiento de nutrientes también se observó en fertilizaciones con fósforo, potasio, azufre y molibdeno en aplicaciones combinadas con composta (Mahmud *et al.*, 2007). De acuerdo con Singh *et al.*, (2021) los compuestos orgánicos deben ser utilizados como complementos necesarios pero no como sustitutos ya que su aporte, combinado con fertilizantes químicos permite aumentar los rendimientos respecto al aporte de los productos por separado.

Los cultivos bajo un sistema de manejo orgánico producen brócolis de mayor peso (entre 218,3 a 431,6 g según cultivar) que en sistemas de manejo convencional (110,7 a 369,1 g según cultivar), y esto se debe a que el manejo orgánico con buenas prácticas durante un tiempo prolongado mejora los niveles de materia orgánica aumentando el contenido de partículas que mejoran la estructura del suelo; en consecuencia, aumenta la fertilidad y la retención de agua (Renaud *et al.*, 2014).

El riego del cultivo puede ser superficial (por surcos) o presurizado (Figura 4), el fertirriego tiene la ventaja de mejorar la eficiencia en el uso de los nutrientes ya que éstos van dirigidos directamente a la zona radical, y además, se puede controlar la concentración en la solución del suelo y dosificar en función de la demanda de la planta (Horticultivos, 2010). La incorporación de sensores para control del riego y la optimización del coeficiente de

extracción de nitrógeno, permitieron ahorrar entre 20 y 52 % de agua y de fertilizantes nitrogenados (Berrios & Pérez Pastor, 2022; Patra *et al.*, 2022).



**Figure 4:** Brócoli irrigation systems: surface irrigation in a fresh market crop at the left and drip irrigation in a frozen market crop at the right. Pocito, Provincia de San Juan, Argentina. 2021.

**Figura 4:** Sistemas de riego en brócoli: riego superficial en un cultivo para consumo en fresco a la izquierda y riego presurizado (goteo) en un cultivo con destino a la industria del congelado a la derecha. Pocito, Provincia de San Juan, Argentina. 2021.

El consumo de agua de un cultivo de brócoli varía en función de las distintas etapas fenológicas, De Chaves (2016), logró diferenciar tres periodos, el primero con un coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) medio de 0,4, y relativamente constante; entre los 30 y 40 días desde trasplante y coincidiendo con la formación de la cabeza el valor de  $K_c$  aumentó y desde los 40 días hasta cosecha se estabilizó en 1,35. La frecuencia de riego en brócoli, tiene mayor efecto sobre el rendimiento que la lámina aplicada, cuando la lámina se reduce de 100% a 60% de la evapotranspiración del cultivo ( $ET_c$ ), el rendimiento no disminuye significativamente (Kumari *et al.*, 2018) y a partir de floración esta reducción puede aumentar el contenido de metabolitos secundarios (ácido ascórbico y catequinas) mejorando las propiedades nutraceuticas del producto sin afectar la turgencia y color de las pellas (Krizaj *et al.*, 2021). La utilización de mulch tanto de polietileno como orgánico mejoran el aprovechamiento del agua de riego respecto al suelo descubierto (Patra *et al.*, 2022) aunque el mulch orgánico es menos eficiente que el polietileno (Bhandari & Bhandari, 2021).

## 6. Tendencias en la conservación poscosecha y aplicaciones alimentarias

La vida poscosecha del brócoli es relativamente corta, 7 a 10 días, el deterioro se manifiesta a través de cambios en la consistencia y color de la pella y en la pérdida de valor nutricional ya que los GSL totales (alifáticos e indólicos) disminuyen al 50 % después de 3 días en almacenaje, y más del 70 % después de los 5 días (Huiying Miao *et al.*, 2020). Debido a su alta tasa respiratoria y a fin de conservar la calidad visual, el color y el valor nutritivo, el brócoli debe ser enfriado a 0°C inmediatamente después de la cosecha, para ello se puede utilizar hielo molido, aire frío u otros métodos de preenfriado (Welbaum, 2015). A fin de preservar el máximo contenido de flavonoides y glucosinolatos se aconseja continuar con temperaturas de 0°C durante el almacenaje y transporte (Welbaum, 2015; Rybarczyk Plonska *et al.*, 2016 a y b) y mantener el producto en oscuridad ya que la acción de genes relacionados

con la degradación de los GSL en poscosecha está fuertemente ligada a la presencia de luz (Casajús *et al.*, 2020).

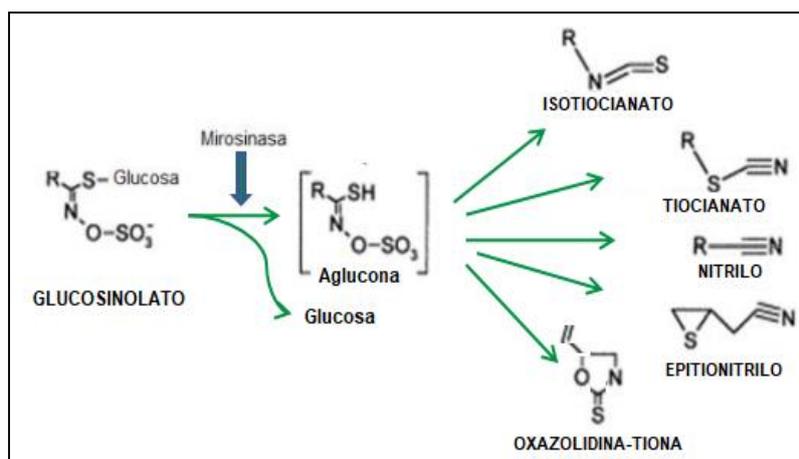
Si el destino es brócoli mínimamente procesado solo se puede realizar una desinfección con compuestos orgánicos como el ácido peroxiacético, o antimicrobianos naturales como las bacteriocinas (proteínas con efecto antagónico hacia microorganismos sintetizadas por bacterias ácido lácticas) y recientemente, mediante el empleo de tecnologías emergentes como la UV-C o utilización de ozono (Vázquez González *et al.*, 2020).

El sistema de distribución debe ser seguro y centrado en la calidad del producto, hoy en día la entrega de productos frescos, de calidad, y seguros para los consumidores se ha convertido en un tema prioritario en la cadena de suministro de alimentos (Ertan *et al.*, 2019). El transporte es uno de los eslabones esenciales en este sistema, ya que las lesiones mecánicas que podría sufrir el producto son responsables de inducir cambios fisiológicos y morfológicos adversos (Mahanti *et al.*, 2022) tal como lo demostró el trabajo de Xu *et al.*, (2020) a través de un estrés vibracional simulando el que se produce durante el transporte.

Productos como la melatonina o los metiljasmonatos, aplicados en brócolis estimulan la síntesis de GLS, en especial de glucorafanina, uno de los más potentes glucosinolatos con poder anticancerígeno (Huiying Miao *et al.*, 2020). Además, permiten reducir el amarillamiento, probablemente por que estimulan la actividad de enzimas antioxidantes (catalasa, peroxidasa y superóxidodismutasa) y reducen la expresión de los genes BoCLH1 y BoCLH3, quienes codifican la síntesis de clorofilasa (Xu *et al.*, 2020). El mismo efecto se puede lograr utilizando vapor de etileno durante 6 horas (Xu *et al.*, 2012). La aplicación de metiljasmonatos afecta el sabor del brócoli crudo pero no se percibe la diferencia cuando se consume hervido (Chiu *et al.*, 2019).

Como alternativa al uso de productos químicos se puede prolongar la vida poscosecha utilizando distintos tipos de radiaciones, la irradiación con haz de electrones a 3 kGy mantiene la calidad del producto fresco hasta 14 días sin afectar el color, pH, peso o aroma (Gomes *et al.*, 2008). Bajas dosis e intensidad de luz UV-B y UV-C (entre 1,5 a 10 kJ·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>) retardan la degradación de la clorofila y evitan la reducción en el contenido de azúcares y proteínas manteniendo el producto con valor comercial por más de 12 días, además su utilización puede ser un complemento útil en las cámaras de frío para brócoli fresco (Darréet *et al.*, 2017; Khalili *et al.*, 2017). A nivel minorista, la vida en estante y la calidad visual y nutritiva de brócoli puede extenderse conservando los productos bajo luz verde LED o luz fluorescente, en estas condiciones se reduce la degradación de la clorofila, retardando el amarillamiento de las yemas. Los LED verdes tienen la ventaja de aumentar el contenido de GLS aunque no afectan el contenido de sulforafanos (Jin *et al.*, 2015). La temperatura durante la venta minorista debe estar entre 10 a 18°C (Rybarczyk Plonska *et al.*, 2016 a y b).

Si el producto se destina a congelado, primero se somete a la acción de altas temperaturas durante pocos segundos y posteriormente se lleva a los túneles de congelado, lo que puede afectar el valor nutritivo en distintos grados. El tratamiento térmico tiene como objetivo reducir la carga bacteriana e inactivar enzimas como las peroxidasas (POD), polifenol oxidasas (PPO) y pectínmetilesterasas (PME) que catalizan reacciones indeseables (Deng *et al.*, 2015). La tasa de degradación de los GLS durante el procesamiento térmico se incrementa con el aumento de la temperatura entre 13 a 82%, siendo mayor en los tejidos con mayor contenido de agua (Olivero *et al.*, 2011) y obteniéndose, como resultado de la degradación isotiocianatos, tiocianatos o nitrilos, epitonitrilos y oxazolidinas (Ríos Fuentes *et al.*, 2022) en concentraciones variables que dependen del GLS de origen, del cultivar, del pH y la presencia de iones Fe<sup>+2</sup> (Rodríguez Hernández, 2013) (Figura 5).



**Figure 5:** Glucosinolates hydrolysis mediated by myrosinase: the first product, the aglycone, is rapidly transformed into isothiocyanates (ITC), thiocyanates, oxazolidine-thiones, epithionitriles or nitriles. The side group R shows the glucosinolate or isothiocyanate type respectively. (Rodríguez Hernández, 2013).

**Figura 5:** Hidrólisis de un glucosinolato mediada por la enzima mirosinasa: el primer producto es una aglucona inestable que se transforma en isotiocianato, tiocianato, nitrilos, epitionitrilos u oxazolidina-tiona. El grupo lateral R indica el tipo de glucosinolatoisotiocianato respectivamente (Rodríguez Hernández, 2013).

A diferencia de lo que sucede en el tratamiento térmico, durante el proceso de congelado aumentó el contenido extraíble de GLS y de carotenoides totales entre 60 a 300 % respecto al brócoli fresco en siete cultivares sugiriendo que luego del congelado los compuestos bioactivos se encuentran más disponibles que en el producto fresco (Alanís Garza *et al.*, 2015) El brócoli tiene diversas aplicaciones en la industria alimentaria, entre las tendencias se encuentra su uso para la formulación de microcápsulas, las que podrían aumentar la estabilidad y retención de nutrientes lábiles como el sulforafano (SF) (Rosenberg *et al.*, 2018). Ésta también es una estrategia adecuada para transformar los agentes saborizantes de alimentos líquidos en polvos, más estables y de fácil manipulación, que se podrían incorporar en la formulación de alimentos secos. Wu *et al.*, (2014) lograron la exitosa incorporación del SF en cápsulas de maltodextrina utilizando el método de secado por aspersión, obteniendo alta eficiencia durante el proceso de encapsulación, alto rendimiento en la producción y adecuada estabilidad. Recientemente, Wang *et al.*, (2020) nanoencapsularon SF con mijo y prolamina de maíz, encontrando que la vida media de este compuesto se incrementó a más de 6 h, en contraste con la vida media del SF libre que es solo de 3 h a 60 °C. Por lo tanto, transformar este compuesto aceitoso en un polvo seco mediante encapsulación puede mejorar la estabilidad y valor económico de los compuestos bioactivos del brócoli (Li *et al.*, 2022). La posibilidad de encapsular los compuestos bioactivos como los glucosinolatos o el sulforafano abre un mercado importante en las industrias alimentarias, farmacéuticas y cosméticas donde ya es utilizado como aditivo antimicrobiano, nutritivo o antioxidante.

El brócoli también es una buena fuente de proteínas vegetales que consiste en 32% de albúmina, 30% de prolamina, 23% de glutelina y 16 % de globulina. Las proteínas de la hoja tienen alta susceptibilidad a la pepsina y a las enzimas pancreáticas (Sedlar *et al.*, 2021) lo que significa que son fácilmente digeribles y pueden usarse para sustituir otras con mayor dificultad en la digestión para la formulación de productos alimenticios. Cai *et al.*, (2019) por otra parte demostraron que la fermentación a 30 °C de purés de brócoli durante cuatro días

con bacterias del ácido láctico (*Leuconostoc mesenteroides* y *Lactobacillus plantarum*) duplicaron el contenido de sulforafano (de 845 a 1617  $\mu\text{mol/kg}$  PS), lo que demuestra también el gran potencial de procesado de este alimento.

## 7. Valorización de los restos de cosecha y procesamiento

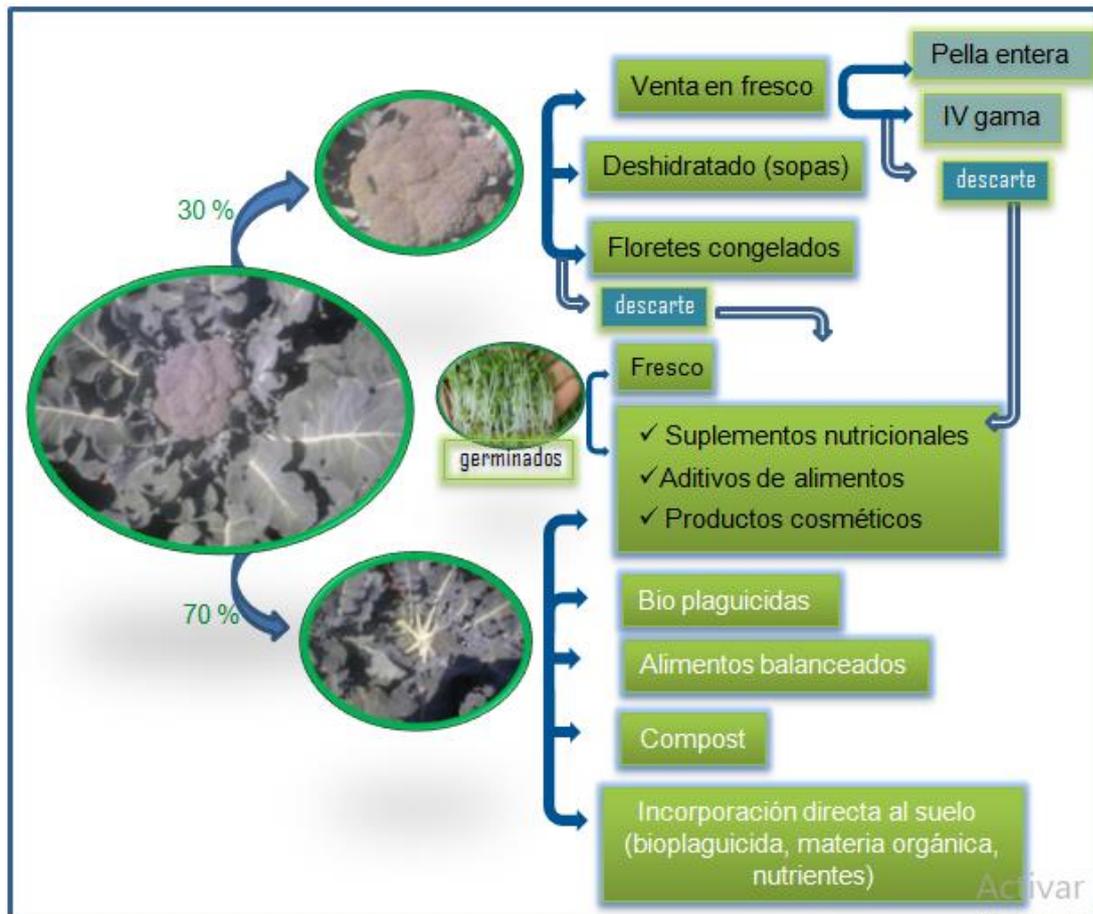
Luego de la cosecha, más del 70% de la masa vegetal del cultivo queda en el campo (Bompadre & Vergagni Saralegui, 2018) y, si el brócoli se destina a procesamiento, se suman grandes cantidades de residuos compuestos por tallos, hojas y restos de floretes que, en el caso de congelados, pueden llegar a 45% del producto comercial a cosecha. (Esparza *et al.*, 2020). Mediciones realizadas en México, de acuerdo con el protocolo de gases de efecto invernadero (protocolo GHG), indican que 1 t de pellas en la puerta de la finca produce un equivalente a 48 kg de  $\text{CO}_2$ , este valor aumenta en un 91% cuando se trata de 1 t de brócoli congelado (Ríos Fuentes *et al.*, 2022). El balance definitivo del carbono de cada cultivo o, lo que es lo mismo, la huella de carbono queda definitivamente supeditada al modelo de agricultura que se realiza y al destino final de todos los componentes de la producción (Hortofrutícola, 2020). Las emisiones de  $\text{CO}_2$  en cultivos de brócoli en diferentes partes del mundo varían entre 300 y 800 kg de  $\text{CO}_2$  por tonelada de producto y se deben principalmente a las emisiones de los fertilizantes y de los restos de cultivo (Frohmann & Olmos, 2013).

Si bien tradicionalmente el cultivo de brócoli se realiza para la obtención y comercialización de la pella, gran parte de las investigaciones actuales se enfocan en el agregado de valor de los restos vegetales que quedan en el campo o el descarte producido por la industrialización de las pellas (Figura 6) (López Chillón *et al.*, 2018; Vázquez González *et al.*; 2020). El uso de compuestos naturales con alta actividad biológica para el control de plagas y enfermedades tiene ventajas sobre los de síntesis química ya que, al ser recursos renovables y biodegradables, reducen las emisiones de gases de efecto invernadero comparados con los pesticidas convencionales. En este contexto se ha prestado atención al sistema defensivo glucosinolato (GL) - mirosinasa (MYR) presente en las brásicas (Lazzeri *et al.*, 2013; Lv *et al.*; 2022) ya que se ha demostrado que solo con una temporada de incorporación de restos de cosecha se logró reducir la población de nemátodos en suelo (Bompadre & Vergagni Saralegui, 2018), no obstante su incorporación durante varios años, permitió la acumulación de isotiocianatos, producto de degradación de GLS y uno de los principales responsables del efecto biofumigante (Lazzeri *et al.*, 2013). La utilización de brócoli, además de su acción biofumigante, aporta fertilizantes al suelo ya que al momento de la cosecha las plantas llegan a tener entre 200 a 260  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de nitrógeno, de los cuáles dos terceras partes quedan en el campo (Sullivan *et al.*, 2021).

Otra forma de utilización es mediante la producción de compost o alimento balanceado para animales (Esparza *et al.*, 2020). Por cada tonelada de brócoli congelado, 0,61 t de restos podrían ser revalorizados a través de la sustitución de forrajes, con esta alternativa se podría reemplazar 0,115 t de alfalfa o 0,163 t de trigo lo que representa una reducción en los valores de gases de efecto invernadero (GEI) de 176 y 126 kg de  $\text{CO}_2$  respectivamente por tonelada de brócoli congelado (Ríos Fuentes *et al.*, 2022).

De acuerdo a Esparza *et al.*, (2020) también se puede agregar valor a los residuos utilizándolos para la extracción de compuestos bioactivos que tienen como destino las industrias farmacéuticas, alimenticias y de cuidado de la salud (Figura 6). El contenido de bioactivos es variable dependiendo de los cultivares o parte de la planta de donde se extraen. Se ha demostrado que el contenido de GLS puede variar entre 0,2 y 2% del peso total de los residuos, la glucorafanina, en particular, puede variar entre 32 a 64% (Thomas *et al.*, 2018) y

los flavonoides entre 2,5 veces en hojas y 3,5 veces en floretes de distintos cultivares (Aires, 2015, Duan *et al.*, 2021). Las raíces, semillas y brotes de brócoli son los órganos con mayor contenido de compuestos bioactivos y pueden utilizarse para la extracción y desarrollo de productos ricos en glucosinolatos (Li *et al.*, 2022).



**Figure 6:** Different products that can be obtained from a broccoli crop or broccoli sprouts. 2022.

**Figura 6:** Productos que pueden obtenerse a partir de un cultivo de brócoli o de germinados de brócoli. 2022.

## 8. Conclusión

Los datos expuestos en esta revisión indican que la demanda de brócoli a nivel mundial ha mostrado una tendencia creciente que continuará en la próxima década. El valor funcional, como protector del sistema cardiovascular, neurológico y contra ciertos tipos de cáncer de esta hortaliza es la principal razón del aumento en el consumo. En consecuencia, un gran número de trabajos de investigación se centra en los factores de pre y poscosecha que mantienen o aumentan la concentración de compuestos bioactivos en el brócoli tanto en fresco como procesado.

Por otra parte, y como respuesta a la alerta sobre la población mundial, ejercida por los indicadores de cambio climático, los estudios se enfocan en lograr una mayor eficiencia en la cadena de producción del brócoli. Se proponen tecnologías innovadoras para mejorar la vida

poscosecha del producto en los distintos niveles de la cadena de distribución y venta, y se aportan distintas opciones para la valorización de los residuos de cosecha y procesamiento. Entre estas últimas, se destacan el uso como biofumigante de suelos, bioplaguicida, materia prima para la elaboración de alimentos balanceados y para la extracción de compuestos bioactivos, base para industrias alimenticias, farmacológicas y cosméticas.

Desde el mejoramiento genético se busca aumentar la oferta de cultivares con resistencia genética a plagas y enfermedades y adaptación a distintos ambientes, lo que también contribuye a la sostenibilidad del cultivo ya que se reduce el uso de agroquímicos y fertilizantes en la etapa de producción.

Los pocos estudios referidos a tecnología de manejo de cultivo tienen como objetivo optimizar el uso de recursos naturales, en especial agua y suelo, proponiendo prácticas de riego y fertilización más eficientes, entre las que se puede mencionar la incorporación de fertirriego y el uso combinado de fertilizantes químicos con abonos orgánicos para un mejor aprovechamiento de los nutrientes.

Como comentario final es importante destacar que en la actualidad los productores hortícolas se ven frente a la necesidad de un cambio, donde la sostenibilidad es ahora más importante que el rendimiento final del cultivo. En este contexto se verán obligados a revisar los distintos factores de producción para lograr un uso más eficiente de todos los recursos; la aplicación de protocolos de Buenas Prácticas Agrícolas resultan decisivas para lograr un adecuado balance pero no son la única herramienta a tener en cuenta, conceptos como “huella de carbono” o “huella de agua” deberán ser incorporados y analizados en cada etapa de la cadena de producción.

## 9. Conflicto de intereses

Los autores declaran que este trabajo no presenta conflicto de intereses.

## 10. Bibliografía

- Acosta, A. (2021). Brócoli, hortaliza saludable, congelada y orgánica, a EEUU. Suplemento Verde, Diario de Cuyo.29/05/2021. <https://www.diariodecuyo.com.ar/suplementos/Brocoli-hortaliza-saludable-congelada-y-organica-a-EEUU-20210528-0089.html>. Consulta: 15/05/22.
- AgMRC (2021). Brócoli. Agricultural Market Resource Center. USDA <https://www.agmrc.org/commodities-products/vegetables/broccoli>. Consulta: 10/05/2022.
- Aires, A. (2015). *Brassica* Composition and Food Processing. In: Chapter 3, Processing and Impact on Active Components in Food. Ed: Victor Preedy, Academic Press, Pages 17-25.
- Akter, M. A.; Mehraj, H.; Itabashi, T.; Shindo, T.; Osaka, M.; Akter, A.; Miyaji, N.; Chiba, N.; Miyazaki, J.;&R. Fujimoto (2021). Breeding for Disease Resistance in Brassica Vegetables Using DNA Marker Selection. In: Brassica Breeding and Biotechnology. Intech Open. Eds:A. K. M. A. Islam, M. A. Hossain, & A. K. M. M. Islam.
- Alan, A.R.; Celebi-Toprak, F.; Lachin, A.; Yildiz, D.; Gozen, V.&G. Besirli (2021). Doubled Haploid Broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) Plants from Anther Culture. Methods Mol Biol. 2288:201-216.

- Alanís Garza, P. A.; Becerra-Moreno, A.; Mora-Nieves, J. L.; Mora-Mora, J. P. & D. A. Jacobo-Velázquez (2015). Effect of industrial freezing on the stability of chemopreventive compounds in broccoli. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* 66:3, 282-288
- Al-Dairi, M.; Pathare, P.; Al-Yahyai, R. y U. Linus Opara. (2022) Mechanical damage of fresh produce in postharvest transportation: Current status and future prospect. *Trends in Food Science and Technology* 124 (1).
- Alonso, A (2022). La producción orgánica de San Juan llega a los Estados Unidos, Europa y Canadá. Comercio Internacional. Diario de Cuyo. 14/05/2022.  
<https://www.diariodecuyo.com.ar/suplementos/La-produccion-organica-de-San-Juan-llega-a-los-EEUU-Europa-y-Canada-20220513-0119.html>.  
Consulta: 08/09/2022.
- Apra, A.M. 2008. Cultivo de las Crucíferas: Brócoli y Coliflor. *Boletín Hortícola* 39:29-32.
- Berrios, P. & A. Perez-Pastor. (2022). Mineral nitrogen fertilization effect on broccoli crop yield and physiology. Proceedings of the 10th Workshop on Agri-Food Research for young researchers. Universidad Politécnica de Cartagena, España.  
<https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/10756/13-efm.pdf?sequence=1>. Consulta: 15/05/2022.
- Bertola, C. E. (2020). Caracterización y análisis de la cadena de suministro del brócoli y coliflor en el Cinturón Hortícola de La Plata en el marco de las Buenas Prácticas Agrícolas. Tesis de grado. Universidad Nacional de La Plata. 46 pag.  
<http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/106949>
- Bhandari, S. y Bhandari, A. (2021). Effect of different mulching materials on growth and yield of broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*). *Fundamental and Applied Agriculture* 6(3): 265–271.
- Bhattarai, P.; Lamichhane, B.; Puja Subedi, P.; Khanal, A.; Burlakoti, S. & J.Shrestha. (2022). Effect of different levels of charcoal and nitrogen on growth and yield traits of broccoli. *Journal of Agricultural Science* 1 - XXXIII
- Bompadre, E. N. y Vergagni Saralegui, D. L. (2018). Evaluación de tratamientos de biofumigación combinados con plantas injertadas para el control de *Nacobbus aberrans* en tomate bajo cubierta. Tesis de Grado. Universidad Nacional de La Plata. 33 pag.  
[http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/70080/Documento\\_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/70080/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- Branca, F.; Chiarenza, G.L.; Pinio, M. & Cavallaro, C. (2013). Seed production and plant characterization of Sicilian landraces of Broccoli. *Acta Hort.* 1005, 525-530.
- Branham, S. & M. W. Farnham. (2017). Genotyping-by-sequencing of waxy and glossy near-isogenic broccoli lines. *Euphytica* 213:84-89.
- Branham, S.; Stansell, Z.J.; Couillard, D.M. & M.W. Farnham. (2017). Quantitative trait loci mapping of heat tolerance in broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) using genotyping-by-sequencing. *Theoretical and Applied Genetics*. 130(3):529-538.
- Cai, Y. X.; Wang, J. H.; McAuley, C.; Augustin, M. A. & N. S.Terefe. (2019). Fermentation for enhancing the bioconversion of glucoraphanin into sulforaphane and improve the functional attributes of broccoli puree. *Journal of Functional Foods*, 61, 103461.
- Cartea, M. E.; Francisco, M.; Soengas, P. & Velasco, P. (2011). Phenolic

- compounds in Brassica vegetables. *Molecules* 16 (1):251-280.
- Casajús, V.; Demkura, P.; Civello, P.; Gómez Lobato, M. & G. Martínez. (2020). Harvesting at different time-points of day affects glucosinolate metabolism during postharvest storage of broccoli. *Food Research International*, Volume 136.
- Castagnino, A. M. (2008). *Manual de cultivos hortícolas innovadores*. 1° Ed. Buenos Aires. Hemisferio Sur, 260 pp.
- Chiu, Y. C.; Matak, K. & K. M. Ku. (2019). Methyl jasmonate treated broccoli: Impact on the production of glucosinolates and consumer preferences. *Food Chem.* 30; 299:125099.
- Ciancaleoni, S. & V. Negri. (2020). A method for obtaining flexible broccoli varieties for sustainable agriculture. *BMC Genetics* 51. Vol 21.
- Dakouri, A.; Lamara, M.; Karim, M.M.; Wang, J.; Chen, Q.; Gossen, B. E.; Strelkov, S. E.; Hwang, S-F.; Peng, G. & F. Yu. (2021). Identification of resistance loci against new pathotypes of *Plasmiodiophorabrossicae* in *Brassica napus* based on genome-wide association mapping. *SciRep* 11, 6599.
- Darré, M.; Valerga, L.; Ortiz Araque., Leidy C.; Lemoine, M. L.; Demkura, P. V.; Vicente, A.R. & A. Concellon. (2017). Role of UV-B irradiation dose and intensity on color retention and antioxidant elicitation in broccoli florets (*Brassica oleracea* var. *Italica*); *Postharvest Biology and Technology*; 128; 76-82.
- Das, P. & D. Ghosh. (2021). Yours Truly Broccoli. *Science and Culture*. Vol 8 Nos 3-4.
- De Chaves, A. B. G. (2016). Estudio del comportamiento de cultivares de brócoli y determinación de las necesidades hídricas y coeficiente de cultivo 'Kc'. Tesis de grado. Universidad de La Laguna, Santa Cruz de Tenerife, España.
- [http://www.academia.edu/download/48360779/TFG.\\_Alberto\\_Beutell.pdf](http://www.academia.edu/download/48360779/TFG._Alberto_Beutell.pdf). Consulta: 12/06/2022.
- Deng, Q.; Zinoviadou, K. G.; Galanakis, C. M.; Orlie, V.; Grimi, N.; Vorobiev, E.; Lebovka, N. & Barba, F. J. (2015). The effects of conventional and non-conventional processing on glucosinolates and its derived forms, isothiocyanates: extraction, degradation, and applications. *Food Engineering Reviews*, 7(3), 357-381.
- Duan Y.; Melo Santiago, F. E.; Rodrigues dos Reis, A.; de Figueiredo, M.A.; Zhou S.; Thannhauser, T.W. & L. Li. (2021). Genotypic variation of flavonols and antioxidant capacity in broccoli. *Food Chem* 338:127997.
- Durante, M.; Reina, R.; Díaz, H.; Castagnino, A. M.; Díaz, K. y M.B. Rosini. (2020). Analysis of the gross margin of a non-traditional horticultural productive alternative: case of broccoli. *Horticultura Argentina* 39 (100).
- Ertan, B.; Şenkayas, H. & Tuncay, Ö. (2019). Postharvest logistics performance of fresh fig varieties in Turkey. *Scientia Horticulturae*, 257, 108769.
- Esparza, I.; Jiménez Moreno, N.; Bimbela, F.; Ancín Azpilicueta, C. & Gandía, L. M. (2020). Fruit and vegetable waste management: Conventional and emerging approaches. *Journal of Environmental Management*, Volume 265, 110510.
- Farnham, M. W. & Bjorkman, T. (2011). *Breeding Vegetables Adapted to High Temperatures: A Case Study with Broccoli*. *HortScience*, 46(8), 1093-1097.
- Farnham, M. W. (2019). Progress and challenges in breeding broccoli adapted to high temperature environments. *Annual Conference. American Society for Horticultural Science*. <https://www.ars.usda.gov/research/pub>

- lications/publication/?seqNo115=364059. Consulta: 12/05/2022.
- Frieman, A.; Hinz, T. I.; Frank, C.; Enneking, U. & D. Daum. (2022). Characteristics of broccoli which influence its purchase and preparation by German consumers. 31<sup>st</sup> International Horticultural Congress, Angers, France, August 15 - 20, 2022.
- Frohmann, A. & X. Olmos. (2013). Huella de Carbono, exportaciones y estrategias empresariales frente al cambio climático. CEPAL, Colección Documentos de Proyecto. Impreso en Naciones Unidas, Santiago de Chile. <https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/4101/S2013998rev1.pdf>. Consulta: 23/06/2022.
- Gherbin, P.; Miccolis, V. & Candido, V. (2013). Root length density and yield traits of broccoli (*Brassica oleracea* L. var *Italica* Plenck) as affected by different techniques of seedling growing and transplanting. *Acta Hortic.* 1005, 427-434.
- Golicz, A. A.; Bayer, P. E.; Barker, G. C.; Edger, P. P.; Kim, H.; Martinez, P. A.; Chan, C.K.; Severn Ellis, A.; McCombie, W.R.; Parkin, I.A.; Paterson, A.H.; Pires, J.C.; Sharpe, A.G.; Tang, H.; Teakle, G.R.; Town, C.D.; Batley, J. & D. Edwards. (2016). The pangome of an agronomically important crop plant *Brassica oleracea*. *Nat Commun.* 11;7: 133-90.
- Gomes, C.; Da Silva, P.; Chimbombi, E.; Kim, J.; Castell-Perez, E. & R.G. Moreira. (2008). Electron-beam irradiation of fresh broccoli heads (*Brassica oleracea* L. *italica*). *LWT - Food Science and Technology*, Volume 41, 10: 1828-1833.
- Han, F.; Liu, Y.; Fang, Z.; Yang, L.; Zhuang, M.; Zhang, Y.; Lv, H.; Wang, Y.; Ji, J.; Li, Z. (2021). Advances in Genetics and Molecular Breeding of Broccoli. *Horticulturae* 7 (9):280.
- Hortofrutícola. (2020). Reducen la huella de carbono en el cultivo de brócoli. En *E-comercio Agrario*, 21 de mayo de 2020. <https://ecomercioagrario.com/reducen-la-huella-de-carbono-en-el-cultivo-del-brocoli/>. Consulta: 23/06/2022
- Horticultivos. (2010). Manejo del agua y nutrición del cultivo de brócoli. <https://www.horticultivos.com/cultivos/cruciferas/brocoli/manejo-del-agua-y-nutricion-del-cultivo-de-brocoli-2/>. Consulta: 23/05/2022.
- Huiying Miao, Wei Zeng, Meng Zhao, Jiansheng Wang, Qiaomei Wang. (2020). Effect of melatonin treatment on visual quality and health-promoting properties of broccoli florets under room temperature. *Food Chemistry*, Volume 319: 1264-98.
- Hussain, M.; Sirajul-Karim, A.; Solaiman, A. R. M. & M. Haque. (2012). Effects of Nitrogen and Boron on the Yield and Hollow Stem Disorder of Broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*). *The Agriculturists* 10 (2).
- IndexBox Marketing (2020) World: Cauliflower and Broccoli - Market Report. Analysis and Forecast To 2020. <https://www.indexbox.io/store/world-cauliflowers-and-broccoli-market-report-analysis-and-forecast-to-2020/> Consulta: 24/05/2022.
- Internos (2021). Brócoli y coliflor. Las madres tenían razón. *Revista Internos*, 2 de julio de 2021. <https://www.revistainternos.com.ar/2021/07/brocoli-y-coliflor-las-madres-tenian-razon/>. Consulta: 15/05/2022.
- Jin, P.; Yao, D.; Xu, F.; Wang, H. & Y. Zheng. (2015). Effect of light on quality and bioactive compounds in postharvest broccoli florets. *Food Chemistry* 172 (2015) 705-709.
- Jo, J. S.; Bhandari, S. R.; Kang, G. H.; Shin, Y. K. and Lee, J. G. (2022). Selection of broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) on composition and content of glucosinolates and

- hydrolysates. *Scientia Horticulturae*, Volume 298.
- Johnson, G. (2021). Other disorders of cole crops. *Weekly Crop Update*. UD Coop. extensión. 27 de agosto de 2021.  
<https://sites.udel.edu/weeklycropupdate/?p=19218>. Consulta: 12/05/22.
- Kaymak, H.; Yarali, F. & I. Guvenc. (2009). Effect of transplant age on growth and yield of broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*). *Indian Journal of Agricultural Sciences* 79(12): 972-5.
- Khalili, F.; Shekarchi, M.; Razavi, K. & Rastegar, H. (2017). Postharvest UV-C Irradiation Delays Senescence and Maintains Nutritional Properties of Broccoli Florets. *International Journal of Vegetable Science*, 23:2, 158-170.
- Krizaj, C.; Bordeu, C.; Logegaray, V. y D.Frezza. (2021). Contenido de metabolitos secundarios en poscosecha de brócoli cultivado bajo diferentes regímenes de riego. *Horticultura Argentina* 41 (104): 485.
- Kumar, P.; Gambhir, G.; Gaur, A.; Sharma, K. C.; Thakur, A. K. & D. K. Srivastava. (2018). Development of transgenic broccoli with cryIAa gene for resistance against diamondback moth (*Plutellaxylostella*). *3 Biotech*, 8(7), 299.
- Kumari, A.; Patel, N & A. K. Mishra. (2018). Response of drip irrigated Broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) in different irrigation levels and frequencies at field level. *J. Appl. & Nat. Sci.* 10 (1): 12 –16.
- Lazzeri, L.; Malaguti, L.; Cinti, S.; Ugolini, L.; De Nicola, G.R.; Bagatta, M.; Casadei, N.; D'Avino, L.; Matteo, R. & G. Patalano. (2013). The Brassicaceae biofumigation system for plant cultivation and defense. An Italian twenty-year experience of study and application. *Acta Hort.* 1005, 375-382.
- Li, Hang; Xia, Yu; Liu, Hong-Yan; Guo, Huan; He, Xiao-Qin; Liu, Yi; Wu Ding-Tao; Mai, Ying-Hui; Li, Hua-Bin; Zou, Liang; Gan Ren-You. (2022). Nutritional values, beneficial effects, and food applications of broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica* Plenck). *Trends in Food Science & Technology*. Volume 119: 288-308.
- Lin, C. W.; Fu, S. F.; Liu, Y. J.; Chen, Ch.; Chang, Ch.; Yang, Y. W. & H. J. Huang. (2019). Analysis of ambient temperature-responsive transcriptome in shoot apical meristem of heat-tolerant and heat-sensitive broccoli inbred lines during floral head formation. *BMC Plant Biol* 19, 3.
- López Chillón, M.T.; Baenas, N.; Villaño, D.; Zafrilla, P.; García Viguera, C. & D.A. Moreno. (2018). Broccoli for food and health – research and challenges. *Acta Hort.* 1202, 121-126.
- Lv, Q.; Li, X.; Fan, B.; Zhu, C. & Z. Chen (2022). The Cellular and Subcellular Organization of the Glucosinolate-Myrosinase System against Herbivores and Pathogens. *Int J Mol Sci.* 23(3):1577.
- Mahanti, N. K.; Pandiselvam, R.; Kothakota, A.; Ishwarya S. P.; Chakraborty, S. K.; Kumar, M. & D. Cozzolino. (2022). Emerging non-destructive imaging techniques for fruit damage detection: Image processing and análisis. *Trends in Food Science & Technology*. 2022. Volume 120: 418-438.
- Mahmud, J.; Haider, M.; Moniruzzaman & M. R. Islam. (2007). Optimization of fertilizer requirement for broccoli under field conditions. *Bangladesh J. Agril. Res.* 32(3): 487-491.
- Market Data Forecast (2022) Cauliflower and Broccoli market. <https://www.marketdataforecast.com/market-reports/cauliflower-and-broccoli-market>. Consulta: 22/05/2022.

- Maroto Borrego, J.V y C. Baixauli Soria. (2017). Bróculis, coliflores y coles. En Cultivos Hortícolas al aire libre. Ed. CajamarCaja Rural. 786 pag. (371-433).
- Martínez Hernández, G.B.; Gómez, P.; Navarro Rico, J.; Bernabeu, J.; Otón, M.; Artés Hernández, F.; y F. Artés. (2013). Bimi, un nuevo híbrido de brócoli con elevado valor nutricional. Revista Horticultura Interempresas. N° 309: 22-25. <https://www.interempresas.net/Horticultura/Articulos/113834-Bimi-un-nuevo-hibrido-de-brocoli-con-elevado-valor-nutricional.html>. Consulta: 25/04/2022.
- MCBA (2018). Brócoli en el Mercado Central, buen precio y muchas propiedades. Noticias: Mercado Central de Buenos Aires. 29 de octubre de 2018. <http://www.mercadocentral.gob.ar/news/br%C3%B3coli-en-el-mercado-central-buen-precio-y-muchas-propiedades>. Consulta: 12/05/2022.
- Monge Bailón, J.; Fernandez Rodriguez, J.; Santos Coello, B. y D. Rios Mesa. (2015). Ensayos de Variedades de Brócoli en ciclo de primavera verano. Información Técnica, Agrocabildo, Cabildo de Tenerife. 18 pag.
- Morris, Sh.K. (1997). Broccoli characteristics that influence consumer purchasing. Master of Science in Nutrition and Food Management Thesis. Oregon State University
- Nicoletto, C.; Santagata, S.; Pino, S. & P. Sambo. (2016). Antioxidant characterization of different italian broccoli landraces. Horticulture. Bras. 34 (1).
- Olivero, T.; Verkerk, R. & M. Dekker. (2011). Effect of water content and temperature on glucosinolate degradation kinetics in broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*). Food Chem. 2011; 132:2037–2045.
- Patra, S.K.; Poddar. R.; Pramanik, S.; Gaber, A. & A. Hossain. (2022). Crop and water productivity and profitability of broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) under gravity drip irrigation with mulching condition in a humid sub-tropical climate. PLoS ONE 17(3): e0265439.
- Plantatium International (2016) Global Broccoli and Cauliflower Market. <https://www.plantationsinternational.com/broccoli-cauliflower-market/> Consulta; 21/05/2022.
- Renaud, E. N.; Lammerts van Bueren, E.T.; Paulo, M.J.; van Eeuwijk, F.; Juvik, J, A.; Hutton, M.G. & J. R. Myers (2014). Broccoli cultivar performance under organic and conventional management systems and implications for crop improvement. *Crop Sci.* 54, 1539–1554.
- Ríos Fuentes, B.; Rivas García, P.; Estrada Baltazar, A.; Rico Martínez, R; Miranda López, R. y J. Botello Álvarez. (2022). Life cycle assessment of frozen broccoli processing: Environmental mitigation scenarios. Sustainable Production and Consumption, Volume 32:27-34.
- Rocha Ibarra, J. E. y Cisneros Reyes, Y. D. (2019). La producción de brócoli en la actividad agroindustrial en México y su competitividad en el mercado internacional. *Acta univ* 2019, vol.29.
- Rodríguez Hernández, M<sup>a</sup>. C. (2013). Respuestas fisiológicas, moleculares y fitoquímicas de variedades de *Brassica oleracea* (Grupo *Italica*) sometidas a estrés abiótico. Tesis Doctoral. Facultad de Biología. Universidad de Murcia. 267 pag.
- Rosenberg, M.; Rosenberg, Y. & J. Zhang, J. (2018). Microencapsulation of a model oil in wall system consisting of wheat proteins isolate (WHPI) and lactose. *Applied Sciences*, 8(10).
- Rybarczyk Plonska, A.; Hagen, S.F.; Borge, G.I.A.; Bengtsson, G.B.; Hansen, M.K. & A.B. Wold. (2016a).

- Glucosinolates in broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) as affected by postharvest temperature and radiation treatments. *Postharvest Biology and Technology*, Volume 116: 16-25.
- Rybarczyk Plonska, A.; Wold, A.B.; Bengtsson, G.B.; Borge, G.I.A.; Hansen, M.K. & S. F. Hagen, (2016b). Flavonols in broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) flower buds as affected by postharvest temperature and radiation treatments. *Postharvest Biology and Technology*, Volume 116: 105-114.
- Sedlar, T.; Čakarević, J.; Tomić, J. & L. Popović. (2021). Vegetable by-products as new sources of functional proteins. *Plant Foods for Human Nutrition*, 76 (1) (2021), pp. 31-36.
- Sinhg, D.P.; Rajiv, R.; Tomar, S. & M. Kumari. (2021). Integrated nutrient management in broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*). *Indian Journal of Agricultural Sciences* 91 (11): 1627-30.
- Stansell, Z., Farnham, M. & T. Björkman. (2019). Complex Horticultural Quality Traits in Broccoli Are Illuminated by Evaluation of the Immortal BolTBDH Mapping Population. *Frontiers in Plant Science*, Vol 10.
- Stansell, Z. & T. Björkman. (2020) From landrace to modern hybrid broccoli: the genomic and morphological domestication syndrome within a diverse *B. oleracea* collection. *Hortic Res* 7, 159.
- Steindal, A. L. H.; Mølmann, J.; Bengtsson, G.B. & J.T. Johansen. (2013) Influence of Day Length and Temperature on the Content of Health-Related Compounds in Broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. Vol 61, 45:10779-10786.
- Sullivan, D. M.; Peachey, M. R. & A. Donaldson. (2021). Refining nitrogen management for organic broccoli production. *Western Nutrient Management Conference*. Virtual. 04 <https://www.westernnutrientmanagement.org/>. Consulta: 20/06/2022.
- The packer (2022). Broccoli climb to N°6 on 2022 Fresh Trend Data. 25 de marzo de 2022 <https://www.thepacker.com/news/retail/broccoli-climbs-no-6-2022-fresh-trends-data>. Consulta: 15/05/2022.
- Thomas, M.; Badr, A.; Desjardins, Y.; Gosselin, A. & P. Angers. (2018). Characterization of industrial broccoli discards (*Brassica oleracea* var. *italica*) for their glucosinolate, polyphenol and flavonoid contents using UPLC MS/MS and spectrophotometric methods. *Food Chemistry*, Volume 245: 1204-1211,
- Torres Nava, D.; Sandoval Castro, E.; Peña-Cabriales, J. J. y J. A. Vera-Núñez. (2017). Aporte de nitrógeno proveniente de pollinaza al cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* L.). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, Vol. 49, no. 2, p. 105-116.
- Torricelli, R.; Ciancaleoni, S. & V. Negri. (2014). Performance and stability of homogeneous and heterogeneous broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italic* Plenck) varieties in organic and low-input conditions. *Euphytica*. 2014; 199.
- Traka, M. H.; Saha, S.; Huseby, S.; Kopriva, S.; Walley, P.G.; Barker, G. C.; Moore, J.; Mero, G.; Bosch, F.v.d.; Constant, H.; Kelly, L.; Shepers, H.; Boddupalli, S and R. Mithen. (2013) Genetic regulation of glucoraphanin accumulation in Beneforté® broccoli. *New Phytol*. 198, 1085-1095
- Vavrina, Ch. (1998). Transplant Age in Vegetable Crops. *Hort technology*. Vol 8: 550-555.
- Wang, L.; Devin, R.; Pingfan, R. & Y. Zhang. (2020). Development of prolamin-based composite nanoparticles for controlled-release of sulforaphane. *Journal of Agricultural*

- and Food Chemistry. 68, 46, 13083–13092.
- Vázquez González, C.; Mejía Garibay, B; Robles López, Ma. R. y C. Ramírez-López.(2020). Impacto de las tecnologías de procesamiento del brócoli sobre compuestos fitoquímicos relevantes en salud humana: una revisión. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, vol. 21, núm. 2.
- Welbaum, G. E. (2015). Family Brassicaceae. In Vegetable production and practices. Ed. Gregory E. Welbaum, CAB International, Walling forth, Oxfordshire, UK, 486 pp.
- Wien, H. C. & D. C. E. Wurr. (1997). Cauliflower, Broccoli, Cabbage and Brussels Sprouts. In: The physiology of vegetable crops. Capítulo 15. Ed. H. C. Wien. CAB International, Wallingforth, Oxfordshire, UK. 661 pp.
- Wu, Y.; Zou, L.; Mao, J.; Huang, J. & Sh. Liu. (2014). Stability and encapsulation efficiency of sulforaphane microencapsulated by spray drying. Carbohydrate Polymers, 102 (2014), pp. 497-503.
- Xu, D.; Zuo, J.; Li, P.; Yan, Z.; Gao, L.; Wang, Q. & A. Jiang. (2020). Effect of methyl jasmonate on the quality of harvested broccoli after simulated transport. Food Chemistry Volume 319, 126561.
- Xu, F., Chen, X., Jin, P., Wang, X., Wang, J. & Y. Zheng. (2012). Effect of ethanol treatment on quality and antioxidant activity in postharvest broccoli florets. EurFood Res Technol235:793–800.

Horticultura Argentina es licenciado bajo Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial 2.5 Argentina.