

# Hacia un aprovechamiento total del **brócoli y el agave**

En México, el estado de Guanajuato es uno de los principales productores de brócoli y agave, los cuales se usan como alimento o en la elaboración de bebidas. De estas plantas se generan subproductos de donde se pueden extraer compuestos bioactivos. Además, las hojas de agave pueden ser transformadas en textiles, o ensilarlas para generar alimento para consumo animal.

## Introducción

Los seres humanos consumimos alimentos para satisfacer las necesidades nutricionales de nuestro cuerpo. De los alimentos tomamos los aminoácidos para construir proteínas; los azúcares, que nos dan energía, y los lípidos, que son reserva energética y nos ayudan a regular nuestra temperatura corporal. Además, son una fuente importante de **compuestos bioactivos**, los cuales contribuyen a la salud de las personas y pueden ser antioxidantes, anticancerígenos, antiinflamatorios, antidiabéticos y antimicrobianos. Durante nuestra vida podemos ingerir alimentos de origen animal o vegetal. Dentro de los vegetales, ingerimos frutas y hortalizas como el brócoli (nombre científico: *Brassica oleracea*, var. *italica*) (véase la **Figura 1**). Asimismo, necesitamos ingerir bebidas, como el agua, que nos permitan disolver las biomoléculas para que adquieran la estructura tridimensional y el medio físico para ejercer su función en nuestro organismo. Algunas bebidas son consideradas espirituosas, como el tequila, el mezcal, la bacanora, la raicilla, el pulque, donde la materia prima para producirlas es el *Agave* spp.

El estado de Guanajuato es uno de los principales productores de agroalimentos en el país, ya sea como productos frescos, congelados o procesados. A escala nacional, Guanajuato es el principal productor de brócoli, superando a Puebla, Querétaro, Aguascalientes y Zacatecas. En Guanajuato se encuentran diversas empresas procesadoras de hortalizas, como MarBran, Gigante Verde, Mr. Lucky, Expor San Antonio, las cuales procesan brócoli para exportación o mercado interno. Adicionalmente, es uno de los principales productores de agave y cuenta con varios municipios con denominación de origen de tequila y mezcal. Esto ha favorecido

### Compuestos bioactivos

Compuestos químicos obtenidos de los alimentos y que juegan un papel importante en la salud de las personas.





**Figura 1.** El brócoli y el agave son dos plantas de importancia agrícola y comercial para el estado de Guanajuato. a) El brócoli lo podemos encontrar en las tiendas tradicionales como producto fresco, pero también se comercializa congelado o procesado. El florete está formado por inflorescencias de diversos tamaños. Las inflorescencias están sostenidas por pedúnculos y éstos a su vez por el tallo. b-c) A partir de la piña del *Agave* spp. se elaboran bebidas como el tequila y mezcal. Foto tomada en un sembradío de agaves en Pénjamo Guanajuato.

el establecimiento de diversas tequileras y mezcaleras dentro de Guanajuato. Desafortunadamente, no todo el brócoli que procesan las empresas, o que se comercializa en los mercados, ni toda la planta completa de *Agave* spp. se aprovechan. No obstante que dichos **subproductos agrícolas** son una fuente importante de compuestos bioactivos que pueden ayudar a la salud, o servir como alimento para consumo animal, pudiendo generar ingresos extras y ayudando a disminuir parte de la contaminación que ocasionan. Se estima que el 45% de los vegetales y frutas que se cosechan a nivel mundial son desperdiciadas y que un tercio de la comida que se produce para consumo humano (casi 1 300 millones de toneladas) termina en los basureros o vertederos (Naciones Unidas, 2018). Aun cuando la cantidad y tipo de desechos vegetales que se generan en México y a nivel mundial es inmensa, en este trabajo nos enfocaremos en contestar la pregunta: ¿si vale la pena aprovechar los subproductos de brócoli y las hojas de agave?; lo anterior debido a que son dos de los subproductos que más se generan en el estado de Guanajuato.

el primer lugar nacional en la producción de brócoli, coliflor y lechuga; segundo lugar en espárrago y tercero en cebolla, fresa y garbanzo. En ese mismo año, tuvo ventas de exportación por 845 423 302 de dólares en productos frescos, congelados y procesados, siendo los principales países de destino Estados Unidos, Japón, Canadá, Países Bajos, Guatemala, Honduras y Corea del Sur (Sector agroalimentos Guanajuato, 2020). Con relación al brócoli, cerca del 70-80% se exporta congelado, y el resto se comercializa fresco.

Ahora bien, en el 2020 Guanajuato, Puebla y Jalisco produjeron cerca de 500 000 toneladas de brócoli y se estima que el 15% de la producción se descartó, ya sea durante su manejo en las empacadoras o en los mercados. En las empresas donde se empaca el brócoli se selecciona sólo el producto de buena calidad y se desecha el que tiene floretes amarillentos, daño mecánico, daño por insectos, o que están flácidos, inmaduros, “podridos”, o por la presencia de larvas de insectos (véase la **Figura 2**).

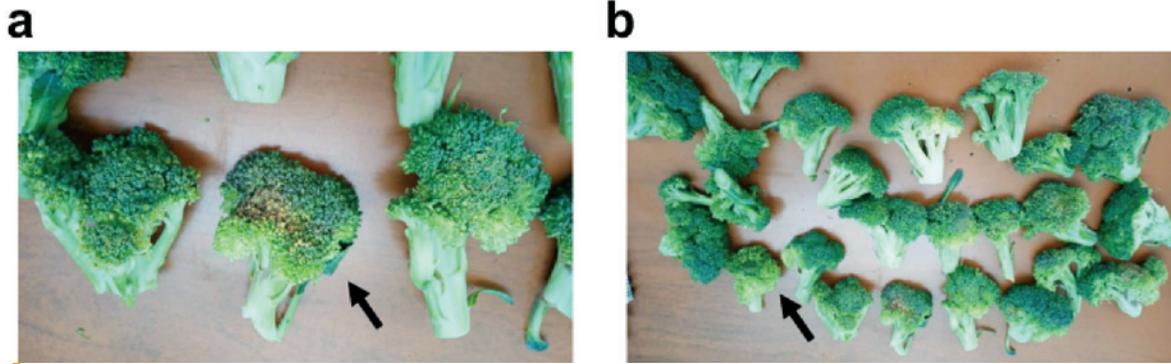
**Subproductos agrícolas**  
Material y subproducto vegetal que se obtiene de manera secundaria de un proceso productivo, al mismo tiempo que el producto principal.

■ ■ ■ **Brócoli, ¿cuánto se produce y cuánto se aprovecha?**

■ En el estado de Guanajuato se procesa una gran diversidad de vegetales para consumo interno o de exportación. Algunos de los productos se precuecen y se venden como vegetales congelados, y otros se comercializan frescos. En 2019 Guanajuato ocupó

■ ■ ■ **Usos y productos del brócoli**

■ En su uso para consumo humano, del brócoli se aprovecha principalmente el florete. El brócoli contiene proteínas, fibra, vitaminas (A, B, C, K), minerales (calcio, fósforo, azufre, potasio, hierro, yodo), sulfurafanos y compuestos bioactivos (antioxidantes, glucosinolatos, antimicrobianos) (Drabińska *et al.*, 2018). Una ración diaria de 200 g de brócoli proporciona



**Figura 2.** Inflorescencias de brócoli que podrían usarse como subproductos. a) Inflorescencia amarilla (indicada con una flecha); b) Inflorescencia con poco desarrollo (se muestra con una flecha).

la cantidad de vitamina C que nuestro cuerpo necesita. El brócoli se puede consumir crudo o cocinado lo menos posible para que conserve sus propiedades. Cuando se realiza una búsqueda en internet, se pueden encontrar una gran cantidad de recetas para preparar y saborear el brócoli; por ejemplo, ensalada César de brócoli, sartén de brócoli con especias y coco, ensalada de brócoli con aguacate y huevo, bacalao con costra de brócoli, o simplemente precocido y frito con huevo.

Es común ver que en las empresas donde se empaqueta el brócoli, un porcentaje se desecha. Muchos de estos subproductos son aprovechados por ganaderos que los recogen y los usan como alimento para animales, ya que siguen conservando gran parte de los nutrientes y compuestos bioactivos. Se ha reportado que las hojas del brócoli, maceradas y liofilizadas, son fuente importante de nutrientes y compuestos bioactivos, por lo que se han usado para fortificar minibizcochos libres de gluten (Drabińska *et al.*, 2018).

### ■ El agave, ¿qué se aprovecha y qué se desecha?

■ El agave es una planta fuertemente conectada con la cultura mexicana. La bebida que se puede preparar depende del tipo de agave, ya que existe la denominación de origen. Por ejemplo, el *Agave tequilana* Weber variedad azul se usa para elaborar el tequila, mientras que el *Agave angustifolia* se usa para preparar el mezcal. Los cultivos de *Agave* spp. tardan entre 7 y 8 años para la **jima**, actividad donde se cortan las

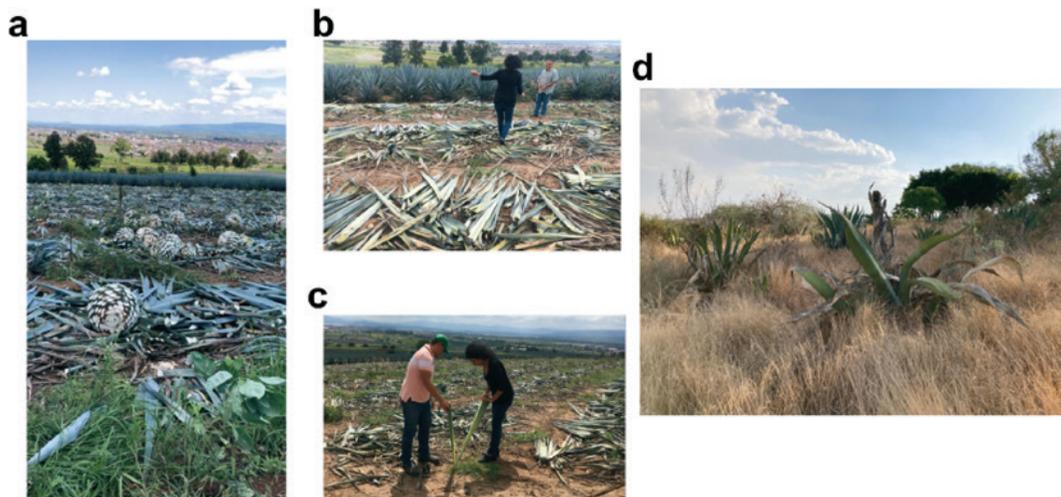
hojas y se colecta la piña que se comercializa para elaborar estas bebidas.

Por otro lado, las hojas regularmente se dejan a la intemperie, donde suelen abandonarse o bien quemarse, lo cual resulta en una fuente de contaminación del suelo y el aire (véase la **Figura 3**). Según datos oficiales, en 2020 en México se cosecharon 25 741.38 hectáreas, de las que se obtuvo una producción de 1 913 025.96 toneladas de agave, de las cuales 273 586.25 toneladas correspondieron al estado de Guanajuato (SIAP, 2020).

### ■ ¿Qué podemos hacer con los subproductos del agave?

■ Como se mencionó, lo que se comercializa es la piña del agave y lo que usualmente se desecha son las hojas. Con este subproducto tan resistente se pueden elaborar infinidad de cosas, desde la sabrosa barbacoa estilo Hidalgo, donde se utilizan las hojas de agave para su cocción, o el mixiote, que consiste en carne enchilada cocida al vapor envuelta en una película que se desprende de las hojas de maguey. Además, con las fibras se pueden elaborar máscaras, textiles, lazos, bolsas, sogas, fajas, frazadas, tapetes, sandalias, morrales, hamacas, etc. Asimismo, las hojas se pueden macerar y ensilar para generar alimentos para ganado. Se ha encontrado que las hojas del agave también son ricas en compuestos bioactivos, con propiedades anticancerígenas, antidiabéticas, antiinflamatorias y estimulantes de la expresión enzimática, así como antifúngicas (Pérez-Zavala *et al.*, 2020).

**Jima**  
Proceso por el cual se cortan las hojas del agave adulto, dejando libre la piña para comercializarla.



**Figura 3.** Hojas de agave. a-c) Durante la jima se colectan las piñas, las hojas se apilan, se secan y se queman, contaminando aire y suelo. Campo de agave en Pénjamo Guanajuato. d) De manera silvestre pueden crecer diversos tipos de agaves; algunos mueren, sus hojas se secan, pueden biodegradarse o ser una fuente de contaminación. Campo cercano a la División de Ciencias de la Vida, Universidad de Guanajuato.

■ **Perspectivas**

■ El brócoli es una fuente excepcional de compuestos que nuestro cuerpo necesita para funcionar correctamente. A los subproductos del brócoli se les pueden extraer moléculas bioactivas que podrían usarse de modo preventivo para ciertas enfermedades. La vida media de los nutrientes o compuestos bioactivos del brócoli puede incrementarse mediante la **microencapsulación**. Se ha reportado que el brócoli contiene, además, proteínas o **péptidos** con actividad inhibitoria contra bacterias presentes en alimentos y que son patogénicas para los seres humanos (Pacheco-Cano *et al.*, 2020), por lo que las microcápsulas podrían ser un excelente medio para conservar dichas propiedades y usarse como suplementos alimenticios. Adicionalmente, ya que el brócoli es rico en celulosa, investigadores mexicanos han utilizado esta biomolécula para desarrollar bioplásticos. Estos polímeros orgánicos son de suma importancia, ya que un plástico no biodegradable podría tardar en degradarse en tierra de 400 a 500 años, mientras que un bioplástico elaborado a partir del brócoli podría degradarse en un año (Escudero, 2021). Los ejemplos anteriores muestran algunos de los usos que podrían tener las biomoléculas extraídas de los subproductos del brócoli, generando un valor agregado a los productos desarrollados.

**Microencapsulación**

Método para "atrapar" partículas de sólidos y gotas de compuestos volátiles y líquidos en esferas finas de polímeros.

**Péptidos encriptados**

Péptidos pequeños dentro de las proteínas que son liberados mediante hidrólisis enzimática y que pueden presentar diferentes propiedades funcionales.

Por otro lado, a pesar de que las hojas de agave pueden ser usadas en la elaboración de textiles, otra opción es la obtención de ensilados para consumo animal. Desafortunadamente, pocas personas o empresas se interesan en colectarlas y procesarlas para aumentar su valor. La maceración y ensilado de las hojas de agave para consumo animal puede ser una fuente de ingreso extra para los agaveros, o bien un ahorro si tienen animales de granja y el forraje ensilado lo usan para alimentarlos. Al igual que los compuestos bioactivos del brócoli, su extracción y protección en microcápsulas comestibles, lo cual aumenta su vida media, puede hacer que se usen



como suplemento alimenticio, una alternativa que debe investigarse con más profundidad.

### Conclusiones

Al principio nos hicimos la pregunta de si valdría la pena aprovechar los subproductos de brócoli y las hojas de agave; la respuesta, después de la información presentada, es afirmativa, ya que existen diversas opciones de uso para estos subproductos. La presencia de compuestos bioactivos que pudieran microencapsularse y el potencial para ser transformados en productos textiles, o como ensilados para consumo animal, debería ser un estímulo para que personas puedan invertir en el aprovechamiento de los subproductos de brócoli y en las hojas de agave, con lo cual se puede generar un ingreso y combatir la contaminación que provoca el desecharlos.

#### Ma. de Lourdes Pérez-Zavala

Departamento de Agronomía, Universidad de Guanajuato.  
mlperez@ugto.mx

#### Uriel E. Barboza-Pérez

Centre for Engineering Biology, The University of Edinburgh.  
urielbarboza14@gmail.com

#### José E. Barboza-Corona

Departamento de Alimentos y Posgrado en Biociencias,  
Universidad de Guanajuato.  
josebar@ugto.mx

### Lecturas recomendadas

- Drabińska, N. *et al.* (2018), "Broccoli by-products improve the nutraceutical potential of gluten-free mini sponge cakes", *Food Chemistry*, 267:170-177. Disponible en: <[doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.08.119](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.08.119)>.
- Escudero, E. (2021), "Mexicanos crean un plástico degradable a base de brócoli", *Ambiente Plástico*. Disponible en: <<https://www.ambienteplastico.com/mexicanos-crean-un-plastico-degradable-a-base-de-brocoli/>>, consultado el 23 de mayo de 2022.
- Naciones Unidas (2018), "El desperdicio de comida, una oportunidad para acabar con el hambre", *Noticias ONU*. Disponible en: <<https://news.un.org/es/story/2018/10/1443382#:~:text=%C2%BFSab%C3%ADa%20que%20e1%2045%25%20de,como%203700%20millones%20de%20manzanas>>, consultado el 22 de mayo de 2022.
- Pérez-Zavala, M. L. *et al.* (2020), "Agave: A natural renewable resource with multiple applications", *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(15): 5324-5333. Disponible en: <[doi.org/10.1002/jsfa.10586](https://doi.org/10.1002/jsfa.10586)>.
- Pacheco-Cano, R.D. *et al.* (2020). "Class I defensins (BraDef) from broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) seeds and their antimicrobial activity", *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 36:30. Disponible en: <<https://doi.org/10.1007/s11274-020-2807-6>>.
- Sector agroalimentos Guanajuato (2020). Coordinadora de Fomento al Comercio Exterior. Disponible en: <<https://cofoce.guanajuato.gob.mx/wp-content/uploads/2020/09/Sector-Agroalimentos-Junio-2020.pdf>>, consultado el 21 de mayo de 2022.
- SIAP (2020), "Avance de siembras y cosechas. Resumen por estado", Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Disponible en: <[http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola\\_siap\\_gobmx/ResumenProducto.do](http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.do)>, consultado el 5 mayo de 2022.

