



Dulce

La fructosa, un tipo de azúcar, es uno de los principales responsables de los problemas de salud asociados con la alimentación moderna industrializada. Pero en la naturaleza la fructosa no sólo existe libre como azúcar, también en forma de compuestos llamados fructo-oligosacáridos, que conviene mucho consumir.

Buena parte de nuestro bienestar depende de que mantengamos contentas a entre 10 y 100 billones (millones de millones) de microorganismos, agrupados en 400 especies de bacterias que pueblan nuestro colon, la llamada microbiota. Dondequiera que vamos nos acompañan cerca de dos kilogramos de bacterias cómodamente ubicadas en nuestros intestinos. Pero no sólo eso, ellas son 10 veces más numerosas que el total de células de nuestro cuerpo, y su genoma en conjunto contiene unas 100 veces más genes que los nuestros. Estamos hechos de una amalgama de atributos humanos y microbianos. Si nuestra relación con la microbiota no es sana, corremos el riesgo de sufrir la invasión de bacterias patógenas, ver debilitado nuestro sistema inmunológico y el sistema vascular intestinal y, en concreto, volvernos susceptibles a

una infinidad de afecciones y al ataque de sustancias tóxicas.

Como todo ser vivo, las bacterias benéficas en nuestros intestinos necesitan alimentarse bien, por lo que además de los elementos esenciales de nuestra dieta como las proteínas, las vitaminas, la grasa y todo lo que nos inculca en la cabeza y en el plato nuestra madre desde los primeros años, también requerimos incluir algo para las bacterias: eso las madres de antaño no lo sabían, pero lo intuían. La buena noticia es que los compuestos que mejor nutren a esas bacterias forman parte de los alimentos naturales que conocemos desde siempre. A estos compuestos se les da el nombre genérico de *prebióticos* y aquí nos referiremos a uno de los más potentes: los fructo-oligosacáridos, que se conocen también por su abreviatura como FOS.

Alimenta a tus bacterias

Se estima que un tercio de las plantas contienen una sustancia conocida como inulina, que consiste en polímeros de fructosa que las plantas elaboran para almacenar así el azúcar para etapas posteriores de su desarrollo en las que requerirán energía (los polímeros son moléculas grandes formadas por muchas unidades pequeñas que se repiten). Cuando nos alimentamos con estas plantas no podemos digerir la inulina pues carecemos de la enzima para ello, y por lo tanto, pasa intacta por nuestro sistema digestivo. Al llegar al colon, es digerida por las enzimas de la microbiota, que la desdoblan en pequeñas cadenas que constituyen los FOS. De hecho, la inulina forma parte de lo que se denomina la fibra dietética, un elemento básico de la dieta por su contribución al

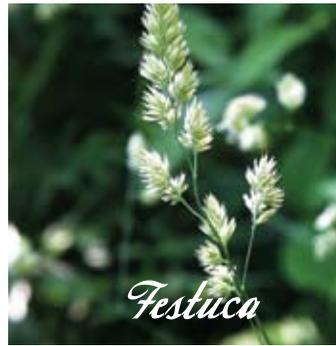


Foto: Paul L. Redfearn



que la fibra protege también contra la presencia de carcinógenos en la dieta, disminuye el colesterol del suero, aumenta la absorción de minerales, y toda una larga lista de beneficios a la salud. Fue así como de la noche a la mañana la población estadounidense se hizo adicta a la avena y al salvado de trigo, y nos enteramos también que gracias al maíz y a la tortilla, la dieta del mexicano era muy rica en fibra. Paralelamente se abrió un enorme mercado derivado de la industria de la fibra dietética. Éste es el papel de la inulina y los productos de su transformación en el intestino, los FOS, con la ventaja adicional de que éstos además de inhibir directamente patógenos y de favorecer a la microbiota benéfica, activan más de medio centenar de genes de las células intestinales y silencian a otra docena. Se trata de genes fundamentalmente relacionados con la respuesta inmune, pero algunos también lo están con el crecimiento y el metabolismo celular. Si bien las consecuencias de

la activación y silenciamiento de toda esta batería de genes en su conjunto no se conocen en detalle, los efectos benéficos en la salud del consumo de FOS permiten suponer que están relacionados con una mayor funcionalidad del sistema inmunológico, pero sobre todo, ponen de manifiesto que lo que comemos influye definitivamente en la expresión genética en nuestras células.

Del agave a la microbiota

Miles de hectáreas en el mundo se siembran de una raíz parecida a la papa, conocida como *chicorea* (*Cichorium intybus* L.). La chicorea es una especie de camote que cuenta, como todas las plantas que contienen inulina, con varias enzimas del tipo *fructosiltransferasa* que le permiten sintetizar la inulina a partir de la sacarosa que obtienen de la fotosíntesis. La inulina se extrae de la chicorea mediante un proceso muy parecido al de la extracción de azúcar de caña. Esta inulina se seca y se comercializa en más de 1 000 productos que se anuncian como “altos en fibra soluble”. La inulina además sustituye a la grasa y al azúcar como agentes texturizantes (sabe como a grasa), y es adecuada para diabéticos.

Las largas cadenas de fructosa que constituyen la inulina también pueden cortarse en cadenas más pequeñas que contienen de dos a 10 moléculas de fructosa, los fructo-oligosacáridos o FOS, mediante un proceso de hidrólisis (reacción del agua con otra sustancia) industrial empleando enzimas, tal como sucede en los intestinos sanos. Dado su carácter prebiótico, los FOS así producidos se usan en la industria como ingredientes de alimentos funcionales, aunque también se pueden adquirir directamente en tiendas naturistas como suplementos nutricionales para alimentar, cual mascota, a nuestra microbiota. Sin embargo, lo ideal es consumir con la dieta ya sea inulina o directamente los FOS,

manteniendo la alimentación como un proceso integral del que se beneficia nuestro organismo y, ahora sabemos, también nuestra microbiota.

Otra variedad de plantas de alto contenido en inulina son los agaves, de los que en nuestro país existe una amplísima biodiversidad, y de entre los cuales destaca el *Agave tequilana* Weber por ser la materia prima con la que se elabora el tequila. Cada kilogramo de piña de agave puede contener 200 gramos de inulina o más, los que son extraídos con agua y transformados en fructosa en la primera etapa de todos los procesos de elaboración de bebidas alcohólicas a partir de agaves. Posteriormente, en la fermentación, las levaduras transforman la fructosa en alcohol que finalmente se destila.

También la caña

En mi grupo de investigación en el Instituto de Biotecnología de la UNAM, Ángela Ávila y Clarita Olvera aislaron uno de los genes de las fructosiltransferasas que en el agave sintetizan la inulina, que fue el primer gen relacionado con la síntesis de inulina que se aisló del *Agave tequilana* Weber. Nuestro proyecto es hacer con el azúcar extraído de la caña lo mismo que hace la planta a partir del Sol y el CO₂.

En la misma dirección y con el mismo tipo de genes, grupos de biotecnología de plantas han propuesto desarrollar plantas transgénicas de caña de azúcar que hagan directamente FOS o inulina, con la ventaja que tiene

Cichorium intybus.



Contenido de inulina (g/100g producto fresco)	
PLANTAS	
Cebada	0.1 a 5%
Trigo	1 a 4%
Avena	0.4%
Centeno	1 a 4%
VEGETALES	
Cebolla	1 a 8%
Ajo	9 a 16%
Chicorea	15 a 20%
Agaves	15 a 25%
PLANTAS ORNAMENTALES	
Dalia	
Tulipán	
PASTOS FORRAJEROS	
Lolium	
Festuca, heno de pata de gallo (<i>Dactylis glomerata</i> L.)	
Heno de fleo (<i>Phleum</i>)	

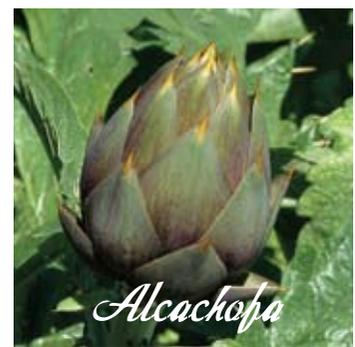
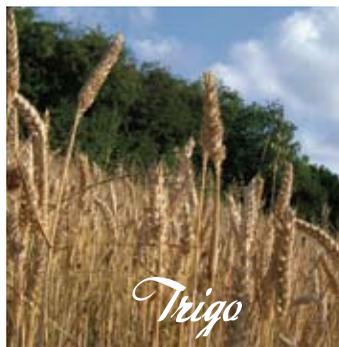


Foto: cepolina.com

la productividad agrícola de la caña sobre la del agave.

Dado el auge de la inulina y los FOS en la alimentación, varios grupos de investigación en México están trabajando en la extracción y transformación de la inulina de agave, ya no con el objeto de elaborar bebidas alcohólicas, sino de aprovechar la riqueza en inulina de estas plantas. Dentro de estos grupos destacan el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, el Tecnológico de Celaya, el Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, la Universidad de Colima y el nuestro, en el Instituto de Biotecnología de la UNAM, ligado a la Unión de Productores de Agave de Morelos a través de un programa que apoya el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

¿Del campo o de los microorganismos?

Además de la agrícola, hay otra vía para obtener FOS. Desde hace décadas se sabe que muchas bacterias y hongos pueden, siempre a partir de sacarosa, imitar a las plantas y producir polímeros de fructosa, usando el mismo tipo de enzimas (*fructosiltransferasas*). Un ejemplo son las bacterias que habitan en nuestra saliva: ahí, bacterias lácticas como *Streptococcus mutans* o *S. salivarius*, mediante este tipo de enzimas transforman en polímeros la sacarosa que llevamos a la boca con los dulces, refrescos, caramelos, chiclosos, etc. Sólo que en este caso se trata de polímeros insolubles que se adhieren a los dientes y dan inicio a la caries dental: una razón más para no abusar del azúcar e insistir en la higiene dental. Otras bacterias como *Zymomonas mobilis* y *Leuconostoc mesenteroides* hacen algo parecido, pero con el azúcar del aguamiel. Ese “hilo”

que como espagueti, se queda colgando entre el jarrito de pulque y la boca, está formado por polímeros de fructosa o glucosa que las bacterias sintetizaron con sus enzimas durante la fermentación de la sacarosa. Así que si bien es un mito que al pulque le falte un grado para ser carne, al menos sí aporta fibra soluble a la dieta.

Sabia tradición

Hace varios años iniciamos, en el Instituto de Biotecnología de la UNAM, un proyecto de investigación con la bacteria *Leuconostoc citreum*, que el grupo de la Dra. Carmen Wachter en la Facultad de Química de la UNAM aisló del pozol, la bebida fermentada de maíz más característica de la región maya. Esta bacteria contiene una enzima del tipo fructosiltransferasa, que nos ha permitido producir hasta nivel de planta piloto, y a partir de la sacarosa de caña, una inulina similar a la del agave y la chicoreo, pero que en vez de 20 o 30 moléculas de fructosa por cadena de polímero, llega a tener cientos. Esto le confiere a las soluciones de inulina microbiana una alta viscosidad lo que da lugar a características de textura muy adecuadas para cierto tipo de productos. Después de haber hecho pruebas en alimentación animal apoyados por la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM, disponemos de una nueva fuente de inulina con propiedades similares a la obtenida de la chicoreo o del agave. También, en colaboración con la Dra. Wachter, estamos tratando de demostrar en qué casos el pozol contiene inulina, lo que sería un argumento más a favor del consumo de esta bebida, sabiamente conservada por las tradiciones culinarias del sur del país.

Azúcar para la piel

Las enzimas del tipo fructosiltransferasa, bajo ciertas condiciones de funcionamiento, en vez de largas cadenas de polímeros

pueden detenerse y producir cadenas con unas cuantas moléculas de fructosa o glucosa, dependiendo de la enzima. Hace casi dos décadas tuve oportunidad de participar en un proyecto en el que sintetizamos, a partir de azúcar de caña, una cadena con sólo cuatro moléculas de glucosa con propiedades de prebiótico (sólo digerible por las bacterias benéficas del colon). Curiosamente, los interesados en ese proyecto, dirigido por el Dr. Pierre Monsan, quien ahora trabaja en el Instituto de Ciencias Aplicadas de Toulouse, Francia, no eran industriales de los alimentos, sino de los cosméticos. La industria cosmetológica bautizó este azúcar como *bioecolia*, y se lo agregó a cremas y perfumes; ¿para qué? pues nada menos que para favorecer el crecimiento de las bacterias lácticas benéficas de la piel. El mismo principio del que hemos hablado de los prebióticos, pero en otra parte del cuerpo, la piel, con la ventaja de que esas bacterias la protegen de infecciones y de malos olores.

Diversas empresas, en particular japonesas, han logrado llevar hasta el nivel industrial un proceso similar mediante el cual una enzima del tipo fructosiltransferasa puede transformar la sacarosa de caña en FOS. Estas empresas enriquecen alimentos como el yogurt o la leche con los FOS microbianos producidos a partir de azúcar

¿Para dónde va todo este asunto? El futuro de los prebióticos es, sin duda, un tema de frontera científico y tecnológico, y con muy diversas opciones, todo ello debido a las demandas de una población que durante muchos años hemos descuidado y relegado a los rincones más oscuros de nuestro ser: la población bacteriana intestinal. 🐼

Agustín López Munguía es investigador del Instituto de Biotecnología de la UNAM, frecuente colaborador y consejero editorial de *¿Cómo ves?*