

TLATEMOANI

Revista Académica de Investigación

Editada por Eumed.net

Año 17, no. 52 – agosto-2026.

España-ISSN: 1989-9300

revista.tlatemoani@uaslp.mx

Fecha de recepción del artículo: 02/07/2026

Fecha de aceptación: 28/07/2026

**JUGO DE CAÑA DE AZÚCAR (*SACCHARUM OFFICINARUM*):
EVIDENCIA RECIENTE SOBRE BENEFICIOS A LA SALUD Y
POTENCIAL BIOTECNOLÓGICO PARA LA PRODUCCIÓN DE
FRUCTOOLIGOSACÁRIDOS**

**SUGAR CANE JUICE (*SACCHARUM OFFICINARUM*): RECENT EVIDENCE ON
HEALTH BENEFITS AND BIOTECHNOLOGICAL POTENTIAL FOR THE
PRODUCTION OF FRUCTOOLIGOSACCHARIDES**

Flor de María Buenrostro Pérez
Universidad Autónoma de San Luis Potosí
<https://orcid.org/0009-0002-6786-8202>
flor.buenrostro@uaslp.mx

Olga Miriam Rutiaga Quiñones
Tecnológico Nacional de México, Durango México
<https://orcid.org/0000-0002-2832-1688>
omrutiaga@itdurango.edu.mx

Jorge Enrique Wong Paz
Universidad Autónoma de San Luis Potosí
<https://orcid.org/0000-0002-5866-2678>
jorge.wong@uaslp.mx

Diana Beatriz Muñiz Márquez
Universidad Autónoma de San Luis Potosí
<https://orcid.org/0000-0002-8070-1194>
diana.marquez@uaslp.mx

RESUMEN

El jugo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) ha sido tradicionalmente consumido como una bebida energética natural en regiones tropicales de América Latina, Asia y África. Debido a su contenido de azúcares fermentables, principalmente sacarosa, glucosa y fructosa, así como de minerales y compuestos bioactivos, constituye una matriz con potencial para su aprovechamiento en procesos biotecnológicos orientados a la obtención de ingredientes funcionales y compuestos de valor agregado. Este artículo aborda la evidencia científica actual sobre los beneficios a la salud que aporta el jugo de caña, su composición química y propiedades biológicas que éste presenta. Así mismo, se analizan sus aplicaciones en procesos biotecnológicos para la producción de bebidas con potencial funcional y biosíntesis de compuestos de valor agregado. Finalmente, se discuten limitaciones relacionadas con su estabilidad, contenido de azúcares y seguridad microbiológica, así como perspectivas futuras para su aprovechamiento industrial. La evidencia sugiere que el jugo de caña de azúcar posee un alto potencial funcional y tecnológico, aunque se requieren de estudios clínicos robustos para validar sus efectos en humanos.

Palabras clave: *Saccharum officinarum*, alimentos funcionales, antioxidantes, fermentación, biotecnología.

ABSTRACT

Sugarcane juice (*Saccharum officinarum*) has traditionally been consumed as a natural energy drink in tropical regions of Latin America, Asia, and Africa. Due to its content of fermentable sugars—primarily sucrose, glucose, and fructose—as well as minerals and bioactive compounds, it serves as a matrix with potential for use in biotechnological processes aimed at producing functional ingredients and value-added compounds. This article reviews the current scientific evidence on the health benefits of sugarcane juice, its chemical composition, and biological properties. It also analyzes its applications in biotechnological processes for the production of beverages with functional potential and the biosynthesis of value-added compounds. Finally, limitations related to its stability, sugar content, and microbiological safety are discussed, along with future prospects for its industrial use. The evidence suggests that sugarcane juice has high functional and technological potential, although robust clinical studies are needed to validate its effects in humans.

Keywords: *Saccharum officinarum*, functional foods, antioxidants, fermentation, biotechnology.

INTRODUCCIÓN

El jugo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) es una bebida natural con un sabor agradable ampliamente consumida en regiones tropicales y subtropicales de Brasil, México, Colombia, Cuba, República Dominicana, India, Tailandia, China y Filipinas y en la región de África se encuentra en Sudáfrica, Egipto y Kenia donde la caña constituye uno de los principales cultivos agroindustriales. Diversas investigaciones han demostrado que el jugo de caña contiene compuestos bioactivos tales como ácidos grasos, minerales, aminoácidos, fitoesteroles, compuestos fenólicos, terpenoides y polisacáridos, los cuales pueden contribuir al mantenimiento de la salud y a la prevención de enfermedades asociadas al estrés oxidativo y alteraciones metabólicas (Singh et al., 2015; Barrera et al., 2020).

Además de ser una materia prima agroindustrial contiene diversas propiedades bioactivas, siendo una matriz compleja constituida principalmente por agua (70-75%) y una alta

cantidad de azúcares solubles (10-15%), entre los que predominan la sacarosa, glucosa y fructosa. Además, contiene cantidades significativas de micronutrientes como potasio, calcio, hierro y magnesio, así como vitaminas del complejo B y C (Fig. 1). Debido a la alta cantidad de sacarosa, fructosa y glucosa que el jugo de caña posee, actualmente se ha considerado como un sustrato potencial en procesos de fermentación para la producción de ingredientes y metabolitos de interés industrial, tales como enzimas, polisacáridos y fructooligosacáridos (FOS).

Los fructooligosacáridos son carbohidratos no digeribles formados por monómeros de fructosa unidos a una molécula de sacarosa inicial mediante enlaces β -2-1 dando lugar a la formación de 1-kestosa, 1-nistosa y 1- β fructofuranosil nistosa. Los FOS son ampliamente reconocidos debido a sus diversas propiedades biológicas, destacando por su bajo valor calórico, por ser edulcorantes no cariogénicos, por regular el metabolismo de lípidos y por presentar una alta actividad prebiótica modulando selectivamente el microbiota intestinal y previniendo la carcinogénesis en el colon (Patel & Goyal, 2011; Mussatto & Mancilha, 2007). La producción microbiana de FOS es a través de diversos microorganismos, especialmente hongos filamentosos del género *Aspergillus*, tales como *Aspergillus niger* y *Aspergillus oryzae*.

Estos microorganismos tienen la capacidad de producir enzimas β -fructofuranosidasas y fructosiltransferasas involucradas en reacciones de hidrólisis y transfructosilación para dar origen a la formación de FOS (Kurakake et al., 2009; Khatun et al., 2021). Recientemente se ha explorado el uso del jugo de caña en la síntesis de fructooligosacáridos (FOS) y de otros compuestos bioactivos, por lo que este enfoque representa una alternativa de alto valor agregado frente al uso convencional de la caña de azúcar ya que tradicionalmente el jugo de caña de azúcar se destina a la producción de azúcar, piloncillo y melaza; sin embargo, en los últimos años ha despertado interés como materia prima para procesos biotecnológicos (Huang et al., 2022).

Por otra parte, el jugo de caña contiene azúcares naturales, minerales, vitaminas y diversos compuestos bioactivos que han motivado su uso tradicional como bebida energética y como parte de la medicina popular en diferentes regiones del mundo. Diversos estudios han descrito posibles efectos antioxidantes, antiinflamatorios y hepatoprotectores asociados principalmente a sus compuestos fenólicos y flavonoides (Sankhla et al., 2012; Ali et al., 2015). No obstante, debido a su elevado contenido de sacarosa, glucosa y fructosa, el jugo de caña presenta una alta carga de carbohidratos disponibles, por lo que su consumo debe evaluarse con precaución en personas con diabetes mellitus u otras alteraciones del metabolismo de la glucosa. Aunque algunos estudios experimentales han sugerido que ciertos compuestos fenólicos podrían modular procesos relacionados con el metabolismo de la glucosa, la evidencia clínica

disponible aún es limitada y no permite recomendar su consumo como estrategia terapéutica para esta población.

Estudios recientes de Kaur et al. (2018) utilizaron una mezcla de jugo de caña, jugo de rábano y hierbas, realizando una bebida nutritiva, donde el efecto más significativo sobre las características de calidad de la bebida de rábano provino del jugo de caña, ya que es reconocido por ser una fuente potencial de nutrientes con propiedades preventivas y curativas (Sankhla et al., 2012). Por esta razón, beber jugo de caña de azúcar ofrece numerosas ventajas para la salud, entre ellas, la prevención del cáncer de próstata, una actividad contra las células cancerosas de mama, así como enfermedades febriles, como las fiebres causando pérdidas significativas de proteínas (Panigrahi et al., 2021). Diversos estudios *in vitro* y en modelos animales sugieren que los FOS podrían ejercer efectos protectores frente a la carcinogénesis mediante modulación de la microbiota intestinal, la producción de ácidos grasos de cadena corta y la regulación de procesos inflamatorios; sin embargo, la evidencia clínica en humanos continúa siendo limitada. Algunos estudios experimentales han reportado actividad antiproliferativa frente a líneas celulares de cáncer de mama y próstata; no obstante, estos resultados aún requieren validación mediante estudios clínicos.

Por lo tanto, el presente artículo tiene como objetivo analizar de manera crítica la evidencia científica reciente de los beneficios a la salud del jugo de caña, así como su potencial en aplicaciones biotecnológicas. Se abordarán aspectos relacionados con su composición química, propiedades funcionales, aplicaciones industriales y limitaciones tecnológicas, con el fin de identificar oportunidades de innovación y desafíos que deben ser superados para su aprovechamiento sostenible. Además, este análisis busca contribuir a una comprensión integral del jugo de caña como un recurso multifuncional, capaz de trascender su uso tradicional y posicionarse como un componente clave en el desarrollo de bebidas funcionales y en bioprocesos.

Figura 1. Composición nutricional del jugo de caña de azúcar y sus compuestos de interés funcional



Fuente: Elaboración propia.

METODOLOGÍA DE TRABAJO

Diseño de investigación

Se desarrolló una investigación documental con enfoque descriptivo y analítico, con el objetivo de recopilar y analizar evidencia científica reciente sobre los beneficios a la salud y el aprovechamiento biotecnológico del jugo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*). El estudio se centró en identificar las propiedades nutricionales y funcionales del jugo de caña, así como sus aplicaciones en procesos biotecnológicos relacionados con la producción de compuestos de valor agregado, incluyendo enzimas y FOS.

La recopilación de la información se realizó mediante la búsqueda sistemática de artículos científicos originales, revisiones y publicaciones académicas en bases de datos especializadas como Scopus, ScienceDirect, PubMed y Google académico. Para la selección de los documentos se emplearon palabras claves relacionadas con *Saccharum officinarum*, jugo de caña, compuestos bioactivos del jugo de caña, actividad antioxidante, prebióticos, fermentación y aprovechamiento biotecnológico. Se priorizaron artículos científicos publicados entre 2020 y 2025, con el propósito de integrar la evidencia más reciente sobre la composición química, propiedades biológicas y aplicaciones clásicas consideradas fundamentales para comprender conceptos relacionados con los fructooligosacáridos, las fructosiltransferasas y los prebióticos.

Posteriormente, se llevó a cabo el análisis, comparación e interpretación de la información recopilada, permitiendo identificar los principales beneficios asociados al consumo de jugo de caña y su potencial como materia prima en procesos biotecnológicos sustentables.

RESULTADOS

Micronutrientes y compuestos bioactivos del jugo de caña

El jugo de caña de azúcar aporta una matriz compleja de micronutrientes esenciales que participan directamente en funciones fisiológicas clave. Diversos estudios recientes han demostrado que este jugo aporta concentraciones reportadas de potasio, calcio, hierro y magnesio, además de vitaminas del complejo B y vitamina C (Tabla 1).

El potasio destaca como el mineral predominante, con concentraciones cercanas a 918 mg/L, lo que favorece la regulación del equilibrio electrolítico y la función cardiovascular (Rifqie et al., 2025).

Así mismo, el calcio participa activamente en la formación ósea y en procesos de señalización celular, mientras que el magnesio actúa como cofactor en múltiples reacciones enzimáticas relacionadas con el metabolismo energético (Calder et al., 2024).

El hierro contribuye al transporte de oxígeno mediante su participación en la hemoglobina, lo que posiciona al jugo de caña como un complemento potencial en dietas con riesgo de anemia.

Además, la vitamina C actúa como antioxidante primario, mientras que las vitaminas del complejo B participan en rutas metabólicas esenciales para la producción de energía (Ebadi & Azlan, 2020).

Sin embargo, es importante mencionar que el procesamiento industrial reduce significativamente estos micronutrientes, lo que refuerza la importancia del consumo de jugo fresco o mínimamente procesado para conservar su valor nutricional (Calder et al., 2024).

Compuestos bioactivos

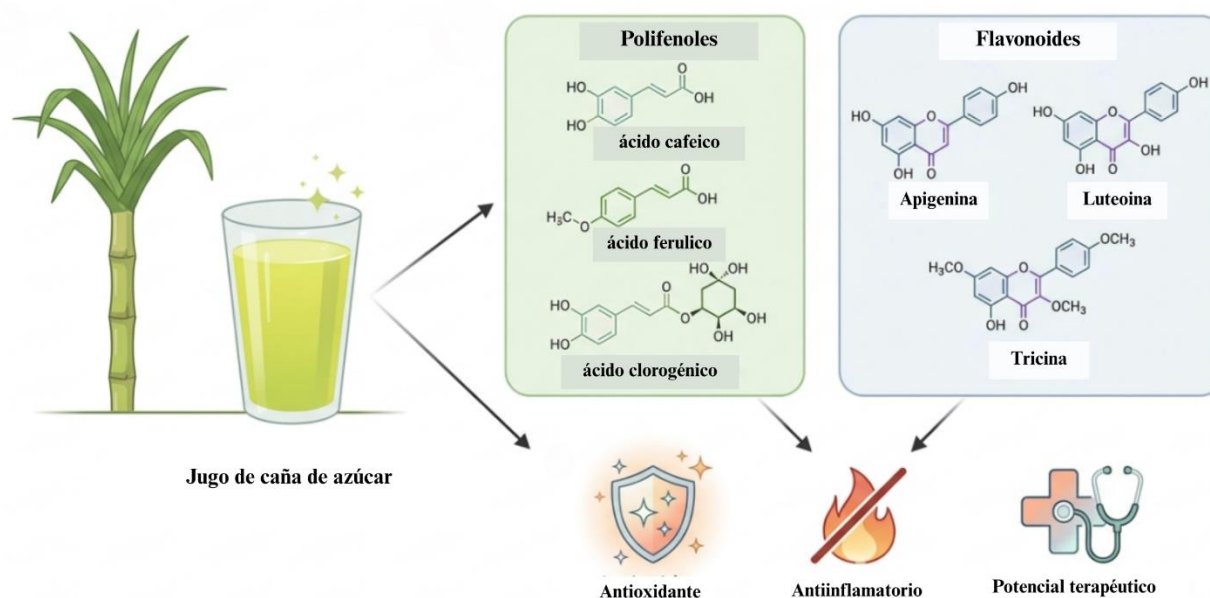
El jugo de caña de azúcar contiene una amplia variedad de compuestos bioactivos principalmente polifenoles como: ácido cafeico, ácido ferúlico y ácido clorogénico y flavonoides como: apigenina, luteolina y tricina, que contribuyen a sus actividades biológicas como capacidad antioxidante, antiinflamatoria y moduladora del estrés oxidativo.

Ácidos fenólicos

Dentro de los compuestos bioactivos presentes en el jugo de caña, los ácidos fenólicos constituyen uno de los grupos más abundantes e importantes, entre los principales compuestos

identificados se encuentran el ácido cafeico, ácido ferúlico, ácido clorogénico y ácido cumárico, los cuales pertenecen a la familia de los hidroxiácidos cinámicos. Estos compuestos actúan como potentes captadores de radicales libres, reduciendo el daño oxidativo a nivel celular (Barrera et al., 2020). Además, estudios recientes han demostrado que los ácidos fenólicos pueden modular rutas inflamatorias y mejorar la respuesta antioxidante endógena, lo que los vincula con la prevención de enfermedades crónicas. Por otro lado, algunos ácidos fenólicos, como el ácido clorogénico podrían contribuir a disminuir la respuesta glucémica posprandial mediante la inhibición parcial de enzimas digestivas y la modulación del metabolismo de la glucosa (Rifqie et al., 2025).

Figura 2. Principales compuestos bioactivos del jugo de caña de azúcar



Fuente: Elaboración propia.

Flavonoides

Los flavonoides constituyen otro grupo clave de compuestos bioactivos en el jugo de caña de azúcar. Entre los más estudiados se encuentran la apigenina, luteolina y tricina. Estos compuestos ejercen efectos biológicos mediante la modulación de vías de señalización celular, incluyendo la inhibición de citocinas proinflamación y la regulación de enzimas antioxidantes. En particular, la apigenina y la luteolina han mostrado efectos antiinflamatorios y cardioprotectores, mientras que la tricina se ha asociado con propiedades antiproliferativas y quimiopreventivas (Barrera et al., 2020). Adicionalmente, se ha demostrado que los flavonoides pueden actuar de

manera sinérgica con otros compuestos fenólicos, potenciando su efecto antioxidante global (Klanrit et al., 2025).

Tabla 1.

Micronutrientes y compuestos bioactivos del jugo de caña de azúcar y sus efectos biológicos

Compuestos	Compuestos específicos	Concentración reportada	Mecanismo biológico	Efectos en la salud	Referencias
Minerales	Potasio	918 mg/L	Regulación osmótica y equilibrio electrolítico	Control de presión arterial, función muscular	(Rifqie et al., 2025)
	Calcio	112 mg/L	Señalización celular, formación ósea	Salud ósea, prevención de osteoporosis	
	Hierro	Variable	Transporte de oxígeno (hemoglobina)	Prevención de anemia	(Pujari et al., 2024)
	Magnesio	Variable	Cofactor enzimático	Función neuromuscular y metabolismo energético	
Vitaminas	Vitamina C	No especificada	Antioxidante hidrosoluble	Reducción de estrés oxidativo, soporte inmune	(Ebadi & Azlan, 2020)
	Complejo B	No especificada	Cofactores metabólicos	Producción de energía	
Ácidos fenólicos	Ácido cafeico	Parte de 26.77 mg GAE/g	Captación de radicales libres	Actividad antioxidante, antiinflamatoria	(Barrera et al., 2020)
	Ácido ferúlico	Incluido en fenoles totales	Protección contra estrés oxidativo	Efecto cardioprotector y antiinflamatorio	
	Ácido clorogénico	Variable	Modulación del metabolismo glucídico	Potencial antidiabético	
Flavonoides	Apigenina	Alta en derivados no refinados	Regulación de vías inflamatorias	Actividad anticancerígena y antiinflamatoria	
	Luteolina	Variable	Inhibición de citocinas inflamatorias	Protección cardiovascular	
	tricina	Alta en caña	Actividad antioxidante y antiproliferativa	Potencial quimiopreventivo	

Compuestos antioxidantes totales	Fenoles totales	26.77 mg GAE/g	Neutralización de radicales libres	Reducción de estrés oxidativo	(Rifqie et al., 2025)
	Flavonoides totales	12.47 mg QE/g	Actividad antioxidante sinérgica	Producción celular	

Fuente: Elaboración propia.

Capacidad antioxidante y estabilidad

La actividad antioxidante del jugo de caña se atribuye a la presencia de compuestos fenólicos y flavonoides; sin embargo, el contenido total de compuestos fenólicos no debe utilizarse como único indicador del potencial antioxidante, sino complementarse con ensayos como DPPH, ABTS, FRAP u ORAC. Algunos estudios tales como el de Kadam et al. (2008) han demostrado que el jugo de caña presenta una alta capacidad para la captación de radicales libres y protección de biomoléculas frente al daño oxidativo mediante ensayos antioxidantes.

De manera similar, Ali et al. (2019) reportaron actividades antioxidantes de 2.3 mg TE/g mediante DPPH y 9.6 mg TE/g mediante ABTS, atribuyendo estos efectos a la presencia de derivados de apigenina, luteolina y tricina. Actualmente Rifqie et al. (2025) determinaron un IC50 de 53.3 ppm mediante el ensayo DPPH, así como contenidos de 26.77mg GAE/g de fenoles totales y 12.47 mg QE/g de flavonoides.

Estos resultados confirman que el jugo de caña contiene compuestos con alta capacidad antioxidante; sin embargo, la composición y concentración de dichos compuestos depende de diversos factores endógenos y ambientales. Por otra parte, a pesar del potencial antioxidante del jugo de caña, la estabilidad de los compuestos bioactivos constituye uno de los principales desafíos para conservar la calidad funcional del jugo, ya que factores tales como el procesamiento térmico, la exposición al oxígeno y el almacenamiento prolongado pueden reducir significativamente su contenido y actividad biológica (Arya & Pal, 2023). En este contexto, las tecnologías emergentes como el procesamiento no térmico (alta presión hidrostática, ultrasonido, campos eléctricos pulsados) han demostrado mejorar la retención de compuestos bioactivos y preservar la calidad funcional del jugo (Tripathy et al., 2025).

Efectos metabólicos

El jugo de caña de azúcar presenta efectos metabólicos complejos derivados principalmente de su alto contenido de azúcares simples, así como de la presencia de compuestos bioactivos. Debido a su elevada concentración de sacarosa, glucosa y fructosa, su consumo favorece un rápido incremento de la glucemia postprandial, lo que se traduce en un alto índice glucémico.

Este efecto puede resultar perjudicial en individuos con resistencia a la insulina o diabetes tipo 2, favoreciendo la hiperglucemia sostenida y el desarrollo de complicaciones metabólicas.

Sin embargo, estudios recientes han demostrado que los polifenoles presentes en el jugo de caña podrían modular parcialmente estos efectos al influir en rutas metabólicas relacionadas con el metabolismo de carbohidratos y lípidos. Se ha observado que ciertos compuestos fenólicos pueden inhibir enzimas digestivas como la α -glucosidasa y la α -amilasa, reduciendo la velocidad de absorción de glucosa (Huang et al., 2022). Así mismo, algunos flavonoides han mostrado capacidad para mejorar la sensibilidad a la insulina mediante la activación de vías como la AMPK (proteína quinasa activada por AMP).

Adicionalmente, el jugo de caña aporta minerales como potasio y magnesio, los cuales desempeñan un papel clave en la homeostasis metabólica, incluyendo la regulación de la presión arterial y la función muscular. No obstante, el balance entre beneficios y riesgos metabólicos depende en gran medida de la cantidad consumida y del estado fisiológico del individuo.

Propiedades hepatoprotectoras

Diversos estudios experimentales han señalado que el jugo de caña y sus extractos poseen actividad hepatoprotectora, la cual ha sido atribuida principalmente a su contenido de antioxidantes naturales. Estos compuestos, incluyendo flavonoides y ácidos fenólicos, ayudan a reducir el daño oxidativo en hepatocitos al neutralizar especies reactivas de oxígeno (ROS) y mejorar la capacidad antioxidante endógena.

Se ha documentado que el consumo de extractos derivados de caña de azúcar puede disminuir los niveles séricos de enzimas hepáticas como ALT, AST y ALP en modelos animales con daño hepático inducido, provocando una mejora en la integridad celular del hígado. Además, algunos estudios indican que estos compuestos pueden modular procesos inflamatorios hepáticos y reducir la acumulación de lípidos, lo cual resulta relevante en el contexto de enfermedades como la esteatosis hepática no alcohólica.

El mecanismo de acción propuesto incluye la regulación de vías celulares asociadas al estrés oxidativo, como la vía Nrf2, así como la inhibición de mediadores proinflamatorios. A pesar de estos hallazgos prometedores, se requiere mayor evidencia clínica en humanos para validar estos efectos (Oliveira et al., 2022).

Actividad antiinflamatoria y cardioprotectora

El jugo de caña contiene compuestos bioactivos con potencial antiinflamatorio, los cuales pueden contribuir a la prevención de enfermedades crónicas no transmisibles. Los polifenoles presentes

en esta bebida han demostrado la capacidad de inhibir la producción de citocinas proinflamatorias con TNF- α , IL-6 e IL-1 β , así como de reducir la activación de factores de transcripción como NF- κ B, implicados en la respuesta inflamatoria (Oliveira et al., 2022).

En términos cardiovasculares, estos efectos antiinflamatorios, junto con la actividad antioxidante, puede favorecer la protección del endotelio, mejorar la función vascular y reducir el riesgo de aterosclerosis. Además, el contenido de potasio en el jugo de caña contribuye a la regulación de la presión arterial, sin embargo, su elevado contenido de azúcares simples podría disminuir estos beneficios si se consume en exceso, incrementando el riesgo de dislipidemias y síndrome metabólico.

Actividad antimicrobiana

El jugo de caña y sus extractos han mostrado actividad antimicrobiana frente a diversas bacterias y hongos, lo que se atribuye a la presencia de compuestos fenólicos, flavonoides y otros metabolitos secundarios. Estos compuestos pueden alterar la integridad de la membrana celular microbiana, interferir con procesos enzimáticos esenciales y generar estrés oxidativo en los microorganismos.

Estudios recientes han reportado actividad inhibitoria frente a bacterias como *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus*, lo que sugiere su potencial como fuente de compuestos antimicrobianos naturales (Huang et al., 2022). Sin embargo, esta actividad depende de la concentración de compuestos bioactivos y de las condiciones de procesamiento. Cabe destacar que, a pesar de esta actividad, el jugo de caña fresco es altamente susceptible a la contaminación microbiana debido a su alto contenido de azúcares y actividad de agua, lo que favorece el crecimiento de microorganismos si no se aplican medidas adecuadas de conservación.

Tecnologías emergentes

Las tecnologías emergentes han cobrado relevancia en la conservación del jugo de caña, ya que permiten mejorar su estabilidad y seguridad sin comprometer significativamente sus propiedades nutricionales. Entre estas destacan las altas presiones hidrostáticas (HPP), los pulsos eléctricos de alto voltaje (PEF) y el ultrasonido.

Estas tecnologías no térmicas han demostrado ser eficientes en la inactivación de microorganismos y enzimas responsables del deterioro, preservando al mismo tiempo compuestos bioactivos sensibles al calor (Huang et al., 2022). En particular, el uso de ultrasonido y PEF ha mostrado mejoras en la estabilidad microbiológica y en la retención de compuestos antioxidantes.

Por otra parte, la fermentación controlada con bacterias ácido lácticas ha emergido como una estrategia prometedora para desarrollar bebidas funcionales a partir de jugo de caña, mejorando su perfil microbiológico y potencialmente reduciendo su contenido de azúcares simples (Qiao et al., 2022).

Estas innovaciones representan una oportunidad para el desarrollo de productos de alto valor agregado, alineados con las tendencias actuales de consumo saludable y sostenible.

Aprovechamiento biotecnológico

El jugo de caña de azúcar constituye una materia prima altamente versátil para aplicaciones biotecnológicas, debido a su elevado contenido de azúcares fermentables, principalmente sacarosa, así como a la presencia de micronutrientes que favorecen el crecimiento microbiano. Estas características lo convierten en un sustrato ideal para procesos fermentativos dirigidos a la obtención de productos o ingredientes de alto valor agregado, como bioetanol, ácidos orgánicos, enzimas y compuestos funcionales. Entre las aplicaciones emergentes, se destaca la producción de fructooligosacáridos (FOS), los cuales son oligosacáridos no digeribles con propiedades prebióticas ampliamente reconocidas (Roberfroid, 2007); (Al-Sheraji et al., 2013). Este enfoque representa una estrategia innovadora para revalorizar matrices ricas en sacarosa como es el jugo de caña de azúcar y subproductos relacionados.

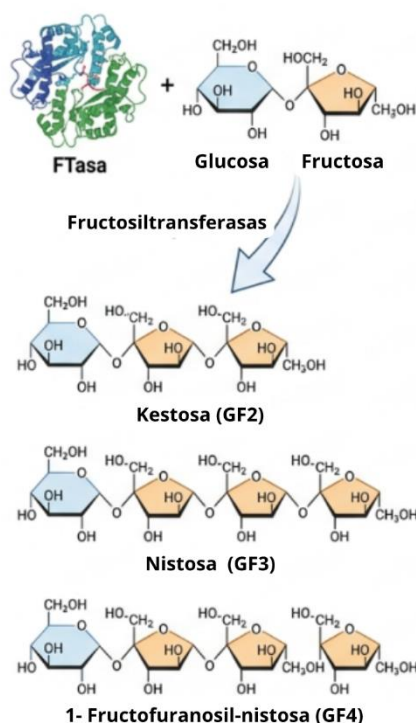
Producción de fructooligosacáridos (FOS) en jugo de caña

La síntesis de FOS se lleva a cabo principalmente mediante la actividad de enzimas fructosiltransferasas (FTasas), las cuales catalizan la transferencia de unidades de fructosa desde la sacarosa hacia aceptores específicos, formando oligómeros tales como kestosa (GF₂), nistosa (GF₃) y 1-b-fructofuranosil-nistosa (GF₄) (Fig. 3). En este contexto, microorganismos filamentosos como *Aspergillus oryzae* han demostrado una alta capacidad para producir estas enzimas en diferentes sistemas de fermentación.

Diversos estudios han explorado el uso de sustratos alternativos ricos en azúcares como el aguamiel para la producción eficiente de FOS. Se han implementado procesos biotecnológicos para la producción su producción mediante fermentación en estado sólido (SSF) utilizando *Aspergillus oryzae* DIA-MF, observando un incremento significativo en la actividad de transfructosilación y en el rendimiento de FOS al emplear aguamiel como medio de cultivo. Este sistema permite una mayor concentración de enzimas y una mejor transferencia de masa en comparación con fermentaciones sumergidas (Muñiz-Márquez et al., 2019). En estudios complementarios, Muñiz-Márquez et al. (2019) evaluaron la producción de FOS mediante cultivo

sumergido (SmF) utilizando el mismo sustrato, demostrando que es posible optimizar la producción mediante el control de variables como pH, temperatura y concentración de sacarosa. Estos resultados evidencian la flexibilidad de los sistemas fermentativos para la obtención de FOS a partir de matrices azucaradas.

Figura 3. Síntesis de FOS mediante la actividad de la enzima fructosiltransferasas (FTasas)



Fuente: elaboración propia.

Diversos estudios han explorado el uso de sustratos alternativos ricos en azúcares como el aguamiel para la producción eficiente de FOS. Se han implementado procesos biotecnológicos para la producción su producción mediante fermentación en estado sólido (SSF) utilizando *Aspergillus oryzae* DIA-MF, observando un incremento significativo en la actividad de transfructosilación y en el rendimiento de FOS al emplear aguamiel como medio de cultivo. Este sistema permite una mayor concentración de enzimas y una mejor transferencia de masa en comparación con fermentaciones sumergidas (Muñiz-Márquez et al., 2019). En estudios complementarios, Muñiz-Márquez et al. (2019) evaluaron la producción de FOS mediante cultivo sumergido (SmF) utilizando el mismo sustrato, demostrando que es posible optimizar la producción mediante el control de variables como pH, temperatura y concentración de sacarosa.

Estos resultados evidencian la flexibilidad de los sistemas fermentativos para la obtención de FOS a partir de matrices azucaradas.

Por otro lado, de la Rosa et al. (2022) destacaron la importancia de optimizar las condiciones de fermentación en estado sólido utilizando sustratos ricos en sacarosa, como aguamiel y derivados de caña de azúcar, para mejorar el rendimiento de fructooligosacáridos (FOS), señalando que factores como la humedad, aireación y tipo de sustrato influyen significativamente en la actividad enzimática y el perfil de oligosacáridos obtenidos. Los autores reportaron un incremento en la producción de FOS y una mayor eficiencia de transfructosilación bajo condiciones controladas de fermentación. Adicionalmente, Picazo et al. (2018) desarrollaron un extracto enzimático con alta actividad Ftasa, empleando medios ricos en sacarosa, como jugo de caña, melaza y soluciones concentradas de sacarosa, lo que permitió optimizar la síntesis de FOS y mejorar su perfil estructural, favoreciendo la producción de oligómeros de cadena corta, los cuales presentan mayor funcionalidad prebiótica.

Más recientemente, Martínez-Pérez et al. (2025) profundizaron en el potencial biotecnológico de *Aspergillus oryzae* DIA-ITDAM, utilizando sustratos azucarados como aguamiel y jugo de caña, destacando su capacidad para producir FOS con alto rendimiento y perfil funcional. Así mismo analizaron aspectos moleculares que permiten comprender mejor los mecanismos de síntesis y regulación enzimática, demostrando que la caracterización genética de *A. oryzae* abre nuevas oportunidades para optimizar la producción de FOS mediante ingeniería metabólica, lo que incrementa la eficiencia del proceso a escala industrial. Este tipo de estudios posiciona a este microorganismo como un candidato clave para aplicaciones industriales utilizando sustratos ricos en azúcares tales como el aguamiel y el jugo de caña de azúcar.

A continuación, se muestra la producción de FOS empleando sustratos ricos en azúcares mediante diferentes estrategias biotecnológicas, cada una con ventajas y limitaciones específicas (Tabla 2).

Tabla 2.

Comparación de estrategias para la producción de fructooligosacáridos (FOS)

Parámetro	Fermentación en estado sólido (SSF)	Fermentación sumergida (SmF)	Proceso enzimático
Definición	Crecimiento microbiano sobre sustratos sólidos con baja humedad	Cultivo microbiano en medio líquido	Uso de enzimas libres o parcialmente purificadas sin crecimiento celular

Microorganismos comunes	<i>Aspergillus oryzae</i> , <i>A. niger</i>	<i>Aspergillus</i> spp., <i>Aureobasidium pullulans</i>	Enzimas Ftasas*
Sustratos utilizados	Aguamiel, bagazo, residuos agroindustriales	Jugo de caña, melaza, soluciones de sacarosa	Sacarosa purificada, jugo de caña o aguamiel
Producción de Ftasas*	Alta (in situ)	Moderada	N/A
Rendimiento de FOS	Alto (favorece transfructosilación)	Moderado alto	Alto (condiciones optimizadas)
Desventajas	Difícil control, heterogeneidad	Mayor costo energético y operativo	Alto costo de enzimas
Ventajas	Bajo costo, uso de residuos, alta producción enzimática	Mayor control y reproducibilidad	Alta especificidad y pureza, eficiencia

Nota: *Ftasas (enzimas fructosiltransferasas)

La producción de fructooligosacáridos (FOS) a partir de jugo de caña de azúcar representa una estrategia biotecnológica con alto potencial para la diversificación de la industria azucarera tradicional. A diferencia del enfoque convencional centrado en la obtención de sacarosa cristalina y bioetanol, la síntesis de FOS permite generar ingredientes funcionales de alto valor agregado, alineados con la creciente demanda global de alimentos saludables y nutraceuticos.

Por otra parte, el uso de subproductos agroindustriales como la melaza, jugo de caña y aguamiel ha cobrado relevancia como estrategia para reducir costos y promover la sostenibilidad. Guerra et al. (2020) destacaron que el aprovechamiento de residuos ricos en sacarosa no solo reduce el impacto ambiental, sino que también mejora la viabilidad económica del proceso biotecnológico. En esta línea, el jugo de caña representa una alternativa particularmente atractiva debido a su disponibilidad y composición, lo que permite integrarlo en esquemas de biorrefinería.

Economía circular y aprovechamiento de subproductos

El aprovechamiento biotecnológico del jugo de caña de azúcar y sus derivados se enmarca dentro del concepto de bioeconomía circular, el cual promueve el uso eficiente y sostenible de los recursos biológicos mediante la valorización integral de la biomasa. En este contexto, la industria azucarera ha evolucionado hacia esquemas de biorrefinería, donde no solo se produce sacarosa, sino también una amplia gama de productos de valor agregado a partir de subproductos como melaza, bagazo, cachaza y jugos intermedios.

El jugo de caña, así como subproductos similares como la melaza y el aguamiel, constituyen matrices ricas en azúcares fermentables que pueden ser utilizadas como sustratos en procesos biotecnológicos para la producción de bioetanol, ácidos orgánicos, enzimas y

compuestos funcionales como los fructooligosacáridos. Este enfoque permite reducir la generación de residuos y mejorar la eficiencia global del sistema productivo (Guerra et al., 2020). Así mismo, el bagazo de caña puede emplearse como soporte en fermentación en estado sólido (SSF), favoreciendo la producción de enzimas como las fructosiltransferasas e incluso de los mismos fructooligosacáridos, mientras que la cachaza puede utilizarse como fuente de nutrientes en cultivos microbianos. Este aprovechamiento integral contribuye a la reducción del impacto ambiental asociado a la agroindustria cañera, particularmente en términos de emisiones de gases de efecto invernadero y contaminación de suelos y cuerpos de agua.

Limitaciones y riesgos

Limitaciones del jugo de caña como materia prima

A pesar del potencial del jugo de caña como materia prima biotecnológica, existen diversas limitaciones y riesgos que deben ser considerados para su aplicación industrial.

Uno de los principales desafíos es la variabilidad en la composición del jugo de caña, la cual depende de factores como el tipo de caña, condiciones climáticas, prácticas agronómicas y estado de madurez del cultivo. Esta variabilidad puede afectar la reproducibilidad de los procesos biotecnológicos y la calidad del producto final, dificultando su estandarización. Otro aspecto crítico es la susceptibilidad a la contaminación microbiana. El jugo de caña presenta una alta actividad de agua y concentración de azúcares, lo que favorece el crecimiento de microorganismos no deseados. Esto no solo compromete la inocuidad del producto, sino que también puede interferir con los procesos fermentativos, reduciendo la eficiencia de producción (Mukhtar et al., 2022).

Limitaciones para la producción biotecnológica de FOS

En términos biotecnológicos, la optimización de la producción de FOS enfrenta limitaciones relacionadas con la competencia entre reacciones de transfructosilación e hidrólisis, lo que puede disminuir el rendimiento de producción. Además, el control del grado de polimerización (DP) sigue siendo un reto importante, ya que influye directamente en las propiedades funcionales de estos compuestos.

Desde el punto de vista económico, los procesos enzimáticos requieren enzimas con alta actividad y estabilidad, cuya producción y purificación pueden incrementar significativamente los costos. Por otro lado, la fermentación en estado sólido, aunque resulta ser más económica, presenta dificultades en el escalamiento debido a problemas de transferencia de masa y calor. También, existen riesgos asociados a la salud, principalmente debido al alto contenido de

azúcares del jugo de caña, lo que puede limitar su uso directo en ciertos productos destinados a poblaciones con enfermedades metabólicas. Aunque la conversión a FOS reduce este problema, es necesario garantizar que el proceso sea eficiente y estandarizado.

Perspectivas futuras

El aprovechamiento biotecnológico del jugo de caña de azúcar representa un panorama prometedor que permite el avance en la biotecnología, ingeniería de procesos y ciencia de alimentos. Una de las principales líneas de desarrollo es el uso de ingeniería metabólica y genética para el desarrollo de cepas microbianas con mayor capacidad de producción de FOS, mayor actividad enzimática a través de enzimas fructosiltransferasas y menor actividad hidrolítica por parte de enzimas hidrolasas. Estudios recientes han reportado el potencial de *Aspergillus oryzae* como un microorganismo clave en la producción de estas enzimas y FOS.

Desde la perspectiva de la salud humana, las investigaciones actuales van orientadas a comprender con mayor precisión el equilibrio entre sus beneficios funcionales y su elevado contenido de azúcar. Si bien, se ha demostrado que los compuestos fenólicos presentes en el jugo de caña poseen actividades antioxidantes, antiinflamatoria y para modular el estrés oxidativo, aún se requieren más estudios clínicos que confirmen estos efectos en humanos y establezcan su uso seguro, principalmente en pacientes con alteraciones en la glucosa.

En el ámbito alimentario, se espera un crecimiento significativo en la demanda de ingredientes funcionales, lo que posiciona a los FOS como un ingrediente importante en el desarrollo de alimentos diseñados para mejorar la salud intestinal y metabólica de los consumidores. Además, la tendencia hacia productos naturales y sostenibles favorecen el uso de materias primas como el jugo de caña.

En conjunto, estas perspectivas sugieren que el jugo de caña de azúcar presenta un potencial para convertirse en un recurso estratégico dentro de la bioeconomía global, siempre que se logre integrar de manera eficiente la innovación tecnológica con criterios de sostenibilidad y viabilidad económica.

Conclusiones

El jugo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) posee un importante potencial como materia prima biotecnológica debido a su contenido de compuestos bioactivos y azúcares fermentables. La evidencia científica reciente demuestra que sus polifenoles y flavonoides presentan propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y hepatoprotectoras, mientras que su composición

en cuanto al contenido de azúcares, lo convierte en un sustrato adecuado para la producción de compuestos de alto valor agregado, como los fructooligosacáridos (FOS).

Así mismo, los avances en los procesos de fermentación, tecnologías emergentes e ingeniería biotecnológica han permitido mejorar la producción y estabilidad de estos compuestos, favoreciendo el desarrollo de alimentos funcionales y procesos más sostenibles. Sin embargo, persisten desafíos relacionados con la estabilidad microbiológica, el alto contenido de azúcares y la escalabilidad industrial.

En conjunto, el aprovechamiento del jugo de caña representa una alternativa prometedora dentro de la bioeconomía circular, con potencial para impulsar innovaciones en la industria alimentaria, nutracéutica y biotecnológica.

BIBLIOGRAFÍA

- Ali, J., Hussain, A., Paracha, G. M., Afridi, M. S., Rahman, I., Hassan, S., & Pakhtunkhwa, K. (2015). Microbiological Quality Evaluation, Preservation and Shelf Life Studies of Sugar Cane Juices Sold in Peshawar City, Khyber Pakhtunkhwa-Pakistan.
- Ali, S. E., El Gedaily, R. A., Mocan, A., Farag, M. A., & El-Seedi, H. R. (2019). Profiling Metabolites and Biological Activities of Sugarcane (*Saccharum officinarum* Linn.) Juice and its Product Molasses via a Multiplex Metabolomics Approach. *Molecules* 2019, Vol. 24, Page 934, 24(5), 934. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES24050934>
- Al-Sheraji, S. H., Ismail, A., Manap, M. Y., Mustafa, S., Yusof, R. M., & Hassan, F. A. (2013). Prebiotics as functional foods: A review. *Journal of Functional Foods*, 5(4), 1542–1553. <https://doi.org/10.1016/J.JFF.2013.08.009>
- Arya, K., & Pal, N. (2023). Investigating the stability of antioxidant compounds in sugarcane juice during processing. *International Journal of Agriculture and Nutrition*, 5(2), 96–99. <https://doi.org/10.33545/26646064.2023.V5.I2B.163>
- Barrera, C., Betoret, N., & Seguí, L. (2020). Phenolic Profile of Cane Sugar Derivatives Exhibiting Antioxidant and Antibacterial Properties. *Sugar Tech*, 22(5), 798–811. <https://doi.org/10.1007/S12355-020-00817-Y>
- Calder, P., Pujari, N., Dedhia, N., Mahajani, S., Shah, N., & Arora, A. (2024). Bioactives and Other Nutritional Components in the Jaggery Production Process. *Proceedings 2023*, Vol. 91, Page 320, 91(1), 320. <https://doi.org/10.3390/PROCEEDINGS2023091320>
- de la Rosa, O., Flores-Gallegos, A. C., Muñíz-Márquez, D., Contreras-Esquivel, J. C., Teixeira, J. A., Nobre, C., & Aguilar, C. N. (2022). Successive Fermentation of Aguamiel and Molasses by *Aspergillus oryzae* and *Saccharomyces cerevisiae* to Obtain High Purity

- Fructooligosaccharides. *Foods*, 11(12), 1786.
<https://doi.org/10.3390/FOODS11121786/S1>
- Ebadi, S., & Azlan, A. (2020). Nutritional Composition and Role of Non-centrifugal Sugar (NCS) in Human Health. *Current Nutrition & Food Science*, 17(3), 249–257.
<https://doi.org/10.2174/1573401316999200728184917/CITE/REFWORKS>
- Guerra, S. P. S., Denadai, M. S., Saad, A. L. M., Spadim, E. R., & Da Costa, M. X. R. (2020). Sugarcane: biorefinery, technology, and perspectives. *Sugarcane Biorefinery, Technology and Perspectives*, 49–65. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814236-3.00003-2>
- Huang, Z., Chen, Y., Huang, R., & Zhao, Z. (2022). Identification and Structure–Activity Relationship of Recovered Phenolics with Antioxidant and Antihyperglycemic Potential from Sugarcane Molasses Vinasse. *Foods* 2022, Vol. 11, Page 3131, 11(19), 3131.
<https://doi.org/10.3390/FOODS11193131>
- Kadam, U. S., Ghosh, S. B., De, S., Suprasanna, P., Devasagayam, T. P. A., & Bapat, V. A. (2008). Antioxidant activity in sugarcane juice and its protective role against radiation induced DNA damage. *Food Chemistry*, 106(3), 1154–1160.
<https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2007.07.066>
- Kaur, G., Kumar, V., Goyal, A., Tanwar, B., & Kaur, J. (2018). Optimization of nutritional beverage developed from radish, sugarcane and herbal extract using response surface methodology. *Nutrition and Food Science*, 48(5), 733–743. <https://doi.org/10.1108/NFS-11-2017-0247>
- Khatun, M. S., Hassanpour, M., Mussatto, S. I., Harrison, M. D., Speight, R. E., O'Hara, I. M., & Zhang, Z. (2021). Transformation of sugarcane molasses into fructooligosaccharides with enhanced prebiotic activity using whole-cell biocatalysts from *Aureobasidium pullulans* FRR 5284 and an invertase-deficient *Saccharomyces cerevisiae* 1403-7A. *Bioresources and Bioprocessing*, 8(1). <https://doi.org/10.1186/S40643-021-00438-7>
- Klanrit, P., Kitwetcharoen, H., Vichitphan, K., Vichitphan, S., Thanonkeo, S., Yamada, M., & Thanonkeo, P. (2025). Enhancing the Bioactive Properties of Sugarcane Vinegar Through *Caesalpinia sappan* Extract Supplementation: A Novel Approach for Functional Beverage Development. *Antioxidants*, 14(5), 590. <https://doi.org/10.3390/ANTIOX14050590/S1>
- Kurakake, M., Masumoto, R. Y. O., Maguma, K., Kamata, A., Saito, E., Ukita, N., & Komaki, T. (2009). Production of Fructooligosaccharides by β -Fructofuranosidases from *Aspergillus oryzae* KB. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(1), 488–492.
<https://doi.org/10.1021/JF903303W>

- Martínez-Pérez, A., Mares-Rodriguez, F. D. J., Muñiz-Márquez, D. B., Marroquín Cardona, A. G., González-Herrera, S. M., & Rutiaga-Quñones, O. M. (2025). Biotechnological Potential for Fructooligosaccharides Production and Molecular Characterization of *Aspergillus oryzae* DIA-ITDAM. *Food Biotechnology*, 39(1), 94–114. <https://doi.org/10.1080/08905436.2025.2458787>
- Mukhtar, K., Nabi, B. G., Arshad, R. N., Roobab, U., Yaseen, B., Ranjha, M. M. A. N., Aadil, R. M., & Ibrahim, S. A. (2022). Potential impact of ultrasound, pulsed electric field, high-pressure processing and microfluidization against thermal treatments preservation regarding sugarcane juice (*Saccharum officinarum*). *Ultrasonics Sonochemistry*, 90, 106194. <https://doi.org/10.1016/J.ULTSONCH.2022.106194>
- Muñiz-Márquez, D. B., Teixeira, J. A., Mussatto, S. I., Contreras-Esquivel, J. C., Rodríguez-Herrera, R., & Aguilar, C. N. (2019). Fructo-oligosaccharides (FOS) production by fungal submerged culture using aguamiel as a low-cost by-product. *LWT*, 102, 75–79. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2018.12.020>
- Mussatto, S. I., & Mancilha, I. M. (2007). Non-digestible oligosaccharides: A review. *Carbohydrate Polymers*, 68(3), 587–597. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2006.12.011>
- Oliveira, A. L. S., Carvalho, M. J., Oliveira, D. L., Costa, E., Pintado, M., & Madureira, A. R. (2022). Sugarcane Straw Polyphenols as Potential Food and Nutraceutical Ingredient. *Foods* 2022, Vol. 11, Page 4025, 11(24), 4025. <https://doi.org/10.3390/FOODS11244025>
- Panigrahi, C., Shaikh, A. E. Y., Bag, B. B., Mishra, H. N., & De, S. (2021). A technological review on processing of sugarcane juice: Spoilage, preservation, storage, and packaging aspects. *Journal of Food Process Engineering*, 44(6), e13706. <https://doi.org/10.1111/JFPE.13706>
- Patel, S., & Goyal, A. (2011). Functional oligosaccharides: Production, properties and applications. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 27(5), 1119–1128. <https://doi.org/10.1007/S11274-010-0558-5>
- Picazo, B., Flores-Gallegos, A. C., Muñiz-Márquez, D. B., Flores-Maltos, A., Michel-Michel, M. R., De La Rosa, O., Rodríguez-Jasso, R. M., Rodríguez-Herrera, R., & Aguilar-González, C. N. (2018). Enzymes for fructooligosaccharides production: Achievements and opportunities. *Enzymes in Food Biotechnology: Production, Applications, and Future Prospects*, 303–320. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813280-7.00018-9>
- Qiao, H., Chen, L., Yang, J., Zhi, W., Chen, R., Lu, T., Tan, H., & Sheng, Z. (2022). Effect of Lactic Acid Bacteria on Bacterial Community Structure and Characteristics of Sugarcane Juice. *Foods* 2022, Vol. 11, Page 3134, 11(19), 3134. <https://doi.org/10.3390/FOODS11193134>

- Rifqie, M. R., Itorul, U. N., Gustiana, G. A., & Dan Salsadela, S. (2025). Phytochemical, Mineral, and Antioxidant Activity of Sugarcane Juice during Processing to Strawberry Syrup and Crystal Sugar. *BIO Web of Conferences*, 183. <https://doi.org/10.1051/BIOCONF/202518301023>
- Roberfroid, M. (2007). Prebiotics: the concept revisited. *The Journal of Nutrition*, 137(3 Suppl 2). <https://doi.org/10.1093/JN/137.3.830S>
- Sankhla, S., Chaturvedi, A., Kuna, A., & Dhanlakshmi, K. (2012). Preservation of Sugarcane Juice Using Hurdle Technology. *Sugar Tech*, 14(1), 26–39. <https://doi.org/10.1007/S12355-011-0127-8>
- Singh, A., Lal, U. R., Mukhtar, H. M., Singh, P. S., Shah, G., & Dhawan, R. K. (2015). Pharmacognosy Reviews. *Pharmacognosy Reviews*, 9(17), 45–54. <https://doi.org/10.4103/0973-7847.156340>
- Tripathy, S., Rout, S., Srivastav, P. P., & Vishwakarma, R. K. (2025). Unveiling Green Technologies in the Clarification and Nonthermal Processing of Sugarcane Juice: A Sustainable Approach to Nutritional Quality and Safety. *Journal of Food Process Engineering*, 48(11), e70253. <https://doi.org/10.1111/JFPE.70253>