

Aguamiel como edulcorante natural: revisión narrativa de sus propiedades nutricionales, glicémicas y tecnológicas frente a otros endulzantes

Agave Sap as a Natural Sweetener: A Narrative Review of Its Nutritional, Glycemic, and Technological Properties Compared to Other Sweeteners

^aDenise Guevara-García, ^bJesús Guadalupe Pérez-Flores, ^cLaura García-Curiel, ^dElizabeth Contreras-López, ^eJudith Jaimez-Ordaz, ^fAlma Elizabeth Cruz-Guerrero

Abstract:

Natural sweeteners have gained interest as alternatives to refined sugars due to their nutritional and functional properties. However, scientific knowledge of aguamiel remains limited compared to honey, maple syrup, and coconut sugar. This review aimed to analyze the chemical composition, glycemic index, technological properties, functional effects, and sustainability of aguamiel in comparison with other natural sweeteners, synthesizing evidence published between 2015 and 2025 in the fields of food science and nutrition. The literature was systematically reviewed to describe its sugar profile, mineral and bioactive compound content, glycemic response, technological behavior, sensory characteristics, metabolic effects, prebiotic potential, and environmental implications. Aguamiel was reported to contain higher levels of fructose and glucose, and its inulin-type fructans provide prebiotic effects absent in honey and maple syrup. It exhibited a low glycemic index, contributing to better postprandial glucose control and beneficial modulation of lipid metabolism, inflammation, and gut microbiota. Technologically, aguamiel showed lower viscosity and thermal stability, which allowed bioactive compounds to be preserved under controlled processing, although with less sensory complexity than honey or maple syrup. Functionally, it demonstrated antioxidant, antihypertensive, and metabolic-regulating effects, while its production in arid environments required minimal water consumption and promoted circular economy strategies through agave by-products. In conclusion, aguamiel emerges as a promising natural sweetener with nutritional, functional, and environmental benefits. Future research should validate its metabolic effects in clinical settings and optimize processing conditions to improve sensory acceptance.

Keywords:

Prebiotics, glycemic index, antioxidant capacity, food sustainability, functional foods

Resumen:

Los edulcorantes naturales han despertado interés como alternativas a los azúcares refinados debido a sus propiedades nutricionales y funcionales. Sin embargo, el conocimiento científico del aguamiel sigue siendo limitado en comparación con la miel, el jarabe de arce y el azúcar de coco. Esta revisión tuvo como objetivo analizar la composición química, el índice glucémico, las propiedades tecnológicas, los efectos funcionales y la sostenibilidad del aguamiel en comparación con otros edulcorantes naturales, sintetizando la evidencia publicada entre 2015 y 2025 en ciencia de los alimentos y nutrición. Se revisó sistemáticamente la literatura para describir su perfil de azúcares, contenido de minerales y compuestos bioactivos, respuesta glucémica, comportamiento tecnológico, características sensoriales, efectos metabólicos, potencial prebiótico e implicaciones ambientales. Se reportó que el aguamiel contiene más fructosa y glucosa, y que los fructanos de tipo inulina proporcionan efectos prebióticos ausentes en la miel y el jarabe de arce. Presentó un bajo índice glucémico, lo que contribuye a un mejor control de la glucosa posprandial y a una modulación beneficiosa del metabolismo lipídico, la inflamación y la microbiota intestinal. Tecnológicamente, el aguamiel mostró menor viscosidad y estabilidad térmica, lo que permitió conservar compuestos bioactivos bajo procesamiento controlado, aunque con menor complejidad sensorial que la miel o el jarabe de arce. Funcionalmente, demostró efectos antioxidantes, antihipertensivos y reguladores metabólicos, mientras que su producción en entornos áridos requirió mínimo consumo de agua y promovió estrategias de economía circular con

^cAutor de Correspondencia, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México, <https://orcid.org/0009-0008-3992-8099>, Email: laura.garcia@uaeh.edu.mx

^aUniversidad Autónoma del estado de Hidalgo, México, <https://orcid.org/0009-0008-3992-8099>, Email: guevaradenise0906@gmail.com

^bUniversidad Autónoma del estado de Hidalgo, México, <https://orcid.org/0000-0002-9654-3469>, Email: jesus_perez@uaeh.edu.mx

^dUniversidad Autónoma del estado de Hidalgo, México, <https://orcid.org/0009-0007-0919-4760>, Email: elizac@uaeh.edu.mx

^eUniversidad Autónoma del estado de Hidalgo, México, <https://orcid.org/0000-0001-6655-0759>, Email: jjaimenez@uaeh.edu.mx

^fUniversidad Autónoma del estado de Hidalgo, México, <https://orcid.org/0000-0002-9686-2267>, Email: aec@xanum.uam.mx

subproductos del agave. En conclusión, el aguamiel se perfila como un edulcorante natural prometedor con beneficios nutricionales, funcionales y ambientales. Futuras investigaciones deberían validar sus efectos metabólicos en entornos clínicos y optimizar su procesamiento para mejorar la aceptación sensorial.

Palabras Clave:

Prebióticos, índice glucémico, capacidad antioxidante, sostenibilidad alimentaria, alimentos funcionales

Introducción

Durante la última década, la búsqueda de alternativas más naturales y menos procesadas frente a los azúcares refinados ha transformado el panorama de los edulcorantes. Opciones como la miel, el jarabe de maple, el azúcar de coco, la stevia y el aguamiel, extraído de plantas de agave, se utilizan por su diversidad composicional, su valor cultural y su potencial para incorporarse en dietas más equilibradas. La miel ha sido empleada desde las civilizaciones antiguas como alimento y con fines terapéuticos [1]. El jarabe de maple ha mantenido presencia en la alimentación de comunidades originarias de América del Norte y se valora por su perfil fenólico y sabor distintivo [2]. El azúcar de coco, procedente de la savia de palma, ha ganado popularidad por su menor índice glicémico respecto al azúcar común [3], mientras que la stevia, derivada de Stevia rebaudiana, ofrece dulzor intenso sin aportar energía, lo que la hace atractiva para personas que regulan su ingesta calórica [4]. El aguamiel tiene especial relevancia en México, donde se emplea desde tiempos prehispánicos como alimento y base de bebidas fermentadas tradicionales como el pulque [5].

Estos edulcorantes naturales aportan compuestos bioactivos que no se encuentran en azúcares refinados, como minerales traza y antioxidantes. Los derivados de agave se han caracterizado por su bajo índice glicémico, que atenúa las fluctuaciones de glucosa en sangre [1]. La miel y el jarabe de maple contienen fenoles asociados con actividad antioxidant [6]. Sin embargo, todos los edulcorantes aportan energía calórica, y su consumo debe evaluarse en relación con la salud metabólica. La ingesta excesiva de azúcares refinados se vincula con resistencia a la insulina, esteatosis hepática y mayor riesgo de obesidad y diabetes tipo 2 [6]. Estos riesgos han incrementado el interés por edulcorantes con menor grado de procesamiento que puedan integrarse en estrategias dietéticas más compatibles con la prevención de trastornos metabólicos.

El aguamiel destaca por su composición y por la forma artesanal en que se obtiene. Contiene azúcares fermentables, principalmente fructanos, que favorecen la microbiota intestinal y aportan minerales como calcio, potasio y magnesio, lo que amplía su valor nutricional [7,8]. A diferencia del jarabe de agave procesado térmicamente, donde se alteran algunas propiedades

bioactivas, el aguamiel fresco conserva un perfil más diverso de nutrientes y compuestos funcionales [1]. Recientes aplicaciones en alimentos han demostrado que puede sustituir parcial o totalmente a los azúcares refinados manteniendo propiedades sensoriales estables y favoreciendo la calidad fisicoquímica de productos como mermeladas y bebidas [9].

Aun con estas ventajas, el conocimiento científico sobre aguamiel es limitado en comparación con otros edulcorantes naturales como miel y jarabe de maple. Persiste la falta de evidencia sobre su respuesta glicémica, la variabilidad composicional entre especies de agave y su desempeño tecnológico en aplicaciones industriales. Además, el impacto metabólico de los edulcorantes naturales sigue siendo objeto de debate. Algunos estudios describen que la miel y el jarabe de maple provocan respuestas glicémicas más moderadas que los azúcares refinados, aunque sus resultados no son uniformes y su elevado contenido de azúcares continúa siendo un motivo de preocupación en personas con alteraciones metabólicas [10]. De igual forma, los procesos térmicos pueden degradar compuestos bioactivos y generar hidroximetilfurural (HMF), marcador de deterioro de calidad en mieles, jarabe de maple y jarabes de agave sometidos a calentamiento [5,11]. Estas incertidumbres evidencian la necesidad de análisis comparativos que integren la composición nutricional, las propiedades glicémicas, el comportamiento tecnológico y las implicaciones para la salud en los distintos edulcorantes naturales.

El interés creciente en endulzantes con etiquetas "limpias" y en alimentos funcionales respalda la pertinencia de revisar de forma comparativa el aguamiel junto con otros edulcorantes naturales. Analizar su densidad nutricional, su impacto glicémico y sus aplicaciones tecnológicas ofrece una base para promover su incorporación en alimentos como una alternativa viable y culturalmente vinculada frente a los azúcares refinados.

Con base en todo lo anterior, el objetivo de esta contribución fue analizar la evidencia científica publicada entre 2015 y 2025 para comparar la composición química, el índice glicémico, las propiedades tecnológicas, funcionales y sensoriales del aguamiel (savia fresca de agave) con otros edulcorantes naturales como miel, jarabe de maple, azúcar de coco y stevia, mediante una revisión de literatura especializada en ciencias de los alimentos y nutrición, con el propósito de interpretar sus ventajas,

limitaciones y potencial de aplicación en la formulación de alimentos funcionales y como alternativa saludable frente a los azúcares refinados.

Composición química de aguamiel frente a otros edulcorantes naturales

El aguamiel, también conocido como savia de agave, comparte similitudes y diferencias con otros edulcorantes naturales como la miel, el jarabe de maple, el azúcar de coco y el jarabe de agave en lo que respecta a su perfil de azúcares, el contenido mineral y la presencia de compuestos bioactivos. Su composición está dominada por fructosa y glucosa, con una mayor proporción de fructosa, un perfil comparable al del jarabe de agave, aunque distinto al de la miel, que presenta una distribución similar pero en proporciones diferentes [1]. Este edulcorante contiene además inulina, un polisacárido de interés por sus propiedades prebióticas y su influencia sobre la salud intestinal [5].

La miel concentra alrededor de 38 % de fructosa y 31 % de glucosa, mientras que el jarabe de maple está compuesto principalmente por sacarosa, cuya proporción varía según la temporada de recolección de la savia debido a la actividad microbiana que altera el contenido final de azúcares [12-14]. El azúcar de coco se distingue por su predominancia de sacarosa, que puede alcanzar entre 70 % y 80 %, muy superior al perfil dominado por fructosa presente en el aguamiel [15]. Factores como el estado fisiológico de las plantas y el momento de extracción de la savia determinan las variaciones en la composición de azúcares, tal como ocurre en diferentes especies de agave [16].

Más allá del contenido de carbohidratos, estos edulcorantes naturales aportan minerales y compuestos fenólicos que contribuyen a su capacidad antioxidante. El aguamiel contiene vitaminas, minerales y fenoles que le confieren propiedades bioactivas comparables a las de otros edulcorantes naturales [5]. Su actividad antioxidante se asocia a los fenoles y a la vitamina C presentes en su composición [17]. La miel concentra ácidos fenólicos y flavonoides que explican parte de su capacidad antioxidante [6]. Tanto la miel como el jarabe de agave exhiben actividad antioxidante, aunque la concentración de polifenoles varía según la fuente floral de la miel y los métodos de procesamiento aplicados al jarabe de agave [18].

El jarabe de maple aporta minerales como manganeso y zinc, además de mostrar actividad antioxidante moderada;

sin embargo, las variantes más oscuras presentan mayor concentración de fenoles desarrollados durante la ebullición de la savia [19,20]. La concentración de estos compuestos bioactivos depende de las técnicas de extracción y evaporación; un procesamiento térmico excesivo puede degradar antioxidantes sensibles y modificar el perfil fenólico final [21,22]. De manera similar, los jarabes menos refinados suelen conservar una mayor proporción de nutrientes y compuestos funcionales, mientras que la concentración intensiva reduce sus propiedades nutricionales [21].

La variabilidad composicional de estos edulcorantes depende de factores botánicos, estacionales y de procesamiento. En el caso del aguamiel, la especie de agave, la ubicación geográfica y la época de recolección determinan su contenido de azúcares fermentables, aminoácidos, vitaminas y compuestos fenólicos [5,23]. Esta tendencia es comparable con la miel, cuyo perfil fenólico y actividad antioxidante dependen del origen floral y las condiciones climáticas [24]. La estacionalidad también influye en la composición del jarabe de maple, donde la calidad de la savia varía a lo largo de la temporada de cosecha y los ciclos de congelación-descongelación determinan el flujo óptimo de savia [25]. La producción tardía de savia en maple puede presentar defectos de calidad por la actividad microbiana y por cambios en los árboles que ocurren al final del ciclo vegetativo, lo que altera los parámetros fisicoquímicos del producto final [26]. Procesos como la evaporación y la concentración térmica influyen de manera directa en la composición final del aguamiel y del jarabe de maple, intensificando los sabores naturales y modificando los componentes fitoquímicos [27,28]. Estas variaciones se han documentado también en la miel, donde el origen del néctar, el clima y las prácticas de manejo generan diversidad composicional, un comportamiento similar al observado en el aguamiel y en el jarabe de maple [29,30]. El aguamiel presenta un perfil de azúcares y compuestos bioactivos que lo distingue de otros edulcorantes naturales y amplía su potencial nutricional y funcional. Las variaciones derivadas del origen botánico, la estacionalidad y los métodos de procesamiento evidencian la necesidad de caracterizar con mayor precisión su composición para comprender sus aplicaciones tecnológicas y su impacto en la salud. La Tabla 1 resume de forma comparativa los perfiles de carbohidratos, minerales, compuestos fenólicos, factores de variabilidad y particularidades sensoriales de aguamiel frente a miel, jarabe de maple y azúcar de coco, resaltando las similitudes y diferencias que definen sus propiedades.

Tabla 1. Comparación ampliada de la composición química, compuestos bioactivos y características tecnológicas de aguamiel frente a otros edulcorantes naturales.

Aspecto	Aguamiel	Miel de abeja	Jarabe de maple	Azúcar de coco	Referencias
Perfil de azúcares	Predomina fructosa (40–50%), seguida de glucosa (30–40%) y sacarosa en menor proporción (<10%). Contiene fructanos e inulina con efecto prebiótico. La composición varía según especie de agave y momento de extracción.	~38% fructosa, ~31% glucosa, con trazas de sacarosa. No presenta FOS. Las proporciones dependen del origen floral y clima.	Principalmente sacarosa (>60%), con glucosa y fructosa en proporciones menores. Se observa variabilidad estacional por actividad microbiana en la savia.	Dominada por sacarosa (70-80%), con glucosa y fructosa en bajas proporciones. No contiene inulina. Varía por método de extracción y variedad de palma.	[1,5,12–16]
Minerales predominantes	Aporta calcio, potasio y magnesio en concentraciones moderadas, además de oligoelementos como zinc y hierro en trazas.	Potasio, calcio y magnesio en niveles relevantes, con zinc, hierro y manganeso en menores cantidades.	Rico en manganeso y zinc; moderado en calcio y potasio. El perfil mineral está asociado a la especie de árbol y tipo de suelo.	Contiene niveles elevados de potasio y trazas de zinc, hierro y magnesio. El contenido depende de la variedad de la palma y el procesamiento.	[6,8,15,20]
Fenoles y capacidad antioxidante	Fenoles asociados a vitamina C y flavonoides; capacidad antioxidante comparable a otros edulcorantes no refinados. Conserva más compuestos bioactivos cuando no se somete a calor prolongado.	Ácidos fenólicos y flavonoides con fuerte capacidad antioxidante; varía según la flora visitada por las abejas.	Las variedades claras contienen menos polifenoles; los jarabes oscuros concentran más fenoles desarrollados durante la ebullición.	Capacidad antioxidante moderada, menor que miel y aguamiel; los niveles de polifenoles dependen del grado de refinamiento.	[6,15,17–19,21]
Factores que modifican la composición	Especie de agave, condiciones geográficas, estado fisiológico y época de extracción. Procesos térmicos modifican azúcares y fenoles.	Origen floral, clima y tiempo de cosecha determinan su perfil fenólico y actividad antioxidante.	La savia cambia con los ciclos de congelación y descongelación; calidad disminuye al final de temporada por actividad microbiana.	Variedad de palma, clima y método de evaporación determinan variabilidad.	[16,23–26]
Particularidades tecnológicas y sensoriales	Sabor herbal, ligeramente ácido; viscosidad menor que el jarabe de agave. Tiende a fermentar fácilmente si no se procesa.	Aroma floral y dulzor suave; buena estabilidad en panificación y bebidas.	Sabor caramelizado intenso; viscosidad alta; oscurecimiento por reacciones de Maillard más marcado en cosechas tardías.	Sabor similar a caramelo suave; puede cristalizar con textura granulada; estabilidad variable frente al calor.	[9,15,18,21]

Índice glicémico y efectos metabólicos de aguamiel frente a otros edulcorantes naturales

El índice glicémico (IG) y la carga glicémica (CG) son parámetros relevantes para evaluar el impacto de los edulcorantes naturales sobre la glucemia posprandial. La variabilidad de estos valores entre aguamiel, miel, jarabe

de maple, azúcar de coco y stevia condiciona su utilización en dietas orientadas al control glucémico. Los alimentos con IG bajo promueven respuestas más moderadas de glucosa e insulina, lo que resulta beneficioso para personas con resistencia a la insulina, diabetes o síndrome metabólico [31,32].

Entre los edulcorantes más estudiados, la miel presenta un IG moderado cercano a 58, mientras que el azúcar de coco se reporta con valores alrededor de 35, lo que reduce los picos de glucosa en comparación con la sacarosa refinada [33]. Los jarabes derivados del agave, incluidos el aguamiel, muestran valores que oscilan entre 15 y 39, ubicándose en un rango considerado bajo y con implicaciones favorables para la regulación de la glucemia [31,32]. Por su parte, la stevia, al ser un edulcorante no calórico, posee IG nulo y no genera respuesta glicémica, lo que la hace adecuada para dietas que buscan reducir la CG total [34]. La evidencia sugiere que los edulcorantes de bajo IG pueden mejorar la saciedad y contribuir a una menor ingesta calórica, favoreciendo la salud metabólica [35,36].

Más allá del efecto inmediato sobre la glucemia, la literatura describe beneficios metabólicos adicionales asociados a compuestos presentes en aguamiel y fructanos derivados del agave. Estudios en modelos animales han mostrado que los fructanos pueden mejorar la sensibilidad a la insulina y los perfiles lipídicos, además de modular la respuesta inflamatoria mediante un aumento en los niveles de interleucina-10 y una reducción de citoquinas proinflamatorias [37,38]. El jugo de agave también ha demostrado actividades hipoglucemiantes, antidislipidémicas y antioxidad en modelos de síndrome metabólico, lo que refuerza su potencial en la regulación metabólica [39].

En comparación, la miel ha mostrado en algunos estudios efectos positivos sobre el metabolismo de lípidos y glucosa, aunque su impacto puede variar según el tipo de miel y las condiciones experimentales [40,41]. El jarabe de

maple presenta un IG menor que el azúcar refinado, pero su evidencia metabólica directa es más limitada y generalmente se asocia a una respuesta insulinémica más moderada [42]. La disparidad en los resultados disponibles refuerza la necesidad de estudios comparativos con diseños controlados que evalúen la respuesta metabólica a distintos edulcorantes naturales bajo condiciones similares.

Además de los efectos glicémicos directos, el aguamiel y los fructanos del agave destacan por su influencia en la microbiota intestinal. Al ser carbohidratos no digeribles, llegan intactos al colon donde son fermentados por bacterias beneficiosas, generando ácidos grasos de cadena corta como butirato, propionato y acetato, los cuales modulan la integridad intestinal y contribuyen al control glucémico e inflamatorio [43–45]. Estos efectos prebióticos no son observables en la misma magnitud con miel o jarabe de maple, ya que carecen de oligofructanos y están compuestos principalmente por azúcares simples que no ejercen fermentación selectiva sobre la microbiota [46].

Los edulcorantes derivados del agave, en particular el aguamiel, muestran ventajas potenciales para la salud metabólica asociadas a un índice glicémico bajo, una mejor regulación de lípidos y glucosa, efectos antiinflamatorios y propiedades prebióticas. La comparación con otros edulcorantes naturales como la miel, el jarabe de maple, el azúcar de coco y la stevia permite contextualizar sus beneficios y comprender mejor sus implicaciones en el control glucémico, la modulación inflamatoria y la microbiota intestinal. La Tabla 2 presenta una comparación del índice glicémico, la respuesta postprandial, los efectos sobre el metabolismo lipídico e insulínico, la actividad antiinflamatoria y la influencia sobre la microbiota de cada edulcorante, evidenciando las similitudes y diferencias que orientan su posible aplicación en dietas enfocadas en el manejo metabólico.

Aspecto	Aguamiel	Miel de abeja	Jarabe de maple	Azúcar de coco	Stevia	Referencias
Índice glicémico (IG)	Bajo, estimado entre 15 y 39; asociado a liberación lenta de glucosa y mejor control glucémico	Moderado (~58), varía según origen floral y contenido de fructosa	Moderado, menor que azúcar refinada pero alto en sacarosa	Bajo (~35), contribuye a menor pico glicémico que la sacarosa	Cero, no produce respuesta glicémica	[31–34]
Respuesta postprandial de glucosa	Reduce picos glicémicos, favorece dietas de control metabólico	Menor que la sacarosa pero dependiente del tipo de miel	Más moderada que azúcar refinada; evidencia limitada	Atenua elevación de glucosa por su bajo IG	No altera glucemia	[10,32,33]

Aspecto	Aguamiel	Miel de abeja	Jarabe de maple	Azúcar de coco	Stevia	Referencias
Impacto en metabolismo lipídico e insulina	Fructanos de agave mejoran sensibilidad a la insulina, perfil lipídico y reducen resistencia	Puede mejorar perfil lipídico, aunque efecto varía según miel	Asociado a menor inflamación hepática vs. sacarosa	No descrito con profundidad, pero considerado menos dañino que la sacarosa	No tiene impacto metabólico directo, útil para dietas de control calórico	[6,37–39,41]
Actividad antiinflamatoria	Aumenta IL-10 y reduce citoquinas proinflamatorias en modelos de síndrome metabólico	Efecto variable; algunos tipos de miel muestran modulación inflamatoria	Contiene fenoles que atenúan inflamación hepática	No reportado específicamente	No tiene actividad antiinflamatoria directa	[6,37]
Efectos sobre microbiota y SCFA	Fructanos llegan intactos al colon, promueven <i>Lactobacillus</i> y <i>Bifidobacterium</i> ; aumentan butirato, propionato y acetato	Limitada modulación microbiana; mayor efecto antimicrobiano que prebiótico	No aporta carbohidratos no digeribles; sin efecto prebiótico relevante	No contiene FOS, no genera fermentación selectiva	No fermentable, sin efecto prebiótico	[43–46]

Tabla 2. Índice glicémico y efectos metabólicos de aguamiel y otros edulcorantes naturales.

Propiedades tecnológicas y sensoriales

El procesamiento térmico de edulcorantes naturales modifica su estabilidad, composición química y propiedades sensoriales, aspectos relevantes para su aprovechamiento en formulaciones alimentarias. En la concentración del aguamiel para producir jarabe, el calentamiento favorece la formación de 5-hidroximetilfurfural (HMF), un compuesto vinculado a la degradación de azúcares reductores y a reacciones de Maillard. La presencia de HMF se ve condicionada por la temperatura aplicada, la duración del tratamiento térmico y la proporción inicial de azúcares, lo que también conlleva variaciones cromáticas que acentúan tonalidades ámbar en el producto final [8,47,48].

En miel y jarabe de maple se observa un comportamiento térmico similar. En la miel, la alta concentración de azúcares y la baja actividad de agua favorecen la formación de HMF cuando se someten a calentamiento prolongado, fenómeno que compromete la calidad fisicoquímica del producto. En el jarabe de maple, el procesamiento térmico induce reacciones de Maillard que alteran el color y las notas aromáticas, modificando sus propiedades sensoriales y aumentando la concentración de compuestos fenólicos generados por caramelización [49–51].

La viscosidad es otro atributo tecnológico que varía entre estos endulzantes durante la concentración. El aguamiel presenta una viscosidad relativamente baja en comparación con miel y jarabe de maple, lo que puede influir en la textura final de las formulaciones alimentarias en las que se incorpora. En la miel y el jarabe de maple, el incremento de viscosidad es más pronunciado durante la concentración, contribuyendo a una consistencia más espesa, rasgo valorado en productos de repostería y confitería [52,53].

El tratamiento térmico influye tanto en las propiedades físicas como en la actividad antioxidante de los edulcorantes naturales. La exposición a temperaturas elevadas durante períodos prolongados puede disminuir la capacidad antioxidante, lo que se refleja en una reducción del contenido de compuestos fenólicos y vitamina C en los jarabes obtenidos. En el caso del aguamiel, ciertos compuestos bioactivos logran conservarse bajo condiciones de calentamiento controladas; sin embargo, su estabilidad disminuye cuando se superan los parámetros óptimos de procesamiento [5,48,51,54].

Además de la estabilidad térmica, el aguamiel destaca por sus propiedades reológicas derivadas de la presencia de fructanos. Estos polisacáridos actúan como modificadores de viscosidad y mejoran la textura en formulaciones como bebidas y productos de panificación. El uso de fructanos de agave en geles alimentarios ha mostrado efectos favorables sobre la consistencia y la estabilidad,

ofreciendo una alternativa funcional a la sacarosa y a otros jarabes tradicionales (Rodríguez-Rodríguez et al., 2022). Procesos fermentativos aplicados al aguamiel generan exopolisacáridos microbianos que también alteran la viscosidad y contribuyen a la textura y estabilidad de las bebidas, efecto que no se observa en la misma magnitud en miel ni en jarabe de maple [55,56].

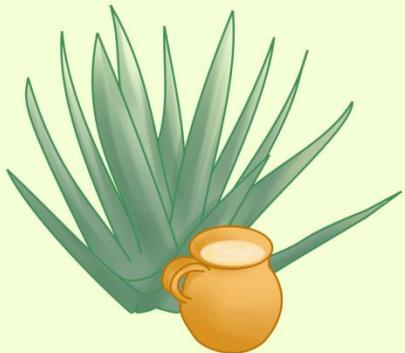
Las propiedades sensoriales de estos edulcorantes también presentan diferencias relevantes. El aguamiel ofrece un perfil de sabor más neutro, ligeramente terroso y menos complejo que la miel, cuyo aroma y dulzor varían en función del origen floral y del contenido volátil asociado. La miel exhibe una gama más amplia de notas sensoriales que generan mayor aceptación en consumidores acostumbrados a su complejidad aromática [57,58]. El jarabe de maple se caracteriza por un sabor caramelizado intenso, resultado de las reacciones térmicas durante su concentración, mientras que el azúcar de coco aporta notas suaves similares al caramelo pero con una textura granulada menos apreciada en ciertas aplicaciones culinarias [59].

La percepción del consumidor no depende únicamente del nivel de dulzor, sino también de la interacción entre aroma, textura y consistencia. Estudios sensoriales han

demonstrado que las propiedades aromáticas complejas de la miel influyen en su preferencia frente a otros edulcorantes, mientras que el aguamiel, pese a ser apreciado por su perfil simple y natural, suele obtener menor puntuación en atributos como complejidad aromática o persistencia del sabor. La textura cremosa de la miel y su mayor viscosidad contribuyen a una experiencia sensorial más rica que la percibida con aguamiel o jarabe de maple [60–62].

Las propiedades tecnológicas y sensoriales del aguamiel, como su baja viscosidad, su menor complejidad aromática y su estabilidad térmica controlada, lo distinguen de otros edulcorantes naturales como miel, jarabe de maple y azúcar de coco. Estas diferencias, que también incluyen variaciones en la formación de HMF, el cambio de color y la percepción del sabor, condicionan su uso en la industria alimentaria y afectan su aceptación en formulaciones que buscan equilibrar atributos funcionales, estabilidad y preferencia del consumidor. La Figura 1 ilustra de forma comparativa estos aspectos de cada edulcorante, destacando sus particularidades tecnológicas y sensoriales.

Aguamiel



- Formación de HMF
- Baja viscosidad
- Sabor neutro

Miel



- Formación de HMF
- Alta viscosidad
- Notas florales

Jarabe de maple



- Cambio de color
- Alta viscosidad
- Sabor a caramelo

Azúcar de coco



- Cambio de color
- Textura granulosa
- Sabor a caramelo

Figura 1. Comparación visual de las propiedades tecnológicas y sensoriales de aguamiel, miel de abeja, jarabe de maple y azúcar de coco, destacando los efectos del procesamiento térmico, la viscosidad y el perfil sensorial predominante en cada edulcorante.

Aplicaciones funcionales y nutracéuticas

El interés por edulcorantes con propiedades que trascienden la simple función endulzante ha impulsado la investigación sobre matrices que contribuyen a la salud metabólica y gastrointestinal. El aguamiel concentra azúcares fermentables, aminoácidos, vitaminas y compuestos bioactivos que pueden incorporarse en

bebidas, productos de panificación y confitería, aportando un perfil más completo que otros edulcorantes como miel y jarabe de maple [8].

Una de sus particularidades es la presencia de oligosacáridos y fructanos que favorecen la fermentación selectiva por *Lactobacillus* y *Bifidobacterium*, generando ácidos grasos de cadena corta que modulan la microbiota intestinal y refuerzan la integridad epitelial [63–65]. La

sinergia con probióticos ha mostrado resultados favorables en la salud digestiva, como la mejora de la constipación crónica en niños mediante la combinación de inulina de agave y cepas probióticas específicas [43].

En comparación, la miel presenta compuestos antimicrobianos y cierta capacidad para modular la microbiota, pero carece del efecto bifidogénico característico de las agavinas presentes en los fructanos del agave, responsables de cambios más selectivos en la composición microbiana [66,67]. Esta diferenciación coloca al aguamiel en un contexto funcional que no comparten otros edulcorantes naturales.

El aguamiel también ha mostrado actividad antioxidante y efectos sobre parámetros metabólicos en modelos experimentales. Su incorporación en matrices como helados probióticos mantiene la viabilidad de las bacterias benéficas y se asocia a efectos antihipertensivos derivados de sus compuestos bioactivos [23]. En formulaciones de panificación, la sustitución parcial o total de azúcares refinados por aguamiel reduce la carga glicémica, aporta propiedades prebióticas y mantiene

atributos sensoriales comparables a los obtenidos con miel o jarabe de maple [5].

En productos de confitería, el aprovechamiento de saponinas y otros metabolitos presentes en el aguamiel amplía las posibilidades de formulaciones orientadas a la prevención de enfermedades metabólicas y crónicas como diabetes y ciertos tipos de cáncer [8]. Aunque la miel y el jarabe de maple contienen fenoles con capacidad antioxidante, su impacto sobre la glucemia y la respuesta insulínica es menos favorable frente a los edulcorantes derivados del agave, que inducen una menor elevación de la glucosa posprandial [68].

La inclusión del aguamiel en productos alimentarios también está vinculada a su aceptación regulatoria y a sistemas de perfilado nutricional que evalúan su aporte funcional. Modelos de clasificación basados en contenido bioactivo y potencial prebiótico permiten considerarlo como un sustituto viable de edulcorantes convencionales en formulaciones con un enfoque más saludable [69].

Tabla 3. Aplicaciones funcionales y nutracéuticas del aguamiel frente a otros edulcorantes naturales.

Edulcorante	Compuestos funcionales principales	Mecanismo fisiológico asociado	Aplicaciones en matrices alimentarias	Alcance nutracéutico	Referencias
Aguamiel (savia de agave)	Fructanos, agavinas, saponinas, compuestos fenólicos, vitamina C	Prebiótico: estimula <i>Lactobacillus</i> y <i>Bifidobacterium</i> , genera SCFA; antioxidante; antihipertensivo; modula lípidos y glucemia	Bebidas funcionales, helados probióticos, panificación con menor carga glicémica, confitería con compuestos bioactivos	Mejora tránsito intestinal, reduce inflamación, modula metabolismo de glucosa y lípidos, potencial preventivo frente a diabetes y ciertos cánceres	[8,23,63–65]
Miel	Flavonoides, ácidos fenólicos, compuestos antimicrobianos naturales	Antioxidante; antimicrobiano; modulación limitada de microbiota	Productos de panificación, bebidas, confitería; uso como conservante natural	Atenua estrés oxidativo, efectos variables sobre glucemia, favorece cicatrización y salud oral	[66–68]
Jarabe de maple	Fenoles derivados de reacciones térmicas, minerales (manganese y zinc)	Antioxidante moderado; menor respuesta glicémica que azúcar refinado	Endulzante en bebidas, panadería y repostería; saborizante caramelizado	Contribuye con antioxidantes y minerales, pero con menor impacto metabólico comparado con fructanos	[68]
Azúcar de coco	Sacarosa, trazas de minerales y fenoles	IG bajo; efecto leve en modulación glucémica por liberación más lenta de glucosa	Sustituto parcial en repostería y bebidas; preferido en formulaciones veganas	Disminuye picos glicémicos frente a la sacarosa, pero sin efectos prebióticos relevantes	[33]

Sostenibilidad, mercado y percepción del aguamiel frente a otros edulcorantes naturales

La sostenibilidad asociada a la producción de aguamiel se relaciona con las características fisiológicas del agave y con las prácticas agrícolas implementadas en regiones áridas. Las especies de agave utilizan metabolismo ácido de las crasuláceas (CAM), lo que les permite desarrollarse con requerimientos hídricos mínimos y en suelos de baja fertilidad, optimizando la eficiencia en el uso de agua y favoreciendo la agricultura en zonas marginales [70,71]. Estas condiciones reducen la presión sobre recursos hídricos y permiten aprovechar tierras que no compiten con cultivos alimentarios convencionales. Prácticas tradicionales como el acolchado con piedras, retomadas para el cultivo moderno de agave, han mostrado ser eficaces para conservar humedad y fomentar sistemas agrícolas de secano más resilientes [72].

En contraste, la producción de miel y jarabe de maple depende de sistemas que requieren mayor disponibilidad de agua y condiciones ambientales específicas. La producción apícola se vincula a la floración de especies vegetales que demandan agua para su desarrollo, mientras que el aprovechamiento de la savia de maple implica manejo forestal intensivo y depende de ciclos climáticos óptimos para la extracción, con una estacionalidad más restrictiva [73]. Estos factores hacen que, en contextos de zonas áridas, el agave represente una alternativa más eficiente en términos ecológicos frente a la apicultura y la explotación forestal para la obtención de jarabe de maple.

La valorización de residuos generados durante la extracción de aguamiel contribuye a un modelo de economía circular. Los subproductos pueden transformarse en biofertilizantes y bioenergía, como bioetanol, generando beneficios económicos y reduciendo el impacto ambiental del proceso [74]. Los residuos del agave también se emplean para la elaboración de bebidas tradicionales como el pulque, extendiendo el aprovechamiento integral de la planta [75]. En comparación, los subproductos de la miel y del jarabe de maple, como la cera o restos vegetales, presentan menor desarrollo de cadenas de valor asociadas, limitando su integración en procesos sostenibles [76].

El análisis comparativo del impacto ambiental evidencia que el cultivo de agave implica menor transformación del uso de suelo que las prácticas agrícolas intensivas asociadas a otros cultivos para endulzantes. El manejo de agave favorece la biodiversidad y mitiga la erosión en zonas semiáridas, mientras que las prácticas de monocultivo ligadas a la producción de miel y maple

pueden generar degradación ecológica cuando no se gestionan adecuadamente [77,78].

En el mercado global, la demanda de endulzantes naturales ha crecido impulsada por la preferencia de consumidores por productos asociados a estilos de vida saludables y etiquetados limpios. Se proyecta que el mercado de estos endulzantes superará los 39 mil millones de dólares para 2026, impulsado por el interés en alternativas con menor índice glicémico y beneficios adicionales para la salud [79,80]. Este contexto ha permitido que México se posicione como exportador de jarabes derivados de agave, ampliando su presencia en mercados internacionales interesados en opciones sostenibles y de origen natural [2].

La percepción del consumidor frente al aguamiel se ve influida por atributos sensoriales, etiquetado y asociación con beneficios para la salud. Estudios recientes muestran que la aceptación está ligada al sabor, aroma y textura, factores determinantes para la decisión de compra en endulzantes como miel y maple, y que se están evaluando también para el aguamiel [10,81]. La comunicación de propiedades como bajo índice glicémico, origen orgánico y menor impacto ambiental incrementa la disposición a pagar por este tipo de productos, tendencia observada también para la miel de origen certificado y el jarabe de maple con etiquetado que destaca su perfil nutricional [82,83].

En este escenario, la conciencia sobre los efectos del consumo excesivo de azúcares refinados impulsa el interés por endulzantes naturales que ofrezcan beneficios adicionales. El aguamiel, por su perfil sostenible, sus propiedades metabólicas y su vínculo cultural, tiene potencial para fortalecer su posicionamiento como alternativa en mercados que priorizan salud, trazabilidad y menor huella ambiental [84,85].

La evaluación de la sostenibilidad y del mercado de los edulcorantes naturales integra dimensiones que abarcan el manejo de recursos, el aprovechamiento de subproductos y la percepción de los consumidores. El cultivo de agave se adapta a zonas áridas, requiere menos agua y permite estrategias de economía circular como la obtención de biofertilizantes y bioetanol, mientras que la producción de miel y jarabe de maple demanda condiciones ambientales más restrictivas y ofrece menor diversificación en cadenas de valor. En el ámbito comercial, la preferencia por productos con bajo impacto ambiental y etiquetado saludable favorece la aceptación del aguamiel en mercados internacionales. La Figura 2 sintetiza estas relaciones, mostrando cómo cada edulcorante se posiciona en términos de sostenibilidad ambiental, posibilidades de valorización de residuos y percepción del consumidor, lo que permite visualizar de

manera integrada su potencial competitivo en el mercado global.



Figura 2. Representación visual comparativa de la sostenibilidad ambiental, la economía circular y la percepción de mercado del aguamiel frente a la miel y el jarabe de maple, destacando diferencias en requerimientos de recursos, valorización de subproductos y aceptación del consumidor.

Conclusiones y perspectivas

El análisis comparativo permitió evidenciar que el aguamiel posee un perfil de azúcares dominado por fructosa y glucosa, con presencia de fructanos de efecto prebiótico, diferenciándose de la miel, el jarabe de maple

y el azúcar de coco por su composición más favorable para la modulación de la microbiota intestinal y el control glucémico. Se confirmó que su índice glicémico se mantuvo en rangos bajos, contribuyendo a respuestas metabólicas más estables y mostrando efectos adicionales en la regulación de lípidos, inflamación y sensibilidad a la

insulina. En el ámbito tecnológico, el aguamiel exhibió menor viscosidad y una estabilidad térmica que permitió conservar compuestos bioactivos bajo tratamientos controlados, aunque su perfil sensorial resultó menos complejo que el de la miel o el maple. En términos funcionales, se destacó su potencial como ingrediente nutracéutico en bebidas, panificación y confitería, gracias a su capacidad prebiótica y antioxidante, mientras que su producción mostró ventajas en sostenibilidad, al requerir menos agua y adaptarse a sistemas agrícolas de bajo impacto ambiental.

Se proyectó que futuras investigaciones deberían profundizar en estudios clínicos controlados que confirmen los efectos metabólicos del aguamiel en poblaciones con resistencia a la insulina o diabetes tipo 2. Se consideró necesario caracterizar con mayor precisión la variabilidad composicional derivada de las especies de agave, la estacionalidad y los métodos de extracción, así como optimizar procesos tecnológicos para mejorar su estabilidad y aceptación sensorial. Además, se recomendó explorar su integración en formulaciones funcionales de mayor valor agregado y su impacto en matrices alimentarias fermentadas. Desde el enfoque de sostenibilidad, se planteó evaluar modelos de economía circular asociados a los subproductos del agave y su potencial como insumo en biotecnología alimentaria, fortaleciendo su posicionamiento como edulcorante natural competitivo en mercados globales.

Agradecimientos

Conflictos de intereses

El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

Referencias

- [1] Saraiva A, Carrascosa C, Ramos F, Raheem D, Raposo A. Agave Syrup: Chemical Analysis and Nutritional Profile, Applications in the Food Industry and Health Impacts. *Int J Environ Res Public Health* 2022;19:7022. <https://doi.org/10.3390/ijerph19127022>.
- [2] Saraiva A, Carrascosa C, Raheem D, Ramos F, Raposo A. Natural Sweeteners: The Relevance of Food Naturalness for Consumers, Food Security Aspects, Sustainability and Health Impacts. *Int J Environ Res Public Health* 2020;17:6285. <https://doi.org/10.3390/ijerph17176285>.
- [3] Sadhu P, Rathod F, Kumari M, Shah N, Talele C, Aundhia C. Exploring Stevia: A Natural Sweetener with Multifaceted Health Benefits. *J Nat Remedies* 2024;757–64. <https://doi.org/10.18311/jnr/2024/36196>.
- [4] Pham H, Phillips LK, Jones KL. Acute Effects of Nutritive and Non-Nutritive Sweeteners on Postprandial Blood Pressure. *Nutrients* 2019;11:1717. <https://doi.org/10.3390/nu11081717>.
- [5] Hernández-Ramos L, García-Mateos R, Ybarra-Moncada MaC, Colinas-León MT. Nutritional value and antioxidant activity of the maguey syrup (*Agave salmiana* and *A. mapisaga*) obtained through three treatments. *Not Bot Horti Agrobot Cluj-Napoca* 2020;48:1306–16. <https://doi.org/10.15835/nbha48311947>.
- [6] Valle M, St-Pierre P, Pilon G, Marette A. Differential Effects of Chronic Ingestion of Refined Sugars versus Natural Sweeteners on Insulin Resistance and Hepatic Steatosis in a Rat Model of Diet-Induced Obesity. *Nutrients* 2020;12:2292. <https://doi.org/10.3390/nu12082292>.
- [7] Rojas-Rivas E, Viesca-González FC, Favila-Cisneros HJ, Cuffia F. Consumers' perception of a traditional fermented beverage in Central Mexico: An exploratory study with the case of pulque. *Br Food J* 2019;122:708–21. <https://doi.org/10.1108/bfj-05-2019-0317>.
- [8] Santos-Zea L, Rosas-Pérez AM, Leal-Díaz AM, Gutiérrez-Uribe JA. Variability in Saponin Content, Cancer Antiproliferative Activity and Physicochemical Properties of Concentrated Agave Sap. *J Food Sci* 2016;81. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13376>.
- [9] Ramírez-Peña S, Pérez-Ruiz RV, Ruiz-Hernández R, Aguilar-Toalá JE, Fabela-Morón MF, Díaz-Ramírez M. Effect of sugar substitution by aguamiel on the physicochemical quality of pear jam pear (*Pyrus communis* L.). Agro Product 2022. <https://doi.org/10.32854/agrop.v15i11.2446>.
- [10] Mora MR, Dando R. The sensory properties and metabolic impact of natural and synthetic sweeteners. *Compr Rev Food Sci Food Saf* 2021;20:1554–83. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12703>.
- [11] Salazar Llorente EJ, Alvarado Álvarez HJ, Castro Cano JM, Sosa Arias BM, Puga Lascano SA. Evaluation of hydroxymethylfurfural content in commercial and artisanal bee honey from Los Ríos-Babahoyo. *Bionatura* 2023;8:1–8. <https://doi.org/10.21931/rb/2023.08.01.4>.
- [12] Garcia EJ, McDowell T, Ketola C, Jennings M, Miller JD, Renaud JB. Metabolomics reveals chemical changes in *Acer saccharum* sap over a maple syrup production season. *PLOS ONE* 2020;15:e0235787. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0235787>.
- [13] Garfa A, Silvestro R, Sassamoto Kurokawa SY, Rossi S, Deslauriers A, Lavoie S. Sugar Maple and Red Maple Face-Off: Which Produces More and Sweeter Sap? *Appl Sci* 2025;15:1091. <https://doi.org/10.3390/app15031091>.
- [14] Yamamoto T, Sato K, Kubota Y, Mitamura K, Taga A. Effect of dark-colored maple syrup on cell proliferation of human gastrointestinal cancer cell. *Biomed Rep* 2017;7:6–10. <https://doi.org/10.3892/br.2017.910>.
- [15] Saraiva A, Carrascosa C, Ramos F, Raheem D, Lopes M, Raposo A. Coconut Sugar: Chemical Analysis and Nutritional Profile; Health Impacts; Safety and Quality Control; Food Industry Applications. *Int J Environ Res Public Health* 2023;20:3671. <https://doi.org/10.3390/ijerph20043671>.
- [16] Muñiz-Márquez DB, Contreras JC, Rodríguez R, Mussatto SI, Wong-Paz JE, Teixeira JA, et al. Influence of thermal effect on sugars composition of Mexican Agave syrup. *CyTA - J Food* 2015;1–6. <https://doi.org/10.1080/19476337.2015.1028452>.
- [17] Velázquez Ríos IO, González-García G, Mellado-Mojica E, Veloz García RA, Dzul Cauich JG, López MG, et al. Phytochemical profiles and classification of Agave syrups using 1H-NMR and chemometrics. *Food Sci Nutr* 2019;7:3–13. <https://doi.org/10.1002/fsn3.755>.
- [18] Khoo HE, Chen BJ, Li J, Li X, Cheng SH, Azlan A. Emerging natural and high-phenolic sweet substances: A review. *Int Food Res J* 2023;30:303–23. <https://doi.org/10.47836/ifrj.30.2.03>.
- [19] Nagai N, Yamamoto T, Tanabe W, Ito Y, Kurabuchi S, Mitamura K, et al. Changes in Plasma Glucose in Otsuka Long-Evans Tokushima Fatty Rats After Oral Administration of Maple Syrup. *J Oleo Sci* 2015;64:331–5. <https://doi.org/10.5650/jos.ess14075>.
- [20] Siebenhaller S, Gentes J, Infantes A, Muhle-Goll C, Kirschhäuser F, Brenner-Weiß G, et al. Lipase-Catalyzed Synthesis of Sugar Esters in Honey and Agave Syrup. *Front Chem* 2018;6. <https://doi.org/10.3389/fchem.2018.00024>.

- [21] Ramadan MF, Gad HA, Farag MA. Chemistry, processing, and functionality of maple food products: An updated comprehensive review. *J Food Biochem* 2021;45. <https://doi.org/10.1111/jfbc.13832>.
- [22] Unno T. Antioxidant Activity of Different Grades of Maple Syrup as Determined by the Hydrophilic Oxygen Radical Absorbance Capacity Method. *Food Sci Technol Res* 2015;21:495–8. <https://doi.org/10.3136/fstr.21.495>.
- [23] Hernández-Riveros E, Olvera-Rosales LB, Jaimez-Ordaz J, Pérez-Escalante E, Contreras-López E, Cruz-Guerrero AE, et al. Production of an Ice Cream Base with Added Lacticaseibacillus rhamnosus GG and Aguamiel Syrup: Probiotic Viability and Antihypertensive Capacity. *Dairy* 2024;5:451–63. <https://doi.org/10.3390/dairy5030035>.
- [24] Jaśkiewicz K, Szczeńsa T, Jachula J. How Phenolic Compounds Profile and Antioxidant Activity Depend on Botanical Origin of Honey—A Case of Polish Varietal Honeys. *Molecules* 2025;30:360. <https://doi.org/10.3390/molecules30020360>.
- [25] Peters J, Huish R, Taylor D, Munson B. Comparative Analysis of Four Maple Species for Syrup Production in South-Central Appalachia. *J Agric Food Syst Community Dev* 2020;1:10. <https://doi.org/10.5304/jafscd.2020.092.015>.
- [26] Dantas JMMD, Álvares Monge Neto A, Ghislain T, Lavoie J-M. Bioethanol Production as an Alternative End for Maple Syrups with Flavor Defects. *Fermentation* 2022;8:58. <https://doi.org/10.3390/fermentation8020058>.
- [27] Puopolo T, Li H, Ma H, Schrader JM, Liu C, Seeram NP. Uncovering the anti-inflammatory mechanisms of phenolic-enriched maple syrup extract in lipopolysaccharide-induced peritonitis in mice: insights from data-independent acquisition proteomics analysis. *Food Funct* 2023;14:6690–706. <https://doi.org/10.1039/d3fo01386c>.
- [28] Sun J, Ma H, Seeram NP, Rowley DC. Detection of Inulin, a Prebiotic Polysaccharide, in Maple Syrup. *J Agric Food Chem* 2016;64:7142–7. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b03139>.
- [29] Guenaoui N, Mouhoubi-Tafinine Z, Amessis-Ouchemoukh N, Saimi M, Saïdi H, Ayad R, et al. Pollen profiles, physico-chemical parameters, in vitro antioxidant and anti-inflammatory activities of honeys and anti-browning effect of honeys on apple. *Mediterr J Nutr Metab* 2024;17:15–33. <https://doi.org/10.3233/mnm-230037>.
- [30] Tarapatskyy M, Sowa P, Zagula G, Džugan M, Puchalski C. Assessment of the Botanical Origin of Polish Honeys Based on Physicochemical Properties and Bioactive Components with Chemometric Analysis. *Molecules* 2021;26:4801. <https://doi.org/10.3390/molecules26164801>.
- [31] Dereje N, Bekele G, Nigatu Y, Worku Y, Holland RP. Glycemic Index and Load of Selected Ethiopian Foods: An Experimental Study. *J Diabetes Res* 2019;2019:1–5. <https://doi.org/10.1155/2019/8564879>.
- [32] Peppa M, Manta A, Mavroeidi I, Nastos C, Pikoulis E, Syrigos K, et al. Dietary Approach of Patients with Hormone-Related Cancer Based on the Glycemic Index and Glycemic Load Estimates. *Nutrients* 2023;15:3810. <https://doi.org/10.3390/nu15173810>.
- [33] Sawitzki F, Silva MAMD. Glycemic response of coconut sugar, sucrose and brown sugar in healthy subjects. *UNITING Knowl. Integr. Sci. Res. Glob. Dev.* 1st ed., Seven Editora; 2023. <https://doi.org/10.56238/uniknowindevolp-014>.
- [34] Yu D, Zhang X, Shu X-O, Cai H, Li H, Ding D, et al. Dietary glycemic index, glycemic load, and refined carbohydrates are associated with risk of stroke: a prospective cohort study in urban Chinese women. *Am J Clin Nutr* 2016;104:1345–51. <https://doi.org/10.3945/ajcn.115.129379>.
- [35] Silva KC, Nobre LN, De Castro Ferreira Vicente SE, Moreira LL, Do Carmo Lessa A, Lamounier JA. Influence of glycemic index and glycemic load of the diet on the risk of overweight and adiposity in childhood. *Rev Paul Pediatr Engl Ed* 2016;34:293–300. <https://doi.org/10.1016/j.rppede.2015.12.009>.
- [36] Wang ML, Gellar L, Nathanson BH, Pbert L, Ma Y, Ockene I, et al. Decrease in Glycemic Index Associated with Improved Glycemic Control among Latinos with Type 2 Diabetes. *J Acad Nutr Diet* 2015;115:898–906. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2014.10.012>.
- [37] González-Garibay AS, Sandoval G, Torres-González OR, Bastidas-Ramírez BE, Sánchez-Hernández IM, Padilla-Camberos E. Agave-Laurate-Bioconjugated Fructans Decrease Hyperinsulinemia and Insulin Resistance, Whilst Increasing IL-10 in Rats with Metabolic Syndrome Induced by a High-Fat Diet. *Pharmaceuticals* 2024;17:1036. <https://doi.org/10.3390/ph17081036>.
- [38] Padilla-Camberos E, Arrizón J, Sandoval G. Effect of Agave Fructan Bioconjugates on Metabolic Syndrome Parameters in a Murine Model. *Pharmaceuticals* 2023;16:412. <https://doi.org/10.3390/ph16030412>.
- [39] Chege BM, Nyaga NM, Kaur PS, Misigo WO, Khan N, Wanyonyi WC, et al. The significant antidiabetic, hypoglycemic, antihyperglycemic, and antiobesity activities of the aqueous extracts of Agave sisalana juice are partly mediated via modulation of calcium signaling pathways. *Heliyon* 2023;9:e12400. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12400>.
- [40] Igbinoba SI, Akanmu MA, Onyeji CO, Soyinka JO, Owolabi AR, Nathaniel TI, et al. Influence of a Nigerian honey on CYP3A4 biotransformation of quinine in healthy volunteers. *J Clin Pharm Ther* 2015;40:545–9. <https://doi.org/10.1111/jcpt.12303>.
- [41] Shikoo EY, Bakeel BFH. Effect of Honey on Blood Sugar Level and Lipids Metabolism in Male Rabbits. *Electron J Univ Aden Basic Appl Sci* 2021;2:87–92. <https://doi.org/10.47372/ejua-ba.2021.2.94>.
- [42] Tura A, Chemello G, Szendroedi J, Göbl C, Færch K, Vrbiková J, et al. Prediction of clamp-derived insulin sensitivity from the oral glucose insulin sensitivity index. *Diabetologia* 2018;61:1135–41. <https://doi.org/10.1007/s00125-018-4568-4>.
- [43] García Contreras A, Vásquez Garibay E, Sánchez Ramírez C, Fafutis Morris M, Delgado Rizo V. Lactobacillus reuteri DSM 17938 and Agave Inulin in Children with Cerebral Palsy and Chronic Constipation: A Double-Blind Randomized Placebo Controlled Clinical Trial. *Nutrients* 2020;12:2971. <https://doi.org/10.3390/nu12102971>.
- [44] García-Curbelo Y, Bocourt R, Savón LL, García-Vieyra MI, López MG. Prebiotic effect of Agave fourcroydes fructans: an animal model. *Food Funct* 2015;6:3177–82. <https://doi.org/10.1039/c5fo00653h>.
- [45] González-Herrera SM, Simental-Mendía LE, López MG, Rocha-Guzmán NE, Rutiaga-Quiñones OM, Rodríguez-Herrera R, et al. Effect of agave fructans on the production of short chain fatty acid in mice. *Food Sci Biotechnol* 2019;28:1493–8. <https://doi.org/10.1007/s10068-019-00572-1>.
- [46] Torres-Maravilla E, Méndez-Trujillo V, Hernández-Delgado NC, Bermúdez-Humarán LG, Reyes-Pavón D. Looking inside Mexican Traditional Food as Sources of Synbiotics for Developing Novel Functional Products. *Fermentation* 2022;8:123. <https://doi.org/10.3390/fermentation8030123>.
- [47] Ávila Lara DD, Rubio-Ríos A, Rosales-Marines L, Solanilla-Duque JF, Flores-Gallegos AC, Rodríguez-Herrera R. Optimization of parameters of a single effect evaporator for agave syrup production. *DYNA* 2021;88:118–22. <https://doi.org/10.15446/dyna.v88n219.97085>.
- [48] Rascón L, Cruz M, Rodríguez-Jasso RM, Neira-Vielma AA, Ramírez-Barrón SN, Belmares R. Effect of Ohmic Heating on Sensory, Physicochemical, and Microbiological Properties of “Aguamiel” of Agave salmiana. *Foods* 2020;9:1834. <https://doi.org/10.3390/foods9121834>.
- [49] Berg AKVD, Perkins TD, Isselhardt ML. Composition and Properties of Maple Sap, Concentrate, and Permeate. *Agric Sci* 2019;10:32–45. <https://doi.org/10.4236/as.2019.101004>.
- [50] Bhatta S, Ratti C, Stevanovic T. Impact of drying processes on properties of polyphenol-enriched maple sugar powders. *J Food Process Eng* 2019;42. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13239>.
- [51] Toufeili I, Itani M, MonaZeidan M, Yamani OA, Kharroubi S. Nutritional and Functional Potential of Carob Syrup Versus Date and Maple Syrup. *Food Technol Biotechnol* 2022;60:266–78. <https://doi.org/10.17113/ftb.60.02.22.7419>.

- [52] Ozuna C, Trueba-Vázquez E, Moraga G, Llorca E, Hernando I. Agave Syrup as an Alternative to Sucrose in Muffins: Impacts on Rheological, Microstructural, Physical, and Sensorial Properties. *Foods* 2020;9:895. <https://doi.org/10.3390/foods9070895>.
- [53] Rodríguez-Rodríguez R, Barajas-Álvarez P, Morales-Hernández N, Camacho-Ruiz RM, Espinosa-Andrews H. Physical Properties and Prebiotic Activities (*Lactobacillus* spp.) of Gelatine-Based Gels Formulated with Agave Fructans and Agave Syrups as Sucrose and Glucose Substitutes. *Molecules* 2022;27:4902. <https://doi.org/10.3390/molecules27154902>.
- [54] Yargatt R, Muley A. Agave syrup as a replacement for sucrose: An exploratory review. *Funct Foods Health Dis* 2022;12:590. <https://doi.org/10.31989/ffhd.v12i10.1003>.
- [55] Cázares-Vásquez ML, Rodríguez-Herrera R, Aguilar-González CN, Sáenz-Galindo A, Solanilla-Duque JF, Contreras-Esquível JC, et al. Microbial Exopolysaccharides in Traditional Mexican Fermented Beverages. *Fermentation* 2021;7:249. <https://doi.org/10.3390/fermentation7040249>.
- [56] Letaief T, Mejri J, Ressureição S, Abderrabba M, Costa R. Extraction of *Ziziphus lotus* fruit syrups: effect of enzymatic extraction and temperature on the rheological and chemical properties. *Int Agrophysics* 2021;35:31–40. <https://doi.org/10.31545/intagr/131801>.
- [57] Kivima E, Tanilas K, Martverk K, Rosenvald S, Timberg L, Laos K. The Composition, Physicochemical Properties, Antioxidant Activity, and Sensory Properties of Estonian Honeys. *Foods* 2021;10:511. <https://doi.org/10.3390/foods10030511>.
- [58] Piana ML, Cianciabella M, Daniele GM, Badiani A, Rocculi P, Tappi S, et al. Influence of the Physical State of Two Monofloral Honeys on Sensory Properties and Consumer Satisfaction. *Foods* 2023;12:986. <https://doi.org/10.3390/foods12050986>.
- [59] Erdogan SL, Çetintas Y, Barut YT, Süfer Ö, Koç GÇ, Yüksel AN. Exploring Granola Production Through Oven And Microwave Baking With Different Sweeteners In Trendy Breakfast Cereal 2024. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3890897/v1>.
- [60] Marcazzan GL, Mucignat-Caretta C, Marina Marchese C, Piana ML. A review of methods for honey sensory analysis. *J Apic Res* 2018;57:75–87. <https://doi.org/10.1080/00218839.2017.1357940>.
- [61] Medici S, Sarlo E, Sánchez Pascua G, García De La Rosa S, Casales MR, Fuselli S. Characterization of Argentine honeys based on odour, colour and flavour attributes by descriptive sensory analysis. *Columella J Agric Environ Sci* 2023;10:37–48. <https://doi.org/10.18380/szie.colum.2023.10.2.37>.
- [62] Šedík P, Pocot CB, Ivanišová E. Interdisciplinary Approach Towards Consumer Acceptability of Flavoured Honey: Case of Young Generation in Slovakia. *Bull Univ Agric Sci Vet Med Cluj-Napoca Food Sci Technol* 2020;77:57–66. <https://doi.org/10.15835/buasvmcnfst:2020.0039>.
- [63] Aldrete-Herrera PI, López MG, Medina-Torres L, Ragazzo-Sánchez JA, Calderón-Santoyo M, González-Ávila M, et al. Physicochemical Composition and Apparent Degree of Polymerization of Fructans in Five Wild Agave Varieties: Potential Industrial Use. *Foods* 2019;8:404. <https://doi.org/10.3390/foods8090404>.
- [64] García-Gamboa R, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, Gradilla-Hernández MS, Ortiz-Basurto RI, García-Reyes RA, González-Avila M. Assessment of intermediate and long chains agave fructan fermentation on the growth of intestinal bacteria cultured in a gastrointestinal tract simulator. *Rev Mex Ing Quím* 2019;19:827–38. <https://doi.org/10.24275/rmiq/bio842>.
- [65] Plascencia A, Gutiérrez-Mora A, Rodríguez-Domínguez JM, Castañeda-Nava JJ, Gallardo-Valdez J, Shimada H, et al. Molecular weight distribution of fructans extracted from *Agave salmiana* leaves. *Bot Sci* 2022;100:657–66. <https://doi.org/10.17129/botsci.2960>.
- [66] Dolores VÁ, Valle-de La Paz M, Reyes Ríos R, Perales Rosas D. Agave cupreata fructans, encapsulation as pro and prebiotics. *J Appl Biotechnol Bioeng* 2023;10:159–62. <https://doi.org/10.15406/jabb.2023.10.00343>.
- [67] López-Velázquez G, Parra-Ortiz M, Mora I, García-Torres I, Enríquez-Flores S, Alcántara-Ortigoza M, et al. Effects of Fructans from Mexican Agave in Newborns Fed with Infant Formula: A Randomized Controlled Trial. *Nutrients* 2015;7:8939–51. <https://doi.org/10.3390/nu7115442>.
- [68] Martha-Lucero N, Cruz-Guerrero A, Favela-Torres E, Viniegra-González G, Cira-Chávez LA, Estrada-Alvarado MI. Lactic acid production by direct fermentation of agave fructans. *J Chem Technol Biotechnol* 2025;100:935–41. <https://doi.org/10.1002/jctb.7828>.
- [69] Labonté M-È, Poon T, Gladanac B, Ahmed M, Franco-Arellano B, Rayner M, et al. Nutrient Profile Models with Applications in Government-Led Nutrition Policies Aimed at Health Promotion and Noncommunicable Disease Prevention: A Systematic Review. *Adv Nutr* 2018;9:741–88. <https://doi.org/10.1093/advances/nmy045>.
- [70] Davis SC, Kuzmick ER, Niechayev N, Hunsaker DJ. Productivity and water use efficiency of *Agave americanana* in the first field trial as bioenergy feedstock on arid lands. *GCB Bioenergy* 2017;9:314–25. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12324>.
- [71] Owen NA, Fahy KF, Griffiths H. Crassulacean acid metabolism (CAM) offers sustainable bioenergy production and resilience to climate change. *GCB Bioenergy* 2016;8:737–49. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12272>.
- [72] Ortiz-Cano H, Hernandez-Herrera JA, Hansen NC, Petersen SL, Searcy MT, Mata-Gonzalez R, et al. Pre-Columbian Rock Mulching as a Strategy for Modern Agave Cultivation in Arid Marginal Lands. *Front Agron* 2020;2. <https://doi.org/10.3389/fagro.2020.00010>.
- [73] Valdivieso Solís DG, Vargas Escamilla CA, Mondragón Contreras N, Galván Valle GA, Gilés-Gómez M, Bolívar F, et al. Sustainable Production of Pulque and Maguey in Mexico: Current Situation and Perspectives. *Front Sustain Food Syst* 2021;5. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.678168>.
- [74] Parascand MM, Sanchez N, Sandoval-Salas F, Carreto CM, Soreanu G, Sanchez-Silva L. Environmental and economic analysis of bioethanol production from sugarcane molasses and agave juice. *Environ Sci Pollut Res* 2021;28:64374–93. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15471-4>.
- [75] Escalante A, López Soto DR, Velázquez Gutiérrez JE, Giles-Gómez M, Bolívar F, López-Munguía A. Pulque, a Traditional Mexican Alcoholic Fermented Beverage: Historical, Microbiological, and Technical Aspects. *Front Microbiol* 2016;7. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01026>.
- [76] Tetreault D, McCullagh C, Lucio C. Distilling agro-extractivism: Agave and tequila production in Mexico. *J Agric Change* 2021;21:219–41. <https://doi.org/10.1111/jaac.12402>.
- [77] Herrera-Pérez L, Valtierra-Pacheco E, Ocampo-Fletes I, Tornero-Campante MA, Hernández-Plascencia JA, Rodríguez-Macías R. Evaluation of the sustainability of two types of *Agave tequilana* Weber var. Blue agroecosystems in Tequila, Jalisco. *Agrociencia* 2023. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v57i8.2638>.
- [78] Martínez JM, Baltierra-Trejo E, Taboada-González P, Aguilar-Virgen Q, Marquez-Benavides L. Life Cycle Environmental Impacts and Energy Demand of Craft Mezcal in Mexico. *Sustainability* 2020;12:8242. <https://doi.org/10.3390/su12198242>.
- [79] Battling S, Engel T, Herweg E, Niehoff P-J, Pesch M, Scholand T, et al. Highly efficient fermentation of 5-keto-d-fructose with *Gluconobacter oxydans* at different scales. *Microb Cell Factories* 2022;21. <https://doi.org/10.1186/s12934-022-01980-5>.
- [80] Kim E. Effects of Natural Alternative Sweeteners on Metabolic Diseases. *Clin Nutr Res* 2023;12:229. <https://doi.org/10.7762/cnr.2023.12.3.229>.
- [81] Souza PBA, Santos MDF, Carneiro JDDS, Pinto VRA, Carvalho EEN. The effect of different sugar substitute sweeteners on sensory aspects of sweet fruit preserves: A systematic review. *J Food Process Preserv* 2022;46. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16291>.
- [82] Sparacino A, Merlini VM, Blanc S, Borrà D, Massaglia S. A Choice Experiment Model for Honey Attributes: Italian Consumer Preferences and Socio-Demographic Profiles. *Nutrients* 2022;14:4797. <https://doi.org/10.3390/nu14224797>.

- [83] Zhu K, Aykas DP, Rodriguez-Saona LE. Pattern Recognition Approach for the Screening of Potential Adulteration of Traditional and Bourbon Barrel-Aged Maple Syrups by Spectral Fingerprinting and Classical Methods. *Foods* 2022;11:2211. <https://doi.org/10.3390/foods11152211>.
- [84] Ahmad NN, Khairatun SiN, Ungku Zainal Abidin UF. Factors influencing Intention to Purchase Fraudulent Honey among Malaysian Consumers. *Int J Acad Res Bus Soc Sci* 2021;11. <https://doi.org/10.6007/ijarbss/v11-i4/9040>.
- [85] Oh H-J, Lee D, Lee H-J, Kim S-R. Investigation of the Incorporation and Authenticity of C4 Sugars in Natural Sugar Products Distributed in Jeju Using Carbon Isotope Ratio. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 2024;53:762–9. <https://doi.org/10.3746/jkfn.2024.53.7.762>.