

**Análisis de alternativas para el reemplazo de azúcares en alimentos procesados y  
ultraprocesados**

Ricardo Arango Giraldo

Asesora:

Andrea Vasquez Garcia

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería - ECBTI

Ingeniería de Alimentos

2024

## Resumen

La tendencia por reemplazar completa o parcialmente los azúcares de las formulaciones de los alimentos procesados y ultraprocesados cada vez toma más fuerza debido a las advertencias generadas por entidades como la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización Panamericana de la Salud (OPS) que relacionan el excesivo consumo de estos ingredientes con el desarrollo de enfermedades no transmisibles como la obesidad y la diabetes. La presente monografía nace con el objetivo de identificar alternativas de ingredientes disponibles para realizar dichos reemplazos de azúcares en fórmulas de diferentes categorías de alimentos procesados y ultraprocesados, la cual fue realizada mediante la revisión bibliográfica de fuentes como libros de autores reconocidos, publicaciones en revistas científicas en inglés y en español, publicaciones de información de la OMS, OPS y normatividad colombiana, cuyo periodo de publicación se encuentra entre los años 2001 y 2024, con un 40.3% de la bibliografía con fecha de publicación de los últimos 5 años. Como resultado se encontraron diversas opciones para la sustitución de azúcares en alimentos procesados y ultraprocesados, las cuales incluyen dos tipos de alternativas, las convencionales y las soluciones que han sido investigadas en los últimos años. Dentro de las alternativas convencionales se presentan opciones como las fibras, polialcoholes y edulcorantes naturales y artificiales para generar los reemplazos descritos, mientras que en las alternativas que hasta el momento están investigándose se incluyen el uso de proteínas edulcorantes y los azúcares poco comunes. Con los resultados entregados de la monografía se establece una fuente de consulta importante para analizar opciones de reemplazos de azúcares en alimentos procesados y ultraprocesados, las opciones presentadas no son excluyentes entre sí, de hecho, en varios de los estudios analizados se identificaban mezclas de varias alternativas con el objetivo de encontrar un punto donde el producto terminado tuviera un

desempeño sensorial adecuado y que las funciones tecnológicas que el azúcar reemplazado estuviera cumpliendo fueran correctamente sustituidas por la solución de sustitución aplicada.

***Palabras clave:*** Azúcares, fibras, edulcorantes, polialcoholes, reemplazo

## Abstract

The trend to completely or partially replace sugars in the formulations of processed and ultra-processed foods is gaining more and more strength due to the warnings generated by entities such as the World Health Organization (WHO) and the Pan American Health Organization (PAHO) that link the excessive consumption of these ingredients with the development of non-communicable diseases such as obesity and diabetes. This monograph was born with the objective of identifying alternatives of ingredients available to make such sugar replacements in formulas of different categories of processed and ultra-processed foods, which was carried out through the bibliographic review of sources such as books by recognized authors, publications in scientific journals in English and Spanish, Colombian regulations and publications of WHO and PAHO, whose publication period is between the years 2001 and 2024, with 40.3% of the bibliography with a publication date from the last 5 years. As a result, several options were found for the substitution of sugars in processed and ultra-processed foods, which include two types of alternatives, conventional and solutions that have been researched in recent years. Within the conventional alternatives, options such as fibers, polyalcohols and natural and artificial sweeteners are presented to generate the replacements described, while the alternatives that are being investigated so far include the use of sweetening proteins and rare sugars. With the results delivered from the monograph, an important source of consultation is established to analyze options for sugar replacements in processed and ultra-processed foods, the options presented are not mutually exclusive, in fact, in several of the studies analyzed, mixtures of several alternatives were identified with the aim of finding a point where the finished product had an adequate sensory performance and that the technological functions that the replaced sugar were correctly replaced by the substitution solution applied.

**Keywords:** Sugars, fibers, sweeteners, polyols, replacement

## Tabla de Contenido

Resumen.....	2
Abstract.....	4
Introducción .....	10
Planteamiento del Problema .....	11
Justificación .....	13
Objetivos.....	15
Objetivo General.....	15
Objetivos Específicos.....	15
Marco de Referencia .....	16
Contextualización del Problema y Normatividad que lo Regula.....	16
Los Alimentos Procesados, Ultraprocesados y su Relación con los Azúcares.....	17
Disponibilidad de la Materia Prima .....	19
Estabilidad en el Costo de la Materia Prima .....	20
Ingredientes para Reemplazo de Azúcares .....	21
Edulcorantes.....	22
Polialcoholes .....	22
Fibras.....	23
Aplicaciones.....	23
Metodología .....	25

Resultado 1. Principales Características de los Azúcares, su Función Tecnológica en las Diferentes Categorías de Alimentos Procesados y los Principales Problemas de Salud Asociados a su Consumo. ....	26
Principales Características de los Azúcares: .....	26
Monosacáridos .....	27
Disacáridos.....	29
Función Tecnológica de los Azúcares en los Alimentos Procesados y Ultraprocesados.....	31
Poder Edulcorante .....	31
Capacidad de Conservación .....	32
Cristalización .....	36
Hidratación (Polaridad).....	36
Capacidad de Oscurecimiento (Reacciones de Pardeamiento) .....	39
Principales Problemas de Salud Asociados al Consumo de Azúcares .....	40
Azúcares Intrínsecos .....	41
Azúcares Libres .....	41
Azúcares Añadidos .....	41
Resultado 2. Fibras, Polialcoholes y Edulcorantes como Principales Ingredientes para el Reemplazo de los Azúcares Añadidos en los Alimentos Procesados y Ultraprocesados. ....	44
Fibras 44	
Inulina .....	45
Fructooligosacáridos .....	49

Polialcoholes .....	50
Sorbitol.....	53
Xilitol .....	56
Edulcorantes.....	62
Sucralosa.....	64
Estevia.....	66
 Resultado 3. Otras Alternativas como Sustituto de Azúcares Añadidos en los	
Alimentos Procesados y Ultraprocesados .....	71
Proteínas Edulcorantes.....	71
Azúcares poco Comunes - Alulosa .....	74
Conclusiones .....	78
Referencias Bibliográficas .....	81

## Lista de Figuras

<b>Figura 1</b> Producción global de cultivos comodities.....	20
<b>Figura 2</b> Evolución del precio global del azúcar .....	21
<b>Figura 3</b> Personas en edad escolar y adolescentes con sobrepeso y obesidad entre los años 2020 y 2035.....	43
<b>Figura 4</b> Comparativo glucosa y sorbitol.....	51
<b>Figura 5</b> Solubilidad de algunos polialcoholes .....	53
<b>Figura 6</b> Beneficios de salud asociados al xilitol.....	58
<b>Figura 7</b> Producción de la sucralosa .....	65
<b>Figura 8</b> Molécula de glucósido de estevia.....	67

## Lista de Tablas

<b>Tabla 1</b> Características de los monosacáridos principales .....	28
<b>Tabla 2</b> Composición de los disacáridos más comunes en los alimentos y su fuente de obtención.....	30
<b>Tabla 3</b> Poder edulcorante relativo de algunos azúcares. Sacarosa = 100.....	32
<b>Tabla 4</b> Presión de vapor relativa y crecimiento microbiano en los alimentos.....	34
<b>Tabla 5</b> Hidratación de algunos azúcares a 5°C.....	37
<b>Tabla 6</b> Máxima solubilidad de los disacáridos .....	38
<b>Tabla 7</b> Aspectos generales de las reacciones de oscurecimiento .....	39
<b>Tabla 8</b> Propiedades funcionales de la inulina en diferentes productos .....	48
<b>Tabla 9</b> Capacidad edulcorante relativa y valores energéticos de algunos polioles .....	52
<b>Tabla 10</b> Características del xilitol.....	57
<b>Tabla 11</b> El xilitol en diferentes aplicaciones para control de la caries .....	60
<b>Tabla 12</b> Aplicaciones del xilitol en productos alimenticios .....	61
<b>Tabla 13</b> Capacidad edulcorante relativa de algunos edulcorantes.....	63
<b>Tabla 14</b> Mermelada de manzana con edulcorantes .....	68

## Introducción

Los monosacáridos y disacáridos, o como comúnmente se les conoce, “azúcares”, han sido objeto de múltiples investigaciones que relacionan el consumo de este conjunto de ingredientes con el desarrollo de algunas enfermedades no transmisibles como la obesidad y la diabetes, razón por la cual cada vez ha cobrado más relevancia buscar alternativas que permitan la sustitución parcial o total de estos ingredientes en las formulaciones de alimentos procesados y ultraprocesados, lo cual no es una labor sencilla, pues los azúcares cumplen funciones tecnológicas de relevancia dentro de las formulaciones en las que se incluyen, funciones que van más allá de otorgar dulzor, como por ejemplo influir sobre la estabilidad microbiológica de los alimentos.

Existen diversas alternativas para desarrollar reemplazos parciales o totales de azúcares en las formulaciones de alimentos procesados y ultraprocesados, dentro de las cuales se incluyen algunas que son convencionales como el uso de las fibras, los polialcoholes y los edulcorantes naturales y artificiales. Por otro lado, se encuentran algunas soluciones que han sido solo estudiadas sino en los últimos años como por ejemplo el uso de proteínas edulcorantes y los azúcares poco comunes.

Con el desarrollo de la presente monografía se tiene como objetivo identificar alternativas de ingredientes disponibles para realizar reemplazos totales o parciales de azúcares en fórmulas de diferentes categorías de alimentos procesados y ultraprocesados, teniendo en cuenta que el éxito en la ejecución de dichos reemplazos se encuentra en lograr identificar cuáles son las funciones tecnológicas que los azúcares cumplen en un alimento específico, y a partir de allí encontrar el ingrediente y/o aditivo o mezcla de los anteriores que soporten la función tecnológica que el azúcar a reemplazar estaba cumpliendo, adicionalmente que a nivel sensorial se cumplan con las expectativas de quienes consumen el producto.

## **Planteamiento del Problema**

En los últimos años la industria de los alimentos se ha volcado a buscar alternativas de productos con una connotación más saludable para los consumidores, esto como respuesta a las diferentes estrategias de los organismos mundiales, regionales y nacionales para disminuir el consumo de ciertos tipos de ingredientes y alimentos procesados y ultraprocesados, los cuales tienen características nutricionales que se relacionan con el desarrollo de enfermedades no transmisibles como por ejemplo la obesidad, afección de la tensión arterial, enfermedad cardiovascular, entre otras. Según lo reporta la Organización Mundial de la Salud (OMS) (2018) en su publicación “Alimentación Sana”, “El consumo de azúcares libres aumenta el riesgo de caries dental. El exceso de calorías procedentes de alimentos y bebidas con un alto contenido en azúcares libres también contribuye al aumento insalubre de peso, que puede dar lugar a sobrepeso y obesidad”.

Lo anteriormente descrito genera gran impacto dentro de la industria de los alimentos, ya que los azúcares (monosacáridos y disacáridos) son ampliamente usados en los diferentes tipos de categorías de alimentos (bebidas, snacks, chocolatería, panadería, confitería, polvos instantáneos, entre otros) dentro de las recetas, no solo como endulzantes, sino también como parte estructural de las formulaciones de los productos terminados, lo cual, es una variable que incrementa la complejidad y supone retos más grandes a la industria de los alimentos en materia de investigación y desarrollo para generar alternativas que permitan ofrecer a los consumidores soluciones alimenticias más saludables y alineadas con las estrategias definidas por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en cuanto a la reducción de enfermedades no transmisibles en la población mundial.

Con base a los planteamientos anteriores surge la incógnita respecto a ¿Cuáles materias primas o ingredientes pueden ser alternativas para reemplazar azúcares añadidos en

las formulaciones de alimentos procesados y ultraprocesados? a partir de esta pregunta de investigación se propone el desarrollo de la monografía.

## **Justificación**

En el año 2016 la Organización Panamericana de la Salud (OPS) realizó la publicación de un “Modelo de perfil de nutrientes de la Organización Panamericana de la Salud” con el objetivo de que esta sirva como herramienta de clasificación de alimentos que tienen un alto contenido de azúcares libres, sal (sodio), grasas totales, grasas saturadas y grasas trans. Esta publicación entrega diferentes lineamientos y recomendaciones que sirven de guía a las naciones miembros (dentro de las cuales se encuentra Colombia) para que a través de la adopción de políticas públicas aplicadas a los productos alimenticios procesados y ultraprocesados se combatan enfermedades no transmisibles como la obesidad.

En respuesta a las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la OPS, diferentes países en Latinoamérica han adoptado políticas y medidas aplicables a los alimentos producidos y comercializados en dichos países, implementado sellos de advertencia en los empaques de los productos que tienen un contenido elevado de uno o varios de los nutrientes que cada país ha considerado como crítico.

Para el caso de Colombia, el año 2021, el Congreso de la Republica emite la Ley 2120 “Por medio de la cual se adoptan medidas para fomentar entornos alimentarios saludables y prevenir enfermedades no transmisibles y se adoptan otras disposiciones”, en esta ley se ordena, entre otras cosas, la implementación del “etiquetado frontal de advertencia”, donde se establece que el Ministerio de Salud y Protección Social definirá para que tipos de alimentos (incluidas las bebidas) se debe aplicar un sistema de sellos de advertencia en base a unos límites de nutrientes definidos. Por tal motivo, el ministerio en cuestión publica la Resolución 810 de 2021, la cual es modificada en algunos de sus artículos por la Resolución 2492 de 2022. Estas resoluciones “Establecen el reglamento técnico sobre los requisitos de etiquetado nutricional y frontal que deben cumplir los alimentos envasados y empacados para consumo humano”.

Para el caso de los azúcares libres (o añadidos), la Resolución 2492 de 2022 establece que, tanto para los alimentos sólidos como líquidos, si más del 10% del total de las calorías provienen de este tipo de nutrientes, entonces deberá incluirse un sello de advertencia en el empaque que indique que dicho alimento contiene un “EXCESO EN AZÚCARES”, adicionalmente, si un alimento contiene uno o más sellos de advertencia no podrá indicar declaraciones nutricionales positivas.

Dado el contexto anterior se puede validar la pertinencia de dar solución al problema de investigación planteado, enfocando los esfuerzos en ahondar sobre las opciones disponibles para sustituir azúcares añadidos en las formulaciones de los alimentos, abordando temas como la disponibilidad, las características técnicas de impacto en los procesos productivos y productos finales, métodos de obtención, aplicabilidad, aporte energético, y otros ítems de relevancia que sirva como guía para la comunidad académica e industrial de los alimentos y de esa forma aportar en el proceso investigativo que derive en productos para el consumo humano con un alto valor agregado y con características nutricionales de mayor beneficio para la población impactada.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Identificar alternativas de ingredientes disponibles para realizar reemplazos totales o parciales de azúcares en fórmulas de diferentes categorías de alimentos procesados y ultraprocesados.

### **Objetivos Específicos**

Describir las principales características de los azúcares, su función tecnológica en las diferentes categorías de alimentos procesados y los principales problemas de salud asociados a su consumo.

Realizar una investigación bibliográfica respecto a los edulcorantes, los polialcoholes y las fibras como principales ingredientes para el reemplazo de los azúcares añadidos en los alimentos procesados y ultraprocesados.

Estudiar alternativas distintas a edulcorantes, polialcoholes y fibras que pueden emplearse como sustituto de azúcares añadidos en los alimentos procesados y ultraprocesados.

## **Marco de Referencia**

De acuerdo con los objetivos planteados por la monografía, se presenta a continuación el marco conceptual y teórico con el que se sustenta la investigación. Se tienen en cuenta los temas globales que incluyen:

- Contextualización del problema y normatividad que lo regula.
- Azúcares y sus características.
- Ingredientes para reemplazo de azúcares: polialcoholes, edulcorantes, fibras y otras alternativas
- Aplicaciones publicadas

### **Contextualización del Problema y Normatividad que lo Regula**

De acuerdo con publicaciones y documentos como el “Modelo de perfil de nutrientes de la Organización Panamericana de la Salud” publicado en el año 2016 por la OPS, el “Documento Técnico de Azúcares Adicionados” publicado por el Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia, y otros estudios, se ha encontrado una estrecha relación entre el incremento de enfermedades no transmisibles y la alta ingesta de algunos nutrientes y/o ingredientes, entre los que se encuentran los azúcares añadidos, por tal motivo, diferentes países se han alineado a las recomendaciones de la OPS para generar políticas de salud pública dentro de las que se encuentra la exigencia hacia los productores de alimentos procesados y ultraprocesados de marcar en los empaques de los productos mediante un sello de advertencia si el alimento tiene un alto contenido de azúcares añadidos u otros ingredientes o nutrientes a los que se les relaciona con el desarrollo de dichas enfermedades.

Para el caso de Colombia, según la Resolución 2492 de 2022 del Ministerio de Salud y Protección Social, por definición, los azúcares añadidos o libres “son los azúcares adicionados o agregados, incluyendo a los azúcares que se adicionan durante el procesamiento de alimentos o se empaquetan como tales, e incluyen azúcares como

monosacáridos y disacáridos, aquellos contenidos en los jarabes y los naturalmente presentes en la miel y en los concentrados de jugos de frutas o vegetales. Estos no incluyen los azúcares intrínsecos que se encuentran en la leche, frutas y los vegetales y los azúcares que son carbohidratos no glucémicos”, la misma resolución referida, alineada con el Modelo de Perfil de Nutrientes de la Organización Panamericana de la Salud, indica que en Colombia, todos los alimentos procesados y ultraprocesados donde más del 10% de su aporte calórico provenga de los azúcares libres o añadidos deberán presentar en su empaque principal un sello de advertencia con la leyenda “Exceso en azúcares”.

En línea con lo descrito anteriormente, gran parte de la industria de los alimentos se ha visto volcada a encontrar ingredientes y/o aditivos que puedan reemplazar total o parcialmente los azúcares dentro de las formulaciones de los alimentos procesados y ultraprocesados que se ofrecen en el mercado, de forma tal que se cumpla con el objetivo de entregar alimentos con un mejor perfil nutricional a los consumidores y aportar en combatir el incremento de enfermedades no transmisibles (obesidad, presión arterial, etc.) dentro de la población. El principal reto radica en encontrar ingredientes que puedan cumplir la función de los azúcares en los productos terminados, tanto a nivel sensorial como a nivel de estabilidad de los productos, pues los azúcares han sido ampliamente estudiados y usados en la industria en la gran mayoría de categorías de los alimentos como panadería, bebidas no alcohólicas, confitería, polvos instantáneos, chocolatería, etc.

### **Los Alimentos Procesados, Ultraprocesados y su Relación con los Azúcares**

De acuerdo con la publicación de la Organización Panamericana de la Salud (OPS) (2015) “Alimentos y bebidas ultraprocesados en América Latina: tendencias, efecto sobre la obesidad e implicaciones para las políticas públicas” se plantea una clasificación de los alimentos denominada NOVA, la cual propone 4 grupos de clasificación: alimentos sin procesar o mínimamente procesados, ingredientes culinarios procesados, alimentos

procesados y productos ultraprocesados. Siendo los últimos 2 grupos sobre los cuales se ha centrado la atención de organismos mundiales y gobiernos respecto a sus aportes nutricionales y sus impactos en la salud pública.

Con base en el sistema NOVA, por definición los alimentos procesados son aquellos alimentos que “Se elaboran al agregar grasas, aceites, azúcares, sal y otros ingredientes culinarios a los alimentos mínimamente procesados, para hacerlos más duraderos y, por lo general, más sabrosos. Estos tipos de alimentos incluyen panes y quesos sencillos; pescados, mariscos y carnes salados y curados; y frutas, leguminosas y verduras en conserva” (FAO, 2015). Por otra parte, los productos ultraprocesados desde el punto de vista del sistema de clasificación NOVA son por definición: “Formulaciones industriales elaboradas a partir de sustancias derivadas de los alimentos o sintetizadas de otras fuentes orgánicas. Algunas sustancias empleadas para elaborar los productos ultraprocesados, como grasas, aceites, almidones y azúcar, derivan directamente de alimentos. Otras se obtienen mediante el procesamiento adicional de ciertos componentes alimentarios, como la hidrogenación de los aceites (que genera grasas trans tóxicas), la hidrólisis de las proteínas y la “purificación” de los almidones. Algunos ejemplos de productos ultraprocesados son las papas fritas en paquete y muchos otros tipos de productos grasos, snacks empaquetados, salados o dulces; helados, chocolates y caramelos; panes, bollos, galletas (galletitas), pasteles y tortas empaquetados; cereales endulzados para el desayuno; barras “energizantes”; mermeladas y jaleas; margarinas; bebidas gaseosas y bebidas “energizantes”; bebidas azucaradas a base de leche, incluido el yogur para beber de fruta; bebidas y néctares de fruta; bebidas de chocolate; leche “maternizada” para lactantes, preparaciones lácteas complementarias y otros productos para bebés; y productos “saludables” o “para adelgazar”, como sustitutos en polvo o “fortificados” de platos o de comidas. Hoy en día es muy común consumir productos ultraprocesados listos para calentar o listos para comer, tanto en casa como en los locales de comida rápida. Estos

alimentos, también conocidos como “comidas listas”, incluyen platos reconstituidos y preparados de carne, pescados y mariscos, vegetales o queso; pizzas; hamburguesas y perros calientes; papas fritas; nuggets (patitas o trozos) o palitos (barras) de ave o pescado; y sopas, pastas y postres, en polvo o envasados. A menudo parecen ser más o menos lo mismo que las comidas o platos preparados en casa, pero las listas de los ingredientes que contienen demuestran que no lo son” (FAO, 2015).

Teniendo en cuenta las anteriores definiciones, se pueden identificar algunos elementos en común entre los grupos de los alimentos procesados y los ultraprocesados, entre los cuales se encuentra el azúcar, puesto que gran parte de los alimentos procesados y ultraprocesados disponibles en el mercado incluyen dentro de su formulación la sacarosa (comúnmente llamada azúcar) u otros azúcares (monosacáridos y disacáridos) que como ya se ha indicado anteriormente se les atribuyen parte del problema del aumento de casos de obesidad, diabetes y otras afecciones a la salud en algunos lugares del planeta.

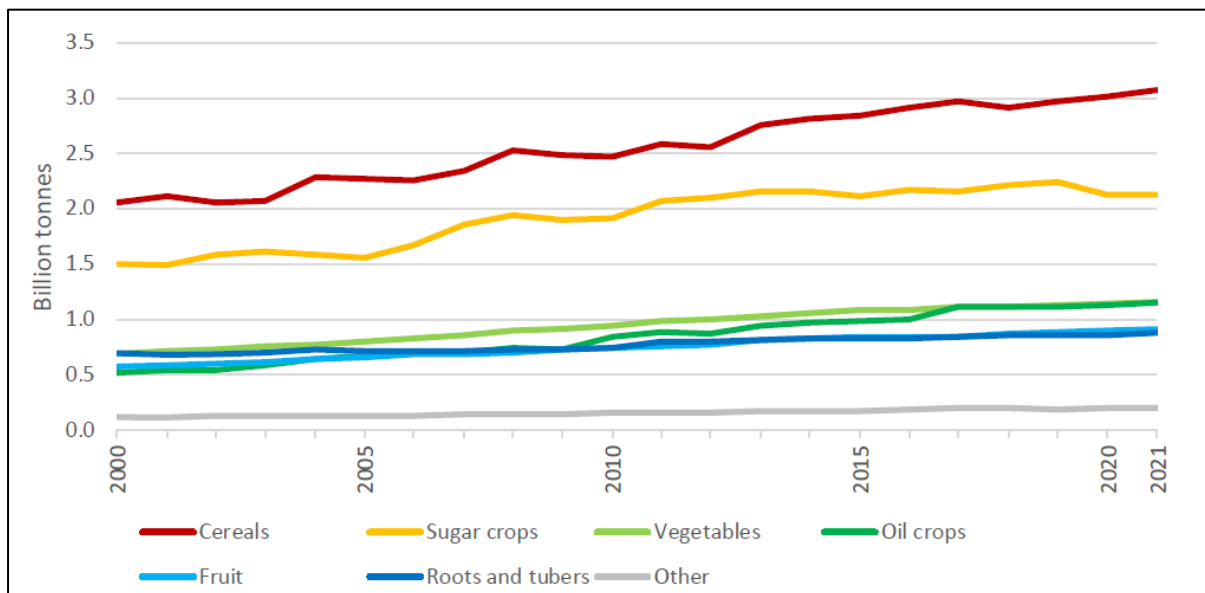
Muchas son las razones por la cuales los azúcares son incluidos en las formulaciones de los alimentos, algunas de estas son:

### ***Disponibilidad de la Materia Prima***

De acuerdo con el informe “Agricultural production statistics 2000 - 2021” FAO (2022), los cultivos de caña de azúcar y remolacha azucarera representaron el 22% de la producción global en el sector primario de la economía en el 2021, año en el cual se cultivaron más de 2 billones de toneladas de esta materia prima que sería principalmente utilizada en la industrial de los alimentos. En la figura 1 puede observarse el histórico de producción global de diferentes commodities, donde los cultivos destinados para producción de azúcar ocupan el segundo lugar a nivel global, solamente superado en niveles de producción por los cereales.

**Figura 1**

*Producción global de cultivos commodities*



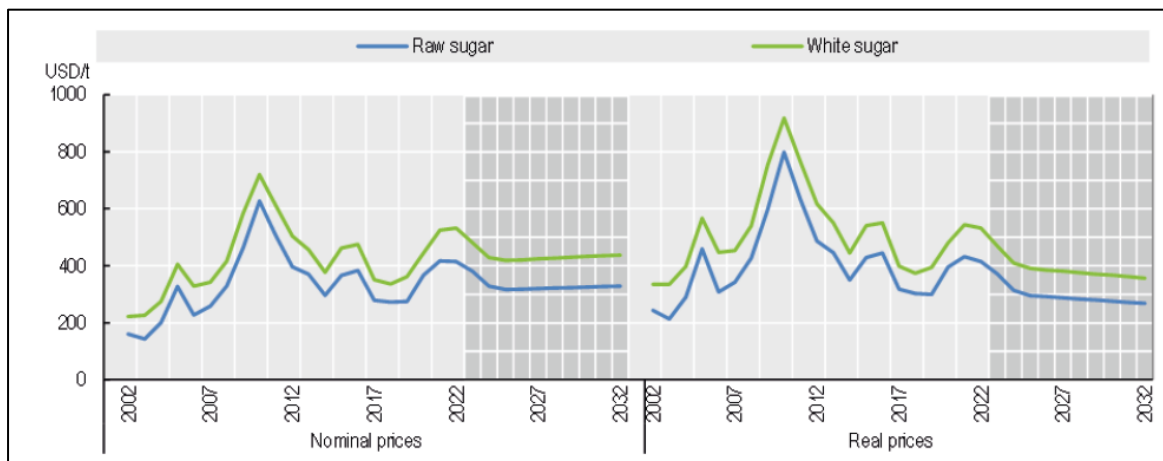
*Fuente.* Agricultural production statistics 2000–2021. (2022). FAO.

### ***Estabilidad en el Costo de la Materia Prima***

En la figura 2 publicada por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD) y FAO (2023) puede observarse el comportamiento de los precios del azúcar blanca y cruda desde el año 2002 hasta el proyectado para el año 2032, donde se puede ver que el pico más alto del precio del azúcar se presentó hacia el año 2010 sin llegar a los 1000 dólares por tonelada, momento en el cual empieza a bajar hasta alcanzar valores de los 500 dólares por tonelada hacia el año 2022, y se estima que para el año 2032 los costos continúen bajando hasta llegar a ubicarse en alrededor de 400 dólares por tonelada., este comportamiento rinde cuenta de una estabilidad en el costo de esta materia prima

**Figura 2**

*Evolución del precio global del azúcar*



*Fuente.* OECD, & Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2023). OECD-FAO Agricultural Outlook 2023-2032. OECD.

### **Ingredientes para Reemplazo de Azúcares**

Diferentes investigadores han contribuido en encontrar ingredientes y/o aditivos que permiten retirar de manera total o parcial los azúcares de las formulaciones de alimentos procesados y ultraprocesados. Es el caso de carbohidratos diferentes a los monosacáridos y los disacáridos, como por ejemplo las fibras, polialcoholes y edulcorantes. Astiasarán, I., & Martínez, J. A. (2000) indican que “Se han propuesto diversos azúcares y azúcares-alcoholes como sustitutos de la sacarosa: glucosa, fructosa, sorbitol y xilitol son los más destacados, aunque también cabe citar algunos polialcoholes de oligosacáridos, tales como el lactitol (galactosa y sorbitol), el maltitol (glucosa y sorbitol) y el palatinitol (glucosa, sorbitol y manitol). La L-xilosa, pentosa que se encuentra en pequeñas cantidades en los alimentos de consumo humano, al ser un azúcar no fermentable podría ser un buen sustituto no cariogénico de la sacarosa”.

### ***Edulcorantes***

Generalmente el término “edulcorantes” hace referencia a los “edulcorantes intensivos”, que son aditivos que tienen un poder endulzante mucho más elevado que el del azúcar, sin embargo, dependiendo del autor y/o documento base este término adquiere una connotación diferente. De acuerdo con la Resolución 2492 de 2022, por definición, los edulcorantes son “cualquier sustancia diferente a los azúcares añadidos y/o libres que confiera un sabor dulce”, por otro lado, según Rembado, M., & Sceni, P., (2009) “Los edulcorantes son sustancias naturales o sintéticas que aportan sabor dulce a los alimentos. Pueden ser nutritivos (aportan calorías), como los azúcares o no nutritivos como la sacarina, el ciclamato, el aspartamo y el acelsulfame-K, entre otros”, adicionalmente, los mismos autores refieren que “Los edulcorantes no nutritivos tienen la ventaja de tener un poder edulcorante entre 30 y 500 veces más que el de la sacarosa, aunque su sabor dulce no es exactamente igual y, muchas veces, se utilizan mezclas de edulcorantes para asemejar mejor el dulzor de la sacarosa”.

### ***Polialcoholes***

Los polialcoholes son también conocidos como polioles o azúcares-alcoholes. De acuerdo con Badui D., S. (2006) “Estos compuestos se forman cuando los grupos aldehído o cetona de los azúcares se reducen y se produce el correspondiente hidroxilo. Los polioles se absorben lenta e incompletamente en el intestino, se emplean como sustituto de azúcar ya que proporcionan menos energía por su lenta absorción”. Ejemplos de estos ingredientes son el sorbitol, maltitol, xilitol, entre otros.

Múltiples estudios dan cuenta de la amplia aplicación de los polioles en la industria de los alimentos y de los beneficios que estos ingredientes otorgan a los consumidores, como es el caso de Söderling, E., Pienihäkkinen, K., & Gursoy, U. K. (2022), en su artículo titulado “Effects of sugar-free polyol chewing gums on gingival inflammation: a systematic review”,

donde se encontró que los chicles sin azúcar, principalmente aquellos donde se incluye el xilitol en su formulación ayudaron a disminuir el índice gingival entre quienes los consumían.

### **Fibras**

Las fibras forman parte del grupo de los carbohidratos, pues su estructura básica está conformada por monosacáridos unidos que forman moléculas complejas que según Badui D., S. (2006) “no son aprovechadas metabólicamente por los organismos monogástricos, incluyendo al hombre, pero que cumplen una función muy importante en el bienestar del individuo”, dicha función está relacionada al mejoramiento del sistema digestivo, que según refiere Badui D., S. (2006) “Su función principal es que tiene la capacidad de hincharse al absorber agua y, por lo tanto, de aumentar el volumen de la materia fecal; esto provoca un incremento en los movimientos peristálticos del intestino y facilita el tránsito, la distensión intestinal y, consecuentemente, la defecación; es decir, su acción primaria se lleva a cabo precisamente en el colon del ser humano”.

La inclusión de fibras dentro de las formulaciones de los alimentos permite realizar una reducción o eliminación de azúcares en el mismo, otorgándole a este un mejor perfil nutricional. Según Barclay, T.& otros (2010) refieren el uso de inulina como sustituto de azúcar en alimentos, de igual manera otras fibras como los fructooligosacáridos (FOS) también pueden ser usadas con este objetivo.

### **Aplicaciones**

Varias investigaciones han tenido como objeto de estudio la sustitución de los azúcares, como es el caso de la investigación de Kayode, R. M. O. et al. (2019) titulada “Influence of partial substitution of sugar with serendipity berry (*Dioscoreophyllum cumminsii*) extract on the quality attributes and shelf-life of wheat bread”. En dicho estudio se realizó una sustitución parcial de sacarosa por monelina, la cual es una proteína edulcorante presente en las bayas serendipias, el estudio tiene como conclusión que un

reemplazo del 60% de la sacarosa por monelina se logra tener un pan de trigo blanco con características sensoriales adecuadas y con una mejora en la vida útil de este alimento. El producto final tiene un menor aporte calórico contra su versión original.

Otras investigaciones como es el caso del trabajo de Huțu, D., & Amariei, S. (2021) titulado “The effects of sugar and fat substitution on the textural properties of the pie dough” encontró que a partir del puré de manzana se pueden lograr sustituciones de hasta un 30% del contenido de los azúcares en pastelería, los autores encontraron que con esta sustitución no se presentan efectos notorios en los perfiles sensoriales de los pasteles y se logra una mejora en perfil nutricional de los mismo aumentando la cantidad de fibra dietaria.

## Metodología

Para el desarrollo de la presente monografía se realizó una búsqueda de información bibliográfica en diferentes fuentes: libros de química de alimentos, ingeniería de alimentos y bioquímica; también se utilizaron como fuentes de información publicaciones tanto en inglés como en español de revistas científicas utilizando el buscador de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia y Google Scholar, adicionalmente se recurrió a la consulta de publicaciones de la OMS, la OPS y normatividad colombiana.

Para el desarrollo del capítulo 1 que contemplan las generalidades de los azúcares y los problemas de salud asociados al consumo de estos. Se utilizaron las siguientes palabras clave: azúcares añadidos, azúcares y salud, azúcares y función tecnológica.

En el desarrollo del capítulo 2 se analizan las fibras, polialcoholes y edulcorantes para lo cual se utilizan las siguientes palabras clave en los buscadores científicos: sustitutos de azúcares, reemplazantes de azúcares, polialcoholes y azúcares, fibras y azúcares, edulcorantes, endulzantes.

El capítulo 3 se desarrolla con el análisis de las proteínas edulcorantes y los azúcares poco comunes, para lo que se acude a publicaciones desde el año 2019 hasta el 2024 utilizando las siguientes palabras clave: proteínas edulcorantes, azúcares poco comunes, alulosa sustituto azúcar.

Para el desarrollo de la monografía se consultaron 62 recursos bibliográficos publicados entre los años 2001 y 2024. De dichos recursos, 25 fueron publicados entre los años 2020 y 2024, representando el 40.3% de las publicaciones consultadas. Por otra parte, 17 recursos fueron publicados entre los años 2015 y 2019, representando el 27.4% de los recursos bibliográficos consultados. Con la información anterior se obtiene que el 67,7% de los recursos bibliográficos usados para la monografía tienen una fecha menor a 10 años. Los demás recursos consultados fueron publicados entre los años 2001 y 2014.

**Resultado 1. Principales Características de los Azúcares, su Función Tecnológica en las Diferentes Categorías de Alimentos Procesados y los Principales Problemas de Salud Asociados a su Consumo.**

**Principales Características de los Azúcares:**

Desde el punto de vista nutricional, en los carbohidratos (CHO) se incluyen los azúcares, las fibras dietarias y los almidones. De manera general, los carbohidratos se componen por la unión de átomos de carbono, hidrogeno y oxígeno, a pesar de que dentro de su estructura también se puedan encontrar elementos como el nitrógeno. Según refiere Badui D., S. (2006) “Los CHO son los compuestos orgánicos más abundantes en la naturaleza, y también los más consumidos por los seres humanos (en muchos países constituyen entre 50 y 80% de la dieta poblacional)”. Una de las clasificaciones más usadas para caracterizar los carbohidratos tiene que ver con el número de unidades básicas que contiene dicho elemento, de esta manera se diferencian 3 grupos generales que son los monosacáridos, oligosacáridos y polisacáridos. Dentro de los polisacáridos se encuentran elementos como el almidón, la celulosa, etc. y se caracterizan principalmente porque químicamente están constituidos por la unión de 10 o más unidades de monosacáridos, por otro lado, los oligosacáridos se forman por la unión de 2 a 10 unidades de monosacáridos, en esta categoría se encuentran elementos como los disacáridos (sacarosa o azúcar de mesa, lactosa y la maltosa), formados por la unión de 2 unidades de monosacáridos, que son las unidades estructurales más básicas de los carbohidratos y están formados por la unión de 3 a 6 átomos de carbono, dentro de este grupo se encuentran la glucosa (dextrosa), fructosa y galactosa.

De acuerdo con Rembado, M., & Sceni, P. (2009), como definición, “Los monos y disacáridos, también conocidos como azúcares, son un componente fundamental de los alimentos. Entre sus propiedades más importantes se pueden destacar su sabor dulce, su gran afinidad por absorber y retener agua y su solubilidad. Tienen también la capacidad de

cristalizar o formar estructuras amorfas que influyen en la textura de los alimentos. Además, intervienen en reacciones que generan colores y sabores durante la cocción”. Otros autores como Plaza-Díaz, J. et al, 2013 indican que “de todos los azúcares contenidos en la dieta, los más importantes desde el punto de vista nutricional son: glucosa, fructosa, galactosa, maltosa, lactosa, sacarosa y trehalosa”. A partir de lo anterior se da inicio al presente capítulo partiendo de la definición de monosacáridos y disacáridos:

### ***Monosacáridos***

De acuerdo con Rembado, M., & Sceni, P. (2009), por definición “Los monosacáridos son los hidratos de carbono más simples. Se clasifican según la cantidad de átomos de carbono en triosas (3 átomos de carbono), tetrosa (4 átomos de carbono), pentosa (5 átomos de carbono) y hexosa (6 átomos de carbono). A su vez, se pueden clasificar según el grupo funcional que poseen en aldosas (si tienen un grupo aldehído) y cetosas (si tienen un grupo cetona)”. Algunos ejemplos de monosacáridos de gran importancia en los alimentos y que han sido referidos en el presente documento son la fructosa, la glucosa y la galactosa.

A continuación, en la tabla 1 se presentan las estructuras moleculares de los 3 monosacáridos más importantes, su clasificación respecto al número de átomos de carbono que contiene y el grupo funcional formado.

**Tabla 1***Características de los monosacáridos principales*

Monosacárido	Fórmula molecular	Estructura molecular	Clasificación (grupo funcional)	Clasificación (átomos de carbono)
Glucosa	$C_6H_{12}O_6$	<p style="text-align: center;">Nigel, D. (2014)</p>	Aldosa	Hexosa
Fructosa	$C_6H_{12}O_6$	<p style="text-align: center;">Nigel, D. (2014)</p>	Cetosa	Hexosa
Galactosa	$C_6H_{12}O_6$	<p style="text-align: center;">Nigel, D. (2014)</p>	Aldosa	Hexosa

*Nota.* Características de los monosacáridos principales

Analizando la tabla 1 pude identificarse que los 3 monosacáridos principales de los alimentos (glucosa, fructosa y galactosa) son isómeros, ya que comparten la misma fórmula molecular  $C_6H_{12}O_6$  y por ende tienen el mismo peso molecular (180,156 g/mol). Estos 3 monosacáridos son hexosas ya que contienen 6 átomos de carbono cada uno. La fructosa tiene un grupo funcional cetona en su estructura, por ende, se clasifica como cetosa, mientras que la glucosa y la galactosa tienen un grupo funcional aldehído en su estructura, por ende, se clasifican como aldosas. La glucosa y la galactosa se diferencian entre sí porque los átomos de hidrógeno y los grupos funcionales alcoholes que se enlazan a los carbonos 4 y 5 tienen una organización espacial diferente en estos azúcares.

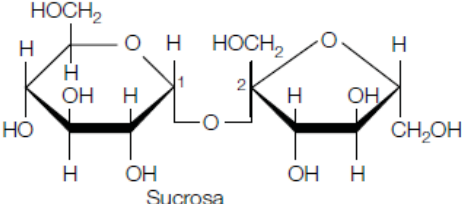
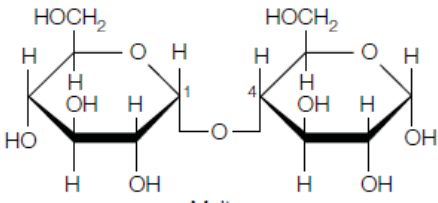
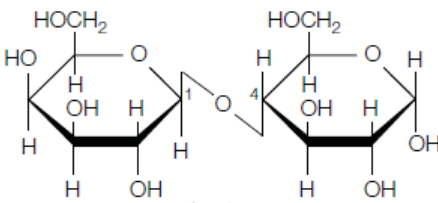
### ***Disacáridos***

Según refiere Rembado, M., & Sceni, P. (2009), “Los disacáridos están formados por dos unidades de monosacáridos. Los más abundantes en los alimentos son la sacarosa, la lactosa y la maltosa”. Los tres disacáridos mencionados como los más abundantes en los alimentos están formados por la mezcla de 3 monosacáridos que son la glucosa, la fructosa y la galactosa.

A continuación, en la tabla 2 se presenta un resumen con base en la información extraída de Rembado, M., & Sceni, P. (2009) en lo que refiere a la conformación de los disacáridos más comunes en los alimentos y su fuente de obtención:

**Tabla 2**

*Composición de los disacáridos más comunes en los alimentos y su fuente de obtención*

Disacárido	Monosacáridos que lo conforman	Estructura molecular	Fuente de obtención
Sacarosa	Glucosa y fructosa	 <p style="text-align: center;">Sucrosa Nigel, D. (2014)</p>	Caña de azúcar y remolacha azucarera
Maltosa	Glucosa y glucosa	 <p style="text-align: center;">Maltosa Nigel, D. (2014)</p>	Cebada
Lactosa	Glucosa y galactosa	 <p style="text-align: center;">Lactosa Nigel, D. (2014)</p>	Lácteos

*Nota.* Composición de los disacáridos más comunes en los alimentos y su fuente de obtención

De acuerdo con Nigel, D. (2014) “Los azúcares que contienen un grupo aldehído o cetona libre en la configuración de cadena abierta son capaces de reducir los iones cúpricos ( $\text{Cu}^{2+}$ ) a iones cuprosos ( $\text{Cu}^{+}$ ) y por eso se denominan azúcares reductores. Esta es la base de las pruebas de Fehling y de Benedict para azúcares reductores. Por lo tanto, el extremo reductor de una cadena de tales azúcares es el extremo que lleva el grupo aldehído o cetona”. Con base en lo anterior se concluye que los monosacáridos son azúcares reductores y en el caso de los disacáridos analizados tanto la lactosa como la maltosa tienen un extremo reductor, mientras la sacarosa carece de este, es decir, de los monosacáridos y disacáridos

más comunes en los alimentos el único que no es un azúcar reductor es la sacarosa, mientras que la galactosa, la fructosa, la glucosa, la maltosa y la lactosa son azúcares reductores.

### **Función Tecnológica de los Azúcares en los Alimentos Procesados y Ultraprocesados**

De acuerdo con Badui, S. (2006) “Para la elaboración de gran número de alimentos, la industrial ha empleado tradicionalmente diversos mono y disacáridos, como la glucosa, la sacarosa, el azúcar invertido y la lactosa”. Diversos son los aspectos técnicos a tener en cuenta en el momento de incluir azúcares en las formulaciones de los alimentos dependiendo de la función tecnológica buscada. Según refiere Rembado, M., & Sceni, P. (2009) “Entre sus propiedades más importantes se pueden destacar su sabor dulce, su gran afinidad por absorber y retener agua y su solubilidad. Tienen también la capacidad de cristalizar o formar estructuras amorfas que influyen en la textura de los alimentos. Además, intervienen en reacciones que generan colores y sabores durante la cocción”. A continuación, se ahondará en algunas de estas propiedades:

#### ***Poder Edulcorante***

De acuerdo con Badui, S. (2006) “Casi todos los azúcares tienen la característica de ser dulces (aun cuando también los hay amargos), y se clasifican dentro de los edulcorantes como edulcorantes naturales (porque pueden extraerse de ciertas plantas)”. El aporte de dulzor que confiere los azúcares a los alimentos que lo contienen suele ser la característica más notoria e identificable de estos compuestos.

La característica e intensidad de dulzor depende de varios factores como el tipo de azúcar incluido en el alimento, la concentración, el estado de la materia en que se encuentre el azúcar en cuestión (sólido o líquido), etc. Con base en lo propuesto por Badui D., S. (2006), se presenta la tabla 3 con información referente al poder edulcorante de varios azúcares respecto al poder edulcorante de la sacarosa, a la que se le otorga un valor de 100, adicionalmente se diferencia el estado físico en que se encuentre el azúcar.

**Tabla 3.**

*Poder edulcorante relativo de algunos azúcares. Sacarosa = 100*

Azúcar	Dulzura	
	En solución	En forma cristalina
$\beta$ -D-fructosa	130	180
$\alpha$ -D-glucosa	60	74
$\beta$ -D-glucosa	40	82
$\alpha$ -D-galactosa	27	32
$\beta$ -D-galactosa	--	21
$\alpha$ -D-manosa	59	32
$\beta$ -D-manosa	amargo	amargo
$\alpha$ -D-lactosa	27	16
$\beta$ -D-lactosa	48	32
$\alpha$ -D-maltosa	39	--

*Nota.* Poder edulcorante relativo de algunos azúcares. Sacarosa = 100. *Fuente.* Badui D., S. (2006). Química de los alimentos (E. Quintana D., Ed.; 4th ed.)

Puede notarse que el único azúcar con poder edulcorante superior al de la sacarosa es la fructosa, monosacárido que forma parte de la estructura molecular de la misma sacarosa. Así como este caso, puede también concluirse que los disacáridos como la lactosa o la maltosa tienen niveles de dulzor diferentes a los monosacáridos que los conforman, lo cual es de gran importancia al momento de definir los perfiles sensoriales de los alimentos en los que se incluyen este tipo de moléculas, como lo son los productos de confitería, panadería, bebidas lácteas, bebidas frutales, chocolatería, etc.

### ***Capacidad de Conservación***

Diferentes son los puntos para tener en cuenta en el momento de determinar la estabilidad de un alimento durante su vida útil, entendiendo que la estabilidad se refiere a que

en el tiempo el producto mantenga sus características organolépticas, fisicoquímicas y microbiológicas dentro de los parámetros de aceptación de quien lo consume.

Parámetros como el pH, la humedad residual, los ingredientes que hacen parte de la estructura del alimento, la actividad de agua ( $A_w$ ), entre otros, son puntos clave que se deben considerar para determinar o proyectar si un alimento cumplirá con los requisitos de calidad esperados durante el tiempo de vida útil, siendo la actividad de agua ( $A_w$ ) uno de los parámetros de mayor impacto al momento de predecir la estabilidad del alimento ya que a partir de esta puede llegar a determinarse si el alimento en cuestión presenta condiciones que favorezcan el desarrollo microbiológico.

Autores como Fenemma, O. (2001), refieren que “La estabilidad, sanidad y otras propiedades de los alimentos pueden predecirse de forma más realista a partir de la  $A_w$  que en función del contenido de agua. Aun así, la  $A_w$  no es un índice predictivo totalmente exacto. A pesar de esta falta de perfección, la  $A_w$  se correlaciona suficientemente bien con las velocidades de crecimiento microbiano y muchas reacciones degradativas, por lo que es un indicador útil y práctico de la estabilidad del producto y de la seguridad microbiana”.

La tabla 4 es propuesta por Fenemma, O. (2001), donde se presentan rangos de presión relativa, microorganismos que crecerían en dicho intervalo y los alimentos generalmente comprometidos. Es importante aclarar que de acuerdo con lo referenciado por Fenemma, O. (2021), “La  $A_w$ , es la relación entre la fugacidad de un solvente en solución y la fugacidad del solvente puro ( $A_w = f/f_0$ ), a bajas presiones (como la presión ambiental), la diferencia entre  $f/f_0$  y la presión de vapor relativa  $p/p_0$  es inferior a 1%, razón por la cual es justificable definir  $A_w$  en términos de presión relativa de vapor, es decir ( $A_w = p/p_0$ )”.

Tabla 4

Presión de vapor relativa y crecimiento microbiano en los alimentos

Intervalo de p/p <sub>o</sub>	Microorganismos generalmente inhibidos en el mínimo p/p <sub>o</sub> del intervalo	Alimentos comprendidos en el intervalo
1,00 – 0,95	<i>Pseudomonas, Escherichia, Proteus, Shigella, Klebsiella, Bacillus, Clostridium perfringens</i> , algunas levaduras.	Alimentos altamente perecederos (frescos) y frutas, hortalizas, carne, pescado enlatados y leche; salchichas cocidas y pan de molde; alimentos hasta con aproximadamente el 40% (en peso) de sacarosa o 7% de cloruro sódico
0,95 – 0,91	<i>Salmonella, Vibrio parahaemolyticus, C. botulinum, Serratia, Lactobacillus, Pediococcus</i> , algunos mohos, levaduras ( <i>Rhodotorula, Pichia</i> )	Algunos quesos (Manchego, Cheddar, Suizo, Muenster, Provolone), carne curada (jamón), algunos zumos de frutas concentrados; alimentos que contienen hasta el 55% (en peso) de sacarosa o el 12% de cloruro sódico
0,91 – 0,87	Muchas levaduras ( <i>Candida, Torulopsis, Hansenula</i> ), <i>Micrococcus</i>	Embutidos fermentados (salami), pastas esponjosas, quesos secos, margarina; alimentos que contienen hasta el 65% de sacarosa (saturados) o 15% de cloruro sódico
0,87 – 0,80	La mayoría de los mohos ( <i>penicilios micotoxigénicos</i> ). <i>Staphylococcus aureus</i> , mayoría <i>Saccharomyces (bailii) spp., Debaryomyces</i>	La mayoría de los zumos de frutas concentrados, leche condensada, jarabe de chocolate, jarabe de arce y de frutas; harina, arroz, legumbres hasta con el 15-17% de humedad; tarta o pastel de fruta; jamón “country style”
0,80 – 0,75	La mayoría de las bacterias halófilas, <i>Aspergillus</i> micotoxigénicos	Mermelada, jalea, mazapán, frutas glaseadas, algunas mieles

0,75 – 0,65	Mohos xerófilos ( <i>Aspergillus chevalieri</i> , <i>A. candidus</i> , <i>Wallemia sebi</i> ), <i>Saccharomyces bisporus</i>	Avena con alrededor del 10% de agua; turrónes, dulces de azúcar, miel, gelatina, melazas, azúcar de caña sin refinar, algunas frutas desecadas, nueces
0,65 – 0,60	Levaduras osmófilas, ( <i>Saccharomyces rouxii</i> ), algunos mohos ( <i>Aspergillus equinulatus</i> , <i>Monascus bisporus</i> )	Frutas desecadas con el 15-20% de humedad; algunos caramelos
0,5	No hay proliferación microbiana	Pasta con aproximadamente el 12% de humedad; especias conteniendo aproximadamente el 10% de humedad
0,4	No hay proliferación microbiana	Huevos enteros en polvo con aproximadamente el 5% de humedad
0,3	No hay proliferación microbiana	Bizcochos, galletas, corteza de pan, palitos, etc., con el 3-5% de humedad
0,2	No hay proliferación microbiana	Leche entera en polvo con el 2-3% de humedad; hortalizas desecadas con aproximadamente el 5% de humedad; palomitas de maíz con aproximadamente el 5% de humedad; bizcocho "country style"

*Nota.* Presión de vapor relativa y crecimiento microbiano en los alimentos. *Fuente.* Fennema, O. (2001). Química de Los Alimentos - 2 Edición. ACRIBIA.

Con la información anterior puede identificarse que los alimentos de mayor concentración de azúcares son aquellos que presentan valores de  $A_w$  menores, haciendo que estos sean mucho menos vulnerables al crecimiento de microorganismos que puedan comprometer la integridad del alimento.

De acuerdo con Badui D., S. (2006) "Los solutos de peso molecular bajo reducen la presión de vapor de agua y, paralelamente, aumentan la presión osmótica; es decir, se pueden

emplear para el control microbiológico de diversos hongos, levaduras y bacterias”, es decir, moléculas como los monosacáridos y disacáridos (que son de bajo peso molecular), disminuyen la presión osmótica, reduciendo así los valores de  $A_w$  de los alimentos que los contiene, actuando como agentes de conservación frente a microorganismos.

### ***Cristalización***

De acuerdo con Badui D., S. (2006) “Los azúcares tienen la capacidad de presentar el fenómeno de polimorfismo, que consiste en que un mismo compuesto puede cristalizar en diversas formas”, adicionalmente Rembado, M., & Sceni, P. (2009), indican que “Los azúcares pueden presentarse en estado sólido en tres formas diferentes: cristalino, vítreo y gomoso. Estas formas se diferencian entre sí por la movilidad y el grado de ordenamiento que tienen las moléculas de azúcar e influyen en la textura y en la conservación de los alimentos”.

Un ejemplo de azúcar en estado cristalino es en sí mismo la sacarosa o azúcar de mesa en su presentación comercial, de igual manera, la panela y los productos de chocolatería contienen los azúcares en su estado cristalino; en estado amorfo vítreo se presentan los caramelos duros, donde su característica principal de identificación es la translucidez; finalmente en estado amorfo gomoso (diluido) se presentan los caramelos blandos y las bebidas azucaradas como las gaseosas.

### ***Hidratación (Polaridad)***

Según refiere Rembado, M., & Sceni, P. (2009), “Todos los hidratos de carbono tienen cierta afinidad por el agua, ya que los grupos alcohol (-OH) interactúan con esta molécula”. Gracias a esta característica se generan puentes de hidrógeno entre las moléculas de los azúcares y las moléculas de agua.

Cada tipo de azúcar presenta una capacidad de hidratación diferente, en la tabla 5, propuesta por Badui D., S. (2006) se indican las cantidades de agua requerida para hidratar algunos tipos de azúcares a una temperatura constante de 5°C:

**Tabla 5***Hidratación de algunos azúcares a 5°C*

Azúcar	Moles H <sub>2</sub> O/mol azúcar
Glucosa	3,7 ± 0,2
manosa	3,9 ± 0,4
Ribosa	2,5 ± 0,4
Maltosa	5,0 ± 0,5
Sacarosa	6,6 ± 0,7

*Nota.* Hidratación de algunos azúcares a 5°C. *Fuente.* Badui D., S. (2006). Química de los alimentos (E. Quintana D., Ed.; 4th ed.)

Adicional a lo anterior, la temperatura también tiene una fuerte influencia sobre la capacidad de solubilidad de los azúcares, en la medida que la temperatura aumenta, la capacidad de hidratación de los azucars también lo hace. En la tabla 6, presentada por Badui D., S. (2006), se indican de manera comparativa las cantidades de lactosa y sacarosa que pueden hidratarse en 100 g de agua a diferentes temperaturas:

**Tabla 6***Máxima solubilidad de los disacáridos*

Temperatura (°C)	g/100 g agua	
	Lactosa	Sacarosa
0	11,9	179,2
15	16,9	197,0
25	21,6	211,4
40	32,4	238,1
80	99,6	362,1
100	157,6	487,2

*Nota.* Máxima solubilidad de los disacáridos. *Fuente.* Badui D., S. (2006). Química de los alimentos (E. Quintana D., Ed.; 4th ed.)

Con la información presentada en la tabla 6 puede comprobarse la fuerte influencia de la temperatura sobre la solubilidad de los azúcares, así mismo, la diferencia que se presenta en la solubilidad dependiendo del tipo de azúcar.

Todos los azúcares tienen en mayor o menor medida afinidad por el agua, lo que hace también que los productos que contengan estas moléculas tengan en mayor o menor proporción dicha afinidad, haciendo que los productos sean higroscópicos, que, por definición, según refiere Badui D., S. (2006), son productos que “se hidratan con la humedad del aire, ocasionando un problema en los derivados de la confitería, ya que se vuelven pegajosos”.

En conclusión, la hidratación o afinidad por el agua que presentan los diferentes azúcares son un punto de estricta revisión en el momento de incluir estas moléculas en las formulaciones de diferentes productos alimenticios dada la relevancia que esta característica tiene sobre los productos terminados como lo es la higroscopicidad, que puede ser una propiedad deseada o no, lo cual dependerá del tipo de producto final que se desee. Así

mismo, gracias a la capacidad de solubilidad de los azúcares es que se logra obtener en un control sobre la actividad de agua ( $A_w$ ) de los productos, que como fue descrito anteriormente es un punto de vital importancia para la estabilidad de los alimentos.

### ***Capacidad de Oscurecimiento (Reacciones de Pardeamiento)***

Según refiere Rembado, M., & Sceni, P. (2009), “Los azúcares son responsables de las reacciones de pardeamiento que ocurren durante la cocción y/o el procesamiento de alimentos y dan como resultado la formación de productos que aportan colores marrones o pardos y diversos aromas. Entre este tipo de reacciones se pueden distinguir la reacción de *Maillard* y la reacción de caramelización”.

En la tabla 7 extraída de Badui D., S. (2006), se presentan condiciones básicas para que se presenten las reacciones de caramelización y de Maillard:

#### **Tabla 7.**

##### *Aspectos generales de las reacciones de oscurecimiento*

Tipo de reacción	Necesidad de O <sub>2</sub>	Necesidad de grupos amino	Temperatura elevada	pH óptimo	Necesidad de azúcares reductores
Caramelización	No	No	Si	alcalino/ácido	Si
Maillard	No	Si	No	alcalino	Si

*Nota.* Aspectos generales de las reacciones de oscurecimiento. *Fuente.* Badui D., S. (2006).

Química de los alimentos (E. Quintana D., Ed.; 4th ed.)

De manera general se identifican 2 tipos de reacciones que generan oscurecimiento o pardeamiento en los alimentos donde el soluto protagonista son los azúcares, siendo los reductores indispensables para generar la reacción de Maillard. Como puede identificarse en la tabla 7, este tipo de reacciones de pardeamiento no son oxidativas, pero si requieren condiciones específicas de pH y temperatura, siendo la principal diferencia entre las reacciones de caramelización y Maillard la necesidad de aminoácidos en estas últimas.

Para obtener un efecto de caramelización basta con someter el azúcar (reductora o no) a altas temperaturas, donde ocurrirá la fundición y desarrollo de color caramelo para realizar diferentes aplicaciones en productos terminados. En el caso de la reacción de Maillard es necesaria la presencia de azúcares reductores y aminoácidos o proteínas, como en el caso de la fabricación de arequipes, donde la lactosa (azúcar reductor) y la proteína de la leche generan el color típico de este producto.

### **Principales Problemas de Salud Asociados al Consumo de Azúcares**

Una de las principales razones por las cuales hace sentido el reemplazo de los azúcares en las formulaciones de los alimentos procesados y ultraprocesados es que si bien, este tipo de alimentos se encuentran fuertemente señalados y cuestionados por organismos internacionales, es al final los elementos como las grasas saturadas, los azúcares y otros tipos de nutrientes en los recaen las principales denuncias ya que según lo indican la OMS y la OPS en publicaciones como en el modelo de perfil de nutrientes de la Organización Panamericana de la Salud OPS (2016), “Los conocimientos científicos acerca de la influencia de ciertos hábitos alimentarios en la aparición de obesidad, sobrepeso y otras ENT (Enfermedades no transmisibles) son bastante robustos. El conjunto de la evidencia científica respalda la necesidad de proteger y promover el consumo de alimentos sin procesar y mínimamente procesados, así como de platos preparados en el momento con estos alimentos, más ciertos ingredientes culinarios”. En el mismo documento se refiere que “Durante los últimos decenios, diversas organizaciones internacionales (entre ellas la OMS, la OPS, las Naciones Unidas, la Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO), el Fondo Mundial para la Investigación del Cáncer y el Organismo de Salud Pública del Caribe) han hecho “llamamientos a la acción” para promover una alimentación saludable y limitar la ingesta de calorías, sodio, grasas poco saludables y azúcares libres”.

En este punto es de gran importancia destacar que son los azúcares libres y/o los azúcares añadidos sobre los que recaen los cuestionamientos respecto los impactos negativos sobre la salud y no los azúcares intrínsecos que de manera natural tienen algunos alimentos no procesados o mínimamente procesados. Por la anterior razón vale la pena citar las definiciones de azúcares libres, azúcares añadidos y azúcares intrínsecos que presenta el Ministerio de Salud y Protección Social:

### ***Azúcares Intrínsecos***

“Son los que se encuentran presentes en las células de las paredes de las plantas principalmente en frutas (fructosa), o como la lactosa en la leche” (Ministerio de Salud y protección Social, 2019).

### ***Azúcares Libres***

“Los azúcares libres incluyen los monosacáridos y los disacáridos añadidos intencionalmente a los alimentos y las bebidas por el fabricante, el cocinero o el consumidor (sacarosa, jarabe de maíz alto en fructosa, jarabe de malta, miel y melaza), más los azúcares naturalmente presentes en la miel, los jarabes, los jugos de frutas y los concentrados de jugos de frutas” (Ministerio de Salud y protección Social, 2019).

### ***Azúcares Añadidos***

“Son los monosacáridos y disacáridos adicionados intencionalmente a los alimentos y las bebidas por el fabricante, el cocinero o el consumidor (sacarosa, jarabe de maíz alto en fructosa, jarabe de malta, miel y melaza, entre otros)” (Ministerio de Salud y protección Social, 2019).

Desde el punto de vista de la salud, los azúcares han sido ampliamente estudiados, hay documentadas investigaciones tanto de beneficios de alimentos que contienen azúcares intrínsecos (como frutas y leche) donde se registran sus bondades, así como diversas investigaciones que relacionan el consumo excesivo de azúcares libres y añadidos con

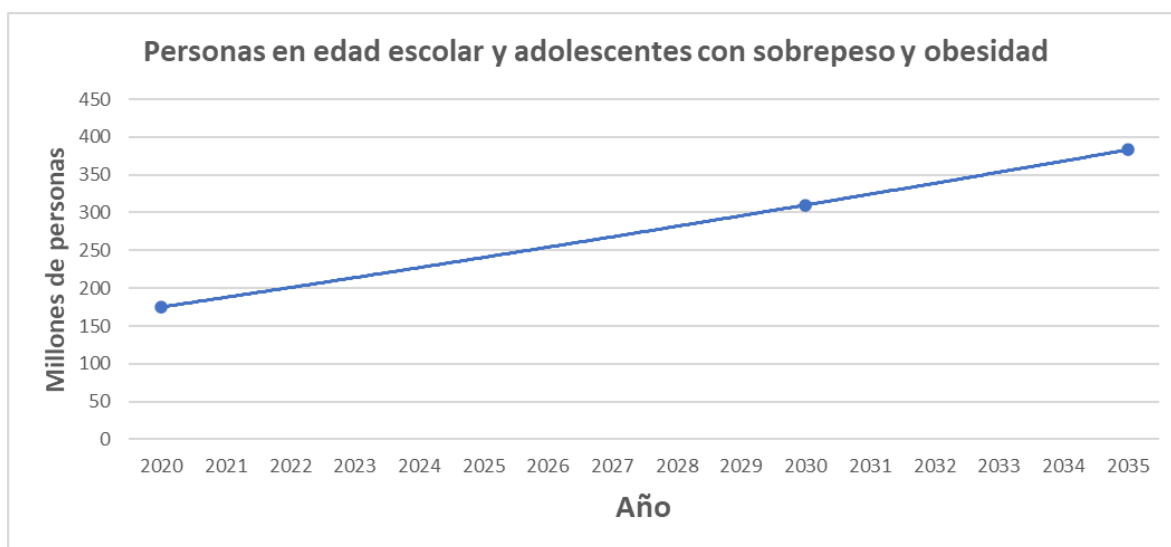
patologías de obesidad y diabetes principalmente. De acuerdo con lo indicado por el Ministerio de Salud y Protección Social en la Resolución 810 (2021) “Que la organización Mundial de la Salud – OMS y el World Cancer Research Fund (WCRF) coinciden en que los factores más importantes que promueven el aumento de peso y la obesidad, así como las enfermedades no transmisibles (ENT), son el aumento en el consumo de productos de bajo valor nutricional y alto contenido de azúcares adicionados, grasas y sal, tales como snacks y la comida rápida, la ingesta habitual de bebidas azucaradas, y la disminución de la actividad física”

En noviembre del 2023, fue publicado el artículo Sobrepeso, obesidad y consumo de azúcares en población escolar y adolescente de México por el Instituto Nacional de Salud Pública de México como resultado de la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (ENSANUT) para los años 2020 – 2022. En este artículo, como es bien indicado por su nombre se relaciona el efecto que tiene el consumo de azúcares con el aumento en peso en una población joven, donde se encontró que de acuerdo con Shamah-Levy, T, et al. (2023) “La prevalencia de sobrepeso y obesidad fue del 41% en la población de 5 a 19 años y más de 60% excedió el límite recomendado de consumo de azúcares añadidos del 10% de energía. La probabilidad de presentar sobrepeso y obesidad a mayores consumos de azúcar añadido fue significativamente mayor en el tercil alto de condición de bienestar”. Según refiere Shamah-Levy, T, et al. (2023), en el artículo en mención “La obesidad en los niños y adolescentes es un problema grave de salud en el mundo y en México. La Federación Mundial de la Obesidad estimó que en 2020 había 175 millones de personas en edad escolar y adolescentes con sobrepeso y obesidad; en 2030 se estima que serán 310 y en 2035, 383 millones. Las consecuencias de la obesidad en la niñez y en la adolescencia se han documentado ampliamente y van desde la aparición de condiciones clínicas como hígado graso, problemas ortopédicos, hipercolesterolemia, resistencia a la insulina, asma, apnea del

sueño y enfermedades renales, hasta dificultades psicosociales”. En la figura 3 se presenta una línea de tendencia de incremento del sobrepeso y la obesidad en personas en edad escolar y adolescente con base en los datos mencionados anteriormente.

### Figura 3

*Personas en edad escolar y adolescentes con sobrepeso y obesidad entre los años 2020 y 2035*



*Fuente.* Elaboración propia

De acuerdo con Shamah-Levy, T, et al. (2023) “El desarrollo de la obesidad en escolares y adolescentes se ha asociado con el consumo de azúcar añadido a los alimentos y bebidas, el cual la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda sea menor del 10% del consumo de energía”.

En conclusión, puede claramente identificarse la relación existente entre el elevado consumo de azúcares añadidos y/o libres y el padecimiento de enfermedades no transmitibles como el sobrepeso, trayendo consigo condiciones que favorecen el desarrollo de patologías más delicadas como la diabetes, con lo cual se valida la pertinencia de la elaboración de la presente monografía.

## **Resultado 2. Fibras, Polialcoholes y Edulcorantes como Principales Ingredientes para el Reemplazo de los Azúcares Añadidos en los Alimentos Procesados y Ultraprocesados.**

Como pudo identificarse en el capítulo anterior, son diferentes las razones por las cuales cobra sentido plantear alternativas de sustitución de azúcares añadidos y/o libres en las formulaciones de los productos procesados y ultraprocesados. El reto se encuentra en homologar las funciones tecnológicas que el azúcar añadido se encuentra desempeñando en el producto final (edulcorante, conservación, cristalización, oscurecimiento, entre otras), de esta manera se podrá seleccionar acertadamente el ingrediente o la mezcla de estos para obtener una sustitución parcial o total exitosa.

Las alternativas para el reemplazo de los azúcares añadidos en los alimentos procesados y ultraprocesados se agrupan básicamente en 3 tipos de ingredientes que son las fibras, los polialcoholes y los edulcorantes. Cada uno de estos tipos de ingredientes tienen características, fuentes de obtención y aplicaciones diferentes que puede aprovecharse para aplicaciones de reemplazo de azúcares añadidos. A continuación, se ahondará en cada uno de estos tipos de ingredientes en el contexto de su aplicabilidad en el reemplazo de azúcares añadidos.

### **Fibras**

Por definición las fibras son “carbohidratos comestibles que no se digieren ni se absorben en el intestino delgado del ser humano. La fibra dietética consta de uno o varios de los siguientes carbohidratos: carbohidratos comestibles que se encuentran naturalmente en los alimentos en la forma en que se consumen, carbohidratos obtenidos de materia prima alimentaria por medios físicos, enzimáticos o químicos y carbohidratos sintéticos” (Ministerio de Salud y protección Social, 2022).

De acuerdo con lo referido por Badui D., S. (2006) “La fibra dietética presenta muchas cualidades funcionales, entre ellas la habilidad de captar agua, y algunas reducen el

contenido de glucosa en sangre. Tomando en cuenta lo anterior, en los últimos años se ha observado una tendencia hacia el desarrollo de productos altos en fibra, destinados a consumo humano, lo cual ha aumentado el valor agregado de la fibra, que antes se destinaba únicamente a la elaboración de alimento balanceado”.

Dos de las fibras más comúnmente utilizadas para la sustitución de azúcares añadidos en alimentos procesados es la inulina y los fructooligosacáridos (FOS). Estos ingredientes tienen la característica de tener un dulzor inferior al de la sacarosa, por lo que funcionan en aplicaciones donde este ingrediente tiene un porcentaje muy elevado de participación en la formulación. De acuerdo con Guevara A. & Vallejo C. (2015) “Los FOS e inulinas son carbohidratos tipo fructanos, polímeros de fructosa, unidos mediante enlaces glucosídicos de tipo  $\beta(2-1)$ . Las inulinas poseen un grado de polimerización superior a 10 unidades y los FOS, también conocidos como oligofruktosas, tienen un grado de polimerización inferior, aproximadamente entre 3 y 7 unidades. Estos fructanos son considerados prebióticos, ya que no son digeribles por el tracto digestivo humano, poseen carácter bifidogénico (estimulan el crecimiento de bifidobacterias) y, además, al ser consumidos con frecuencia, favorecen la absorción de minerales como calcio, contribuyen a la salud y bienestar del colon a través del fortalecimiento de su epitelio y previenen patologías colorrectales tales como cáncer”. A continuación, se presentará la revisión bibliográfica sobre la inulina y los fructooligosacáridos como potenciales alternativas para el reemplazo de azúcares en alimentos procesados y ultraprocesados:

### ***Inulina***

De acuerdo con Madrigal & Sangronis, (2007) “La inulina es un carbohidrato no digerible que está presente en muchos vegetales, frutas y cereales. En la actualidad, a nivel industrial se extrae de la raíz de la achicoria (*Cichorium intybus*) y se utiliza ampliamente como ingrediente en alimentos funcionales”, adicionalmente, Madrigal y Sangronis, (2007),

añaden que “En una amplia variedad de productos alimenticios se usa la inulina y sus derivados como: espesante, emulsificante, gelificante, sustituto de azúcares y de grasas, humectante, depresor del punto de congelación”.

Validando lo anterior, artículos científicos como “Replacement of glycaemic carbohydrates by inulin-type fructans from chicory (oligofructose, inulin) reduces the postprandial blood glucose and insulin response to foods: report of two doubleblind, randomized, controlled trials” publicado por European Journal of Nutrition en el año 2018, documentó una prueba donde se analizaron la respuesta glucémica y la respuesta insulinémica en una población de 40 y 42 adultos sanos que consumieron yogur con azúcar añadido (testigo) y el mismo yogur pero con una reducción del 20% del total del azúcar añadido, la cual fue sustituida por inulina; así mismo, se realizó con una gelatina en su versión con azúcar añadida comparada con su versión 30% reducida en azúcar añadida que fue reemplazada por inulina. En ambos casos el estudio muestra una reducción significativa de la respuesta glucémica cuando se consumían los productos reducidos en azúcar, azúcar que fue reemplazada por inulina. Los autores del artículo Lightowler, H. et al. (2018) concluyen que “los hallazgos actuales muestran que los fructanos tipo inulina de la achicoria (inulina, oligofructosa) se pueden utilizar en alimentos y bebidas reemplazando parcialmente los carbohidratos glucémicos, lo que lleva a una reducción significativa de la respuesta posprandial de la glucosa en sangre sin aumentar desproporcionadamente la respuesta de la insulina”. Entiéndase por carbohidratos glicémicos, los monosacáridos y disacáridos que son azúcares añadidos en los alimentos procesados y ultraprocesados.

Desde un punto de vista de la calidad organoléptica de los productos terminados, se han realizados contribuciones que han derivado en artículos como el publicado por Applied Sciences en abril del 2024 y que lleva como título “The Effect of Inulin Addition on Rice Dough and Bread Characteristics” en este artículo se documentó el uso de inulina en la masa

de arroz para la elaboración de pan sin gluten, realizando ensayos a diferentes contenidos de inulina en la masa, encontrando que con la adición de hasta 30% de inulina a la masa de arroz se logra mejorar significativamente la calidad de la miga del pan así como la textura general del mismo. A pesar de que este estudio no utiliza la inulina con el objetivo de sustitución de azúcar añadida, da cuenta de que la inulina es un ingrediente versátil que no va en detrimento de las características organolépticas del producto, sin embargo, los autores del artículo Burešová, I. et al. (2024), refieren que “La inulina puede usarse ampliamente en la industria alimentaria como prebiótico, sustituto de grasas y azúcares, así como como fibra dietética. Es estable a temperaturas de hasta 140 °C y, por lo tanto, puede procesarse fácilmente para hornear pan. La incorporación de inulina en productos horneados puede aumentar su calidad nutricional y sus propiedades tecnológicas. Se utiliza para sustituir la harina en el pan en una proporción del 3 al 10%”, con lo cual puede asumirse que el uso de la inulina en panificación traerá consigo una mejora en la calidad nutricional de los productos terminados, lo cual también es referido en el artículo “Avances en la producción de inulina” por Lara-Fiallos, M. et al. (2017), que indican que “al agregar la inulina en las harinas destinadas a la elaboración de pastas, permite un buen índice de hinchamiento y firmeza del producto, con un mejor índice nutricional y un menor índice glicémico reducido en un 15%”.

Para finalizar la revisión de la inulina como posible sustituto de azúcares añadidos, en la tabla 8 se presentan las diferentes aplicaciones de la inulina por categoría de producto alimenticio:

**Tabla 8***Propiedades funcionales de la inulina en diferentes productos*

Aplicación	Funcionalidad
Productos lácteos	Cuerpo y palatabilidad, capacidad de formar gel, emulsificantes, sustituto de azúcares y grasas, sinergismo con edulcorantes
Productos congelados	Textura, depresión en el punto de congelación, sustituto de azúcares y grasas, sinergismo con edulcorantes
Productos untables	Estabilidad de la emulsión, textura y capacidad de ser untado, sustituto de grasa
Productos horneados	Disminución del Aw, sustituto de azúcares
Cereales para desayuno	Crocancia, capacidad de expansión
Preparación con frutas (no ácidas)	Cuerpo y palatabilidad, capacidad de formar gel, estabilidad de emulsión, sustituto de azúcares y grasas, sinergismo con edulcorantes
Aderezos de ensaladas	Cuerpo y palatabilidad, sustituto de grasas
Productos cárnicos	Textura, estabilidad de emulsión, sustituto de grasas
Chocolate	sustituto de azúcares, humectante

*Nota.* Propiedades funcionales de la inulina en diferentes productos. *Fuente.* Madrigal, Lorena, & Sangronis, Elba. (2007). La inulina y derivados como ingredientes claves en alimentos funcionales. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 57(4), 387-396.

En el cuadro anterior puede claramente identificarse las diversas aplicaciones de la inulina sobre las diferentes categorías de los alimentos, siendo el reemplazo de los azúcares añadidos una de las principales aplicaciones, esto por las razones presentadas durante en esta sección.

### ***Fructooligosacáridos***

En el artículo “Physicochemical characterization of fructooligosaccharides and evaluation of their suitability as a potential sweetener for diabetics”, los autores Mabel, M. J. et al. (2008) definen que “Los fructooligosacáridos (FOS) son carbohidratos no digeribles que poseen interesantes atributos funcionales y fisiológicos como bajo dulzor, no cariogenicidad, bajo valor calórico, propiedades prebióticas, hipolipidémicas e hipocolesterolémicas. También facilitan la absorción de minerales e inhiben el crecimiento de bacterias patógenas en el colon”, definición brinda una clara orientación hacia los potenciales usos que pueden tener los fructooligosacáridos en las formulaciones de alimentos procesados y ultraprocesados con el objetivo de mejorar su perfil nutricional.

Estudios de mayor especificidad, dan cuenta de la aplicación de los FOS en la sustitución de azúcares en alimentos procesados y ultraprocesados, como es el caso del artículo “Prebiotics fructooligosaccharides as a substitute for commercial sugar in aerated strawberry desserts with a non-dairy matrix”, donde se documentó el proceso de elaboración y posterior análisis fisicoquímico, microbiológico y organoléptico de 3 postres de fresa elaborados el primero con una fórmula 100% sacarosa añadida, la segunda con una mezcla 50% sacarosa y 50% FOS, y finalmente una tercera formulación donde se utilizó 100% FOS y 0% de sacarosa, es decir un reemplazo total del azúcar añadido a la fórmula. De acuerdo con los resultados del estudio, las 3 muestras cumplieron los parámetros de aceptación fisicoquímica y microbiológica, lo que otorga confiabilidad de que el uso del FOS no tiene efectos sobre la estabilidad e inocuidad del alimento. Por otro lado, la evaluación sensorial se realizó con 80 panelistas, quienes evaluaron diferentes características del producto, entre las que se consideró la aceptación o gusto por el producto, dando como resultado que la muestra con 100% azúcar obtuvo 80% de aceptación, la propuesta con 50% sacarosa y 50% FOS tuvo

una aceptación del 78%, mientras que la muestra donde se reemplazó por completo la sacarosa, es decir, se usó 100% FOS, obtuvo una aceptación del 70%.

Para concluir la parte de las fibras, tanto la inulina, como los fructooligosacáridos son ingredientes de interés que pueden ser usados para el reemplazo de los azúcares añadidos en fórmulas de alimentos procesados y ultraprocesados. Ambos tipos de ingredientes permiten realizar reemplazos parciales y totales de azúcares añadidos mejorando el perfil nutricional del producto en el que se esté realizando la sustitución, adicionalmente, los fructanos, donde se incluyen tanto la inulina como el FOS, tienen bondades en términos gastrointestinales que dan un valor agregado importante a los alimentos en los cuales están presentes.

### **Polialcoholes**

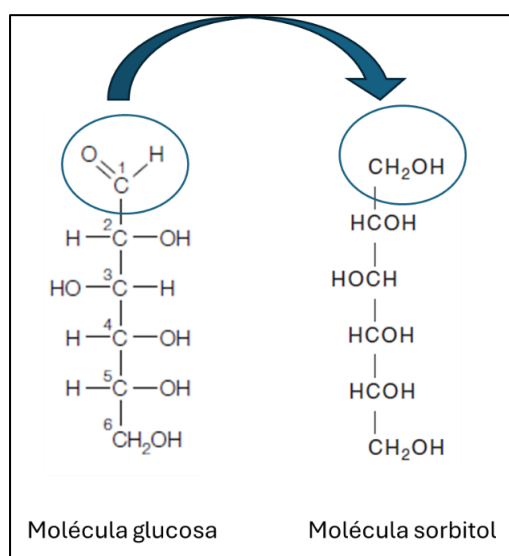
Una de las opciones para realizar reemplazos parciales o totales de azúcar en alimentos procesados y ultraprocesados son los polialcoholes, también conocidos como polioles o alcoholes de azúcares. De acuerdo con Badui D., S. (2006) “Estos compuestos se forman cuando los grupos aldehído o cetona de los azúcares se reducen y se produce el correspondiente hidroxilo”, visto de otra manera y también referido por Badui D., S. (2012), los polialcoholes “sólo contienen grupos hidroxilo o alcohol ( $\text{—OH}$ ) en su molécula, como el glicerol o glicerina, propilenglicol, sorbitol (glucitol), xilitol, eritritol, manitol y el lactitol proveniente de la lactosa”.

De acuerdo con Badui D., S. (2006) “Tanto el sorbitol como el xilitol y la isomaltosa se sintetizan industrialmente a partir de sus correspondientes monosacáridos o disacáridos (glucosa, xilosa y sacarosa, respectivamente), mediante una reducción catalítica en presencia de níquel. Estos polioles, conocidos como azúcares-alcoholes, se usan mucho en la elaboración de alimentos, sobre todo productos de confitería y panificación”. En la figura 4 puede evidenciarse a modo de ejemplo la diferencia entre una molécula de un azúcar monosacárido y un polialcohol. Como ya se explicó anteriormente la diferencia radica en que

el grupo funcional aldehído o cetona del azúcar (en este caso aldehído) se hidroliza haciendo se forme un grupo hidroxilo o alcohol, convirtiendo así, la molécula del azúcar en polialcohol (porque en toda su estructura tiene este grupo funcional), en el caso de la figura 4 se presenta el caso de pasar de glucosa (azúcar) a sorbitol (polialcohol).

**Figura 4**

*Comparativo glucosa y sorbitol*



*Fuente.* Elaboración propia

La razón del uso de los polialcoholes con el fin de sustituir azúcares radica en que de acuerdo con Badui D., S. (2006), “Su absorción en el tracto gastrointestinal es más lenta que la de la glucosa, por lo que no aumenta de inmediato el azúcar de la sangre; debido a que el valor energético de los polioles es de 2.4 kcal/g o 10 kJ/g, inferior al de los azúcares de 4 kcal/g, se usan en alimentos bajos en calorías y para diabéticos y en gomas de mascar ya que no producen caries dental”. Adicional a lo anterior, los polialcoholes confieren a los alimentos donde son adicionados características importantes a nivel tecnológico, de acuerdo con Fennema, O. (2001) “a las estructuras polihidroxilo de estos compuestos se deben sus propiedades ligantes de agua cuando se adicionan a los alimentos. Las funciones específicas de los polialcoholes son: control de la viscosidad y la textura, sustancia de relleno, retención

de humedad, reducción de la actividad de agua, control de la cristalización, mejora o retención de la pastosidad, mejora las propiedades de rehidratación de los alimentos deshidratados y uso como disolventes de compuestos aromáticos”.

Otras características importantes a tener en cuenta de los polialcoholes es que de acuerdo con Badui D., S. (2012), “Tienen un poder edulcorante de 30 a 100% del de la sacarosa. Debido a su fuerte retención de agua, su consumo excesivo tiene un efecto laxante. En el caso del xilitol se presenta un calor de disolución negativo, por lo que al disolverse en la boca produce la sensación de frescura”.

En la tabla 9 se presenta los valores de poder edulcorante de algunos polialcoholes, así como su valor energético asociado teniendo en cuenta que el valor de poder edulcorante de la sacarosa es de 1 y su valor energético es de 4 kcal/g:

**Tabla 9**

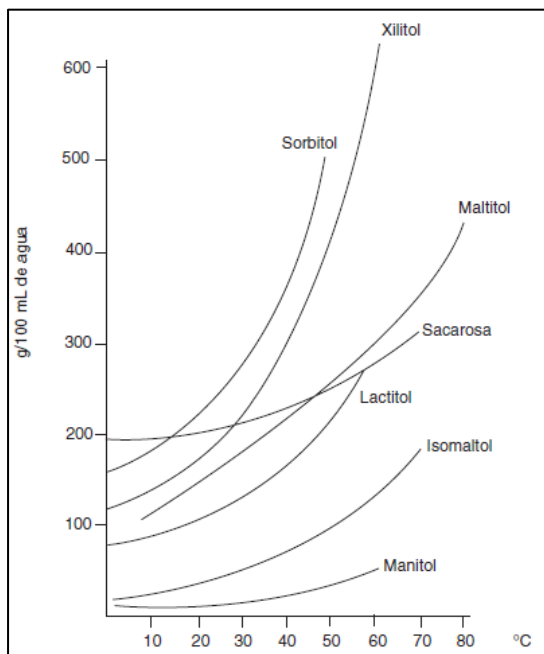
*Capacidad edulcorante relativa y valores energéticos de algunos polioles*

Polialcohol	Valor edulcorante (Sacarosa = 1)	Valor energético (Sacarosa = 4 kcal/g)
Manitol	0,6	1,58
Lactitol	0,3	2,14
Isomalta	0,4 - 0,6	2,14
Xilitol	1,0	2,39
Sorbitol	0,5	2,59
Maltitol	0,8	2,99

*Nota.* Capacidad edulcorante relativa y valores energéticos de algunos polioles. *Fuente.*

Fennema, O. (2001). Química de Los Alimentos - 2 Edición. ACRIBIA

Adicional a lo anterior, en la figura 5, se presenta la solubilidad de algunos polialcoholes a diferentes temperaturas y concentraciones en comparación con la sacarosa:

**Figura 5***Solubilidad de algunos polialcoholes*

*Fuente.* Tomado de Badui D., S. (2006). Química de los alimentos (E. Quintana D., Ed.; 4th ed.).

A continuación, se ahondará en las características y funciones tecnológicas de algunos de los polialcoholes más usados en el reemplazo de azúcares en alimentos procesados y ultraprocesados.

### ***Sorbitol***

De acuerdo con Valencia García, F. E. (2008) “El sorbitol se produce a partir de glucosa; se encuentra en forma natural en ciertas bayas y frutas. Aporta 2,6 Kcal/g y es 0,8 veces más dulce que la sacarosa, no favorece las reacciones de Maillard”, razones por las cuales el sorbitol es una buena alternativa para ejecutar reducciones de azúcares en fórmulas de alimentos procesados y ultraprocesados, su sabor como se mencionó anteriormente es casi similar al de la sacarosa, pero aporta el 65% de las calorías del ingrediente en mención.

Diversos artículos han documentado casos de aplicaciones de sorbitol como ingrediente reemplazante de sacarosa en diferentes tipos de alimentos.

En el artículo publicado por la Revista Lasallista de investigación llamado “Evaluación de los efectos en las propiedades fisicoquímicas, sensoriales y texturales de polidextrosa, fructosa y sorbitol como sustitutos de azúcar en la elaboración de arequipe”, el autor Valencia García, F. E. (2008), presenta un análisis de sustitución total de sacarosa en arequipe, realizando diferentes pruebas reemplazando el 50% del contenido de sacarosa por polidextrosa y el 50% restante por una mezcla variable entre sorbitol y fructosa, encontrando de manera general que en ninguna de las propuestas planteadas se generan alteraciones significativas de los parámetros fisicoquímicos del arequipe y que en aquellas propuestas elaboradas con mayor nivel de sorbitol obtuvieron mejores resultados de aceptación en el panel sensorial que hacía parte del estudio. De acuerdo con el autor del artículo Valencia García, F. E. (2008), “Al calcular el aporte calórico de los tratamientos elaborados se logró hacer una reducción calórica entre el 25 y el 40% de calorías comparado con el producto tradicional”, que, según las conclusiones presentadas en el estudio, con la propuesta mejor evaluada se obtuvo una reducción calórica del 38% respecto al producto control con 100% sacarosa.

Un caso de éxito adicional, en una categoría de alimentos diferentes al expuesto inicialmente es el documentado en el artículo “Effect of sorbitol on dough rheology and quality of sugar replaced cookies” por la revista Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences. En este artículo se presenta un estudio de sustitución parcial de azúcar por sorbitol a varios niveles hasta un máximo del 50% de reemplazo de contenido de sacarosa. De acuerdo con el artículo, se planteó una formulación base donde el contenido total de sacarosa de la receta era de aproximadamente el 25%, y se plantearon 5 opciones alternativas donde se reemplazó parcialmente este 25% de sacarosa por 2.5%, 5.0%, 7.5%, 10.0% y 12.5%,

encontrando que para cada uno de los casos los valores fisicoquímicos, reológicos, mixográficos, farinográficos y extensográficos se alteraban creciente o decrecientemente en la medida que se aumentaba el contenido de sorbitol en la formulación. De acuerdo con lo referido por los autores Majeed, M et al. (2018) “Los estudios mixográficos mostraron que la altura del pico y el tiempo de mezcla se redujeron con la adición de sorbitol. Los estudios farinográficos mostraron que la absorción de agua y el índice de tolerancia al mezclado de la masa se redujeron con la suplementación de sorbitol, mientras que el tiempo de desarrollo de la masa, el tiempo de llegada, el tiempo de estabilidad de la masa y el ablandamiento de la masa aumentaron. Los estudios extensográficos revelaron que la sustitución del sorbitol producía una masa dura, cohesiva, adhesiva y elástica”. Con hallazgos como los presentados por este estudio cabe recalcar la importancia de verificar no solamente los perfiles sensoriales del producto sobre el cual se está desarrollando la sustitución de azúcar sino también la necesidad de validar las condiciones que a nivel de proceso productivo se alteran y deben ser manejadas y controladas de forma tal que se logre un producto adecuado bajo condiciones estándares de producción. Como conclusión principal del estudio en mención se indica que la prueba realizada con un contenido de 5% de sorbitol, es decir, un reemplazo del 20% del contenido total de sacarosa fue la muestra de mayor aceptación a nivel sensorial, sin embargo, Majeed, M et al. (2018) refieren que “la evaluación sensorial de las galletas mostró que los puntos hedónicos para los parámetros de evaluación sensorial se redujeron con los niveles crecientes de sorbitol”, es decir, a pesar de que el reemplazo del 20% de sacarosa tuvo buena aceptación entre el panel sensorial, no se alcanzó el mismo nivel de aceptación que la muestra elaborada con 100% sacarosa, lo cual pone en evidencia que si bien es posible lograr una reducción de sacarosa que derive en una reducción calórica del producto, el perfil sensorial es alterado en mayor o menor proporción, lo cual podría llegar a mitigarse con

mezclas de otros ingredientes que ayuden a homologar con exactitud el perfil sensorial del producto en su versión 100% azúcares.

### *Xilitol*

De acuerdo con Islam, M. S. (2011) “El xilitol es un alcohol de azúcar con cinco carbonos, de aspecto blanco, cristalino, usualmente obtenido por la hidrogenación de su precursor, la xilosa. Es ampliamente usado como edulcorante sin azúcar o sustituto de azúcar en varios productos alimenticios dado que su dulzor es similar pero su valor calórico es relativamente más bajo (2.4 kcal/g) comparado con el del azúcar (4.0 kcal/g). Alrededor del 50% del xilitol es absorbido en el tracto intestinal delgado, mientras que el resto ingresa al intestino grueso para ser fermentado por bacterias”.

Gracias a sus características fisicoquímicas, el xilitol tiene una amplia oportunidad de aplicaciones en diferentes categorías de alimentos, de acuerdo con Mussatto, S. I. (2012) “El xilitol tiene un 75% menos de carbohidratos que la sacarosa y no produce regusto. Además, los jarabes de xilitol son menos viscosos que los jarabes de sacarosa y no se carameliza si se calienta a temperaturas cercanas al punto de ebullición (216°C) durante varios minutos. El xilitol sólido se disuelve rápidamente en la boca y produce una sensación refrescante notable debido a su calor de dilución endotérmico (34,8 cal/g), que proporciona un sabor excelente y una sensación refrescante particularmente ventajosa con ciertos sabores especiados, herbáceos y de menta”. En la tabla 10 se presentan algunas características del xilitol, extraídas del estudio realizado por Mussatto, S. I. (2012) “Application of xylitol in food formulations and benefits for health. D-Xylitol: Fermentative Production, Application and Commercialization”

**Tabla 10***Características del xilitol*

Propiedad	Característica / valor
Formula empírica	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> O <sub>5</sub>
Forma genérica	Pentitol
Apariencia	Polvo cristalino
Color	Blanco
Gusto	Dulce
Olor	Sin olor
Punto de fusión	92 - 96°C
Punto de ebullición	216°C (1 atm)
pH (solución acuosa 10%)	5 - 7
Solubilidad en agua (20°C)	64,2 g/100 g solución
Higroscopicidad	> sacarosa; < sorbitol
Calor de solubilidad (endotérmico)	34,8
Dulzor relativo	Similar a la sacarosa
Valor calórico	2,4 cal/g

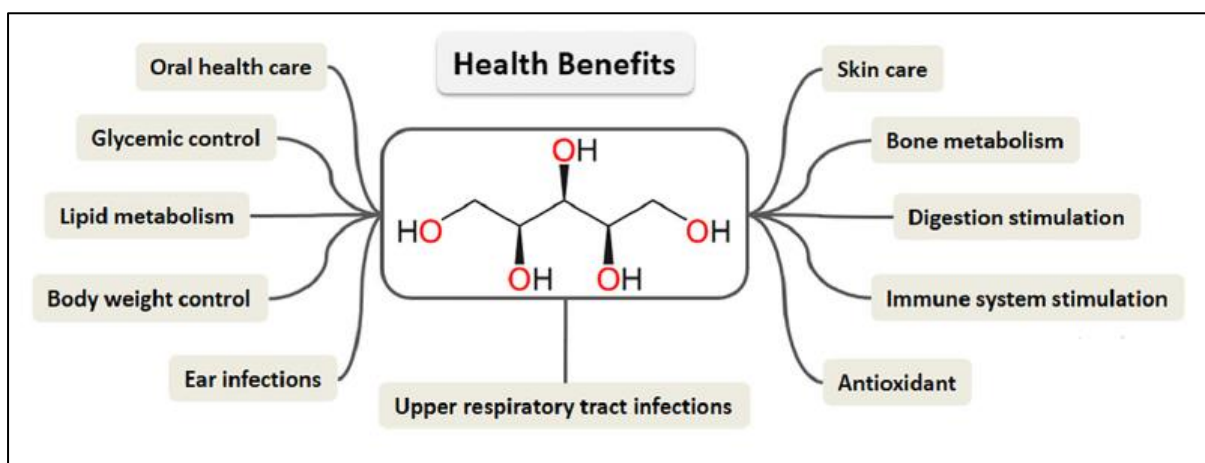
*Nota.* Características del xilitol. *Fuente.* Mussatto, S. I. (2012). Application of xylitol in food formulations and benefits for health. D-Xylitol: Fermentative Production, Application and Commercialization, 309-323. [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-31887-0\\_14](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-31887-0_14)

Gran parte de las publicaciones científicas que documentan estudios donde se analiza el uso y los efectos del xilitol encuentran que este polialcohol tiene bondades para evitar o combatir problemas de salud como la obesidad, diabetes, la caries, entre otros. En el artículo “Health benefits of xilitol” presentado por Gasmi Benahmed, A. et al. (2020), se refiere que “Este polioliol tiene un importante efecto antiplaca en la superficie de los dientes y puede reducir la inflamación gingival; se utiliza como agente preventivo de la caries dental debido a la disminución de los niveles de crecimiento de *Streptococcus mutans* y *Streptococcus*

*sanguis*, patógenos en las primeras etapas. El xilitol puede unirse al ion calcio y provocar la consiguiente remineralización del esmalte de los dientes; también es capaz de prevenir la osteoporosis. Este poliol puede tratar enfermedades del tracto respiratorio y del oído medio debido a su potencial antibacteriano y antiinflamatorio y prevenir algunas enfermedades que no se pueden curar con antibióticos o cirugía. El xilitol puede reducir el estreñimiento, la diabetes, la obesidad y otros síndromes o enfermedades del cuerpo; también ha revelado su efecto estimulante sobre la digestión y el sistema inmunológico”. En la figura 6, extraída del artículo publicado por Gasmi Benahmed, A. et al. (2020) se presentan algunos de los beneficios para la salud asociados con el xilitol.

### Figura 6

#### *Beneficios de salud asociados al xilitol*



*Fuente.* Obtenido de Gasmi Benahmed, A., Gasmi, A., Arshad, M., Shanaida, M., Lysiuk, R., Peana, M., ... & Bjørklund, G. (2020). Health benefits of xylitol. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 104(17), 7225-7237. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00253-020-10708-7>

Como pudo identificarse anteriormente son muchas las bondades que presenta el xilitol en cuanto a beneficios para la salud, de igual forma, este ingrediente presenta diferentes beneficios o bondades en las diferentes categorías de alimentos, especialmente en

chicles o gomas de mascar, pues en diferentes publicaciones como las de Gasmi Benahmed, A. et al. (2020), se refiere que “se utilizan diferentes vehículos para introducir el xilitol en el cuerpo humano, pero los chicles ocupan una posición de liderazgo”, lo cual es confirmado en otras publicaciones como las de Mussatto, S. I. (2012), donde se refiere que “debido al alto calor endotérmico de la solución (34,8 cal/g), el xilitol se ha utilizado para proporcionar un agradable efecto refrescante en varios productos, como cremas para galletas, rellenos, fondants y chicles. En particular, en los chicles, el xilitol se usa ampliamente por tres razones principales: (1) promover un efecto refrescante, (2) promover un dulzor similar a la sacarosa, pero con menor valor calórico y (3) proporcionar una textura novedosa, formando productos más flexibles”.

Los beneficios identificados del xilitol en cuanto al cuidado dental y bucal unido a las características que puede otorgar a los chicles usándolo como sustituto de azúcar hace que sea un ingrediente con un alto valor agregado para la categoría de chicles y gomas de mascar. En la tabla 11 extraída del estudio “Sugar alcohol sweeteners as alternatives to sugar with special consideration of xylitol” presentado por Mäkinen, K. K. (2011) se relacionan las aplicaciones más comunes, beneficios y dificultades del xilitol en diferentes categorías de alimentos en el contexto del control de la caries:

**Tabla 11***El xilitol en diferentes aplicaciones para control de la caries*

Producto	Comentario
Chicles y gomas de mascar	Proporciona una masticación eficaz; aumenta la salivación. Limpieza mecánica limitada (efecto reductor de placa leve); el uso simultáneo de fluoruros y otros adyuvantes puede aumentar la eficacia. Desventaja: el chicle no utilizado constituye un rechazo.
Pastillas, tabletas, grageas	Estimulación de la saliva. Indicado para pacientes con problemas oclusales. Totalmente soluble (no se producen residuos de chicle). Preocupaciones sobre las tabletas masticables en general.
Dentífrico	Limpieza mecánica simultánea. Uso normalmente no calórico (los bebés pueden tragar el dentífrico); facilita varios efectos aditivos de otros ingredientes como fluoruros, detergentes, sales de calcio y fosfato inorgánicas y orgánicas, productos farmacéuticos.
Enjuagues bucales, sprays, geles, “saliva artificial”	Uso con normalidad no calórico, normalmente tiempo de tratamiento más corto. Es posible el uso simultáneo de detergentes, fluoruros, sales inorgánicas y orgánicas, productos farmacéuticos. El gel se puede utilizar con una boquilla hecha a medida (efectiva en fisuras). Los sustitutos de la saliva pueden ser utilizados, por ejemplo, por pacientes xerostómicos.
Chupetas	Después de experimentos preliminares y ensayos clínicos, ahora recibe más atención como un mecanismo de dosificación de xilitol de liberación lenta en bebés (mediante un mordisco perforado o un bolsillo en el que se puede insertar una tableta de xilitol para su disolución gradual con la saliva). Impacto positivo simultáneo en el control de la infección del oído medio, lo que resulta en una menor prescripción de antibióticos

*Nota.* El xilitol en diferentes aplicaciones para control de la caries. *Fuente.* Mäkinen, K. K.

(2011). Sugar alcohol sweeteners as alternatives to sugar with special consideration of xylitol. *Medical Principles and Practice*, 20(4), 303-320.

<https://karger.com/mpp/article/20/4/303/203379/Sugar-Alcohol-Sweeteners-as-Alternatives-to-Sugar>

De acuerdo con Mussatto, S. I. (2012), “Hoy en día se pueden encontrar en el mercado una variedad de productos que contienen xilitol en su composición, entre los que se incluyen chicles, confitería, mermeladas, chocolates, postres helados, galletas, flanes, helados y refrescos”, en la tabla la tabla 12, se presenta un resumen del uso del xilitol en aplicaciones de productos alimenticios diferentes a chiles, de la cual se ahondó anteriormente:

**Tabla 12**

*Aplicaciones del xilitol en productos alimenticios*

Campo de aplicación	Descripción
Confitería	Usado para confitería “sugar free” y para generar efectos refrescantes en los productos terminados
Chocolatería	No es muy común el uso en chocolates, sin embargo, puede usarse para reemplazar una pequeña parte de sacarosa. Su uso afecta la viscosidad.
Yogures, mermeladas y postres congelados	Mejorador de textura, color y sabor del producto terminado. Mejora la estabilidad. También es usado como antioxidante, humectante, estabilizante, crioprotector y reduce el punto de congelación.
Helados	Agente de relleno, endulzante e inhibidor de la cristalización. Los helados con xilitol mejoran considerablemente la textura frente a los helados que solo se elaboran con sacarosa.
Pasteles y muffins	Humectante, mejorador de textura, prolonga la vida útil de los productos de pastelería. Puede reemplazar el 100% de la sacarosa en esta aplicación.

*Nota.* Aplicaciones del xilitol en productos alimenticios. *Fuente.* Mussatto, S. I. (2012).

Application of xylitol in food formulations and benefits for health. D-Xylitol: Fermentative

Production, Application and Commercialization, 309-323.

[https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-31887-0\\_14](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-31887-0_14)

Como puede observarse, el xilitol es una muy buena opción para ejecutar reemplazos totales o parciales de azúcares en alimentos procesados y ultraprocesados, pues si bien homologa la mayor parte de las características tecnológicas que aportan los azúcares, especialmente la sacarosa en los productos terminados, el xilitol aporta beneficios a la salud como inhibidor de caries, controla el azúcar en sangre, entre otros.

De manera general, los polialcoholes son una muy buena opción para el reemplazo de azúcares en alimentos procesados y ultraprocesados ya que estos aportan mucho menos calorías que los sacáridos y tienen un poder edulcorante igual o menor que el de la sacarosa, lo cual los convierte en unos buenos candidatos para actuar como agentes de relleno, es decir, como ingredientes principales, lo cual permite realizar reemplazos de hasta un 100% de sacarosa usando polialcoholes.

### **Edulcorantes**

De acuerdo con lo indicado en el marco conceptual del presente documento, el término “edulcorantes” hace referencia a los “edulcorantes intensivos”, que son aditivos que tienen un poder endulzante mucho más elevado que el del azúcar. De acuerdo con el documento “Modelo de perfil de nutrientes de la Organización Panamericana de la Salud”, la OPS (2016), define como “Otros edulcorantes: Aditivos que dan un sabor dulce a los alimentos, incluidos los edulcorantes artificiales no calóricos (por ejemplo, aspartame, sucralosa, sacarina y potasio de acesulfamo), los edulcorantes naturales no calóricos (por ejemplo, estevia) y los edulcorantes calóricos tales como los polialcoholes (por ejemplo, sorbitol, manitol, lactitol e isomalt). Esta categoría no incluye los jugos de fruta, la miel u otros ingredientes alimentarios que pueden usarse como edulcorantes”.

Con base en lo presentado en el anterior párrafo, los edulcorantes de interés en este caso son los no nutritivos, tanto de origen artificial como natural, pues los polialcoholes fueron analizados anteriormente.

De acuerdo con Rembado, M., & Sceni, P., (2009) “Los edulcorantes son ampliamente utilizados para reemplazar a la sacarosa, no solamente en aquellos productos bajas en calorías, destinados a personas que desean hacer dietas para adelgazar o personas diabéticas, sino también, en la mayoría de los productos en polvos para preparar postres tipo mousse, flanes, gelatinas o bebidas con sabores frutales, que están dirigidos a niños”.

En la tabla 13 se presentan los valores relativos de dulzor de algunos edulcorantes comparados con el de la sacarosa:

**Tabla 13**

*Capacidad edulcorante relativa de algunos edulcorantes*

Sustancia	Valor edulcorante relativo
Acesulfame K	200
Alitamo	2.000
Aspartamo	180 - 200
Ciclamato	30
Glicirrizina	50 - 100
Monelina	3.000
Neoesperitina dihidrocalcona	1.600 - 2.000
Sacarina	300 - 400
Esteviósidos	300
Sucralosa	600 - 800
Taumantina	1.600 - 2.000

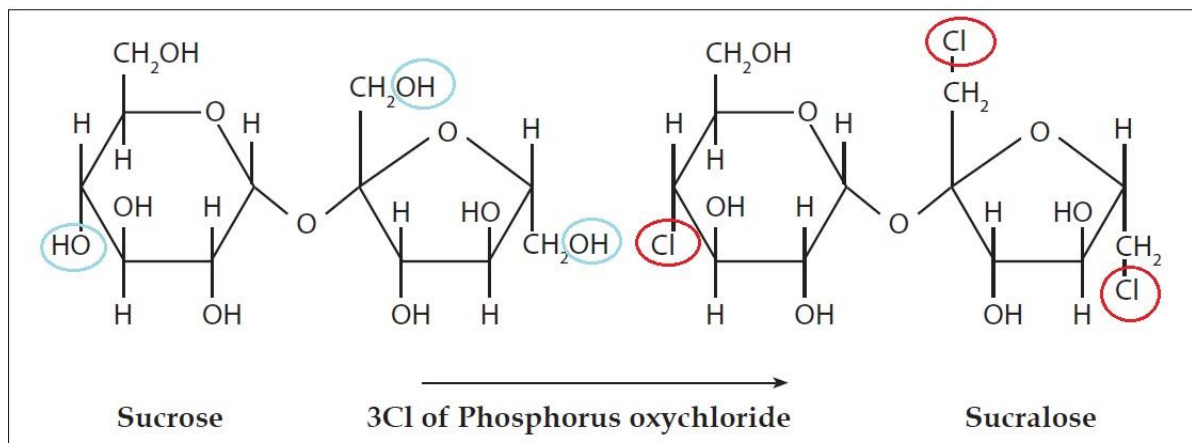
*Nota.* Capacidad edulcorante relativa de algunos edulcorantes con valor edulcorante relativo de sacarosa igual a 1. *Fuente.* Fennema, O. (2001). *Química de Los Alimentos - 2 Edición.* ACRIBIA.

A pesar de lo ya descrito sobre los edulcorantes, es una realidad que el uso de estos aditivos ha sido ampliamente estudiado y relacionado con afectaciones a la salud, prueba de ello es el artículo “Artificial sweeteners and cancer” publicado en Salem Press Encyclopedia of Health, donde el autor Krishnan, L. P. D. (2024), refiere que “los edulcorantes artificiales son beneficiosos para las personas con diabetes y para quienes siguen planes de adelgazamiento. Sin embargo, los efectos de su uso a largo plazo sobre el mantenimiento del peso y el riesgo de cáncer son controvertidos porque no se comprenden con claridad. En vista de la falta de datos experimentales y de toda la controversia que gira en torno a los edulcorantes artificiales, la moderación debería ser la consigna para todos aquellos que los utilicen”.

A continuación, se presentarán algunos atributos y características de la sucralosa y la estevia como unas de las opciones más utilizadas para el reemplazo de azúcares en alimentos procesados y ultraprocesados, posteriormente se analizará un caso de éxito en la aplicación de estos edulcorantes.

### ***Sucralosa***

De acuerdo con Sheet, B. S., et al. (2014) “La sucralosa se produce por la unión del cloro con la sacarosa. El proceso se realiza en cinco etapas donde se sustituyen tres grupos hidroxilo selectivamente con tres átomos de cloro en la molécula de sacarosa”. En la figura 7 se presenta gráficamente la transformación de sacarosa a sucralosa:

**Figura 7***Producción de la sucralosa*

*Fuente.* Adaptado de Sheet, B. S., Artık, N., Ayed, M. A., Abdulaziz, O. F. (2014). Some alternative sweeteners xylitol, sorbitol, sucralose and stevia: Review. *Karaelmas Fen Ve Mühendislik Dergisi*, 4(1), 63-70.

De acuerdo con Sheet, B. S., et al. (2014), “la sucralosa, comercialmente llamada splenda, produce cambios notorios respecto a la sacarosa en cuanto a intensidad de dulzor y estabilidad sin comprometer la calidad del sabor gracias a su cloración selectiva. La sucralosa tiene un sabor dulce agradable similar a la sacarosa, pero con regusto desagradable. Es un polvo blanco, cristalino y no higroscópico”. Por lo anterior este edulcorante es de amplio uso en el desarrollo de soluciones de sustitución de azúcares en alimentos procesados y ultraprocesados, estudios como el publicado por la revista *Nutrición Clínica y Dietética Hospitalaria* llamado “Edulcorantes no calóricos empleados en alimentos procesados en Ecuador”, rinden cuenta de ello, el autor de este artículo Burneo V., J. I. (2022), como conclusión refiere que “El 61% de los alimentos procesados recopilados declararon el uso de un solo edulcorante no calórico, siendo el más empleado la sucralosa”, dicho artículo realizó una recopilación de 450 productos que declaraban la inclusión de uno o más edulcorantes no calóricos para posteriormente clasificarlos en diferentes categorías y realizar análisis de

tablas nutricionales, declaraciones en listas de ingredientes, entre otros. En dicho artículo llama la atención una de las conclusiones principales, la cual es un llamado a la conciencia en el uso de los edulcorantes artificiales no calóricos, de acuerdo con Burneo V., J. I. (2022), “La ventaja que ofrecen los edulcorantes no calóricos son un sabor dulce, pero con un aporte bajo de calorías. Por lo cual, pueden ser empleados para planes de alimentación hipocalóricos. Sin embargo, el consumidor debe estar consciente que el aporte nulo de calorías en un alimento procesado no es sinónimo de beneficios a la salud. Por otro lado, ningún producto que contenga edulcorantes no calóricos va a lograr controlar la obesidad, paliar la diabetes, reducir peso corporal o aportar al equilibrio de la microbiota”.

### ***Estevia***

En el artículo “Estudio de la Stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) como edulcorante natural y su uso en beneficio de la salud” publicado por la Universidad Nacional de Trujillo, Perú, el autor, Salvador-Reyes, R., et al., (2014), definen la estevia como “La stevia, conocida también como “El edulcorante milagroso”, es considerada el mejor sustituto del azúcar debido a que es hasta 300 veces más dulce y no contiene calorías. Este arbusto presenta en su composición un alto porcentaje de glucósidos de esteviol (esteviósido y rebaudiosida A), los cuales le confieren un sabor dulce intenso y propiedades terapéuticas contra la diabetes, la hipertensión y la obesidad; además ayuda al control del peso, la saciedad y el hambre”.

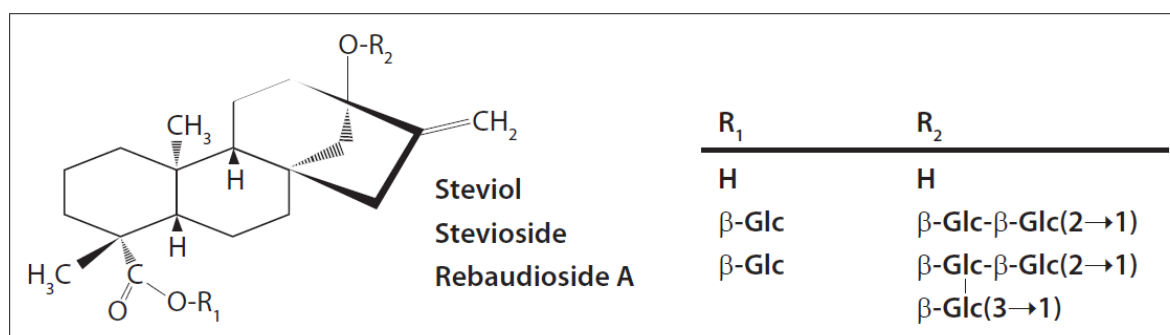
De acuerdo con lo anterior, desde el punto de vista de la salud, a diferencia de los edulcorantes artificiales, la estevia, cuyo origen es natural, no tiene un marcado cuestionamiento frente a posibles riesgos asociados a su consumo, lo cual es sustentado por otros autores como Sheet, B. S., et al. (2014), quienes refieren que “se concluyó que la microflora del intestino humano no es capaz de sintetizar el esteviol, por lo que este sale con

la orina en forma de glucurónido de esteviol, lo que significa que los compuestos metabolizados abandonan el organismo y no se acumulan en él”.

Regresando al tema de la composición de la esteva y su poder edulcorante, de acuerdo con lo referido por Salvador-Reyes, R., et al., (2014), “Los compuestos responsables del dulzor de la *Stevia rebaudiana* son los glucósidos de esteviol aislados e identificados como esteviósido, esteviolbiósido, rebaudiósido A, B, C, D, E y F y dulcósido”, en la figura 8 se presenta una estructura molecular de glucósidos de esteva.

### Figura 8

#### *Molécula de glucósido de esteva*



Fuente. Tomado de Sheet, B. S., Artık, N., Ayed, M. A., Abdulaziz, O. F. (2014). Some alternative sweeteners xylitol, sorbitol, sucralose and stevia: Review. *Karaelmas Fen Ve Mühendislik Dergisi*, 4(1), 63-70.

Con base en lo descrito respecto a la esteva puede concluirse que este aditivo es una gran opción para realizar reemplazos de azúcares en alimentos procesados y ultraprocesados, pues de acuerdo con los estudios analizados, la esteva tiene un desempeño organoléptico superior y un bajo o nulo cuestionamiento respecto a contraindicaciones para la salud, lo cual no sucede con los edulcorantes artificiales.

Respecto a aplicaciones o casos de éxito, la revista *GIDA: The Journal of Food*, publicó en el año 2024 el artículo titulado “Effect of partial replacement of sucrose with

stevia and sucralose on the physicochemical and structural-mechanical properties of apple marmalade”, en este estudio se realizó un análisis de los efectos que tenían diferentes niveles de reemplazos de sacarosa en una formulación estándar de mermelada de manzana. La tabla 14 adaptada del estudio en mención se presentan los reemplazos analizados:

**Tabla 14**

*Mermelada de manzana con edulcorantes*

Formulación N°	Cantidad base de sacarosa (g)	Reemplazo de sacarosa (%)	Cantidad de sacarosa (g)	Cantidad de stevia (mg)	Cantidad de sucralosa (mg)
1	500	0	500	0	0
2	500	25	375	416,67	0
3	500	50	250	833,33	0
4	500	25	375	0	208
5	500	50	250	0	416
6	600	0	600	0	0
7	600	25	450	500	0
8	600	50	300	1.000	0
9	600	25	450	0	250
10	600	50	300	0	500

*Nota.* Mermelada de manzana con edulcorantes. *Fuente.* Tomado de Berk, B., Şirin, P., &

Ünlütürk, S. (2024). Effect of Partial Replacement of Sucrose with Stevia and Sucralose on the Physicochemical and Structural-Mechanical Properties of Apple Marmalade. *GIDA: The Journal of Food*, 49(2), 223–237. <https://doi-org.bibliotecavirtual.unad.edu.co/10.15237/gida.GD23136>

Cada una de las formulaciones planteadas en el cuadro anterior fueron analizadas desde el punto de vista fisicoquímico, reológico, perfil de textura, microestructura superficial y sensorial. Respecto a la parte fisicoquímica, según concluyen los autores Berk, B., et al., (2024) “La actividad de agua de la mermelada de manzana incrementó con el incremento de

la concentración de endulzantes debido a la baja interacción del agua con la matriz”, lo cual es coherente con lo analizado en el capítulo 1 de esta monografía, pues la actividad de agua disminuye en la medida que la concentración de azúcares (en este caso la sacarosa) se incrementa. Analizando la tabla 14 se puede notar que la cantidad de azúcar retirada de la formulación no es compensada por la cantidad de edulcorante en su reemplazo, por ejemplo, en la prueba N°3 se realizó un reemplazo del 50% de sacarosa, es decir que fueron retirados 250 g de sacarosa de la receta que en su lugar se reemplazaron por 416 mg de sucralosa, es decir, en masa se utilizó el 0.16% de sucralosa respecto a los 250 g retirados de azúcar, la masa restante no fue compensada con otro ingrediente, lo cual evidentemente hace que los solutos de la mermelada disminuyan su concentración, haciendo que aumente la cantidad de agua disponible, por ende se incrementa la actividad de agua. La importancia de este hallazgo radica en que como se mencionó en capítulo 1, la actividad de agua ( $A_w$ ) es un punto clave de control para evitar el desarrollo microbiológico en una matriz alimentaria, a mayor valor de  $A_w$  mayor será la sensibilidad de un alimento al desarrollo de microorganismos.

De acuerdo con los autores, Berk, B., et al., (2024) “El objetivo era encontrar la mejor formulación de mermelada con contenido de edulcorantes comparado con la muestra control respecto a sus características fisicoquímicas, texturales, reológicas y microestructurales. La adición de edulcorantes a las formulaciones tuvo un efecto significativo en la mayoría de ellas”, adicionalmente, Berk, B., et al., (2024), encontraron que “Los resultados del estudio presentaron un óptimo desempeño en las fórmulas N°3 y N°5 debido al bajo contenido de azúcar y sus alteraciones fisicoquímicas no fueron significantes”.

Con lo anterior puede confirmarse que a pesar de los cuestionamientos que hoy se tienen alrededor del uso de edulcorantes como agentes de reemplazo de azúcares en alimentos procesados y ultraprocesados son una alternativa viable que ofrece tanto ventajas como desventajas desde el punto de vista de la tecnología de los alimentos. Tal y como se

presentó en el estudio de Berk, B., et al., (2024), es de vital importancia verificar no solo la parte sensorial en el momento de ejecutar reemplazos de azúcares, sino que también se requiere el análisis de parámetros como los fisicoquímicos, con los que se puede llegar a intuir la estabilidad del alimento durante su vida de anaquel.

### **Resultado 3. Otras Alternativas como Sustituto de Azúcares Añadidos en los Alimentos**

#### **Procesados y Ultraprocesados**

En el presente capítulo se realizará una revisión bibliográfica respecto a investigaciones donde se han encontrado alternativas diferentes a las fibras, polialcoholes y edulcorantes para el reemplazo total o parcial de azúcares añadidos en alimentos procesados y ultraprocesados. Estos estudios presentan soluciones alimenticias a partir de proteínas edulcorante y algunos ingredientes llamados azúcares poco comunes. A continuación, se ahondará en cada uno de estos casos:

#### ***Proteínas Edulcorantes***

Las proteínas edulcorantes son un término relativamente nuevo, pues solo hasta los últimos años se han presentado investigaciones que pretenden mostrar el camino para avanzar en este campo. De acuerdo con Su, J., et al., (2024) “Los péptidos edulcorantes, una clase de péptidos que exhiben dulzura natural derivada de fuentes alimenticias o sintetizada a través de aminoácidos, han despertado un interés contemporáneo. En los últimos años, se ha informado que varios péptidos de alimentos naturales, como el pez globo, las semillas de morera y la salsa de soja, producen dulzura y sirven como sustitutos bajos en calorías de los azúcares en alimentos y bebidas. Con la creciente conciencia de la salud de los consumidores, los péptidos edulcorantes tienen un potencial significativo para su aplicación en la industria alimentaria”.

Según refieren Nicholas Chua, B., et al., (2023) “Las proteínas edulcorantes de origen natural tienen el potencial de reemplazar a los edulcorantes artificiales debido a su naturaleza intensamente dulce y su perfil de seguridad de bajo riesgo. A diferencia de la sacarosa, las proteínas edulcorantes no desencadenan una demanda de insulina en pacientes diabéticos. Hasta ahora, se han descubierto siete proteínas de sabor dulce muy diferentes a partir de plantas ubicadas en selvas tropicales. Estas son brazzeína, taumatina, monelina, neoculina,

mabinlina, miraculina y pentadina. De las proteínas dulces, el candidato más prometedor que se está considerando para el reemplazo directo del azúcar es la brazzeína, debido a su tamaño relativamente pequeño de 54 aminoácidos con 6,40 kDa, y su dulzura intensa que es de 500 a 2000 veces mayor que la sacarosa”.

La anterior definición corresponde al artículo “A sweeter future: Using protein language models for exploring sweeter brazzein homologs” publicado en el 2023 por la revista Food Chemistry. Este estudio tenía como objetivo buscar un homólogo de la brazzeína, que de acuerdo con los autores, Nicholas Chua, B., et al., (2023) es “originalmente aislada del fruto de la planta de África occidental, *Pentadiplandra brazzeana* Bailon”, con características mejoradas en cuanto a termoestabilidad y potencia del dulzor, encontrando una gran cantidad de alternativas de secuencias de aminoácidos que demuestran el potencial de este tipo de investigaciones encaminadas a buscar alternativas innovadoras para el desarrollo de industria alimenticia.

Respecto a las demás proteínas mencionadas en el estudio referido en el párrafo anterior, se encuentra documentado que, de acuerdo con Younes, M. et al., (2021) “la taumatina es una proteína vegetal natural, compuesta por las proteínas taumatina I y taumatina II y es obtenida por extracción acuosa ácida de los arilos del fruto de la planta *Thaumatococcus danielli*”. La monelina, según refiere Ojo Kayode, R. M. et al., (2019) “Se encuentra principalmente en el mesocarpio mucilaginoso de las bayas de serendipia. Esta proteína es la sustancia natural más dulce que se conoce, hasta 3.000 veces más dulce que la sacarosa y aproximadamente 100.000 veces más potente que el azúcar en términos molares”. Para el caso de la neoculina, Ohkubo, T. et al., (2015) refieren que “Es aislada del fruto de *Cuculigo latifolia* en Malasia y se demostró que forma un heterodímero con la subunidad ácida que consta de 113 aminoácidos y la subunidad básica que consta de 114 aminoácidos unidos por dos enlaces disulfuro”, los mismos autores, Ohkubo, T. et al., (2015), indican que,

con relación a la miraculina, “se aísla del fruto de *Richardella dulcifica* en África occidental. Se identificó como un homodímero de una proteína que consta de 191 aminoácidos”. Con relación a la mabinlina, de acuerdo con Sharififar, F., et al., (2022) “se obtiene de las semillas de la fruta *Capparis masakai* Levy, que se encuentra en China y tiene un poder endulzante 100 veces mayor respecto a la sacarosa”. Para el caso de la pentadina según refiere Sharififar, F., et al., (2022), “Esta proteína de sabor dulce se extrae de la pulpa de *Pentadiplandra brazzena* Baillon, un arbusto trepador que se encuentra en África tropical (especialmente en Gabón). La pentadina se obtiene de la misma planta de la que se extrae la brazzeína, con la diferencia de que la pentadina se extrae de la fruta secada al calor, mientras que la brazzeína se extrae de la fruta fresca”.

Otros estudios como el publicado por la revista *International Journal of Molecular Sciences* titulado “Integrating Computational and Experimental Methods to Identify Novel Sweet Peptides from Egg and Soy Proteins”, presenta cómo a través de métodos computacionales se han logrado identificar péptidos edulcorantes a partir de huevos y proteína de soya utilizando una metodología innovadora, que de acuerdo con los autores Su, J., et al., (2024) “En este estudio, nos propusimos identificar y validar péptidos dulces derivados de proteínas de huevo y soja mediante un enfoque integrador que combina hidrólisis virtual, predicciones de aprendizaje automático, selección computacional y validación experimental. Mediante el empleo de una serie de herramientas bioinformáticas y técnicas de simulación molecular, seleccionamos péptidos en busca de características prometedoras de dulzura y no toxicidad”. Como resultado de este estudio, los investigadores identificaron 3 péptidos DCY(Asp-Cys-Tyr), GGR(Gly-Gly-Arg) e IGR(Ile-Gly-Arg), como conclusión del artículo, los autores Su, J., et al., (2024) refieren que “La culminación de este riguroso proceso fue la identificación de tres péptidos dulces (DCY, GGR e IGR) mediante la utilización de la lengua electrónica para su validación. Nuestros hallazgos revelaron que el

IGR era el péptido con el perfil de sabor más favorable. Este enfoque integral, que integra técnicas computacionales y experimentales avanzadas, no solo subraya el potencial de estos péptidos en aplicaciones alimentarias, sino que también sienta un precedente para futuros estudios en el campo de la ciencia del sabor”.

Con lo expuesto anteriormente puede validarse como en la actualidad se están generando investigaciones que van en busca de ofrecer alternativas innovadoras para ejecutar reemplazos de azúcares en alimentos procesados y ultraprocesados, de forma tal que se superen brechas como los comunes interrogantes respecto al uso de los edulcorantes artificiales de los cuales se habló el capítulo 2, siendo un prometedor camino el uso y desarrollo de soluciones de dulzor a partir de aminoácidos y no de carbohidratos.

#### *Azúcares poco Comunes - Alulosa*

Es un azúcar poco conocido y por definición, de acuerdo con lo referido por Mora, M. R. et al., (2022) “Los azúcares poco comunes son monosacáridos con una intensidad de dulzor y propiedades funcionales casi equivalentes a las de la sacarosa, pero a menudo con solo una fracción de la densidad calórica. Las investigaciones también han demostrado que los azúcares poco comunes tienen menos impactos adversos para la salud e incluso pueden proporcionar efectos beneficiosos en los niveles de glucosa posprandial, manteniendo los niveles de azúcar en sangre. La tagatosa y la alulosa son de particular interés, ya que han recibido el estatus de Generalmente Reconocidos Como Seguros (GRAS) por parte de la Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos (FDA, Silver Spring, MD, EE. UU.), con un interés específico en la alulosa desde que se le concedió la exención del etiquetado como "azúcar añadido”.

La alulosa es uno de los azúcares poco comunes que presenta mayor potencial en su uso, pues como se mencionó anteriormente la FDA no considera este ingrediente como un azúcar añadido, adicionalmente, de acuerdo con lo que refiere Zhang, W. et al., (2023)

“También se ha solicitado su aprobación como ingrediente alimentario en China, Japón y la Unión Europea”, lo cual aporta significativamente a que se genere mayor interés en la aplicación de esta alternativa para reemplazar azúcares en los alimentos procesados y ultraprocesados.

De acuerdo con el artículo “D-allulose, a versatile rare sugar: recent biotechnological advances and challenges” publicado en la revista *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, la alulosa tiene propiedades que la convierten en una opción muy interesante para el reemplazo de azúcares en alimentos procesados y ultraprocesados, ya que según los autores Zhang, W. et al., (2023) “La D-alulosa no solo se utiliza como edulcorante, sino que también se puede utilizar para mejorar la calidad de los alimentos a través de las reacciones de Maillard durante el procesamiento de los mismos. La adición de D-alulosa mejora en gran medida la actividad antioxidante, la fuerza gelificante, la estabilidad emulsionante y las propiedades espumantes. En el caso de los alimentos congelados, la presencia de D-alulosa podría mejorar la estabilidad de almacenamiento y extender el período de almacenamiento al mejorar la elasticidad, la viscosidad y la capacidad de retención de agua. Como mejorador de gel, la D-alulosa también podría aumentar la fuerza del gel y la capacidad de retención de agua del gel de surimi inducido por calor. Durante la fermentación con bacterias de ácido láctico (BAL), la D-alulosa podría inhibir la producción de ácido y mejorar el sabor, sin alterar la actividad probiótica. Además, la D-alulosa podría facilitar la gelatinización e inhibir la retrogradación del almidón al promover la fusión de la estructura cristalina durante el calentamiento y suprimir la recristalización durante el almacenamiento”. Respecto a las características físicas, químicas y energéticas que refiere los autores del mismo estudio, Zhang, W. et al., (2023) la D-alulosa “Presenta buena solubilidad en agua de 291 g/100 g de agua a 25°C y su punto de fusión es de 96°C. Presenta cierto enfriamiento sin amargor, y se estima que el dulzor de la D-alulosa es el 70% del de la sacarosa. Según el documento de

orientación de la FDA (FDA-2019-D-0725), la D-alulosa proporciona una energía dietética de 0,4 kcal/g”.

En el artículo “Consumers Respond Positively to the Sensory, Health, and Sustainability Benefits of the Rare Sugar Allulose in Yogurt Formulations” publicado en el año 2022 por la revista *Foods*, se presenta una prueba con consumidores donde se compara la aceptación que estos tienen por 3 versiones diferentes alternas a las de un yogurt griego endulzado con sacarosa. Las 3 alternativas que se presentan son endulzadas con estevia, sucralosa y alulosa, donde se encuentra que la opción que obtuvo la menor aceptación fue la endulzada con estevia, de acuerdo con los autores, Mora, M. R. et al., (2022) “muchos estudios han observado una alta incidencia de sabores desagradables en productos endulzados con stevia, que abarcan matrices alimentarias como té, yogurt y leche con chocolate”, mientras que las opciones endulzadas con sucralosa y alulosa no presentaron una diferencia significativa comparadas contra la versión preparada con sacarosa, según los autores del artículo Mora, M. R. et al., (2022) “la alulosa ha ganado recientemente atención por su similitud con la sacarosa, así como por propiedades funcionales beneficiosas adicionales como la posible actividad antiobesidad y antihiper glucémica”

Estudios adicionales al mencionado anteriormente han sido publicados como prueba de la pertinencia del uso de alulosa en diferentes aplicaciones alimentarias, es el caso del artículo “Impact of Rare Sugar D-Allulose on Hardening of Starch Gels during Refrigerated Storage” publicado por la revista *Foods* en el año 2024, donde el objetivo fue evaluar el efecto que tenía la alulosa comparado con la sacarosa para inhibir el endurecimiento de geles formados a partir de diferentes tipos de almidones, pues de acuerdo con los autores Kwakye, A. O. et al., (2024) “los azúcares se utilizan normalmente para reducir los cambios de textura indeseables en los alimentos a base de almidón que son causados por la retrogradación. Sin embargo, el alcance de su efecto depende del tipo de azúcar y otros factores, como la relación

amilosa/amilopectina de ese almidón en particular. Los azúcares estabilizan la región cristalina del almidón durante la formación del gel al disminuir la cantidad de moléculas de agua en la coesfera de hidratación en un sistema agua-almidón-azúcar”. En el estudio en mención se utilizaron 3 tipos de geles, dos de ellos ricos en amilopectina (origen arroz glutinoso y maíz) y uno de ellos rico en amilosa (origen maíz), encontrando que, tanto la sacarosa como la alulosa inhiben el endurecimiento de los geles ricos en amilosa, pero solo la alulosa fue eficaz en los geles ricos en amilopectina. De acuerdo con los autores del artículo Kwakye, A. O. et al., (2024) “La influencia de la alulosa en los geles ricos en amilopectina podría deberse a que la alulosa redujo la proporción de enlaces de hidrógeno intermoleculares que podrían estar involucrados en la recristalización de la amilopectina, y aumentó la de los enlaces de hidrógeno sueltos. Los resultados sugieren que la alulosa es más eficaz que la sacarosa para inhibir el endurecimiento de los geles de almidón ricos en amilopectina durante el almacenamiento refrigerado”.

Con base en la literatura analizada, puede confirmarse que la alulosa y en general los azúcares poco comunes presentan grandes beneficios a nivel nutricional y tecnológico para ser considerados como una de las mejores opciones para el reemplazo total o parcial de azúcares añadidos en alimentos procesados y ultraprocesados. Los estudios dan cuenta de que los resultados a nivel sensorial son aceptados por los consumidores y que a nivel tecnológico la alulosa presenta grandes bondades como la inhibición del endurecimiento en de alimentos gelificados con almidones de alto contenido de amilopectina.

Para cerrar el presenta capítulo, como conclusión es importante relatar que tanto las proteínas edulcorantes como los azucars poco comunes son aplicaciones incipientes que tienen un enorme potencial de investigación para madurar su aplicabilidad a nivel industrial y lograr trasladar los beneficios ya analizados en este capítulo a los consumidores que demandan cada vez más soluciones alimentarias con mayor valor agregado.

## Conclusiones

Con el análisis presentado en el capítulo 1 se lograron identificar los aspectos básicos de los azúcares, los cuales se clasifican por su número de moléculas en monosacáridos y disacáridos, siendo los segundos constituidos por la unión de pares de los primeros en mencionar, haciendo énfasis en que los disacáridos de mayor relevancia en los alimentos son la sacarosa (glucosa y fructosa), la maltosa (dos moléculas de glucosa) y la lactosa (glucosa y galactosa), cuyas fuentes de obtención principales son la caña de azúcar, la cebada y los lácteos, respectivamente. Adicionalmente, se realizó un acercamiento a las razones por las cuales organizaciones como la OMS han relacionado el consumo estos ingredientes a través de alimentos procesados y ultraprocesados con el desarrollo de enfermedades no transmisibles como la obesidad y la diabetes.

Se hizo énfasis en que la importancia de los azúcares en los alimentos procesados y ultraprocesados radica en las funciones tecnológicas que estos desempeñan cuando son adicionados a las formulaciones de diferentes categorías de alimentos. En gran medida son los monosacáridos y disacáridos los encargados de otorgar sabor dulce a los alimentos (cada tipo de azúcar aporta un nivel de dulzor diferente), estos ingredientes también impactan de manera directa a la conservación de los alimentos debido a la relación que existe entre su concentración y el valor de actividad de agua del producto terminado, tienen adicionalmente la capacidad de recristalizarse luego de estar en dilución, tienen un alta afinidad con el agua, por otro lado impactan en la coloración de los alimentos ya que son necesarios para el desarrollo de procesos de caramelización y desarrollo de la reacción de Maillard.

Con el desarrollo del capítulo 2 se logró realizar una revisión bibliográfica sobre las fibras, polialcoholes y edulcorantes como las principales soluciones para ejecutar procesos de sustitución parcial o total de azúcares en alimentos procesados y ultraprocesados. Desde el punto de vista de las fibras se ahondó sobre las aplicaciones documentas sobre la inulina y los

fructooligosacáridos, siendo ambos ingredientes adecuados no solo para reducir el aporte calórico de los alimentos donde se utilizan sino también por la mejora que otorgan en términos gastrointestinales para quienes los consumen. Por el lado de los polialcoholes se logró identificar que se obtienen a partir de azúcares pero solo tienen en su estructura molecular grupos hidroxilo, adicionalmente estos ingredientes tienen un valor edulcorante generalmente inferior al de la sacarosa, así mismo, su aporte energético es inferior respecto a esta; se ahondo sobre las aplicaciones del sorbitol y el xilitol como dos de las variadas opciones que ofrecen los polialcoholes como candidatos para ejecutar reemplazos totales o parciales de azúcares en alimentos procesados y ultraprocesados. Finalmente, en el análisis de los edulcorantes se encontró que estos aditivos tienen un poder endulzante muy por encima del de la sacarosa, se encontró que estos pueden ser naturales (estevia) o artificiales (sucralosa, acesulfame, etc.), siendo estos últimos muy cuestionados por la comunidad científica ya que se han relacionado (sin ser comprobado completamente) con el desarrollo de enfermedades como el cáncer para quienes los consumen en exceso; para este caso se ahondo en el análisis de la sucralosa y la estevia como opciones de estos aditivos para reemplazo de azúcares en alimentos procesados y ultraprocesados.

En el capítulo 3 se lograron identificar dos relativamente nuevas opciones para ejecutar reemplazos de azúcares en alimentos procesados y ultraprocesados. Las proteínas edulcorantes y los azúcares poco comunes son opciones incipientes que están ad portas de generar soluciones muy interesantes para el desarrollo de alimentos bajos en calorías sin aun comprobadas restricciones desde el punto de vista de salubridad. En cuanto a las proteínas edulcorantes se analizaron diferentes publicaciones donde se documenta la obtención de ingredientes para endulzar constituidos por aminoácidos a partir de diferentes fuentes como la soya, los huevos, semillas de morera y plantas selváticas de las cuales se han identificado 7 proteínas edulcorantes que son brazzeína, taumatina, monelina, neoculina, mabinlina,

miraculina y pentadina. Respecto a los azúcares poco comunes se analizó principalmente la alulosa, cuya fuente de obtención principal es la fructosa, encontrando que este ingrediente tiene un desempeño sensorial adecuado en las aplicaciones analizadas como también un comportamiento tecnológico que da valor agregado en diferentes matrices de aplicación.

### Referencias Bibliográficas

- Arias Giraldo, S., & López Velasco, D. M. (2019). Reacciones químicas de los azúcares simples empleados en la industria alimentaria. *Lámpsakos*, 22, 123–136. <https://doi-org.bibliotecavirtual.unad.edu.co/10.21501/21454086.3252>
- Badui D., S. (2006). *Química de los alimentos* (E. Quintana D., Ed.; 4th ed.).
- Badui D., S. (2012). *La ciencia de los alimentos en la práctica* (B. Gutiérrez H., Ed.; 1st ed.).
- Barclay, T., Ginic-Markovic, M., Cooper, P., & Petrovsky, N. (2010). Inulin - a versatile polysaccharide with multiple pharmaceutical and food chemical uses. *Journal of Excipients & Food Chemicals*, 1(3), 27–50. <https://research-ebSCO-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/linkprocessor/plink?id=d57b007e-71ec-30de-b7df-cb0c57307ec2>. Acceso em: 25 ago. 2024.
- Berk, B., Şirin, P., & Ünlütürk, S. (2024). Effect of Partial Replacement of Sucrose with Stevia and Sucralose on the Physicochemical and Structural-Mechanical Properties of Apple Marmalade. *GIDA: The Journal of Food*, 49(2), 223–237. <https://doi-org.bibliotecavirtual.unad.edu.co/10.15237/gida.GD23136>
- Blas, M. A. G., Luna, L. G. F., Pineda, A. F., & Mesinas, C. M. (2023). Aquich'ha: saborizante en polvo libre de edulcorantes a base de la semilla de Aquiche (*Guazuma ulmifolia* Lam). *TECTZAPIC: Revista Académico-Científica*, 9(1), 38-50. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9595820>
- Burešová, I., Šebestíková, R., Šebela, J., Adámková, A., Zvonková, M., Skowronková, N., & Mlček, J. (2024). The Effect of Inulin Addition on Rice Dough and Bread Characteristics. *Applied Sciences* (2076-3417), 14(7), 2882. <https://doi-org.bibliotecavirtual.unad.edu.co/10.3390/app14072882>
- Burneo Valdivieso, J. I. (2022). Edulcorantes no calóricos empleados en alimentos procesados: caso de estudio Ecuador = Non-caloric sweeteners used in processed

foods in Ecuador. *Nutrición Clínica y Dietética Hospitalaria*, 42(. 4), 43–51.

<https://revista.nutricion.org/index.php/ncdh/article/view/299>

dos Santos Filho, A. L., Freitas, H. V., Rodrigues, S., Abreu, V. K. G., de Oliveira Lemos, T.,

Gomes, W. F., ... & Pereira, A. L. F. (2019). Production and stability of probiotic

cocoa juice with sucralose as sugar substitute during refrigerated storage. *Lwt*, 99,

371-378. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643818308259>

Escobar, N. (2014, febrero 19). Clasificación de los alimentos y sus implicaciones en la

salud. Pan American Health Organization / World Health Organization.

[https://www3.paho.org/ecu/1135-clasificacion-alimentos-sus-implicaciones-](https://www3.paho.org/ecu/1135-clasificacion-alimentos-sus-implicaciones-salud.html)

[salud.html](https://www3.paho.org/ecu/1135-clasificacion-alimentos-sus-implicaciones-salud.html)

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2022). *Agricultural production statistics 2000–2021*.

DSpace. <https://openknowledge.fao.org/items/f769fb2b-a461-4cda-a6f9-4649f89616df>

Fennema, O. (2001). *Química de Los Alimentos - 2 Edición*. ACRIBIA.

Fonsêca Feitosa, B., Mourão Lima Fontes, C. P., Neto Alves de Oliveira, E., Lopes Machado,

A., de Oliveira Neto, J. O., Fonseca Feitoza, J. V. (2019). Prebióticos fruto-

oligosacarídeos como substituto do açúcar comercial em sobremesas aeradas de

morango com matriz não láctea: Prebiotics fructooligosaccharides as a substitute for

commercial sugar in aerated strawberry desserts with a non-dairy matrix. *Revista*

*Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 14(. 4), 571–577. [https://doi-](https://doi.org/bibliotecavirtual.unad.edu.co/10.18378/rvads.v14i4.6566)

[org.bibliotecavirtual.unad.edu.co/10.18378/rvads.v14i4.6566](https://doi.org/bibliotecavirtual.unad.edu.co/10.18378/rvads.v14i4.6566)

*Food & Drink Technology*. (2024). Sweetener industry trends and new formulations: Natural

and artificial sweeteners, and ingredient applications for natural sweeteners continue

to evolve. (2024)., 24(10), 22–25. <https://research-ebSCO>

com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/linkprocessor/plink?id=3739ae71-e393-362f-bda3-723b8d6d3751

Furlán, L. T. R., & Campderrós, M. E. (2017). The combined effects of Stevia and sucralose as sugar substitute and inulin as fat mimetic on the physicochemical properties of sugar-free reduced-fat dairy dessert. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 10, 16-23.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1878450X17300331>

Gasmi Benahmed, A., Gasmi, A., Arshad, M., Shanaida, M., Lysiuk, R., Peana, M., ... & Bjørklund, G. (2020). Health benefits of xylitol. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 104(17), 7225-7237. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00253-020-10708-7>

Guevara Apraez, C. S. y Vallejo Castillo, E. J. (2015). Identificación de fructooligosacáridos e inulinas en residuos de hojas de fique - *Furcraea macrophylla* Baker. *Acta Agronómica*, 64(4), 297–301. <https://doi.org/10.15446/acag.v64n4.41602>

Islam, M. S. (2011). Effects of xylitol as a sugar substitute on diabetes-related parameters in nondiabetic rats. *Journal of medicinal food*, 14(5), 505-511. <https://www.liebertpub.com/doi/abs/10.1089/jmf.2010.0015>

Kwakye, A. O., Fukada, K., Ishii, T., & Ogawa, M. (2024). Impact of Rare Sugar D-Allulose on Hardening of Starch Gels during Refrigerated Storage. *Foods*, 13(14). <https://doi-org.bibliotecavirtual.unad.edu.co/10.3390/foods13142183>

Lara-Fiallos, Marco, Lara-Gordillo, Pascual, Julián-Ricardo, María Caridad, Pérez-Martínez, Amaury, & Benítes-Cortés, Isnel. (2017). Avances en la producción de inulina. *Tecnología Química*, 37(2), 352-366. Recuperado en 03 de junio de 2024, de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2224-61852017000200016&lng=es&tlng=pt](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852017000200016&lng=es&tlng=pt).

- Liaudat, S. (2021). *Stevia*. Prometeo. <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/159624>
- Lightowler, H., Thondre, S., Holz, A., & Theis, S. (2018). Replacement of glycaemic carbohydrates by inulin-type fructans from chicory (oligofructose, inulin) reduces the postprandial blood glucose and insulin response to foods: report of two double-blind, randomized, controlled trials. *European Journal of Nutrition*, 57(3), 1259–1268.  
<https://doi-org.bibliotecavirtual.unad.edu.co/10.1007/s00394-017-1409-z>
- Lugani, Y., Oberoi, S., & Sook, B. S. (2017). Xylitol: a sugar substitute for patients of diabetes mellitus. *World J Pharm Pharm Sci*, 6(4), 741-749.  
[https://www.researchgate.net/profile/Simmi-Oberoi/publication/316103995\\_XYLITOL\\_A\\_SUGAR\\_SUBSTITUTE\\_FOR\\_PATIENTS\\_OF\\_DIABETES\\_MELLITUS/links/58f097710f7e9b6f82dc028a/XYLITOL-A-SUGAR-SUBSTITUTE-FOR-PATIENTS-OF-DIABETES-MELLITUS.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Simmi-Oberoi/publication/316103995_XYLITOL_A_SUGAR_SUBSTITUTE_FOR_PATIENTS_OF_DIABETES_MELLITUS/links/58f097710f7e9b6f82dc028a/XYLITOL-A-SUGAR-SUBSTITUTE-FOR-PATIENTS-OF-DIABETES-MELLITUS.pdf)
- Mabel, M. J., Sangeetha, P. T., Platel, K., Srinivasan, K., & Prapulla, S. G. (2008). Physicochemical characterization of fructooligosaccharides and evaluation of their suitability as a potential sweetener for diabetics. *Carbohydrate Research*, 343(1), 56–66. <https://doi-org.bibliotecavirtual.unad.edu.co/10.1016/j.carres.2007.10.012>
- Madrigal, Lorena, & Sangronis, Elba. (2007). La inulina y derivados como ingredientes claves en alimentos funcionales. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 57(4), 387-396. Recuperado en 03 de junio de 2024, de [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0004-06222007000400012&lng=es&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222007000400012&lng=es&tlng=es).
- Majeed, M., Mahmood, M. A., Khan, M. U., Fazel, M., Shariati, M. A., & Pigorev, I. (2018). Effect of sorbitol on dough rheology and quality of sugar replaced cookies. *Potravinarstvo*, 12(1).  
<https://pdfs.semanticscholar.org/0a65/d0aca20ec718765350a890d86c0b34796c9e.pdf>

- Mäkinen, K. K. (2011). Sugar alcohol sweeteners as alternatives to sugar with special consideration of xylitol. *Medical Principles and Practice*, 20(4), 303-320.  
<https://karger.com/mpp/article/20/4/303/203379/Sugar-Alcohol-Sweeteners-as-Alternatives-to-Sugar>
- Mathlouthi, M. (2001). Water content, water activity, water structure and the stability of foodstuffs. *Food Control*, 12(7), 409–417. [https://doi.org/10.1016/s0956-7135\(01\)00032-9](https://doi.org/10.1016/s0956-7135(01)00032-9)
- McKenzie, E., & Lee, S.-Y. (2022). Sugar reduction methods and their application in confections: a review. *Food Science and Biotechnology*, 31(4), 387–398. <https://doi-org.bibliotecavirtual.unad.edu.co/10.1007/s10068-022-01046-7>
- Ministerio de Salud y Protección Social, Resolución n.º 2492 (2022). [https://www.minsalud.gov.co/Normatividad\\_Nuevo/Resolución%20No.%202492de%202022.pdf](https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Resolución%20No.%202492de%202022.pdf)
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2019). Módulo - Azúcares. <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/ENT/modulo-azucars.pdf>
- Ministerio de Salud y Protección Social. (s.f.). Azúcares Añadidos (Documento Técnico). <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SNA/documento-tecnico-azucars-adicionados.pdf>
- Mora, M. R., Wang, Z., Goddard, J. M., & Dando, R. (2022). Consumers Respond Positively to the Sensory, Health, and Sustainability Benefits of the Rare Sugar Allulose in Yogurt Formulations. *Foods*, 11(22). <https://doi-org.bibliotecavirtual.unad.edu.co/10.3390/foods11223718>

- Mussatto, S. I. (2012). Application of xylitol in food formulations and benefits for health. D-Xylitol: Fermentative Production, Application and Commercialization, 309-323. [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-31887-0\\_14](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-31887-0_14)
- Nicholas Chua, B., Mei Guo, W., Teng Wong, H., Siak-Wei Ow, D., Leng Ho, P., Koh, W., Koay, A., & Tian Wong, F. (2023). A sweeter future: Using protein language models for exploring sweeter brazzein homologs. *Food Chemistry*, 426, 136580. <https://doi-org.bibliotecavirtual.unad.edu.co/10.1016/j.foodchem.2023.136580>
- Nigel, D. (2014). BIOS. Notas instantáneas de Bioquímica. (4a. ed.) McGraw-Hill Interamericana. (pp. 252-259). Recuperado de <http://www.ebooks7-24.com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/?il=718&pg=263>
- OECD, & Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2023). OECD-FAO Agricultural Outlook 2023-2032. OECD. <https://www.fao.org/3/cc6361en/cc6361en.pdf>
- Ohkubo, T., Tamiya, M., Abe, K., & Ishiguro, M. (2015). Structural Basis of pH Dependence of Neoculin, a Sweet Taste-Modifying Protein. *PLoS ONE*, 10(5), 1–17. <https://doi-org.bibliotecavirtual.unad.edu.co/10.1371/journal.pone.0126921>
- Ojo Kayode, R. M., Abiodun, O. A., Akeem, S. A., & Oyeneye, H. O. (2019). Influence of Partial Substitution of Sugar with Serendipity Berry (*Dioscoreophyllum Cumminsii*) Extract on the Quality Attributes and Shelf-Life of Wheat Bread. *Journal of Microbiology, Biotechnology & Food Sciences*, 9(1), 115–120. <https://doi-org.bibliotecavirtual.unad.edu.co/10.15414/jmbfs.2019.9.1.115-120>
- Organización Panamericana de la Salud. (2015). *Alimentos y bebidas ultraprocesados en América Latina: tendencias, efecto sobre la obesidad e implicaciones para las políticas públicas*. IRIS PAHO Home. <https://iris.paho.org/handle/10665.2/7698>

- Organización Panamericana de la Salud. (2016). Modelo de perfil de nutrientes de la Organización Panamericana de la Salud.  
[https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/18622/9789275318737\\_spa.pdf?sequence=9&isAllowed=y](https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/18622/9789275318737_spa.pdf?sequence=9&isAllowed=y)
- Özgür, M., & Uçar, A. (2023). Effect of D-Allulose Use as a Sugar Substitute on Some Physicochemical, Textural and Sensory Properties of Cakes. *Academic Food Journal / Akademik GIDA*, 21(3), 220–232. <https://doi-org.bibliotecavirtual.unad.edu.co/10.24323/akademik-gida.1382915>
- PAHO/WHO | Pan American Health Organization. (2023). *La OMS desaconseja el uso de edulcorantes para controlar el peso*. <https://www.paho.org/es/noticias/15-5-2023-oms-desaconseja-uso-edulcorantes-para-controlar-peso>
- Palacio Vásquez, E., Hurtado Ibarbo, J. H., Arroyave Roa, J. D., Cardona Caicedo, M. & Martínez Girón, J. (2017). Edulcorantes naturales utilizados en la elaboración de chocolates. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 15(2), 142-152. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(15\)142-152](https://doi.org/10.18684/BSAA(15)142-152)
- Plaza-Díaz, Julio, Martínez Agustín, Olga, & Gil Hernández, Ángel. (2013). Los alimentos como fuente de mono y disacáridos: aspectos bioquímicos y metabólicos. *Nutrición Hospitalaria*, 28(Supl. 4), 5-16. Recuperado en 26 de marzo de 2024, de [http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0212-16112013001000002&lng=es&tlng=es](http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-16112013001000002&lng=es&tlng=es).
- Rembado, M., & Sceni, P. (2009). *La química en los alimentos* (J. M. Kirschenbaum, Ed.; 1st ed.).
- Rogelio, R. (2023). Galactosa y función cerebral: Cómo este azúcar afecta la salud cognitiva = Galactose and brain function: How this sugar affects cognitive health. *Archivos de Medicina*, 19(. 3), 4.

- Salamanca-Grosso, G., & Libardo Tapiero-Cuellar, J. (2023). Humedad crítica, transición vítrea, y propiedades cromáticas de confites duros enriquecidos con aceite esencial de eucalipto y tintura de *Hibiscus sabdariffa* L. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 10(1), 13–25. <https://doi-org.bibliotecavirtual.unad.edu.co/10.23850/24220582.5212>
- Salvador-Reyes, R., Sotelo-Herrera, M., & Paucar-Menacho, L. (2014). Estudio de la Stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) como edulcorante natural y su uso en beneficio de la salud. *Scientia Agropecuaria*, 5(3), 157-163. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2077-99172014000300006&script=sci\\_arttext&tlng=en](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2077-99172014000300006&script=sci_arttext&tlng=en)
- Shamah-Levy, T., Gaona-Pineda, E. B., Rodríguez-Ramírez, S., Morales-Ruan, C., Cuevas-Nasu, L., Méndez-Gómez-Humarán, I., Valenzuela-Bravo, D. G., & Ávila-Arcos, M. A. (2023). Sobrepeso, obesidad y consumo de azúcares en población escolar y adolescente de México. *Ensanut 2020-2022. Salud Pública de México*, 65(6), 570–580. <https://doi-org.bibliotecavirtual.unad.edu.co/10.21149/15051>
- Sharififar, F., Ashrafzadeh, A., & Kavirimanesh Khanaman, M. (2022). A Review of Natural Peptide Sweeteners. *International Journal of Peptide Research & Therapeutics*, 28(6), 1–10. <https://doi-org.bibliotecavirtual.unad.edu.co/10.1007/s10989-022-10464-4>
- Sheet, B. S., Artık, N., Ayed, M. A., Abdulaziz, O. F. (2014). Some alternative sweeteners xylitol, sorbitol, sucralose and stevia: Review. *Karaelmas Fen Ve Mühendislik Dergisi*, 4(1), 63-70. <https://dergipark.org.tr/en/pub/karaelmasfen/issue/57127/806019>
- Söderling, E., Pienihäkkinen, K., & Gursoy, U. K. (2022). Effects of sugar-free polyol chewing gums on gingival inflammation: a systematic review. *Clinical Oral*

Investigations, 26(12), 6881–6891. <https://doi-org.bibliotecavirtual.unad.edu.co/10.1007/s00784-022-04729-x>

Su, J., Liu, K., Cui, H., Shen, T., Fu, X., & Han, W. (2024). Integrating Computational and Experimental Methods to Identify Novel Sweet Peptides from Egg and Soy Proteins. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(10). <https://doi-org.bibliotecavirtual.unad.edu.co/10.3390/ijms25105430>

Valencia García, F. E. (2008). Evaluación de los efectos en las propiedades fisicoquímicas, sensoriales y texturales de polidextrosa, fructosa y sorbitol como sustitutos de azúcar en la elaboración de arequipe : Avaliação dos efeitos nas propriedades físico-químicas, sensoriais e texturas de polidextrosa, frutose e sorbitol como substitutos de açúcar na elaboração de doce de leite = Evaluation of the effects on the physical, chemical, sensorial and textural properties of polydextrose, fructose and sorbitol as sugar substitutes in the making of arequipe (a colombian dessert). *Revista Lasallista de Investigación*, 5( 2), 20–27. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1794-44492008000200004&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1794-44492008000200004&script=sci_arttext)

van Lieverloo, J. H. M., Bijlaart, M., Den Besten, H. M. W., Zwietering, M. H., & Wells-Bennik, M. H. J. (2021). Thermal inactivation kinetics of seven genera of vegetative bacterial pathogens common to the food chain are similar after adjusting for effects of water activity, sugar content and pH. *Microbial Risk Analysis*, 19. <https://doi-org.bibliotecavirtual.unad.edu.co/10.1016/j.mran.2021.100174>

World Health Organization (WHO). (2018). Alimentación sana. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/healthy-diet>

World Health Organization. (2023). *Use of non-sugar sweeteners*. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/367660/9789240073616-eng.pdf?sequence=1> (Obra original publicada en 2023)

- Younes, M., Aquilina, G., Castle, L., Engel, K., Fowler, P., Frutos Fernandez, M. J., Fürst, P., Gürtler, R., Gundert, R. U., Husøy, T., Manco, M., Mennes, W., Passamonti, S., Moldeus, P., Shah, R., Waalkens, B. I., Wölfle, D., Wright, M., Batke, M., & Boon, P. (2021). Re-evaluation of thaumatin (E 957) as food additive. *EFSA Journal*, 19(11), 1–72. <https://doi-org.bibliotecavirtual.unad.edu.co/10.2903/j.efsa.2021.6884>
- Zainal M, Md Asri NS, Mohamed Faizal NS, Said Gulam Khan HB, Wan Ahmad Kamil WN, Mohd Sarmin NI, Mohd Kornain NK, Arzmi MH. (2023). The Association of Sugar and Sugar Substitutes to Breast, Lung, and Oral Cancer Cell Lines: A Scoping Review. *IIUM Medical Journal Malaysia*, 22(4), 16–26. <https://doi-org.bibliotecavirtual.unad.edu.co/10.31436/imjm.v22i4.2152>
- Zhang, W., Chen, D., Chen, J., Xu, W., Chen, Q., Wu, H., Guang, C., & Mu, W. (2023). D-allulose, a versatile rare sugar: recent biotechnological advances and challenges. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 63(22), 5661–5679. <https://doi-org.bibliotecavirtual.unad.edu.co/10.1080/10408398.2021.2023091>
- Zhang, W., Zhang, T., Jiang, B., & Mu, W. (2017). Enzymatic approaches to rare sugar production. *Biotechnology advances*, 35(2), 267-274. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0734975017300046>