

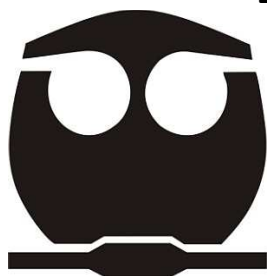


**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE QUÍMICA

**PROPIEDADES Y APLICACIONES DE LOS POLIOLES EN LA
ELABORACIÓN DE PRODUCTOS ALIMENTICIOS DE BAJO
APORTE CALÓRICO**

**TRABAJO MONOGRÁFICO DE
ACTUALIZACIÓN
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
QUÍMICA DE ALIMENTOS
PRESENTA:
DIANA ALEJANDRA MACÍAS OJEDA**



MÉXICO, D.F. MARZO 2010



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: Profesor: FEDERICO GALDEANO BIENZOBAS

VOCAL: Profesor: AGUSTÍN REYO HERRERA

SECRETARIO: Profesor: JUAN MANUEL DÍAZ ÁLVAREZ

1er. SUPLENTE: Profesor: MIGUEL ÁNGEL HIDALGO TORRES

2° SUPLENTE: Profesor: FABIOLA GONZÁLEZ OLGUÍN

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA: BIBLIOTECA FACULTAD DE QUÍMICA, UNAM

ASESOR DEL TEMA: Q.F.B. AGUSTÍN REYO HERRERA



(nombre y firma)

SUSTENTANTE (S): DIANA ALEJANDRA MACÍAS OJEDA



(nombre y firma)

AGRADECIMIENTOS

Al Profesor Agustín Reyo Herrera por el apoyo incondicional en la realización de este proyecto, por sus consejos y sus valiosas aportaciones.

A los Profesores Federico Galdeano Bienzobas y Juan Manuel Díaz Álvarez, quienes con sus sugerencias y calificadas observaciones enriquecieron el contenido de este trabajo.

A la Q. A. Melisa Rodríguez Zamora por sus opiniones y por su desinteresada e inestimable colaboración en el desarrollo del presente escrito.

DEDICATORIAS

A mis padres, que me dieron la vida y las bases para ser quien soy. Papá: porque aunque no estés, caminas siempre a mi lado. Mamá: porque, a pesar de todo, has sido una madre excepcional y un ejemplo de fuerza y tesón.

A Raúl y Mariano, mis queridos hermanos, porque sin ustedes mi vida entera sería otra cosa y ¿qué haría yo sin mi amado sarcasmo y mi típica irreverencia?; porque ser maltratado constantemente no puede más que formar el carácter. Gracias por este lazo tan estrecho y particular que nos une.

Al Profesor Agustín Reyo, porque tus enseñanzas van más allá de las aulas: si uno mira con tus ojos todo se vislumbra de otra manera. Porque contagias el amor por la vida. La existencia siempre se enriquece con personas como tú... únicas e irrepetibles.

A Claudia porque me has enseñado el valor de la amistad a pesar de los tropezones. Las amistades sólidas se construyen día a día para soportar las embestidas y los contratiempos: la carga se aligera y la vida siempre fluye más fácilmente si al lado están los verdaderos amigos.

A Laura, porque el valor de la amistad también puede medirse por el número de dientes que te sacan... solamente a quien puedo revelar completamente mi corazón comienza a ser mi íntimo amigo. Gracias por estar siempre ahí.

A Miguel, nunca mejor aplicada la frase: *"Mi amigo no es otro que la mitad de mí mismo; así, es otro yo. Por tanto debo considerar al amigo como a mí mismo"*. (Aristóteles)

A Mariel, porque la amistad puede traspasar dimensiones: gracias por los viajes sin fin, las desveladas y los reportes nocturnos cibernéticos. Tenemos una vida para abrir nuestra empresa, desarrollar la teoría de las *'poligrasinas'* y comer juntas los polvorones que me debes.

A Lydia, Yoshi, Daniel y Luz, porque salir de los agujeros más recónditos sólo se puede con una pequeña ayuda de los amigos. Gracias por todos esos buenos momentos.

A mi querido Mylo, porque llegaste a mi vida justo cuando más te necesitaba. Porque con tu amistad y compañía yo soy quien sale ganando.

A Candy y Goliath, porque su alegría y su locura enriquece cada instante: el estado de ánimo de un amigo influye en el propio y yo les debo miles de risas, carcajadas y recuerdos atesorados en la memoria.

A todos aquellos personajes que haya olvidado mencionar y que han formado parte del valioso repertorio de piezas recolectadas en mi camino por la vida, disculpen mi atrofiada memoria... ¡también va por ustedes!

A todos y cada uno: gracias por su cariño, comprensión y confianza.

*Considerate la vostra semenza: fatti non foste a viver come bruti, ma per seguir virtute e
conoscenza.*

(Pensad en vuestro origen: vosotros no habéis nacido para vivir como brutos, sino para alcanzar la virtud
y la ciencia)

Dante Alighieri (Divina Comedia, Infierno, Canto XXVI)

INDICE GENERAL

	PAG
1. Antecedentes	8
2. Objetivos	10
3. Consideraciones generales de los edulcorantes	10
4. Consideraciones generales de los Hidratos de Carbono Parcialmente Digeribles (LDCs)	11
5. Consideraciones generales de los polioles	13
6. Particularidades de los principales polioles disponibles para su uso en las industrias alimentaria, química-farmacéutica y química.....	16
6.1. Manitol	16
6.1.1. Generalidades	16
6.1.2. Aspectos Fisiológicos/ Terapéuticos	18
6.2. Sorbitol	19
6.2.1. Generalidades	19
6.2.2. Aspectos Fisiológicos/ Terapéuticos	20
6.3. Xilitol	20
6.3.1. Generalidades	20
6.3.2. Aspectos Fisiológicos/ Terapéuticos	21
6.4. Lactitol	22
6.4.1. Generalidades	22
6.4.2. Aspectos Fisiológicos/ Terapéuticos	22
6.5. Maltitol	23
6.6. Isomalt	24
6.7. Eritritol	25
7. Métodos de obtención de los principales polioles	25
7.1. Producción comercial	25
7.2. Alternativas mediante el uso de procesos biológicos	28
7.3. Alternativas mediante la extracción de fuentes naturales	32
7.3.1. Tecnología de fluidos supercríticos y subcríticos	32
7.3.2. Extracción con solventes líquidos	33
8. Propiedades físicas y químicas de los principales polioles	33
8.1. Cristalización	33
8.2. Densidad	33
8.3. Higroscopicidad	34
8.4. Solubilidad	36
8.5. Viscosidad	37
8.6. Temperatura de ebullición	37
8.7. Temperatura de congelamiento	37
8.8. Calor de disolución	38
8.9. Estabilidad química	39
8.10. Dulzor y sinergia	39
9. Otros edulcorantes alternativos	41
9.1. Trehalosa	41
9.1.1. Generalidades	41
9.1.2. Aspectos Fisiológicos/ Terapéuticos	43
9.2. Tagatosa	44
9.2.1. Generalidades	44
9.2.2. Aspectos Fisiológicos/ Terapéuticos	45
10. Principales aplicaciones en la industria alimentaria	47
11. Análisis de costos	50
12. Aspectos nutrimentales.....	53
12.1. Metabolismo y efectos laxantes	55
12.2. Actividad prebiótica	56

12.3. Contenido calórico	57
12.4. Actividad anticariogénica	57
13. Aspectos toxicológicos	61
14. Legislación y asuntos regulatorios	63
14.1. Definiciones	63
14.2. Panorama legal nacional e internacional	64
15. Conclusiones	70
16. Bibliografía	73

ANEXOS

Anexo I. Principales compañías importadoras de polioles en México y su volumen de importación durante 2009	77
Anexo II. Lanzamientos en México de productos por segmento de alimentos que contienen los principales polioles (Enero 2006-Diciembre 2009)	80
Anexo III. Lanzamientos en México de productos de confitería que contienen los principales polioles (Enero 2006-Diciembre 2009)	88

1. ANTECEDENTES

En los últimos años, en cuanto a hábitos alimenticios se refiere, se presenta un incremento en el consumo de proteínas de procedencia animal, una elevación del aporte graso y un aumento en la ingesta de azúcares simples, junto con la disminución simultánea del uso de hidratos de carbono complejos. Los efectos adversos más comunes respecto al consumo excesivo de azúcares tradicionales son: la caries dental y la obesidad, además de la diabetes asociada a este último padecimiento.

Por tal motivo, las propuestas que solucionen el problema de reemplazar los azúcares tradicionales en los alimentos de consumo popular adquieren gran valor y trascendencia para la salud pública.

Debido a que la sacarosa y la glucosa son relativamente baratas y accesibles, el abuso de estos azúcares en productos de confitería se convirtió en un problema de salud pública. Para resolverlo, se plantearon alternativas en el consumo de golosinas entre comidas desarrollándose así el concepto "lo mejor para ti" ("*better for you*") que pretendía disminuir la cantidad y la frecuencia de las golosinas ingeridas.

Aunque la campaña se presentaba argumentando aspectos relacionados con la salud, el consumidor no estuvo de acuerdo en modificar sus hábitos. Fue así como la Industria Alimentaria empezó a elaborar productos utilizando polioles (alcoholes de azúcar o alcoholes polihídricos), un tipo de edulcorante nutritivo que tiene la ventaja de generar alimentos alternativos más convenientes sin azúcar o reducidos en azúcar.

Los alimentos y bebidas libres de azúcar o bajos en calorías constituyen uno de los segmentos con crecimiento más acelerado en la Industria Alimentaria. Debido a estudios realizados durante 1988 y 1989 en Gran Bretaña y Estados Unidos, se observó que la mayoría de los consumidores de productos bajos en calorías no se encuentran bajo un régimen dietético para perder peso u otra finalidad médica específica, sino que forman parte de un estilo general de vida saludable (O' Brien-Nabors y Gelardi, 1991).

Esta tendencia sigue en aumento y se confirma con una encuesta realizada en Estados Unidos en 2004 por el Consejo de Control de Calorías, una organización comercial, que mostró que 180 millones de adultos norteamericanos usaban estos productos (Kroger, Meister y Kava, 2006).

Durante casi un siglo, los productos bajos en calorías estuvieron formulados con sacarina, el más antiguo edulcorante de alta intensidad. En la actualidad ha aumentado sustancialmente tanto la disponibilidad como la variedad de los edulcorantes, lo cual explica las nuevas tendencias en la investigación científica y la fabricación de estos productos, pues ningún edulcorante, incluida la sacarosa, es perfecto para todos los usos. Más aún, los fabricantes de distintos alimentos pueden

superar las limitaciones de los edulcorantes individuales usándolos en mezclas (O' Brien-Nabors y Gelardi, 1991).

El reemplazo del azúcar por Edulcorantes de Alta Intensidad (HIS, por sus siglas en inglés) es un problema serio en comestibles sólidos y semisólidos, ya que la sacarosa desempeña una función estructural, además del dulzor, cuando se formulan estos productos. Los inconvenientes técnicos se resuelven con el uso de edulcorantes que proporcionen volumen y dulzor pero que presenten valores calóricos fisiológicos menores al azúcar, como es el caso de los polioles.

Los polioles tienen características similares al azúcar del cual provienen. Sin embargo, sus propiedades promotoras de la salud los convierten en herramientas útiles para mejorar el perfil nutricional de los alimentos, baste mencionar: menor contenido calórico, no cariogenicidad, bajo índice glicémico y baja respuesta a la insulina. Otra ventaja del uso de estas sustancias como aditivos alimentarios la constituyen sus propiedades fisicoquímicas, tales como sus entalpías negativas de solución y la carencia de carbonilos reactivos en su composición molecular.

Cabe mencionar que algunos alcoholes de azúcar se encuentran naturalmente en frutas y vegetales, además de ser sintetizados por microorganismos, sirviéndoles como reservas de hidratos de carbono, almacenamiento de poder reductor, compuestos translocadores y sustancias osmoprotectoras (Akinterinwa, Khankal y Cirino, 2008).

Debido a los efectos promotores de la salud atribuidos a estas sustancias, su incorporación a los alimentos puede generar productos con beneficios funcionales. Estos edulcorantes pueden agregarse directamente a los alimentos o mediante la incorporación de microorganismos productores de estos compuestos (Patra, Tomar y Arora, 2009).

Los polioles representan un sector de interés en la industria de los aditivos alimentarios por su dinamismo e importancia económica. De esta manera, en 2009 se estimó una producción global de alcoholes de azúcar de cerca de \$11 billones USD correspondiente a 800 mil toneladas en el mercado mundial de edulcorantes.

Los polioles más populares en los Estados Unidos son el sorbitol, manitol y xilitol; otros polioles permitidos para su uso en alimentos incluyen al isomalt, eritritol, lactitol y manitol. Los hidrolizados hidrogenados de almidón y los jarabes hidrogenados de glucosa también se usan para propósitos similares y existen dos edulcorantes relativamente nuevos: trehalosa y tagatosa (Kroger, Meister y Kava, 2006).

La trehalosa y la tagatosa, aunque no son polioles, tienen funciones similares. Se encuentran dentro del grupo conocido como Hidratos de Carbono Parcialmente Digeribles (LDCs, por su

denominación en inglés) que además aportan volumen y textura con propiedades muy semejantes a la sacarosa y la glucosa.

2. OBJETIVOS

- Realizar una revisión amplia y actualizada que contenga información acerca de los principales alcoholes polihídricos (polioles) y su aplicación en las áreas de la Ciencia y Tecnología de Alimentos principalmente pero también en las Industrias Química-Farmacéutica y Química, desde los aspectos técnicos elementales hasta el conocimiento procedente de las investigaciones más recientes a este respecto.
- Con base en la información disponible recopilada, establecer las expectativas del uso de los polioles en la Industria Alimentaria respecto a sus posibilidades de expansión y métodos potenciales de obtención y explotación comercial.

3. CONSIDERACIONES GENERALES DE LOS EDULCORANTES

Los edulcorantes se definen como “toda sustancia química capaz de proporcionar sabor dulce al alimento que lo contiene” (Cedillo, 2008).

Para la elaboración de productos alimenticios existe una amplia disponibilidad de sustancias alternativas al azúcar, dicha sustitución puede deberse a razones tecnológicas o de salud. Los edulcorantes alternativos se clasifican en dos categorías: a) nutritivos y b) no nutritivos.

- a) Los edulcorantes nutritivos, que incluyen, entre otros a los polioles, a la polidextrosa y la glicerina, proporcionan calorías, pero no se consideran azúcares en el sentido tradicional.

Son ingredientes que pueden sustituir el volumen físico y el dulzor del azúcar., Por tal motivo suelen llamarse edulcorantes de volumen o edulcorantes de carga (Kroger, Meister y Kava, 2006). Su dulzor es un poco menor o comparable al de la sacarosa. Se usan como relleno, proporcionando o mejorando la consistencia de los productos (Mortensen, 2006).

- b) Los edulcorantes no nutritivos o de alta intensidad son generalmente utilizados en cantidades muy bajas debido a su alto dulzor relativo. No aportan calorías pero confieren diferentes grados de post-gusto.

Para designarlos, se les han asociado términos como edulcorantes de alta potencia, edulcorantes alternativos, sustitutos de azúcar, edulcorantes no nutritivos y edulcorantes de bajo aporte calórico (Kroger, Meister y Kava, 2006). Algunos los llaman edulcorantes artificiales para hacer hincapié en el hecho de que la mayoría de ellos se producen por síntesis química (Mortensen, 2006).

En Estados Unidos están aprobados: acesulfame K, aspartamo, neotamo, sacarina y sucralosa. Otros edulcorantes de alta intensidad disponibles pero que no están aprobados en Estados Unidos: alitamo, ciclamato, Stevia/Steviol glicósidos (Patra, Tomar y Arora, 2009). (**Tabla 3.1**)

Tabla 3.1. Clasificación de los edulcorantes

EDULCORANTES NUTRITIVOS		EDULCORANTES DE ALTA INTENSIDAD	
Naturales	Derivados de productos naturales	Químicos	Origen vegetal
Monosacáridos	De Almidón	Aspartamo*	Taumatina
Glucosa	Glucosa	Acesulfame K	Estevióside
Fructosa	Jarabe de glucosa	Sacarina	Monelina
Galactosa	Isoglucosa	Ciclamato	
Disacáridos	De Sacarosa	Alitamo	
Sacarosa	Azúcar invertido	Sucralosa	
Lactosa	Polioles	Dulcina	

Maltosa	Sorbitol Manitol Eritritol Xilitol Maltitol Isomalt Lactitol ...		
----------------	---	--	--

*Tiene un aporte calórico nutritivo similar a una proteína, pero es despreciable a la dosis empleada.

Cedillo (2008)

4. CONSIDERACIONES GENERALES DE LOS HIDRATOS DE CARBONO PARCIALMENTE DIGERIBLES (LDCs)

Los Hidratos de Carbono Parcialmente Digeribles (LDCs) son hidratos de carbono que se absorben de manera incompleta o no son absorbidos en el intestino delgado pero al final son parcialmente fermentados por las bacterias del intestino grueso (Grabitske y Slavin, 2008). La fibra, el almidón resistente a la hidrólisis y los polioles son algunos tipos de LDCs.

En el Simposium Internacional sobre Hidratos de Carbono Parcialmente Digeribles que se llevó a cabo en la Universidad de Salford, Gran Manchester, Reino Unido en junio de 1999, el profesor Scheppach de la Universidad de Wuerzburg de Alemania señaló los aspectos benéficos asociados al consumo de LDCs, a mencionar:

- Reducción de factores de riesgo asociados con enfermedades metabólicas.
- Efectos probióticos.
- Posibles beneficios a la salud con respecto a la constipación, diverticulosis y síndrome del intestino irritable (síndrome de funcionamiento del intestino, colon irritable, intestino espástico o colon espástico).

Por lo tanto debido a su potencial beneficio para la salud, el predominio de los LDCs en los alimentos procesados va en aumento.

Cabe mencionar que los LDCs pueden ser transformados en el intestino grueso a cadenas cortas de ácidos grasos (SCFA, o Short-Chain Fatty Acids) y gases. Los SCFA sobre todo el ácido n-butírico, podrían tener importancia en la prevención primaria de cáncer de colon y se evalúa la perspectiva de usarlos como una buena alternativa en los tratamientos de colitis aguda. Sin embargo, aun falta evidencia que sustente dichas afirmaciones.

Como la absorción de los LDCs es parcial, éstos proporcionan una menor cantidad de energía que los hidratos de carbono que se absorben totalmente (aproximadamente 1 a 3kcal/g para los LDCs comparada con 4kcal/g para los hidratos de carbono convencionales).

Se considera que los LDCs son usualmente bien tolerados pero pueden tener efectos adversos relativos a las dosis consumidas debido a su inherente potencial osmótico y excesiva fermentación en el tracto gastrointestinal en ingestas elevadas. La expresión de estos síntomas depende de varios factores, a mencionar:

- Dosis
- Potencial osmótico
- Grado de hidrólisis intestinal superior y/o absorción de LDCs
- Patrones de consumo
- Consumo de LDCs con otros alimentos o líquidos
- Factores del huésped o los factores sensitivos individuales.

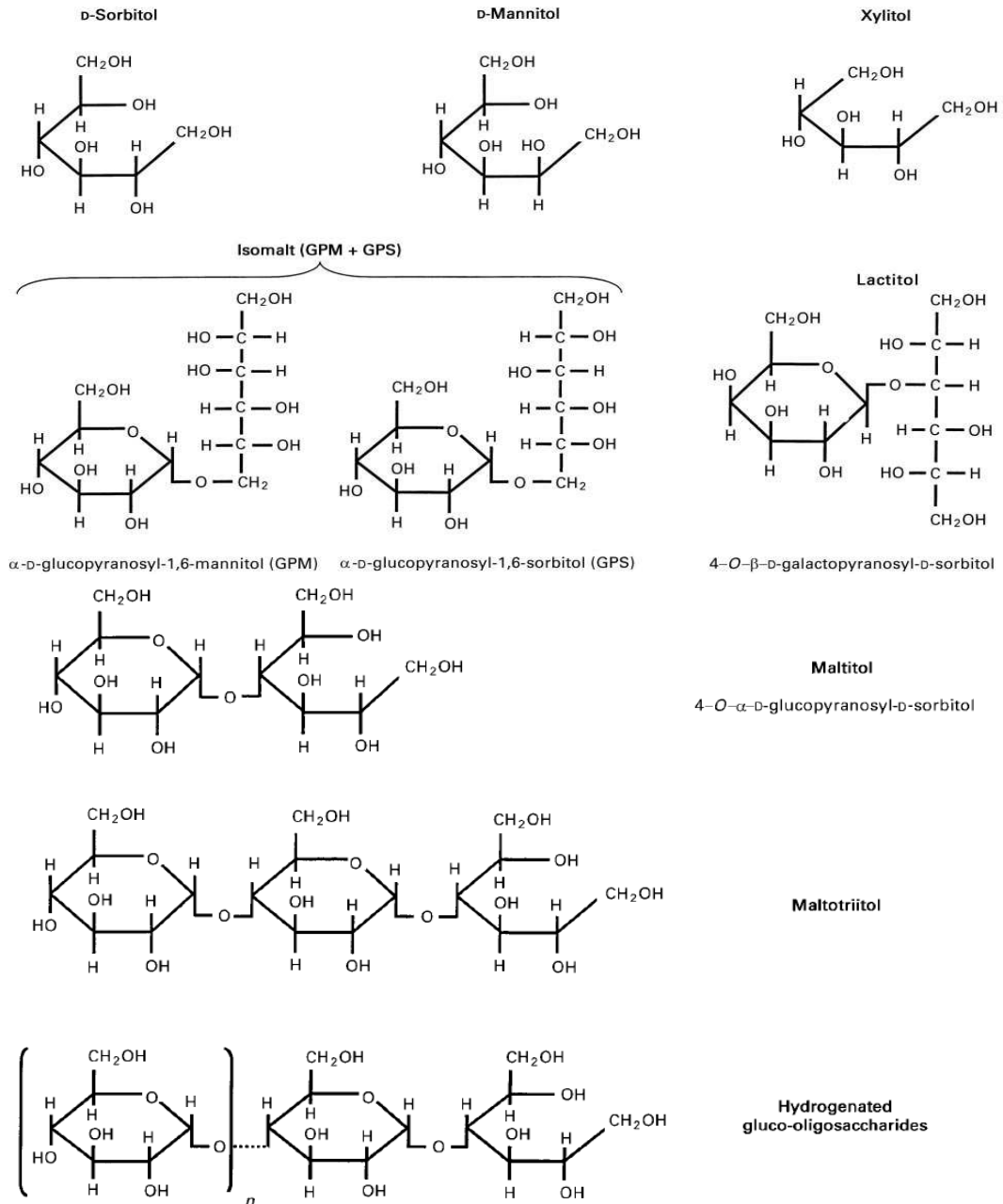
Estos últimos involucran la variabilidad entre sujetos en la tolerancia a LDCs, como las diferencias en el tiempo de tránsito gastrointestinal, patrones de motilidad, capacidad de absorción, actividad enzimática, sensibilidad visceral y la microbiota del colon.

Se debe resaltar que algunos LDCs están presentes de manera natural en los alimentos y otros son extraídos de fuentes naturales o son sintetizados y agregados a los alimentos procesados. De tal manera que actualmente la fibra y los polioles son los dos tipos más utilizados de LDCs en la industria de alimentos estadounidense (Grabitske y Slavin, 2008).

5. CONSIDERACIONES GENERALES DE LOS POLIOLES

Como ya se ha mencionado, los polioles no son como los azúcares tradicionales, sino derivados de hidratos de carbono en los cuales el grupo carbonilo (aldehído o cetona) ha sido reducido a un grupo hidroxilo primario o secundario, dicha transformación lleva a estas moléculas de su forma cíclica a una configuración lineal (**Fig. 5.1**).

Fig. 5.1. Estructura química de algunos polioles



(Zumbé, *et al*, 2001)

Esta modificación química, origina que estas sustancias adquieran particular importancia nutrimental pues, aunque son derivados de azúcares, no son metabolizados en el cuerpo como tales; además conduce a otras consecuencias como:

- mayor estabilidad química
- mayor afinidad por el agua
- menor capacidad de cristalización
- ausencia de la reacción de Maillard

En términos técnicos, la importancia de los polioles radica en que, a diferencia de los edulcorantes de alta intensidad, se usan generalmente en la misma cantidad que la sacarosa y los demás azúcares tradicionales. La **Tabla 5.1** muestra la denominación comercial y la estructura química de algunos polioles utilizados en la Industria Alimentaria.

Tabla 5.1. Estructura química y nombres comerciales de los principales edulcorantes de carga

Edulcorante	Nombre Comercial	Estructura Química
Eritritol	Eridex®	Alcoholes monosacáridos
Manitol	Mannidex®	
Sorbitol	Sorbidex®: P, S	
Xilitol	Xylidex®	
Isomaltitol	Palatinit® IsoMaltidex®	Alcoholes disacáridos
Lactitol	Lacty®	
Maltitol	Amalty® Malbil® Maltisorb® Maltidex®	
Jarabe de Maltitol	Lycasin®: 80/55, 80/33, 75/75 Hystar®: 3375, 4075, HM-65, 5875, 6075 Maltidex®: H, L, M	Alcoholes polisacáridos
Jarabe de Sorbitol	Neosorb® 70/70 Sorbidex®: NCF C	

(Madrilley, Jiménez y Raventós, 2000).

El uso de polioles supone ciertas ventajas respecto a los azúcares tradicionales que forman parte habitual de la dieta (sacarosa, fructosa, glucosa) sobresaliendo:

- Induce una reducida respuesta a la insulina.
- Admite la posibilidad de que los productos de los que forma parte sean etiquetados como “libres de azúcar” y “sin azúcar adicionada”.
- No promueve la caries dental.
- No produce reacciones de oscurecimiento en las aplicaciones de panadería.

Los polioles son usados principalmente en confitería, alimentos, cuidado bucal, farmacéutica y otras aplicaciones industriales. Esto se debe a que proporcionan una menor cantidad de calorías además de poseer un perfil de dulzor agradable y la capacidad para retener humedad y mejorar procesos. De esta manera, los polioles sirven como humectantes, agentes de volumen y depresores del punto de congelación (Srivastava, 2005).

Como ejemplos de su uso en la Industria Alimentaria se pueden mencionar: dulces, galletas y gomas de mascar libres de azúcar, pues desempeñan un papel en la textura y el volumen, además del dulzor. Asimismo, se permite su empleo como relleno y/o como edulcorantes en distintos productos alimenticios, excepto las gaseosas, en los niveles necesarios para lograr el efecto deseado (*quantum satis*).

Otros usos de los polioles además del ámbito alimenticio se encauzan a la industria farmacéutica, lo que incluye pastillas para la tos, la fabricación de productos de cuidado oral y personal así como diversos productos químicos y en nutrición animal (Akinterinwa, Khankal y Cirino, 2008).

Respecto a la tolerancia de consumo, de manera general, se considera que para la mayoría de los individuos es perfectamente aceptable una ingesta de 20g al día de polioles disacáridos en cualquier ocasión de consumo. Sin embargo, siempre habrá una minoría que experimente algunos síntomas de intolerancia, los cuales se incluyen en la **Tabla 5.2**.

Tabla 5.2. Síntomas de intolerancia asociados al consumo de polioles

Síntoma	Descripción	Causa principal
Laxación	Incremento del movimiento intestinal	Efecto osmótico del poliol intacto o hidrolizado
Diarrea	Heces acuosas y deshidratación	Efecto osmótico del poliol intacto o hidrolizado
Cólicos	Dolor abdominal o incomodidad	Exceso de gas intestinal debido a la fermentación del poliol o su hidrolizado
Hinchazón	Distensión abdominal	Exceso de gas intestinal debido a la fermentación del poliol o su hidrolizado
Gases	Flatulencias	Exceso de gas intestinal debido a la fermentación del poliol o su hidrolizado
Borborigmos	Sonidos abdominales	Efecto osmótico del poliol intacto o hidrolizado

(Zumbé, *et al*, 2001)

Es importante mencionar que los productos que contienen polioles son completamente seguros bajo las condiciones de uso planeadas, pudiéndose presentar algún malestar transitorio si se consumen en exceso. Los polioles como isomalt y maltitol son mejor tolerados que los polioles monosacáridos como el sorbitol y manitol, que ejercen una mayor carga osmótica en el intestino. (Storey y Lee 2001).

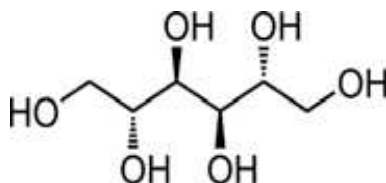
6. PARTICULARIDADES DE LOS PRINCIPALES POLIOLES DISPONIBLES PARA SU USO EN LAS INDUSTRIAS ALIMENTARIA, QUÍMICA-FARMACÉUTICA Y QUÍMICA.

6.1. MANITOL

6.1.1. Generalidades

Se conoce también como Mannite (Mortensen, 2006). El D- manitol es un alcohol de azúcar de seis carbonos, isómero del sorbitol. (Fig. 6.1)

Fig. 6.1. Estructura del manitol



(Patra, Tomar y Arora, 2009)

Está presente en la mayoría de las frutas y vegetales en pequeñas cantidades, típicamente en plantas como calabazas (*Cucurbita pepo*), apio (*Apium graveolens*), cebollas (*Allium cepa*), aceitunas (*Olea europaea*), higos (*Ficus carica*), muérdago (*Viscum album*) y líquenes. También se encuentra en exudados de árboles y matorrales, como el plátano (también llamado sicómoro americano) (*Platanus occidentalis*) (80-90%) y particularmente en el maná, que es el exudado seco del fresno del maná (*Fraxinus ornus*). El maná es obtenido calentando la corteza del árbol, que puede contener más de 50% de manitol. Por esta razón, el maná ha sido una fuente comercial de manitol en Sicilia, Italia (Patra, Tomar y Arora, 2009).

Las algas marinas, especialmente las pardas del género *Laminaria* spp, también son ricas en manitol, con una variación estacional en el contenido de manitol que puede ser superior a 20% de verano a otoño (Ghoreishi y Shahrestani, 2009).

Además, el manitol es comúnmente encontrado en el micelio de varios hongos comestibles y está presente en los champiñones frescos (cerca de 1%). Algunos hongos y bacterias producen manitol. Adicionalmente, pequeñas cantidades de manitol se han encontrado en el vino (Patra, Tomar y Arora, 2009).

Se puede preparar por hidrogenación catalítica de la manosa, un componente ampliamente disperso de los mananos y hemicelulosas. La manufactura industrial se realiza por hidrogenación catalítica de fructosa (obtenida de azúcar invertido o jarabe de glucosa) mediante dos procesos: 1) epimerización de glucosa; 2) isomerización de glucosa. Estas operaciones llevan a una mezcla de sorbitol y manitol, cuyas proporciones pueden variar dependiendo del proceso usado. El manitol y el sorbitol son separados por cristalización fraccionada, siendo el sorbitol más soluble que el manitol (Billaux, *et al*, 1991).

De acuerdo a Ghoreishi y Shahrestani (2009) su uso incluye varias aplicaciones:

Confitería	(42%)	Industria Química	(5.4%)
Cuidado oral	(15.7%)	Surimi	(4.6%)
Fármacos	(13.3%)	Surfactantes	(2.6%)
Alimentos	(8.6%)	Cosméticos	(1.0%)
Vitamina C	(6.3%)		

El mercado global de manitol tiene ventas anuales estimadas de alrededor de \$100 millones USD. Se estima un crecimiento anual de 5-6% entre los años 2005 y 2009 en el mercado de los alcoholes de azúcar, incluyendo el manitol (Ghoreishi y Shahrestani, 2009).

De acuerdo al catálogo Aldrich (2007-2008), el precio de D- manitol es \$79.16 USD/kg; sin embargo, su precio en el mercado es totalmente diferente por orden de magnitud (Ghoreishi y Shahrestani, 2009).

Se comercializa como polvo blanco cristalino o como gránulos de flujo libre conocidos como estándares USP 23. En forma de agujas ortorrómbicas blancas y cristales tiene un punto de fusión de 165-168°C (Patra, Tomar y Arora, 2009). Además de ser químicamente inerte, exhibe una higroscopicidad muy baja, por lo que se utiliza como agente de volumen y textura para cubiertas sabor chocolate libres de azúcar y otras cubiertas compuestas así como para espolvorear y endulzar la superficie de la confitería para diabéticos. También se usa en polvos de postres instantáneos, junto con povidona, para reducir la higroscopicidad y mejorar la fluidez (Ghoreishi y Shahrestani, 2009).

Adicionalmente, se usa en gomas de mascar libres de azúcar como plastificante y en la capa de polvo que las cubre para prevenir que se adhieran a la envoltura debido a la absorción de humedad del ambiente. Asimismo, se utiliza como agente antiapelmazante en productos granulados.

El manitol tiene un calor de disolución negativo muy alto (-28.9kcal/g) que produce un efecto enfriante. Por esta razón se usa como edulcorante en dulces que refrescan el aliento y en gomas de mascar, pues coadyuva en el aumento de la sensación de frescura cuando los cristales de manitol se disuelven en la boca.

La calidad del caramelo duro basado en sorbitol o maltitol se puede mejorar agregando manitol (Ghoreishi y Shahrestani, 2009). Asimismo, por su sabor dulce y fresco enmascara el gusto desagradable de muchos medicamentos y se utiliza comúnmente como constituyente en tabletas masticables y polvos granulados.

Cabe añadir que el manitol también es útil comercialmente en la elaboración de resinas artificiales y plastificantes (Patra, Tomar y Arora, 2009).

6.1.2. Aspectos Fisiológicos/ Terapéuticos

Al igual que otros polioles, se clasifica como inocuo, sin embargo es absorbido ligeramente, por lo que un exceso en su consumo puede producir un efecto laxante. En dosis orales superiores

a 20g actúa como laxante osmótico y a veces se vende como laxante para niños (Ghoreishi y Shahrestani, 2009).

En el intestino humano el manitol puede ser convertido a ácidos grasos de cadena corta (SCFA) – como butirato – a los cuales se les ha asociado la capacidad de proteger contra el desarrollo de cáncer de colon. Además, al manitol se le asocia también la propiedad de arrastrar los radicales hidroxilo residuales (Ghoreishi y Shahrestani, 2009).

Es considerado seguro para su uso en alimentos y tiene un status de aditivo alimentario permitido en los alimentos según una base interina de la *Food & Drug Administration* (FDA).

Además de su uso como aditivo alimentario, proporciona beneficios terapéuticos: es utilizado en el tratamiento de la fibrosis quística, pues su inhalación oral lleva osmóticamente agua a los pulmones, lo cual adelgaza el moco espeso y pegajoso característico de la enfermedad; también se administra vía intravenosa en diuréticos osmóticos y el hexanitrato de manitol es una droga antianginosa usada como agente cardiovascular (Ghoreishi y Shahrestani, 2009).

Pertenece a un grupo de medicamentos conocidos como diuréticos osmóticos. En medicina, el manitol (Osmitol) se usa para incrementar la formación de orina para prevenir y tratar la falla renal aguda y también en la remoción de sustancias tóxicas del cuerpo (Patra, Tomar y Arora, 2009).

Se usa para reducir el edema cerebral (incremento del contenido de agua en el cerebro) y la presión intraocular. Además, se utiliza para alterar la osmolaridad del filtrado glomerular en el tratamiento de fallas del riñón (Patra, Tomar y Arora, 2009).

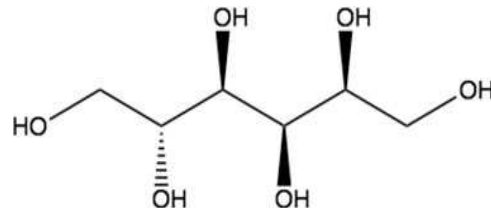
La sangre se protege durante el congelamiento, almacenamiento y descongelamiento agregando 15-20% de manitol. También protege los cultivos de bacterias liofilizadas durante el almacenamiento y el semen animal es preservado agregando pequeñas cantidades de manitol con otros materiales. Se ha mostrado que presenta un efecto osmoprotector durante el secado de bacterias ácido lácticas (LAB) (Patra, Tomar y Arora, 2009).

6.2.SORBITOL

6.2.1. Generalidades

El D-sorbitol (D-glucitol) es un alcohol de azúcar de seis carbonos que es estereoisómero del manitol (**Fig. 6.2**). Comercialmente, el D-sorbitol es una mezcla de polioles, predominantemente D-sorbitol y cantidades variables de D-manitol y oligosacáridos hidrogenados (Mortensen, 2006).

Fig. 6.2. Estructura del sorbitol

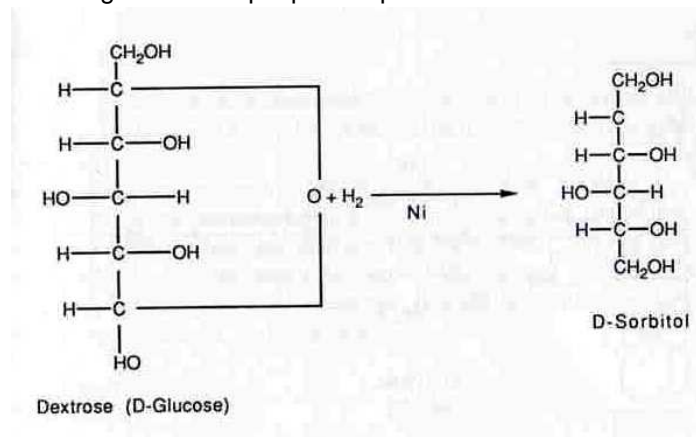


(Patra, Tomar y Arora, 2009)

Fue aislado por primera vez de bayas de serbal (*Sorbus aucuparia*) en 1872 por Joseph Boussingault. El sorbitol está presente en muchas frutas, especialmente en cerezas (*Prunus avium*), manzanas (*Malus domestica*) y peras (*Pyrus communis*), y en algunas bebidas fermentadas como la sidra (5-6g/L).

El proceso de manufactura más común es la hidrogenación catalítica de la glucosa proveniente del almidón o del azúcar invertido (**Fig. 6.3**).

Fig. 6.3. Principio para la producción de sorbitol



(Billaux, *et al*, 1991)

La producción mundial de sorbitol está estimada en más de 500 000 tons/año y continúa elevándose (Patra, Tomar y Arora, 2009).

Tiene un dulzor relativo de aproximadamente 60% en comparación con la sacarosa y muestra una solubilidad 20 veces mayor en agua que el manitol. Además, forma una solución viscosa, estabiliza la humedad, posee propiedades bacteriostáticas y es químicamente inerte. El rango de su punto de fusión se encuentra en 93-98°C (Patra, Tomar y Arora, 2009). Debido a estas características, el sorbitol encuentra aplicación en la Industria Alimentaria y en los productos farmacéuticos, cosméticos y de cuidado personal.

Es ampliamente usado en productos de confitería como gomas de mascar, dulces, postres, helados, alimentos para diabéticos y medicamentos, donde imparte dulzor y desempeña papeles funcionales como humectante, texturizador y suavizante. Se usa como excipiente y diurético osmótico intravenoso en el campo farmacéutico.

Funciona como un aditivo crio-protector (mezclado con sacarosa y polifosfatos de sodio) en la manufactura de surimi, una pasta de pescado altamente refinada y sin cocción más comúnmente producida de un pez conocido como abadejo de Alaska (*Theragra chalcogramma*).

El sorbitol, junto con otros alcoholes polihídricos como glicerol, es uno de los ingredientes en la manufactura de resinas alquílicas y espumas rígidas de poliuretano (Patra, Tomar y Arora, 2009).

En la industria del tabaco el sorbitol puede dar un efecto suave en la inhalación, es un buen agente humectante y evita la formación de acroleína asociada a la combustión de la glicerina. En la industria textil, el sorbitol es usado como suavizante y estabilizador de color y como suavizante en la industria de la piel (Patra, Tomar y Arora, 2009).

6.2.2. Aspectos Fisiológicos/ Terapéuticos

Se ha observado intolerancia a niveles superiores a 50g/día (Mortensen, 2006). En medicina, se usa como un laxante para tratar episodios ocasionales de constipación. Además, es el material inicial para la producción de compuestos farmacéuticos como sorbosa y ácido ascórbico (vitamina C), este último sintetizado mediante un proceso de fermentación por *Bacillus suboxydant* (Patra, Tomar y Arora, 2009).

Es frecuente su uso como humectante y espesante en cosméticos modernos así como en preparaciones orales o tópicas donde también se aprovechan sus características de edulcorante, agente de cuerpo y viscosidad, vehículo y mejorador de textura.

Por otro lado, el sorbitol se usa para promover la absorción de ciertos minerales como Cs, Sr, F y vitamina B12. En altas concentraciones, el sorbitol es un estabilizador para vitaminas inestables y antibióticos. También posee propiedades antioxidantes (Patra, Tomar y Arora, 2009).

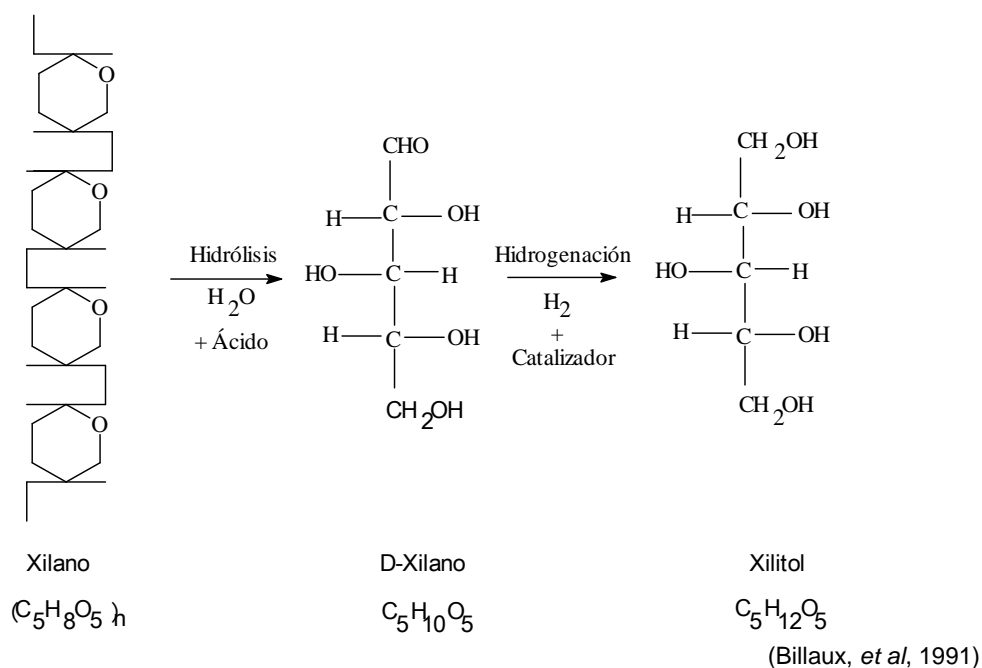
6.3. XILITOL

6.3.1. Generalidades

Se conoce como azúcar de madera o azúcar de abedul pues se extrae del abedul (*Betula pendula*) y otras maderas con un alto contenido de xilano como son el nogal (*Juglans regia*), el olmo (*Ulmus minor*), el cerezo (*Prunus spp.*), el roble (*Quercus spp.*), el fresno (*Fraxinus spp.*) y el arce (*Acer spp.*), por mencionar algunos. También se presenta en las frambuesas (*Rubus idaeus*), las fresas (*Fragaria vesca*), las ciruelas (*Prunus domestica*), las peras (*Pyrus communis*), el maíz (*Zea mays*), los hongos, las algas, líquenes y levaduras, pero en pequeña cantidad, lo cual hace la extracción difícil y costosa (Sakakibara, Saha y Taylor, 2009).

Es un monosacárido hidrogenado cuya estructura consta de una cadena de cinco átomos de carbono. Se obtiene de la reducción de xilosa, la cual, a su vez, se extrae mediante la hidrólisis de xilanos de la madera (hemicelulosa) o de los pericarpios y mazorcas del maíz (**Fig. 6.4**).

Fig. 6.4. Principio para la producción de xilitol



El mercado anual de xilitol se estima en alrededor de \$340 millones USD, con un precio de \$4-5 USD/kg (Akinterinwa, Khankal y Cirino, 2008).

Posee un dulzor igual al de la sacarosa, pero con 40% menos calorías. Se usa en una amplia variedad de productos como gomas de mascar, gaseosas y confitería, siendo la lista de alimentos que contiene xilitol cada vez más numerosa.

6.3.2. Aspectos Fisiológicos/ Terapéuticos

Para algunos especialistas, la evidencia es suficiente para considerar incluir productos que contienen xilitol entre su herramientas clínicas para la prevención del deterioro dental en poblaciones de alto riesgo (Ly, Milgrom y Rothen, 2006).

Existen estudios que muestran que puede inhibir la formación de caries dental, más allá de simplemente no promover su desarrollo, como los demás polioles. Los resultados no son completamente consistentes y algunos investigadores sostienen que la superioridad del xilitol sobre los otros polioles no se ha demostrado concluyentemente (Kroger, Meister y Kava, 2006).

Su metabolismo no está regulado por la insulina y no involucra a la glucosa-6-fosfato deshidrogenasa. Por lo tanto, es un edulcorante ideal para los diabéticos y para los individuos con una deficiencia en la glucosa-6-P-deshidrogenasa (Sakakibara, Saha y Taylor, 2009).

Se ha observado que el xilitol provoca diarrea y otros síntomas de intolerancia en niveles de consumo superiores a 50g/día (Mortensen, 2006); que representan 4 ó 5 veces la dosis necesaria para la prevención de la caries dental (Ly, Milgrom y Rothen, 2006).

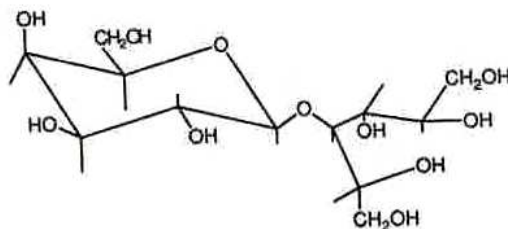
El xilitol fue aprobado por la FDA desde los años 1960s y es seguro su uso en alimentos para niños.

6.4. LACTITOL

6.4.1. Generalidades

También conocido como lactositol, lactit y lactobiosit. Químicamente está formado de galactosa y glucitol y su denominación sistemática es 4-β-D-galactopiranosil-D-glucitol (**Fig. 6.5**). Es manufacturado por hidrogenación catalítica de la glucosa que forma parte de la molécula de lactosa. Las presentaciones comerciales pueden contener cantidades menores de otros polioles.

Fig. 6.5. Fórmula estructural del lactitol



(Billaux, *et al*, 1991)

6.4.2. Aspectos Fisiológicos/ Terapéuticos

Debido a que la parte superior del tracto gastrointestinal de los humanos carece de una β-galactosidasa conveniente, la mayor parte del lactitol ingerido alcanza el intestino grueso como un disacárido intacto. Los beneficios clínicos de la administración de lactitol se han investigado en adultos que sufren constipación funcional crónica y para el manejo de encefalopatía hepática episódica y aguda en pacientes con cirrosis (Finney, *et al*, 2007).

En estudios realizados sobre la actividad prebiótica del lactitol se observó que bajas dosis pueden afectar benéficamente la flora fecal sin provocar graves síntomas de intolerancia. Se observaron pocos síntomas adversos de intolerancia gastrointestinal en el consumo diario de 10g de lactitol (Finney, *et al*, 2007).

6.5. MALTITOL

El maltitol y el jarabe de maltitol también se conocen como D-maltitol y maltosa hidrogenada o jarabe hidrogenado de alta maltosa-glucosa, jarabe de glucosa hidrogenado (HGS), Lycasin® y Hystar®, respectivamente.

El maltitol puede contener pequeñas cantidades de otros polioles, mientras que el jarabe de maltitol contiene cantidades importantes de otros polioles, desde sorbitol hasta polisacáridos hidrogenados de más de tres unidades de glucitol. La composición aproximada de Lycasin® es: 6-8% sorbitol, 50-55% maltitol, 20-25% maltotriitol y 10-20% alcoholes polisacáridos (Mortensen, 2006).

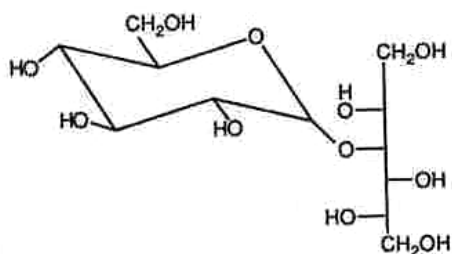
Roquette Corporation, Gurnee, Illinois (empresa matriz Roquette Freres, Lestrem, Francia) fabrica y comercializa Lycasin® en los Estados Unidos. Se suele usar Lycasin® con diferentes especificaciones, sin embargo, la que se encuentra disponible en los Estados Unidos y es

comúnmente usada a nivel mundial es Lycasin® 80/55, frecuentemente referida sólo como Lycasin® (O' Brien-Nabors y Gelardi, 1991).

En los Estados Unidos, Lonza, Inc., Fairlawn, Nueva Jersey (empresa matriz Lonza Ltd., Basel, Suiza), fabrica y comercializa distintas variedades de su marca Hystar® de hidrolizados hidrogenados de almidón con un amplio rango de funcionalidades (O' Brien-Nabors y Gelardi, 1991).

El maltitol (o maltosa hidrogenada) no se presenta en la naturaleza. Fue desarrollado en Japón y se ha utilizado desde 1964 en ese país. Al igual que los demás alcoholes polihídricos, el maltitol se produce mediante la hidrogenación catalítica de un precursor, en este caso, la maltosa, producida por la hidrólisis del almidón (**Fig. 6.6**).

Fig. 6.6. Fórmula estructural del maltitol



(Billaux, *et al*, 1991)

El proceso actual, patentado en 1960 por la compañía japonesa Hayashibara, consiste en la licuefacción de almidón precocido por α -amilasa, entonces es separado de la amilopeptina contenida en el almidón por medio de β -1-6-glucosidasa. Esta división produce cadenas lineales que entonces son cortadas por β -amilasa en maltosa, algo de maltotriosa y trazas de oligosacáridos. El jarabe de maltitol (74%) es obtenido por hidrogenación catalítica de esta mezcla (Billaux, *et al*, 1991).

Después de su ingestión, el maltitol/jarabe de maltitol es metabolizado a glucosa y sorbitol por la microbiota intestinal. De acuerdo a los estudios realizados, el maltitol presenta efectos laxantes en consumos de 30 a 50g/día (Mortensen, 2006).

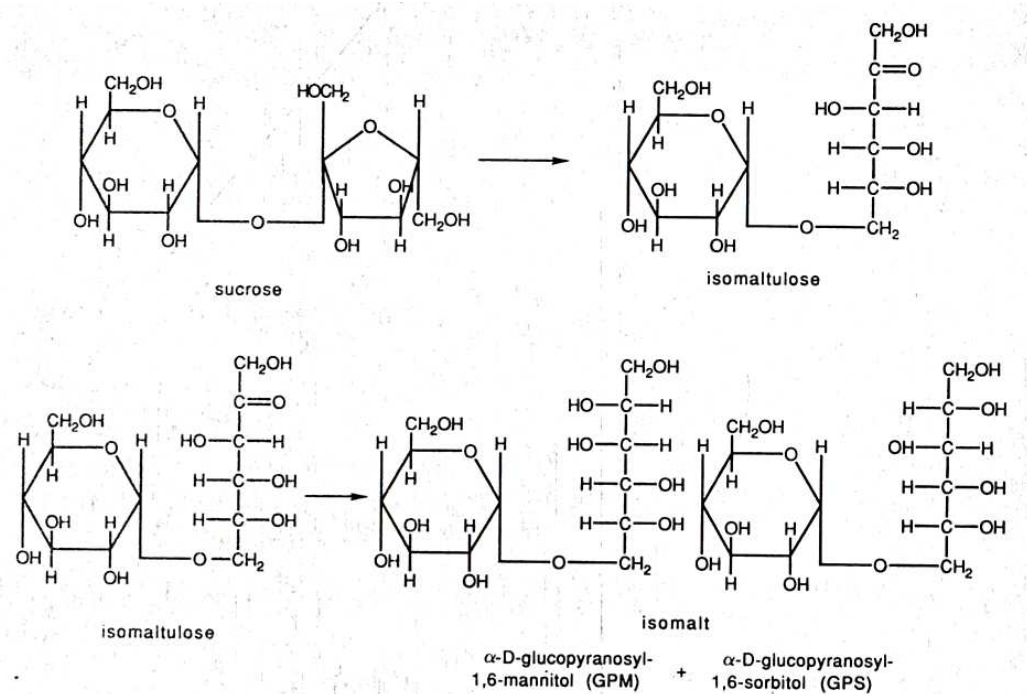
6.6. ISOMALT

Se conoce también como isomaltulosa hidrogenada o Palatinit®. Es una mezcla equimolar de glucosa-sorbitol (α -D-glicopiranosil 1, 6 sorbitol) y glucosa-manitol (α -D-glicopiranosil 1, 6 manitol). También contiene cantidades menores de D-manitol y D-sorbitol. Puede ser producido por hidrogenación catalítica de isomaltulosa preparada por isomerización enzimática de la sacarosa (Mortensen, 2006).

La síntesis es llevada a cabo en dos pasos (**Fig. 6.7**). La sacarosa, que es la materia prima, inicialmente es transformada por una reacción enzimática debida a *Protamino- bacter rubrum* en otro disacárido, isomaltulosa: la unión 1-2 glucosa-fructosa en la sacarosa se convierte en

una unión 1-6 en la isomaltulosa. Posteriormente, la hidrogenación catalítica de la isomaltulosa lleva a la mezcla equimolar de los dos estereoisómeros de alcoholes de azúcar (Billaux, *et al*, 1991).

Fig. 6.7. Principio para la producción de isomalt

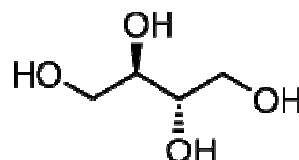


(Billaux, *et al*, 1991)

6.7. ERITRITOL

Se encuentra naturalmente en peras (*Pyrus communis*), melones (*Cucumis melo*) y otras frutas, así como en hongos y alimentos fermentados (Fig. 6.8). Se ha producido comercialmente desde 1990. A diferencia de los otros polioles, el eritritol es casi completamente absorbido por el tracto gastrointestinal y excretado sin cambios en la orina. Por lo tanto, su contenido calórico es menor que el de los otros polioles (0.2kcal/g) siendo poco probable que produzca efectos laxantes, y si lo hace, sería en dosis superiores a las de los otros polioles (Kroger, Meister y Kava, 2006).

Fig. 6.8. Fórmula estructural del eritritol



7. MÉTODOS DE OBTENCIÓN DE LOS PRINCIPALES POLIOLES

7.1. PRODUCCIÓN COMERCIAL

De manera convencional, la fabricación industrial de la mayoría de los polioles se efectúa vía hidrogenación del azúcar correspondiente sobre catalizadores de níquel en condiciones de alta temperatura y presión (**Fig. 7.1**).

Actualmente el manitol se produce principalmente vía reducción o reacción de hidrogenación. Si la materia prima es azúcar invertido más del 20% de la glucosa puede ser convertida a D-manitol en este procedimiento. Esto es posible debido a las interconversiones de manosa, fructosa y glucosa en medio alcalino (Ghoreishi y Shahrestani, 2009).

La reducción de D-manosa con borohidruro de sodio o electrólisis lleva a D-manitol con un buen rendimiento (superior al 31%), la desventaja es que la D-manosa pura aun no está disponible comercialmente (Ghoreishi y Shahrestani, 2009).

La producción comercial de manitol también se basa en la hidrogenación catalítica de la fructosa, ésta es relativamente cara, así que principalmente se usan jarabes de fructosa-glucosa como materia prima pues son menos costosos.

La reducción de fructosa lleva a D-manitol y sorbitol en partes iguales. La sacarosa, en reducción bajo condiciones de hidrólisis -solución acuosa a alta temperatura (20-160°C) con níquel Raney como catalizador- también genera los mismos productos en la proporción de una parte de D-manitol a tres partes de sorbitol.

En la reacción de hidrogenación catalítica, la glucosa y α -fructosa son reducidas a sorbitol, el estereoisómero del manitol, y la β -fructosa es reducida a manitol. Usualmente la hidrogenación de una mezcla 50/50 de fructosa/glucosa resulta en aproximadamente una mezcla de 25/75 de manitol/sorbitol.

Según lo reportado por Ghoreishi y Shahrestani (2009), las principales desventajas de la obtención de manitol por hidrogenación catalítica son:

- ♦ Necesidad de materias primas de alta pureza, incluyendo hidrógeno gaseoso.
- ♦ Necesidad de catalizadores metálicos costosos.
- ♦ Altas condiciones de temperatura y presión.
- ♦ Bajo rendimiento de manitol a partir de los azúcares.
- ♦ Purificación cromatográfica costosa para separar el catalizador metálico del producto final.
- ♦ Procesos de separación muy complicados para purificar el manitol de su estereoisómero sorbitol.

Por otra parte, actualmente el xilitol es producido a escala industrial por reducción química de D-xilosa derivada de materiales vegetales, principalmente de hidrolizados de hemicelulosa de árboles de abedul (*Betula pendula*) y tallos de maíz (*Zea mays*), que son extremadamente ricos en xilosa (aproximadamente 50-75% de la aldosa total).

Aunque la hidrólisis de otros residuos agrícolas como la paja de trigo (*Triticum spp.*), paja de lino (*Linum usitatissimum*) y cáscaras de cacahuate (*Arachis hypogaea*) también produce hidrolizados de hemicelulosa, estos hidrolizados contienen menos D-xilosa (aproximadamente 20-30% de la aldosa total) y también otros azúcares como L-arabinosa, D-manosa, D-galactosa y D-glucosa. Para producir xilitol puro a partir de estos hidrolizados de hemicelulosa, los sustratos competitivos y los co-productos de la reacción deben ser removidos mediante costosos pasos de separación y purificación (Sakakibara, Saha y Taylor, 2009).

En la producción de xilitol, la L- arabinosa es un problema ya que puede ser convertida en L-arabitol durante la reacción, cuya separación rentable del xilitol es prácticamente imposible.

Igual que en el caso del manitol, además de las dificultades en los pasos de separación y purificación, la producción de xilitol por reducción química tiene otras desventajas, como los requerimientos de alta presión (>50atm) y temperatura (80-140°C) y el uso de catalizadores costosos. La **Tabla 7.1** enlista los principales métodos industriales utilizados en la actualidad para producir algunos polioles.

Tabla 7.1. Comparación de la materia prima y método de obtención de diversos polioles

Nombre	Método de obtención y materia prima
Eritritol	Hidrólisis enzimática de almidón hasta glucosa; fermentación por levadura osmofílica (<i>Moniliella tomentosa</i> var. <i>polinis</i>)
Isomaltitol	Isomerización de sacarosa hasta ísomaltulosa (palatinosa); hidrogenación hasta mezcla de glucopiranosido-sorbitol y glucopiranosido-manitol
Lactitol	Hidrogenación de lactosa
Maltitol	Hidrogenación de maltosa
Jarabe de maltitol	Hidrogenación de jarabe de glucosa rico en maltosa
Manitol	Hidrogenación de fructosa
Sorbitol	Hidrogenación de glucosa
Jarabe de sorbitol	Hidrogenación de jarabe de glucosa
Xilitol	Hidrogenación de xilosa

(Madrilley, Jiménez y Raventós, 2000)

7.2. ALTERNATIVAS MEDIANTE EL USO DE PROCESOS BIOLÓGICOS

Las rutas biosintéticas ofrecen una alternativa para producir polioles de manera más segura, sustentable y con una mejora en la especificidad de los productos.

Además del uso de las bacterias ácido lácticas (LAB) en su papel convencional como desarrolladoras de acidez, sabor y textura, se han tenido bajo escrutinio como 'fábricas celulares' ('*cell factories*') en crecimiento para la producción de una variedad de biomoléculas funcionales e ingredientes alimentarios como bioespesantes, bacteriocinas, vitaminas, péptidos bioactivos y aminoácidos.

Además, dotadas con su metabolismo relativamente simple, limitada capacidad biosintética y aparente escasez de multiplicidad genética, estos biorreactores son una herramienta ideal para la ingeniería metabólica con el fin de facilitar la sobreproducción de bienes deseables en comparación con otros microorganismos como levaduras y hongos (Patra, Tomar y Arora, 2009).

Las LAB fermentativas de grado alimentario *L. plantarum* y *Lactobacillus casei* poseen la habilidad de usar diferentes aceptores de electrones para la regeneración de NAD⁺ por medio de deshidrogenasas, lo cual las hace valiosas plataformas para la producción de polioles mediante ingeniería metabólica (Akinterinwa, Khankal y Cirino, 2008).

Se puede producir manitol haciendo uso de procesos fermentativos llevados a cabo por microorganismos, deseablemente de grado alimenticio. Las ventajas de esta alternativa son (Ghoreishi y Shahrestani, 2009):

- ♦ Conversión completa de fructosa a manitol.
- ♦ Ausencia de subproductos, que son difíciles de remover.
- ♦ Condiciones moderadas de producción.
- ♦ No se requiere de sustratos altamente purificados.

Se ha observado que es posible la producción de manitol y otros polioles por levaduras y hongos mediante diferentes vías biosintéticas. En la levadura *Cryptococcus neoformans*, son formadas grandes cantidades de manitol (2700µM) en una base nitrogenada para levaduras. En *Pseudomonas putida*, el manitol es producido (258µmol/g (peso seco) células) a consecuencia de la exposición a altas concentraciones de sales (0.3-0.5M) o sacarosa (0.5-0.75M) (Ghoreishi y Shahrestani, 2009).

Según Ghoreishi y Shahrestani (2009), la producción de manitol por LABs y otros microorganismos grado alimenticio presenta algunas ventajas respecto a los métodos de obtención tradicionalmente utilizados, a mencionar:

- ♦ Los microorganismos grado alimenticio y sus productos se pueden aplicar directamente en los alimentos sin ninguna restricción.
- ♦ No es necesaria una separación cuidadosa de productos y microorganismos.

- ♦ Se afirma que algunas bacterias ácido lácticas son benéficas en el tracto gastrointestinal.

Levaduras, hongos y especialmente LAB producen manitol. Al comparar los procesos fúngicos y bacterianos para la producción de manitol, los últimos han demostrado ser mejores (Patra, Tomar y Arora, 2009). A este respecto, la biotecnología ha traído progresos en términos de pureza de sustrato, requerimientos del equipo de proceso y seguridad.

Se han aislado mutantes de la LAB heterofermentativa *Leuconostoc pseudomesenteroides* con rendimientos de manitol mejorados. Además, el manitol también se puede producir de una variedad de sustratos usando LAB homofermentativas deficientes en lactato deshidrogenasa (LDH) (Akinterinwa, Khankal y Cirino, 2008).

Se ha encontrado que algunas LAB homofermentativas producen pequeñas cantidades de manitol intracelularmente, a mencionar *Streptococcus mutans*, *Lb. Leichmanii*, mutantes lactato- deshidrogenasa negativos de *Lb. Plantarum* y mutantes deficientes de lactato deshidrogenasa de *Lc. Lactis*. Las LAB con mejor producción de manitol mostraron un metabolismo heterofermentativo (Ghoreishi y Shahrestani, 2009).

Las LAB pertenecientes a los géneros *Lactobacillus* y *Leuconostoc* son las productoras potenciales de manitol. Estas bacterias contienen la enzima manitol deshidrogenasa para convertir fructosa a manitol. En el 2004, en respuesta a una petición presentada por zuChem Inc. (Chicago, Ill. Estados Unidos) la FDA rectificó las regulaciones de aditivos para permitir la manufactura de manitol por fermentación de azúcares como fructosa, glucosa o maltosa por la acción de los microorganismos *Lb. intermedius (fermentum)* (Patra, Tomar y Arora, 2009).

Las LAB heterofermentativas producen naturalmente manitol por reducción directa de fructosa en una reacción dependiente de NADH catalizada por manitol deshidrogenasa (MDH). *Lactobacillus intermedius* NRR B-3693 en jarabes de alta fructosa tiene el potencial de convertirse en un nuevo proceso comercial para la producción de manitol (Akinterinwa, Khankal y Cirino, 2008).

Con esta misma cepa se han realizado estudios para demostrar el efecto de cuatro sales nutrientes en la producción de manitol, dichos estudios han mostrado que el sulfato de manganeso es esencial para tal fin.

También se ha experimentado con microorganismos inmovilizados como *Leuconostoc pseudomesenteroides* en una columna usando un sistema de intercambio aniónico levemente básico, pero aún se obtienen bajos niveles de producción (Ghoreishi y Shahrestani, 2009).

La velocidad de producción volumétrica alcanzada con levaduras y hongos filamentosos en cultivos en lotes por lo general no excede de los 2g de manitol/Lh. Los tiempos prolongados de cultivo con estos organismos también incrementa el riesgo de contaminación (Ghoreishi y Shahrestani, 2009).

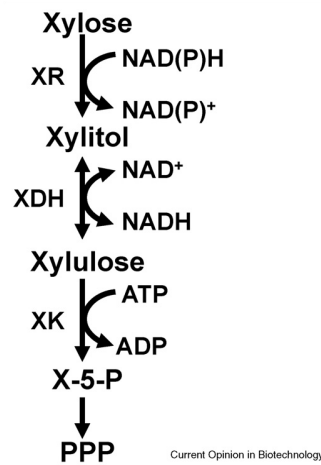
Los métodos enzimáticos han mejorado los rendimientos y el uso de microorganismos ha traído versatilidad en el rango de sustratos que pueden ser empleados. Algunos procesos microbiológicos ya son industrialmente factibles y podrían ser usados posteriormente.

La producción enzimática de manitol a partir de fructosa con manitol deshidrogenasa también es posible, pero puede conducir a una conversión incompleta debido a la inhibición por productos. Además, esta reacción requiere de un cofactor costoso como NAD(P)H que también necesita ser regenerado (Ghoreishi y Shahrestani, 2009).

La principal desventaja de los procesos basados en el uso de enzimas está relacionada con los costos asociados a las preparaciones de enzima y a la regeneración de los cofactores necesarios en cada caso para la síntesis *in vitro*, esta es la razón de que se acepte que el uso de células completas representa una aproximación biológica más atractiva.

Las levaduras naturalmente producen xilitol como un intermediario durante el metabolismo de D-xilosa. La xilosa reductasa (XR) es típicamente una enzima dependiente de NADPH, mientras que la xilitol deshidrogenasa (XDH) requiere NAD⁺. Un desequilibrio en los cofactores resulta en la secreción de xilitol como un co-producto de la fermentación de xilosa (Akinterinwa, Khankal y Cirino, 2008). (Fig. 7.2)

Fig. 7.2. Vía para el metabolismo de la xilosa en levaduras



(Akinterinwa, Khankal y Cirino, 2008)

Levaduras y hongos como *Candida tropicalis*, *C. guilliermondii*, *Pachysolen tannophilus* y *Petromyces albertensis* asimilan naturalmente la D-xilosa para convertirla en xilitol pues cuentan con xilosa reductasa (XR) en su suministro enzimático.

Saccharomyces cerevisiae carece de transportadores específicos de xilosa nativos y por tanto no la utiliza eficientemente, sin embargo su popularidad ha impulsado la investigación a fin de crear cepas recombinantes capaces de producir altos niveles de xilitol (Akinterinwa, Khankal y Cirino, 2008).

La producción microbiana de xilitol usando hidrolizados de hemicelulosa de residuos agrícolas es un método atractivo para la reducción de los costos de manufactura. Sin embargo estos productos contienen una cantidad considerable de L-arabinosa (cerca del 5% de aldosa total) además de D-xilosa. Los métodos previos usando levaduras y hongos asimiladores de xilosa han mostrado convertir L-arabinosa a L-arabitol debido a la naturalmente relajada especificidad de sustrato mostrada por las XRs.

Esto es un problema cuando el xilitol es el producto deseado a partir de materias primas hemicelulosicas que contienen D-xilosa y L-arabinosa.

Como una vía de solución ante este desafío, la conversión de L-arabinosa a xilitol (pero no a L-arabitol) permitiría una mayor variedad de materias primas para ser usadas en la producción de xilitol y mejorando su rendimiento a partir de los residuos agrícolas (Sakakibara, Saha y Taylor, 2009).

Neurospora crassa posee una xilosa reductasa (NcXR) que ha mostrado tener naturalmente una mayor selectividad por la D-xilosa que por la L-arabinosa, comparada con otras xilosa reductasas (Akinterinwa, Khankal y Cirino, 2008).

Se desarrolló una nueva vía para la bioconversión de L-arabinosa a xilitol sin la formación de L-arabitol. La vía fue introducida en *Escherichia coli* y la cepa recombinante fue capaz de convertir L-arabinosa a xilitol con un buen rendimiento. Esta vía consiste en 3 enzimas: L-arabinosa isomerasa (que convierte L-arabinosa a L-ribulosa), D-psicosa 3-epimerasa (que convierte L-ribulosa a L-xilulosa) y L-xilulosa reductasa (que convierte L-xilulosa a xilitol) (Sakakibara, Saha y Taylor, 2009).

Los primeros estudios de bioproducción de sorbitol se centraban en la bacteria *Zimomonas mobilis*, que naturalmente puede convertir fructosa y glucosa a sorbitol (vía glucosa-fructosa oxidorreductasa) como una manera de protección osmótica.

Se ha reportado la capacidad de *Lb. plantarum*, una LAB encontrada en muchos alimentos fermentados y en el tracto gastrointestinal de mamíferos, para producir sorbitol a partir de fructosa-6-fosfato revirtiendo la vía catabólica del sorbitol mediante la sobreexpresión de la sorbitol-6-P-deshidrogenasa y la cepa mutante deficiente para la actividad de L- y D-lactato deshidrogenasa (Patra, Tomar y Arora, 2009).

Se desarrolló una cepa recombinante de *Lb. casei* precrecida en lactosa, ésta fue capaz de sintetizar sorbitol a partir de glucosa. La inactivación del gen L-lactato deshidrogenasa llevó a un incremento en la producción de sorbitol. *Lb. casei* es una LAB relevante como probiótico usado como cultivo iniciador en queso (Patra, Tomar y Arora, 2009).

7.3. ALTERNATIVAS MEDIANTE LA EXTRACCIÓN DE FUENTES NATURALES

Dada la presencia de los polioles en una gran diversidad de frutos y vegetales, actualmente se realizan investigaciones extensivas para desarrollar nuevos métodos de producción vía extracción de las sustancias de interés a partir de una variedad de fuentes naturales.

7.3.1. Tecnología de fluidos supercríticos y subcríticos

Se ha comprobado que los fluidos supercríticos son disolventes efectivos para aplicaciones en alimentos y fármacos, así como en procesos ambientales (Ghoreishi y Shahrestani, 2009).

La extracción de manitol a partir de hojas de plátano (también llamado sicómoro americano) (*Platanus occidentalis*) usando dióxido de carbono supercrítico constituye una técnica viable (Ghoreishi y Shahrestani, 2009).

En estudios acerca de estas tecnologías se ha comparado la extracción de manitol de hojas de olivo usando dióxido de carbono supercrítico con etanol como acarreador contra el método convencional de extracción por Soxhlet usando etanol como disolvente; los resultados muestran que se obtuvo un menor coeficiente de distribución para la extracción supercrítica en contraste con el método Soxhlet (Ghoreishi y Shahrestani, 2009).

Otra técnica potencial la constituye el uso de agua caliente presurizada como disolvente. La extracción con agua subcrítica se usó para la separación de manitol a partir de hojas de oliva con un rendimiento de manitol de 76.75% (w/w). Las ventajas más importantes de la extracción con agua subcrítica (SWE) sobre las técnicas de extracción tradicional son: tiempos más cortos de extracción, alta calidad del extracto, costos más bajos del agente extractor, además de ser una técnica amigable con el medio ambiente (Ghoreishi y Shahrestani, 2009).

7.3.2. Extracción con solventes líquidos

Se realizó la extracción Soxhlet con etanol, agua y metanol para producir manitol a partir de algas marinas (rojas, *Rhodophyta*) con un rendimiento de 21%. También se desarrolló un proceso de autohidrólisis para recuperar el manitol del alperujo (residuo de la extracción del aceite de oliva) tratado con vapor, con un rendimiento durante la recristalización de cerca de 86% (Ghoreishi y Shahrestani, 2009).

Asimismo, dos residuos de apio (*Apium graveolens*) se extrajeron con etanol caliente al 85% para solubilizar los azúcares solubles y el manitol. El contenido de azúcares totales y de manitol fue superior en los tallos (45.5% y 15.2%, respectivamente) que en el tallo más los residuos de hojas (33.9% y 13.3%, respectivamente) (Ghoreishi y Shahrestani, 2009).

8. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS PRINCIPALES POLIOLES

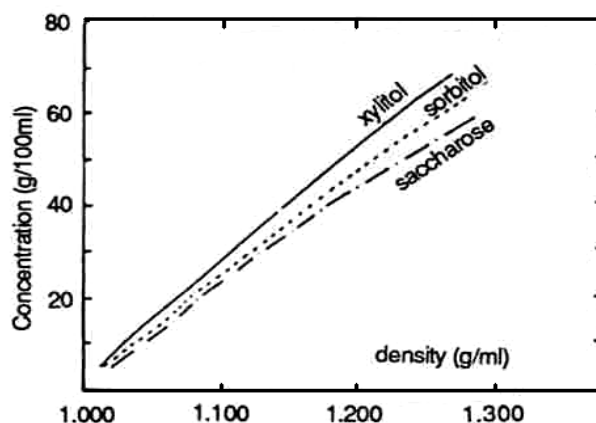
8.1. CRISTALIZACIÓN

El sorbitol presenta cristalización a 21-23°C, mientras que el xilitol cristaliza en una solución al 40% en mermeladas y jaleas. El lactitol presenta un comportamiento de cristalización similar a la sacarosa. Los jarabes de maltitol y de sorbitol no son productos cristalizables (Madrilley, Jiménez y Raventós, 2000).

8.2. DENSIDAD

La densidad de las soluciones de poliol varía con la concentración como puede observarse en la Fig. 8.1. En el caso de los polioles en polvo, ésta depende de la granulometría (Tabla 8.1).

Fig. 8.1. Densidad de disoluciones de xilitol, sorbitol y sacarosa en función de la concentración



(Billaux, *et al*, 1991)

Tabla 8.1. Densidad de algunos polioles

Poliol	Densidad (20°C)
Cristales de sorbitol	0.6000 - 0.7000
Sorbitol (disolución al 70%)	1.2879
Maltitol (disolución al 70%)	1.3000
Cristales de maltitol	0.6500
Xilitol (disolución al 40%)	1.1407
Xilitol (disolución al 70%)	1.2667
Lycasin® 80/55	1.3600

(Billaux, *et al*, 1991)

8.3. HIGROSCOPICIDAD

La higroscopicidad caracteriza la capacidad de un producto de retener o absorber agua. Es expresada mediante la noción de actividad acuosa (a_w). La actividad acuosa de un producto es la proporción de la presión de vapor de agua del producto (P) sobre la presión de vapor del agua pura (P_0) en las mismas condiciones, de esta manera $a_w = P/P_0$ (Billaux, *et al*, 1991). La

Tabla 8.2 muestra los valores de a_w de algunos polioles.

Tabla 8.2. Valores de a_w de algunos polioles a 20°C

Poliol	a_w (20°C)
Manitol	0.95
Lactitol	0.85
Maltitol	0.80
Xilitol	0.85
Lycasin® 80/55	0.78
Sorbitol	0.70
Fructosa	0.70

(Billaux, *et al*, 1991)

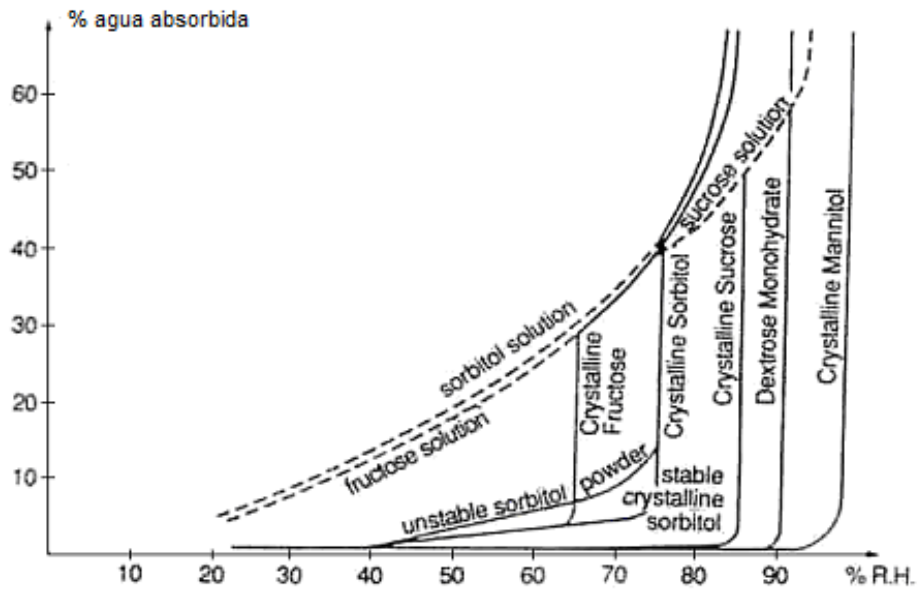
Las moléculas de los polioles son fuertemente polares, por lo que desarrollan con el agua numerosos puentes de hidrógeno, esto tiende a disminuir la movilidad y la capacidad de reacción del agua y, por lo tanto, rebajan la actividad acuosa del medio. Si disminuye la actividad de agua en el medio se presenta un efecto estabilizador en la multiplicación y aumento de las floras fúngica y bacteriana, mostrando entonces ser buenos agentes conservadores en confitería pues inhiben el desarrollo de microorganismos (Madrilley, Jiménez y Raventós, 2000).

No existe una relación entre la higroscopicidad de un producto en solución y la del mismo producto en estado cristalino. Así, por ejemplo, aunque el sorbitol es un excelente humectante en solución, su forma cristalina no es muy higroscópica.

El xilitol es uno de los polioles más claramente higroscópicos; el lactitol cristalino y el manitol poseen una baja higroscopicidad, por lo que protegen contra la absorción del agua en productos horneados tostados, jaleas, chicles, chocolates, productos bañados y en los caramelos, particularmente los duros; asimismo, el manitol y el maltitol facilitan el control del contenido de agua en los productos de panadería y en mermeladas y jaleas, así como en chocolates sin azúcar (Madrilley, Jiménez y Raventós, 2000).

Se ha observado un aumento en la higroscopicidad (a_w disminuye) si disminuyen los pesos moleculares. En su forma cristalina, el maltitol tiene una baja higroscopicidad. El manitol y Palatinit® poseen una muy baja higroscopicidad (**Fig. 8.2**).

Fig. 8.2. Isotermas de sorción de polvos amorfos y cristalinos



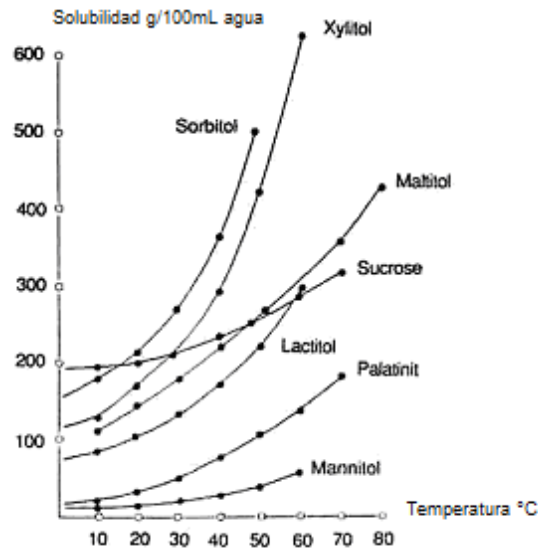
(Billaux, *et al*, 1991)

8.4. SOLUBILIDAD

La solubilidad varía considerablemente dependiendo del poliol; por ejemplo, el manitol y el isomalt son apenas solubles en agua, mientras que el sorbitol y el lactitol, son excesivamente solubles a diferentes temperaturas. La magnitud de esta característica, que es específica para cada poliol, tiene claras repercusiones técnicas y operacionales; de esta manera, los jarabes hidrogenados de glucosa no pueden cristalizar y actúan como agentes anti-cristalizantes en muchos productos, controlando así la cristalización del sorbitol justo como lo hacen los jarabes de glucosa sobre la sacarosa (Billaux, *et al*, 1991).

La solubilidad también se modifica de acuerdo a la temperatura como se puede observar en la **Fig. 8.3**. Las solubilidades del sorbitol y del xilitol aumentan más rápido que la de la sacarosa a altas temperaturas. El manitol y el isomaltitol tienen solubilidades considerablemente más bajas que la sacarosa, lo cual puede resultar en una pobre percepción del dulzor en el producto terminado (**Tabla 8.3**).

Fig. 8.3. Solubilidad de algunos polioles en función de la temperatura



(Billaux, *et al*, 1991)

Tabla 8.3. Solubilidad de algunos polioles

g/100gH ₂ O							
	0°C	10°C	20°C	25°C	30°C	40°C	50°C
Sorbitol	147	180	220	235	270	360	500
Manitol	10		17	22	25	34	45
Xilitol	9	14	170	200	215	285	400
Palatinit®			25	29	32	40	48
Maltitol				165	180	210	240
Lactitol			170	200	220	280	330
Sacarosa	179	190	195	200	218	238	260

(Billaux, *et al*, 1991)

8.5. VISCOSIDAD

La viscosidad de una solución está en función de sus pesos moleculares. Asimismo, varía con la temperatura y la concentración de la solución, ejerciendo un efecto directo sobre la textura y la consistencia de los productos como puede observarse en la **Tabla 8.4** (Billaux, *et al*, 1991).

Tabla 8.4. Viscosidad de disoluciones de polirol en función de la temperatura

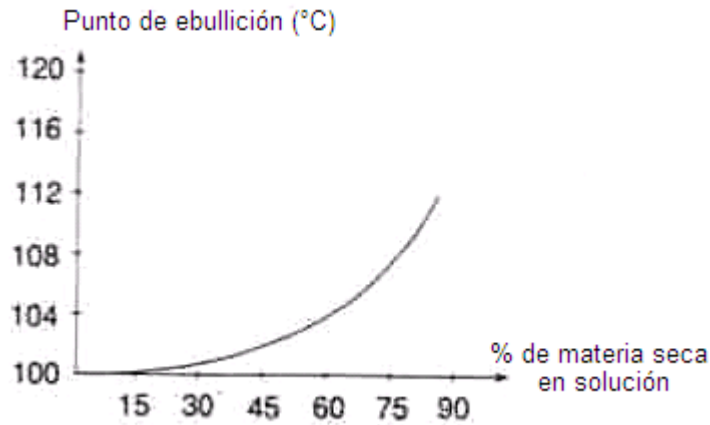
Viscosidad (cP)				
	20°C	25°C	30°C	40°C
Sorbitol 70% DS	200	120	90	50
Xilitol 70% DS		45		20
Xilitol 63% DS	21	0.3		
Lycasin® 74% DS	2000		1100	
Lycasin® 70% DS	700	500	350	200
Lactitol 60% DS	90	70	47	45
Palatinit® 60% DS	80	60	50	34
Sacarosa 70% DS	420	300	250	100

(Billaux, *et al*, 1991)

8.6. TEMPERATURA DE EBULLICIÓN

Como regla general, los azúcares cuyo peso molecular es inferior al de la sacarosa tienen un punto de ebullición en disolución mayor al de las soluciones de sacarosa, y viceversa. Mientras mayor sea la concentración de la solución mayor es su punto de ebullición. Obsérvese la **Fig. 8.4** (Billaux, *et al*, 1991).

Fig. 8.4. Temperatura de ebullición de soluciones de sorbitol

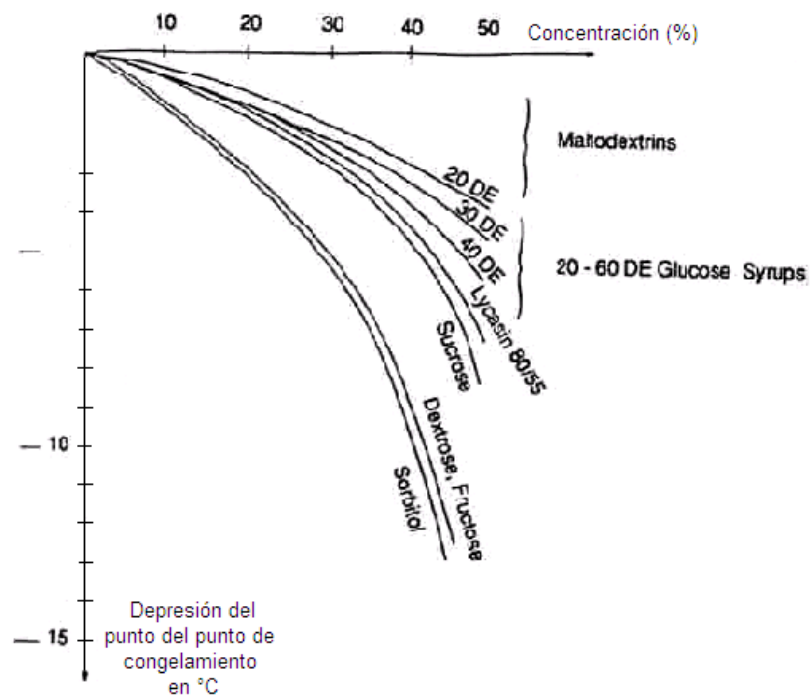


(Billaux, *et al*, 1991)

8.7. TEMPERATURA DE CONGELAMIENTO

La temperatura de congelamiento de los polioles en solución acuosa está en función de su concentración. La misma idea aplica también para la depresión del punto de congelamiento. Esta propiedad física está en función del peso molecular de los polioles y sigue la ley de Raoult (**Fig. 8.5**).

Fig. 8.5. Depresión del punto de congelamiento de varios edulcorantes en función de su concentración



La propiedad de disminuir el punto de congelamiento hace a los polioles útiles para sustituir a la sacarosa en los helados. El maltitol, sorbitol y lactitol disminuyen el punto de congelamiento en una magnitud comparable con la sacarosa (Madrilley, Jiménez y Raventós, 2000).

8.8. CALOR DE DISOLUCIÓN

La disolución de cristales está acompañada de fenómenos térmicos. La mayoría de los polioles posee un calor de disolución negativo muy alto como puede observarse en la **Tabla 8.5**.

Por esta razón, al disolverse los polioles en la boca a partir del estado cristalino o sólido producen un efecto refrescante (también llamado efecto enfriante). Este efecto es deseable en las pastillas de menta o productos mentolados; asimismo, es desagradable para pasteles y chocolates.

Tabla 8.5. Calor de disolución de diferentes edulcorantes.

Edulcorante	Calor de disolución (kcal/g)
Eritritol	-23.3
Isomaltitol	-9.4
Lactitol * H₂O	-12.4
Lactitol * 2 H₂O	-13.8
Maltitol	-18.9
Manitol	-28.9
Sorbitol	-26.6
Xilitol	-36.6
Sacarosa	-4.3

(Madrilley, Jiménez y Raventós, 2000)

De esta manera, el sorbitol y el xilitol son los polioles cristalinos con mayor efecto refrescante; por su parte, el manitol es poco refrescante ya que, aunque posee un calor de disolución superior al sorbitol, tiene una solubilidad débil.

8.9. ESTABILIDAD QUÍMICA

Debido a su hidrogenación, los polioles ya no tienen ningún grupo reductor libre. La desaparición del poder reductor explica la inexistencia de algunas reacciones muy bien conocidas de los azúcares: no hay formación de compuestos de Maillard (ausencia de oscurecimiento) y no hay caramelización cuando se calientan sobre sus puntos de disolución (Billaux, *et al*, 1991).

Como los polioles no pueden ser utilizados por el metabolismo de levaduras, mohos y muchas bacterias, su uso en los productos alimentarios limita el desarrollo de estos microorganismos.

8.10. DULZOR Y SINERGIA

El poder edulcorante (PE) se define como la relación entre las cantidades de sacarosa y de edulcorante presentes en disolución que desarrollan la misma intensidad de dulzor. Para medir

el PE relativo del edulcorante se emplea la sacarosa como sustancia de referencia (**Tabla 8.6**).

El PE se rige por la siguiente ecuación (Madrilley, Jiménez y Raventós, 2000):

$$(PE_{Sacarosa}) \times (\% Sacarosa) = (PE_{Edulcorante}) \times (\% Edulcorante)$$

Al asumir que $PE_{Sacarosa}=1$, la ecuación queda: $PE_{Edulcorante} = (\% Sacarosa) / (\% Edulcorante)$

Tabla 8.6. Dulzor relativo de edulcorantes alternativos a la sacarosa

Edulcorante alternativo	Dulzor relativo aproximado (Sacarosa=1)
Acesulfame K	200
Alitame	2000
Aspartamo	180
Fructosa cristalina	1.2 – 1.7
Ciclamato	30
Dihidrochalconas	300 – 2000
Glicirrizina	50 – 100
Hernandulcina	1000
Jarabe de maíz de alta fructosa, 55%	1
Jarabe de maíz de alta fructosa, 90%	1+
Isomalt	0.45 – 0.64
Isomaltulosa	0.48
L- azúcares	1
Lactitol	0.4
Maltitol e hidrolizados de almidón hidrogenados	0.7 – 0.9
Manitol	0.7
Monelina	1500 – 2000
Sacarina	300
Sorbitol	0.54 – 0.7
Esteviósido	300
Sucralosa	600
Taumatina	2000 – 3000
Xilitol	1

(O' Brien-Nabors y Gelardi, 1991)

Quienes se dedican al desarrollo de nuevos alimentos deben elegir entre la gama de edulcorantes bajos en calorías basados en consideraciones sensoriales, de estabilidad y costos (Kroger, Meister y Kava, 2006). En algunos casos se utilizan mezclas de edulcorantes de manera que proporcionen el perfil deseado para el producto en desarrollo, la tabla siguiente muestra combinaciones frecuentes utilizadas en la industria alimentaria (**Tabla 8.7**).

Tabla 8.7. Sinergia de algunos edulcorantes de volumen

Edulcorante	Edulcorantes con sinergia
Eritritol	Acesulfamo-k Aspartamo
Isomaltitol	Jarabe maltitol Manitol Sorbitol Xilitol Acesulfamo-k (1:250) Aspartamo Ac. Cicláxico
Lactitol	Jarabe maltitol Sorbitol Xilitol Acesulfamo-k (0.3%) Aspartamo (0.3%) Sacarina

Maltitol	Edulcorantes intensivos*: Acesulfamo-k (1:150).
Jarabe de maltitol	isomaltol Lactitol Sorbitol Xilitol Acesulfamo-k (0.15%-0.4%) Aspartamo (0.15%-0.4%)
Manitol	Edulcorantes de carga o volumen Edulcorantes intensivos*
Sorbitol	Isomaltol Lactitol Manitol Xilitol Acesulfamo-k Neohesperidina
Xilitol	Edulcorantes de carga o volumen Edulcorantes intensivos*: Acesulfamo-k (1:100)

***Edulcorantes intensivos:** Acesulfamo-k, Aspartamo, Ácido Cicláxico, Neohesperidina DC y Sacarina.

(Madrilley, Jiménez y Raventós, 2000)

Existe un efecto sinérgico cuando el poder edulcorante (PE) de una mezcla es mayor que el poder de dulzor teórico proporcionado por cada uno de los constituyentes. Sin embargo, la sinergia no es un simple efecto numérico, puede presentarse sinergia entre una aparición rápida del sabor dulce como en el aspartamo en combinación con otro edulcorante que produzca una aparición más lenta del mismo.

Los edulcorantes no nutritivos usualmente no provienen de hidratos de carbono y, por lo tanto, poseen diferentes propiedades físicas y químicas. Usualmente estos edulcorantes tienen sabores o resabios característicos que difieren de los que presentan los edulcorantes nutritivos tradicionales y son intensamente más dulces comparados con estos últimos.

Por definición, los edulcorantes no nutritivos aportan menos del 2% del valor calórico en una unidad equivalente de capacidad de dulzor (Salminen y Hallikainen, 2002). La principal diferencia entre los edulcorantes nutritivos (o de volumen) y no nutritivos, además del contenido energético, es la cantidad de edulcorante requerida.

Muchos productos en el mercado actual contienen una mezcla de edulcorantes. La elección de estos edulcorantes obedece a razones específicas según la aplicación, ya sea por nivel de dulzor o por color, sabor, efectos glicémicos, viscosidad, textura, actividad acuosa, humectación, propiedades de unión, propiedades de cristalización, depresión del punto de congelación, etc. (Srivastava, 2005)

Al emplear HIS se puede presentar una condición de sinergia, existen evidencias de estos efectos en bebidas refrescantes, pero en confitería el fenómeno es menos aparente (Edwards, 2002).

La mejor manera de hacer una elección eficiente de los componentes de estas combinaciones de edulcorantes para personalizar los productos consiste en familiarizarse con las

características, ventajas y desventajas de estas sustancias así como con las necesidades de cada aplicación.

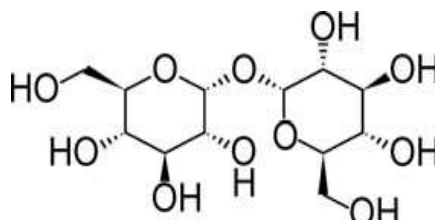
9. OTROS EDULCORANTES ALTERNATIVOS

9.1. TREHALOSA

9.1.1. Generalidades

También conocida como micoso, es un disacárido natural que consta de dos unidades de α -glucosa unidas por un enlace glicosídico α,α -1,1-. (**Fig. 9.1**)

Fig 9.1. Estructura de la trehalosa



(Patra, Tomar y Arora, 2009)

En 1832 Wiggers descubrió la trehalosa en un cornezuelo de centeno (hongo parásito del centeno y de otros cereales) y en 1859 Berthelot la aisló del maná de trehala, una sustancia hecha por gorgojos, y la llamó trehalosa. Se encuentra en la naturaleza de manera extensa pero no abundante, principalmente en insectos, plantas, hongos y bacterias. La mayor fuente dietética natural son los champiñones.

La tecnología para producir trehalosa se desarrolló en Japón a base de procesos enzimáticos cuyas materias primas son los jarabes de trigo y maíz.

Tiene alta capacidad de retención de agua. Está implicada en la anhidrobiosis (la habilidad de las plantas y animales de soportar prolongados periodos de desecación). El azúcar forma un gel mientras las células se deshidratan, lo que previene la alteración de organelos celulares internos inmovilizándolos efectivamente en su posición. La rehidratación entonces permite que la actividad celular normal sea reiniciada sin el daño letal que seguiría normalmente en un ciclo de deshidratación/rehidratación (Patra, Tomar y Arora, 2009).

La protección de proteínas contra la desnaturalización bajo condiciones de estrés es una propiedad bien conocida de la trehalosa. Es un reductor de estrés celular normalmente presente, protegiendo a estos organismos de los extremos en el estrés térmico y el osmótico. Actúa alterando o reemplazando la cubierta acuosa que rodea a las macromoléculas lipídicas o proteínicas. Se ha pensado que su unión glicosídica flexible le permite a la trehalosa ajustarse a los grupos polares irregulares de macromoléculas. Haciendo esto, es capaz de mantener la estructura tridimensional de estas moléculas biológicas bajo estrés, conservando la función biológica.

Los trehalolípidos (trehalosa unida a C-6 y C-6' del ácido micólico) son producidos por *Rhodococcus erythropolis* y *Arthrobacter* spp. actuando como biosurfactantes (Patra, Tomar y Arora, 2009).

La trehalosa está extendida dentro del género *Propionibacterium*, se ha observado que su acumulación se presenta en respuesta a las condiciones de estrés, en particular la cepa *P. freudenreichii* subsp. *shermanii* NIZO B365 acumula trehalosa en niveles notables y su contenido incrementa considerablemente en respuesta a estrés osmótico, oxidativo y ácido.

En este organismo la trehalosa resulta de la conversión de glucosa 6-P y ADP glucosa vía trehalosa 6-P sintasa a trehalosa 6-P y su subsecuente desfosforilación por trehalosa 6-P fosfatasa. Alternativamente, la trehalosa puede formarse a partir de maltosa por la acción de trehalosa sintasa (Patra, Tomar y Arora, 2009).

Por sus variados efectos, las aplicaciones de la trehalosa abarcan un amplio espectro que no se encuentra en otros azúcares. Posee un inherente sabor suave y dulce, además de propiedades de conservación que mantienen la calidad de los tres principales nutrientes (hidratos de carbono, proteínas y grasas). Su poder de retención de agua conserva la textura de los alimentos protegiéndolos del secado o congelamiento y posee la habilidad de suprimir el amargor, astringencia, sabor áspero y el desarrollo de olores extraños de los alimentos crudos, carnes y alimentos empacados.

Se emplea principalmente en el procesamiento de alimentos tales como comidas, confitería occidental y japonesa, pan, platillos vegetarianos, alimentos enlatados derivados de animales, alimentos empacados, congelados y bebidas, así como alimentos precocinados listos para consumir (Patra, Tomar y Arora, 2009).

Debido a su capacidad de retención de humedad, se usa también como humectante en muchos artículos de tocador básicos como aceites de baño y tónicos para crecimiento del cabello.

9.1.2. Aspectos Fisiológicos/ Terapéuticos

Cuando se estudian las propiedades funcionales de las proteínas es recomendable el uso de la trehalosa pues actúa como un buen agente estabilizador, siendo particularmente efectivo al combinarse con iones fosfato. Como una extensión de su capacidad natural para proteger estructuras biológicas, se ha usado para la preservación y protección de tejidos y proteínas, empleándose con éxito en las soluciones para conservar embriones y productos celulares sanguíneos así como en la crioconservación de transplantes de células, tejidos y órganos, los cuales en presencia de trehalosa han mostrado una viabilidad mayor y una disminución en la respuesta inmune del receptor.

Asimismo, se ha usado en varias formulaciones que contienen proteínas bioactivas como anticuerpos monoclonales biofarmacéuticos y enzimas para uso médico.

Se han revelado atributos promotores de la salud por parte de la trehalosa como el control sobre la caries dental; asimismo, se ha demostrado que tiene importantes efectos estabilizadores sobre las proteínas humanas, previniendo la agregación proteínica así como la formación de estructuras patológicas. Adicionalmente, dado que inhibe el desdoblamiento de lípidos y proteínas se ha convertido en una molécula atractiva para su estudio en enfermedades neurodegenerativas caracterizadas por el desdoblamiento de proteínas y patologías agregadas, como el Alzheimer y el Parkinson.

Su metabolismo es similar al de otros disacáridos. No se usa en los alimentos con la finalidad primordial de endulzar o reducir calorías, pues proporciona 4kcal/g igual que la sacarosa, más bien se valora por otras propiedades como la baja respuesta glicémica y la capacidad de estabilizar los alimentos durante el congelamiento o la deshidratación, además de su actividad anticariogénica (Kroger, Meister y Kava, 2006).

Además, actualmente se estudian los efectos de la trehalosa sobre las actividades de enzimas antioxidantes clave. Se ha observado que inhibe la autooxidación de ácidos grasos insaturados, pero suprime de manera despreciable la generación de aldehídos volátiles de los hidroperóxidos. Se presume que este efecto es debido a la interacción débil con el (los) doble(s) enlace(s) (Patra, Tomar y Arora, 2009).

La seguridad de la trehalosa está confirmada por estudios en animales y humanos. Se considera GRAS por la FDA desde el año 2000.

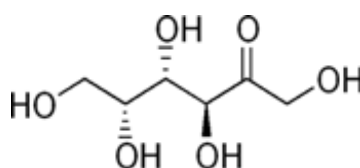
En la Unión Europea, la JECFA la considera aceptable como un nuevo alimento o ingrediente alimentario con un ADI 'no especificado' desde el año 2000. La trehalosa está aprobada en Japón, Korea, Taiwán y el Reino Unido. No obstante, las aplicaciones comerciales parecen limitadas hasta ahora (Mortensen, 2006).

9.2. TAGATOSA

9.2.1. Generalidades

Es un isómero de la fructosa que se presenta naturalmente en la goma *Sterculia setigera* y también se encuentra en pequeñas cantidades en varios alimentos procesados como la leche de vaca en polvo esterilizada, cocoa caliente y algunos quesos, yogurts y otros productos lácteos. La tagatosa como ingrediente alimenticio es manufacturada comercialmente usando lactosa como materia prima. (Fig. 9.2)

Fig. 9.2. Estructura de la tagatosa



(Patra, Tomar y Arora, 2009)

Es un edulcorante funcional muy similar en textura y volumen a la sacarosa con un 92% de su dulzor y sólo 38% de las calorías pues se metaboliza de manera diferente, lo cual también redundaría en una menor respuesta glicémica. Además, no posee efecto enfriante o postgusto.

La D-tagatosa tiene un punto de fusión de 134°C, es estable a pH de 2-7, solubilidad 58% (w/w) a 21°C; viscosidad 180cP a 70%(w/w) a 20°C. Está involucrada en reacciones de oscurecimiento durante los tratamientos térmicos y se descompone más fácilmente que la sacarosa a altas temperaturas (Patra, Tomar y Arora, 2009).

La tagatosa se puede preparar a partir de galactosa o de lactosa previa hidrólisis enzimática en que los dos monómeros –galactosa y glucosa- son separados mediante cromatografía. La fracción de galactosa es entonces convertida a tagatosa por un método químico bajo condiciones alcalinas usando un catalizador de calcio. Sin embargo, el proceso tiene algunas desventajas: complejos pasos de purificación, formación de desechos químicos y de subproductos indeseables.

Por esta razón se han estudiado procesos biológicos usando distintas fuentes de biocatalizadores, entre ellos L-arabinosa isomerasa que cataliza la conversión de D-galactosa a D-tagatosa así como la conversión de L-arabinosa a L-ribulosa. Se ha reconocido que las LAB son una fuente de esta enzima, entre las reportadas están *Lb. gayonii*, *Lb. plantarum* y *Bifidobacterium longum* (Patra, Tomar y Arora, 2009).

La D-tagatosa se puede emplear como un edulcorante bajo en calorías (1.5kcal/g), como un intermediario para la síntesis de otros compuestos ópticamente activos y como aditivo en detergentes, cosméticos y formulaciones farmacéuticas. Además, tiene el efecto de potenciar el sabor. Según estudios realizados, la tagatosa es conveniente como un sustituto parcial de la sacarosa en galletas de bajo aporte calórico.

Este edulcorante se comercializa como ingrediente bajo el nombre “Gaio” y se usa en productos con chocolate para ser vendidos en Nueva Zelanda y Australia por Miada Sports Nutrition of New Zealand desde 2004 (www.ap-foodtechnology.com) (Patra, Tomar y Arora, 2009).

9.2.2. Aspectos Fisiológicos/ Terapéuticos

Aunque es químicamente un azúcar, no promueve el deterioro dental. Es similar a los polioles respecto a un bajo valor calórico y propiedades ‘tooth-friendly’.

Actualmente existe una discrepancia respecto a los efectos laxantes de la tagatosa, pues mientras autores como Patra, Tomar y Arora, (2009) aseguran que no tiene efecto laxante, otros afirman que al igual que los polioles (digeridos de manera incompleta), la tagatosa puede

causar malestar gastrointestinal si se consume en grandes cantidades (Kroger, Meister y Kava, 2006).

El metabolismo de la tagatosa es similar al de la fructosa, pero el compuesto no es absorbido completamente en el intestino delgado. Una pequeña diferencia en la estructura química de la tagatosa comparada con la fructosa se traduce en una diferencia significativa en su metabolismo. El transportador mediado de la fructosa en el intestino delgado exhibe poca afinidad por la tagatosa y sólo aproximadamente 20% de la tagatosa ingerida es absorbida en el intestino delgado. La parte absorbida es metabolizada en el hígado. La mayor parte de la tagatosa ingerida es fermentada en el colon por la microbiota nativa resultando en la producción de ácidos grasos de cadena corta (SCFA).

La fracción no absorbida es completamente fermentada por la microbiota intestinal y los SCFA son rápidamente absorbidos y metabolizados. Durante la fermentación, hay una relativamente baja recuperación de energía y más bien cierta cantidad de energía se pierde debido a la creciente excreción de biomasa de la microbiota (Patra, Tomar y Arora, 2009).

Respecto a esto, la tagatosa es un prebiótico potencial. En estudios recientes se ha encontrado que causa una alteración en la composición de la microbiota del colon en cerdos, evidenciada por cambios en las proporciones de los SCFA producidos. Esto mostró que la microflora favorecida por el consumo de tagatosa tuvo el potencial de producir grandes cantidades de butirato, al que se le atribuye importancia para la salud del colon.

También se ha demostrado que la tagatosa modifica la población microbiana en las heces de los consumidores. Las bacterias patógenas se redujeron y las bacterias benéficas específicas – como lactobacilos y LAB- incrementaron (Patra, Tomar y Arora, 2009).

Adicionalmente, se le atribuyen otros beneficios a la salud como:

- Previene la formación de placa dental y caries.
- Coadyuva en el tratamiento contra la halitosis.
- Tiene actividad prebiótica y evita la formación de biopelículas bacterianas.
- Promueve la pérdida de peso y es un auxiliar en el tratamiento de la obesidad.
- Prácticamente no tiene efectos glicémicos y reduce los síntomas asociados con la diabetes tipo 2, hiperglicemia, anemia y hemofilia.

Se han desarrollado ensayos para confirmar el potencial de la tagatosa (Naturlose®) para tratar la diabetes tipo 2 y se ha mostrado una promesa para inducir la pérdida de peso y elevar el colesterol lipoproteínico de alta densidad (*high density lipoprotein cholesterol*), importante para el control de la diabetes y beneficios independientes de la enfermedad. Los efectos colaterales predominantes de la tagatosa son los trastornos gastrointestinales asociados con su consumo excesivo (Patra, Tomar y Arora, 2009).

Se ha descubierto que la adición de tagatosa a un órgano en almacenamiento en solución conservadora puede reducir el daño por reperfusión durante la cirugía y/o futura remoción del órgano de un sujeto. La tagatosa ejerce un efecto dual que es benéfico en la conservación del órgano y prevención del daño por reperfusión (Patra, Tomar y Arora, 2009).

En 2001 la FDA apoyó la conclusión de que la tagatosa es una sustancia GRAS autorizando una afirmación relacionada con el deterioro dental en productos elaborados con alcoholes de azúcar incluyendo a la tagatosa como sustancia elegible, aunque no sea un alcohol de azúcar.

En el 2004 la JECFA la aprobó como ingrediente alimenticio nuevo en la Unión Europea asignándole un ADI 'no especificado' que puede ser usada en varios alimentos (bebidas, cereales, confitería y productos lácteos). La tagatosa está aprobada en Australia, Nueva Zelanda, Korea y la Unión Europea.

10. PRINCIPALES APLICACIONES EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

Es importante señalar que el edulcorante ideal no existe, incluso la sacarosa no satisface todas las necesidades en algunos productos.

Por tanto, el edulcorante "ideal" debería ser al menos tan dulce como la sacarosa, incoloro, inodoro y no cariogénico, además de tener un gusto limpio y placentero con un sabor inicial inmediato, no debe presentar resabio. Mientras más se parezca un edulcorante a la sacarosa en cuanto a sabor dulce y funcionalidad, mayor es su facilidad de uso en alimentos y bebidas. Un edulcorante debe ser compatible con un amplio rango de ingredientes alimenticios, tanto en el dulzor como en otros componentes de los complejos sistemas de sabor (O' Brien-Nabors y Gelardi, 1991).

Asimismo, el edulcorante ideal debe ser soluble en agua y estable en condiciones ácidas y básicas y en un amplio rango de temperaturas.

Adicionalmente, la inocuidad de un edulcorante alternativo es esencial, por lo que debe ser no tóxico y metabolizarse normalmente o ser excretado sin biotransformación. En términos de rentabilidad, debe tener un precio competitivo respecto a la sacarosa y otros edulcorantes semejantes, además de ser fácil de producir, almacenar y transportar (O' Brien-Nabors y Gelardi, 1991).

En el desarrollo de productos libres de azúcar es conveniente considerar que éstos deben saber bien y poseer al menos la misma calidad que las variedades tradicionales que contienen sacarosa u otros azúcares similares. Concretamente, en el caso de los polioles se debe tomar en cuenta la tolerancia del consumidor, buscando la manera de minimizar el riesgo potencial.

Albert Zumbé, Profesor de la Unidad de Biociencias Nutrimentales en la Universidad de Salford, Reino Unido, afirma que se debe equilibrar un tamaño de porción razonable con los patrones de consumo de cada tipo de producto de confitería, debido a la ya mencionada desventaja los polioles de producir efectos laxantes si se consumen en elevadas cantidades (Edwards, 2002).

Es importante la consideración de este efecto en la formulación de los productos bajos en calorías, así como en la presentación y el tamaño de porción para evitar posibles riesgos en la salud del consumidor.

En las **Tablas 10.1** y **10.2** se presentan las principales aplicaciones de los polioles de acuerdo a sus propiedades y a las características deseadas en cada tipo de producto.

Tabla 10.1. Aplicaciones comunes de los polioles y su combinación en la industria de alimentos

Aplicación	Poliol	Combinaciones
Bebidas isotónicas	Eritritol, jarabe de maltitol	
Caramelos	Duros: isomaltitol, lactitol, maltitol, jarabe de maltitol. Blandos y masticables: isomaltitol, lactitol, jarabe de maltitol. Toffes: isomaltitol, lactitol, maltitol, jarabe de maltitol	<ul style="list-style-type: none"> • Lactitol + Sorbitol+ Jarabe de maltitol + Polidextrosa • Lactitol (70%) + Jarabe de maltitol (30%) (duros) • Isomaltitol + Jarabe de maltitol (masticables)
Cereales de desayuno	isomaltitol, lactitol, jarabe de maltitol.	
Chicles	Eritritol, Isomaltitol, Lactitol, Maltitol, Manitol, Sorbitol, Jarabe de sorbitol, Xilitol (25%)	<ul style="list-style-type: none"> • Edulcorantes de carga + Edulcorantes intensivos • Eritritol! + Jarabe de maltitol • Lactitol (40%) + Jarabe de maltitol (60%) o Sorbitol • Lactitol + Xilitol
Chocolate	Eritritol, Isomaltitol, Maltitol, Jarabe de maltitol, Lactitol, Manitol, Sorbitol, Xilitol	<ul style="list-style-type: none"> • Isomaltitol o Sorbitol + Edulcorantes intensivos • Lactitol + Polidextrosa • Lactitol + Acesulfamo-k o Aspartamo • Isomaltitol + Sorbitol o Jarabe de maltitol • Maltitol + Isomaltitol + Xilitol o Edulcorantes intensivos • Manitol + Sorbitol
Cobertura	Jarabe Maltitol, Jarabe Sorbitol, Maltitol	
Complementos de la dieta sólidos	Isomaltitol, Maltitol, Jarabe de maltitol, Manitol	
Confites	Manitol, Sorbitol, Xilitol	
Confituras	Isomaltitol, Lactitol	
Conservas	Lactitol, Sorbitol (frutas, vegetales)	
Crema mantecosa	Eritritol, Jarabe de sorbitol	
Crema pastelera	Eritritol, sorbitol	
Dulces hervidos	Isomaltitol, Sorbitol, Xilitol (15-20%)	<ul style="list-style-type: none"> • Isomaltitol + Xilitol • Jarabe de maltitol + Sorbitol + Xilitol
Dusting	Eritritol, Maltitol, Manitol	
Edulcorantes de mesa	Eritritol, Isomaltitol, Maltitol, Sorbitol	• Eritritol + Edulcorantes intensivos
Fiambres	Manitol, sorbitol	
Espumas	Jarabe de maltitol y de sorbitol	
Fondant	Eritritol, Isomaltitol (bizcocho, relleno de bombones y tartaletas), Xilitol	<ul style="list-style-type: none"> • Isomaltitol (80%) + Jarabe de maltitol (20%) • Isomaltitol (80%) + Sorbitol (20%) • Sorbitol + Xilitol
Galletas de jengibre	Maltitol, Jarabe de maltitol y de sorbitol	
Gelatinas	Isomaltitol (postres), Maltitol, Jarabe de maltitol, Manitol	

Tabla 10.1. (Continuación)

Aplicación	Poliol	Combinaciones
Glaseados	Eritritol, Manitol, Xilitol	
Golosinas	Lactitol (gominolas), Isomaltitol, Jarabe de maltitol (osos de goma), Xilitol (gomas de fruta)	<ul style="list-style-type: none"> • Lactitol (40%) +• Jarabe de maltitol (60%)
Helados	Isomaltitol, Lactitol, Maltitol, Jarabe de maltitol, Sorbitol (3%), Jarabe de sorbitol, Xilitol	
Jaleas	Isomaltitol, Lactitol, Jarabe de maltitol	
Mazapán	Isomaltitol, Maltitol, Sorbitol (0-5%), Xilitol	
Mermeladas	Lactitol, Maltitol, Manitol, Jarabe de maltitol, Xilitol	<ul style="list-style-type: none"> • Lactitol + Jarabe de maltitol + Sorbitol + Povidexrosa • Isomaltitol + Sorbitol
Nougat	Isomaltitol (3-40%), Jarabe de maltitol	<ul style="list-style-type: none"> • Isomaltitol + Povidexrosa
Pasteles rellenos	Eritritol, Sorbitol	
Pastillas de menta	Eritritol, Manitol	
Postres helados	Lactitol, Maltitol, Sorbitol (cremas heladas), Xilitol (tartas heladas)	<ul style="list-style-type: none"> • Lactitol + Sorbitol
Productos alimenticios para regímenes diabéticos y/o especiales	Maltitol, Manitol, Sorbitol, Xilitol	<ul style="list-style-type: none"> • Maltitol + Sacarosa • Maltitol + Sorbitol
Productos horneados	<p>Bollería: isomaltitol, Manitol, Xilitol</p> <p>Cookies: Isomaltitol, Maltitol, Jarabe de maltitol, Sorbitol</p> <p>Galletería: Jarabe de maltitol, Sorbitol, Jarabe de Sorbitol, Xilitol</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Lactitol + Povidexrosa • Lactitol + Sorbitol (galletería)
Productos de pastelería	Isomaltitol (tartaletas y pastelería seca), Eritritol Lactitol, Maltitol Jarabe de maltitol, Sorbitol (3-15%)	<ul style="list-style-type: none"> • Lactitol + Sorbitol + Povidexrosa • Manitol + Edulcorantes intensivos
Salsas	Isomaltitol, Sorbitol, Xilitol	
Soft drinks	Eritritol, Xilitol	<ul style="list-style-type: none"> • Eritritol + Edulcorantes intensivos
Sorbetes	Isomaltitol, Sorbitol, Xilitol	
Surimi	Lactitol, Sorbitol	

(Madrilley, Jiménez y Raventós, 2000)

Tabla 10.2. Aplicaciones de diferentes edulcorantes de volumen en alimentos

Edulcorante	Aplicación
Eritritol	Bizcochería Crema instantánea de leche
Jarabe de maltitol	Cereales en barra Malvaviscos
Manitol	Dulces de menta
Sorbitol	Carnes Pastas Mayonesa Aceites
Xilitol	Frutas escarchadas Pastas y cremas de cacao, leche y/o frutos secos Postres a base de futas, hortalizas, huevo cereales y grasas. Preparados de fruta Yogurth Jugos
Isomaltitol	Budín Coberturas Glaseado Postres lácteos

(Madrilley, Jiménez y Raventós, 2000)

11. ANÁLISIS DE COSTOS

La industria de los aditivos alimentarios está altamente fragmentada en secciones especializadas con una abundancia de productos y participantes que sirven a un fin común en el mercado: el desarrollo de alimentos atractivos para el consumidor.

La **Fig. 11.1** muestra la distribución del consumo mundial de aditivos alimentarios en el año 2007.

Fig 11.1.



(Somogyi, *et al*, 2008)

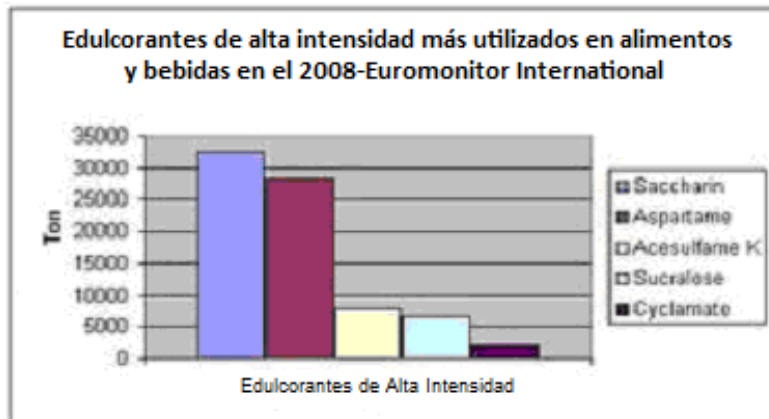
En la actualidad resulta evidente que existen diferencias en los gustos y preferencias de cada consumidor por ciertos alimentos según la región del mundo en la que se encuentre. Sin embargo, las principales tendencias que encauzan la industria de los aditivos alimentarios parecen ser muy similares en todas las regiones: la preocupación por la salud y la nutrición (particularmente la necesidad de controlar la obesidad generalizada y la diabetes; además del reconocimiento de alergias a determinados alimentos); la seguridad alimentaria, el deseo por la comodidad, el concepto de productos con valor agregado, los costos cada vez más elevados de energía y materias primas así como los asociados con la investigación y desarrollo; el cumplimiento regulatorio, además de la comercialización de nuevos productos (Somogyi, *et al*, 2008).

Como una sección específica de la industria de aditivos, la producción global total de alcoholes de azúcar en el mercado mundial de edulcorantes alcanza \$10.92 billones USD y ha sido estimada en alrededor de 800 mil toneladas (Patra, Tomar y Arora, 2009).

Los edulcorantes de alta intensidad tienden a ser más costosos que los edulcorantes de volumen, pero son usados en cantidades mucho más pequeñas (Halliday, 2009).

De acuerdo a los datos emitidos por *Euromonitor International* el uso a nivel mundial de los Edulcorantes de Alta Intensidad se situó en 77 mil toneladas en el 2008, siendo los cinco más populares: sacarina, aspartamo, acesulfame K, sucralosa y ciclamato (**Fig. 11.2**) (Halliday, 2009).

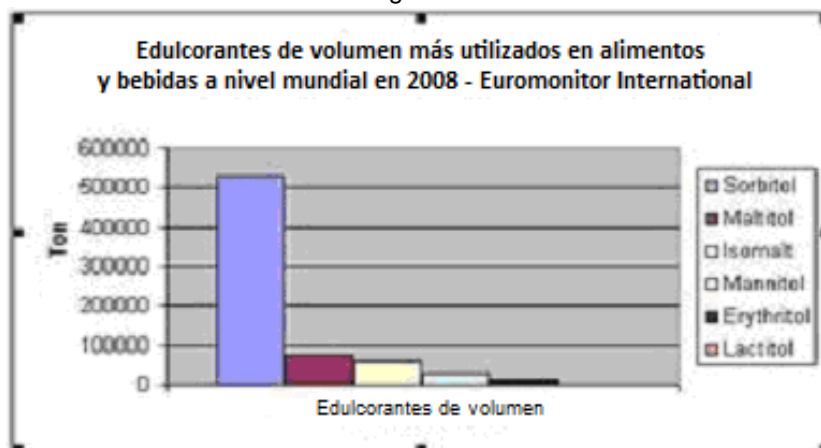
Fig 11.2.



(Halliday, 2009)

Euromonitor International encontró que en el mismo año se usaron más de 70 millones de toneladas de azúcares y edulcorantes de volumen. Los principales edulcorantes de volumen, exceptuando al azúcar, alcanzan alrededor de 700 mil toneladas (**Fig. 11.3**) (Halliday, 2009).

Fig. 11.3.



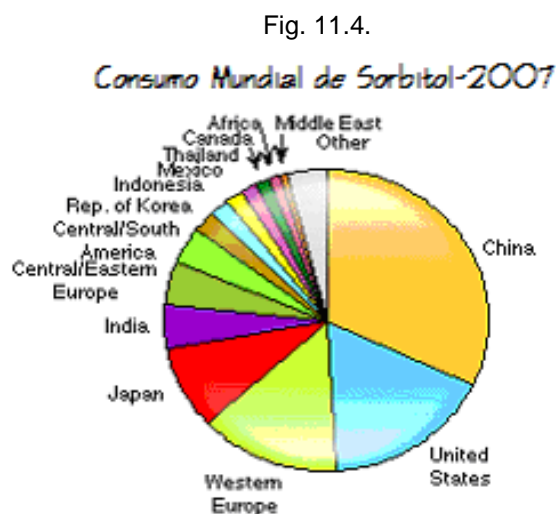
(Halliday, 2009)

Se estima que el consumo de alcoholes de azúcar y edulcorantes de alta intensidad ascienda hasta 15% en los próximos años. El sorbitol constituye la mayor parte del consumo de alcoholes de azúcar (más de

54%) y la tagatosa está surgiendo como otro edulcorante solicitado, con un rápido crecimiento calculado en más de 20-25% en el futuro cercano (Patra, Tomar y Arora, 2009).

Los países/regiones con una importación neta más grande de sorbitol son Europa Central/Oriental, seguida por Japón y Centro y Sudamérica. Respecto a la exportación, Europa Occidental, China, Indonesia y los Estados Unidos representaron, en combinación, 90% de las exportaciones mundiales en el 2007; Europa Occidental por sí sola representó 38% (Bizarri, Janshekar y Kishi, 2008).

La **Fig. 11.4** muestra el consumo mundial de sorbitol en el 2007.



(Bizarri, Janshekar y Kishi, 2008)

China es el mayor consumidor de sorbitol representando cerca de una tercera parte del consumo mundial en el 2007, asimismo representó una segmento considerable de la capacidad y producción mundial en el mismo año. Se espera que esta tendencia continúe durante el periodo 2007-2012 principalmente como resultado de la transferencia completa de la manufactura de vitamina C a China, cuya producción en el 2007 representaba el 90% a nivel mundial de dicho nutriente. De la misma forma, el consumo chino de sorbitol en alimentos, confitería y productos de cuidado personal continuará creciendo a una velocidad significativa (Bizarri, Janshekar y Kishi, 2008).

Otros alcoholes de azúcar, incluyendo el eritritol, maltitol y xilitol también han incrementado su parte en este mercado (Patra, Tomar y Arora, 2009).

El sorbitol, manitol y maltitol son menos dulces que el xilitol, que tiene un dulzor igual al de la sacarosa, pero son ampliamente usados en productos libres de azúcar porque son más económicos (Ly, Milgrom y Rothen, 2006). A este respecto cabe mencionar que el precio del sorbitol es afectado, entre otros factores, por el valor del jarabe del maíz que es la materia prima más común para su manufactura.

Nuestro país importa grandes cantidades de los principales polioles como se aprecia en la **Tabla 11.1**, que muestra el volumen de importación durante 2009; en el **Anexo I** se puede observar una descripción más detallada de las adquisiciones de cada una de las principales compañías importadoras en México durante el mismo año.

Tabla 11.1. Importación de polioles en México en 2009

POLIOL	TON	Miles \$USD	\$USD/ TON
Eritritol	21	116	5,622
Maltitol	6,532	17,665	2,704
Sorbitol líquido	26,603	16,596	624
Sorbitol cristalino	2,093	3,095	1,479
Manitol	1,338	3,801	2,840
Xilitol	270	915	3,390

(Secretaría de Economía, 2009)

Asimismo, en el **Anexo II** y **III** se observa el porcentaje de uso de cada uno de los principales polioles en diferentes segmentos de la Industria Alimentaria y en la elaboración de productos de confitería.

12. ASPECTOS NUTRIMENTALES

El uso de edulcorantes de bajo aporte calórico podría mejorar la calidad de la dieta si los consumidores usaran los ahorros de energía para el consumo de alimentos con alto contenido nutrimental (Kroger, Meister y Kava, 2006).

Dos encuestas dietéticas recientes realizadas en Estados Unidos indican que los adultos americanos que usan productos reducidos en azúcar tienen mejores dietas que aquellos que usan las versiones tradicionales (con azúcar) de los mismos alimentos y bebidas. Al comparar a los usuarios de los productos tradicionales con los de los productos reducidos en azúcar, estos últimos reportaron consistentemente ingestas mayores de frutas y menores ingestas de grasas discrecionales (cuyo consumo debe adecuarse al requerimiento energético diario de cada individuo) y azúcares agregados (Kroger, Meister y Kava, 2006).

Los polioles poseen ciertas características biológicas que representan ventajas potenciales sobre el azúcar, haciéndolos ideales como ingredientes alimenticios en productos con propiedades benéficas para la salud, de acuerdo con Kroger, Meister y Kava (2006):

1. A diferencia del azúcar, no promueven el desarrollo de caries dental, pues no son (o son muy poco) fermentados por la flora cariogénica de la cavidad bucal. Esto lleva a que no haya (o haya muy poca) formación de ácido y, en consecuencia, no se ataque el esmalte bucal.

Dado que los expertos han acordado que los polioles no promueven la caries dental, la FDA ha autorizado una afirmación de salud referente a la caries dental en los alimentos hechos con polioles estipulando que:

- ♦ Contienen un poliol aprobado o combinación de ellos.
- ♦ Satisfacen los criterios para la aseveración de "libres de azúcar".
- ♦ Si no se encuentra ningún carbohidrato fermentable de otro ingrediente en el producto, se dice que no disminuyen el pH de la placa en la boca por debajo de 5.7 durante su consumo o después de 30 minutos.

Una típica afirmación puede ser citada como sigue: "El consumo frecuente entre comidas de alimentos ricos en azúcar y almidones promueve el deterioro de los dientes: Los alcoholes de azúcar en [nombre del alimento] no promueven el deterioro dental". También se permiten afirmaciones más cortas en envases pequeños, como "No promueve el deterioro dental".

2. Los polioles y edulcorantes funcionalmente similares como la tagatosa y trehalosa, producen una menor respuesta glicémica que la mayoría de los azúcares y almidones, haciéndolos favorables para la gente con diabetes, pues no son insulino dependientes y

tienen un efecto mínimo sobre el nivel de glucosa en la sangre, pues no estimulan la secreción de la misma.

3. La mayoría de los polioles aportan menos calorías que el azúcar (4kcal/g) (Kroger, Meister y Kava, 2006).

12.1. METABOLISMO Y EFECTOS LAXANTES

La mayoría de los polioles son digeridos de manera incompleta y son absorbidos pobremente, ésta es la principal razón por la que sus valores calóricos son menores que los del azúcar (Kroger, Meister y Kava, 2006).

De cualquier manera, la absorción incompleta también puede presentar desventajas. Los polioles tienen un efecto laxante en humanos y animales cuando se consumen en exceso. Aunque difieren en su potencia laxante, de manera general se acepta que es seguro su consumo en el orden de 20g por persona al día (Mortensen, 2006).

Cabe mencionar que los síntomas de intolerancia a polioles son similares a los asociados con otros alimentos que contienen carbohidratos de baja digestibilidad, como las frutas secas o los cereales integrales. Se presentan dependiendo del grado de mala absorción, la actividad osmótica del alcohol de azúcar y si la capacidad fermentativa del colon ha sido excedida.

Los carbohidratos sin digerir tienen un efecto osmótico, empujando el agua al intestino. De esta manera, su presencia puede llevar a deposiciones más suaves o hasta diarrea en algunos casos. La fermentación del material sin digerir efectuada por las bacterias del colon puede llevar a la producción de gas, resultando en flatulencias.

Se ha demostrado que hay una importante variabilidad entre los sujetos en la tolerancia de los carbohidratos poco digeribles y el riesgo de intolerancia también puede variar en el mismo individuo. La variabilidad entre sujetos se debe probablemente a diferencias en las capacidad de absorción, patrones de motilidad, respuestas colónicas y sensibilidad intestinal (Finney, *et al*, 2007). Esto explica que algunas personas necesiten adaptarse gradualmente a mayores ingestas de polioles.

Por esta razón, los productos que contienen sorbitol o manitol llevan una etiqueta con la leyenda “el consumo excesivo puede tener efectos laxantes”. Esta leyenda es requerida por la FDA si es probable que el consumo del producto resulte en una ingesta de 50g o más por día en el caso del sorbitol, o 20g o más por día para el manitol. En algunas ocasiones, los efectos gastrointestinales pueden presentarse después del consumo de cantidades menores de poliol.

Los niños, debido a su menor talla corporal, pueden ser particularmente sensibles a los efectos gastrointestinales que resultan del consumo de cantidades relativamente pequeñas de polioles (Kroger, Meister y Kava, 2006).

12.2. ACTIVIDAD PREBIÓTICA

La microflora del intestino grueso comprende más de 500 especies diferentes de bacterias con una población aproximada de 10^{11} - 10^{12} bacterias por gramo de contenido (Finney, *et al*, 2007). Las bacterias intestinales se pueden dividir de manera general en:

- a) especies patógenas (causantes de diarrea, infección, producción de carcinogénesis, putrefacción intestinal) o,
- b) benéficas para la salud del huésped (ejercen competencia con patógenos, estimulación del tejido linfoide asociado al intestino).

Las bífido bacterias son uno de los géneros más importantes que integran la microbiota intestinal en el hombre y la estimulación de su crecimiento en el colon es positivo para la salud debido a sus potenciales actividades promotoras de la salud, a mencionar, un aumento en la generación de productos de fermentación en forma de ácidos grasos de cadena corta (SCFA), que actúan como fuentes vitales de energía para los colonocitos y ejercen un impacto trófico sobre la mucosa del colon (Finney, *et al*, 2007).

Los ingredientes alimenticios que no se digieren o son lentamente digeridos, especialmente los hidratos de carbono, son los principales sustratos para el crecimiento bacteriano en el intestino grueso. En la actualidad es ampliamente aceptado que la ingestión de ingredientes alimenticios no digeribles promueve la estimulación selectiva del crecimiento y/o actividad de un tipo de bacteria, o un grupo limitado de ellas en el colon. Las consecuencias son benéficas para el estado de salud del huésped.

Para ser efectivo, el ingrediente alimenticio debe resistir la digestión en el tracto digestivo superior y entonces ser selectivamente fermentado en el colon, alterando la composición de la microflora de manera que sea potencialmente más sana. Estos ingredientes se conocen como prebióticos.

La fermentación de carbohidratos no digeribles a SCFA es fundamental para muchos de los beneficios a la salud asociados a los prebióticos. La fermentación colónica de los prebióticos produce principalmente acetato, propionato y butirato. Los SCFA estimulan la proliferación celular de la mucosa intestinal, el efecto es dependiente de la dosis siendo el ácido butírico más efectivo que el acético y el propiónico.

Se ha demostrado que los SCFA tienen efectos positivos en el mantenimiento de la mucosa colónica saludable y ofrecen un rol protector en la tumorigénesis colónica. El ácido butírico en particular ha recibido atención como estimulante de la apoptosis incrementada en células transformadas pero no en células colónicas saludables (Finney, *et al*, 2007).

12.3. CONTENIDO CALÓRICO

La Unión Europea tiene una Directiva Nutricional que declara que todos los polioles poseen un valor calórico de 2.4kcal/g (Madrilley, Jiménez y Raventós, 2000).

Como se observa en la **Tabla 12.1**, según la legislación de Estados Unidos, el aporte calórico es específico para cada poliol, teniéndose, por ejemplo:

Tabla 12.1. Aporte calórico específico para cada poliol según la FDA

Poliol	Contenido calórico (kcal/g)
Sorbitol	2.6
Manitol	1.6
Xilitol	2.4
Eritritol	0.2
Isomalt	2.0
Lactitol	2.0
Maltitol	2.1
Hidrolizado hidrogenado de almidón	3.0

(Kroger, Meister y Kava, 2006)

12.4. ACTIVIDAD ANTICARIOGÉNICA

La caries dental es un padecimiento frecuente, infeccioso y multifactorial, cuya prevención debería basarse en propuestas múltiples. Los principales procedimientos preventivos normalmente incluyen varios métodos basados en fluoruro, la aplicación de selladores de fisuras, uso de sustitutos de azúcar y la observación de una adecuada higiene oral.

El proceso de caries dental se asocia normalmente con ciertos factores de riesgo, como la presencia de microorganismos específicos en la placa dental que inducen la caries, así como los patrones de crecimiento de la misma.

La recomendación del uso de sustitutos de azúcar se basa en la cariogenicidad de la sacarosa y otras hexosas. Entre los sustitutos de azúcar se ha empleado un cierto número de polioles como edulcorantes en la confitería y otros alimentos cuyo consumo ha sido asociado algunas veces con la incidencia de caries dental (Mäkinen, *et al*, 2005).

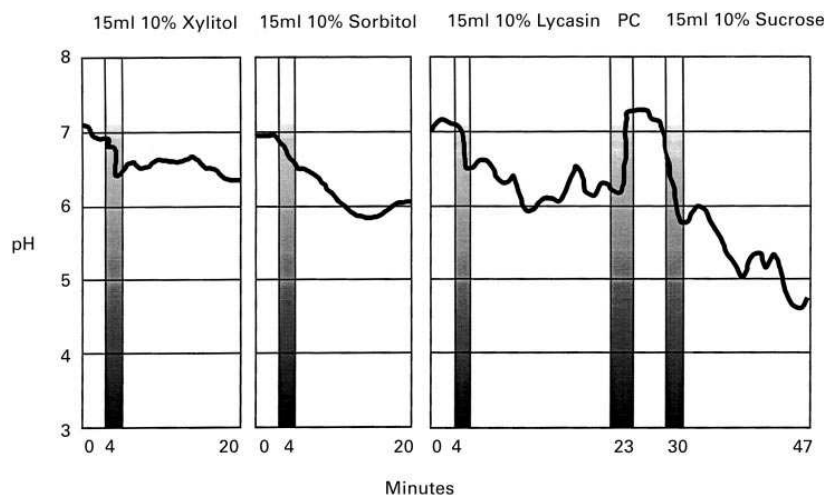
Todos los alcoholes de azúcar han sido probados *in vitro* para la fermentación por microorganismos orales y pueden clasificarse como hipoacidogénicos o no acidogénicos (van Loveren, 2004).

Los principales polioles que han recibido especial atención como apoyo al tratamiento de la caries dental son el xilitol, el sorbitol y varios polioles diméricos como el lactitol y el maltitol (Mäkinen, *et al*, 2005).

Respecto a la baja capacidad cariogénica de los polioles, se debe apuntar que la bacteria *Streptococcus mutans* disminuye su capacidad de inducir la caries dental cuando se usan estos

sustitutos de azúcar. En experimentos realizados en que se dejó actuar el microorganismo en soluciones de diferentes polioles, se demostró que no hubo crecimiento ni producción de ácido. Por este motivo algunos autores afirman que los productos de confitería elaborados con polioles y a los que se conoce como libre de azúcar son “seguros para los dientes”. (Fig. 12.1)

Fig. 12.1. Curva telemétrica de pH para la respuesta de la placa bacteriana en diferentes soluciones de polioles



(Zumbé, *et al*, 2001)

Se ha demostrado que los alcoholes de azúcar son no-cariogénicos, es decir, su consumo no promueve el deterioro dental. Además, el xilitol ha mostrado un efecto protector y reduce el deterioro dental en parte reduciendo los niveles de *S.mutans* en la placa y saliva y reduciendo el nivel de ácido láctico producido por estas bacterias (Ly, Milgrom y Rothen, 2006).

Ha sido sugerida la remineralización como resultado del uso de alcoholes de azúcar, pero la evidencia de los ensayos clínicos es menos clara (van Loveren, 2004).

Se ha observado la adaptación *in vitro* de *S. mutans* por subcultivos frecuentes en sorbitol, maltitol, lactitol y Lycasin®, pero no es probable que esto sea de importancia *in vivo* cuando los alcoholes de azúcar se presentan en combinación con una dieta rica en sacarosa (van Loveren, 2004).

El mecanismo por el cual el eritritol y el xilitol afectan la acumulación total de placa no se conoce en detalle. No obstante, se sabe que para el xilitol un factor que contribuye puede ser la reducción en la cantidad de polisacáridos extracelulares insolubles y ácidos lipoteicoicos, y los cambios en la ultraestructura bacteriana observados en la placa o en los organismos de la placa expuestos al xilitol. Pruebas de cultivo sugieren que la presencia de eritritol en el medio ejerció una inhibición del crecimiento de *S. mutans* relativamente fuerte, especialmente después de 3 horas de cultivo (Mäkinen, *et al*, 2005).

Con raras excepciones, el xilitol no es fermentado por los microorganismos orales. El xilitol inhibe el crecimiento de *S. mutans* incluso selectivamente en cultivos mixtos en quimiostato e interfiere con la glicólisis cuando la glucosa es usada como fuente de energía aunque esto puede no ser un fenómeno estable *in vivo*. Su consumo parece tener un efecto mínimo sobre el pH de la placa. No obstante, el xilitol es absorbido y se acumula intracelularmente en *S. mutans*.

El xilitol compite por el transportador de la sacarosa en la pared celular y sus procesos metabólicos intracelulares. A diferencia del metabolismo de la sacarosa, el cual produce energía y promueve el crecimiento bacteriano, *S. mutans* consume energía para descomponer el xilitol acumulado sin producir energía de regreso. Además, los intermediarios para la producción de energía son consumidos y no se regeneran en el metabolismo del xilitol.

Uno de los efectos del xilitol es su habilidad para reducir y remover la población de *S. mutans* de la placa unida a las superficies dentales. Su consumo a corto plazo está asociado con una disminución en los niveles de *S. mutans* en saliva y placa; a largo plazo parece tener un efecto selectivo sobre cepas de *S. mutans*, lo cual resulta en poblaciones menos virulentas y menos capaces de adherirse a las superficies dentales, de manera que son removidas más fácilmente.

Se ha encontrado que este efecto depende de la frecuencia de masticación y el nivel inicial de *S. mutans* y pareció persistir después de que el uso habitual de xilitol había cesado (van Loveren, 2004).

La exposición frecuente al xilitol puede incrementar las proporciones de *S. mutans* resistentes al xilitol en la cavidad oral, estos mutantes resistentes carecen del sistema fructosa fosfotransferasa responsable de la captación del xilitol. Así, esta adaptación no implica un riesgo de formación de ácido a partir de xilitol sino simplemente minimiza los efectos antimicrobianos del xilitol. Las características cariogénicas de las cepas de *S. mutans* resistentes al xilitol no han mostrado ser diferentes de aquellas sensibles al xilitol (van Loveren, 2004).

Se ha observado que la proporción de *S. mutans* resistente al xilitol no incrementó en la placa dental pero sí lo hizo en la saliva. La explicación frecuente es que las cepas resistentes o adaptadas al xilitol se arrastran más fácilmente de la superficie dental que las cepas sensibles al xilitol, esta explicación se usa con frecuencia para explicar una formación de placa reducida y una reducida colonización de *S. mutans* posterior a la transmisión después de un periodo de uso frecuente de xilitol (van Loveren, 2004).

Diversos estudios sugieren que, aunque los polioles usados en combinación pueden reducir la caries, la cantidad de xilitol en dicha combinación determina el grado de reducción observado (Ly, Milgrom y Rothen, 2006).

La mayoría de los experimentos clínicos con gomas endulzadas con sorbitol indican que su consumo entre o después de las comidas tiene un efecto preventivo en comparación con los controles sin uso de gomas. La efectividad puede variar entre 0-30% para la dentición permanente.

Asimismo, se ha encontrado que el consumo de menos de 5g de xilitol/día no es más efectivo que el consumo de solamente sorbitol (Ly, Milgrom y Rothen, 2006). Al parecer hay un efecto tope para el xilitol donde la efectividad no se potencia para dosis mayores a 10g/día, asimismo se ha reportado que incrementar la frecuencia de uso de xilitol está asociado con una mayor reducción en la caries y sugiere que una frecuencia de menos de tres veces por día puede no ser efectiva (Ly, Milgrom y Rothen, 2006).

Estudios prospectivos en la Universidad de Washington confirmaron previas observaciones y estudios retrospectivos y proporcionaron evidencia de que (Ly, Milgrom y Rothen, 2006):

- El rango efectivo de dosis diaria de xilitol es 6-10g
- La frecuencia efectiva de consumo es 3-5 veces por día.
- La efectividad es mayor a frecuencias más altas de consumo así como con una mayor dosis de xilitol.

El uso de xilitol con fines anticariogénicos es particularmente atractivo pues su acción no depende de una reducción en la cantidad de otros azúcares en la dieta. Así, un especialista puede recomendar agregar xilitol a la dieta sin pedir a los pacientes hacer alteraciones adicionales a sus patrones dietéticos, aspecto muy conveniente para el cuidado oral infantil.

En la Universidad de Washington, investigadores han producido y aprobado paletas heladas (*popsicles*), ositos de goma, postres, almendrados (*macaroons*) y sorbetes que contienen xilitol; han mostrado que los niños aceptarán fácilmente tales alimentos cuando se los ofrezcan como parte de la dieta diaria y que no sufren efectos adversos por consumirlos (Ly, Milgrom y Rothen, 2006).

Los productores de alimentos están abiertos a desarrollar estas golosinas, pero se necesita un trabajo considerable para producir comercialmente productos viables que serán aceptados. En el futuro, estas golosinas con xilitol necesitan ser probadas con niños para establecer su efectividad como prevención del deterioro pues ciertos alimentos son mejores que otros depositando y liberando el xilitol en la cavidad oral (Ly, Milgrom y Rothen, 2006).

La pasta dental con fluoruro y xilitol puede ser recomendada como un sustituto para las pastas dentales regulares solo con fluoruro y otros productos con xilitol pueden ser recomendados simultáneamente con pastas fluoruradas, fluoruros típicos y selladores. El xilitol y el fluoruro pueden ser usados simultáneamente, pues ellos tienen mecanismos diferentes de acción y un efecto potencialmente sinérgico (Ly, Milgrom y Rothen, 2006).

Si se usa solo o en combinación con otras terapias antimicrobianas como la clorhexidina, el xilitol tiene un papel importante en la prevención del deterioro dental entre los niños nacidos de madres con altos niveles de *S. mutans*; esto no se debe sólo a los efectos sobre los niveles de *S. mutans* y las propiedades bacterianas durante el periodo de consumo, sino que también porque su efecto benéfico sobre la reducción del deterioro en estos niños parece persistir más allá del periodo de consumo (Ly, Milgrom y Rothen, 2006).

El número y tipo de alimentos que contienen xilitol han incrementado rápidamente. El reto para los especialistas es sugerir productos que han mostrado ser efectivos y entregar los 6-10g recomendados por día. Esto requiere una comprensión básica de los sustitutos de azúcar y un etiquetado claro de los productos. Gomas, mentas y otros productos etiquetados como “libres de azúcar” pueden contener 3 ó 4 edulcorantes incluyendo artificiales de alta intensidad con el total de alcoholes de azúcar listado por porcentaje o peso en gramos (Ly, Milgrom y Rothen, 2006).

Otra consideración en el consumo diario de xilitol para los pacientes es el costo de los productos y la constancia de uso.

Sin embargo, algunos estudios indican que la masticación de gomas de mascar libres de azúcar tres o más veces al día por periodos prolongados de tiempo puede reducir la incidencia de caries sin tener en cuenta el tipo de alcohol de azúcar agregado.

En consecuencia, dichos estudios sugieren que los efectos preventivos de la caries que han presentado las gomas y caramelos endulzados con polioles parecen estar basados en la estimulación del flujo salival, aunque no se puede excluir un efecto antimicrobiano. La importancia de la masticación explicaría también porqué las gomas con una textura más dura fueron más efectivas en la prevención de caries que las gomas de mascar más suaves (van Loveren, 2004).

13. ASPECTOS TOXICOLÓGICOS

Aunque una opinión general es que el consumo de productos alimenticios disponibles en el mercado no constituye un riesgo de enfermedades agudas o algún efecto adverso a la salud como consecuencia de su ingesta a largo plazo, algunos consumidores están interesados en la seguridad de ciertos aditivos alimentarios. Los edulcorantes están entre los aditivos alimentarios que han creado mayor debate y se toman en consideración por ser aditivos alimentarios de alto consumo potencial debido a su uso en productos ingeridos en grandes cantidades.

Siempre que hablamos de nuevos aditivos alimentarios que se comercializan para ser utilizados como un reemplazo de los ingredientes tradicionales, se asume la previa necesidad particular de investigar las propiedades metabólicas de dichas sustancias además de conducir estudios clínicos en el hombre que garanticen la inocuidad para ser utilizados de manera segura. Acerca de esto, cabe agregar que los estudios realizados en animales tienen el objetivo primordial de servir como aproximación experimental para la investigación posterior en el hombre, por lo que deben ser flexibles y específicamente ajustados a las propiedades fisiológicas del compuesto de prueba (Bär, 1985).

El objetivo de las pruebas toxicológicas es determinar si la sustancia, cuando se usa en la manera y cantidades propuestas, representaría algún riesgo apreciable a la salud del consumidor promedio y a aquellos cuyos patrones de consumo de alimentos o estado fisiológico o de salud puede hacerlos particularmente vulnerables como a los niños, mujeres embarazadas y diabéticos.

La evaluación de riesgos de los químicos para uso en alimentos es un proceso científico que sirve para ponderar la seguridad de los edulcorantes, en este caso preciso, antes de su aceptación como aditivos alimentarios. Como resultado de este ejercicio se obtiene un límite superior para la ingesta de las sustancias, por debajo del cual se espera que la ingesta no sea capaz de causar efectos dañinos a la salud.

La información bibliográfica y las investigaciones disponibles coinciden en reconocer que los polioles no son sustancias tóxicas; sin embargo, la mayoría de ellos producen en el ser humano efectos laxantes y fenómenos de flatulencia, con dolores abdominales provocados por una hipermolaridad a nivel del colon, pero a dosis muy elevadas, con grandes variaciones entre individuos. Los síntomas precedentes se pueden observar entre 10 y 90g (Madrilley, Jiménez y Raventós, 2000).

En la actualidad no hay revisiones periódicas disponibles de la seguridad de los aditivos alimentarios permitidos en la Unión Europea. Sin embargo, la evaluación de la seguridad de los edulcorantes (y otros aditivos alimentarios) está basada en el conocimiento y los datos disponibles en el momento de la evaluación.

Cuando se dispone de nuevos datos sobre toxicidad en la literatura científica, los expertos nacionales y los comités internacionales de expertos los consideran con precaución y pueden emprender una re-evaluación de su seguridad. Dependiendo del resultado, son posibles tres escenarios: el valor ADI puede ser mantenido, cambiado, o el uso de un edulcorante como aditivo alimenticio puede ser encontrado inaceptable (Mortensen, 2006).

El *Scientific Committee on Food (SCF)* publicó su primera opinión sobre edulcorantes en 1985. La primera re-evaluación de seguridad de algunos edulcorantes fue conducida en 1989. Desde entonces, la seguridad de algunos edulcorantes ha sido re-evaluada en varias ocasiones. Sobre los polioles la SCF ha declarado que aceptar el uso continuo de los polioles no debería ser interpretado como la aprobación de un uso ilimitado en todos los alimentos a cualquier nivel tecnológico, pues hay que tomar en cuenta el efecto laxante asociado a su consumo desmedido (Mortensen, 2006).

Expertos nórdicos discutieron aspectos de seguridad de los edulcorantes en 1989. En 1999 el *Nordic Working Group on Food Toxicology and Risk Assessment* decidió examinar si las evaluaciones de seguridad, que formaron las bases para las condiciones de uso, eran aún válidas y adecuadas a la luz de estándares para evaluaciones de seguridad en ese tiempo y si nuevos estudios toxicológicos significativos han sido publicados desde las evaluaciones previas.

Como resultado, se presentó un reporte con todos los aditivos alimentarios permitidos en la Unión Europea en abril del 2000 por el *Nordic Council of Ministers*. Este reporte contiene monografías de 12 edulcorantes (Mortensen, 2006).

Las ingestas de los edulcorantes y otros aditivos pueden variar durante el tiempo, debido al cambio en los patrones de uso de edulcorantes y consumo de alimentos, y por lo tanto la caracterización del riesgo necesita ser emprendida a intervalos regulares, aunque los datos básicos de seguridad no hayan cambiado.

Los edulcorantes de volumen permitidos en la Unión Europea no están incluidos en el sistema de monitoreo de la Unión Europea. Como no se han especificado límites superiores de su uso para propósitos de edulcorante y como están permitidos *quantum satis* para propósitos distintos al dulzor en todos los alimentos donde se puedan usar aditivos, excepto para bebidas distintas al licor, no es posible establecer una exposición estimada (Mortensen, 2006).

14. LEGISLACIÓN Y ASUNTOS REGULATORIOS

14.1. DEFINICIONES

La Ingesta Diaria Aceptable (ADI) se define como la cantidad estimada (usualmente expresada en miligramos por kilogramo de peso corporal por día) que una persona puede consumir con seguridad en promedio cada día durante su vida sin riesgo (Kroger, Meister y Kava, 2006).

El valor ADI es usualmente fijado a 1/100 del nivel máximo al cual no se observaron efectos adversos en los experimentos realizados en animales. Los niveles de uso de los ingredientes alimenticios son fijados como una manera de asegurar que las ingestas diarias reales no excedan el valor ADI. Una evaluación reciente a nivel mundial indica que las ingestas de edulcorantes de bajo contenido calórico están por debajo de los valores ADI para estas sustancias (Kroger, Meister y Kava, 2006).

Un valor ADI 'no especificado' se usa para referirse a una sustancia alimenticia de muy baja toxicidad, la cual, con base en los datos disponibles y la ingesta dietética total de la sustancia superando los niveles de uso necesarios para lograr el efecto deseado, además de sus antecedentes del nivel aceptable en alimentos, no representa un riesgo para la salud. Bajo estas circunstancias, JECFA no considera necesario establecer un ADI expresado en forma numérica (Kroger, Meister y Kava, 2006).

A los edulcorantes de alta intensidad se les ha asignado un ADI numérico, con una excepción, la taumatina. Los edulcorantes de volumen que son actualmente permitidos para su uso en alimentos en la Unión Europea se encontraron 'aceptables' por el SCF, lo cual indica que la exposición esperada a la sustancia, superándose los niveles de uso en alimentos al nivel necesario para lograr el efecto tecnológico deseado según se conoce en el momento de la evaluación, no representa un riesgo a la salud (Mortensen, 2006).

14.2. PANORAMA LEGAL NACIONAL E INTERNACIONAL

Existen notables inconsistencias en la regulación del uso de este tipo de edulcorantes, las clasificaciones y denominaciones suelen variar según el país. El Dr. John Howlett, un experto en asuntos regulatorios, demostró que, dentro de la Unión Europea, los polioles son anómalamente considerados como aditivos alimentarios, mientras que otros LDCs son considerados como ingredientes. La discrepancia surge al considerar que los aditivos alimentarios son rigurosamente evaluados mientras que los ingredientes ostentan un relajado escrutinio regulatorio.

En Estados Unidos, algunos polioles y edulcorantes similares se clasifican como ingredientes alimenticios GRAS, otros están regulados como aditivos alimenticios (Kroger, Meister y Kava, 2006).

Además dentro de la Unión Europea, los alimentos que contienen más de 10% de poliol agregado deben llevar la etiqueta precautoria de "el consumo excesivo puede tener un efecto laxante". En Estados Unidos la obligatoriedad de esta etiqueta es evaluada según sea el caso.

Los polioles autorizados en la Unión Europea son: sorbitol, jarabe de sorbitol, manitol, maltitol, jarabe de maltitol, xilitol, lactitol e isomaltitol (Madrilley, Jiménez y Raventós, 2000). (Tabla 14.1)

Tabla 14.1. Edulcorantes permitidos en la Unión Europea.

	Dulzor comparado con la sacarosa (sacarosa=1)	ADI* (mg/kg peso corporal)	Año de		
			Aprobación**	Última evaluación**	
Edulcorantes de alta intensidad	Acesulfame K	200	0-9	1984	2000
	Aspartame	180-200	0-40	1984	2002
	Ciclamato: ácido ciclámico y sus sales de Na y Ca	30	0-7	1984	2000
	Neohesperidina DC	1900	0-5	1988	1988
	Sacarina y sus sales de Na, K y Ca	300-500	0-5	1977	1995
	Sucralosa	600	0-15	2000	2000
	Taumatina	2000-3000	Aceptable	1984	1988
Edulcorantes de volumen	Eritritol	0.6-0.8	Aceptable***	2003	2003
	Isomalt®	0.5	Aceptable***	1984	1988
	Lactitol	0.5	Aceptable***	1984	1988
	Maltitol y jarabe de maltitol	1	Aceptable***	1984	1999
	Manitol	0.7	Aceptable***	1984	1999
	Sorbitol	0.5-1	Aceptable***	1984	1984
	Xilitol	1	Aceptable***	1984	1984

*Ingesta Diaria Aceptable establecida por el Comité Científico sobre Alimentos (SCF)

**Por el SCF

***Teniendo siempre en cuenta el efecto laxante

(Mortensen, 2006)

Como ocurre con muchos aditivos alimentarios, no existe una legislación universal sobre los aportes calóricos de los polioles en diferentes países. De esta manera, mientras que la Unión Europea y con propósitos de etiquetado, establece que el aporte energético de los polioles debe ser de 2.4kcal/g (comparándose con un valor de 4kcal/g para los azúcares y otros carbohidratos) en E.U. dichos valores se establecen para cada poliol, según se observa en la **Tabla 14.2**.

Tabla 14.2. Valor calórico de los polioles (kcal/g)

	Sacarosa	Sorbitol	Xilitol	Manitol	Maltitol	Isomalt	Lactitol
Unión Europea	4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4
Estados Unidos	4	2.6	2.4	1.6	3	2	2
Japón	4	3	3	2	2	2	2

(Zumbé, et al, 2001)

Los valores ADI usados en Estados Unidos se establecen por la FDA. Autoridades en otros países y corporaciones internacionales como el Comité Científico sobre Alimentos (SCF) de la Unión Europea y el

Joint Expert Committee on Food Additives (JECFA) de la OMS de las Naciones Unidas y la Organización de Alimentos y Agricultura (FAO) también fijan los valores ADI para los ingredientes alimenticios, que a veces difieren muy poco de los usados en Estados Unidos (Kroger, Meister y Kava, 2006).

Aunque existe cierta similitud en cuanto a las características que deben poseer los alimentos y bebidas para ser considerados como reducidos en calorías, hasta la fecha no existen parámetros que permitan generalizar al respecto, como se observa en las **tablas 14.3, 14.4 y 14.5** que evidencian que los criterios continúan siendo regionales.

Tabla 14.3. Requerimientos para considerar un alimento reducido en calorías

Clasificación	Unión Europea	Estados Unidos	Japón
Reducido en energía	No contemplado. Aplican disposiciones individuales por estado.		Reducción del 25% comparado con el producto original
	Dinamarca Finlandia Alemania Grecia España	Reducción del 30% comparado con el producto original	
	Francia Holanda	Reducción del 33% comparado con el producto original	
	Suecia Reino Unido	Reducción del 25% comparado con el producto original	
Light	No existe legislación.	Los productos deben tener una reducción de 33% de calorías y de 50% de grasa.	
Libre de calorías	-	-	<5kcal/100g sólido ó 100mL líquido
Sin calorías Reducido en calorías Bajo en calorías	-	-	<40kcal/100g sólido ó 20kcal líquido

(Zumbé, et al, 2001)

Tabla 14.4. Clasificación relacionada con el contenido de azúcar en los alimentos

Clasificación	Unión Europea	Estados Unidos	Japón
Sin azúcar añadida	Permitida en productos donde la adición de azúcar extrínseco no se considera un ingrediente. La adición de ingredientes naturales que contienen azúcares intrínsecos es permitida (ej. La leche contiene lactosa). No se ha contemplado. Aplican disposiciones individuales por estado. Azúcar residual de 0.5g por 10g de producto es generalmente aceptado.		
Reducido en azúcar	Dinamarca, Finlandia, Alemania y España requieren una reducción de 30% comparada con el producto de referencia.	El alimento debe contener al menos 25% menos azúcares que la referencia y la etiqueta establece el porcentaje de reducción y la identidad del alimento referencia.	<5% en sólidos ó <2.5% en líquidos
Sin azúcar	Francia y Holanda requieren 33% y Reino Unido y Suecia 25%. No se ha contemplado. Aplican disposiciones individuales por estado. 0.5g azúcares residuales por 10g de producto es generalmente aceptado.	El alimento debe contener menos de 0.5g de azúcares por ración y el azúcar no es un ingrediente. Se debe etiquetar como 'reducido en calorías' o 'bajo en calorías' y observar estos requerimientos debe tener una leyenda en la etiqueta 'no es un alimento reducido en calorías'.	0.5g/100g sólido ó 100mL de líquido

(Zumbé, et al, 2001)

Tabla 14.5. Denominaciones en la legislación mexicana para los alimentos modificados en su contenido calórico y de azúcares

Productos con menor contenido de calorías: aquellos productos a los que en su elaboración se les ha disminuido parcial o totalmente el contenido calórico.	Producto sin calorías: contenido de calorías menor a 5 calorías/porción.
	Producto bajo en calorías: contenido menor o igual a 40 calorías/porción. Cuando la porción sea menor o igual a 30 g, su contenido de calorías debe ser menor o igual a 40 calorías/50 g de producto.
	Producto reducido en calorías: contenido de calorías al menos un 25% menor en relación al contenido de calorías del alimento original o de su similar.
Productos con menor contenido de azúcar: aquellos a los que se les ha reducido parcial o totalmente el azúcar.	Producto sin azúcar: contenido de azúcar menor a 0.5 g/porción.
	Producto reducido en azúcar: contenido de azúcar reducido por lo menos en un 25% del contenido del alimento original o de su similar.

(NOM-086-SSA1-1994)

El *Scientific Committee on Food* (SCF) de la Unión Europea declaró para todos los polioles un valor ADI no especificado, además de que un consumo de aproximadamente 20g/día/persona era improbable que causara efectos laxantes indeseables. Esta declaración aplica para: isomaltitol, lactitol, maltitol, manitol, sorbitol y xilitol (Madrilley, Jiménez y Raventós, 2000).

Actualmente el eritritol dispone del estatuto GRAS de la FDA y obtuvo la aprobación de la WHO/JECFA (*Joint Expert Committe for Food Additives*) por la cual se establece una ADI no especificada (Madrilley, Jiménez y Raventós, 2000).

El eritritol aún no ha sido aprobado por la Unión Europea. La empresa Cerestar® ha trabajado con la necesaria regulación de los organismos de Estados Unidos y Europa para completar el archivo de alimentos aprobados (Madrilley, Jiménez y Raventós, 2000).

El uso de edulcorantes en la Unión Europea está regulado por un sistema directivo y una directiva específica. Los anexos a las directivas específicas proporcionan la información sobre la cual los edulcorantes están permitidos en diferentes alimentos o grupos de alimentos, junto con las dosis máximas permitidas (Mortensen, 2006).

Todos los edulcorantes permitidos para su uso en alimentos en la Unión Europea se han examinado ampliamente respecto a los potenciales efectos toxicológicos de acuerdo a los principios de evaluación toxicológica de los aditivos alimentarios, antes de aceptar la seguridad de su uso.

La seguridad de su consumo ha sido evaluada por las autoridades nacionales, por el *EU's Scientific Committee on Food* (SCF) y por el *Joint Food and Agriculture Organization (FAO)/World Health Organization (WHO) Expert Committee on Food Additives* (JECFA) (Mortensen, 2006).

La SCF fue la organización científica que garantizaba la seguridad de los aditivos alimentarios en uso dentro de la Unión Europea desde 1974 hasta marzo del 2003. Desde abril de 2003 ésta ha sido la responsabilidad de la *European Food Safety Authority* (EFSA) (<http://efsa.europa.eu/>). Dentro de la EFSA, el *Scientific Panel on Food Additives, Flavourings, Processing Aids and Materials in Contact with Food* (AFC Panel) está a cargo de los edulcorantes.

Se requiere una amplia base de datos para conducir una evaluación de seguridad con propósitos regulatorios de cualquier sustancia como aditivo alimentario, la cual debería incluir según Mortensen (2006):

- ✓ Resultados de estudios sobre absorción, distribución y metabolismo en experimentos con animales y con humanos.
- ✓ Pruebas toxicológicas *in vitro* e *in vivo*.
- ✓ Datos administrativos.
- ✓ Datos técnicos en relación a identidad, pureza, estabilidad y potenciales productos de descomposición.
- ✓ Proceso de manufactura.
- ✓ Necesidades tecnológicas.
- ✓ Valor para los consumidores.
- ✓ Aplicaciones propuestas.
- ✓ Niveles de uso en diferentes categorías alimentarias.
- ✓ Exposición estimada como resultado del uso propuesto.

En España, los polioles como edulcorantes están legislados por el Real Decreto 2106/1996 del 20 de septiembre que establece las Normas de identidad y pureza de edulcorantes autorizados en productos alimenticios y fue dictado sobre las bases de la Normativa de la Unión Europea que regula esta materia constituida por la Directiva 95/31/CE de la Comisión, de 5 de julio. Dicho Real Decreto ha sufrido modificaciones en su anexo I según la Orden de 5 de abril de 2001, como consecuencia de la evolución de la Normativa Comunitaria en la materia y de la necesidad de incrementar los niveles de protección de la salud de los consumidores.

Asimismo, el Real Decreto 2197/2004, de 25 de noviembre, por el que se modifica el Real Decreto 2002/1995, de 7 de diciembre, transposición de la Directiva Europea 94/35/CE de 30 de junio, establece la lista positiva de aditivos edulcorantes autorizados para su uso en la elaboración de productos alimenticios, así como sus condiciones de utilización, asignando la dosis máxima de empleo como no especificada *quantum satis* de los polioles autorizados en la Unión Europea. Igualmente, indica que el etiquetado de los productos alimenticios edulcorados con polioles debe incluir la advertencia “el consumo excesivo puede producir efectos laxantes”.

Además, según esta normativa, no se podrá utilizar sorbitol, jarabe de sorbitol, manitol y jarabe de manitol en productos alimenticios destinados a ser ingeridos en forma líquida, además, quedan prohibidos todos los polioles en los alimentos para lactantes y niños de corta edad (Madrilley, Jiménez y Raventós, 2000).

Asimismo, los polioles utilizados con fines distintos a la edulcoración están legislados por el Real Decreto 142/2002 de 1 de febrero, por el cual se aprueba la lista positiva de aditivos distintos de los edulcorantes y colorantes para su uso en la elaboración de productos alimenticios, así como sus condiciones de utilización. Autoriza al isomaltitol, lactitol, maltitol, jarabe de maltitol, manitol, sorbitol y jarabe de sorbitol para fines distintos de la edulcoración. También permite el isomaltitol, maltitol, lactitol y xilitol como soportes y disolventes soportes. En ambos casos la dosis máxima de empleo es *quantum satis*.

15. CONCLUSIONES

- Los polioles y los edulcorantes de alta intensidad (HIS) son los edulcorantes principales que se emplean para sustituir a los azúcares tradicionales en los productos de bajo aporte calórico; los polioles son utilizados en productos en los que además de la disminución en el aporte calórico, se busca que el edulcorante contribuya con propiedades funcionales y de textura que los HIS no poseen.
- El consumo de polioles ha mostrado efectos promotores a la salud, lo cual hace que estas sustancias puedan explotarse como ingredientes esenciales en el desarrollo de alimentos bajos en calorías con propiedades funcionales adicionales, especialmente para niños, pacientes diabéticos y personas que vigilan su peso.
- La tagatosa y la trehalosa son sustancias que, aunque no son polioles, tienen funciones y beneficios similares en el metabolismo humano. Asimismo, presentan el inconveniente de provocar efectos laxantes en dosis altas de consumo.
- El consumo de hidratos de carbono parcialmente digeribles (LDCs), entre ellos los polioles, no representa riesgos para los consumidores, pero éstos necesitan ser informados de su presencia en los productos alimenticios de manera que puedan limitar su uso adecuadamente para evitar malestares gastrointestinales.
- Los métodos de obtención de los polioles se encuentran en mejora constante pues la producción comercial actual (hidrogenación y reducción) presenta algunas desventajas tecnológicas y económicas.
- Como vías alternativas de producción de polioles se han desarrollado estrategias innovadoras que utilizan procesos enzimáticos y microbiológicos, además de la extracción a partir de fuentes naturales, todos ellos se siguen estudiando con la finalidad de minimizar las respectivas desventajas.
- Los métodos enzimáticos presentan el inconveniente técnico de la retención/inactivación enzimática.
- Aunque muchos organismos producen naturalmente polioles, las estrategias de modificación genética han permitido mejorar su producción. De la misma forma, los avances en materia de biotecnología han permitido que las sustancias sintetizadas a partir de los subproductos derivados de la agricultura continúen ganando importancia, como es el caso de los polioles.
- La producción microbiana de estos compuestos se está convirtiendo en una alternativa atractiva debido a los problemas inherentes de los procesos químicos convencionalmente empleados. Diversas investigaciones han mostrado que las

bacterias ácido lácticas (LAB) son candidatos ideales para la producción de estos edulcorantes bajos en calorías y para la ingeniería metabólica.

- Considerando los beneficios a la salud y las aplicaciones industriales, el desarrollo de nuevos productos lácteos utilizando LAB naturalmente enriquecidos en estos edulcorantes durante los procesos de fermentación ofrece interesantes perspectivas.
- Se han empleado diversas aproximaciones para redirigir el metabolismo microbiano del carbono hacia los productos de interés, resultando en altos niveles de producción y, en algunos casos, la remoción de metabolitos indeseables. El potencial de algunas de estas cepas construidas se aprovechará dentro de los nuevos productos fermentados con mayor valor nutricional.
- Los polioles que están presentes en fuentes naturales, lo están en cantidades mínimas, por lo que su extracción con disolventes líquidos tiene el obstáculo de requerir grandes cantidades de dichas fuentes, sin mencionar la naturaleza tóxica de los disolventes usados. Por otro lado, la extracción con fluidos supercríticos sería una técnica viable de no ser por el inconveniente técnico y económico de requerir altas presiones.
- La extracción de polioles con agua subcrítica es cada vez más prometedora, pues las condiciones de procesamiento no necesitan altas presiones para obtener recuperaciones óptimas. La única dificultad radica en la relativamente alta temperatura de operación del agua (100°C) necesaria para la extracción.
- Las propiedades sensoriales, físicas y químicas, los aspectos económicos y tecnológicos, además de los efectos sobre la salud del consumidor, son factores que se deben tomar en cuenta para elegir el edulcorante indicado cuando se formulan nuevos productos alimentarios.
- Actualmente, las tendencias en el mercado alimentario han provocado que los consumidores estén más conscientes acerca de cuestiones de seguridad, demandando más información sobre los compuestos agregados a los alimentos. Esto ha originado que el proceso de evaluación de riesgos, tanto en la Unión Europea como en Estados Unidos, sea desafiado por exigencias para una mayor transparencia.
- El sitio web de EFSA (<http://efsa.europa.eu>) es una muestra de los alcances de la transparencia en la evaluación del riesgo de los químicos en los alimentos europeos.
- Todos los edulcorantes permitidos para su uso en alimentos en la Unión Europea han estado sujetos a una evaluación detallada de seguridad antes de su aceptación. Su seguridad ha sido documentada por los resultados de muchos estudios en animales *in vitro* e *in vivo*, pruebas en humanos y, en algunos casos, estudios epidemiológicos. Por

lo tanto, el consumo de edulcorantes en las cantidades dentro del ADI no constituye un riesgo a la salud de los consumidores.

- A pesar de los esfuerzos por establecer regulaciones que garanticen la seguridad de los consumidores, aún existen notables inconsistencias en las reglamentaciones según el país, que abarcan desde las denominaciones de estas sustancias (ingredientes ó aditivos), hasta los valores calóricos reportados y los límites de tolerancia aceptados.
- Con base en los usos, las ventajas, las propiedades y las más recientes alternativas de producción de los polioles, se espera que su demanda y aplicaciones continúen creciendo, pues la tendencia actual es que el consumidor se procure alimentos basado en la preocupación por su salud y nutrición, la seguridad alimentaria, el deseo por la comodidad y los factores económicos.

16. BIBLIOGRAFÍA

1. AKINTERINWA, O.; KHANKAL, R.; CIRINO, P. C. "Metabolic engineering for bioproduction of sugar alcohols". *Current Opinion of Biotechnology*. (2008), núm. 19: 461-467.
2. BÄR, A. "Safety Assessment of Polyol Sweeteners-Some Aspects of Toxicity". *Food Chemistry*. (1985), núm. 16: 231-241.
3. BILLAUX, M. S. [et al.] "Sugar Alcohols". En: MARIE, S.; PIGGOTT, J. R. eds. *Handbook of Sweeteners*. Gran Bretaña: Blackie, 1991. pp. 72-103.
4. BIZZARRI, S.; JANSHEKAR, H.; KISHI, A. *Sorbitol*. [En línea]. Estados Unidos: SRI Consulting, 2008. <<http://www.sriconsulting.com/CEH/Public/Reports/693.1000/#xml=http://10.2.0.53/cgi-bin/taxis/webinator/search/pdfhi.txt?query=polyols+in+foods&pr=super&prox=page&rorder=500&rprox=500&rdfreq=500&rwfreq=500&rlead=500&sufs=0&order=r&id=4b1a91eb1e>> [Consulta: 10 diciembre 2009].
5. EDWARDS, W. P. *La ciencia de las golosinas*. Zaragoza, España: Acribia, 2002. pp. 145 – 158.
6. FINNEY, M. [et al.] "Effects of low doses of lactitol on faecal microflora, pH, short chain fatty acids and gastrointestinal symptomology". *European Journal of Nutrition*. Vol. 46 (2007), núm. 6: 307-314.
7. GHOREISHI, S. M.; SHAHRESTANI, R. G. "Innovative strategies for engineering mannitol production". *Trends in Food Science & Technology*. (2009), núm. 20: 263-270.
8. GRABITZKE, H. A.; SLAVIN, J. L. "Low-Digestible Carbohydrates in practice". *Journal of the American dietetic association*. Vol. 108. (2008), núm. 10: 1677-1681.
9. HALLIDAY, J. *Global food use of bulk and high intensity sweeteners*. [En línea]. Estados Unidos: Decision News Media, 2009. <<http://www.foodnavigator.com/Financial-Industry/Global-food-use-of-bulk-and-high-intensity-sweeteners>> [Consulta: 6 noviembre 2009].
10. INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON LOW-DIGESTIBLE CARBOHYDRATES. *Foreword: University of Salford, Greater Manchester, UK, 24-25 June 1999*. Greater Manchester: British Journal of Nutrition (2001), 85, Suppl. 1, S1-S3.
11. KROGER, M.; MEISTER, K.; KAVA, R. "Low-calorie Sweeteners and Other Sugar Substitutes: A Review of the Safety Issues". *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. Vol. 5 (2006): 35-47.
12. LEGGIO, CONTENIDOS Y APLICACIONES INFORMÁTICAS, S. L. *Base de Datos de Legislación* [En línea]. Zaragoza: Leggio, Contenidos y Aplicaciones Informáticas. <<http://noticias.juridicas.com/>> [Consulta: 26 enero 2010].

13. LÓPEZ DEL VAL, T. [et al.] "Consumo de alimentos del grupo 'dulces y golosinas' en la población infantil escolarizada de la Comunidad Autónoma de Madrid". *Medicina clínica*. Vol. 109 (1997), núm. 3: 88-91.
14. LY, K. A.; MILGROM, P.; ROTHEN, M. "Xylitol, Sweeteners and Dental Caries". [En línea]. *Pediatric Dentistry*. Vol. 28 (2006), núm. 2: 154-163.
15. MADRILLEY, C.; JIMÉNEZ, T.; RAVENTÓS, M. "Sustitutos de la sacarosa (1)". *Alimentación, equipos y tecnología*. Ene/Feb (2000): 91-97.
16. MÄKINEN, K. K. [et al.] "Similarity of the Effects of Erythritol and Xylitol on Some Risk Factors of Dental Caries". *Caries Research*. (2005), núm 39: 207-215.
17. MINTEL. *Global New Products Database* [En línea]. Long Lane (Londres): Mintel International Group Ltd. <<http://www.gnpd.com/>> [Consulta: Diciembre, 2009].
18. MORTENSEN, A. "Sweeteners permitted in the European Union: safety aspects". [En línea]. *Scandinavian Journal of Food and Nutrition*. Vol. 50 (2006), núm. 3: 104-16.
19. NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-086-SSA1-1994, bienes y servicios. Alimentos y bebidas no alcohólicas con modificaciones en su composición. Especificaciones nutrimentales.
20. O' BRIEN-NABORS, L.; GELARDI, R. C. eds. *Alternative sweeteners*. Segunda edición. Estados Unidos: Marcel Dekker, Inc, 1991. pp. 1-9, 259-278.
21. PATRA, F.; TOMAR, S. K.; ARORA, S. "Technological and Functional Applications of Low-Calorie Sweeteners from Lactic Acid Bacteria". *Journal of Food Science*. Vol. 74 (2009), núm. 1: R16-R23.
22. SAKAKIBARA, Y.; SAHA, B. C.; TAYLOR, P. "Microbial production of xilitol from L-arabinose by metabolically engineered *Escherichia coli*". *Journal of Bioscience and Bioengineering*. Vol 107 (2009), núm. 5: 506-511.
23. SECRETARÍA DE ECONOMÍA. *Base de datos de importaciones*. [En línea]. México: Secretaría de Economía. <http://www.economia.gob.mx/> [Consulta: Diciembre, 2009].
24. SOMOGYI, L. [et al.] *Food additives*. [En línea]. Estados Unidos: SRI Consulting, 2008. <<http://www.sriconsulting.com/SCUP/Public/Reports/FOODA000/#xml=http://10.2.0.53/cgi-bin/txis/webinator/search/pdfhi.txt?query=polyols+in+foods&pr=super&prox=page&rorder=500&rprox=500&rdfreq=500&rwfreq=500&rlead=500&sufs=0&order=r&id=4b1a96db7>> [Consulta: 10 diciembre 2009].
25. U. S. PATENT APPLICATION PUBLICATION. *Organoleptically improved, in particular, storage stable hard candy*. Arenz, M.; Bernard, J. **Publication number**: US 2007/0202243 A1. 30 agosto, 2007.
26. U. S. PATENT APPLICATION PUBLICATION. *Functional sugar replacement*. De Baets, S. **Publication number**: US 2007/0082104 A1. 12 abril, 2007.

27. U. S. PATENT APPLICATION PUBLICATION. *High-Intensity sweetener-polyol compositions*. Srivastava, S. **Publication number:** US 2005/0196503 A1. 8 septiembre, 2005.
28. VAN LOVEREN, C. "Sugar Alcohols: What is the Evidence for Caries-Preventive and Caries-Therapeutic Effects". *Caries Research*. (2004), núm. 38: 286-293.
29. VINAI, P. [et al.] "Food is never enough: Nature and nurture's influence on children's food dose evaluation". *Eating disorders*. (2008), 16:128–135. ISSN: 1064-0266 print/1532-530X online.
30. ZUMBÉ, A.; LEE, A.; STOREY, D. "Polyols in confectionery: the route to sugar free, reduced sugar and reduced calorie confectionery". *British Journal of Nutrition*. Vol. 85 (2001), Suppl. 1:S31-S45.

ANEXOS

ANEXO I. PRINCIPALES COMPAÑÍAS IMPORTADORAS DE POLIOLES EN MÉXICO Y SU VOLUMEN DE IMPORTACIÓN DURANTE 2009

A. ERITRITOL

PROVEEDOR	COMPAÑÍA	TON	(Miles \$USD)	\$USD/Ton
CARGILL	CADBURY ADAMS MÉXICO S. DE R.L. DE C.V.	10	55	5,763
JUNGBUNZLAUER S. A.	SINTETIC MEXICANA, S.A. DE C.V.	8	44	5,510
CARGILL	OMNILIFE MANUFACTURA, S.A. DE C.V.	2	10	5,141
CARGILL	PROSAZON, S.A. DE C.V.	1	6	6,246
CARGILL	CARGILL DE MÉXICO S.A. DE C.V.	0	0	285
JUNGBUNZLAUER S. A.	SAFE IBEROAMERICANA, S.A. DE C.V.	0	0	1,428,571
TOTAL		21	116	5,622

(Secretaría de Economía, 2009)

B. MALTITOL

PROVEEDOR	COMPAÑÍA	TON	(Miles \$USD)	\$USD/Ton
ROQUETTE	CADBURY ADAMS MÉXICO S. DE R.L. DE C.V.	6,024	15,977	2,652
BENEOPALATINIT, GMBH	PALSGAARD INDUSTRI DE MÉXICO S. DE R.L. DE C.V.	233	601	2,586
CHEMO S.A. LUGANO BRANCH	LABORATORIOS SENOSIAIN, S.A. DE C.V.	113	602	5,319
DANISCO USA, INC.	DANISCO MEXICANA, S.A. DE C.V.	32	89	2,779
AUROBINDO PHARMA LIMITED	GLOBE CHEMICALS S.A. DE C.V.	28	75	2,706
FRIESLAND FOODS DOMO USA INC.	MEAD JOHNSON NUTRICIONALES DE MÉXICO, S. DE R.L.	24	68	2,812
INALCO S.P.A.	LABORATORIOS GROSSMAN S.A.	22	96	4,299
FRIESLAND FOODS DOMO USA INC.	BRISTOL MYERS SQUIBB DE MÉXICO S. DE R.L. DE C.V.	20	50	2,457
BENEOPALATINIT INC	OMNILIFE MANUFACTURA, S.A. DE C.V.	19	46	2,455
GTC NUTRITION	CPINGREDIENTES, S.A. DE C.V.	18	62	3,465
TOTAL		6,532	17,665	2,704

(Secretaría de Economía, 2009)

C. SORBITOL LÍQUIDO

PROVEEDOR	COMPAÑÍA	TON	(Miles \$USD)	\$USD/Ton
ROQUETTE	MISSION HILLS S.A. DE C.V.	16,108	10,674	663
ADM	ADM BIO PRODUCTOS, S.A. DE C.V.	7,359	4,256	578
CORN PRODUCTS INTERNATIONAL INC.	CPINGREDIENTES, S.A. DE C.V.	2,040	1,119	549
PT SORINI AGRO ASIA CORPORINDO TBK	OXITENO MÉXICO, S.A. DE C.V.	643	270	420
K.D. FEDDERSEN & CO. UEBERSEEGERSELL SCHAFT MBH	CENTRAL DE DROGAS, S.A. DE C.V.	119	71	598
PT SORINI AGRO ASIA CORPORINDO TBK	DISAN MÉXICO S.A. DE C.V.	108	53	487
ROQUETTE	POCHTECA MATERIAS PRIMAS S.A. DE C.V.	84	64	764

PROVEEDOR	COMPAÑÍA	TON	(Miles \$USD)	\$USD/Ton
CHEMSWISS AG	AURUMDEI SA DE CV	80	55	682
QINGDAO CENTURY LONGLIVE INT L	HELM DE MÉXICO, S.A.	62	34	542
TOTAL		36,603	16,596	624

(Secretaría de Economía, 2009)

D. SORBITOL CRISTALINO

PROVEEDOR	COMPAÑÍA	TON	(Miles \$USD)	\$USD/Ton
ROQUETTE	CADBURY ADAMS MÉXICO S.DE R.L. DE C.V.	1,896	2,563	1,352
CARGILL	NOVAOCEANO, S.A. DE C.V.	54	108	2,000
CARGILL	MAKYMAT, S.A. DE C.V.	50	139	2,772
MERCK KGAA	VWR INTERNATIONAL S. DE R.L. DE C.V.	34	129	3,802
RMC UEBERSEEHANDEL GMBH	POLAQUIMIA, S.A. DE C.V.	20	20	1,024
ROQUETTE	CHEMCEL S.A. DE C.V.	14	29	2,005
ADM	ADM BIO PRODUCTOS, S.A. DE C.V.	10	71	6,923
ROQUETTE	WRIGLEY MÉXICO S. DE R.L. DE C.V.	7	8	1,277
QINGDAO CENTURY LONGLIVE INT L TRADE CO., LTD	HELM DE MÉXICO, S.A.	4	20	5,087
ROQUETTE	PRODUCTOS INDUSTRIALIZADOS DE SALTILLO S. DE R.L.	4	7	1,772
TOTAL		2,093	3,095	1,479

(Secretaría de Economía, 2009)

E. MANITOL

PROVEEDOR	COMPAÑÍA	TON	(Miles \$USD)	\$USD/Ton
CORN PRODUCTS BRASIL INGREDIENTES INDUSTRIAIS LTDA	CPINGREDIENTES, S.A. DE C.V.	1,107	2,676	2,419
SPI PHARMA	PROCTER & GAMBLE INTERNATIONAL OPERATIONS, S.A.	123	525	4,271
ROQUETTE	ROQUETTE MÉXICO, S.A. DE C.V.	20	149	7,388
PREMIUM INGREDIENTS INTERNATIONAL	GIVAUDAN DE MÉXICO, S.A. DE C.V.	17	77	4,526
SPI PHARMA, INC.	GLAXOSMITHKLINE MÉXICO, S.A. DE C.V.	17	150	9,028
HEBEI FULONG IMPORT & EXPORT CO. LTD.	LABORATORIOS PISA, S.A. DE C.V.	14	59	4,306
SUNWELL CHEMICALS CO., LTD.	DROMEX, S.A.	12	31	2,551
ROQUETTE	CADBURY ADAMS MÉXICO S. DE R.L. DE C.V.	12	56	4,687
QINGDAO FTZ UNITED INTERNATIONAL, INC.	HELM DE MÉXICO, S.A.	11	24	2,174
ROQUETTE	BAYER DE MÉXICO, S.A. DE C.V.	7	55	8,277
TOTAL		1,338	3,801	2,840

(Secretaría de Economía, 2009)

F. XILITOL

PROVEEDOR	COMPAÑÍA	TON	(Miles \$USD)	\$USD/Ton
DANISCO USA, INC.	DANISCO MEXICANA, S.A. DE C.V.	242	797	3,290
PECK INTERNATIONAL	PIM MÉXICO, S.A. DE C.V.	17	74	4,337
ANHUI JINHE INDUSTRIAL CO. LTD.	WEGOCHEM MEXICANA S. DE R.L. DE C.V.	6	14	2,412
PREMIUM INGREDIENTS INTERNATIONAL	BRENNTAG MÉXICO, S.A. DE C.V.	3	11	3,530
ROQUETTE	CHEMCEL S.A. DE C.V.	2	9	5,325
ROQUETTE	ROQUETTE MÉXICO, S.A. DE C.V.	0	11	53,170
SIGMA ALDRICH CO	SIGMA ALDRICH QUÍMICA S.A. DE C.V.	0	0	180,778
GLAXOSMITHKLINE	GLAXOSMITHKLINE MÉXICO, S.A. DE C.V.	0	0	896,296
TOTAL		270	915	3,390

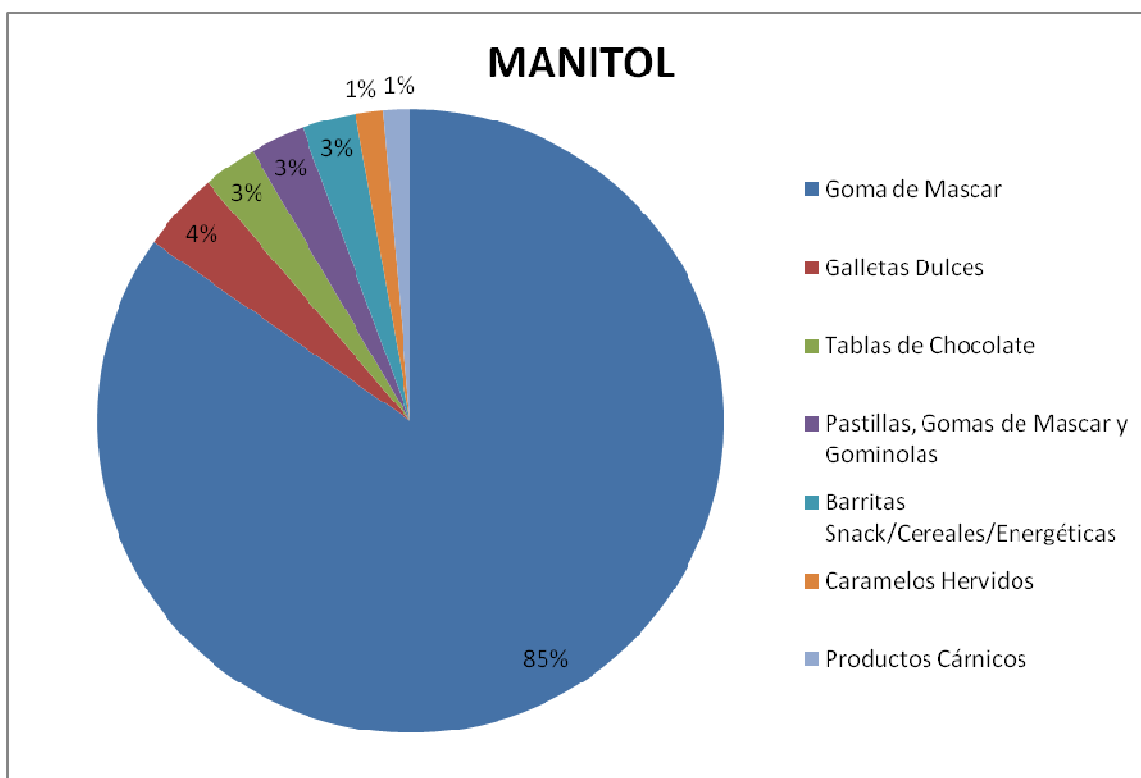
(Secretaría de Economía, 2009)

ANEXO II. LANZAMIENTOS EN MÉXICO DE PRODUCTOS POR SEGMENTO DE ALIMENTOS QUE CONTIENEN LOS PRINCIPALES POLIOLES (ENERO 2006-DICIEMBRE 2009)

A. MANITOL

Categoría	Porcentaje
Goma de Mascar	84.7
Galletas Dulces	4.1
Tablas de Chocolate	2.8
Pastillas, Gomas de Mascar y Gominolas	2.8
Barritas Snack/Cereales/Energéticas	2.8
Caramelos Hervidos	1.4
Productos Cárnicos	1.4
TOTAL	100

(MINTEL, 2009)

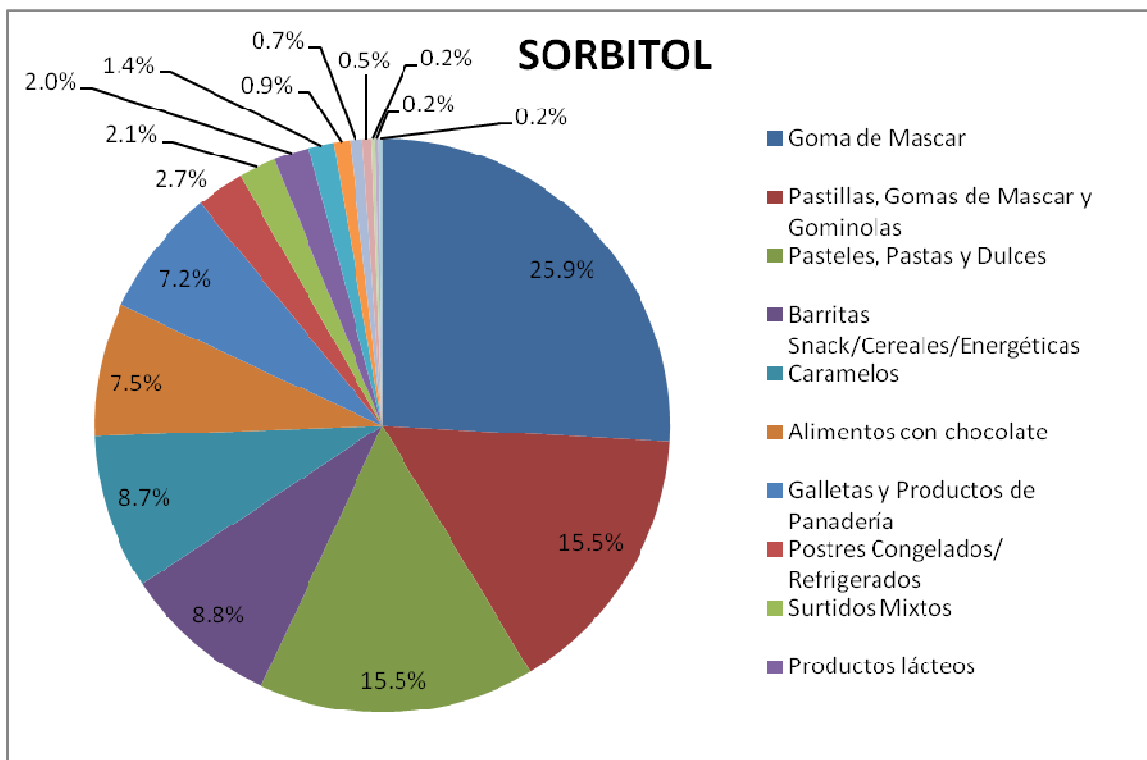


(MINTEL, 2009)

B. SORBITOL

Categoría	Porcentaje
Goma de Mascar	25.9
Pastillas, Gomas de Mascar y Gominolas	15.5
Pasteles, Pastas y Dulces	15.5
Barritas Snack/Cereales/Energéticas	8.6
Galletas Dulces	5.8
Caramelos de Menta	4.2
Piezas de Chocolate No Envueltas Individualmente	2.3
Piezas de Chocolate Envueltas Individualmente	2.1
Barritas Snack de Chocolate	1.9
Caramelos Hervidos	1.9
Productos Lácteos Congelados	1.6
Postres Refrigerados	1.6
Caramelos y Turrón	1.2
Pan y Productos de Panadería	1.2
Ensaladas	0.9
Bastones, Líquidos y Sprays	0.9
Cobertura para Postres	0.9
Caramelo y Untables de Crema	0.7
Tablas de Chocolate	0.7
Chupa-Chups	0.7
Cereales Fríos	0.7
Otros Productos de Repostería de Chocolate	0.5
Pizzas	0.5
Surtidos Mixtos	0.5
Malvaviscos	0.5
Pasta, Fideos y Arroz Instantáneo	0.5
Productos de Pescado	0.5
Untables de Frutos Secos	0.2
Otros Postres Congelados	0.2
Comidas en Pasta de Hojaldre y Otras Pastas	0.2
Regaliz	0.2
Leche Condensada	0.2
Yogures para Beber y Leche Fermentada	0.2
Sopa Deshidratada	0.2
Snacks de Fruta	0.2
Edulcorantes y Azúcar	0.2
Entremeses/Canapés	0.2
Condimentos	0.2
TOTAL	100

(MINTEL, 2009)

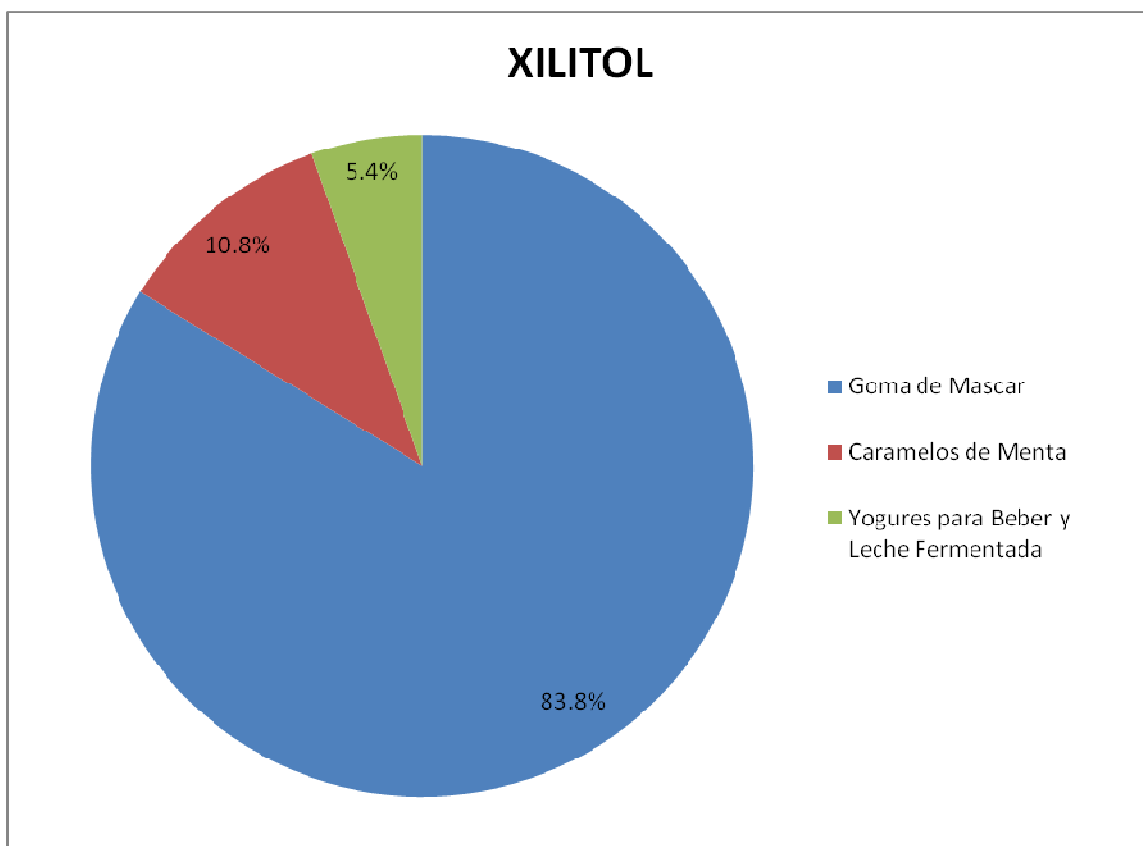


(MINTEL, 2009)

C. XILITOL

Categoría	Porcentaje
Goma de Mascar	83.8
Caramelos de Menta	10.8
Yogures para Beber y Leche Fermentada	5.4
TOTAL	100

(MINTEL, 2009)

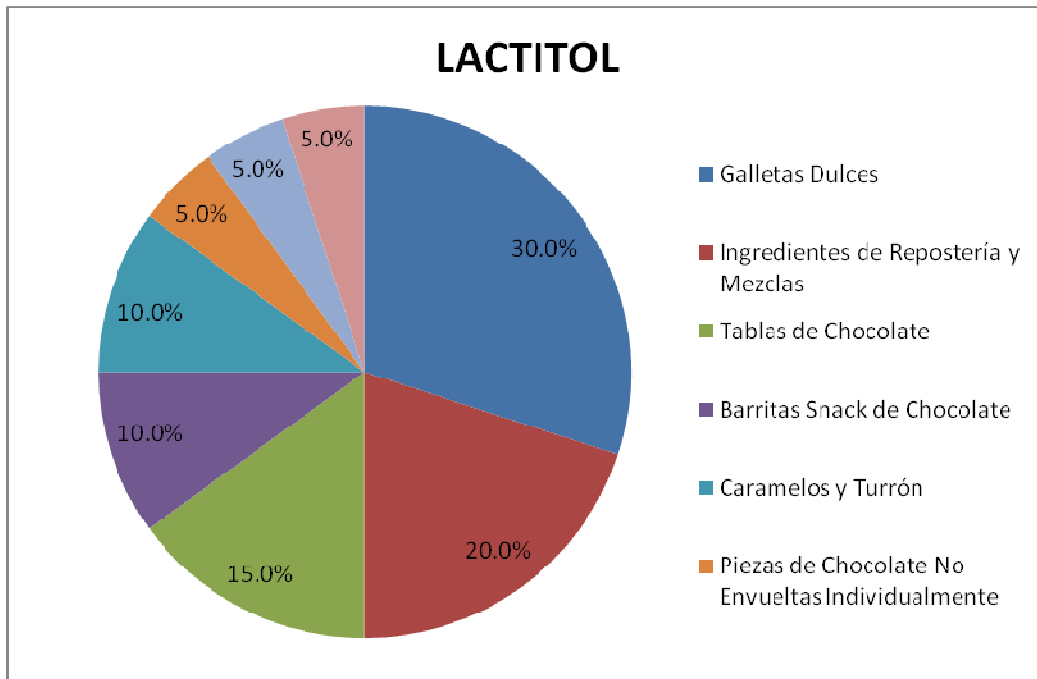


(MINTEL, 2009)

D. LACTITOL

Categoría	Porcentaje
Galletas Dulces	30
Ingredientes de Repostería y Mezclas	20
Tablas de Chocolate	15
Barritas Snack de Chocolate	10
Caramelos y Turrón	10
Piezas de Chocolate No Envueltas Individualmente	5
Postres de Almacenamiento a Temperatura Ambiente	5
Barritas Snack/Cereales/Energéticas	5
TOTAL	100

(MINTEL, 2009)

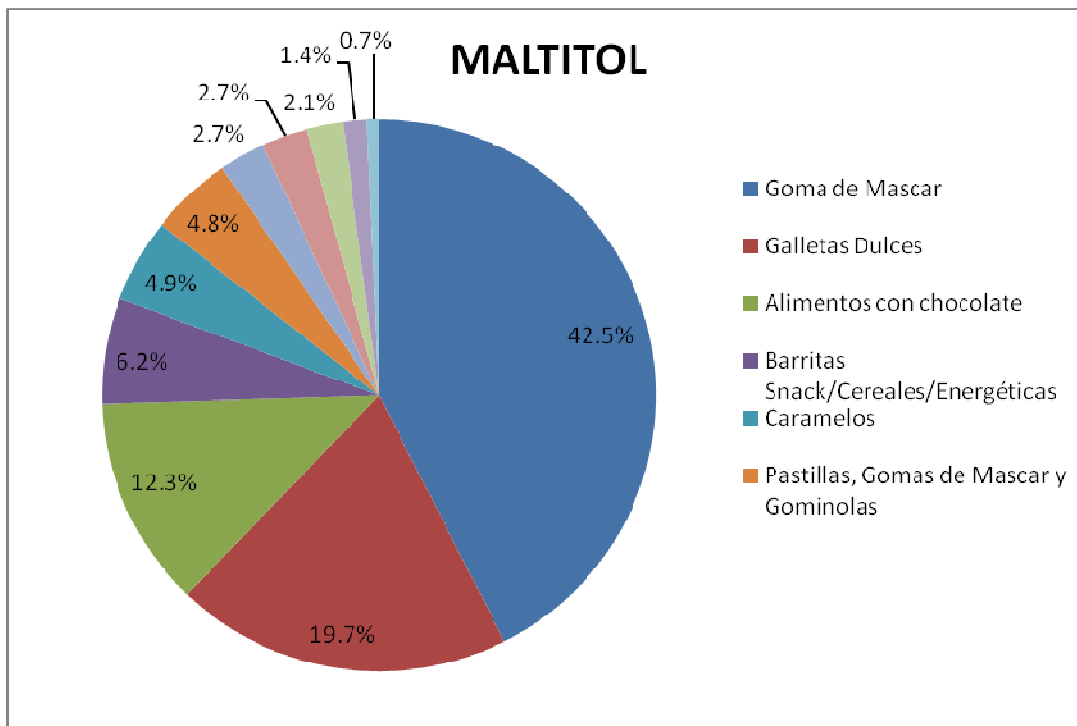


(MINTEL, 2009)

E. MALTITOL

Categoría	Porcentaje
Goma de Mascar	42.5
Galletas Dulces	19.7
Barritas Snack/Cereales/Energéticas	6.2
Pastillas, Gomas de Mascar y Gominolas	4.8
Barritas Snack de Chocolate	4.1
Tablas de Chocolate	4.1
Piezas de Chocolate Envueltas Individualmente	3.4
Untables de Frutos Secos	2.7
Pasteles, Pastas y Dulces	2.7
Productos Lácteos Congelados	1.4
Caramelos y Turrón	1.4
Caramelos Hervidos	1.4
Ingredientes de Repostería y Mezclas	1.4
Caramelo y Untables de Crema	0.7
Piezas de Chocolate No Envueltas Individualmente	0.7
Caramelos de Menta	0.7
Otros Dulces de Azúcar	0.7
Chupa-Chups	0.7
Salsas de Mesa	0.7
TOTAL	100

(MINTEL, 2009)

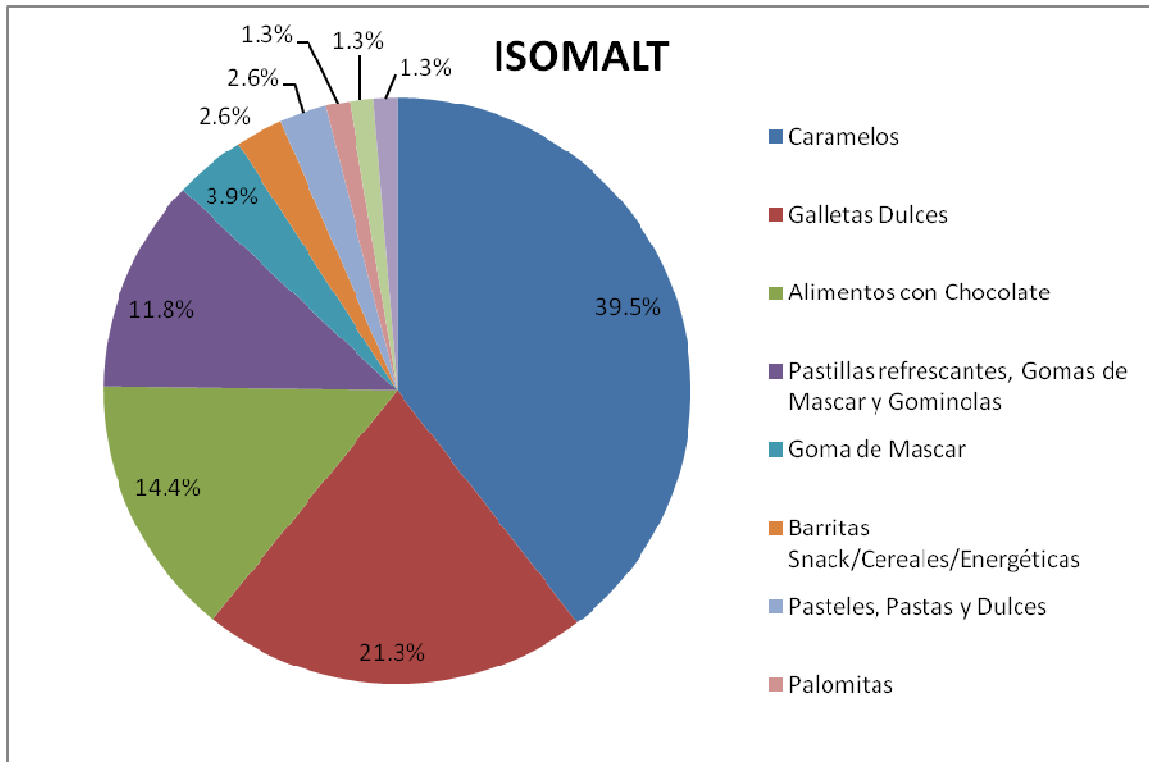


(MINTEL, 2009)

F. ISOMALT

Categoría	Porcentaje
Caramelos Hervidos	28.9
Galletas Dulces	21.3
Piezas de Chocolate Envueltas Individualmente	7.9
Dulces Medicinales	7.9
Caramelos de Menta	6.7
Piezas de Chocolate No Envueltas Individualmente	3.9
Pastillas, Gomas de Mascar y Gominolas	3.9
Goma de Mascar	3.9
Caramelos y Turrón	2.6
Barritas Snack/Cereales/Energéticas	2.6
Pasteles, Pastas y Dulces	2.6
Barritas Snack de Chocolate	1.3
Tablas de Chocolate	1.3
Chupa-Chups	1.3
Palomitas	1.3
Bebidas de Soya	1.3
Edulcorantes y Azúcar	1.3
TOTAL	100

(MINTEL, 2009)



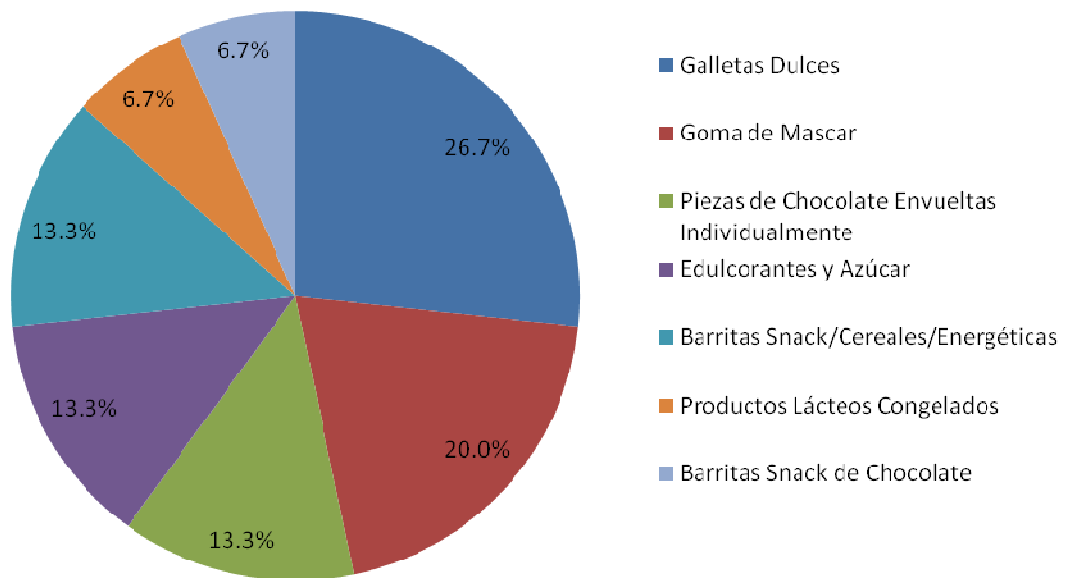
(MINTEL, 2009)

G. ERITRITOL

Categoría	Porcentaje
Galletas Dulces	26.7
Goma de Mascar	20
Piezas de Chocolate Envueltas Individualmente	13.3
Edulcorantes y Azúcar	13.3
Barritas Snack/Cereales/Energéticas	13.3
Productos Lácteos Congelados	6.7
Barritas Snack de Chocolate	6.7
TOTAL	100

(MINTEL, 2009)

ERITRITOL



(MINTEL, 2009)

ANEXO III. LANZAMIENTOS EN MÉXICO DE PRODUCTOS DE CONFITERÍA QUE CONTIENEN LOS PRINCIPALES POLIOLES (ENERO 2006-DICIEMBRE 2009)

A. MANITOL

Sub-categoría	%	Empresa	%
Goma de Mascar	92.5	Cadbury Adams	49.6
Tablas de Chocolate	3	Wrigley	25.3
Pastillas, Gomas de Mascar y Gominolas	3	Galletas de Calidad	7.1
Caramelos Hervidos	1.5	The Hershey Company	4.5
		Perfetti Van Melle	3
		Algara	3
		Arcor	3
		Productora Internacional de Bebidas	1.5
		Ernesto Ibarra	1.5
		Intervan	1.5
TOTAL	100	TOTAL	100

(MINTEL, 2009)

B. MALTITOL

Sub-categoría	%	Empresa	%
Goma de Mascar	66	Cadbury Adams	34
Pastillas, Gomas de Mascar y Gominolas	7.3	The Hershey Company	8.3
Barritas Snack de Chocolate	6.4	Galletas de Calidad	7.4
Tablas de Chocolate	6.4	Perfetti Van Melle	7.4
Piezas de Chocolate Envueltas Individualmente	5.3	Wrigley	5.3
Caramelos y Turrón	2.1	Barcel	5.3
Caramelos Hervidos	2.1	Arcor	5.3
Piezas de Chocolate No Envueltas Individualmente	1.1	Comercializador	4.3
Caramelos de Menta	1.1	Russell Stover Candies	3.2
Otros Dulces de Azúcar	1.1	New Freedom Internation Corp	2.1
Chupa-Chups	1.1	Chupa Chups	2.1
		Sabritas	2.1
		Industria y Comercio Latinoamericano	1.1
		Productora Internacional de Bebidas	1.1
		Waldo's Dolar Mart de Mexico	1.1
		Comercializadora Cantu Reyes	1.1
		Yamate Chocolatier	1.1
		Productos Medellin	1.1
		Mazapan de la Rosa	1.1
		Simply Lite	1.1

Sub-categoría	%	Empresa	%
		De La Rosa	1.1
		Merisant	1.1
		Intervan	1.1
		Agara	1.1
TOTAL	100	TOTAL	100

(MINTEL, 2009)

C. XILITOL

Sub-categoría	%	Empresa	%
Goma de Mascar	88.6	Cadbury Adams	22.7
Caramelos de Menta	11.4	Wrigley	20
		Galletas de Calidad	11.4
		The Hershey Company	8.6
		Perfetti Van Melle	8.6
		Chupa Chups	8.6
		Sabritas	5.7
		Barcel	5.7
		Waldo's Dolar Mart de Mexico	2.9
		Gumlink	2.9
		Arcor	2.9
TOTAL	100	TOTAL	100

(MINTEL, 2009)

D. ISOMALT

Sub-categoría	%	Empresa	%
Caramelos Hervidos	41.4	BestSweet	11.2
Piezas de Chocolate Envueltas Individualmente	11.3	Intervan	11.2
Dulces Medicinales	11.3	Broncolin	7.5
Caramelos de Menta	9.4	Russell Stover Candies	5.7
Piezas de Chocolate No Envueltas Individualmente	5.7	Productos J Jiménez	5.7
Pastillas, Gomas de Mascar y Gominolas	5.7	Cadbury Adams	5.7
Goma de Mascar	5.7	CandyLight	5.7
Caramelos y Turrón	3.8	Arcor	5.6
Barritas Snack de Chocolate	1.9	Waldo's Dolar Mart de Mexico	3.8
Tablas de Chocolate	1.9	Delinutrición de México	3.8
Chupa-Chups	1.9	Perfetti Van Melle	3.8
		Simply Lite	3.8
		Chupa Chups	3.8
		Cadbury	3.7

Sub-categoría	%	Empresa	%
		María Angélica Gómez Ramírez	1.9
		Comercializadora Cantu Reyes	1.9
		Sorbee International	1.9
		Healthy Food Brands	1.9
		Arroz SOS de Mexico	1.9
		Productos Medellin	1.9
		Generación Nutiva	1.9
		Chocolate Frey AG	1.9
		Isomalt	1.9
		Edanrey	1.9
TOTAL	100	TOTAL	100

(MINTEL, 2009)

E. SORBITOL

Sub-categoría	%	Empresa	%
Goma de Mascar	44.1	Cadbury Adams	20.3
Pastillas, Gomas de Mascar y Gominolas	26.4	Effem	9.3
Caramelos de Menta	7.1	Wrigley	7.9
Piezas de Chocolate No Envueltas Individualmente	3.9	Sabritas	4.9
Piezas de Chocolate Envueltas Individualmente	3.5	Nestlé	4.9
Barritas Snack de Chocolate	3.1	The Hershey Company	4.5
Caramelos Hervidos	3.1	Canel's	3.9
Caramelos y Turrón	2	Productos J. Jiménez	3.1
Bastones, Líquidos y Sprays	1.6	Galletas de Calidad	2.8
Tablas de Chocolate	1.2	Barcel	2.8
Chupa-Chups	1.2	Arcor	2.4
Otros Productos de Repostería de Chocolate	0.8	Perfetti Van Melle	2
Surtidos Mixtos	0.8	Chupaletas	2
Malvaviscos	0.8	Productos Marcopolo	1.6
Regaliz	0.4	Florestal Alimentos	1.6
		Cobal Mexicana	1.6
		La Suiza	1.6
		Comercializadora México Americana S. de R.L. de C.V.	1.2
		Pablo Ignacio Michel Ontiveros	1.2
		Productora de Golosinas	1.2
		Lotte Confectionery	1.2
		Din Don Foods	1.2
		Chupa Chups	1.2
		Conficorp	1.2

Sub-categoría	%	Empresa	%
		Productora Internacional de Bebidas	0.8
		Waldo's Dolar Mart de Mexico	0.8
		Delinutrición de México	0.8
		Before and After Candy	0.8
		R. L. Albert & Son	0.8
		Pez International	0.8
		Dos en Uno	0.8
		Wal-Mart	0.8
		Algara	0.8
		Mars	0.8
		Confectionery Group International	0.4
		Fabricas de Chocolates La Corona	0.4
		Waldos Dolar Mart De Mexico	0.4
		Dulce Industria de Mexico	0.4
		Russell Stover Candies	0.4
		Importadora de Básicos	0.4
		Dollar Only Wholesale	0.4
		Comercializadora Kram	0.4
		R. M. Palmer Company	0.4
		Balglobe Fine Foods	0.4
		Impact Confections	0.4
		R.L. Albert & Son	0.4
		Empresas Carozzi	0.4
		Kräutica Pharma	0.4
		Heller & Strauß	0.4
		Almendra Y Miel	0.4
TOTAL	100	TOTAL	100

(MINTEL, 2009)

F. ERITRITOL

Sub-categoría	%	Empresa	%
Goma de Mascar	50	Russell Stover Candies	33.
			3
Piezas de Chocolate Envueltas Individualmente	33.	Cadbury Adams	33.
	3		3
Barritas Snack de Chocolate	16.	Comercializadora Cantu	16.
	7	Reyes	7
		Wrigley	16.
			7
TOTAL	100	TOTAL	100

(MINTEL, 2009)

G. LACTITOL

Sub-categoría	%	Empresa	%
Tablas de Chocolate	37.5	Comercializadora México Americana S. de R.L. de C.V.	25
Barritas Snack de Chocolate	25	Chocolat Stella	25
Caramelos y Turrón	25	Chocolate Frey AG	12.5
Piezas de Chocolate No Envueltas Individualmente	12.5	Lindt & Sprüngli	12.5
		Chocolat Frey	12.5
		Candylight	12.5
TOTAL	100	TOTAL	100

(MINTEL, 2009)