



EFEECTO DE LOS POLIOLES EN LA NUTRICIÓN Y SUS APLICACIONES EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

TRABAJO DE FIN DE GRADO

Curso 2013-2014

**Alumna: María Rodríguez Pérez
Tutora: M^a Teresa Agapito Serrano**

**Grado en Nutrición Humana y Dietética
Universidad de Valladolid**

ÍNDICE

1. ABSTRACT/RESUMEN/PALABRAS CLAVE	2
2. INTRODUCCIÓN.....	3
3. FÓRMULA QUÍMICA	4
4. PROPIEDADES.....	6
5. DIGESTIÓN Y ABSORCIÓN.....	8
5.1 Vía de los polioles.....	10
5.2 Valores de energía de los polioles.....	11
6. EFECTOS EN LA SALUD	12
6.1. RESPUESTA GLUCÉMICA A LOS POLIOLES.....	12
6.1.1 Las interacciones entre los polioles y los alimentos.	13
6.1.2. Relación entre los polioles y grasa.	14
6.1.3 Polioles y Diabetes	14
6.2. TRÁNSITO INTESTINAL Y POLIOLES	15
6.2.1 Efectos en el colon	15
6.2.2 Síndrome del intestino irritable	16
6.2.3 Manitol en pruebas diagnósticas	18
6.3 CARIES Y POLIOLES	18
6.4.2 Otros polioles	20
7. POLIOLES EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA.....	21
7.1. Aplicación de polioles en productos de panadería	21
7.1.1 Bizcochos y pasteles.....	21
7.1.2. Galletas.....	23
7.2 Chocolate	24
7.3. Chicles	25
7.4. Caramelos y gominolas	25
8. REGLAMENTACIÓN.....	27
9. CONCLUSIONES	28
10. BIBLIOGRAFÍA.....	29

1. ABSTRACT/RESUMEN/PALABRAS CLAVE

RESUMEN

Los polioles son hidratos de carbono hidrogenados, utilizados como sustitutos de azúcar, debido a su sabor dulce y a su bajo poder calórico. El objetivo de esta revisión fue identificar y sintetizar los efectos que Maltitol, Isomaltitol, Sorbitol, Manitol, Lactitol, Eritritol y Xilitol tienen en la salud y revisar sus principales utilidades en la industria alimentaria. De esta forma, los estudios clínicos han mostrado potenciales beneficios para la salud: no producen caries, tienen bajo valor energético, baja digestibilidad, alta fermentación en el colon y baja respuesta glucémica. Han sido declarados como seguros por la Agencia Europea de Seguridad Alimentaria aunque parece que en grandes cantidades pueden producir diarrea y molestias intestinales. En la mayoría de los productos, la eliminación o reducción de ingredientes o componentes de sus materias primas provoca pérdidas fácilmente detectables en la apariencia, textura y sensación en la boca. Sin embargo, los polioles tienen utilidad en la sustitución del azúcar debido a sus características físico-químicas, en especial en chocolates, caramelos, chicles y productos horneados.

ABSTRACT

Polyols are hydrogenated carbohydrates used as sugar substitutes because of its sweet taste and low calorific value. The objective of this review was to identify and synthesize the effects of Maltitol, Isomaltitol, Sorbitol, mannitol, lactitol, erythritol and xylitol on the health and review their main uses in the food industry. Thus, clinical studies have shown potential health benefits: not cause caries, they have low energy, low digestibility, they have high colonic fermentation and low glycaemic response. They have been declared safe by the European Food Safety Agency although it seems that in large amounts can cause diarrhoea and abdominal discomfort. In most products, the elimination or reduction of ingredients or components in the raw materials results in readily detectable losses in the appearance, texture and mouthfeel. However, the polyols are useful in the replacement of sugar due to their physic-chemical characteristics, especially in chocolates, candy, gum and baked goods.

Palabras clave: Poliol, Sacarosa, Sustituto de sacarosa, Eritritol, Xilitol, Sorbitol, Manitol; Maltitol, Isomalt, Lactitol, Salud, Índice glucémico, Caries, Colon.

Keywords: Polyol, Sucrose replacer, Polyol, Erythritol, Xylitol, Sorbitol, Mannitol, Maltitol, Isomalt, Lactitol, Health, Glycaemic index, Caries, Colon.

2. INTRODUCCIÓN

En los seres humanos, así como en otros animales, el gusto juega un papel clave vinculado al consumo de alimentos. En un intento de clasificación, se distinguen cinco sabores diferentes, dulce, amargo, salado, agrio y umami. Entre ellos, el sabor dulce juega un papel central. El diseño de edulcorantes seguros bajos en calorías, es particularmente importante para el creciente número de personas afectadas por enfermedades, como la diabetes, hiperlipemias, enfermedad cardiovascular o caries, las cuales que están más o menos vinculados a los efectos secundarios de la ingesta de azúcar¹. El sabor dulce se asocia naturalmente con azúcares. Sin embargo, a través de los siglos, varios cientos de edulcorantes sintéticos y naturales han demostrado tener este sabor, ya sea por casualidad o por la investigación focalizada. La dulzura es un estímulo impartido por un número grande de moléculas de naturaleza química muy diferente, por ejemplo, azúcares, aminoácidos, péptidos, proteínas, alcoholes, nitroanilinas, sacarina, y muchos otros compuestos orgánicos¹.

Los polioles son sustancias cristalinas de sabor ligeramente dulce (galactitol) a muy dulce. Debido a su sabor dulce y a su bajo poder calórico son cada vez más usados por la industria alimentaria². Están dentro del grupo de edulcorantes nutritivos. Se encuentran de forma natural en bayas, frutas, vegetales y hongos. No es viable comercialmente la extracción de estos productos de frutas y vegetales, por lo que son producidos por hidrogenación catalítica del azúcar reductor apropiado³. Los polioles que se usan habitualmente por su capacidad edulcorante son: Maltitol, Isomaltitol (Isomalt), Sorbitol, Manitol, Lactitol, Eritritol y Xilitol. Han sido considerados como seguros por la Unión Europea⁴, y por la JECFA (World Health Organisation)²

La distinción entre los azúcares y polioles aún pasa por alto con frecuencia. Los azúcares se definen legalmente para fines de etiquetado nutricional como mono y disacáridos solamente⁴. En contraste, los polioles pueden ser hidrogenados mono-, di-, oligo-y polisacáridos. Presenta supuestos beneficios para la salud: no producir caries, bajo índice glucémico (potencialmente útil en la diabetes y las enfermedades cardiovasculares), bajo contenido en energía (potencialmente útil en la obesidad) y baja digestibilidad (potencialmente útil en el colon)⁵. Estos beneficios potenciales para la salud se revisan a lo largo del trabajo.

Los polioles añaden volumen y textura a los alimentos, proporcionan un efecto refrescante o sabor «fresco», ayudan a retener la humedad en los alimentos, proporcionan dulzor, y no causan caramelización cuando se calientan. Debido a que

los hongos no se desarrollan bien en presencia de polioles, pueden contribuir a una mayor vida de los alimentos. Los polioles son generalmente edulcorantes con calorías reducidas y se pueden usar en la misma cantidad que el azúcar de mesa aunque frecuentemente se usan junto a otros edulcorantes para alcanzar el nivel de dulzura y sabor deseado. Por eso son frecuentemente utilizados en la industria alimentaria proporcionando por ejemplo, dulzura a galletas sin azúcar, bizcochos, goma de mascar, productos horneados, helados, pasta de dientes, enjuagues bucales, mentas y otros productos farmacéuticos⁶.

Aunque los polioles han sido revisados desde varias perspectivas,^{7,8,9,10}, no hay ningún trabajo que haya considerado tanto los aspectos que pueden repercutir en la salud humana, como las aplicaciones tecnológicas. Por lo que, debido a los múltiples efectos potenciales que parece que tienen estas sustancias y su uso cada vez más generalizado por parte de la industria alimentaria, considero que es importante hacer una revisión sobre el tema.

El objetivo de este trabajo es identificar y sintetizar los efectos que Maltitol, Isomaltitol, Sorbitol, Manitol, Lactitol, Eritritol y Xilitol tienen en la salud y revisar sus principales utilidades en la industria alimentaria. Para ello se consultó la bibliografía existente hasta la fecha en bases de datos online como PubMed y Web of Science, analizando cada uno de los aspectos para sacar conclusiones en conjunto.

3. FÓRMULA QUÍMICA

Los polialcoholes, polioles o “alditales”, son alcoholes polihídricos con varios grupos hidroxilo. La fórmula química general es $C_nH_{2n+2}O_n$. Un poliol es un carbohidrato que contiene más grupos hidroxilo que el hidrato de carbono al cual está asociado. Así, por ejemplo si un grupo hidroxilo reemplaza al grupo cetona de una cetosa o al grupo aldehído de una aldosa se obtiene un alcohol de azúcar. Los polialcoholes más importantes de interés alimentario son los obtenidos por la reducción del grupo aldehído o cetona de un monosacárido, o por la reducción del grupo carbonilo libre, si lo tiene, de un oligosacárido. Esta reducción se lleva a cabo a escala industrial con hidrógeno en presencia de níquel como catalizador. En el caso de los obtenidos a partir de disacáridos, los polialcoholes también tienen el anillo cerrado de uno de los monosacáridos, pero con el grupo carbonilo en forma no reductora¹¹.

Los polialcoholes obtenidos a partir de la reducción de monosacáridos son actualmente los más importantes en la industria alimentaria, utilizados como edulcorantes. Dependiendo de cuál sea el azúcar utilizado como materia prima, se obtiene⁹: Glucosa→Sorbitol (Figura 1 a), Xilosa→Xilitol (Figura 1 b), Manosa→Manitol(Figura 1 d). En polialcoholes derivados de oligosacáridos, se obtiene: Lactosa → Lactitol(Figura 1 e), Maltosa → Maltitol (Figura 1 f), Isomaltosa → Isomaltitol(Figura 1 g). Si se reduce una aldosa, como la glucosa, se obtiene un solo polialcohol, en este caso el sorbitol, mientras que si se reduce una cetosa, al crearse un nuevo carbono asimétrico, se forman dos polialcoholes distintos, dependiendo de la posición del nuevo grupo –OH por ejemplo, Fructosa → Sorbitol + Manitol (Figura 2).

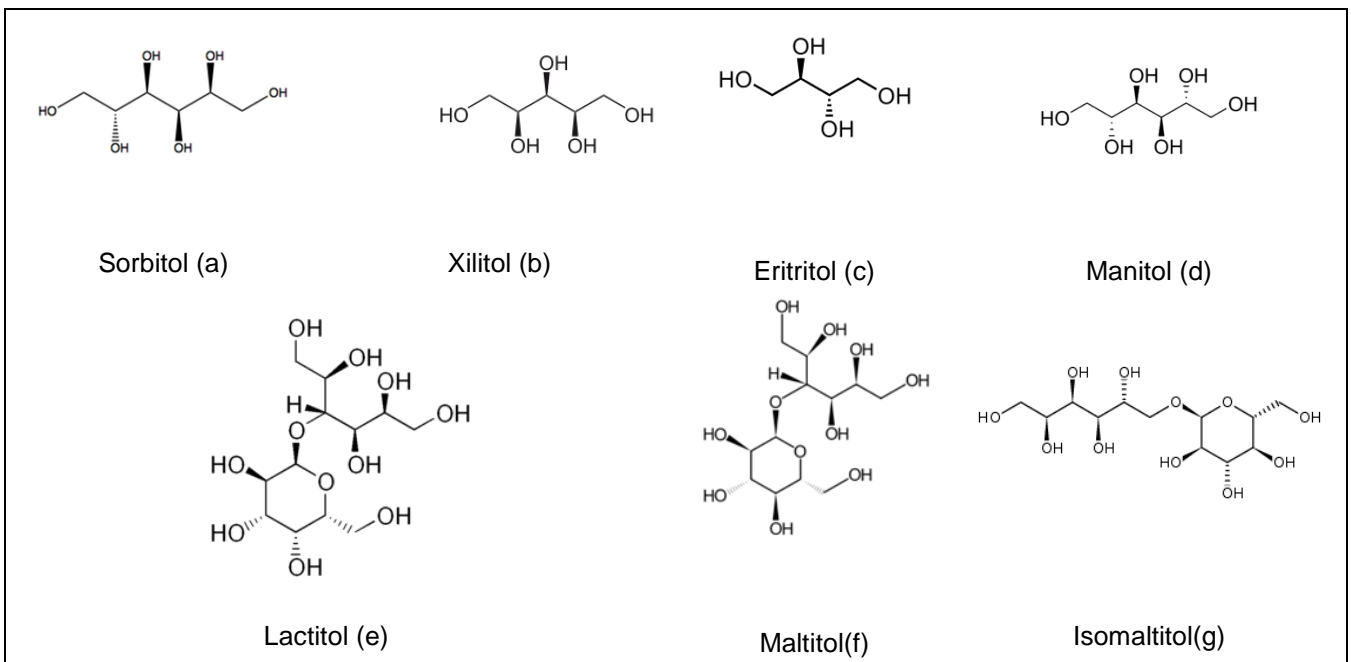


Figura 1: Fórmula química de los polioles

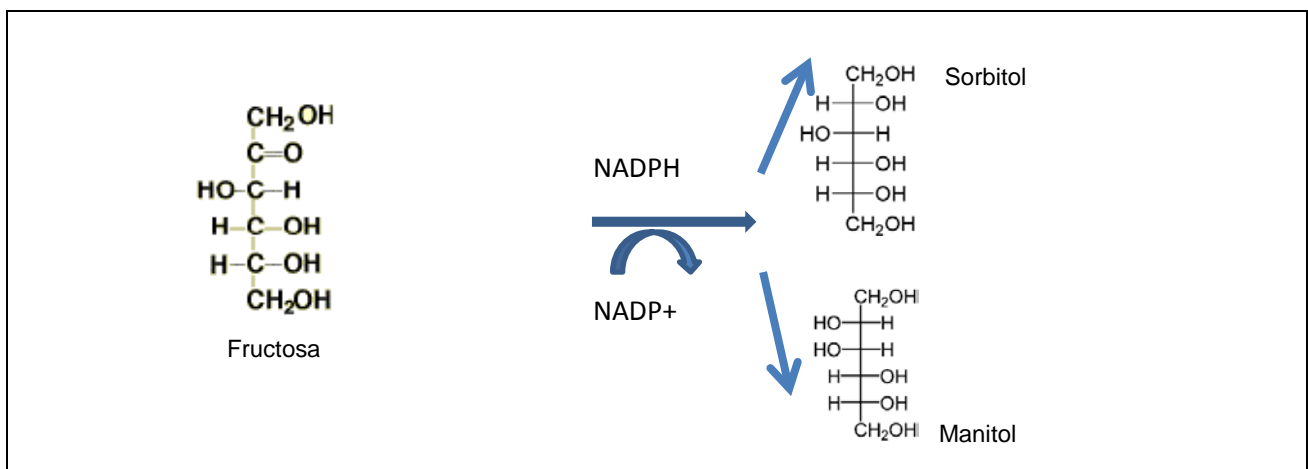


Figura 2. Reducción de la fructosa con la formación de dos polialcoholes distintos.

4. PROPIEDADES

Los polioles se caracterizan por las siguientes propiedades¹².

- *Ausencia de un grupo carbonilo reductor.* Esto hace que las moléculas de alditol sean químicamente algo menos reactivas que las aldosas y cetosas correspondientes. Algunos alditoles por lo tanto pueden evitar las reacciones químicas que crea muchos azúcares en la placa dental humana.
- *Poder reductor.* Las moléculas de alcohol de azúcar contienen átomos de hidrógeno 'extra' que se pueden donar a otras moléculas, tales como coenzimas (por ejemplo, NADP o NAD), y otros aceptores para generar productos químicamente reducidos y productos intermedios del metabolismo.
- *La complejación.* Debido a su estructura, pueden formar compuestos complejos (quelatos). Desde el punto de vista de la mineralización de los dientes, los complejos con iones de calcio son importantes. Estos complejos no son fuertes suficiente para contribuir a la erosión dental o la desmineralización de los dientes. Además se plantea la posibilidad de que la presencia de alditoles en la saliva y la placa facilitan la remineralización de lesiones de caries.
- *La hidrofilia.* La presencia de un gran número de grupos hidroxilo hace que la mayoría de alditoles sean fácilmente solubles en la saliva. Los alditoles más hidrófilos, tales como eritritol, xilitol, y sorbitol, puede competir con las moléculas de agua por la hidratación de biomoléculas. Estas reacciones pueden fortalecer la conformación nativa de proteínas salivales y péptidos.
- *Eliminación de radicales libres.* Debido a su naturaleza polirol, algunos alditoles, tales, xilitol y eritritol, han sido investigados como posibles fuentes de eliminación de radicales en los sistemas biológicos.

A pesar de las propiedades comunes de todos los alditoles, también ejercen efectos selectivos específicos sobre las reacciones biológicas en la salud y la enfermedad. Es por tanto erróneo considerar a todos los alditoles como exactamente idénticos en sus contribuciones a los procesos biológicos. Las diferencias en las masas moleculares de alditoles indican la existencia de importantes diferencias también entre sus propiedades biológicas¹¹.

Características físico-químicas

Como el dulzor de la mayoría de los polioles es menor que el de la sacarosa (Tabla 1), los edulcorantes intensos se utilizan generalmente para llevar el dulzor hasta el nivel deseado. La solubilidad de diferentes polioles (Tabla 1) varía con la temperatura y es un factor importante en la fabricación de determinados tipos de productos con lo cual es necesaria la elección correcta del poliol (a veces jarabes de poliol), minimizando así la precipitación de cristales en la solución. Igualmente, el tiempo necesario para disolverse en la boca influirá en la tasa y la intensidad del dulzor. La higroscopicidad de diferentes polioles varía con la humedad relativa ya que la absorción de humedad limita la vida útil de un producto⁹.

Una propiedad característica de todos los polioles es su calor de disolución negativo, lo cual produce una sensación refrescante en la boca (Tabla 1). El efecto de sensación refrescante depende de: el calor de la solución; la solubilidad del poliol; el tamaño de partícula (cuanto más finas sean las partículas, más rápidamente se disuelve contribuyendo así a la sensación refrescante).

Tabla 1 Propiedades físico químicas de los polioles (Zumbé et al., 2001)

	Sacarosa	Sorbitol	Xilitol	Manitol	Maltitol	Isomalt	Lactitol	Eritritol
Peso molecular	342	182	152	182	344	355	362	122
Dulzor	1	0.6	0.95	0.5	0.9	0.5	0.4	0.7
Calor de disolución (cal/g a 258°C)	-4.3	-26.5	-36.6	-28.9	-16.3	-9.4	-13.9	-23.7
Solubilidad a 20°C (% DS)	67	73	63	20	60	25	52	37
Solubilidad a 20°C (% DS)	72	83	80	31	70	45	74	55
Punto de fusión (8°C)	184	99	94	165	147	145-150	96	126
Higroscopicidad/RH-20° en polvo	84	74	82	94	89	88	90	91

DS: Sólidos disueltos; RH: Humedad relativa

5. DIGESTIÓN Y ABSORCIÓN

Los atributos físico-químicos de los polioles resultan un obstáculo para la digestión y la absorción debido al grupo alcohol que reemplaza el grupo carbonilo y la aparición de enlaces distintos a α 1-4 y α 1-6 presentes en almidones y sacarosa. Durante el tiempo que los polioles están en la boca, resisten la fermentación y acidogénesis de los microorganismos de la placa dental¹³ y posteriormente no son absorbidos a través del estómago. La absorción de los polioles monosacáridos se producen por difusión pasiva a lo largo del gradiente de concentración. Los polioles disacáridos y superiores son demasiado grandes para difundirse desde el intestino a la circulación en cantidades mayores del 2% de la ingesta oral¹⁴. Algunos polioles di-, oligo- y polisacáridos puede liberar glucosa, pero su digestión es lenta e incompleta, lo que no se traduce en un aumento sustancial de la glucosa en sangre (se argumentará en el epígrafe 6).

Una vez absorbidos, los polioles monosacáridos, son oxidados directamente o transformados en glucosa o glucógeno en el hígado. Finalmente, son excretados. La ruta del metabolismo y la excreción depende de su estructura. Los hidratos de carbono no absorbidos a partir de polioles generalmente se fermentan completamente por la microflora del colon. No obstante, una excesiva carga (más de 20-50 g) podría causar diarrea¹⁴.

Sorbitol. (Figura 1a) Las estimaciones de la absorción a partir de soluciones orales en torno al 25% de la dosis ingerida (Tabla 2). La deshidrogenación en el hígado se produce a través de una deshidrogenasa citoplasmática no específica dependiente de NAD con la producción de fructosa. A continuación, glucógeno o glucosa que puede ser liberado lentamente en el torrente sanguíneo. El sorbitol no absorbido es fermentado a los ácidos orgánicos de cadena corta y gases⁸.

Eritritol. (Figura 1b) Esta pequeña molécula de 4 carbonos es absorbida fácilmente por difusión, aproximadamente el 10% no se absorbe (Tabla 2). El eritritol absorbido se distribuye ampliamente a través de los tejidos, pero su metabolismo es mínimo y es mal reabsorbido por los riñones por lo que es fundamentalmente excretado sin utilizar en la orina⁸.

Xilitol. (Figura 1c) La absorción de xilitol a partir de intestino delgado ocurre con menos facilidad que el eritritol (molécula más grande), causando más fermentación, de 50% a 75%¹⁵. En el hígado, el xilitol se deshidrogena. La xilulosa producida se fosforila

a través de un xiluloquinasa específica en xilulosa-5-fosfato, una intermediaria de la vía pentosa-fosfato antes de la conversión a glucosa, y que se libera sólo lentamente en el torrente sanguíneo o es almacenada como glucógeno⁸.

Manitol. (Figura 1d) La absorción es aproximadamente el 25% (Tabla 2). El manitol absorbido se excreta en la orina, ya que prácticamente no se metaboliza y el resto, se fermenta lentamente en el intestino grueso⁸.

Lactitol. (Figura 1e) Muy poco de este poliol disacárido es absorbido, en torno al 2% como lactitol y sus productos de hidrólisis galactosa y sorbitol. Esto es debido a una actividad muy baja de β -galactosidasa en el intestino humano. El hígado utiliza fácilmente la galactosa y el sorbitol absorbidos, ya sea en el almacenamiento de glucógeno hepático o la producción de glucosa hepática. El lactitol que no es absorbido es completamente fermentado dando un generoso rendimiento de H₂ de gas y ácido butírico⁸.

Maltitol. (Figura 1f) Es un poliol disacárido que requiere de la hidrólisis para su absorción. La absorción en humanos es entorno al 40%. Los productos de la hidrólisis intestinal por las disacaridasas son la glucosa y el sorbitol⁸.

Isomalt. (Figura 1g) Se trata de un poliol disacárido mixto. Los productos de hidrólisis son glucosa, sorbitol y manitol. Se absorbe en un intervalo de 0 a 14%. Aproximadamente el 90% se fermenta en el colon⁸.

Tabla 2. Absorción, fermentación y excreción urinaria de los polioles (Livesley, 2003)

	Fórmula	Tipo de - sacárido	Absorción (g/100g)	Fermentación (g/100g)	Excreción urinaria (g/100g)
Eritritol	C ₄ H ₁₀ O ₄	Mono-	90	10	90
Xilitol	C ₅ H ₁₂ O ₅	Mono-	50	50	<2
Manitol	C ₆ H ₁₄ O ₆	Mono-	25	75	25
Sorbitol	C ₆ H ₁₄ O ₆	Mono-	25	75	<2
Lactitol	C ₁₂ H ₂₄ O ₁₁	Di-	2	98	<2
Isomalt	C ₁₂ H ₂₄ O ₁₁	Mezcla	10	90	<2
Maltitol	C ₁₂ H ₂₄ O ₁₁	Di-	40	60	<2

Inositol (Inositol trifosfato, inositol 1,4,5-trifosfato): Este compuesto es un polialcohol cíclico. Es un poliol de gran interés, aunque no se usa como edulcorante. Se encuentra sobre todo en los granos de cereales en forma totalmente fosforilada, como componente del ácido fítico aunque puede ser sintetizada por el organismo a partir de la glucosa. En cantidades muy pequeñas se encuentra también en todo tipo de membranas biológicas como componente de lípidos complejos y actúa como segundo mensajero de la transducción de la señal celular¹⁵. Se produce, junto con el diacilglicerol (Figura 3), por hidrólisis catalizada mediante la fosfolipasa C del fosfatidilinositol 4,5-bisfosfato (PIP2), un fosfolípido de membrana. Su efecto en el entorno celular es la movilización del Ca^{2+} , almacenado en orgánulos como el retículo endoplasmático. El diacilglicerol y el Ca^{2+} activan la proteína Kinasa C en la superficie de la membrana plasmática lo que conlleva una fosforilación de proteínas celulares que produce diferentes respuestas celulares¹⁶.

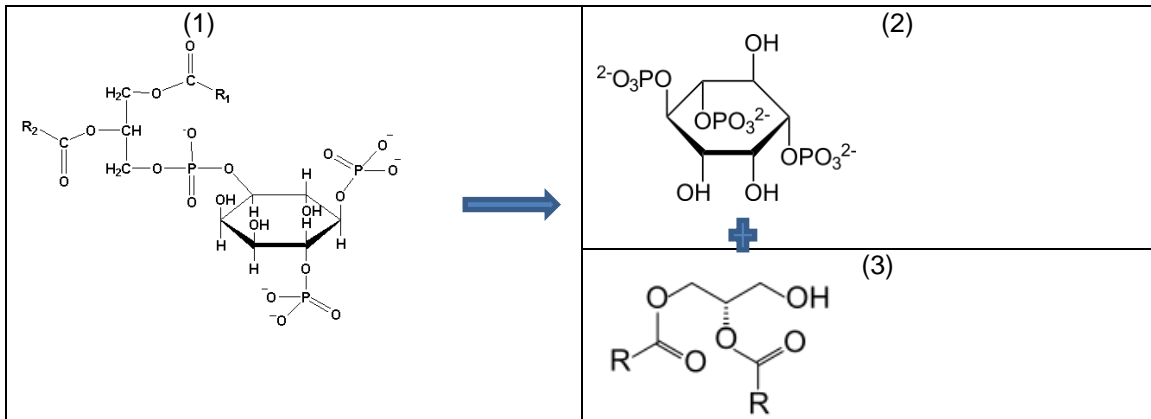


Figura 3. Hidrólisis catalizada mediante la fosfolipasa C del fosfatidilinositol 4,5-bisfosfato (1) a Inositol trifosfato (2) y diacilglicerol (3)

5.1 Vía de los polioles

La vía metabólica de los polioles está basada en dos enzimas, la aldosa-deshidrogenasa que utiliza como sustratos azúcares como la glucosa o la galactosa, para reducirlos en presencia del nicotin-adenosin difosfato (NADPH) a los correspondientes alcoholes (sorbitol o galactitol). Este primer paso metabólico está catalizado por una aldosa reductasa, (Figura 4) enzima presente en muchos tejidos como los nervios, la retina, el cristalino, las paredes vasculares y el glomérulo. Debido a que la K_m (concentración del sustrato a la cual se obtiene la mitad de la velocidad máxima) de la aldosa reductasa es mucho mayor que la concentración de glucosa normal, la conversión de glucosa a sorbitol se encuentra usualmente inactiva. Sin

embargo, en presencia de hiperglucemia, se activa la aldosa reductasa produciéndose el sorbitol en cantidades crecientes que inicia su propio proceso metabólico interfiriendo con la vía glicolítica normal de la glucosa. El sorbitol no difunde fácilmente a través de la membrana de las células y puede acumularse en exceso ocasionando hinchamiento de las células y daños osmóticos¹⁷. Esto ocurre, por ejemplo, en el caso de las cataratas diabéticas por acumulación del sorbitol en el cristalino. Esta constituye una de las vías fundamentales en la degradación de la glucosa y tiene gran relevancia en aquellos tejidos que no requieren de la insulina para la captación de glucosa. Resulta de interés señalar que estos tejidos (riñón, retina, cristalino y sistema nervioso) son en los que en mayor proporción se presentan las complicaciones crónicas en los individuos diabéticos¹⁷. La enzima aldosa reductasa, no es específico para la glucosa, por lo que también puede reducir la galactosa, que da lugar a galactitol y aunque la aldosa reductasa tiene afinidades bajas de sustrato, en condiciones tales como la diabetes o la galactosemia hay un flujo elevado a través de la vía de los polioles y la acumulación de sorbitol y galactitol, respectivamente. Esto hace que se puedan presentar complicaciones tales como cataratas¹⁸.

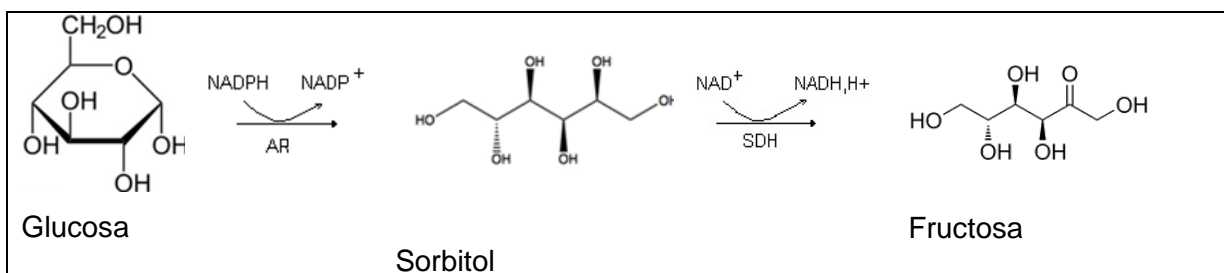


Figura 4. Vía de los polioles. Aldosa reductasa (AR) y la sorbitol deshidrogenasa (SDH)

5.2 Valores de energía de los polioles.

Inicialmente se dio un valor de 17 kJ (4 kcal)/g a todos los polioles. Este valor era una suposición basada en la combustión de polioles y en el supuesto de que cada poliol era completamente absorbido y utilizado en el metabolismo. Sin embargo se ha demostrado que los polioles tienen valores inferiores a los calores de combustión. Esto es debido a que los polioles entran en el colon y son fermentados de forma que sólo alrededor del 50 % están disponible como energía, dependiendo de cada poliol¹⁴

Sin embargo hay discrepancias sobre qué valor asignar, los valores aceptados por la FDA (US Food and Drug Administration)⁵ dan diferentes valores para cada poliol

(Tabla 3), mientras que la Unión Europea¹⁹ ha emitido una directiva de etiquetado nutricional que asigna a todos los polioles, un valor calórico de 2,4 calorías por gramo.

Tabla 3. Kcal de Polioles (FDA)

Poliol	Sorbitol	Xilitol	Maltitol	Isomalt	Lactitol	Manitol	Eritritol
Kcal	2,6	2,4	2,1	2,0	2,0	1,6	0,2

6. EFECTOS EN LA SALUD

6.1. RESPUESTA GLUCÉMICA A LOS POLIOLES

El índice glucémico (IG) clasifica los alimentos y los carbohidratos según su capacidad para aumentar la concentración de glucosa en la sangre. Se define como "El área bajo la curva de respuesta de la glucosa de una porción de hidratos de carbono (50 g) de un alimento, expresado como un porcentaje, en respuesta a la misma cantidad de carbohidratos de un alimento estándar²⁰.

La carga glucémica (CG) global de la dieta, (Incluye la cantidad de carbohidrato y el IG de un alimento) es principalmente una medida de la cantidad y la calidad aparente de los hidratos de carbono en el producto alimenticio y tiene unidades de peso (g)²⁰. Este concepto es importante a la hora de introducir los polioles en los diferentes alimentos. Los alimentos con la misma CG tienen prácticamente el mismo impacto en la respuesta de glucosa en sangre, que en el caso de la diabetes es el principal objetivo. Tiene implicaciones para el desarrollo y la gestión del síndrome metabólico, la diabetes, enfermedades del corazón y el control de los marcadores metabólicos, tales como hemoglobina glucosilada (HbA1c)²¹

El Índice insulinémico (II), se obtiene en condiciones idénticas a las de los IG, sustituyendo la medida de la glucosa con la medida de la insulina. El índice se introdujo como resultado de la preocupación de que las respuestas de glucosa en sangre pudiesen no reflejar adecuadamente las respuestas de la insulina, que es fundamental para el metabolismo anormal de los carbohidratos en la DM²¹.

La sacarosa es un hidrato de carbono que a menudo es sustituido por polioles en productos alimenticios. Livesey⁸, después de una revisión sobre el tema concluyó que las respuestas a todos los polioles son inferiores o muy inferiores a la sacarosa. Los azúcares (glucosa y sacarosa) dan lugar a respuestas más altas 30-60 minutos después de la ingestión y concentraciones de glucosa inferiores después de 90 min

que cualquiera de los polioles (eritritol, xilitol, sorbitol, manitol, maltitol, isomalt, y lactitol). Además la respuesta glucémica a todos los polioles era claramente independiente de la dosis. Esta respuesta es contraria a lo que ocurre con la glucosa, cuya dependencia de la dosis no se limita a los hidratos de carbono solubles lo que también se observó en otros estudios que comparaban la glucosa con el pan^{22,23}. Se obtuvieron por tanto, los valores sobre la glucemia e insulinemia (Tabla 4) después de la ingestión de polioliol. Todos los valores eran mucho más bajos que la sacarosa. Estos datos son usados en una opinión emitida por la EFSA²⁴ (Agencia Europea de Seguridad Alimentaria), en la que concluye que *“Respuestas glucémicas y insulinémicas postprandiales, tras el consumo de los alcoholes de azúcar son significativamente más bajos en comparación con la glucosa o la sacarosa en una base de peso en sujetos sanos y diabéticos cuando se consume en forma líquida en dosis de entre 10 y 50 g”*.

Tabla 4. Índice Glucémico (IG) e Índice Insulinémico (II) de los polioles.

	Eritritol	Xilitol	Sorbitol	Manitol	Maltitol	Isomalt	Lacitol	Sacarosa	Glucosa
IG	0	13	9	0	35	9	6	65	100
II	2	11	11	0	27	6	44	43	100

6.1.1 Las interacciones entre los polioles y los alimentos.

Varios estudios evaluaron si la suma de la carga glucémica (CG) de cada componente del alimento por separado sería igual a la CG de todo el alimento. Un preparado compuesto de glucosa y sorbitol (una mezcla de monosacáridos) produjo una CG menor de la que cabría esperar a partir de la suma de las cargas de glucosa y sorbitol por separado²⁵. La hidrólisis incompleta no puede explicar este resultado. La posible causa que dieron los autores fue que el sorbitol ralentiza el vaciado del estómago o arrastra a la glucosa a un sitio donde la absorción distalmente es menos rápida. Livesey et al.²⁶ propuso que también se podría diluir la concentración de glucosa luminal a través por efecto osmótico. Una observación similar se hizo para un preparado hecho con una mezcla de disacáridos, sacarosa y lactitol²⁷. Lo mismo se observaba cuando el sorbitol es introducido en comidas relativamente complejas: un desayuno que comprendía principalmente huevos revueltos y cereales al que se añadió bien sacarosa, fructosa o sorbitol²⁸. Este último estudio se repitió, reemplazando Índice glucémico por Índice insulinémico con similares resultados, lo que sugiere que el resultado no es debido a la elevada secreción de insulina. La conclusión es que en

una mezcla de polioles se obtiene un valor menor de carga glucémica que la suma de sus partes individuales.

Por tanto, el potencial beneficio de sustancias con bajo IG y II no se vería disminuido debido a la coingestión de polioles de bajo IG con las proteínas y hidratos de carbono disponible en el contexto de una comida completa⁸

En conclusión, el IG y II y las cargas de los polioles son aplicables en el contexto de las comidas simples de azúcares (glucosa , sacarosa), almidones (pan) y proteínas (huevos revueltos huevo y cereales). Estos datos son corroborados por la EFSA²⁴ que afirma que *“La adición de los alcoholes de azúcar a las comidas simples y complejos en comparación con la adición de glucosa o sacarosa conduce a resultados similares”*.

6.1.2. Relación entre los polioles y grasa.

Se sabe que las interacciones entre hidratos de carbono y la grasa elevan la insulinemia y reducen la glucemia. El chocolate es una fuente de carbohidratos y grasas y la respuesta glucémica a sacarosa es menor cuando está en el chocolate⁸. Pelletier et al.²⁹, observó que la respuesta glucémica a maltitol podría ser menor en el chocolate, en comparación con la sacarosa. Estas respuestas podrían atribuirse al más lento vaciado del estómago y a una respuesta de la insulina más alta en la presencia de grasa.

Thabuis et al.³⁰ evaluaron la tolerancia digestiva (en niños) de chocolate con maltitol y los resultados mostraron que comparados con la sacarosa, no presentaron mayor cantidad de síntomas digestivos (dolor abdominal e hinchazón). Sólo en algún caso se dio flatulencia. Sin embargo, estos resultados se mantuvieron bajos y podrían considerarse de menor importancia.

Por lo tanto el beneficio potencial de un bajo índice glucémico de los polioles no se perdería cuando se ingieren con grasa.

6.1.3 Polioles y Diabetes

La HbA1c (hemoglobina glicosilada) es, probablemente, el marcador de control de la glucemia más relevante y se utiliza ahora comúnmente para este propósito. Está bien establecido que tanto la HbA1c y concentraciones de fructosamina se reducen en diabéticos por la el consumo de dietas bajas en carbohidratos, posiblemente más aún si se toma en cada comida del día²¹.

Cuando se toman por vía oral con las comidas en las dosis toleradas, los polioles pueden ayudar a mejorar el control glucémico a largo plazo en DM tipo 2, tal y como se espera de los hidratos de carbono de bajo índice glucémico⁸. Un estudio aleatorio controlado de 12 semanas evaluó el impacto de 6 g isomalt en cada una de las comidas (24 g al día) en veinticuatro sujetos (doce control y doce isomalt)³¹. Las medidas de la glucemia tendían a empeorar progresivamente en el grupo control, aunque sólo ligeramente, una diferencia que tendió a ampliarse con el tiempo (20% inferior a los 3 meses). El grupo de tratamiento isomalt mantenía o mejoraba las concentraciones de HbA1c. Estos resultados son acordes con otros estudios realizados previamente por Pometta et al.³²

Los datos contribuyen en gran manera en los datos Jenkins et al.²¹ que muestra que la ingesta de hidratos de carbono de bajo índice glucémico en pacientes diabéticos tipo 2 pueden mejorar el control de glucosa en sangre.

6.2. TRÁNSITO INTESTINAL Y POLIOLES

6.2.1 Efectos en el colon

Debido a su facilidad de fermentación por la flora intestinal, los hidratos de carbono fermentables son muy importantes en la salud de los humanos. Estos hidratos de carbono contribuyen fundamentalmente al establecimiento de un ambiente anaeróbico y ácido en el colon. Su fermentación permite a las bacterias anaerobias sacarolíticas y a los organismos acidúricos crecer y así obtener un beneficio sobre los organismos endotóxicos, patogénicos y procarcinógeno (organismos aeróbicos)⁸.

Las condiciones ácidas se asocian con una normalización de las funciones epiteliales, tales como criptas aberrantes, gran adenoma y posiblemente tumores. El ácido láctico, que es de particular interés, se genera a partir de los hidratos de carbono fermentables, pero sobre todo aquellos que experimentan fácilmente la glucólisis microbiana, incluyendo polioles. Esto ayudaría a mantener la acidez y el crecimiento de los organismos tales como las bacterias del ácido láctico, el cual ahora son ampliamente promovidas como probióticas. El ácido butírico, que se puede generar a partir de polioles (fermentación secundaria de ácido láctico), a veces en grandes cantidades, es ampliamente reconocida por su probable papel en el mantenimiento de un correcto funcionamiento del colon⁹. También son conocidos por su mejora de condiciones inflamatorias de la mucosa del colon y actividad anti-neoplásica³³.

Además, los hidratos de carbono de bajo peso molecular y polioles han sido reconocidos por su capacidad para reducir los niveles circulantes de NH_3 y sustancias tóxicas microbianas. La utilidad clínica de los cuales es el tratamiento de la encefalopatía hepática³⁴.

La tolerancia a los hidratos de carbono de baja digestibilidad se puede medir como el potencial para causar síntomas abdominales y efecto laxante. En la tolerancia de un poliol es determinante su concentración en el alimento, la cantidad del producto alimenticio ingerido, la frecuencia de las tomas y el consumo junto con otros alimentos libres de polioles (aumento de la tolerancia) y agua (disminución de la tolerancia). Sumado a esto, hay una gran variabilidad en la presentación de síntomas gastrointestinales entre sujetos, por lo que una dosis máxima precisa es difícil de establecer³⁵.

Las diferencias en la tolerancia de los polioles cuando se consume en comidas líquidas y sólidas son atribuibles a diferentes tasas en el vaciado gástrico en lugar de diferencias en el grado de la digestión y la absorción⁸.

6.2.2 Síndrome del intestino irritable

El síndrome del intestino irritable (SII) es uno de los trastornos más comunes que se encuentran en la medicina moderna. Alrededor del 10% en la población adulta de Europa lo padece. Cabe destacar, además, que el SII parece ser común en todo el mundo, independientemente de la geografía o el nivel socioeconómico. No hay pruebas diagnósticas específicas para el SII. Su definición se basa en la aplicación de criterios basados en los síntomas que han sido validados en estudios transversales y longitudinales. Los síntomas de la SII son el dolor o malestar abdominal y la disfunción intestinal³⁶. En la investigación clínica se aplican generalmente las definiciones consagradas en los criterios de Roma, cuya tercera iteración (Roma III) fue lanzado a principios de 2006 y se define como el SII: El dolor abdominal recurrente o malestar (una infrasensación cómoda que no se describe como el dolor), al menos 3 días por mes en los últimos 3 meses asociados con dos o más de los siguientes: mejora con la defecación, aparición asociada a un cambio en la frecuencia de las heces, aparición asociada con un cambio en la forma de las heces. Como los síntomas del SII son muy inespecíficos, el potencial de confusión de diagnóstico es considerable.

La capacidad de un individuo para absorber un carbohidrato individual se evalúa por la prueba de hidrógeno espirado, cuyo principio es que se producirá hidrógeno y se detectará un aumento de la respiración, si el carbohidrato probado alcanza la

fermentación de las bacterias antes de que pueda ser digerido/absorbido. Los hidratos de carbono de cadena corta llamados FODMAPs (oligo-, di-, monosacáridos y polioles) son lentamente o mal absorbidos en el intestino delgado y parece que aumentan el contenido de agua luminal del intestino delgado y grueso debido a su efecto osmótico y tienen una rápida fermentación intestinal por las bacterias, lo que resulta en un aumento de la producción de gas³⁷.

La distensión luminal resultante ha sido la hipótesis para desencadenar síntomas abdominales en pacientes con trastornos funcionales del intestino debido a la hipersensibilidad visceral y alteración de la motilidad que caracteriza a este tipo de pacientes. Se formuló la hipótesis de que, primero, como moléculas isoméricas, sorbitol y manitol se absorben de manera similar en la pequeña intestino de sujetos sanos y pacientes con SII; en segundo lugar, ambos podrían inducir síntomas gastrointestinales, en su mayor parte en los pacientes con SII; y tercero, la inducción de síntomas estaría asociada con la mala absorción del poliol³⁶. Sin embargo esta última afirmación no está del todo clara. No está bien establecido si la malabsorción de polioles se produce en una mayor medida en pacientes con SII en comparación con los controles.

Un estudio atribuye una clara diferencia³⁸ y otro no³⁹. En estos estudios se evaluó la malabsorción sorbitol con o sin fructosa y manitol y los resultados fueron opuestos.

Un estudio reciente⁴⁰ evaluó la capacidad para inducir síntomas de manitol y sorbitol en pacientes con SII comparado con individuos sanos. En los controles sanos, los síntomas fueron generalmente mínimos en comparación con los sujetos con SII, sin diferencias en las puntuaciones de los dos polioles en comparación con la glucosa. Por el contrario, los hallazgos en una población de pacientes con SII eran muy diferentes. La capacidad de absorber tanto el sorbitol y manitol se mejora en pacientes con SII. Además, ambos polioles parecieron desencadenar síntomas independientemente de su patrón de absorción. Lo que no había sido demostrado anteriormente es que el grado de absorción de sorbitol y manitol fue al menos dos veces mayor en pacientes con SII que en los controles sanos.

En contraste con los sujetos sanos que parecen absorber todos los polioles en una medida casi similar, los pacientes con SII no sólo tienen una mayor capacidad para absorber ambos polioles, sino también absorben el manitol más fácilmente que el sorbitol.

La razón de las diferencias podrían estar en la fisiología del intestino. Esto podría reflejar un tránsito más lento, tal como se define por la primera subida de la respiración de hidrógeno después de lactulosa⁴⁰. Como las moléculas transcurren lentamente podría dar más tiempo para que se produzca la absorción. Alternativamente, la diferencias en los patrones de absorción entre sano y sujetos con SII pueden reflejar anomalías epiteliales, que se han reportado en algunos subgrupos de pacientes con SII³⁶.

Se propuso, por tanto, que la distensión de fluido del intestino delgado es debido a la absorción lenta de los polioles que pueden ejercer un efecto osmótico en torno a la mayor parte del intestino delgado⁴⁰.

Por lo tanto, el sorbitol y el manitol son debidamente incluido en los denominados hidratos de carbono de cadena corta (FODMAPs), para el que una base de evidencia acumulando ahora está disponible como importante desencadenantes dietéticos de los síntomas intestinales funcionales³⁶.

El papel de xilitol y otros polioles utilizados comúnmente en la industria alimentaria como desencadenantes dietéticos en el SII también merecen mayor estudio porque la evidencia de la población sana no puede extrapolarse a esta población de pacientes.

6.2.3 Manitol en pruebas diagnósticas

El manitol también es usado en algunos casos durante la colonoscopia, un método fundamental en la investigación de enfermedades colorrectales, especialmente en la detección del cáncer colorrectal, es esencial que la limpieza del intestino sea de alta calidad. Durante las operaciones en el colon, la preparación mecánica antes puede permitir la detección de lesiones no diagnosticadas previamente con el potencial de influir y modificar los procedimientos perioperatorios. Uno de los métodos más ampliamente utilizados es el uso oral de solución de manitol al 10%⁴¹.

6.3 CARIES Y POLIOLES

Hay numerosos estudios que evalúan el potencial de los polioles contra la caries dental, el más estudiado y el que de momento más se está aplicando en la industria alimentaria es el Xilitol^{42,43,44}.

Existe una reducida o nula producción de polisacáridos a partir de alcoholes de azúcar. La no acidogenicidad de los alcoholes de azúcar son confirmados por las mediciones del pH de la placa. A partir de experimentos con animales y pruebas de cariogenicidad intraoral, se concluyó que los alcoholes de azúcar tienen de (muy) baja a ninguna capacidad cariogénica⁴⁴.

Las pruebas clínicas sobre el xilitol se iniciaron en la Universidad de Turku, Finlandia, y dio lugar a una serie de publicaciones colectivamente llamadas los "Estudios Turku Sugar". Un estudio de 2 años en que se utilizó xilitol, D- fructosa y sacarosa, y uno de 1 año que incluyó el uso de xilitol o sacarosa endulzada en la goma de mascar. Los resultados mostraron que la sustitución de xilitol de azúcar producía reducir la progresión de la caries⁴². Después le siguieron otros ensayos similares, algunos de los cuales se llevaron a cabo bajo la supervisión de la Organización Mundial de la Salud (OMS)⁴⁵.

Así, los ensayos clínicos continuaron en en Finlandia, en los estudios de Belice en Centroamérica América⁴⁶, y en los llamados estudios de madres e hijos en Finlandia, Suecia y Japón⁴⁷.

Van Loven et al⁴⁴, en su revisión de estudios hasta la fecha, afirmó que la masticación de chicle sin azúcar 3 veces al día durante períodos prolongados de tiempo puede reducir la incidencia de caries, independientemente del tipo de alcohol de azúcar añadido. Los ensayos clínicos sugerían un mayor efecto preventivo de caries de la goma de mascar endulzada con xilitol que con sorbitol. Sin embargo, la superioridad de xilitol no se confirmó en 2 de 4 ensayos clínicos que comparan el efecto de la prevención de caries del xilitol y sorbitol encías endulzadas. Los efectos preventivos de caries de los polioles parecen estar basados en la estimulación del flujo salival, aunque un efecto antimicrobiano no se puede excluir. No hay evidencia de una dosis terapéutica mínima o un efecto terapéutico de caries de xilitol. Estas conclusiones están en consonancia con las conclusiones del Comité científico de los medicamentos y productos sanitarios, de la Comisión de la UE²⁴.

Otros estudios, como el ensayo de jarabe de xilitol en niños⁴⁸ obtuvieron también efectos favorables con este poliol. Un estudio de meta-análisis evaluó los efectos combinados de 14 polioles en chicle⁴⁹. Los autores encontraron un gran efecto preventivo de las gomas de mascar mezcladas - xilitol sorbitol, así como para sorbitol-manitol.

Posteriormente fueron publicados los resultados de la American Dental Association⁵⁰. Determinaron que ningún estudio (incluidos polioles) tenían una evidencia inequívoca y sólo aceptaban la goma de mascar y las pastillas exentas de sacarosa y con xilitol utilizadas después de las comidas como eficaces. La Academia Americana de Odontología Pediátrica (AAPD) reforzó su recomendación sobre el xilitol⁵¹ : " *La AAPD apoya el uso de xilitol como parte de una estrategia de prevención dirigidos específicamente a la caries a largo plazo para la reducción de caries (DMF) en las poblaciones de mayor riesgo*". Además se recomienda un mejor etiquetado de los productos.

También se continuó con los estudios llamados de "madres e hijos". En Estonia, Olak et al.⁵² realizaron un estudio clínico en el que las madres en una clínica de maternidad siguieron un régimen de 6 g / día de pastillas de xilitol de 4 dosis / día desde el embarazo hasta que sus hijos tenían 36 meses de edad. Esto se comparó con aquellos que no recibieron tratamiento. Además los niños fueron examinados a los 2 y 3 años de edad. Los niños en el grupo de control eran más propensos a tener caries a los 2 años. Una limitación de este estudio es la ausencia de aleatorización. Del mismo modo, un estudio japonés examinó el uso de chicles de xilitol⁵³ y concluyó que, en comparación con los hijos de los controles, los niños del grupo xilitol eran menos propensos a padecer caries en 9-24 meses de edad. En un tercer estudio, Ly et al.⁵⁴, fue evaluada la cantidad de bacterias bucales *S. mutans* y *Lactobacillus spp.* después de que 154 niños tomaran durante 6 semanas gominolas en 154 xilitol y maltitol dividido en 3 dosis. La condición de maltitol fue pensada como un control inactivo. Sin embargo los resultados mostraron reducciones de *S. mutans* con la exposición a ambas dosis de xilitol y maltitol. Por lo que se planteó que no hay diferencias en los efectos de xilitol y maltitol.

La reducción de la caries se suele atribuir a la inhibición del crecimiento de la *S. mutans*. El consumo de xilitol puede conducir menos a placa y menos *S. mutans*.⁴⁸ Sin embargo aunque el xilitol reduce la *S. mutans* en la placa, no se detectan cambios en otras 14 especies bacterianas de placa. Debido a ello, cada vez toma mas fuerza, la teoría de que el efecto anticariogénico de los polioles es debido a que producen acidificación de la saliva⁴⁸.

6.4.2 Otros polioles

Se ha demostrado que el D-glucitol (Sorbitol) reduce significativamente la incidencia de la caries en comparación con la sacarosa. Sin embargo cuando se compara con

xilitol la eficacia parece ser más débil. Esto puede ser debido a que normalmente estimula el crecimiento de algunas cepas de *S. mutans*, y por su naturaleza es fácilmente convertible en glucosa y fructosa que pueden servir como sustratos para organismos cariogénicos⁴⁸.

El eritritol parece inhibir el crecimiento de ciertas cepas de *S. mutans* con una efectividad parecida al xilitol y se ha considerado como no cariogénico en los seres humanos⁴⁶. Estos resultados también sugieren que ciertas combinaciones de eritritol y xilitol pueden llegar a ser potencialmente limitantes de caries. La tolerabilidad gastrointestinal de eritritol incluso en los bebés y su poco valor calórico en la nutrición humana, sugieren que el eritritol debería ser objeto de estudios de caries a largo plazo en los seres humanos.

7. POLIOLES EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

7.1. Aplicación de polioles en productos de panadería

El azúcar tiene muchas funciones en los productos alimenticios, más allá de sus propiedades edulcorantes. Desempeña un papel importante en la textura de productos de panadería más allá de actuar como un agente de carga. Afecta al volumen, la textura de la miga y la suavidad del producto final. Además el azúcar afecta el color de los productos mediante la caramelización y la reacción de Maillard. Los polioles son muy interesantes para la sustitución debido a que producen algunos efectos similares a la sacarosa¹¹.

7.1.1 Bizcochos y pasteles

La textura de los pasteles de capas amarillas fue evaluada por Frye y Setser⁵⁵ utilizando seis agentes de carga: sorbitol, una mezcla de hidrolizados de almidón hidrogenado, lactitol, isomalta, maltodextrina y polidextrosa en combinaciones para sustituir total o parcialmente la sacarosa. El sorbitol a nivel de 100% resultó menos seco en boca en comparación con la polidextrosa K, mientras que una menor sequedad prolongada ocurrió a partir de la mezcla de la polidextrosa con maltodextrina, sorbitol o isomalta. Excepto los valores de fracturabilidad que eran ligeramente más altos que el control, los valores medios para todos los otros atributos sensoriales estaban dentro de los rangos óptimos. El efecto de la sustitución del 25%,

50%, 75% y 100% de sacarosa con eritritol se estudió por Lin et al.⁵⁶ en las características físicas y sensoriales de la tarta chifón, un bizcocho muy ligero hecho con aceite vegetal, huevos, azúcar, harina, polvo de hornear y aromas. La gravedad específica del pastel no se vio afectada significativamente por el eritritol, lo que sugirió que las masas para pasteles que contienen sacarosa o eritritol tienen capacidad similar para retener aire. Si que se encontraron diferencias significativas en el volumen y el contenido de humedad. A partir de la evaluación sensorial de los pasteles, se observó que a medida que la cantidad de eritritol aumentaba, las puntuaciones medias para la evaluación de color de la corteza disminuían. No hubo diferencia significativa en las puntuaciones sensoriales para los valores de humedad, y color de la miga. Las puntuaciones de ternura no fueron significativamente diferentes, lo que sugiere que la textura de pasteles no se vio afectada por la sustitución eritritol. Las puntuaciones medias de dulzor disminuyeron a medida que la cantidad de eritritol aumentó.

El efecto de la sustitución total de la sacarosa en bizcochos con siete agentes de carga (maltitol, manitol, xilitol, sorbitol, isomaltosa, oligofructosa y povidona) en la calidad del bizcocho se estudió por Ronda et al.⁵⁷. Un bizcocho con sacarosa se utilizó como control. Los valores de luminosidad de la corteza de los bizcochos sin azúcar disminuyeron un 25% en todos los casos con polioles, sin embargo la de la miga no se vio afectada. Los bizcochos con polioles siempre mostraron un menor volumen específico aunque el xilitol, sorbitol tuvieron un volumen específico comparable a los de sacarosa. Se determinó que los bizcochos con manitol tenían volúmenes notablemente inferiores. Proponían que esto se podría deber a la disminución en la estabilidad de la masa durante la etapa de calentamiento y los cambios en el mecanismo termoestable, lo que es debido a las diferentes interacciones entre el agente de carga usado, el almidón, las proteínas de la masa que afectan a la gelatinización del almidón y las temperaturas de desnaturalización de proteínas. Los bizcochos con sorbitol, maltitol y xilitol mostraron propiedades de textura muy cerca de las tortas de control. De la evaluación sensorial se observó que en relación con la dulzura, los bizcochos elaborados con xilitol eran más cercanos a los controles, seguido por aquellos hechos con maltitol o sorbitol, mientras que las tortas de manitol fueron los menos favorecidos.

Martinez-Cervera et al.⁵⁸ compararon diferentes polioles en la elaboración de magdalenas. Maltitol, isomalt y sorbitol resultaron ser adecuados como sustitutos de la sacarosa en magdalenas. Tienen propiedades reológicas similares que las de

sacarosa y las magdalenas obtenidos mostraban una buenas propiedades texturales y buenas puntuaciones de aceptabilidad sensorial.

7.1.2. Galletas

El efecto de la sustitución de azúcar por polioles en las cookies, con y sin el uso de acesulfame-K junto con polidextrosa como sustituto de 35% del contenido de grasa fue estudiada por Zoulias et al.⁵⁹. Con la sustitución de sacarosa por fructosa y polioles, la masa podía ser manejada y laminada para formar galletas fácilmente. Las galletas con manitol eran muy firmes y mostraron valores altos de dureza y consistencia, mientras que las durezas y consistencias más bajas fueron presentadas por xilitol seguido de sorbitol, lactitol y sacarosa. El maltitol y lactitol tuvieron el mismo efecto sobre el aumento de diámetro como sacarosa, mientras que los polioles monoméricos y fructosa tuvieron el diámetro más pequeño. Esto podría ser debido a que la solubilidad del maltitol y lactitol es similar a la sacarosa, mientras que el xilitol, sorbitol y manitol tienen baja solubilidad. Tampoco hubo diferencias significativas en los valores de luminosidad de las galletas. Se concluyó que las galletas bajas en grasa con propiedades aceptables pero con inferior dulzor se podían obtener mediante la sustitución de la sacarosa con el maltitol, el lactitol y sorbitol. La percepción de sabor y la aceptación general en galletas se podrían mejorar cuando se complementa con acesulfame K. El manitol no se encontró adecuado para las formulaciones de galletas. Similares resultados con respecto al diámetro, fragilidad y dureza obtuvo Zoulias et al. (2002)⁶⁰ para galletas sin sacarosa y con 50% menos de grasa. Todas las galletas sin sacarosa tenían significativamente menor sabor y menor puntuación de aceptación general que las galletas control. El sabor y la aceptación general de las galletas con maltitol fueron significativamente mayores que las de lactitol y sorbitol. Estos resultados además concuerdan con los observados por Ronda et al.⁵⁹ para los bizcochos.

La calidad sensorial y microbiológica de las galletas utilizando xilitol como único sustituto de la sacarosa fue evaluada por Winkelhausen et al.⁶¹. Se encontró que las galletas de xilitol tenían el mismo dulzor que las galletas de sacarosa pero con un poco de retrogusto (sensación refrescante). Se concluyó que las galletas con xilitol se pueden almacenar durante más tiempo sin cambio en su sabor original y atributos de textura. Se llevó a cabo la evaluación microbiológica de las galletas de xilitol. Después de 7-8 meses de almacenamiento, el número de las células viables aeróbicas totales en todas las muestras investigadas era aceptable. También se estudiaron las galletas danesas usando eritritol como edulcorante mediante la sustitución de sacarosa a 0%,

25%, 50%, 75% y el nivel de 100% ⁶². Se concluyó que las características sensoriales y físicas de calidad de galletas danesas formuladas con la sustitución parcial de la sacarosa con un máximo de 50% de eritritol fueron comparables con las galletas preparadas con 100% de sacarosa.

7.2 Chocolate

El chocolate se define como una dispersión casi anhidra de partículas finas, no grasa en una fase grasa sólida. El licor de cacao, manteca de cacao, el azúcar y la leche son los cuatro ingredientes básicos para hacer chocolate. Mediante su combinación, de acuerdo con recetas específicas se obtienen los tres tipos básicos de chocolate (Chocolate puro, chocolate con leche, chocolate blanco). La sacarosa es un componente principal de la receta del chocolate, aunque no está regulada específicamente la cantidad (Directiva 2000/36/CE) ⁶³. Los polioles tales como sorbitol, maltitol, isomalt y el lactitol se usan para reemplazar la sacarosa en la fabricación de chocolate reducido en azúcar o de chocolate sin azúcar. Al usar formas cristalinas anhidras de polioles tales como isomalt, maltitol y lactitol, es más fácil trabajar desde el punto de vista del proceso. Con polioles no anhidros la presencia de una molécula de agua de cristalización durante el refinado y conchado puede conducir a la recristalización y aumento de la viscosidad de masa. Se puede hacer un buen chocolate con polioles no anhidros pero hay que tener cuidado limitando la temperatura de la mezcla. (Para el sorbitol, la temperatura límite es 428°C y para isomalt es 458°C) Estos polioles con la excepción de isomalt son algo higroscópicos y se necesita cuidado durante la manipulación y el procesamiento para evitar la captación de humedad. El exceso de absorción de humedad da al chocolate viscosidad por lo que es difícil de moldear y tiene una sensación pegajosa en la boca. Mediante la manipulación en la mezcla de ingrediente es posible diseñar varias recetas que permitirían las alegaciones nutricionales "Reducido en azúcar", "Sin azúcar añadido" y "Sin azúcar". Estas últimas son, con mucho, las más difíciles de desarrollar, ya que es extremadamente difícil crear un buen sabor. No sólo hay una falta de sacarosa necesaria para las reacciones de caramelización sino también una falta de azúcar reductor es decir, la lactosa para las reacciones de Maillard que se crean normalmente en la etapa de conchado en la producción de chocolate estándar. El confitero generalmente compensa esto con la adición de aromas de reacción. El uso de polidextrosa o la inulina (oligofruktosa) también es recomendable en todas las recetas sin sacarosa, ya que bajará el nivel requerido de poliol y por lo tanto disminuir

aún más el riesgo potencial de malestar gastrointestinal. En el chocolate el efecto de enfriamiento se reduce al mínimo por el uso de isomalt o Maltitol ⁹.

7.3. Chicles

Los chicles sin azúcar son comúnmente consumidos en la mayoría de los países occidentales, en la actualidad. A principios de la década de 1970 estas gomas de mascar sufrieron de problemas con la textura y con la corta caducidad, lo que significaba que rápidamente se volvían frágiles, grumosas y rancias. Esto ha sido superado mediante el uso de bases de goma especialmente adaptadas y mezclas de polioles. Típicamente, el polvo de sorbitol se utiliza junto con sorbitol o jarabe de maltitol, que proporciona la fase líquida, y el aspartamo o acesulfame K que se utiliza para aumentar la dulzura. Además, una pequeña cantidad de manitol se puede utilizar para inhibir la cristalización. Las formulas sin azúcar son esencialmente las mismas. El xilitol es también utilizado comúnmente en la goma de mascar, ya que tiene el mayor efecto refrescante de todos los polioles disponibles y es también esencial para productos con sabor a menta⁹. Como se ha comentado en epígrafes anteriores, no son fermentados y parece que inhibe el crecimiento de *S. mutans*. Asimismo, ayuda a reducir los niveles de placa.

7.4. Caramelos y gominolas

Caramelos tipo alubia. Para su fabricación se construye un recubrimiento, capa por capa, sobre un centro de rotación. El recubrimiento puede ser duro o blando, dependiendo del grosor, composición y método de fabricación. El sorbitol, xilitol, isomalt, maltitol y lactitol se han utilizado con éxito para ello. Los no higroscópicos son los mejores, ya que absorben menos humedad y tendrán una vida útil prolongada. A este respecto isomalt es un ingrediente ideal, y el lactitol se prefiere en forma monohidratada que la anhidro. Así las piezas individuales de dulces no serán pegajosas y no tenderán a agruparse ⁹.

Caramelo duro sin azúcar. Se obtienen por cocciones altas. La forma y tamaño deseados se obtienen por estampación o moldeo. Se pueden fabricar con diversos polioles incluyendo el sorbitol, maltitol, jarabes de lactitol y mezclas de los mismos. Sin embargo el isomalt ha demostrado ser particularmente bueno para esta aplicación. Se pueden fabricar caramelos dulces con una superficie lisa y brillante de calidad, comparable al azúcar, de manera relativamente fácil pero se suele acompañar de

edulcorantes intensos. Sin embargo, maltitol no requiere edulcorante debido a su dulzura inherente. Un contenido de agua residual inferior al 1% es necesaria para los caramelos duros con el fin de evitar la tendencia a absorber humedad de la atmósfera aunque con isomalt puede ser hasta el 2%⁹.

Caramelos tipo Toffee sin azúcar. Es una emulsión de grasa en un sistema acuoso. Se trata de una compleja mezcla de azúcares, agua y proteínas, que es muy resistente a la cristalización. El diseño de la receta y el proceso ha de tener en cuenta la relación de jarabe de glucosa y el azúcar para obtener el equilibrio necesario. Para sustituirlos se usan jarabes de maltitol correspondiendo al jarabe de glucosa e isomalt para la sacarosa, es decir, el componente de la cristalización de la fórmula. También es necesario añadir caramelo y colores de caramelo a la debido a que los componentes de poliol no reaccionan con proteínas para dar el sabor y colores característicos. De esta forma es posible hacer excelentes caramelos sin azúcar, aunque la clave es lograr una cantidad controlada de cristalización⁹.

Gominolas y gelatinas sin azúcar. Cada tipo de producto se determina por el agente de gelatinización y el contenido de humedad. En las gominolas de gelatina sin azúcar, el jarabe de maltitol permite lograr su poder gelificante. Mediante la modificación de los tipos de agentes de gelificación (pectinas, etc.), niveles de jarabe de maltitol, temperatura de cocción y las condiciones de secado al horno se puede obtener cualquier perfil textura tradicional desde muy suave al tipos pastilla (duros). Sin embargo, en algunos casos un depósito de jarabe de alto contenido de sólidos puede conducir a la formación de pequeñas piezas duras debido a la gelificación no homogénea de la gelatina. Las gominolas de gelatina que contienen maltitol tienen ventajas adicionales debido a una mayor higroscopicidad y humectación, que dan una mejor resistencia a la desecación de las gomas tradicionales, cuando se almacena a una humedad baja⁹.

Formación de pastillas (Caramelos compactados). Las tabletas o pastillas de confitería se hacen por compresión de polvos de azúcar en un troquel. Se produce un enlace de partículas entre sí bajo presión y la tableta comprimida se expulsa de la matriz. El polvo de sorbitol es un poliol óptimo para ello, ya que se puede comprimir directamente para dar tabletas densas y duras, que tienen una textura y sensación en la boca suave. Sin embargo, el sorbitol es higroscópico y de no ser adecuadamente protegida recogerá la humedad y las tabletas va a perder su consistencia. Mezclas de manitol, xilitol y lactitol también están disponibles para compresión directa¹⁰.

8. REGLAMENTACIÓN

Los polioles están considerados dentro de la normativa de aditivos alimentarios de la Unión Europea (Reglamento (CE) 1333/2008)⁴. La lista Europea de aditivos incluye: sorbitol (E420), manitol (E421), isomalt (E953), maltitol (E965), lactitol (E966), xilitol (E967), y eritritol (E968). Cuando se consume en cantidades excesivas, los alcoholes de azúcar pueden causar diarrea si la parte no absorbida se encuentran en el intestino grueso donde se unen con agua y están sujetos a la fermentación por las bacterias del colon. Esto resulta en un efecto laxante, flatulencia y diarrea. Por eso es necesaria la advertencia «un consumo excesivo puede tener efectos laxantes»; en todos los alimentos que contengan más del 10% de polialcoholes añadido⁴.

Su seguridad ha sido evaluada en el ámbito internacional y en la Unión Europea se les ha asignado una IDA (ingesta diaria admisible) "no especificada". Esto quiere decir que la legislación no especifica un nivel máximo, pero estipula que debe usarse de acuerdo con "las prácticas correctas de fabricación", que es lo que se denomina en términos técnicos "quantum satis". Los fabricantes no deben usar más que lo necesario para obtener el resultado deseado, aunque no se aconseja no sobrepasar los 20 g/día, ya que podrían causar diarrea y otros efectos intestinales indeseables.

La legislación recoge que además de por sus propiedades edulcorantes, los polioles se pueden utilizar para cumplir con otras funciones tecnológicas, incluyendo actuar como agentes, emulsionantes, estabilizantes, humectantes, espesantes, texturizantes, agentes de recubrimiento o antiaglomerantes. Son de uso general para la edulcoración "a granel", porque, a diferencia de los edulcorantes intensos, sustituyen el azúcar en una proporción de 1:1. Ofrecen alternativas a los azúcares y sus beneficios se han establecido para mejorar la salud dental (EFSA 2011)²⁴, la mejora del control glucémico (EFSA 2011)²⁴ y la reducción de calorías, ya que su valor calórico es menor que el valor calórico de los hidratos de carbono completamente disponible (Reglamento UE) n ° 1169/2011)⁶⁴.

Además existe el anexo II ⁶⁴ que es una lista exhaustiva de las categorías de alimentos, de acuerdo con un nuevo sistema de clasificación de alimentos, con aditivos alimentarios permitidos enumerados para cada categoría de alimentos. Los polioles se autorizan en una gama de alimentos a nivel de quantum satis tanto para diferentes propósitos.

9. CONCLUSIONES

- Los polioles son hidratos de carbono, con gran capacidad edulcorante y un rendimiento calórico bajo.
- Se han observado beneficios en la regulación de los hábitos intestinales, en especial, en el entorno del colon.
- Los estudios sugieren que las interacciones entre polioles y macronutrientes tienden a reducir la glucemia postprandial.
- El bajo índice glicémico e insulinémico de los polioles ofrecen un potencial beneficio para la salud en sustitución de azúcares en alimentos destinados a las personas tanto con normal como anormal metabolismo de los carbohidratos.
- En los dientes, los polioles pueden tener un papel en la reparación, así como la prevención de la caries. Parece que el xilitol es el más beneficioso de todos ellos.
- Los atributos fisiológicos de polioles, es decir, la baja cariogenicidad, baja glucemia, bajo valor energético, fuente de sustrato para un colon saludable y la tolerancia intestinal se vinculan a través de la propiedad común de los polioles de ser difíciles de digerir y metabolizar pero relativamente fáciles de fermentar en el colon.
- Los polioles se utilizan como sustitutos de azúcar en productos horneados debido a que pueden proporcionar texturas y características organolépticas similares. Los mejores para este fin parecen ser el maltitol, sorbitol e isomalt. Lactitol eritritol y xilitol mostraban una calidad aceptable. El peor sustituto era el manitol.
- Se ha observado también que en chocolates y caramelos se puede sustituir la sacarosa por polioles, sin mucho efecto sobre las propiedades físicas, propiedades químicas o características sensoriales. Los polioles menos higroscópicos fueron los mejores para este fin.

10. BIBLIOGRAFÍA

1. Temussi PA. The history of sweet taste: Not exactly a piece of cake. *J Mol Recognit.* 2006;19(3):188-199.
2. Tennant DR. Potential intakes of total polyols based on UK usage survey data. *Food additives & contaminants. Part A, Chemistry, analysis, control, exposure & risk assessment* 2014;APR 31(4):574-86.
3. Radeloff MA, Beck RHF. Polyols - more than sweeteners. *Sugar Industry-Zuckerindustrie* APR 5 2013;138(4):226-234.
4. Unión Europea. Reglamento (CE) no 1333/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo de 16 de diciembre de 2008 sobre aditivos alimentarios. *Diario Oficial de la Unión Europea.* 2008.
<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:354:0016:0033:es:PDF>
5. Position of the American Dietetic Association: Use of Nutritive and Nonnutritive Sweeteners. *J Am Diet Assoc* 2012;5;98(5):580-587.
6. Ghosh S, Sudha ML. A review on polyols: new frontiers for health-based bakery products. *Int J Food Sci Nutr* MAY 2012;63(3):372-379.
7. Wang YM, van Eys J. Nutritional significance of fructose and sugar alcohols. *Annu Rev Nutr* APR 1981 (1):437-75
8. Livesey G. Health potential of polyols as sugar replacers, with emphasis on low glycaemic properties. *Nutrition Research Reviews* DEC 2003;16(2):163-191.
9. Zumbe A, Lee A, Storey D. Polyols in confectionery: the route to sugar-free, reduced sugar and reduced calorie confectionery. *Br J Nutr* MAR 2001;85:S31-S45.
10. Nabors, L. Alternative sweeteners: An overview. *Alternative Sweeteners* MAR 2001;85(1): 47-53
11. Radeloff MA, Beck RHF. Polyols - more than sweeteners. *Sugar Industry-Zuckerindustrie* APR 5 2013;138(4):226-234.
12. Makinen KK. Sugar Alcohol Sweeteners as Alternatives to Sugar with Special Consideration of Xylitol. *Medical Principles and Practice* 2011;20(4):303-320.
13. Ly KA, Milgrorn P, Rothen M. Xylitol, sweeteners, and dental caries. *Pediatr Dent* MAR-APR 2006;28(2):154-163.
14. Livesey G. Energy values of dietary fibre and sugar alcohols for man. *Nutrition Research Reviews* 1992;(5): 61-84.
15. de Victoria Munoz EM, Gil Hernandez A. Jose Mataix Verdu (1941-2008) Obituary. *Nutricion Hospitalaria* 2009 JAN-FEB;24(1):109-110.
16. Lodish et al. *Biología celular y molecular 2ª.* Buenos Aires: Médica Panamericana 2005 ISBN 950-06-1974-3.
17. Cruz J, Licea ME, Hernández P, Abraham E, Yanes M. Aldosa reductasa y proteína quinasa C en las complicaciones crónicas de la diabetes mellitus. *Rev Mex Patol Clin* 2011 APR 58(2): 102-107

18. Chiu C, Taylor A. Dietary hyperglycemia, glycemic index and metabolic retinal diseases. *Prog Retin Eye Res* JAN 2011;30(1):18-53.
19. European Food Safety Authority. Scientific Opinion on Dietary Reference Values for carbohydrates and dietary fibre. *EFSA Journal* 2010 8(3):1462.
20. Food and Agriculture Organization. Carbohydrates in Human Nutrition. Food and Nutrition. 1998;66
21. Jenkins DJA, Kendall CWC, Augustin LSA, Franceschi S, Marchie A, Jenkins AL, Axelsen M. Glycemic index: overview of implications in health and disease. *American Journal of Clinical Nutrition* 2002; 76: 266–273.
22. Jenkins DJ, Wolever TM, Buckley G, Lam KY, Giudici S, Kalmusky J, Jenkins AL, Patten RL, Bird J, Wong GS, Josse RG. Low-glycemic-index starchy foods in the diabetic diet. *American Journal Clinical Nutrition* 1988; 48:248–254
23. Wolever TM. Dietary carbohydrates and insulin action in humans. *British Journal of Nutrition* 2000 83(1): 97–102
24. European Food Safety Authority. Scientific Opinion on the substantiation of health claims related to the sugar replacers xylitol, sorbitol, mannitol, maltitol, lactitol, isomalt, erythritol, D-tagatose, isomaltulose, sucralose and polydextrose and maintenance of tooth mineralisation by decreasing tooth demineralisation and reduction of post-prandial glycaemic responses. Regulation (EC) No 1924/2006. *EFSA Journal* 2011. 9:2076.
25. Kearsley MW, Birch GG, Lianloh RHP. The Metabolic-Fate of Hydrogenated Glucose Syrups. *Starke* 1982;34(8):279-283.
26. Livesey G, Wilson PDG, Roe MA, Faulks RM, Oram LM, Brown JC, et al. Splanchnic retention of intraduodenal and intrajejunal glucose in healthy adults. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism* OCT 1998;275(4):709-716.
27. Zaal J, Ottenhof A . Influence of Lactitol on Blood Sugar Levels after Sucrose Intake, TNO report R. Zeist. 1988: 5443-5448
28. Akgun S, Ertel NH. A Comparison of Carbohydrate-Metabolism After Sucrose, Sorbitol, and Fructose Meals in Normal and Diabetic Subjects. *Diabetes Care* 1980;3(5):582-585.
29. Pelletier X, Hanesse B, Bornet F, Debry G. Glycemic and Insulinemic Responses in Healthy-Volunteers upon Ingestion of Maltitol and Hydrogenated Glucose Syrups. *Diabetes Metab* MAY-JUN 1994;20(3):291-296.
30. Thabuis C, Cazaubiel M, Pichelin M, Wils D, Guerin-Deremaux L. Short-term digestive tolerance of chocolate formulated with maltitol in children. *Int J Food Sci Nutr* 2010 NOV;61(7):728-738.
31. Wallace TM, Matthews DR. Poor glycaemic control in type 2 diabetes: a conspiracy of disease, suboptimal therapy and attitude. *Qjm-Monthly Journal of the Association of Physicians* JUN 2000;93(6):369-374.
32. Pometta D, Trabichet C, Spengler M. Effects of a 12-Week Administration of Isomalt (Palatinit) on Metabolic Control in Type-II-Diabetics. *Aktuelle Ernährungsmedizin* 1985;10(4):174-177.

33. Brouns F, Kettlitz B, Arrigoni E. Resistant starch and "the butyrate revolution". *Trends Food Sci Technol* AUG 2002;13(8):251-261.
34. Blanc P, Daures JP, Rouillon JM, Peray P, Pierrugues R, Larrey D, et al. Lactitol Or Lactulose in the Treatment of Chronic Hepatic-Encephalopathy - Results of a Metaanalysis. *Hepatology* FEB 1992;15(2):222-228.
35. Livesey G. Tolerance of low-digestible carbohydrates: a general view. *Br J Nutr* MAR 2001;85:S7-S16.
36. Morcos A, Dinan T, Quigley EMM. Irritable bowel syndrome: Role of food in pathogenesis and management. *Journal of Digestive Diseases* NOV 2009;10(4):237-246.
37. Barrett JS. Extending Our Knowledge of Fermentable, Short-Chain Carbohydrates for Managing Gastrointestinal Symptoms. *Nutr Clin Pract* 2013 JUN;28(3):300-306.
38. Fernandezbanares F, Estevepardo M, Deleon R, Humbert P, Cabre E, Llovet JM, et al. Sugar Malabsorption in Functional Bowel-Disease - Clinical Implications. *Am J Gastroenterol* DEC 1993;88(12):2044-2050
39. Nelis GF, Vermeeren MA, Jansen W. Role of fructose-sorbitol malabsorption in the irritable bowel syndrome. *Gastroenterology* 1990; 99: 1016–20.
40. Yao CK, Tan H-, van Langenberg DR, Barrett JS, Rose R, Liels K, et al. Dietary sorbitol and mannitol: food content and distinct absorption patterns between healthy individuals and patients with irritable bowel syndrome. *Journal of Human Nutrition and Dietetics* APR 2014;27:263-275.
41. Chacaltana Mendoza A, Rodriguez Ulloa C. Comparative study between manitol 10% and polyethyleneglycol [corrected] in colonoscopic preparation in inpatients of FAP Central Hospital. *Revista de gastroenterologia del Peru : organo oficial de la Sociedad de Gastroenterologia del Peru* 2008;28(2):125-132.
42. Fontana M, Gonzalez-Cabezas C. Are we ready for definitive clinical guidelines on xylitol/polyol use? *Adv Dent Res* 2012 SEP;24(2):123-8.
43. Makinen KK. Sugar Alcohol Sweeteners as Alternatives to Sugar with Special Consideration of Xylitol. *Medical Principles and Practice* 2011;20(4):303-320.
44. Van Loveren C. Sugar alcohols: What is the evidence for caries-preventive and caries-therapeutic effects? *Caries Res* 2004;38(3):286-293.
45. Kandelman D, Gagnon G: A 24-month clinical study of the incidence and progression of dental caries in relation to consumption of chewing gum containing xylitol in school preventive programs. *J Dent Res* 1990;69:1771–1775.
46. Mäkinen KK, Hujoel PP, Benett CA, Isotupa KP, Mäkinen P-L, Allen P: Polyol chewing gums and caries rates in primary dentition: A 24-month cohort study. *Caries Res* 1996a;30:408–417
47. Thorild I, Lindau B, Twetman S: Effect of maternal use of chewing gums containing xylitol, chlorhexidine or fluoride on mutans streptococcal colonization in the mothers' infant children. *Oral Health Prev Dent* 2003;1:53–57.
48. Milgrom P, Ly KA, Tut OK, Mancl L, Roberts MC, Briand K, et al. Xylitol pediatric topical oral syrup to prevent dental caries: a double-blind randomized clinical trial of efficacy. *Arch Pediatr Adolesc Med* 2009 163:601-607

49. Deshpande A, Jadad AR. The impact of polyol-containing chewing gums on dental caries: a systematic review of original randomized controlled trials and observational studies. *J Am Dent Assoc* 2008 139:1602-1614
50. Rethman MP, Beltrán-Aguilar ED, Billings RJ, Hujoel PP, Katz BP, Milgrom P, et al. Nonfluoride caries-preventive agents: executive summary of evidence-based clinical recommendations. *J Am Dent Assoc* 2011; 142:1065-1071.
51. American Academy of Pediatric Dentistry . Policy on the use of xylitol in caries prevention. *Pediatr Dent* 2011; 33:42-44.
52. Olak J, Saag M, Vahlberg T, Söderling E, Karjalainen S. Caries prevention with xylitol lozenges in children related to maternal anxiety. A demonstration project. *Eur Arch Paediatr Dent* 2012; 13:64-69.
53. Nakai Y, Shinga-Ishihara C, Kaji M, Moriya K, Murakamai-Yamanaka K, Takimura M. Xylitol gum and maternal transmission of mutans streptococci. *J Dent Res* 2010; 89:56-60
54. Ly KA, Riedy CA, Milgrom P, Rothen M, Roberts MC, Zhou L. Xylitol gummy bear snacks: a school-based randomized clinical trial. *BMC Oral Health* 2008; 8:20.
55. Frye AM, Setser CS. Optimizing Texture of Reduced-Calorie Yellow Layer Cakes. *Cereal Chem* MAY-JUN 1992;69(3):338-343.
56. Lin SD, Hwang CF, Yeh CH. Physical and sensory characteristics of chiffon cake prepared with erythritol as replacement for sucrose. *J Food Sci* AUG 2003;68(6):2107-2110.
57. Ronda F, Gomez M, Blanco CA, Caballero PA. Effects of polyols and nondigestible oligosaccharides on the quality of sugar-free sponge cakes. *Food Chem* MAY 2005;90(4):549-555.
58. Martínez-Cervera S, Salvador A, Sanz T. Comparison of different polyols as total sucrose replacers in muffins: Thermal, rheological, texture and acceptability properties. *Food Hydrocoll* MAR 2014;35:1-8.
59. Zoulias EI, Piknis S, Oreopoulou V. Effect of sugar replacement by polyols and acesulfame-K on properties of low-fat cookies. *J Sci Food Agric* NOV 2000;80(14):2049-2056.
60. Zoulias E, Oreopoulou V, Kounalaki E. Effect of fat and sugar replacement on cookie properties. *J Sci Food Agric* 2002 NOV;82(14):1637-1644.
61. Winkelhausen E, Jovanovic-Malinovska R, Velickova E, Kuzmanova S. Sensory and microbiological quality of a baked product containing xylitol as an alternative sweetener. *Int J Food Prop* 2007;10(3):639-649.
62. Lin S, Lee C, Mau J, Lin L, Chiou S. Effect of Erythritol on Quality Characteristics of Reduced-Calorie Danish Cookies. *J Food Qual* SEP 2010;33:14-26.
63. Unión Europea. Directiva 2000/36/CE Del Parlamento Europeo Y Del Consejo de 23 de junio de 2000 relativa a los productos de cacao y de chocolate destinados a la alimentación humana. Diario Oficial de la Unión Europea. 2011. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2000:197:0019:0025:ES:PDF>

64. Unión Europea (Reglamento (UE) No 1169/2011 del Parlamento Europeo y del Consejo de 25 de octubre de 2011 sobre la información alimentaria facilitada al consumidor. Diario Oficial de la Unión Europea. 2011

<http://eur>

lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:304:0018:0063:ES:PDF