



UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL ESTADO DE MEXICO

---



FACULTAD DE QUIMICA

“EDULCORANTES: UTILIZACION Y APROVECHAMIENTO  
EN DIFERENTES PROCESOS DE LA INDUSTRIA ALIMENTARIA”

TESINA

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
QUIMICO EN ALIMENTOS

PRESENTA:

MAGALY SANCHEZ GOMEZ

DIRECTOR DE TESINA:

DR. JUAN OROZCO VILLAFUERTE

TOLUCA, MEX. ENERO 2014

## **AGRADECIMIENTOS**

Éste trabajo está dedicado en gran parte a mi familia. Mi madre que me alentó y presiono en todo momento, incluso en aquellos cuando quería darme por vencida y hoy se lo agradezco porque si no fuera por esos regaños, hoy no estaría cumpliendo una de mis metas. Mi padre que cuando le comente que esta carrera no era lo que yo esperaba, me apoyo para buscar algo que me gustara. Mi hermano que siempre estuvo ahí diciéndome que yo podía y que él creía en mí.

A Dios que me dio el entendimiento, la paciencia, la persistencia, la dedicación para no rendirme y poder ver concluida una de mis metas.

También agradezco a mi Tío José, mi Tío Pancho y a sus respectivas familias que siempre estuvieron al pendiente de mi trayectoria académica y alentándome para que no me diera por vencida.

Mis amigas Jenny, Gras, Elo, Yera, Liz, Anita y Almita que hicieron que este recorrido de cuatro años y medio fuera más llevadero y que me apoyaron cuando algo se me complicaba en el camino, además de todos los momentos maravillosos que vivimos juntas. Nunca las olvidare.

Mis maestros que tuvieron la paciencia para poder transmitirme un poco de sus conocimientos que me abrirán las puertas en el mundo laboral.

A la vida que me ha enseñado que nada es fácil, que debes de luchar por lo que deseas y que necesitas ser dedicado para poder lograrlo, porque lo que ayer parecía ser un sacrificio hoy ha sido el mayor logro de mi vida.

**La tragedia en la vida no consiste en no alcanzar tus metas.**

**La tragedia en la vida es no tener metas que alcanzar.**

**Benjamin E. Mays**

# Índice

RESUMEN .....	1
ABREVIATURAS.....	2
INTRODUCCIÓN .....	4
Capítulo I. Aditivos alimentarios .....	5
1. Edulcorantes.....	8
2. Historia de los edulcorantes.....	12
Capítulo II. Función y clasificación de los edulcorantes según su origen.....	14
1. Edulcorantes artificiales .....	16
Historia .....	17
a) Aspartame .....	18
b) Neotame.....	22
c) Advantame .....	24
d) Sacarina .....	26
e) Ciclamato.....	29
f) Acesulfame de potasio .....	31
g) Alitame .....	32
h) Sucralosa .....	34
2. Edulcorantes naturales.....	36
I. Edulcorantes sacáridos.....	36
a) Glucosa .....	37
b) Fructosa.....	40
c) Sacarosa .....	43
d) Azúcar invertido .....	46
e) Maltosa.....	47
f) Lactosa.....	49
II. Edulcorantes de naturaleza glucosídica .....	51
a) Estevióside .....	51
b) Glicirricina amoniaca.....	55

c) Luo Han Guo.....	57
d) Filodulcina .....	59
III. Polioles .....	59
a) Sorbitol .....	61
b) Eritritol .....	64
c) Manitol .....	65
d) Xilitol.....	67
e) Lactitol.....	68
f) Maltitol.....	69
g) Isomalt.....	71
IV. Edulcorantes de naturaleza proteica .....	73
a) Miraculina (Miralina).....	73
b) Monellina .....	74
c) Taumatina .....	75
d) Mabinlina .....	79
e) Brazzeina .....	79
f) Curculina.....	81
g) Monatina .....	82
V. Otros edulcorantes.....	83
a) Tagatosa .....	83
b) Trehalosa .....	84
c) Neohesperidina dihidrochalcona .....	86
d) Osladino.....	88
Capítulo III. Ventajas del uso y/o consumo de los edulcorantes .....	89
1. Sobrepeso y Obesidad.....	91
2. Diabetes Mellitus .....	93
Capítulo IV. Desventajas del uso y/o consumo de los edulcorantes .....	96
1. Fenilcetonúricos .....	96
2. Resabio .....	97
3. Aspecto Toxicológico.....	97
Capítulo V. Legislación.....	97

1. Mundial .....	97
2. México .....	99
3. Ingesta Diaria Admisible .....	100
Capítulo VI. Mercado de los edulcorantes .....	102
Análisis del entorno.....	102
1. Sector azucarero .....	103
a) Producción.....	103
b) Consumo .....	103
c) Comercio Exterior.....	105
d) Rendimientos en campo .....	106
e) Fabrica <sup>1</sup> .....	107
2. Sector de edulcorantes artificiales.....	109
3. Sector de edulcorantes naturales .....	116
Precios de los edulcorantes.....	133
OBJETIVO.....	136
CONCLUSIONES .....	137
RECOMENDACIONES .....	139
BIBLIOGRAFÍA.....	140

## **RESUMEN**

Los aditivos han jugado un papel importante en su interacción con los alimentos desde hace mucho tiempo, cuando las personas aprendieron a conservar los alimentos para días posteriores. Hoy en día los aditivos alimentarios son muy empleados en la industria alimentaria con el fin de mejorar o facilitar los aspectos tecnológicos (proceso) y organolépticos.

Los edulcorantes son muy importantes en esta industria ya que, disfrutar de la dulzura de un alimento es algo innato en los seres humanos, es por esta razón que este grupo de aditivos está creciendo considerablemente, además de que la demanda de productos bajos en calorías va en ascenso, sin limitar el sabor dulce del producto final.

El surgimiento de los edulcorantes artificiales hace aproximadamente 100 años llevo a reemplazar la sacarosa en la formulación de algunos productos debido a las ventajas que ofrecían con respecto a está, pero este tipo de edulcorantes han generado polémica con respecto a su seguridad a largo plazo. Esto ha contribuido al desarrollo e investigación de edulcorantes naturales como lo son; los de naturaleza glucosídico, los polioles y los de naturaleza proteica, los cuales, están siendo probados por organismos e instituciones encargadas de analizar y dar un informe de las consecuencias de su consumo a largo plazo principalmente.

Los edulcorantes naturales están siendo aceptados por la FDA, FAO, EFSA, OMS, Codex Alimentarius, etc. Lo cual está dando tarjeta verde para que algunas industrias y países empiecen a utilizar este grupo de aditivos, un ejemplo de esto es que el edulcorante de mesa Truvia (esteviósido), es el segundo mayor sustituto de azúcar en Estados Unidos por detrás de Splenda (sucralosa), los polioles no son cariogénicos en comparación con la sacarosa, además de dar frescura al producto. Esto da una idea de que tan lejos pueden llegar los edulcorantes naturales en el mercado alimenticio, debido al riesgo que puede llegar a generar los edulcorantes artificiales y al incremento en el costo de la sacarosa en los últimos años.

Cumplíéndose con el propósito de realizar un investigación bibliográfica, la cual ponga de manifiesto, el desarrollo y el futuro de los edulcorantes, dando a conocer los principales edulcorantes naturales y artificiales, así como de las ventajas y desventajas de cada uno de ellos, para poder recopilar información que en un futuro pueda impulsar la investigación para la posible producción de edulcorantes naturales y que puedan ser aplicados en la industria alimentaria.

## ABREVIATURAS

Å: Amstrongs

AFSSA: Agencia Francesa de la Seguridad Sanitaria de los Alimentos

CAC: Codex Alimentarius Commission/Comisión del Codex Alimentarius

CAE: Código Alimentario Español

CCFAC: Codex Committee on Food Additives and Contaminants/ Comité del Codex sobre aditivos alimentarios y contaminantes de los alimentos

CEE: Comunidad Económica Europea

CMCAC: Comité Mexicano para la Atención del Codex Alimentarius

DMG: Diabetes Mellitus Gestacional

EAI: Edulcorantes de Alta Intensidad

EE.UU: Estados Unidos de Norteamérica

EFSA: European Food Safety Authority/Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria

ENSANUT: Encuesta Nacional de SALud y NUTrición

FAO: Food and Agriculture Organization/Organización para la Alimentación y la Agricultura

FASEB: Federation of American Societies for Experimental Biology/Federación de Sociedades Americanas para la Biología Experimental

FDA: Food and Drug Administration/Agencia de Alimentos y Medicamentos

FSANZ: Food Standards Australia New Zealand/Seguridad Alimentaria de Australia y Nueva Zelanda y por las autoridades suizas

GAM: Grupo Azucarero Mexicano

GRAS: Generally Recognized As Safe/Generalmente Reconocido Como Seguro

IDA: Ingesta Diaria Admisible

IMC: Índice de masa corporal

ITC: International Trade Commission /Comisión de Comercio Internacional

JECFA: Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives/Comité Colectivo de Expertos en Aditivos Alimenticios de la FAO/OMS

JMAF: Jarabe de Maíz de Alta Fructosa

MRL: Maximum Residue Levels/Máximo Nivel de Residuos

NAFTA: North American Free Trade Agreement/Tratado de Libre Comercio de América Latina

NHDC: Neohesperidina Dihidrochalcona

NOAEL: No Observed Adverse Effect Level/Nivel de Dosis sin Efecto

OMS: Organización Mundial de la Salud /World Health Organization

PE: Poder Edulcorante

SCF: Scientific Committee Food/Comité científico sobre alimentos

TMCA: Tasa Media de Crecimiento Anual

UE: Unión Europea

US: Dolares americanos

USDA: United States Department of Agriculture/Departamento de Agricultura de los Estados Unidos



## INTRODUCCIÓN

Los aditivos alimentarios siguen siendo el tema que más se desconoce dentro de la alimentación y que preocupa más a los consumidores.

Aunque se asocian a los tiempos modernos, los aditivos alimentarios llevan siglos utilizándose. Se emplean desde que el hombre aprendió a conservar los alimentos de la cosecha para el año siguiente y a conservar la carne y el pescado con técnicas de salazón y ahumado. Los egipcios utilizaban colorantes y aromas para realzar el atractivo de algunos alimentos, y los romanos empleaban salmuera (nitrato de potasio), especias y colorantes para conservar y mejorar la apariencia de los alimentos. Los cocineros han utilizado a menudo levadura en polvo, que hace crecer ciertos alimentos, espesantes para salsa y colorantes, como la cochinilla, para transformar materias primas de buena calidad en alimentos seguros, saludables y apetecibles. En general, los propósitos de la cocina casera tradicional y de la industria alimentaria, que emplea métodos de elaboración para preparar y conservar los alimentos, son los mismos.

Gracias al desarrollo de la ciencia y la tecnología de la alimentación de los últimos 50 años, se han descubierto varias sustancias nuevas que pueden cumplir funciones benéficas en los alimentos. Estas sustancias, denominadas aditivos alimentarios, están hoy al alcance de todos. Entre ellas, destacan los edulcorantes que forman una clase importante de aditivos alimentarios que son ampliamente utilizados en los productos alimenticios. Generalmente, los edulcorantes se pueden dividir en naturales y artificiales. En la actualidad, los edulcorantes artificiales son frecuentemente utilizados para sustituir los azúcares en los alimentos. En comparación con los azúcares, estos edulcorantes tienen el mismo dulzor o incluso mayor y son útiles para el control del peso corporal y los niveles de insulina, ya que por lo general no aportan calorías o lo hacen de manera poco significativa a comparación de la sacarosa, a pesar de sus beneficios y la seguridad siguen siendo aditivos controvertidos. Además, varios edulcorantes artificiales son prohibidos de ser añadidos a algunos alimentos, especialmente los destinados a los lactantes. Por lo tanto, el reemplazo de edulcorantes artificiales por naturales es cada vez más tangible.

La prohibición del uso de ciclamatos en EE UU, junto con las dudas surgidas sobre la inocuidad de la sacarina, ha estimulado la investigación de edulcorantes alternativos que satisfagan la actual demanda de bebidas y alimentos bajos en calorías. Esto ha inducido al descubrimiento de muchas nuevas moléculas, de forma que el número de edulcorantes no calóricos potencialmente viables para su uso comercial está creciendo (Fennema, 2000). También cabe mencionar que las personas

se están preocupando cada día más por lo que consumen, prefiriendo consumir productos que sean lo más natural posible. Siendo esta la razón por lo que las empresas están preocupándose por los ingredientes y/o aditivos que están utilizando en la elaboración de sus productos, exigiendo de tal manera a los proveedores y estos a su vez a los investigadores que encuentren productos naturales, que cumplan con la misma funcionalidad de los desarrollados en laboratorio.

## **Capítulo I. Aditivos alimentarios**

Los aditivos alimentarios desempeñan un papel muy importante en el complejo abastecimiento alimenticio de hoy en día. Nunca antes, ha existido una variedad tan amplia de alimentos, en cuanto a su disponibilidad en supermercados, tiendas alimenticias especializadas y cuando se come fuera de casa. Mientras que una proporción cada vez menor de la población se dedica a la producción primaria de alimentos, los consumidores exigen que haya alimentos más variados y fáciles de preparar, y que sean más seguros, nutritivos y baratos. Sólo se pueden satisfacer estas expectativas y exigencias de los consumidores utilizando las nuevas tecnologías de transformación de alimentos, entre ellas los aditivos, cuya seguridad y utilidad están avaladas por su uso continuado y por rigurosas pruebas (Barros, 2008).

Gracias al desarrollo de la ciencia y la tecnología de la alimentación en los últimos 50 años, se han descubierto varias sustancias nuevas que pueden cumplir funciones benéficas en los alimentos, y estas sustancias, denominadas aditivos alimentarios, están hoy al alcance de todos. Entre ellas, destacan los emulsionantes de la margarina, los edulcorantes de los productos bajos en calorías, y una gran variedad de conservantes y antioxidantes que retrasan la degradación y el enranciamiento de los productos, pero mantienen su sabor (EUFIC, 2013).

Se entiende por aditivo alimentario cualquier sustancia que en cuanto tal no se consume normalmente como alimento, ni tampoco se usa como ingrediente básico en alimentos, tenga o no valor nutritivo, y cuya adición intencionada al alimento con fines tecnológicos (incluidos los organolépticos) en sus fases de fabricación, elaboración, preparación, tratamiento, envasado, empaquetado, transporte o almacenamiento, resulte o pueda preverse razonablemente que resulte (directa o indirectamente) por sí o sus subproductos, en un componente del alimento a un elemento que afecte a sus características. Esta definición no incluye “contaminantes” o sustancias añadidas al alimento para mantener o mejorar las cualidades nutricionales (CODEX, 1995).

Según la reglamentación francesa en el marco de la CEE (Comunidad Económica Europea) “Se entiende por aditivo alimentario toda sustancia habitualmente no consumida como alimento en sí y no utilizada habitualmente como ingrediente característico en la alimentación, poseyendo o no valor nutritivo y cuya adición intencionada a los alimentos con un fin tecnológico, en el momento de su fabricación, transformación, preparación, tratamiento, acondicionamiento, transporte o almacenamiento, tiene un efecto, o puede razonablemente considerarse tener un efecto, que él mismo o sus derivados se vuelven, directa o indirectamente, un componente de estos alimentos” (Multon, 2000).

La palabra *intencionalmente*, nos permite diferenciar el aditivo del contaminante (aflatoxinas, metales pesados, microorganismos y sus toxinas, productos fitosanitarios). Expresa igualmente la idea de un constituyente normal del alimento (ingrediente). El hecho de utilizarlo con un *objetivo preciso* es uno de los límites de empleo del aditivo (Multon, 2000).

En la actualidad, los aditivos alimentarios se regulan de forma muy estricta y son sometidos a revisiones periódicas para comprobar su seguridad. Los que están permitidos se clasifican en varias categorías según sus funciones (EUFIC, 2013) (Tabla 1), es decir, en consideración a la propiedad funcional de utilización. Este tipo de clasificación es la utilizada en Francia, en la CEE y en el Codex Alimentarius (Multon, 2000).

**Tabla 1: Clasificación y numeración de los aditivos según la CEE y el Codex Alimentarius.**

Comunidad Económica Europea	Codex Alimentarius
1. Colorantes	1. Correctores de acidez y del pH
2. Conservantes	2. Antiaglomerantes (desecadores, antiadherentes)
3. Antioxidantes	3. Antiespumantes
4. Emulgentes	4. Antioxidantes (y sinérgicos de antioxidación)
5. Fundentes	5. Agentes de volumen
6. Espesantes	6. Edulcorantes
7. Gelificantes	7. Colorantes (y coadyuvantes de coloración)
8. Estabilizadores	8. Estabilizadores del color
9. Potenciadores del gusto	9. Emulgentes (plastificantes, dispersantes, tensoactivos)
10. Acidulantes	10. Fundentes (emulgentes para queso solamente)
11. Correctores de la acidez (pH)	11. Potenciadores del gusto

**Tabla 1: Continuación.**

12. Antiaglomerantes	12. Mejoradores de harinas (acondicionadores de la pasta)
13. Almidones modificados	13. Gelificantes
14. Edulcorantes	14. Agentes lubricantes (coberturas, bruñido, barnizado)
15. Gasificantes	15. Conservantes (antimicrobianos)
16. Antiespumantes	16. Gases propulsores (y gases de almacenamiento y envasado)
17. Agentes de cobertura (y lubricantes)	17. Estabilizadores (ligantes, secuestrantes, ajustadores de la densidad)
18. Mejoradores de harinas	18. Espesantes (texturizantes)
19. Modificadores de textura (endurecedores)	19. Gasificantes
20. Humectantes	20. Espumantes
21. Secuestrantes	21. Humectantes (retenedores de humedad)
22. Enzimas	
23. Agentes de volumen	
24. Gases propulsores y de envasado	

**Fuente: (Multon, 2000).**

Los requisitos de cualquier aditivo permitido son (Kuklinski.C, 2003):

- Adición voluntaria: es un componente del alimento añadido de forma expresa.
- No tiene valor nutritivo o, si lo tienen, éste es irrelevante.
- Acción específica: es adicionado con un propósito definido.
- Seguridad: debe de ser seguro en las condiciones de uso para no producir problemas de salud en los consumidores. No deben generar metabolitos tóxicos una vez que el alimento ha sido ingerido.
- Necesidad. Se ha de justificar que es necesario y que hay una serie de ventajas que no se consiguen sin la presencia del aditivo en cuestión.
- Eficacia: debe ser efectivo a dosis muy pequeñas.
- Identificación y determinación: debe existir un método analítico cualitativo y cuantitativo confiable para detectar y valorar el aditivo en el producto final.
- Identidad y pureza: como norma general, un aditivo no puede ser una mezcla de sustancias, sino que ha de ser una sustancia única (excepto los aditivos obtenidos de sustancias naturales).

- No deben utilizarse para enmascarar estados o situaciones inadecuados del alimento.

Hay múltiples y diversas razones por las que se utilizan los aditivos, como por ejemplo: (Kuklinski.C, 2003)

- Para aumentar la estabilidad de los alimentos y conseguir que éstos mantengan óptimas sus cualidades organolépticas hasta el momento de ser consumido.
- Para disminuir el costo de ciertos alimentos.
- Para mejorar las características organolépticas de un alimento, haciendo que resulte más atractivo para el consumidor.
- Para ayudar a la preparación y transformación tecnológica del alimento.

## **1. Edulcorantes**

La capacidad de disfrutar de la dulzura de un alimento es algo innato en los seres humanos, bien sea porque es natural (una fruta por ejemplo), o adicionada (un postre o una bebida). Desde tiempos remotos se ha utilizado el azúcar (sacarosa), como edulcorante universal, que se obtiene de la caña de azúcar o de la remolacha (Cubero, et al., 2002).

Los edulcorantes constituyen uno de los grupos de aditivos alimentarios que están experimentando un mayor incremento en su consumo y a los que se dedica mayores esfuerzos en su investigación. Esto es debido a la creciente demanda de alimentos bajos en calorías que no quieren renunciar al sabor dulce, además de que estos sustitutos de la sacarosa tienen un metabolismo en el cuerpo independiente de la insulina, lo que es una ventaja para las personas que padecen diabetes (Cubero, et al., 2002).

Según establece el Real Decreto 2106/1996 de 20 de septiembre, se entiende por edulcorantes “aquellos aditivos utilizados para dar sabor dulce a los productos alimenticios y/o que son utilizados por sus propiedades edulcorantes” (Navarro, 2012).

Con el nombre de edulcorantes de alta intensidad se conoce a aquellos compuestos, naturales o sintéticos con sabor dulce, pero con un poder energético nulo o insignificante en comparación con la sacarosa (Cubero, et al., 2002).

### **Poder Edulcorante (PE)**

Existe un término utilizado para tener una referencia comparativa de dulzor de los edulcorantes respecto a la sacarosa. Equivale a los gramos de sacarosa que hay que disolver en agua, para obtener un líquido con igual sabor que la disolución de 1 gramo de edulcorante en el mismo volumen. A este valor se le llama poder edulcorante (PE) (Cubero, et al., 2002).

Los azúcares presentan diferentes poderes edulcorantes en función de diversos factores. Debido a que las determinaciones de dulzura provienen de un grupo de jueces o catadores y, por tanto, son netamente subjetivas, esta es la razón por la que existen discrepancias en los valores indicados en la literatura (Badui, 2006).

### **Características de un buen edulcorante**

No sólo es necesaria la aportación de un sabor dulce para que se considere un buen edulcorante, debe reunir una serie de requisitos importantes para la aplicación técnico-alimentaria donde se encuentra (Cubero, et al., 2002):

- Solubilidad suficiente.
- Estabilidad a un intervalo amplio de temperatura y pH para que pueda resistir las condiciones del alimento en el que se va a utilizar y a los tratamientos a los que se vaya a someter.
- Sabor dulce lo más puro posible. Sin sabores secundarios o residuales.
- Que tenga un poder edulcorante superior al de la sacarosa, para así conseguir un menor aporte calórico y un beneficio económico.
- Que sea inocuo.

### **Estructura de un edulcorante**

Las conclusiones generales que se han sacado a lo largo de múltiples estudios de la relación entre el sabor dulce y las estructuras que lo provocan, son las siguientes (Cubero, et al., 2002):

- Debe existir una relación concreta entre los grupos  $\text{OH}^-$  y  $\text{NH}_2^-$  para que se dé el sabor dulce, ya que tienen una influencia muy importante en la sensación sávida, pero actúan de diferente forma.

- Insignificantes cambios en la molécula de un edulcorante puede convertirlo en una sustancia insípida o amarga. La isomería tiene mucha influencia en el cambio de sabor de una molécula.
- Se observa que los azúcares con carácter dulce presentan más grupos OH en su molécula que el resto de hidratos de carbono que tienen un contenido más bajo de OH y no confieren sabor dulce. Por el contrario, la presencia de un OH en la sacarina la transforma en un compuesto que carece de sabor dulce.
- Casos parecidos al anterior ocurren con grupos como SO<sub>2</sub>, CO, NH, NO<sub>2</sub>, etc. Que según en la molécula donde se encuentre pueden ayudar a la obtención de una sustancia dulce, o al contrario, insípida o incluso amarga.

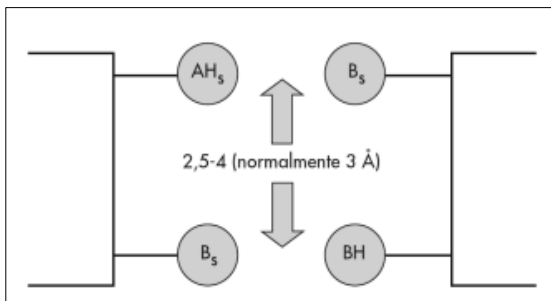
No existe una relación directa entre la composición química de una molécula y su capacidad de endulzar, esto provoca dificultades en la búsqueda de nuevas sustancias edulcorantes. Sustancias químicas muy parecidas tienen a veces sabor muy diferente y al contrario, moléculas que presentan una estructura muy diferente provocan una sensación de dulzor parecida. El sabor dulce aparece en moléculas concretas sin poder saber de una manera precisa a qué átomo en particular se debe. Hay que atribuir el sabor dulce a la estructura general de la molécula, al conjunto de interacciones que tienen sus componentes (Cubero, et al., 2002).

De todos los sabores básicos, el sabor dulce es el de mayor complejidad, ya que cambios pequeños en las moléculas pueden originar modificaciones muy dispares en el sabor: en el siglo pasado se desarrolló una teoría que relacionaba la estructura molecular con el sabor dulce. Se propuso la presencia en todas las sustancias edulcorantes de una estructura común denominada *estructura glicófora*, que se une a los receptores proteicos (Shallenberger & Acree, 1971).

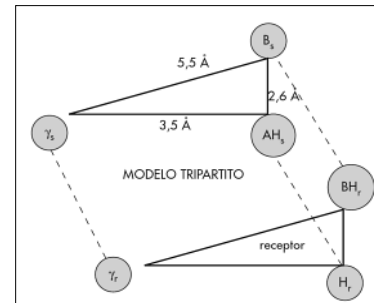
Este glicóforo tiene (Navarro, 2012):

- a) *Un sistema donador/aceptador de protones (sistema AH<sub>s</sub>/B<sub>s</sub>)*, y que la distancia entre AH<sub>s</sub> y B<sub>s</sub> esté comprendida entre 2.5 y 4 Å. La unidad AH es un grupo formado por un átomo de oxígeno o nitrógeno al que se encuentra unido otro de hidrógeno, como -OH, -NH- o -NH<sub>2</sub>. La unidad B es un átomo electronegativo (el cloro) que sea capaz de formar puentes de hidrógeno. Este sistema se acopla, con condicionantes estéricos, en otro complementario presente en el receptor por puentes de hidrogeno (figura 1).

b) *La unidad gamma* ( $\gamma_s$ ) de carácter hidrófobo, que influye en las deferencias de poder edulcorante (tiempo e intensidad), y en el gran poder edulcorante de los edulcorantes intensos. Son generalmente grupos  $-\text{CH}_2-$ ,  $-\text{CH}_3-$  o  $-\text{C}_6\text{H}_5$ . Esta unidad facilita el acceso de ciertas moléculas al receptor gustativo y está relacionada con algún de las interacciones existentes entre el dulzor y amargor en ciertas sustancias. Es una estructura triangular que contacta sus unidades activas ( $\text{AH}_s$ ,  $\text{B}_s$  y  $\gamma_s$ ) con las moléculas del receptor, lo que constituye la base racional de la estructura tripartita de la teoría del dulzor (Figura 2).



**Figura 1:**  $\text{AH}_s$  = grupo nucleofílico de la sustancia edulcorante.  $\text{AH}_r$  = grupo nucleofílico del receptor, unido a un hidrógeno.  $\text{BH}$  = grupo o átomo electrofílico, unido a un hidrógeno.  $\text{B}_s$ ,  $\text{B}_r$  = grupos electrofílicos del edulcorante o del receptor. Fuente: (Navarro, 2012).



**Figura 2:**  $\gamma_s$  = grupo hidrófobo del edulcorante.  $\gamma_r$  = resto hidrófobo del receptor. Fuente: (Navarro, 2012).

### Percepción de la dulzura de los azúcares

En esta teoría se considera que tanto la molécula estimulante como el sitio receptor bucal contienen dos átomos electronegativos, A y B, separados por una distancia de 3 Å, uno de los cuales está protonado como AH. La interacción inversa entre estos dos pares de átomos provoca que A establezca puentes de hidrógeno con B y se genere una pequeña diferencia de potencial que es transmitida al cerebro (Kier, 1972).

Existen muchas sustancias sintéticas, y algunas naturales, que tienen un PE mucho mayor que el de la sacarosa, se modificó la teoría anterior y se añadió el factor  $\gamma$  que representa la parte hidrófoba del agente dulce y del receptor, y que puede ser un metilo, un metileno o un fenilo. Debido a que la membrana de las células de la lengua tiene un carácter lipoproteínico, un determinado grado de apolaridad en la molécula aumenta la interacción, ya que se unen tanto por puentes de hidrógeno como por enlaces hidrófobos; es decir, se considera que el acoplamiento de



los triángulos formados por AH, B y  $\gamma$  (del edulcorante y del receptor) son los verdaderos responsables de la percepción (Kier, 1972).

## 2. Historia de los edulcorantes

El ser humano siempre ha sido atraído por el sabor dulce; quizá éste, fue uno de los métodos que empleó el hombre primitivo en la selección de alimentos seguros. Probablemente el primer edulcorante empleado como tal fue la miel de abeja. Al menos de este edulcorante se tienen referencias que datan de hace más de 20000 años: en pinturas rupestres de una cueva encontrada en Arana, España, se muestra a un hombre recogiendo miel de un panal (Figura 3) (López & Canales, 2004).

Los azúcares representan la forma más común y conocida de los edulcorantes, ampliamente distribuidos en la naturaleza ya que se encuentran en frutas, vegetales, miel, leche, etc. (López & Canales, 2004).

Desde el surgimiento de los edulcorantes artificiales hace aproximadamente 100 años estos han sido objeto de múltiples polémicas en lo que respecta a su seguridad a largo plazo, en las cuales ha jugado un papel importante los aspectos comerciales y de competencia. El consumo de edulcorantes, ha experimentado un notable auge en los últimos años. A esto ha contribuido el desarrollo de productos light, de los que se espera un equivalente nivel de dulzura pero con un aporte calórico muy inferior (Arango, 2010).

Uno de los grupos de productos que más se han desarrollado en los últimos años son los llamados edulcorantes artificiales, aditivos alimentarios que persiguen imitar la capacidad de endulzar del azúcar sin aportar las calorías de éste. El consumo cada vez más frecuente de éste tipo de sustancias ha causado más de una polémica, las principales son si su consumo regular puede afectar la salud humana, qué edulcorante es el más adecuado o cual es la cantidad máxima que podemos tomar (Arango, 2010).

Algunos endulzantes han tenido dificultades al momento de ser evaluados y aprobados por las entidades gubernamentales; es el caso del ciclamato que fue prohibido por la FDA en 1969. La



**Figura 3: Pintura rupestre de un hombre recogiendo miel. Fuente: (López & Canales, 2004).**

sacarina fue prohibida en 1980, pero en 1981 obtuvo nuevamente permiso para ser utilizada en bebidas industrializadas y repostería. Finalmente fue aprobada por la FDA en 1991 para consumo humano. Un estudio reciente no encontró relación entre el consumo de sacarina y cáncer en seres humanos. El acesulfame de potasio fue aprobado en los Estados Unidos en 1988 como endulzante menor para uso en chicles y dulces; aún se encuentra pendiente su aprobación por parte de la FDA para uso en bebidas gaseosas y repostería. Otros países como Canadá dieron su aprobación en 1994. La sucralosa obtuvo aprobación de la FDA en 1998. Mientras tanto, JMAF ha reemplazado al azúcar en gran variedad de productos, especialmente bebidas industrializadas (Arango, 2010).

El azúcar está siendo satanizada en la tradición de las grasas trans, todavía más que la sal. El JMAF está atravesando tiempos complicados. Las empresas se han propuesto reducir estratégicamente el contenido de azúcar de sus productos, a través de nuevas combinaciones de tecnologías innovadoras y edulcorantes. Los avances en cuanto a los edulcorantes naturales como la Stevia y el Luo Han Guo, abren paso a una mayor innovación. La obesidad ha alcanzado un punto crítico y la eliminación del azúcar innecesario en la formulación de los productos será uno de los caminos conducentes al éxito. Crece la presión gubernamental sobre los fabricantes de alimentos para que reformulen sus productos o reduzcan su tamaño. La innovación también sigue avanzando bajo la forma de una silenciosa reducción del contenido de sodio en diversos productos (Insights, 2012). La intensa investigación para buscar compuestos alternativos a los edulcorantes, ha originado el descubrimiento de un gran número de nuevos compuestos, muchos de los cuales están siendo sometidos a ulteriores estudios de desarrollo y de seguridad al objeto de determinar su idoneidad para una futura comercialización (Fennema, 2000).

Con el advenimiento de la cultura ecológica y la prevención de enfermedades, la tendencia mundial es disminuir o reemplazar por productos naturales los endulzantes artificiales utilizados en la industria alimentaria (Arango, 2010).

## Capítulo II. Función y clasificación de los edulcorantes según su origen

Un edulcorante es un compuesto capaz de producir un sabor dulce en la boca dada su estereoquímica y facilidad para formar puentes de hidrógeno, así como la hidrofobicidad de sus moléculas para provocar un estímulo entre este y el sitio receptor de la boca (Valdés & Ruiz, 2009).

Los edulcorantes se pueden clasificar de diferente manera (Valdés & Ruiz, 2009):

- Por su origen: naturales y artificiales.
- Por su estructura: carbohidratos, alcoholes polihídricos, glucósidos, proteínas y otros.
- Por su valor nutritivo: nutritivos y no nutritivos.
- Por su valor calórico: dietéticos, no dietéticos.

La clasificación más común es la que se basa en su valor nutritivo (Tabla 2), pero para fines prácticos en la realización de este trabajo se considerará la clasificación de origen.

**Tabla 2: Edulcorantes según su valor nutritivo.**

Sustancia	PE	Forma de obtención
<b>Edulcorantes con valor nutritivo</b>		
Glucosa	0.8	E, F
Fructosa	1.8	E
Sacarosa	1.0	E, F
Azúcar invertido	1.3	Q, E
Maltosa	0.5	E
Lactosa	0.27	E
Sorbitol	0.5-0.6	Q
Eritritol	0.7-0.8	F
Manitol	0.6-0.8	Q
Xilitol	1.0	Q, E
Lactitol	0.4	Q
Maltitol*	0.9	EQ
Isomalt	0.45-0.6	EQ
Tagatosa	0.92	E
Trehalosa	0.5	E

**Tabla 2: Continuación**

Edulcorantes sin valor nutritivo		
Aspartame	100-200	QFE, FE
Neotame	8.000	Q
Advantame	20.000	Q
Sacarina	300-400	Q
Ciclamato	30-80	Q
Acesulfame de potasio	130-200	Q
Alitame	2.000	QE, E
Sucralosa	600-800	QE
Estevióside	300	N
Glicirricina amoniaca	100	N
Luo Han Guo	400	N
Filodulcina	400-800	N
Miraculina	400.000	N
Monellina	2.500-3.000	N
Taumatina	2.000-3.000	N, F
Mabinlina	100-400	N
Brazzeina	500-2.000	F
Curculina	430-2070	E,F
Monatina	1400	E,F
NHDC	1.500-2.000/400-600	Q
Osladino	500	N

N = natural, Q = sintético vía química, E = enzimático, F = fermentativo o combinaciones de éstos

\*Absorbido en 50% Fuente: (López & Canales, 2004).

Dado el aporte de la biotecnología en este sector, en función de su origen, es necesario distinguir los siguientes edulcorantes (López & Canales, 2004):

- Los naturales: simplemente extraídos de una materia prima
- Los químicos: obtenidos mediante un proceso de síntesis química
- Los biotecnológicos: obtenidos mediante un proceso enzimático o fermentativo
- Los quimicobiológicos: obtenidos por una combinación de los procesos anteriores.

Las aplicaciones y funciones generales de los edulcorantes en la industria alimentaria son amplias y se mencionan a continuación (Valdés & Ruiz, 2009):

- Se usan para aportar dulzor a un producto.
- Neutralizar sabor astringente (en jugo de uva) y picante (chocolate).

- Aprovechar el efecto preservativo (por su higroscopicidad), por lo que se reduce el crecimiento microbiano.
- En carnes curadas se emplean para aportar efecto preservativo y realzar sabor.
- Se emplean como fuentes de carbono para levaduras y otros microorganismos, en procesos de fermentación (ejemplo en panificación, bebidas alcohólicas, vinagre, etc.).
- Contribuyen en el desarrollo de color y sabor en productos de panificación, cajeta, etc., debido a reacciones de caramelización y de oscurecimiento de Maillard.
- Proveen cuerpo, palatabilidad y textura en jarabes, dulces, helados, productos de panificación, etc.
- Mezclas de edulcorantes ayudan a mejorar propiedades funcionales, tales como el control del punto de congelación en productos congelados, cristalización en helados y dulces.
- Se mezclan en pequeñas cantidades con edulcorantes no nutritivos para enmascarar sabor picante y/o resabio, así como para proveer cuerpo al producto.

## **1. Edulcorantes artificiales**

Según indica el CAE, los edulcorantes artificiales son “sustancias sápidas sintéticas, que sin tener cualidades nutritivas, poseen un poder edulcorante superior al de la caña de azúcar, remolacha o cualquier hidrato de carbono al que tratan de sustituir”.

También se les llama edulcorantes intensos, porque proporcionan un poder edulcorante muy superior al de la sacarosa, esto hace que también se puedan encontrar con el nombre de edulcorantes no nutritivos debido a que las necesidades en peso de este tipo de aditivos, proporciona la misma sensación de dulzor que nos ofrecería la sacarosa, es tan baja, que casi no aporta calorías por las dosis tan pequeñas a las que se emplean (American Diabetes, s.f.) Esto es posible porque los componentes imitan la sacarosa en sus interacciones con los receptores del gusto pero no se metabolizan y contribuyen muy poco con el metabolismo energético, porque se usan en concentraciones muy bajas (Voet, et al., 2009).

Principales características de los edulcorantes intensos: (Cubero, et al., 2002)

- Alta intensidad de dulzor, lo que condiciona dosis de aplicación del orden de ppm.
- Aporte de calorías insignificante o nulo.
- Ausencia de otras funciones tecnológicas (no son higroscópicos, no caramelizan, no confieren textura).

- Apropriados para diabéticos.
- No provocan caries.

Los edulcorantes intensos no suplen todas las funciones que la sacarosa aporta a un alimento. En productos en los que se desea una función estructural de aumento de viscosidad, o una función estética de caramelización se ha de recurrir a otros aditivos que nos aporten las funciones deseadas (Cubero, et al., 2002).

## **Historia**

El abuso del consumo de los hidratos de carbono, principalmente los refinados, ha sido relacionado con enfermedades de hipernutrición como la obesidad, diabetes mellitus y enfermedades cardiovasculares. En estudios epidemiológicos se ha observado la relación entre el consumo de azúcares sencillos (monosacáridos y disacáridos) y el aumento de la incidencia de caries dental. Todo esto ha contribuido a la búsqueda y desarrollo de nuevas sustancias con la capacidad de conferir sabor dulce a los alimentos y que no supongan un aporte calórico, o que lo tengan restringido, para ser empleados con fines dietéticos en la elaboración de productos alimenticios de bajo aporte calórico para obesos, para diabéticos, o no cariogénicos (Navarro, 2012).

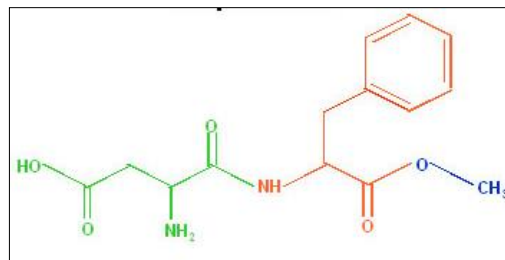
La sacarosa constituye el edulcorante clásico natural por antonomasia de los alimentos, y al ser metabolizada aporta 4 Kcal/g. En la búsqueda de sustancias sustitutas de la sacarosa, estas han de presentar las características generales siguientes: sabor y propiedades funcionales semejantes sin gustos anómalos desagradables, nula o menos densidad calórica que el azúcar, no ser cariogénicos y que su metabolización se realice por vías normales o incluso sean excretadas sin metabolización previa, no ser inductoras de manifestaciones toxicológicas (mutagénicas, carcinogénicas, teratogénicas, alergénicas, etc.), ser estables desde el punto de vista químico en el alimento vehículo (durante su tratamiento tecnológico y en su almacenamiento) y que sean viables económicamente como edulcorantes alternativos (Navarro, 2012).

En los últimos años ha aumentado el conocimiento de la fisiología y bases moleculares de los receptores del sabor dulce, lo que ha permitido el desarrollo de múltiples sustancias sintéticas con un PE muy superior al de la sacarosa. La química orgánica de síntesis ha permitido, de acuerdo a modificaciones moleculares de sustancias con efecto edulcorante, el diseño de otras nuevas en las

que se ha producido un aumento considerable en varios cientos o millares de veces el PE, con la simple eliminación o inserción de un grupo en la misma (Navarro, 2012).

## a) Aspartame

El aspartame es un edulcorante calórico que fue descubierto en 1965 (Aspartame.org, 2009), por J.D. Sehlatter en los laboratorios de G.D Searle (Mitchell, 2006), un químico dedicado a la síntesis de un tetrapéptido para un bioensayo (López & Canales, 2004), que sin darse cuenta tomó una pequeña cantidad del compuesto entre sus dedos y se los lamió (Voet, et al., 2009).



**Figura 4: Estructura molecular del aspartame. Fuente: (Voet, et al., 2009).**

El aspartame es un dipéptido (L-fenilalanina y L-ácido aspártico), enlazado por un enlace éster metílico, siendo aproximadamente 100-200 veces más dulce

que la sacarosa (Lee, et al., 1992) y fue lanzado al mercado en 1981 (Mitchell, 2006) y su comercialización fue muy exitosa en las décadas de los 80's y 90's (Lee, et al., 1992) bajo las marcas de Nutrasweet® y el Equal® (Voet, et al., 2009).

La forma en que el aspartame es metabolizado, es a partir del desdoblamiento de sus componentes: aspartato (verde), fenilalanina (rojo) y metanol (azul) (Figura 4). El aspartame y la fenilalanina, como todos los aminoácidos, pueden metabolizarse, así que el aspartame no está libre de calorías. (Voet, et al., 2009). No obstante, su intensa capacidad edulcorante le permite ejercer su función a niveles muy bajos que apenas aportan calorías (Fennema, 2000).

Durante la digestión, el aspartame al descomponerse en sus tres componentes se distribuye con 50% en peso de fenilalanina, 40% en peso de ácido aspártico, 10% en peso de metanol, que luego se absorben en la sangre y se utilizan en los procesos normales del cuerpo. Ni el aspartame ni sus componentes se acumulan en el organismo y estos componentes se utilizan en el cuerpo de la misma manera que cuando se derivan de los alimentos comunes (Aspartame.org, 2009).

### Propiedades

El aspartame es una sustancia de color blanco y cristalino (Mitchell, 2006). Es estable a pH 3-5, perdiendo su poder fuera de este intervalo y no tiene resabio amargo, su empleo se restringe a productos ácidos que no se someten a fuertes tratamientos térmicos, como las bebidas y jugos

(Badui, 2006). Su solubilidad en agua es baja (10 g/L a 25°C en agua a pH 6-7) (López & Canales, 2004), esto puede incrementarse por el aumento de temperatura y/o por el incremento de la acidez. El uso de un hidrocoloide, por ejemplo, la carboximetilcelulosa, reporta que la solubilidad es alcanzada en su punto isoeléctrico en un pH de 5.4 y es escasamente soluble en otros componentes (Mitchell, 2006).

Las dos desventajas del aspartame son su inestabilidad en condiciones ácidas y su rápida degradación cuando se expone a temperaturas elevadas. Bajo condiciones ácidas, la velocidad de pérdida de su capacidad edulcorante es gradual y depende de la temperatura y del pH. La naturaleza peptídica del aspartame lo hace susceptible a la hidrólisis, siendo también susceptible a otras interacciones químicas y degradaciones microbianas (Fennema, 2000).

Además de la pérdida de la capacidad edulcorante a consecuencias de la hidrólisis, bien del éster metílico de la fenilalanina o del enlace peptídico entre los dos aminoácidos, el aspartame experimenta fácilmente una condensación intramolecular, especialmente a temperaturas elevadas, para dar origen a la dicetopiperazina (ácido acético 5-benzil-3,6-dioxo-2-piperazina). La cual se ha comprobado por numerosos ensayos que no posee riesgos para los seres humanos a las concentraciones potencialmente presentes en los alimentos. Esta reacción se ve favorecida a valores pH neutros y alcalinos, habiéndose comprobado que se puede producir una pérdida de la capacidad edulcorante y del sabor vainilla (Fennema, 2000).

### Uso

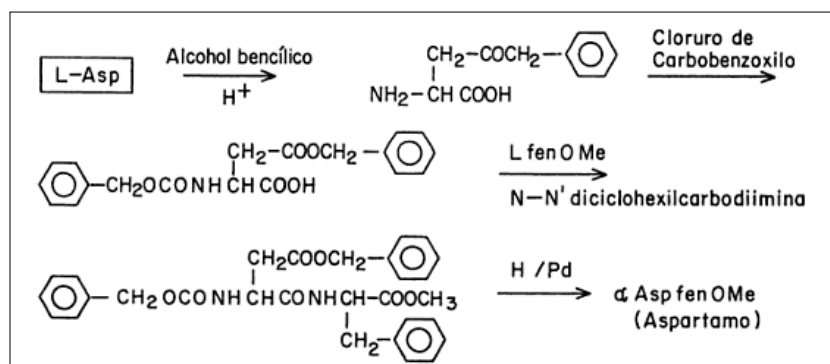
El aspartame de preferencia debe de ser utilizado en productos que no requieran largos procesos de calentamiento o cocción, ya que la pérdida de dulzor puede ocurrir (Aspartame.org, 2009). Además, por su carácter proteínico, cuando se calienta en presencia de azúcares reductores, está sujeto a reacciones de Maillard (Martens, 2000).

El aspartame se encuentra en cerca de 6000 productos en todo el mundo, incluidas las bebidas gaseosas, refrescos en polvo, goma de mascar, dulces, gelatinas, mezclas para postres, pudines y rellenos, postres congelados, yogurt, edulcorantes de mesa, y algunos productos farmacéuticos tales como vitaminas y pastillas para la tos sin azúcar. En los Estados Unidos, todos los ingredientes alimentarios, incluyendo aspartame, deben ser listados en la declaración de ingredientes en la etiqueta de los alimentos (Aspartame.org, 2009).



## Síntesis

La síntesis del aspartame se ha venido haciendo en forma química. Aunque existen 3 procesos, el método general es efectuar la condensación del ácido N-benziloxycarbonil ( $\beta$ -benzil)-L-aspartico y el éster metílico de la fenilalanina con reactivos tales como el N,N-diciclohexilcarbodiimida. El producto obtenido es reducido a aspartame mediante hidrogenación catalítica. El método más común se ilustra en la figura 5 (López & Canales, 2004).



**Figura 5: Síntesis química del aspartame.** Fuente: (López & Canales, 2004).

Una de las desventajas de esta síntesis es la obtención de los isómeros  $\alpha$  y  $\beta$ . La separación del isómero es relativamente simple al disolverse en ácido clorhídrico diluido y cristalizarse posteriormente (López & Canales, 2004).

Existen otros procesos para la síntesis del aspartame como los procesos enzimáticos. Nuevas plantas empiezan a usar esta ruta en vez de la química. (López & Canales, 2004).

A finales de los 70's, la compañía Toyo Soda, patentó el uso de enzimas del enlace protector N-ácido aspártico a  $\beta$ -metilfenilalanina. Los grupos reactivos de los aminoácidos son protegidos primero, con la excepción del grupo que formará la unión del éster metílico. Los aminoácidos son acoplados por enzimas y el grupo reactivo es removido, posteriormente le siguen procesos de cristalización para la eliminación de impurezas (Figura 6). Este biocatalizador (las enzimas) posee una gran especificidad mejor que las levaduras (Mitchell, 2006).

Finalmente, es conveniente señalar que se ha logrado sintetizar el dipéptido asp-fen mediante el uso de la tecnología del ADN recombinante, de acuerdo con la secuencia descrita en la figura 7; sin embargo, el proceso no parece mejor que los ya descritos, sobre todo debido a los bajos rendimientos de producción y la complejidad del proceso de purificación (López & Canales, 2004).

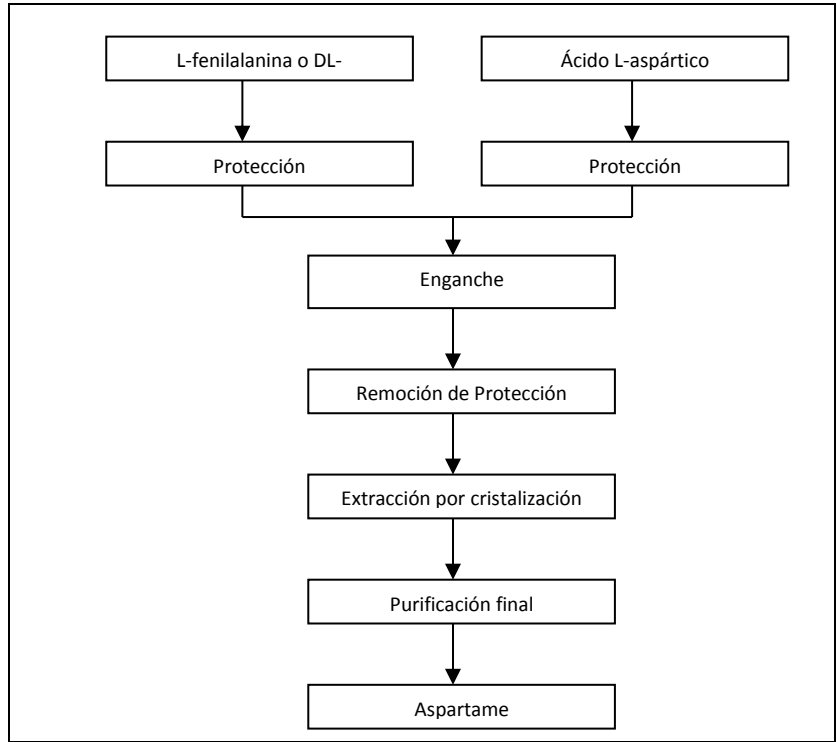


Figura 6: Producción de aspartame por el proceso de Toyo Soda Co. Inc. Fuente: (Mitchell, 2006).

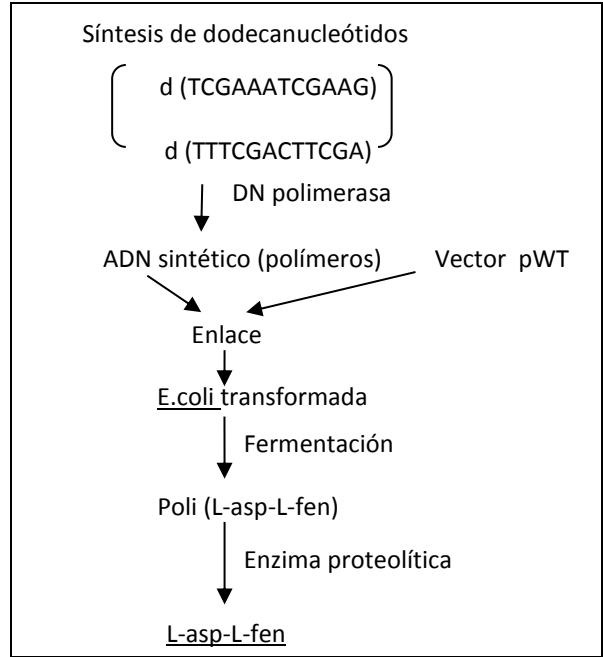


Figura 7: Síntesis del aspartame por ADN recombinante. Fuente: (López & Canales, 2004).

## Toxicología

El aspartame es uno de los ingredientes más estudiados a fondo en el suministro de alimentos y se puso a prueba en más de 100 estudios científicos antes de su aprobación por la FDA en 1981. Los estudios se realizaron en animales de laboratorio y seres humanos, incluyendo niños pequeños, niños y adultos, mujeres en periodo de lactancia, personas con diabetes, personas obesas y las personas con fenilcetonuria. Después de estos estudios se aprobó el aspartame (Aspartame.org, 2009).

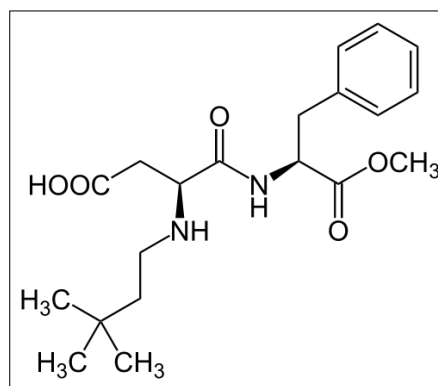
En 1981, el aspartame fue aprobado para su uso como edulcorante de mesa y diversos alimentos y mezclas secas para bebidas, convirtiéndose en el primer edulcorante de bajas calorías aprobados por la FDA en más de 25 años. En 1983, la FDA aprobó el aspartame para utilizar en las bebidas carbonatadas seguido de un número de otras aprobaciones categoría de productos, dando lugar una autorización de su uso general en alimentos y bebidas en 1996 (Aspartame.org, 2009).

Ahora está permitido su uso en más de 75 países en donde es utilizado en más de 1700 productos (Fennema, 2000).

La cantidad de metanol que se genera en el momento de ser metabolizado no es significativa ya que la cantidad derivada de una bebida endulzada con aspartame es comparable a la presente naturalmente en el mismo volumen de un jugo de frutas (Voet, et al., 2009).

### **b) Neotame**

El neotame o neotamo (figura 8), es un éster de metilo dipéptido derivado del aspartame (ISO, 2012) con un peso molecular de 378.46 g/mol y una fórmula molecular  $C_{20}H_{30}N_2O_5$  que está destinado para su uso en alimentos como edulcorante y potenciador del sabor en una variedad de aplicaciones. El neotame es el nombre común para (N-[N-(3,3-dimetilbutil)-L- $\alpha$ -aspartil]-L-fenilalanina 1-metil éster) (FAO/WHO, 2003), es un derivado del dipéptido compuesto de aminoácidos, ácido aspártico y fenilalanina (Neotame, 2011) y fue descubierto cuando Ajimoto



**Figura 8: Estructura molecular del neotame. Fuente: (Neotame, 2011).**

reevaluado los compuestos de plomo descubiertos por Nofre y la empresa Coca Cola (O'Donnell & Kearsley, 2012).

El neotame se metaboliza rápidamente, se elimina por completo y no se acumula en el cuerpo. La principal ruta metabólica es la hidrólisis del metil éster por las esterasas presentes a través del cuerpo, lo que produce neotame desesterificado y metanol. Debido a que sólo se necesitan cantidades muy pequeñas de neotame para endulzar los alimentos, la cantidad de metanol que se deriva del neotame es muy pequeña en relación con la cantidad que se deriva de los alimentos comunes, tales como jugos de frutas y verduras. Las peptidasas, que típicamente romperían la liga del péptido entre las mitades de ácido aspártico y fenilalanina, quedan esencialmente bloqueadas, reduciendo así la disponibilidad de la fenilalanina (Neotame, 2011). El neotame se elimina por completo a través de la orina y las heces y no se acumula en el cuerpo (FAO/WHO, 2003).

### Propiedades

El neotame es un polvo de color blanco/blanco apagado. Tiene un potencial de dulzura de aproximadamente 8.000 veces mayor que el de la sacarosa, dependiendo de la matriz del alimento en el que se utiliza (FAO/WHO, 2003).

La mayor flexibilidad del neotame y su valor para las empresas de alimentos y bebidas, en combinación con su gran sabor le convierten en una combinación ganadora en cuanto a la introducción de innovaciones al mercado (Neotame, 2011).

### Uso

El neotame tiene un sabor dulce y puro como el del azúcar y funciona de manera eficaz en amplios alimentos como bebidas, postres congelados, helados, yogurt, goma de mascar, dulces, productos de panificación, cubiertas, rellenos, mermeladas, cereales, edulcorante de mesa, entre otros más. Además de que puede utilizarse solo o como parte de un sistema de combinación con otros endulzantes nutritivos o no nutritivos para crear nuevos sabores dulces. El neotame realza de manera única el sabor de otros ingredientes, tales como la menta, en los alimentos y bebidas (Neotame, 2011).

Los individuos con fenilcetonuria pueden consumir alimentos y bebidas que contengan neotame y los productos con neotame no necesitarán de una rotulación especial para este tipo de personas (Neotame, 2011).

### Síntesis

Se fabrica a partir de aspartame y 3-3-dimetilbutiraldehído en una síntesis química de un solo paso que incluye una alquilación reductora, seguido de purificación, secado y molienda (FAO/WHO, 2003).

### Toxicología

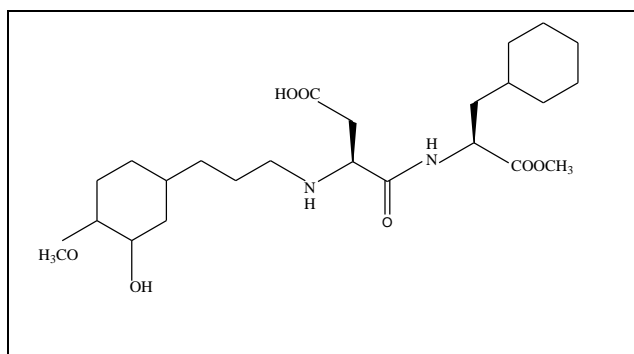
El metabolismo y la farmacocinética del neotame han sido examinados en ratones, ratas, perros, conejos y humanos. Aproximadamente el 20-30% de neotame administrado oralmente es absorbido en todas las especies estudiadas. Más del 95% de neotame administrado por vía oral se metaboliza (FAO/WHO, 2003).

Se han realizado muchos estudios donde no existe evidencia de acumulación de radiactividad en cualquier tejido (FAO/WHO, 2003). Otra batería completa de estudios de seguridad en varias especies animales demuestra la seguridad del neotame, además de demostrar claramente que el neotame no es carcinogénico y no afecta la reproducción, el crecimiento y desarrollo a través de varias generaciones. Tampoco existe evidencia de teratogenicidad o de toxicidad genética (Neotame, 2011) y no se observaron efectos toxicológicos, incluso con cantidades mayores a 40,000 veces la ingesta diaria admisible (0.2 mg/kg del peso corporal) (EFSA, 2007). Por todo esto el neotame fue aprobado para su uso general como endulzante y acentuador de sabor en alimentos y bebidas en el año 2002 por la FDA (Neotame, 2011) y también a la aprobación del JECFA. Sin embargo, en 2011 recibió la autorización como nuevo ingrediente alimentario en la Comunidad Europea (ISO, 2012).

## c) Advantame

La compañía Ajinomoto estuvo buscando desarrollar la próxima generación de edulcorantes intensos y sintetizó un compuesto inicialmente designado ANS9801 y más tarde nombrado Advantame (figura 9) (O'Donnell & Kearsley, 2012).

El advantame tiene una fórmula molecular de  $C_{24}H_{30}N_2O_7 \cdot H_2O$ , un peso molecular de



**Figura 9: Estructura molecular del advantame.**  
Modificado de: (O'Donnell & Kearsley, 2012).

476.52 g/mol y un nombre común de N-[N-[3(3-hidroxi-4-metoxifenilo) propilo- $\alpha$ -aspartilo]-L-fenilalanina 1-metilo ester monohidratado (O'Donnell & Kearsley, 2012), y un poder edulcorante de 20.000 veces mayor que el de la sacarosa (Ajimoto, 2012).

### Propiedades

El advantame es un polvo blanco amarilloso con un punto de fusión de 101.5°C, estable en forma seca mientras que en los sistemas líquidos (ejemplo; refrescos), la degradación se produce a través del tiempo (O'Donnell & Kearsley, 2012).

La calidad del edulcorante se describe como limpio, dulce y similar al del aspartame, notas amargas débiles están presentes. La solubilidad es de 0.009 g/mL a 25°C en 30 minutos en condiciones de 25°C y 60% de humedad relativa. En almacén la pérdida de dulzura es casi imperceptible (O'Donnell & Kearsley, 2012).

### Uso

Advantame también se puede utilizar para mejorar muchos sabores tales como productos lácteos, fruta, cítricos, menta, etc., y se puede utilizar para extender la duración del dulzor en la goma de mascar y mejorar el perfil de dulzura de muchos productos de confitería (Ajimoto, 2012).

### Síntesis

El advantame se sintetiza a partir de aspartame (3-hidroxi-4metoxi-fenilo) propilaldehído en un proceso de N-alquilación de un solo paso, en el que el aspartamo y el aldehído reaccionan con hidrógeno en solución metanólica en presencia de un catalizador de platino. La vainillina se utiliza para derivar el intermedio importante (3-hidroxi-4-metoxifenilo) propilaldehído (O'Donnell & Kearsley, 2012).

### Toxicología

Los resultados de algunos estudios, muestran que el advantame es bien tolerado por los animales y los seres humanos, y no posee toxicidad sistémica. Los resultados de la toxicología animal y de datos de los ensayos en humanos apoyan la seguridad de uso de Advantame en los alimentos (Otabe, et al., 2011).

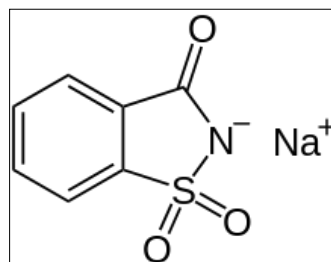
Advantame se aprueba como producto GRAS en lácteos, postres congelados, bebidas, y goma de mascar, cuenta con la aprobación de uso general en Australia/Nueva Zelanda y actualmente está

bajo revisión de la FDA de EE.UU. para aplicaciones de uso en seco y en la Unión Europea para uso general (Ajimoto, 2012).

#### d) Sacarina

La sacarina (figura 10) es un benzisotiazol (Cubero, et al., 2002) y es el edulcorante artificial más antiguos, descubierto en 1879 (Voet, et al., 2009) por Fahlberg and Remsen (Navarro, 2012) y comúnmente comercializada por Sweet N Low<sup>®</sup> (Voet, et al., 2009), y es uno de los edulcorantes más empleados (Badui, 2006). Su uso se incrementó considerablemente durante las dos Guerras Mundiales debido a la escasez de azúcar (Association, s.f.).

La sacarina tiene la denominación química de 3-oxo-2,3-dihidrobenzo(d)isotiazol-1,1-dióxido y la fórmula empírica  $C_7H_5NO_3S$ . (Navarro, 2012) y las sales sódicas y cálcicas y la forma acídica libre de la sacarina se utilizan como edulcorantes no nutritivos (Fennema, 2000).



**Figura 10: Estructura química de la sacarina.**  
Fuente: (Cubero, et al., 2002).

La sacarina es absorbida lentamente en el intestino, y no se metaboliza en el organismo humano, siendo excretada rápidamente en la orina sin modificar. Solamente en casos extremos (pH <2) el producto de descomposición es el ácido o-sulfo-benzoato de amonio (Navarro, 2012).

#### Propiedades

La sacarina es un polvo blanco cristalino anhidro, no higroscópico poco hidrosoluble (Navarro, 2012), presenta un dulzor de 300-400 veces más que el de la sacarosa. Es estable a pH de entre 2-9 y a tratamientos térmicos moderados (Badui, 2006). Cuando se combinan pH extremos (ácidos o básicos) y temperaturas elevadas, la sacarina se hidroliza parcialmente. (Cubero, et al., 2002).

Comercialmente se encuentra tanto en la forma sódica como en la cálcica y ambas son muy solubles en agua (600 g/L) (Badui, 2006).

La forma que tiene mayor poder edulcorante es la sal sódica dihidratada, pero presenta el inconveniente de dejar cierto sabor residual amargo o “metálico”, lo que ha supuesto su eliminación de ciertos productos al descubrirse otros edulcorantes con mejores propiedades organolépticas (Cubero, et al., 2002).

Las ventajas asociadas a su empleo son su elevada estabilidad (en almacenamiento), a tratamientos térmicos intensos (estable hasta 500°C), horneado y gama amplia de pH, no es cariogénica, prevención de caries dental, indicación para diabéticos y sinergismo con otros edulcorantes bajos en calorías (Navarro, 2012).

Una de las desventajas de este edulcorante es que presenta el inconveniente de que provoca un resabio amargo metálico, sobre todo en altas concentraciones (Badui, 2006).

### Uso

La sacarina tiene una gran variedad de aplicaciones, utilizándose en: bebidas instantáneas, bebidas refrescantes, edulcorante de mesa, zumos, té helado, productos lácteos, confituras, mermeladas, dulces, repostería, sidra, encurtidos, salsas, fruta y pescado en conserva, goma de mascar, multivitaminas, helados, gelatinas, chocolate, pasta de dientes y enjuagues bucales, productos farmacéuticos, pero no se recomienda su uso en mujeres embarazadas (Association, s.f.).

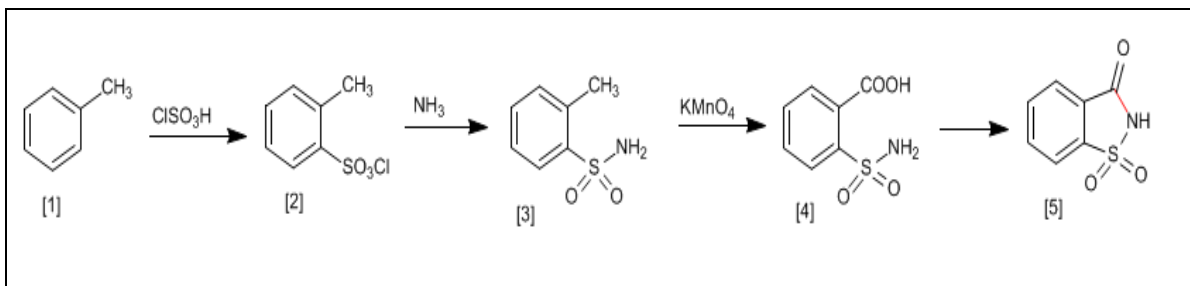
En los últimos años la forma de utilizar la sacarina está cambiando, utilizándose más como sinérgico de otros edulcorantes como aspartame y en especial con ciclamato, que como edulcorante mayoritario (Cubero, et al., 2002). Se usa en mezclas con otras sustancias para enmascarar su regusto desagradable y/o el proporcionarle volumen o cuerpo como edulcorante (Navarro, 2012).

### Síntesis

La síntesis de la sacarina puede ser por dos procesos:

- A partir del tolueno (figura 11) por el método de Remsen/Fahlberg que origina 31 impurezas distintas en el producto final (la principal es el o-tolueno sulfonamida) (Navarro, 2012).
- A partir del ácido antranílico (Cubero, et al., 2002), o el anhídrido ftálico por el método de Maumee, que permite obtenerla con mayor pureza, obteniendo un producto final con 23 impurezas distintas, pero exento de o-tolueno sulfonamida (Navarro, 2012).





**Figura 11: Síntesis de la sacarina a partir del tolueno. Fuente: (Químicaorgánica.org, 2010).**

En la síntesis de la sacarina a partir del tolueno, este se sulfona (1) con el ácido clorosulfónico, formando los cloruros de 2- y 4-toluenosulfonilo, que se separan por recristalización. El cloruro de 2-toluenosulfonilo (2) reacciona con amoníaco formando la 2-toluenosulfonamida (3) que por oxidación con permanganato de potasio se produce sacarina (5) (Químicaorgánica.org, 2010).

### Toxicología

A pesar de que el hombre elimina la sacarina por la orina, existe mucha controversia sobre su inocuidad; se considera que algunas de las impurezas de su síntesis son tóxicas, aun cuando esté depende de la materia prima de que se parta (Badui, 2006).

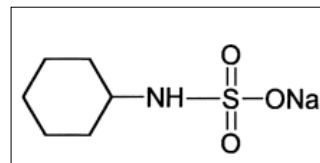
La toxicidad de la sacarina es muy débil. A pesar de ello, su consumo no ha estado exento de cierta controversia al haber sido asociado con un aumento de la incidencia de tumores de vejiga en animales de experimentación (ratas, ratones), cosa que no ha sido puesta de manifiesto en estudios realizados en humanos. En la década de los 70 varios grupos de investigación indicaron que dosis altas de sacarina (5% de la dieta en peso) eran capaces de inducir la aparición de cáncer de vejiga al considerarse varias generaciones de animales. La FDA empleó dosis superiores de hasta el 7.5% de sacarina respecto al peso total de la dieta, originando un incremento en el número de tumores de vejiga detectados. Como consecuencia, la FDA inició una campaña para la retirada del producto como aditivo alimentario, cosa que no se produjo, ya que el Congreso Americano en 1977, ante las protestas de las empresas afectadas y de algunas asociaciones entre ellas las de los diabéticos motivaron que se estableciera una moratoria a la prohibición, indicando la necesidad de ejecución de estudios experimentales complementarios. En el caso del mono, se vio que la sacarina atravesaba la barrera placentaria, aunque no ocurría lo mismo en la rata, ratón o conejo. Esta embriotoxicidad y los tumores en la vejiga parece ser que están relacionados con las altas dosis empleadas en los experimentos y las impurezas presentes en la sacarina (o-toluenosulfonamida) (Navarro, 2012). En el presente se considera que esas dosis están muy lejos del

rango utilizado para endulzar, de modo que no hay motivo de preocupación para los usuarios (Voet, et al., 2009).

En EE UU, la FDA propuso en 1977 una prohibición de la sacarina, sobre la base de estudios realizados con ratas a dosis extremadamente elevadas. La propuesta de prohibición fue oficialmente retirada en 1991, aunque se siguió exigiendo que los alimentos y bebidas que llevarán sacarina lleven una etiqueta de advertencia. En 2000, tras años de estudios científicos y de investigaciones complementarias, se aprobó una legislación que da a la sacarina luz verde desde un punto de vista sanitario y elimina el etiquetado de precaución (Association, s.f.).

### e) Ciclamato

El ciclamato (figura 12) es un edulcorante no calórico que tiene una fórmula química de  $C_6H_{13}NO_3NSNa$  con un peso molecular de 201.23 g/mol y su fórmula corresponde con el ácido ciclohexilsulfámico y sus sales (Cubero, et al., 2002) y fue descubierto en 1937 por Sveda (Navarro, 2012).



**Figura 12: Estructura molecular del ciclamato.** Fuente: (Cubero, et al., 2002).

Un avance significativo en la década del 50 referente a los edulcorantes artificiales fue la entrada del ciclamato debido a que esta molécula presenta un sabor de mayor aceptación que la sacarina, además de permitir alcanzar un mejor mezclado en los productos cuando está solo o acompañado de sacarina, mezcla que se vendió como 'Sweet'n'Low' en los Estados Unidos (Weihrauch M, 2004).

#### Propiedades

Es un polvo blanco cristalino inodoro, con un amplio margen de estabilidad a pH (2-10) (Cubero, et al., 2002), elevadas temperaturas (resiste hasta 500°C) y al almacenamiento. Su intenso empleo se relaciona con su solubilidad en agua (210 g/L) (Navarro, 2012) lo que permite una utilización sin problemas en las bebidas y en todo tipo de procesados (Cubero, et al., 2002).

Su forma más común de aplicación es la sal sódica o cálcica de este ácido, su PE es de 30-80. El dulzor que proporciona se alcanza de forma lenta (Fennema, 2000) siendo duradero sin aparición de regustos finales desagradables, a concentraciones de uso normales (Cubero, et al., 2002).

Debido a su PE relativamente bajo, el ciclamato se utiliza siempre en asociación con otro edulcorante bajo en calorías. Sin embargo, también exhibe cualidades de suma de sinergias

cuando se combina con acesulfame-K y aspartame (las combinaciones son más dulces que la suma de los edulcorantes por separado) (ISO, 2012).

#### Uso

Se emplea como edulcorantes de mesa, bebidas instantáneas, refrescos, batidos, té helado, bebidas isotónicas, cereales para desayuno, productos lácteos, pasteles y productos horneados, conservas de frutas, mermeladas y confituras, pudines, flanes, gelatinas, galletas, chocolate, productos farmacéuticos.

Teniendo en cuenta las propiedades físicas el ciclamato y sus sales pueden utilizarse en los mismos grupos de alimentos que la sacarina pero hay que tener en cuenta las dosis (Cubero, et al., 2002).

#### Síntesis

Los ciclamatos se producen por la sulfonación de la ciclohexilamina (Badui, 2006) con ácido clorosulfónico (Cubero, et al., 2002). Las impurezas que origina son ciclohexilamina, dicitlohexilamina y anilina (Navarro, 2012).

#### Toxicología

El ciclamato (ciclohexilsulfamato) se aprobó como aditivo alimentario en EE UU en 1949, (Fennema, 2000). Las sales de sodio y de calcio del ciclamato fueron usadas desde 1956 hasta 1969 cuando fueron prohibidas por la FDA de EE UU debido a que se le señaló como carcinógeno potente (Ni, et al., 2009) debido a que el ciclamato y sus productos de hidrólisis, la ciclohexilamina, producen cáncer de vejiga (Bryan & Erturk, 1970). Además de que su ingesta produce alta presión sanguínea, atrofia testicular, mutagenicidad, tumores en vejiga, deformaciones en feto, así como daños en cromosomas, en animales de laboratorio. (Valdés & Ruiz, 2009). Sin embargo, intensas investigaciones posteriores no corroboran esas experiencias previas, de ahí que se hayan producido peticiones en EE UU para la reimplantación del ciclamato como un edulcorante permitido (Fennema, 2000). Hasta ahora, aunque muchos datos apoyen la conclusión de que ni el ciclamato ni la ciclohexilamina son carcinógenos o genotóxicos (Brusick, et al., 1989) la FDA por varias razones, no ha permitido la readmisión de su uso en los alimentos.

En Canadá se limitó su empleo a caramelos y en 1978 fue aprobado su uso para la industria farmacéutica. Los estudios con respecto a la seguridad continuaron y en 1985 la National Research Council concluyó que el ciclamato en sus diferentes presentaciones no es carcinogénico, pero en presencia de otras sustancias puede ser co-carcinogénico (Valdés & Ruiz, 2009).

Actualmente está permitido en China (Ni, et al., 2009), Taiwán, Indonesia, Australia, Nueva Zelanda, la UE y México (Horie, et al., 2007).

## f) Acesulfame de potasio

El acesulfame de potasio [(6-metil-1, 2,3-oxatiazina-4 (3H)-ona-2,2-dióxido)] (figura 13) es un edulcorante no calórico que fue descubierto por Karl Kraus y Harald Jensen en Hoechst, Alemania en 1967 y fue aprobado en EE UU en 1988 (Fennema, 2000), y suministrado bajo la marca Sunett , Sweet One, Swiss Sweet (ISO, 2012).

El complejo nombre químico de esta sustancia ha llevado a la utilización del nombre comercial, acesulfame K, basado en sus relaciones estructurales con el ácido acetoacético (Fennema, 2000) ( $\text{CH}_3\text{COCH}_2\text{COOH}$ , ACESulfame), el ácido sulfámico ( $\text{NH}_2\text{SOOOH}$ , aceSULFAME) (Badui, 2006) y a su sal potásica natural (Fennema, 2000).

El acesulfame se absorbe en el intestino delgado y es excretado por vía renal sin ser metabolizado, por lo que no produce energía (Fennema, 2000).

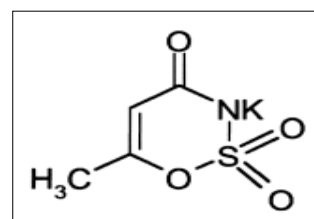
### Propiedades

El acesulfame de potasio es un polvo cristalino blanco el cual mantiene sus propiedades sensoriales en un intervalo amplio de pH y temperatura ( $>100^\circ\text{C}$ ) (Badui, 2006). Es muy soluble en agua a temperatura ambiente (270g/L) y aumenta con la temperatura llegando a ser de 1000 g/L a  $100^\circ\text{C}$  (Cubero, et al., 2002).

Su PE es de 130-200 veces más dulce que la sacarosa (FAGRAN, 2007) y su dulzor se percibe muy rápidamente, pero también decae con facilidad, el sabor es muy limpio y sin aparición de regustos cuando se utiliza en concentraciones elevadas. Es sinérgico con otros edulcorantes incluidos polioles y puede enmascarar sabores residuales de éstos (Cubero, et al., 2002).

### Uso

El acesulfame-K tiene un alto grado de estabilidad cuando se expone al calor, lo que hace que sea un edulcorante versátil con un uso potencial en una amplia gama de alimentos y bebidas (Patil, et al., 2012); como chicles, productos en polvo, tabletas edulcorantes, caramelos, pastillas



**Figura 13: Estructura molecular del acesulfame de potasio.** Fuente: (Cubero, et al., 2002).

refrescantes, productos lácteos, bebidas alcohólicas, bollería (Cubero, et al., 2002), lácteos, panificación, dulces, bebidas carbonatadas y no carbonatadas, concentrados para bebidas, bebidas alcohólicas, edulcorante de mesa, conservas de frutas y verduras, goma de mascar, encurtidos, salsas, condimentos, pasta de dientes, enjuagues bucales, productos farmacéuticos.

Tiene un efecto sinérgico con el aspartame, la sucralosa, y la fructosa (Badui, 2006).

### Síntesis

Industrialmente se puede conseguir la síntesis de este componente por (Cubero, et al., 2002):

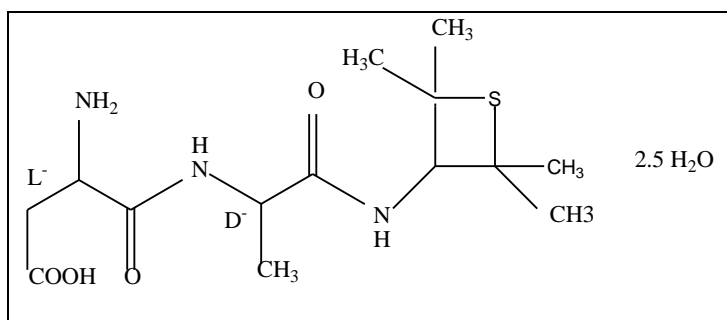
- Condensación de fluorosulfonilisocianato con acetoacetato de terbutilo o con propilo
- A partir de acetoacetamida, de síntesis más sencilla.

### Toxicología

Ha demostrado ser un edulcorante no tóxico en estudios de laboratorio, incluyendo estudios de carcinogenicidad, mutagenicidad y teratogenicidad. Ciertos estudios realizados en ratas, mostraron que podía ser causante de tumores en el pulmón o en las glándulas mamarias y elevar el nivel de colesterol en ratas diabéticas. La FDA señaló que este análisis mostraba que dichos tumores eran típicos y podrían encontrarse en forma rutinaria, por lo cual la evidencia de que sea un carcinogénico no es concluyente (Valdés & Ruiz, 2009).

## **g) Alitame**

El alitame o también conocido como alitamo [L- $\alpha$ -aspartil-N-(2,2,4,4-tetrametil-3-tietanil)-D-



**Figura 14: Estructura molecular del alitame. Modificado de: (López & Canales, 2004).**

alaninamida] (figura 14), está formado por un dipéptido del ácido L-aspartico y D-alanina, con un radical N-sustituido-amina tetrametiltietanil (WHO/FAO, 2003).

Es un edulcorante acalórico con base de aminoácido (Fennema, 2000) que se deriva de los aminoácidos D-alanina y ácido aspártico,

adicionados de una amida (Badui, 2006). Teniendo una fórmula química de  $C_{14}H_{25}N_3O_4S \cdot 2.5 H_2O$  y un peso molecular de 376.5 g/mol en su forma hidratada (FAO, s.f.).

Este edulcorante fue desarrollado por Pfizer (López & Canales, 2004) y se propuso su uso como edulcorante a principios de la década de los 80 (Alitame, 1995) y es comercializada en México, Australia y Nueva Zelanda con el nombre de Aclame<sup>®</sup> (Mortensen, 2006).

Posee un PE de alrededor de 2.000 veces el de la sacarosa, exhibiendo un sabor dulce similar al de la sacarosa (Fennema, 2000). Este poder endulzante es debido a que el anillo tioetano del alitame contiene un átomo de azufre, el cual mejora el PE, se ha estudiado que esta situación aumenta 7 veces este poder con respecto al análogo carbonado (Spillane & Thompson, 2009).

Aunque el componente de ácido aspártico se metaboliza, su contribución al valor calórico es insignificante ya que el alitame es un intenso edulcorante. La otra mitad de la molécula del alitame, la alanina amida, pasa a través del organismo con los mínimos cambios metabólicos (Fennema, 2000).

#### Propiedades

El alitame es un polvo blanco, cristalino, inodoro o con un ligero olor característico. (FAO, s.f.). El alitame es soluble en agua y etanol (FAO/WHO, 2002). Tiene buena estabilidad a temperaturas elevadas y un rango amplio de pH (WHO/FAO, 2003).

El alitame no tiene las cualidades amargas o metálicas de los edulcorantes fuertes. Tiene un sabor dulce limpio por lo que se usa en mezclas con otros edulcorantes sintéticos con el fin de eliminar los sabores residuales de estos, especialmente el metálico, tiene efecto sinérgico cuando se combina con otros edulcorantes artificiales (Mortensen, 2006).

Durante la degradación del alitame se forma el isómero  $\beta$  por el reordenamiento en la estructura de la molécula (COT, 2002) y en almacenamiento prolongado en soluciones algo acidas puede producir sabores desagradables. (Fennema, 2000).

#### Uso

Puede ser utilizado en una amplia gama de alimentos y bebidas, como edulcorantes de mesa, gaseosas, derivados lácteos, postres, productos que contienen fruta, productos horneados, goma de mascar y otras confituras y dulces (Mortensen, 2006).

Su uso no está autorizado por todos los países, pero algunos lo permiten en ciertos alimentos (Badui, 2006).

### Síntesis

El alitame se sintetiza a través de una reacción de múltiples pasos entre 2 intermediarios, el (S)-[2,5-dioxo-(4-tiazolidina)] ácido acético y el <sup>®</sup>-2-amino-N-(2-2,4,4-tetrametil-3-tietanil)propanamida; el producto final se forma como un aducto del ácido bencensulfónico, el cual se purifica en etapas sucesivas y se recristaliza finalmente en agua (FAO, s.f.).

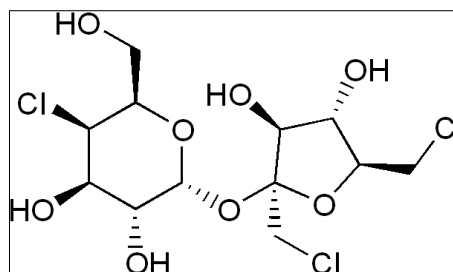
### Toxicología

Se considera que el alitame es un edulcorante apto para el consumo humano al haber sido evaluado en 15 diferentes estudios realizados en animales y en el ser humano (Badui, 2006).

Investigaciones exhaustivas indican que el alitame es seguro para el consumo humano, por lo que ya en 1986 se solicitó su aprobación a la FDA de EE UU. Sin embargo, hasta ahora aún no se permite su uso en EE UU aunque sí ha sido aprobado en Australia, Nueva Zelanda, China y México (Fennema, 2000).

## **h) Sucralosa**

La sucralosa (1,6-dicloro-1,6-didesoxi-β-fructofuranosil-4-cloro-α-D-galactopiranósido) (figura 15) es un edulcorante de bajas calorías producido por la cloración selectiva de la molécula de sucralosa (Fennema, 2000). Ha sido desarrollada en conjunto mediante un acuerdo entre McNeil Nutritionals, LLC (una empresa de Johnson & Johnson) y Tate & Lyle (FAGRAN, 2007), pero es comercializada bajo la marca SPLENDA<sup>®</sup> (Council, 2009).



**Figura 15: Estructura molecular de la sucralosa. Fuente: (Council, 2009).**

El cuerpo no utiliza la sucralosa, esta pasa rápidamente a través del cuerpo, prácticamente inalterada. El 85% de la sucralosa ingerida es eliminada por las heces y el 15% que se absorbe de manera pasiva no puede ser metabolizada con fines energéticos debido a su alta solubilidad en agua y al no ligarse a las proteínas plasmáticas es eliminada por vía renal sin decloración en 24 horas de su consumo sin efecto osmótico alguno (Nutritionals, 2000).

### Propiedades

La sucralosa tiene una estructura similar al azúcar, aunque es 600-800 veces más dulce (Gil & Ruíz, 2010), es estable a pH de 3-7 y resiste las altas temperaturas (Badui, 2006). Esto debido a los tres cloros presentes en su estructura (Nutritionals, 2000). Tiene un elevado grado de cristalinidad y alta solubilidad en agua (Fennema, 2000) (250 g/L) (Badui, 2006).

Su sabor es muy semejante al de la sacarosa y sin resabio amargo. (Badui, 2006), retiene su sabor dulce durante todos los procesos de fabricación de alimentos y bebidas (Council, 2009) poseyendo un perfil edulcorante en relación tiempo-intensidad similar a la sacarosa (Fennema, 2000), permitiendo que se utilice prácticamente en cualquier lugar en que se emplea el azúcar.

Al igual que el azúcar, la sucralosa se hidroliza en solución, pero a diferencia del azúcar se hidroliza sólo en un período de tiempo extendido y en condiciones extremas de acidez y temperatura (FAGRAN, 2007).

Puede ser utilizada por todas las poblaciones, inclusive las mujeres embarazadas, las madres lactantes y los niños de todas las edades. La sucralosa es beneficiosa para las personas con diabetes, porque las investigaciones demuestran que no tiene efecto en el metabolismo de los carbohidratos, el control de la glucosa en sangre a corto o largo plazo ni la secreción de insulina y no es cariogénico (FAGRAN, 2007).

### Uso

En 1998, La FDA otorgó la aprobación del uso de la sucralosa en 15 categorías de alimentos y bebidas. Finalmente, en 1999, amplió su utilización, denominándola un edulcorante de aplicación general (Gil & Ruíz, 2010).

Presenta una muy buena estabilidad a altas temperaturas, de ahí que se considere un excelente ingrediente en productos de panadería, productos que requieran pasteurización, etc. También es bastante estable al pH de las bebidas no alcohólicas carbonatadas (Fennema, 2000). Además de ser usado como edulcorante de mesa, en frutas procesadas, chicles, mezclas secas, salsas de frutas, productos lácteos, helados, aderezos para salsas, productos farmacéuticos, etc. (FAGRAN, 2007).



### Síntesis

La sucralosa se obtiene del azúcar a través de un proceso de elaboración patentado, mediante el cual se sustituyen selectivamente tres grupos hidroxilo de la molécula de azúcar con tres átomos de cloro (Badui, 2006).

### Toxicología

En agosto de 1999 la FDA de EE.UU. publicó su aprobación de la sucralosa como “edulcorante para fines generales en alimentos”. Esto significa que puede usarse sucralosa en cualquier alimento con los niveles de las BPF en los EE.UU (FAGRAN, 2007).

La seguridad de la sucralosa está documentada por uno de los programas de pruebas de seguridad más exhaustivo y riguroso que se haya realizado jamás en un nuevo aditivo alimentario. Más de 100 estudios realizados y evaluados a lo largo de un período de 20 años demuestran claramente la seguridad de la sucralosa. Los estudios se realizaron en una amplia gama de áreas, con cantidades muchas veces más elevadas que los niveles de consumo reales, para determinar si había algún riesgo para la seguridad relacionado con cáncer, efectos genéticos, reproducción y fertilidad, defectos de nacimiento, inmunología, el sistema nervioso central y el metabolismo. Todos estos estudios concluyeron que la sucralosa era segura para el consumo humano y que no hay efectos secundarios (Council, 2009).

## **2. Edulcorantes naturales**

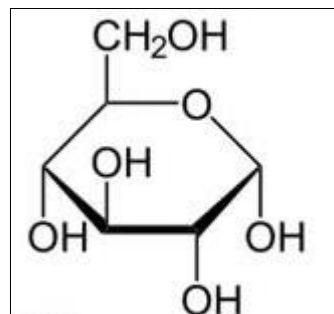
### **I. Edulcorantes sacáridos**

Para la elaboración de un gran número de alimentos, la industria ha empleado tradicionalmente diversos mono y disacáridos, como la glucosa, la sacarosa, el azúcar invertido y la lactosa.

Los azúcares provienen de fuentes naturales como la caña de azúcar, la remolacha, los almidones, las frutas, etc.; su obtención implica el uso de tecnología especializada que, afortunadamente, ha evolucionado gracias a la creación de equipos que optimizan los procesos, a la recuperación de la energía liberada en el proceso de obtención, a la automatización y, en resumen, a la reducción de costos.

## a) Glucosa

Esta hexosa (figura 16) es también conocida como azúcar de la uva, siendo muy importante desde el punto de vista nutricional y de la composición de los alimentos, dado que es la estructura utilizada para formar otros hidratos de carbono complejos (Salmerón, 2008). La glucosa es dextrorrotatoria (es decir, gira a la derecha sobre el plano de la luz polarizada) y también se le conoce con el nombre de dextrosa (Badui, 2006).



**Figura 16: Estructura molecular de la glucosa.** Fuente: (Salmerón, 2008).

Históricamente podemos remontarnos hasta principios del siglo pasado (siglo XIX), cuando Kirchoff descubrió que al calentar almidones con ácidos, se obtenía un licor dulce en el que posteriormente se encontró glucosa. En la Tabla 3 se presenta un desarrollo histórico de lo que han sido los procesos de hidrólisis del almidón (López & Canales, 2004).

**Tabla 3: Historia de los procesos de hidrólisis de almidón para la obtención de glucosa.**

Época	Materia prima (Almidón 30-45% materia prima)
Hasta los 50's	Acidificación: (HCl pH = 1.5) Hidrólisis: (T = 150°C a presión) ED = función del tiempo de hidrólisis Con 45 min : DE = 90 con 86%
Hasta los 60's	Acidificación: (HCl pH = 1.5) Hidrólisis: (5-10 min, T = 150°C a --- DE = 12 a 20 Reacción con amiloglucosidasa: (pH = 4-4.5 T = 60°C por 3 días Jarabe de glucosa DE = 90-92
Entre los 60 y 70's	Licuefacción: con $\alpha$ -amilasa (pH = 5.5-7.0; T = 70-90°C) -DE = 20-30 Sacarificación: con amiloglucosidasa (pH = 4-4.5; T = 60°C, 48-100 h).
Después de los 70's	Licuefacción: con $\alpha$ -amilasa termorresistente (6 min a 105°C, 2 h a 95°C)---DE = 8-12 Sacarificación: con amiloglucosidasa (pH = 4-4.5; T = 60°C, 48-100h). Jarabe de glucosa: DE = 96-98 (92-96% glucosa)
En el siglo XXI	Licuefacción: enzima $\alpha$ -amilasa termorresistente, (pH= 5.0; T = 80-110°C) Sacarificación: glucoamilasa (pH =4.5; T = 60-70°C) Jarabe de glucosa DE = 96

DE = Dextrosa Equivalente

Fuente: (López & Canales, 2004) (Ruiz, et al., 2009).

### Propiedades

La glucosa tiene un poder edulcorante mucho menor (0.8) que la sacarosa, y sigue teniendo el mismo valor calórico que la sacarosa (4 Kcal/g) (Salmerón, 2008). Es un tipo de azúcar muy viscoso que se usa en pastelería para determinados preparados, y que ofrece mejores resultados que la sacarosa (azúcar), ya que no se cristaliza con la misma facilidad. La función principal de la glucosa es proporcionar cuerpo y textura a un alimento (Vértice, 2010).

El *jarabe de glucosa* es una solución acuosa concentrada y purificada de sacáridos nutritivos obtenidos del almidón, cuyo contenido de sólidos es mayor que 70% m/m y el contenido de azúcares reductores es mayor que 20%. A los jarabes de glucosa también puede removerse parcialmente el agua y obtener lo que la FDA denomina “jarabe de glucosa seca” ó “sólidos de jarabe de glucosa”. También se trata de uno de los productos más utilizados por la industria confitera y de alimentos procesados ya que proporcionan dulzura, equilibrio adecuado de azúcares en las formulaciones, control de cristalización, brillo, maquinabilidad, textura, viscosidad, depresión del punto de congelamiento, aumento de la presión osmótica, pardeamiento (reacción de Maillard) y humectación (INNOVAL, 2009).

Cuando los jarabes de dextrosa de alto contenido de D-glucosa se someten a un proceso de cristalización, se obtienen dos tipos de dextrosa comercialmente conocidos como Dextrosa monohidratada y Dextrosa Anhidra. La *Dextrosa Monohidratada* tiene una amplia gama de aplicaciones. Posee una dulzura refrescante y suave para acentuar el sabor y un alto poder reductor para ayudar al pardeamiento del producto final y la *Dextrosa Anhidra* es un producto de alta pureza con muy baja humedad total; la mejor opción para sistemas sensibles al agua como el chocolate y otras aplicaciones (Ingredion, 2009).

### Uso

La glucosa es empleada en la elaboración de diversos productos, en confitería y alimentos procesados (López & Canales, 2004). Trabajándolo sobre piedra fría, se obtienen los glaseados para cubrir los pasteles, bollitos y pastas de “petit-choux”. Para determinadas preparaciones, sustituyendo una parte de azúcar por glucosa, se obtienen masas más elásticas que se pueden trabajar mejor. En la elaboración de almíbares o caramelos, el resultado serán productos menos viscosos y con menos capacidad de adherencia (flanes, tocinillos y pudines más fácilmente desmoldables) (Vértice, 2010).

## Síntesis

Industrialmente se obtiene por hidrólisis del almidón o fécula, o de la inulina (Salmerón, 2008).

Con el nombre de jarabes de glucosa se conocen una serie de hidrolizados de almidón que se obtienen mediante hidrólisis ácida y/o enzimática de almidón de maíz o de trigo. Combinando estos dos métodos de hidrólisis se obtienen distintos jarabes de glucosa en los que la concentración de dextrosa, maltosa, triosa y maltodextrinas, cambia en función del proceso de hidrólisis empleado y de su intensidad. La isomerización posterior de la dextrosa transformándola parcialmente en fructosa, permite introducir una variable en la composición de los jarabes de glucosa y ampliar así su campo de aplicación y su interés como edulcorante en distintos tipos de productos (Boatella, et al., 2004).

Dependiendo del método utilizado para hidrolizar el almidón y en la medida en que la reacción de hidrólisis se ha permitido que proceda, se producen diferentes grados de jarabe de glucosa, que tienen diferentes características y usos. Los jarabes son una categoría en función de su equivalente de dextrosa. Cuanto más avanza el proceso de hidrólisis, los azúcares reductores incrementan y así la dextrosa equivalente (Vértice, 2010). (Tabla 4)

DE = cantidad de azúcares reductores expresado en porcentaje (NMX-F-217-1975, 1975)

**Tabla 4: Propiedades de los diferentes tipos de jarabe de glucosa.**

Jarabe de Glucosa	43	44	45
<b>Propiedades Fisicoquímicas</b>			
Aspecto	Líquido viscoso transparente		
Color	Incoloro a ligeramente amarillo		
Sabor	Dulce		
Densidad (°Bé)	42.5 a 43.5	43.6 a 44.5	44.6 a 45.1
Dextrosa Equivalente (%)	39 a 42	39 a 42	39 a 42
pH	4.7 a 5.3		
<b>Datos nutricionales /100g</b>			
Calorías	390	390	380
Sólidos totales (g)	81	84	85
Carbohidratos totales (g)	81	84	85
Azúcares simples (g)	24	26	25
Otros carbohidratos (g)	57	58	59.5

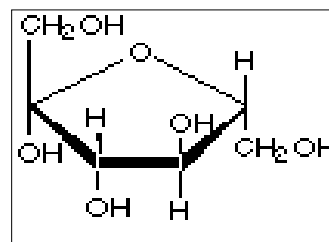
Fuente: (NMX-F-005-1983, 1983).

## Toxicología

La glucosa no genera daño alguno en aspectos toxicológicos, solo debe evitarse por las personas diabéticas.

### **b) Fructosa**

La fructosa o levulosa (figura 17) es el más dulce de todos los azúcares naturales, encontrándose principalmente en frutas y miel (López & Canales, 2004). Conocida como el azúcar de la fruta, la fructosa también es el azúcar predominante de la miel. Por su alto poder edulcorante, mayor que la sacarosa, pero metabolizada más lentamente que la glucosa, y por esto es ampliamente utilizada en productos para diabéticos (Salmerón, 2008).



**Figura 17: Estructura molecular de la fructosa.** Fuente: (López & Canales, 2004).

Hay dos vías para el metabolismo de la fructosa; una tiene lugar en el músculo y la otra en el hígado. El metabolismo de la fructosa en el músculo involucra un solo paso para llegar a la glucólisis, mientras que el hígado convierte la fructosa en intermediarios glucolíticos a través de una vía que involucra siete enzimas (Voet, et al., 2009).

El JMAF comenzó por primera vez a dejar huella en el mercado de los edulcorantes de Estados Unidos a mediados de los años 70 cuando los precios del azúcar se dispararon y aparecieron nuevas tecnologías para trabajar con enzimas (ISO, 2012).

## Propiedades

La fructosa también proporciona 4Kcal/g (Navarro, 2012) y tiene un poder edulcorante de 1.8 veces más dulce que la sacarosa y menor costo de producción (Badui, 2006) el cual contiene ya sea 55% o 42% de fructosa (Tabla 5), y el resto mayormente de glucosa y un bajo porcentaje de otros azúcares (Dahl, et al., 2012). Otras propiedades funcionales son que realzan el sabor, color y estabilidad del producto, y produce una elevación más lenta de los niveles de glucemia. También se utiliza como edulcorante sinérgico con la sacarosa y otros edulcorantes intensos (Navarro, 2012) y puede adicionarse a los alimentos y bebidas en forma cristalina o como JMAF.

La presencia de ácidos incrementa el dulzor en la fructosa, pero la presencia de carboximetilcelulosa y el almidón la reducen, porque ocupan los sitios activos receptores (Badui, 2006).

**Tabla 5: Características del jarabe de maíz de alta fructosa.**

		Jarabe de Maíz de Alta Fructosa			
		42		55	
		Características organolépticas			
Aspecto	Líquido viscoso				
Color	Transparente, incoloro a ligeramente amarillo				
Olor	Característico				
Sabor	Característico, dulce				
<b>Características fisicoquímicas</b>		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Dulzor relativo a la sacarosa (%)	92		100		
Sólidos (%)	70.5	71.5	76.5	77.5	
pH	3.3	4.5	3.3	4.5	
Fructosa B.S. (%)	42		55	58	
Viscosidad (cps a 26°C)	160		670		
Temperatura de ebullición (°C)	110		110		
Densidad (kg/L a 20°C)	1.34		1.38		
Perfil de azúcares	Monosacáridos (%)	93		95	
	Otros sacáridos (%)		7		5
Manejo	Mantenerse entre 32°C a 40°C para evitar su cristalización.		Mantenerse entre 26°C a 31°C para evitar su cristalización.		
Aplicaciones	Sustituye a la sacarosa o azúcar invertido en casi todas las aplicaciones convencionales, Mejora la textura, color y sabor del producto terminado, alarga la vida de anaquel debido a su pureza y presión osmótica. Resalta el sabor natural de las frutas, mejorando su cuerpo y brillantez. En la industria panificadora se utiliza por ser fermentable por acción de la levadura.		Por su PE y contenido de sólidos, se puede utilizar como único endulzante en muchas aplicaciones. Algunas de sus propiedades funcionales son: potenciar el sabor, color y brillantez en muchos productos, especialmente de frutas; impartir cuerpo, inhibir la cristalización y hacer el producto más resistente al crecimiento microbiano.		
Usos	Jugos y néctares, gelatinas, cajetas, bebidas lácteas, embutidos, yogurt, mermeladas, jarabes, panificación, repostería, bebidas carbonatas, frutas en conserva, alimentos infantiles, helados, vinos y licores.		Bebidas carbonatadas, helados, jaleas, bebida energéticas, productos lácteos, mermeladas, frutas en conserva, puré de manzana.		

Fuente: (ALMEX, s.f.).

### Uso

Aparece junto a la glucosa en los azúcares invertidos y también se comercializa como fructosa en estado cristalino (Salmerón, 2008). La fructosa, en la forma de jarabe de maíz de alta fructosa (JMAF, o HFCS en Inglés), es añadida a muchos alimentos procesados tales como bebidas carbonadas, comidas al horno, frutas enlatadas y jaleas (Dahl, et al., 2012).

La D-fructosa es más dulce a temperaturas bajas, fenómeno que se aprovecha en la elaboración de bebidas refrescantes que consumen normalmente frías (Badui, 2006).

### Síntesis

La obtención de la fructosa se divide en tres etapas: la licuefacción, la sacarificación y la isomerización. La licuefacción consiste en la hidrólisis parcial del almidón a dextrinas mediante un proceso térmico (75-90°C) en presencia de agua, un pH entre 6 y 7 y el uso de enzimas termotolerantes (*Bacillus licheniformis*), la segunda etapa es la conversión de las dextrinas en glucosa y se usan las glucoamilasas o amiloglucosidasas con una temperatura óptima de reacción entre 50-55°C y pH entre 4-5 obteniendo un jarabe rico en glucosa (HGCS). En el último paso, la isomerización, es convertir la glucosa en fructosa mediante la glucosa isomerasa a un pH de 7.5-8 y una temperatura entre 55-60°C obteniendo un JMAF (Hernández, 2003).

En nivel experimental se ha producido este monosacárido por hidrólisis controlada de la inulina (Badui, 2006).

### Toxicología

Un posible peligro de la ingestión excesiva de fructosa es que su catabolismo en el hígado elude el paso de la glucólisis catalizado por la PFK (PhosphoFructoKinase = fosfofructoquinasa) y, por lo tanto, evita el punto principal de control metabólico. Esto podría interrumpir el metabolismo de los combustibles, de modo que el flujo glucolítico se dirija hacia la síntesis de lípidos en ausencia de la necesidad de producción de ATP. Esta hipótesis sugiere un vínculo entre el aumento tanto del consumo de fructosa como de la incidencia de obesidad en los Estados Unidos (Voet, et al., 2009).

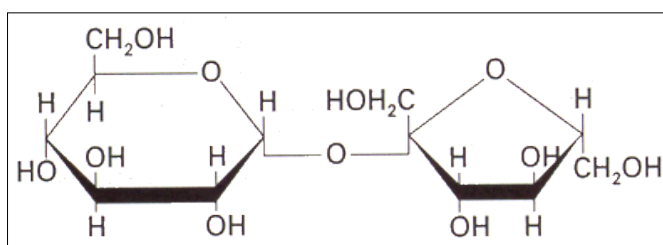
En el extremo opuesto se encuentran los individuos con intolerancia a la fructosa, que es resultado de la deficiencia de la aldolasa de tipo B. En ausencia de la aldosa la fructosa-1-fosfato puede

acumularse lo suficiente como para causar un daño en el hígado, que podría generar hipoglucemia. Sin embargo, la intolerancia a la fructosa es autolimitada (Voet, et al., 2009).

En septiembre de 2010 la organización solicitó a la FDA de EEUU que permitiera utilizar el término 'azúcar de maíz' como declaración alternativa en el etiquetado del JMAF. Se estima que la FDA tardará unos dos años en tomar una decisión sobre si autorizar o no el nuevo término (ISO, 2012).

### c) Sacarosa

La sacarosa ( $\beta$ -D-fructofuranosil- $\alpha$ -D-glucopiranososa) (figura 18) llamada comúnmente azúcar de



**Figura 18: Estructura molecular de la sacarosa.**

Fuente: (López & Canales, 2004).

mesa es el edulcorante más conocido en la industria y el hogar. Se trata de un disacárido compuesto de glucosa y fructosa, extraído de la caña de azúcar y de la remolacha (López & Canales, 2004). Está integrada por una glucosa cuyo carbono aldehídico se une al cetónico de la fructosa,

estableciendo un enlace glucosídico  $\beta$  (1,2) que impide que este disacárido sea reductor por carecer de grupos aldehído o cetonas libres; además, no exhibe mutarrotación (Khan, 1976). Tiene una fórmula molecular de  $C_{12}H_{22}O_{11}$  y peso molecular de 342. 29 g/mol (Badui, 2006).

La fructosa que contiene está como furanosa tensionada, lo que hace que el enlace glucosídico sea muy lábil al calor y a los ácidos, y pueda hidrolizarse con facilidad para producir una mezcla altamente reductora de los correspondientes monosacáridos, de hecho esta unión es de las más sensibles entre todos los disacáridos (Badui, 2006).

La sacarosa es el químico orgánico más abundante en el mundo. Su hidrólisis parcial se aprovecha comercialmente en la elaboración de azúcar invertido usado en bebidas, ya que se reduce el porcentaje de azúcar necesario para proporcionar un dulzor determinado (Badui, 2006).

#### Propiedades

La sacarosa es el edulcorante natural por excelencia, compuesto por 50% de fructosa y 50% de glucosa. También tiene funciones estructurales y de imagen, según el alimento en el que se aplique, ya que aumenta la viscosidad del medio, aportando volumen y textura, y da lugar a



reacciones de caramelización que genera colores deseados en algunos productos (Cubero, et al., 2002).

Este azúcar tiene un grado de solubilidad muy alto (211.4 g/100 mL de agua a 25°C), una gran capacidad de hidratación ( $6.6 \pm 0.7$  Moles H<sub>2</sub>O/mol azúcar) y es menos higroscópico que la fructosa, su punto de fusión es a los 186°C y todas estas características hacen que se emplee en la elaboración de diversos alimentos (Badui, 2006).

El problema del azúcar, desde el punto de vista de la nutrición, consiste en que, por tratarse de una sustancia químicamente pura, no contiene más que azúcar. Carece, en consecuencia, de otras sustancias nutritivas como proteínas, aminoácidos esenciales, vitaminas y minerales, que son indispensables para nuestra nutrición. Suministra solamente energía, pero esto no quiere decir que el azúcar sea dañino. Es de hecho, una importante fuente de energía en la dieta humana (Varela, et al., 1995).

#### Uso

Por ser el edulcorante más conocido en la industria y el hogar, puede ser utilizado para la elaboración de cualquier producto (bebidas, postres, helados, panadería, etc.) (Badui, 2006).

#### Síntesis

La sacarosa se obtiene industrialmente de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) y de la remolacha azucarera (*Beta vulgaris var. Rapa*), y es el edulcorante más utilizado (Navarro, 2012).

A la caña de azúcar mediante presión se le extrae el jugo de la caña. Saliendo el bagazo con aproximadamente 50% de fibra leñosa al cual se le agrega agua caliente (maceración) o jugo diluido (imbibición) para extraer al máximo la sacarosa que contiene el material fibroso. Una vez extraído el jugo se tamiza. Este jugo obtenido es ácido (pH 5.2 aproximadamente) y se trata con lechada de cal caliente (94 a 99°C) hasta llegar a un pH de 8 a 8.5. Posteriormente el jugo se deposita en unos evaporadores con un porcentaje de sólidos solubles entre 10 y 12% y se obtiene una meladura o jarabe con una concentración aproximada de sólidos solubles del 55 al 60%. Posteriormente la meladura es purificada en un clarificador y se continúa con la cristalización en equipos llamados tachos en el que se procesa la meladura y mieles con el objeto de producir azúcar cristalizada mediante la aplicación de calor. El material resultante que contiene líquido (miel) y cristales (azúcar) se denomina masa cocida. Esta mezcla se conduce a un cristizador. Aquí se deposita más sacarosa sobre los cristales ya formados, y se completa la cristalización. La

masa cocida se separa de la miel por medio de centrifugas, obteniéndose azúcar cruda o mascabado, miel de segunda o sacarosa líquida y una purga de segunda o melaza (Veracruz.gob, 2009).

Después sigue la refinación en donde el primer paso se llama afinación, donde los cristales de azúcar mascabado se tratan con un jarabe denso para eliminar la capa de melaza adherente. El jarabe resultante se separa con una centrifuga y el sedimento de azúcar se rocía con agua. Los cristales resultantes se conducen al equipo fundidor, donde se disuelven con la mitad de su peso en agua caliente y se adiciona cal, ácido fosfórico (3 a un millón), se calienta y por medio de aire se mantiene en agitación. El azúcar mascabado, fundida y lavada, se trata por un proceso de clarificación mediante la adición de tierra de diatomeas o un material inerte similar; después se ajusta el pH y la mezcla se filtra. Este sistema proporciona una solución absolutamente transparente. El licor aclarado ya está libre de materia insoluble pero aún contiene gran cantidad de impurezas solubles; éstas se eliminan por percolación en tanques a 82°C que contienen filtros con carbón de hueso o carbón activado. Los jarabes que salen de los filtros se conducen a la galería de licores, donde se clasifican de acuerdo con su pureza y calidad. Los cristales finos de azúcar se hacen crecer a un tamaño comercial por medio de una velocidad de evaporación o ebullición controlada, de agitación y de adición de jarabe (Veracruz.gob, 2009).

De los equipos de cristalización se pasa el producto a los tanques de mezclado para uniformar sus características, de ahí a las centrifugas y finalmente al área de secado (Veracruz.gob, 2009).

### Toxicología

Desde hace tiempo se conoce la relación que existe entre el consumo de azúcares –principalmente sacarosa- y la caries dental; esta enfermedad es el resultado del crecimiento de bacterias tales como *Streptococcus mutans* y *S. sanguis*, que utilizan el disacárido y lo transforman en los ácidos pirúvico, acético, dextranas (polímeros de glucosa) que les sirven de soporte, y crean un microambiente adecuado para su desarrollo. Por otra parte, la sacarosa es un azúcar que el intestino utiliza fácilmente, convirtiéndolo en sus correspondientes monosacáridos; la glucosa se absorbe con rapidez e incrementa de manera violenta su concentración en la sangre, lo cual puede provocar problemas en el sistema hormonal que la regula (Badui, 2006) por lo que no es recomendable su consumo para personas diabéticas.

Se ha mencionado que la ocurrencia de la gota está conectada con un exceso de producción de ácido úrico. Una dieta rica en sacarosa puede llevar a la gota, ya que eleva el nivel de insulina, lo

que impide la excreción de ácido úrico del cuerpo. A medida que la concentración de ácido úrico en el cuerpo aumenta, también lo hace la concentración de ácido úrico en el líquido articular y más allá de una concentración crítica, el ácido úrico comienza a precipitar en forma de cristales (WebAcademia, 2013).

#### **d) Azúcar invertido**

Se conoce con este nombre a la mezcla de azúcares producida cuando la sacarosa se hidroliza química o enzimáticamente. El adjetivo “invertido” se refiere al cambio del poder rotatorio que se observa durante dicha hidrólisis: la sacarosa es dextrorrotatoria (+66°), pero al transformarse en glucosa (+52°) y en fructosa (-92°C), la mezcla resultante desarrolla un poder levorrotatorio (-20°) por la fuerte influencia de la fructosa (Badui, 2006).

El azúcar invertido se produce naturalmente en la miel de abeja, razón por la cual dicho producto es tan dulce; también en los jugos de frutas con pH ácido y que sufren algún tratamiento térmico se percibe un ligero aumento de la dulzura, debido a la hidrólisis de la sacarosa (Badui, 2006).

##### Propiedades

Debido a la presencia de la fructosa, el azúcar invertido es un poco más dulce que la sacarosa (P.E de 1.3). Otra característica es que no cristaliza; además, es higroscópico. En la industria se han desarrollado muchos jarabes de sacarosa con distintos grados de hidrólisis, que reciben el nombre genérico de azúcar líquido. Su aplicación en productos comerciales es importante, ya que ayuda a controlar la cristalización y a realzar el sabor; también se puede aplicar en ciertos artículos para reducir su actividad del agua y así apoyar su conservación (Badui, 2006).

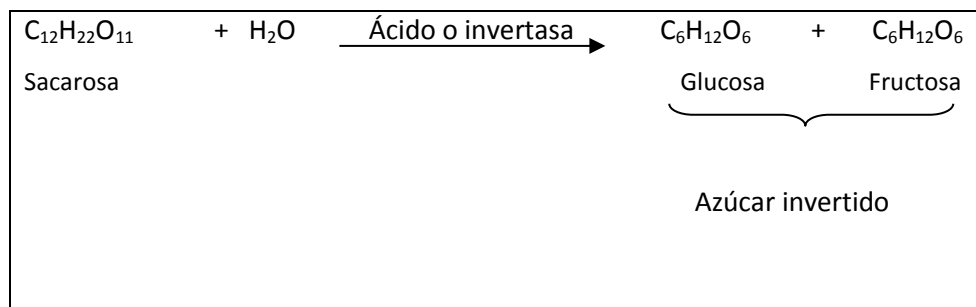
Este azúcar es más fácilmente fermentable que la sacarosa y su color es más oscuro. Sin embargo, los dos azúcares presentes en el azúcar invertido contribuyen a retardar la oxidación de otras sustancias (Remington, 2003).

##### Uso

Se utiliza en algunos derivados de la confitería, productos derivados de frutas, nieves y helados, productos de panificación sometidos a congelación y da cuerpo a rellenos (Badui, 2006).

## Síntesis

La producción de azúcar invertido puede lograrse mediante acción enzimática (el uso de una invertasa) (figura 19) o mediante tratamientos químicos que involucran la ruptura del enlace acetal, adicionando un  $H^+$  del agua a la fructosa y un  $O^-$  a la glucosa (Badui, 2006).



**Figura 19: Síntesis del azúcar invertido. Modificado por: (Badui, 2006).**

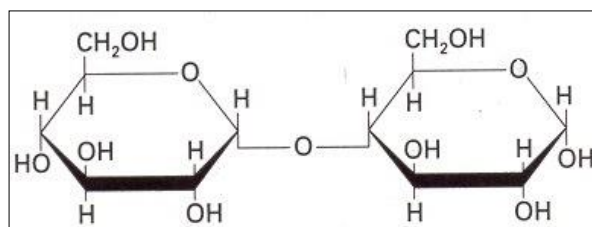
Comercialmente es fácil de producir, ya que el enlace glucosídico es muy lábil por la influencia de la fructosa; por lo que se puedan emplear ácidos diluidos o enzimas de las llamadas invertasas. No es recomendable usar ácidos fuertes ni temperaturas elevadas, pues es estas condiciones, no sólo se provoca la hidrólisis del disacárido, sino también la deshidratación de los monosacáridos y la formación de colores y olores indeseables (Badui, 2006).

## Toxicología

No debe de ser consumido por personas diabéticas debido a que la sacarosa se encuentra en forma hidrolizada y la absorción de la glucosa será rápida, incrementado los niveles de esta en la sangre.

### **e) Maltosa**

La maltosa (4-O- $\beta$ -D-glucopiranosil- $\alpha$ -D-glucopiranososa) (figura 20), integrada por dos moléculas de glucosa, es un azúcar reductor hidrolizado por ácidos y por la enzima maltasa; presenta el fenómeno de la mutarrotación, pues existe en los isómeros  $\alpha$  y  $\beta$ ; se encuentra comúnmente en la



**Figura 20: Estructura molecular de la maltosa. Fuente: (Badui, 2006).**

cebada y en los hidrolizados de maíz y de almidones. Su fórmula molecular es  $C_{12}H_{22}O_{11}$  y tiene un peso molecular de 342.29 g/mol (Badui, 2006).

No es tan dulce como la glucosa, pero tiene una dulzura aceptable; es fermentable, soluble en agua, y no cristaliza fácilmente (Badui, 2006).

### Propiedades

Las principales características de la maltosa son alta higroscopicidad, baja viscosidad en solución, resistencia a la cristalización, bajo poder edulcorante (0.5), menor tendencia al oscurecimiento, alta estabilidad térmica, presenta menor presión osmótica que la glucosa (López & Canales, 2004).

Existen fundamentalmente tres tipos de jarabes maltosados:

- Jarabes con alto contenido de maltosa (JACM).
- Jarabes con extremadamente alto contenido de maltosa (JEACM).
- Jarabes maltosados de alta conversión (JMAC) (Tabla 6).

**Tabla 6: Composición de los diferentes tipos de los jarabes maltosados.**

Azúcar	JACM	JEACM	JMAC
Glucosa	0.5-3	1.5-2	35-43
Maltosa	45-60	70-85	30-47
Maltotriosa	10-25	8-21	8-15
ED	35-40	45-60	60-70
			Contienen más de 85% de azúcares fermentables y son comúnmente empleados como adjuntos de cervecería o aditivos de harinas para incrementar su capacidad fermentativa.

Fuente: (López & Canales, 2004).

### Uso

Los jarabes son principalmente usados en cervecería, panadería, bebidas no alcohólicas, confitería, etc., y su importancia radica probablemente más en sus propiedades funcionales que en su poder como edulcorante (López & Canales, 2004).

### Síntesis

La maltosa es el azúcar que se obtiene de la hidrólisis enzimática del almidón, habitualmente llevado a cabo por la enzima maltasa. La maltasa es capaz de escindir los enlaces 1-4 de amilosa y amilopectina, cortando de 2 en 3 unidades de glucosa, para dar el disacárido. La maltasa es la

enzima que genera de forma natural la cebada al germinar (malta=cebada germinada) y que, mediante posterior molturación, se usa para aprovechar el almidón de estos granos que de otra forma encuentran poca aplicación alimentaria (Fernandez, 2010).

### Toxicología

La maltosa es adecuada para diabéticos por la más lenta liberación de glucosa.

## **f) Lactosa**

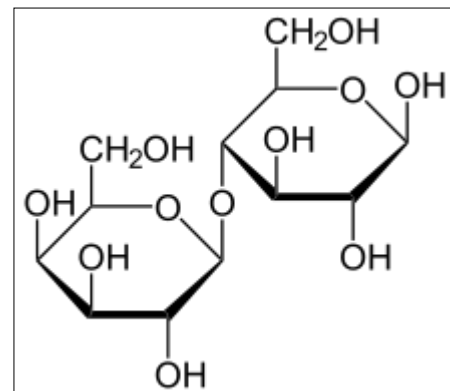
La lactosa (4-D-β-D-galactopiranosil-D-glucopiranososa) (figura 21) se encuentra exclusivamente en la leche de los mamíferos, y está constituida por una molécula de galactosa y otra de glucosa, unidas mediante un enlace glucosídico β (1, 4). Debido a que el carbono anomérico de la glucosa está libre, este disacárido presenta las características de los azúcares reductores; existe en los isómeros α y β y, por lo tanto, presenta el fenómeno de mutarrotación (Badui, 2006).

La lactosa es un disacárido, compuesto de glucosa y galactosa encontrado en la leche. Tiene una estructura molecular de  $C_{12}H_{22}O_{11}$  y un peso molecular de 342.29 g/mol (Badui, 2006).

La lactosa no entra directamente en los ciclos biológicos del metabolismo, sino tras la degradación de este azúcar en sus dos hexosas que la constituyen, glucosa y galactosa, las cuales entran en los ciclos tras su fosforilación. Por lo tanto, la lactosa será utilizada por los organismos superiores o por los microorganismos, solamente cuando se produzca la hidrólisis de la lactosa (Alais, 2003).

### Propiedades

La lactosa presenta una solubilidad muy baja (21.6 g/100g de agua a 25°C) y un dulzor muy bajo, en comparación con los demás disacáridos y es poco dulce con tan solo el 0.27 veces del PE de la sacarosa (Badui, 2006).



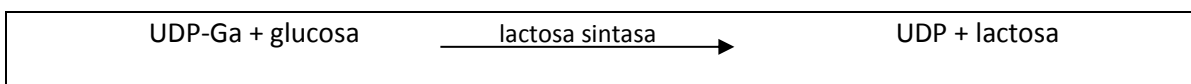
**Figura 21: Estructura molecular de la lactosa. Fuente: (Badui, 2006).**

### Uso

Por su poder absorbente, la lactosa se utiliza en la industria para retener compuestos que imparten sabores, aromas y colores y, al igual que la maltosa, se emplean en la panificación, pues interacciona fácilmente con proteínas y produce pigmentos mediante las reacciones de Maillard; también se aplica en productos de confitería, mezclas secas, productos lácteos, vegetales secos, botanas y fórmulas de alimento infantil (Ashoor & Zent, 1984).

### Síntesis

La lactosa se sintetiza en la glándula mamaria (figura 22), estimulada por los niveles hormonales característicos del post-parto. La reacción tiene lugar entre UDP-galactosa y glucosa, y se halla catalizada por el complejo lactosa sintasa: (Maracullá & Goñi, 1994) (UDP=uridina difosfogalactosa).



**Figura 22: Síntesis de la lactosa en la glándula mamaria. Modificado por: (Maracullá & Goñi, 1994).**

La obtención industrial de la lactosa es a partir del suero lácteo. En las plantas procesadoras, el suero descremado y desproteinado se concentra por evaporación y luego se cristaliza en una forma que contiene alrededor del 96% de  $\alpha$ -lactosa monohidratada. Mediante un proceso de recristalización, esta lactosa cruda es reconstituida a lactosa químicamente pura con 99.5%  $\alpha$ -lactosa monohidratada. Esta forma de lactosa ocurre a temperaturas de cristalización por debajo de 93.5°C, mientras que la  $\beta$ -lactosa anhidra cristaliza por encima de esta temperatura. La lactosa amorfa por otro lado, se produce cuando las soluciones sobresaturadas son secadas sin cristalización previa (Valencia, 2008).

### Toxicología

La lactosa da problemas de intolerancia ante la deficiencia de lactasa. Este problema es importante especialmente en algunas razas y más frecuentemente en ancianos (Fernandez, 2010). La enzima lactasa está localizada en el borde en cepillo del intestino delgado, que desdobla la lactosa en glucosa y galactosa. Cuando la cantidad de lactosa ingerida supera la capacidad de la enzima, la lactosa no es hidrolizada y produce un efecto de hiperosmolaridad intraluminal que origina diarrea (Hernández, 1999).

## II. Edulcorantes de naturaleza glucosídica

### a) Esteviósido

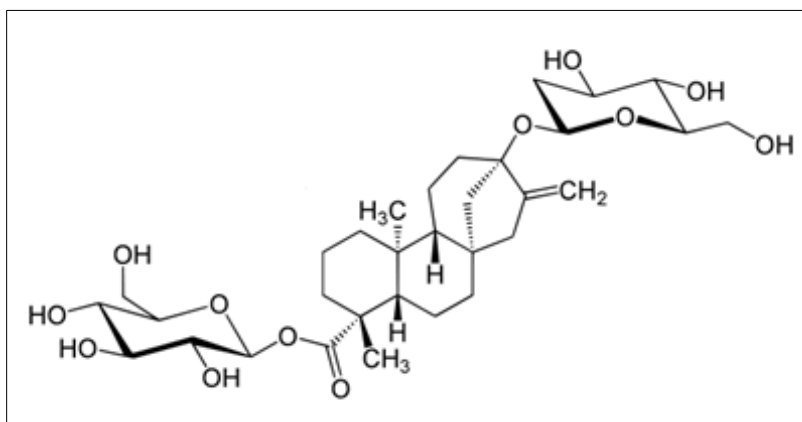
La stevia es una planta originaria de la flora espontánea en el hábitat semiárido de las laderas montañosas de Paraguay y Brasil, la cual fue usada por siglos por la tribu indígenas Guaraní de Paraguay, quienes nombraron a la planta con diferentes nombres, entre ellos *Ka'a-he'e*, *Ca'a-e'he*, o *Ca-a-yupe*, todos refiriéndose a la hoja dulce (DePuydt, 2002).

La planta llamo la atención al resto del mundo cuando el científico Bertoni descubrió la planta (DePuydt, 2002) en 1887 (González, 2011). Después de su informe, la hierba se volvió ampliamente utilizado por los herbolarios en Paraguay (DePuydt, 2002).

Durante la Segunda Guerra mundial, la escases de azúcar impulso a Inglaterra para comenzar la investigación del uso de la Stevia como un edulcorante. El cultivo se inició bajo la dirección del Real Jardín Botánico de Kew, pero el proyecto fue abandonado por consecuencia de la guerra (DePuydt, 2002) y en 1954, Japón empezó a cultivar la planta y en 1970 los fabricantes de alimentos empezaron a comercializarla en ese país (González, 2011).

Su nombre científico es *Stevia rebaudiana* Bertoni, pero popularmente se le conoce como *Hierba Dulce del Paraguay*. Es 100% natural; en muchas partes del mundo se cultiva orgánicamente y sin pesticidas (González, 2011).

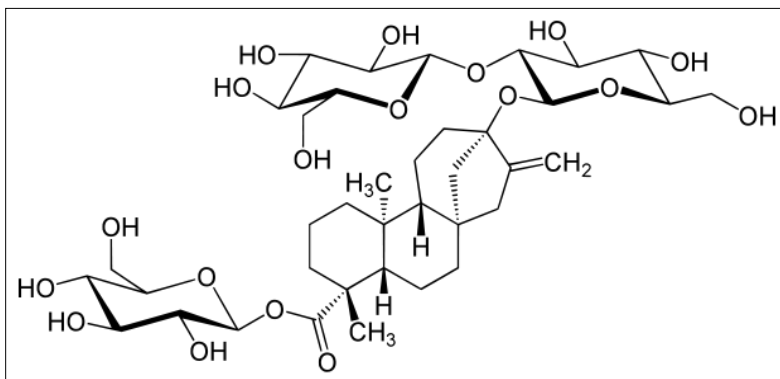
La Stevia es una especie botánica de la familia de las asteráceas (González, 2011) y generalmente se propaga comercialmente de manera asexual (Hearn & Subedi, 2008). Las hojas han sido utilizadas para endulzar los alimentos (Jarma, et al., 2012), debido a su extraordinario sabor dulce debido a los glucósidos de tipo diterpenoide (Giraldo, et al., 2005) llamados *esteviósido* (figura 23),



**Figura 23: Estructura molecular del esteviósido. Fuente: (Martínez, 2002).**



y *rebaudiósido* (figura 24). (Martínez, 2002), teniendo un poder edulcorante de 110-270 y de 180-400 respectivamente; este último de mayor valor comercial (Liu, et al., 2010), cuya diferencia radica solamente en la presencia de una glucosa (Carakostas, et al., 2008), los cuales fueron aislados en 1931 por los químicos franceses M. Bridel y R. Lavieille (González, 2011).



**Figura 24: Estructura molecular del rebaudiósido.** Fuente: (Martínez, 2002).

Los 3 principales glucósidos de esteviol que se encuentran en el tejido de la planta de la Stevia son: 5–10% esteviósido, 2–4% rebaudiósido A (el más dulce y menos amargo), 1–2% rebaudiósido C (ISO, 2012).

Estos glucósidos son considerados como dietéticos porque su estructura no es

metabolizada por el organismo humano (Giraldo, et al., 2005).

### Propiedades

La Stevia es de 25 a 30 veces más dulce que el azúcar y su extracto unas 300 veces más dulce, sin nutrientes, sin calorías, se puede hornear, es estable a los 200°C, no se fermenta, no crea placa dental, es anticariogénico, no se hace caramelo al calentarse, ni se llega a cristalizar tal como el azúcar. (González, 2011). Se distingue de los edulcorantes artificiales por no tener sabor metálico (Jarma, et al., 2012).

Los glucósidos de la Stevia no afectan la concentración de glucosa en sangre, por lo que resultan totalmente apto para diabéticos y especialmente útiles en dietas hipocalóricas. (González, 2011).

*S. rebaudiana* tiene un gran potencial como un nuevo cultivo agrícola ya que la demanda de los consumidores de alimentos a base de hierbas está aumentando y un análisis proximal ha demostrado que *la Stevia* también contiene ácido fólico, vitamina C y todos los aminoácidos indispensables con la excepción de triptófano. El cultivo y producción de Stevia ayudarían aún más a los que tienen que restringir la ingesta de carbohidratos en su dieta, para disfrutar del sabor dulce con un mínimo de calorías (Lemus, et al., 2012).

### Uso

El 70% de la producción mundial de *Stevia rebaudiana* se utiliza para procesar cristales de esteviósido, mientras que el 30% restante se destina a usos herbarios. Los diferentes usos de las hojas incluyen todos los productos comercializados en su estado natural (fresco o seco); los extractos de la hoja pueden ser procesados en polvo o en forma líquida (Jarma, et al., 2012).

De su primitivo hábitat en Paraguay ha pasado a cultivarse en extensas áreas, especialmente en países como China, Brasil, Japón, Corea, Tailandia, Taiwán e Israel. En estos países se utiliza como edulcorante en todo tipo de alimentos y bebidas (incluida la Coca-Cola), porque no parece tener los efectos secundarios de otros edulcorantes, además de que no se descompone (González, 2011).

La utilización de la *Stevia* en aplicaciones de bebidas y alimentos no es sencilla debido al número de glucósidos de esteviol que existen en el extracto de *Stevia*. (ISO, 2012).

La *Stevia* y el esteviósido son seguros cuando se utilizan como edulcorante. Es adecuado para los diabéticos, los pacientes con fenilcetonuria, así como para las personas obesas que tengan la intención de bajar de peso, evitando los suplementos de azúcar en la dieta y no cuenta con reacciones alérgicas (Geuns, 2003).

### Síntesis

Su potencial uso generalizado del esteviósido requiere un método de extracción fácil y eficaz siendo por esta razón que se probó con una extracción enzimática de esteviósido de *Stevia rebaudiana* con hemicelulasa, observándose un rendimiento de esteviósido de  $369,23 \pm 0,11$  mg en 1 h, mostrándose un aumento de 35 veces el rendimiento normal, en comparación con un experimento de control (Puri, et al., 2012).

También se puede establecer un proceso para la extracción y purificación de glucósidos, en el cual se determina realizar la lixiviación con agua a una temperatura entre 40 y 60°C. En la posterior purificación, la precipitación con  $\text{CaCl}_2$  y pH 5 logrando disminuir el color de la muestra. Los resultados sugieren que los pigmentos están fuertemente unidos a los glucósidos. El tiempo para la adsorción se estableció en 15 horas. El IR confirmó que los cristales obtenidos sí son glucósidos y sugiere que el compuesto mayoritario es el rebaudiósido A (Giraldo, et al., 2005).

El rebaudiósido A (Reb-A) y el esteviósido (STV) son los dos glucósidos de esteviol cuyo sabor se parece más al azúcar mientras que el rebaudiósido B (Reb-B) y el rebaudiósido D (Reb-D) son los

principales causantes del regusto amargo. Para conseguir un sabor lo más próximo posible al del azúcar es necesario purificar lo más posible el Reb-A y la STV y eliminar al máximo el Reb-B y el Reb-D hasta dejar solamente trazas. Si no se controlan los niveles de Reb-D y Reb-B hasta un máximo limitado, no solamente habrá diferencias de gusto entre un lote de producción de extracto y otro, sino también de consistencia (ISO, 2012).

### Toxicología

En Estados Unidos, un controvertido fallo de la FDA sobre la Stevia en 1991 prohibió su consumo, aunque no se adujeron razones para ello y varios de los responsables de la decisión dejaron poco después sus cargos en la FDA para trasladarse a la Nutrasweet Company (fabricante de edulcorantes). El fallo se revirtió en 1995, cuando la FDA aprobó en septiembre de 2011 a la Stevia, aunque sólo podría venderse en tiendas naturistas, sin interferir con los intereses de las industrias productoras de los otros edulcorantes no naturales. La falta de autorización por parte de la FDA en los Estados Unidos para su uso alimentario ha sido uno de los principales impedimentos para su consumo a gran escala. (González, 2011).

En 2004 Paraguay presentó en una reunión del Comité Colectivo de Expertos en Aditivos Alimenticios de la FAO/OMS (JECFA), una serie de documentos que engloban desde estudios médicos hasta calidades de productos presentando Stevia como un producto seguro. Países como Japón y China también presentaron documentos similares, solicitando un cambio en el marco regulador de Stevia. Declarándose la Stevia como inocua (ISO, 2012).

En junio de este mismo año (2004) la FAO concluyó que la Stevia es “inocua” y se está evaluando la posibilidad de ingresarla al Código Alimentario Mundial. Así tendría las puertas abiertas para la comercialización masiva y podría competir de lleno en el mercado de los edulcorantes (González, 2011).

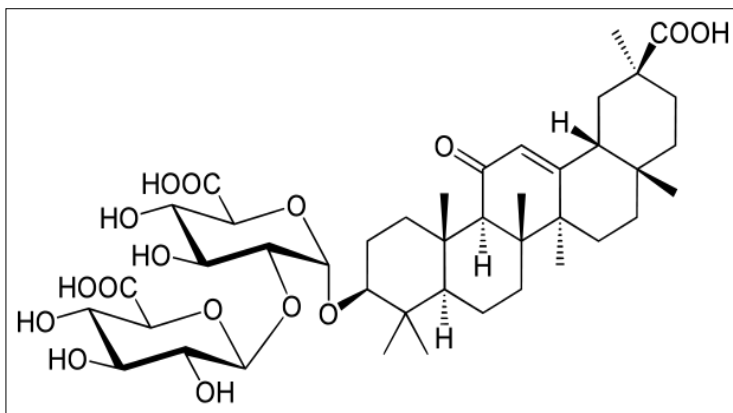
La seguridad y las bondades de los edulcorantes de Stevia en el metabolismo animal se han demostrado, así como sus efectos positivos en la salud del hombre, en las que se reportan propiedades anti-rotavirus, mejoramiento de la hipertensión, tratamiento de la diabetes mellitus tipo 2, al estimular la secreción de insulina actuando sobre las células b del páncreas y no ser cancerígeno (Jarma, et al., 2012).

En 2008 la FDA concedió la certificación GRAS al rebaudiósido como edulcorante genérico para alimentos y bebidas, y posteriormente a otros glucósidos de esteviol. Este edulcorante también

fue autorizado en el mismo año por el órgano regulador de la FSANZ, mientras que la AFSSA lo hacía en un año más tarde en septiembre de 2009, después de que el país consiguiese permiso para utilizarlo dos años antes de la autorización prevista en toda la UE. Los edulcorantes de la stevia no consiguieron la autorización de la Comisión Europea para usos en alimentos y bebidas hasta noviembre de 2011 (ISO, 2012).

## b) Glicirricina amoniacal

La glicirricina (figura 25) también llamada ácido glicírricico, tiene la estructura de saponina –



**Figura 25: Estructura molecular de la glicirricina amoniacal.** Fuente: (Michaelis, et al., 2011).

glucósido amargo y se encuentra en la raíz del regaliz, formada por el triterpeno ácido glicirretínico unido al ácido O-  $\beta$ -D-glucuronosil-(1,2)- $\beta$ -D-glucurónico (Badui, 2006).

Se trata de un glucósido que por hidrólisis da dos moléculas de ácido glucurónico y una molécula de ácido glicirretínico (triterpeno relacionado con el ácido

aleanólico).

Después de la ingestión oral la glicirricina es primero hidrolizada a ácido  $18\beta$ -glicirretínico por las bacterias intestinales. Después de la completa absorción desde el intestino, ácido  $\beta$ -glicirretínico se metaboliza a ácido  $3\beta$ -monoglucuronil- $18\beta$ -glicirretínico en el hígado. Este metabolito luego circula en el torrente sanguíneo. La parte principal se elimina por la bilis y sólo una parte menor (0,31 a 0,67%) por la orina (G. & Kreft, 2012).

### Propiedades

La forma comercial de la glicirricina es como derivado amoniacal, se usa en productos donde su resabio de regaliz (*Glycyrrhiza glabra*) no interfiere y tiene un PE de hasta 100 veces el de la sacarosa. Es soluble en agua, medianamente estable a los tratamientos térmicos y precipita a pH <4.5 (Badui, 2006).

Uno de los beneficios del consumo de la glicirricina es que inhibe la lesión de las células del hígado causada por muchos productos químicos y se utiliza en el tratamiento de la crónica de hepatitis y cirrosis en Japón. También inhibe el crecimiento de varios virus de ADN y ARN, inactivación del herpes (Pompei, et al., 2011), perturbar la gripe H5N1 y la expresión de genes pro-inflamatoria inducida por virus H5N1 (Michaelis, et al., 2011).

### Uso

Originalmente el ácido glicirricínico se utilizó en productos derivados del tabaco y en cierta medida en alimentos y bebidas. Se sabor semejante al regaliz lo hace adecuado para algunas aplicaciones como dulces y productos farmacéuticos (Europea, 2003).

Está comercialmente disponible bajo la marca de Magnasweet® pero solo como saborizante y/o surfactante (Fennema, 2000), se usa para enmascarar notas desagradables como las amargas de algunos edulcorantes o prolongar el tiempo de duración de algunos sabores como en el caso de las gomas de mascar, potencializa los dulzores ayudando a disminuir la cantidad de azúcar y en lácteos proporciona el mouthfeel que se pierde al momento de reducir la grasa (Magnasweet, 2011).

### Toxicología

En los EE.UU., la glicirricina es clasificada como un producto GRAS permitiendo su uso como un agente saborizante, aunque no como edulcorante. (Europea, 2003).

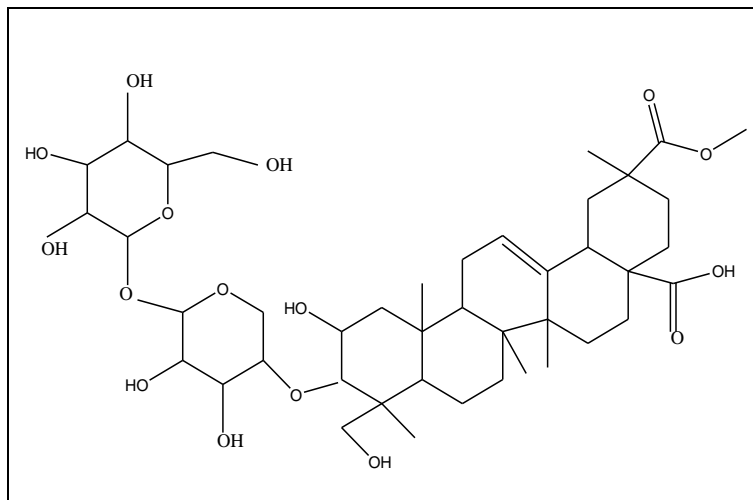
La Unión Europea sugiere que las personas no deben consumir más de 100 mg de ácido glicirricínico al día (Europea, 2003), equivalente a aproximadamente 50 g de caramelos de regaliz, ya que una alta ingesta de regaliz puede causar hipermineralocorticismo debido a un aumento en los niveles de cortisol en los riñones, así como retención de sodio y pérdida de potasio, edema, aumento de la presión arterial y la depresión del sistema renina-angiotensina-aldosterona. Una ingesta diaria de 10 mg de ácido glicirricínico representaría una dosis segura para la mayoría de adultos sanos. Una ingesta diaria de 1-10 mg de ácido glicirricínico/Kg de peso se ha estimado para varios países. Sin embargo, un modelo de consumo irregular sugiere que un número considerable de individuos que consumen grandes cantidades de dulces de regaliz están expuestos al riesgo de desarrollar efectos adversos (Størmer, et al., 1993).

### c) Luo Han Guo

Luo Han Guo (figura 26) se refiere a la fruta de *Siraitia grosvenori*, antes llamada *Momordica grosvenori*, un miembro de la *Curcubitaceae* (Yeouruenn, 1995).

Esta familia de plantas (familia de las cucurbitáceas) contiene notables componentes dulces, incluyendo otras especies del género *Siraitia* (por ejemplo, *S. siamensis*, *S. silomaradjae*, *S. sikkimensis*, *S. africana*, *borneensis* *S.* y *S. taiwaniana* 2).

La fruta es conocida por su sabor dulce (Blumert & Jialiu, 1999).



**Figura 26: Estructura molecular de Luo Han Guo. Modificado de: (Yeouruenn, 1995).**

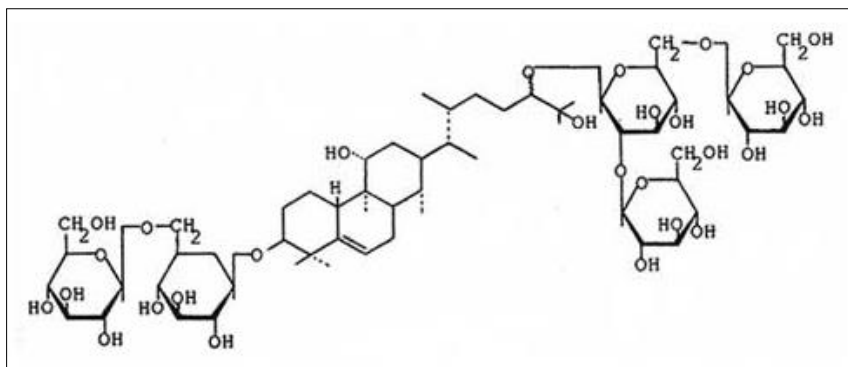
Luo Han Guo se ha utilizado durante siglos en China principalmente en la provincia de Guangxi y en el sureste de Asia por su sabor dulce y propiedades medicinales. Hay descripciones de su cultivo en la zona desde 1813 y escritos históricos de su uso como bebida medicinal hace más de 800 años (Swingle, 1941)- En Asia el Luo Han Guo es conocida como la “fruta de la longevidad” y se ha utilizado como un edulcorante natural (sin elevar el azúcar en sangre) durante casi un milenio. Esta exótica fruta es cosechada verde, que se convierte en color canela a marrón cuando se seca, después de secado lento en los hornos, la fruta desarrolla un aroma a nuez y caramelo toffee, sabor dulce (A Berje, s.f.).

Actualmente es comercializado bajo la marca PureLo® que es un concentrado en polvo no calórico que se deriva de sus propiedades edulcorantes de glicósidos triterpénicos llamados mogrósidos (Maronea, et al., 2008).

#### Propiedades

Frutos de Luo Han Guo son intensamente dulce, los mogrósidos mixtos se estiman en alrededor de 300 veces más dulce que el azúcar, de modo que los extractos son casi 250 veces más dulce que el azúcar, los mogrósidos puros 4 y 5 pueden ser 400 veces más dulce que el azúcar (Hsu, 1986). Es un compuesto bajo en calorías con bajo índice glicémico, presenta un pH estable, una excelente estabilidad térmica y no se han encontrado efectos secundarios (A Berje, s.f.).

El sabor dulce de Luo Han Guo proviene principalmente de mogrósidos, un grupo de los glucósidos terpénicos presentes alrededor del 1% de la parte carnosa de la fruta. Tanto las frutas frescas y secas se



**Figura 27: Estructura molecular del mogrósido-5. Fuente: (Hsu, 1986).**

extraen para dar un polvo que contiene 80% o más de mogrósidos. Los mogrósidos se han numerado del I-V, y el componente principal se llama mogrósido-V, antes conocido como esgósido (figura 27) (Hsu, 1986).

Luo Han Guo tiene un sabor limpio que combina bien con muchos otros edulcorantes, tales como xilitol y otros polialcoholes (A Berje, s.f.).

### Uso

Además de su uso como edulcorante se puede mezclar con otros extractos de hierbas para hacer té y bebidas a base de hierbas con posibles beneficios para la salud (A Berje, s.f.).

Luo Han Guo se ha utilizado como una hierba medicinal para tratamiento de la tos y dolor de garganta (Yinfang & Chengjun, 1986) y se considera popularmente, en el sur de China, como un producto que ayuda para la longevidad (Blumert & Jialiu, 1999). Además de que se ha convertido en un edulcorante no calórico que competirá con otros edulcorantes a base de hierbas, tal es el caso de los esteviósidos (Kinghorn, et al., 2002).

### Síntesis

Un procedimiento para fabricar un edulcorante útil a partir de Luo Han Guo fue patentado en 1995 por Procter y Gamble Company. Como se describe en la solicitud de patente, el proceso de P&G, la fruta fresca es recogida antes de la maduración y se deja completar su maduración durante el almacenamiento por lo que el procesamiento se inicia con la fruta recién madura. A continuación, se eliminan la cáscara y las semillas y el puré de fruta se convierte en la base de un zumo de frutas concentrado o puré que se puede utilizar en la fabricación de alimentos. El tratamiento posterior implica el uso de disolventes para eliminar los componentes volátiles y de

mal sabor. Muchos sustitutos del azúcar derivadas de Luo Han Guo por procesos similares que aíslan los compuestos dulces son ahora fácilmente disponibles para la fabricación y para el uso de la cocina (Dawson, 1995).

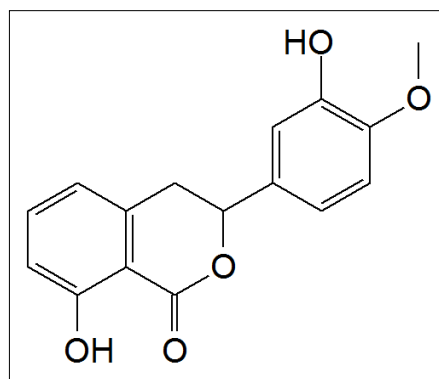
### Toxicología

Además de su característica edulcorante natural, Luo Han Guo ha mostrado efectos hipoglucemiantes (Suzuki, et al., 2005), presentando además un efecto antineoplásico debido a los estudios in vitro en animales (Ukiya, et al., 2002). En un estudio similar, 11-oxo-mogrósido V y mogrósido V mostraron una reducción en el número de papilomas formados y retraso en el desarrollo del papiloma (Konoshima & Takasaki, 2002), además de considerarse un antihistamínico debido a un prueba realizada (Hossen, et al., 2005).

Luo Han Guo se considera un extracto seguro cuando se usa según las indicaciones. No hay estudios en humanos realizados para establecer la dosis de uso apropiados y la FDA lo reconoce como un producto GRAS en 2010 (A Berje, s.f.).

### **d) Filodulcina**

La filodulcina ((3R)-8-hidroxi-3-(3-hidroxi-4-metoxifenil)-3,4-dihydroisochromen-1-uno) (figura 28) es un dihydroisocoumarin que se encuentra en *Hydrangea macrophylla* y *Hortensia serrata* (Matsuda, et al., 1999) y tiene un PE de 400-800 más dulce que el azúcar, con estructura molecular de  $C_{16}H_{14}O_5$  y un peso molecular de 286.27 g/mol (Piotr, 2003),



**Figura 28: Estructura molecular de la filodulcina. Fuente: (Matsuda, et al., 1999).**

La hidroxilación de filodulcina en C-3' se produce después del cierre del anillo de dihydroisocoumarin, por lo tanto la ruta biosintética de filodulcina en esta planta es: fenilalanina → ácido cinámico → *p*-cumárico → hydrangenol → filodulcina (Yagi, et al., 1977)

## **III. Polioles**

Los polioles, polialcoholes o también conocidos como alcoholes polihídricos son derivados de carbohidratos cuyos únicos grupos funcionales son los grupos hidroxilos, por lo que son



hidrosolubles generalmente e higroscópicos y presentan viscosidad moderada cuando se disuelven en agua a elevadas concentraciones. Aunque existen numerosos polialcoholes, sólo unos pocos son importantes en los alimentos. Sin embargo, su uso está creciendo debido a la demanda de sus propiedades de ser edulcorantes bajos en calorías (Fennema, 2000) teniendo un poder edulcorante inferior o igual al de la sacarosa (Cubero, et al., 2002).

También son conocidos como edulcorantes de carga porque aumentan el volumen del producto alimentario sin contribuir significativamente a su valor calórico (Cubero, et al., 2002).

Los azúcares y los polialcoholes son compuestos similares, salvo que los azúcares contienen grupos aldo o ceto (libres o combinados) que afectan negativamente a su estabilidad química sobre todo a elevadas temperaturas. Muchas de las aplicaciones de los polialcoholes en los alimentos se deben a la concurrencia simultánea de propiedades funcionales (Fennema, 2000), de los azúcares adquiere la capacidad de aportar dulzor y de los alcoholes su fácil solubilidad (Cubero, et al., 2002).

Históricamente, el valor energético de los polioles derivados de los azúcares, al igual que los mismos azúcares, se ha considerado que es de 4 kcal (16.7kJ)/g a efectos de etiquetado en EE UU. Sin embargo, esta consideración ha cambiado recientemente después de que en 1990 la UE le haya asignado a los polioles como grupo un valor energético de 2.4 kcal (10kJ)/g. Esto cambia el posicionamiento de los polioles como ingredientes alimentarios, pudiéndose anticipar que su presencia en alimentos con bajas calorías, y azúcar libre hará que se incremente de forma considerable en el futuro (Fennema, 2000).

Los polioles se consiguen industrialmente por hidrogenación de azúcares reductores de esta forma se transforma la función reductora aldehído o cetona en función alcohol (Cubero, et al., 2002).

La funcionalidad de los polioles en la industria alimentaria es (Cubero, et al., 2002) (Fennema, 2000):

- Intensidad de dulzor bajo.
- Aporte reducido en calorías ya que no se digieren totalmente.
- Confiere textura. Se les considera edulcorantes “másicos”. Además de aumentar el volumen del producto alimentario.
- Controlan la viscosidad.
- A grandes dosis ingeridas producen efectos laxantes.

- Algunos de ellos son higroscópicos y humectantes.
- Si se ingieren sólidos dan sensación de frescor en la boca debido a su reacción endotérmica en la solución.
- Son muy poco o nada cariogénicos (no provocan caries).
- Controlan la cristalización de azúcares.
- Evitan la evaporación de agua.
- Solubilizan los saborizantes.
- Ayudan a rehidratar polvos.
- Secuestran metales.
- Por su efecto sobre la presión osmótica actúan como conservadores.
- Evita el efecto de pegajosidad en los alimentos.

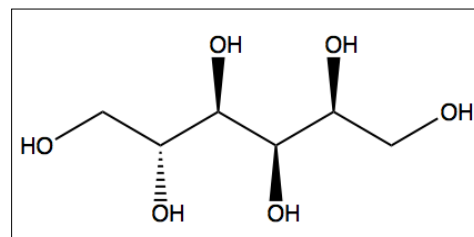
Además, los productores de alimentos han asumido que la reducción de calorías es un eficaz argumento de marketing para incrementar las ventas. De los diversos métodos adoptados para reducir el contenido calórico de los alimentos como puede ser la sustitución de grasas, la sustitución de azúcar comercial con polioles ha ganado fuerza en un amplio rango de aplicaciones.

Aunque los polioles se comportan de forma similar al azúcar en el producto final, poseen mucho menos contenido calórico. Con características tales como gusto dulce y menos calorías que el azúcar, los polioles están ganando cada vez mayor popularidad en el segmento de la alimentación y la confitería (Global Industry Analysts, 2011).

### a) Sorbitol

El sorbitol (figura 29) fue desarrollado en 1950 (Química, 2011) y es un polialcohol con una fórmula molecular de  $C_6H_{14}O_6$ , un peso molecular de 182.17 g/mol y fue descubierto en 1872 por un químico francés en las cenizas de bayas en la montaña (Council, 2013).

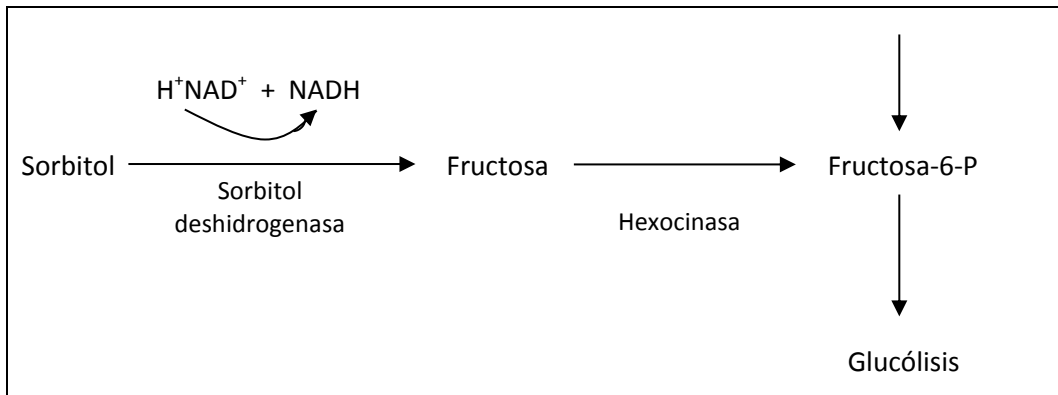
Se produce naturalmente en una amplia variedad de frutas como peras, melocotones, ciruelas y en las manzanas es el principal azúcar presente en las hojas, así como en las bayas. Hoy en día se produce comercialmente mediante la hidrogenación de la



**Figura 29: Estructura molecular del sorbitol. Fuente: (Química, 2011).**

glucosa (Bielecki & Redgwell, 1985) y es comercializado bajo varios productos entre los cuales destacan Archer Daniels Midland, Roquette America, Inc. y SPI polioles, Inc.

El sorbitol es metabolizado en el intestino y es convertido en fructosa (figura 30) algunas veces es oxidado por las bacterias a acetato e hidrógenos provocando dolores abdominales y molestias debido a irritación por el ácido formado en algunos individuos alcanzado con niveles de sorbitol ingerido y se denomina intolerancia al sorbitol (Herrerías, et al., 1996).



**Figura 30: Metabolismo del sorbitol.** Modificado de: (Herrerías, et al., 1996).

### Propiedades

El sorbitol tiene un dulzor de 0.5-0.6 veces con respecto al dulzor de la sacarosa con la ventaja de que presenta menos calorías (2.6 Kcal/g) (Council, 2013), es un excelente humectante y agente texturizante. Tiene una sensación en boca suave, con un sabor dulce, fresco y agradable. No produce caries y puede ser útil para las personas con diabetes (Council, 2013). Además es muy estable y no reactivo químicamente. Puede soportar altas temperaturas y no participar en reacciones de Maillard (pardeamiento) (Council, 2013).

El sorbitol, también combina bien con otros ingredientes alimentarios, tales como azúcares, agentes gelificantes, proteínas y grasas vegetales (Council, 2013).

### Uso

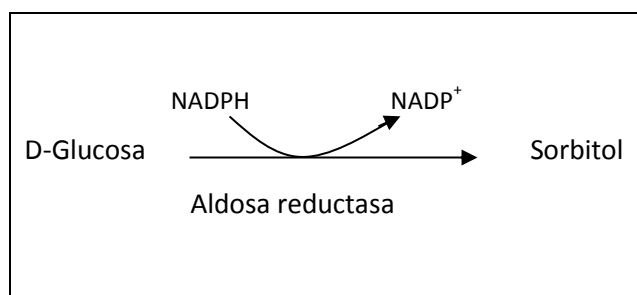
El sorbitol es un edulcorante a granel que se encuentra en numerosos productos alimenticios, además se utiliza como un humectante en muchos tipos de productos para la protección contra la pérdida de contenido de humedad para esto se usan en productos de panadería, confitería y chocolatería. Su acción estabilizadora de la humedad protege estos productos de secado y

mantiene su frescura inicial durante el almacenamiento. También es utilizado en gomas de mascar, caramelos, postres, helados, glaseados y rellenos, así como productos para el cuidado bucal, incluyendo pasta de dientes y enjuague bucal. (Council, 2013).

En todas las aplicaciones la demanda de sorbitol se basa en gran medida en la combinación de propiedades funcionales como humectante, edulcorante, agente de carga, estabilizante, suavizante, emulgente y en sus propiedades tensoactivas (Química, 2011).

### Síntesis

El sorbitol se sintetiza a través de la reducción de la glucosa-6-fosfato en sorbitol-6-fosfato por la aldosa-6-fosfato reductasa, también llamado sorbitol deshidrogenasa-6-fosfato (S6PDH) (figura 31) (Bielecki & Redgwell, 1985).



**Figura 31: Síntesis del sorbitol. Modificado de: (Bielecki & Redgwell, 1985).**

Aunque actualmente la bacteria *Zimimona mobilis* es capaz de producir sorbitol a partir de fructosa (Bordonj, et al., 2010).

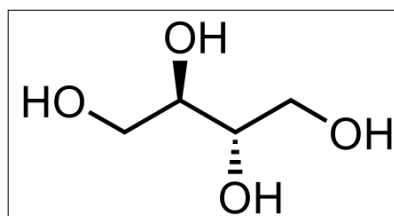
### Toxicología

La seguridad de sorbitol es apoyado por numerosos estudios reportados en la literatura científica. En el desarrollo de la corriente de alimentos de EE.UU. y la reglamentación de los medicamentos que se afirma sorbitol como GRAS, los datos de seguridad fueron evaluados cuidadosamente por los científicos calificados de la Comisión Especial sobre Sustancias GRAS seleccionados por la Oficina de Ciencias de la Vida de la Federación de Sociedades Americanas para la Biología Experimental (*FASEB*). En opinión de la Comisión Especial, no había pruebas que demostraran un peligro cuando se usó sorbitol en los niveles actuales o en los niveles que podrían esperarse en el futuro. La FDA de los EE.UU. declaró que el uso de sorbitol en algún producto alimenticio requiere la siguiente declaración de la etiqueta: “El consumo excesivo puede tener efectos laxantes” (Council, 2013).

La JECFA ha revisado los datos de seguridad y la conclusión de que el sorbitol es seguro y no estableció una IDA al igual que el Comité Científico de Alimentación Humana de la UE en 1985 (Council, 2013), pero es necesario tener cuidado con la cantidad que se ingiere ya que tiende a acumularse en cristalino y provocar cataratas (Herrerías, et al., 1996).

## b) Eritritol

El eritritol (figura 32) es un poliol natural y se encuentra naturalmente en frutas (peras, uvas, melones) (Cubero, et al., 2002), champiñones y productos derivados del proceso de fermentación incluidos el vino, la salsa de soja y el queso (Bordoni, et al., 2010), teniendo una fórmula molecular de  $C_4H_{10}O_4$ , un peso molecular de 122.12 g/mol y se empezó a utilizar a partir de los años 90 básicamente en Japón (Cubero, et al., 2002).



**Figura 32: Estructura molecular del eritritol. Fuente: (Cubero, et al., 2002).**

El eritritol administrado por vía oral a los seres humanos se absorbe rápidamente en el intestino delgado pero no es metabolizado en el cuerpo humano y excreta en la orina sin sufrir cambio metabólico (Munro, et al., 1998).

### Propiedades

El eritritol tiene un poder edulcorante es de 0.7-0.8 con respecto al de la sacarosa (Bordoni, et al., 2010) y su principal ventaja respecto al resto de polioles es el bajo poder calórico que presenta, solamente 0.2 Kcal/g, (Cubero, et al., 2002).

Resulta muy estable porque no reacciona con la mayoría de los ingredientes activos, resiste almacenamiento y permanece intacto a cambios extremos de temperatura (160°C), permanece estable en rangos de pH de 2-10.2 y exhibe sinergismo con endulzantes de alta potencia, además de que se considera apto para diabéticos y no se considera cariogénico (Bordoni, et al., 2010).

### Uso

El eritritol se usa también a menudo en edulcorantes de mesa ya que se asemeja al sabor, la apariencia y la cristalinidad de la sacarosa sin añadir las calorías. En la goma de mascar, eritritol añade frescura debido a su alto efecto de enfriamiento. En el helado, no sólo se utiliza para reducir las calorías sino también para mejorar la textura, igual se emplea en chocolates con 30% menos calorías así como en productos farmacéuticos y productos dentales (Bordoni, et al., 2010).

El eritritol ha demostrado ser un excelente poliol eliminador de radicales y un inhibidor de la 2,2'-azobis-2-amidinopropano dihidrocloruro de hemólisis inducida pero inerte frente a los radicales superóxido, por lo que además de ser usado como edulcorante pueda ser empleado como un antioxidante in vivo y ayuda a proteger contra el daño vascular inducida por la hiperglucemia (Gertjan, et al., 2010).

### Síntesis

Es el primer poliol manufacturado industrialmente por proceso de fermentación: así, la glucosa, obtenida de la hidrólisis del almidón, es fermentada por el *Aureobasidium sp*, hasta producir eritritol, el cual es cristalizado (Bordoni, et al., 2010).

Actualmente se realizan pruebas con osmófilos de *Trichosporon sp*. Obteniendo buenos resultados favorables en la cantidad de eritritol obtenida (Parque, et al., 1998).

### Toxicología

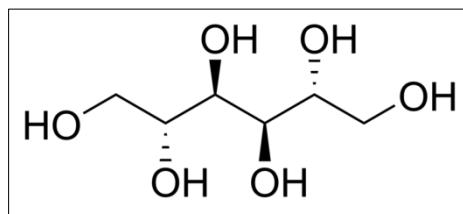
Los estudios de seguridad han demostrado que el eritritol es bien tolerado y no provoca efectos toxicológicos (Munro, et al., 1998).

En los Estados Unidos se reconoció como GRAS y la OMS ha otorgado un consumo diario “no especificado” a través de la JECFA (Bordoni, et al., 2010).

## c) Manitol

El manitol (figura 33) originalmente fue aislado de las secreciones de la flor del fresno de maná y se encuentra en gran variedad de alimentos tales como calabacines, champiñones, cebollas, apio, aceitunas y remolachas (Bordoni, et al., 2010). Tiene una fórmula molecular de  $C_6H_{14}O_6$  y un peso molecular de 182.172 g/mol (Repetto & Camean, 2006).

En su metabolización el manitol se excreta en su mayor parte y el resto se metaboliza por la vía de la fructosa, como el sorbitol (figura 27) (Repetto & Camean, 2006).



**Figura 33: Estructura molecular del manitol. Fuente: (Repetto & Camean, 2006).**

### Propiedades

El manitol es un polvo cristalino, inodoro, blanco de baja higroscopicidad, de sabor dulce, con un PE de 0.6-0.8 con respecto a la sacarosa y solubilidad intermedia en agua (180 g/L a temperatura ambiente). Es muy estable químicamente y al calor. Es un isómero del sorbitol, siendo la única diferencia la orientación del hidroxilo del carbono 2 (Repetto & Camean, 2006).

### Uso

Estudios encuentran útiles su empleo en chicles (comúnmente combinados con otros polioles) además de ser usado en productos bucales, ya que no se considera cariogénico (Bordoni, et al., 2010). Tiene un efecto laxante a niveles de consumo de 20 g/día (Repetto & Camean, 2006).

Es útil como agente antiadhesión, por lo que se emplea como polirol de superficies para espolvorear en la confitería sin azúcar (Repetto & Camean, 2006).

### Síntesis

Industrialmente se obtiene por hidrogenación de azúcar invertido, sacarosa o monosacáridos (Bordoni, et al., 2010).

El manitol es una de las moléculas más abundantes de almacenamiento de energía y de carbono en la naturaleza, producidos por una gran variedad de organismos, incluyendo bacterias, levaduras (*Zygosaccharomyces rouxii*), hongos, algas, líquenes, y muchas plantas (Song & Vieille, 2009). Se considera un edulcorante caro debido al proceso de purificación necesario para separarlo del sorbitol y otras impurezas (Repetto & Camean, 2006).

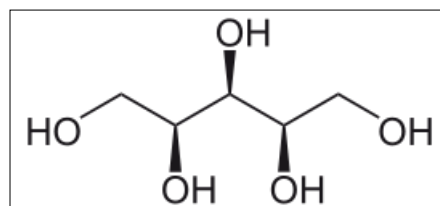
### Toxicología

Estudios preliminares a largo plazo en rata indicaron una mayor incidencia de tumores benignos de timo asociados al consumo de manitol en los animales hembra, lo que llevó al JECFA a establecer una IDA temporal de 50 mg/día (1966-1976). Sin embargo, investigaciones exhaustivas realizadas posteriormente en Estados Unidos en ratas y ratones, evidenciaron que el manitol no era cancerígeno. El SCF indicó que el concepto de IDA para el manitol resulta inapropiado y no pone ninguna objeción a su empleo (Repetto & Camean, 2006).

## d) Xilitol

El xilitol (figura 34) es un derivado hidrogenado de la xilosa. Se encuentra en pequeñas cantidades en ciertas frutas, hortalizas y cereales (Cubero, et al., 2002). Tiene la denominación química de D-xilitol, su fórmula empírica es  $C_5H_{12}O_5$  y un peso molecular de 152.15 g/mol. (Repetto & Camean, 2006).

En el organismo el xilitol tiene una lenta digestión y absorción, oxidándose posteriormente a xilulosa y metabolizándose siguiendo la ruta del ciclo de las pentosas fosfato, la parte no absorbida es fermentada por la microflora del colon por lo que tiene un aporte calórico < 4 Kcal/g (Repetto & Camean, 2006).



**Figura 34: Estructura molecular del xilitol.** Fuente: (Repetto & Camean, 2006).

### Propiedades

El xilitol es un polvo prácticamente inodoro, blanco, cristalino, de sabor dulce con un PE de 1 con respecto a la sacarosa, poco higroscópico, muy soluble en agua (630 g/L a temperatura ambiente), con una estabilidad intermedia a los tratamientos térmicos (punto de fusión entre 93-94.5°C), y estable químicamente (Repetto & Camean, 2006).

Tiene un sabor azucarado sin regusto, además de alto efecto refrescante en la boca (Repetto & Camean, 2006).

### Uso

El xilitol tiene como usos principales en los alimentos ser humectante ya que es el polialcohol más higroscópico de todos, como protector en pastas dentífricas, chicles, pastillas refrescantes, etc., aprovechando su beneficio dental y la sensación de frescor en boca (Cubero, et al., 2002), además de su uso como agente de carga de diabéticos (Repetto & Camean, 2006).

Sus efectos laxantes aparecen a rangos de consumo entre 50-70 g/día, y no sufre el pardeamiento químico (Repetto & Camean, 2006).

Es una sustancia tolerada por diabéticos y no provoca caries, incluso tiene un efecto benéfico para la dentadura debido al gran efecto refrescante en la boca que provoca un aumento del flujo de saliva, lo que favorece la limpieza y protección de los dientes, además baja el desarrollo de la placa dental, inhibe el crecimiento de las bacterias asociadas a la caries (Cubero, et al., 2002).



### Síntesis

El xilitol Industrialmente se fabrica por hidrogenación de la D-xilosa, obtenida por hidrólisis del xilano, que abunda en las virutas de madera duras, restos de mazorcas de maíz tras su desgranado y en el bagazo de la caña de azúcar (Repetto & Camean, 2006).

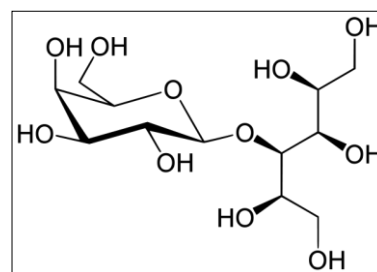
### Toxicología

En un estudio toxicológico se observó que en los machos alimentados con una dieta entre el 10-20% de xilitol aparecían tumores de vejiga, como consecuencia de la formación de cálculos de oxalato. También se ha indicado que en las ratas se apreciaban lesiones proliferativas en la médula suprarrenal (Repetto & Camean, 2006). Otros estudios igualmente realizados en ratas muestran efectos adversos, como tumores de riñón, hiperplasia epitelial y cálculos; en dosis que expresadas en Kg/día son prácticamente imposibles de ingerir para un adulto de 70 kilos (Bordoni, et al., 2010). Por todo ello la JECFA le adjudicó una IDA no especificada. El SCF lo considera inocuo y de uso aceptable con limitaciones semejantes a las de otros polioles (Repetto & Camean, 2006).

## e) Lactitol

El 4-O- $\alpha$ -D-galactopiranosil-D-glucitol o mejor conocido como lactitol (figura 35) fue descubierto en 1920 por Senderens, un Químico en Alimentos Francés. La primera preparación útil de lactitol fue realizada por Karrer y Buchi en 1937 y el lactitol ha sido producido y comercializado desde los 80's (Mitchell, 2006).

El lactitol es un disacárido compuesto de sorbitol y galactosa (Mitchell, 2006) y se produce a partir de lactosa (Bordoni, et al., 2010).



**Figura 35: Estructura molecular del lactitol.**

Fuente: (O'Donnell & Kearsley, 2012).

### Propiedades

Tiene un PE de 0.4 veces con respecto al azúcar y un tiene un poder calórico de 2.0 kcal/g (ISO, 2012).

El lactitol debido a la ausencia de un grupo carbonilo, es químicamente más estable que disacáridos relacionados, como la lactosa. Su estabilidad en presencia de un medio alcalino es mucho más alta que la de la lactosa. La ausencia de un grupo carbonilo también significa que el lactitol no participa en reacciones de pardeamiento no enzimático (Maillard). Respecto a la estabilidad en el almacenamiento, una solución de lactitol

10% en el intervalo de pH 3,0 a 7,5 a 60 ° C no muestra ninguna descomposición después de un mes. A pH alto el lactitol es estable incluso a 105°C (O'Donnell & Kearsley, 2012).

### Uso

Además de ser usado como sustituto del azúcar, es utilizado para la elaboración de chocolates, productos horneados, goma de mascar, confitería, helados, postres congelados, conservas, tabletas, y también tiene cierta función como prebiótico (Mitchell, 2006).

Lo pueden consumir personas diabéticas, además de que es un producto no cariogénico (O'Brien, 2012).

### Síntesis

El lactitol es producido mediante una hidrogenación catalítica de la lactosa, el azúcar de la leche, usando níquel Raney como catalizador. La solución hidrogenada se filtra y purifica por medio de resinas de intercambio iónico y carbón activado. La solución de lactitol purificada se concentra y se cristaliza (Mitchell, 2006).

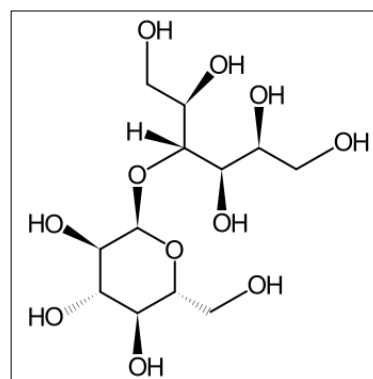
### Toxicología

El lactitol está permitido en países como Argentina, Australia, Brasil, Canadá, Israel, Japón, Noruega, Suecia, Suiza. En EE.UU. fue reconocido como GRAS por la FDA en 1993 y en la Unión Europea fue aceptado como edulcorante en todos sus países (O'Donnell & Kearsley, 2012).

## f) Maltitol

El maltitol (figura 36) es un poliol disacárido compuesto de dextrosa y sorbitol (Hull, 2010). Es un edulcorante de 12 carbonos (Bordoni, et al., 2010), tiene una forma molecular de  $C_{12}H_{24}O_{11}$  y un peso molecular de 344 mol/g (O'Brien, 2012).

La mayoría de las bacterias bucales no logran metabolizarlo. Sin embargo *S.mutans*, *Actinomyces* y algunas cepas de lactobacilos pueden fermentarlo a un ritmo muy lento (Bordoni, et al., 2010).



**Figura 36: Estructura molecular del maltitol.**  
Fuente: (Hull, 2010).

### Propiedades

El maltitol es uno de los polioles menos higroscópico y no llega absorber humedad de la atmosfera. Relativamente tiene una alta solubilidad (175g por cada 100ml de agua) a 25°C. Su dulzor con respecto a la sacarosa es de 0.9 veces y un aporte calórico de 2.1 Kcal/g (O'Brien, 2012).

### Uso

El maltitol está generalmente disponibles en tres grados que contienen cantidades variables de maltitol o bien como un jarabe o como polvo cristalino. Los contenidos típicos de maltitol son 50-55%, 72-77%, 80-90%, dependiendo del contenido de maltosa del jarabe que fue elaborado (Hull, 2010).

El maltitol se emplea en productos horneados, chocolates, gomas de mascar, pastillas, helados, mermeladas, conservas, confitería y también es usado como aglutinante en barras de cereales y para evitar la reacción de Maillard en la elaboración de caramelos (Hull, 2010). Es apto para personas diabéticas y no es cariogénico (O'Brien, 2012).

### Síntesis

Hay varias rutas relacionadas que pueden ser utilizados para hacer maltitol pero todos comparten una primera etapa común, en la que el almidón es licuado normalmente por cocción a 110°C aproximadamente en presencia de una enzima  $\alpha$ -amilasa estable al calor. Una segunda cocción a 135°C puede llevarse a cabo para asegurar que todo el almidón está gelatinizado antes de proceder a la siguiente etapa, donde específicamente la maltosa se produce a partir del almidón usando una combinación de enzimas de sacarificación incluyendo  $\beta$ -amilasa y pululanasa. Este último se agrega para hidrolizar específicamente enlaces (1-6) en el almidón y de este modo abrir los gránulos de almidón para permitir el mayor acceso de  $\beta$ -amilasa (O'Brien, 2012).

La cristalización en masa fundida, el agua se evapora progresivamente desde el jarabe de maltitol hasta que el contenido de sólidos es de aproximadamente 95%. El poliol no está en solución en estas condiciones, pero un alto contenido de sólidos se funde. Después de la siembra, el maltitol fundido es entonces sangrado de la olla y solidificado. El secado, molido y cribado completan el proceso para dar un polvo de maltitol (O'Brien, 2012).

Otras condiciones de procesamiento son similares a las de otros polioles. La maltosa o jarabe de maltosa reacciona con hidrogeno, altas temperaturas (100-150°C) y presiones altas (100-150 bar)

en la presencia de un catalizador apropiado. Los catalizadores apropiados son Raney níquel, molibdeno, paladio y platino (O'Brien, 2012).

### Toxicología

El maltitol está permitido en alimentos y productos farmacéuticos en muchos países. Algunos países como la UE y los EE.UU. tienen sus propios requerimientos legales y criterios de pureza en estos productos (O'Brien, 2012).

En la UE está autorizado para uso alimenticio, pero en bebidas no está usualmente permitido debido a los posibles efectos laxantes y no puede ser usado en alimentos en combinación con azúcares a menos que el poliol esté presente con una funcionalidad tecnológica. En los EE.UU., las restricciones sobre el uso de la combinación de polioles con azúcar no se aplican, además de que aquí se considera un aditivo alimentario clasificado como GRAS por la FDA (O'Brien, 2012).

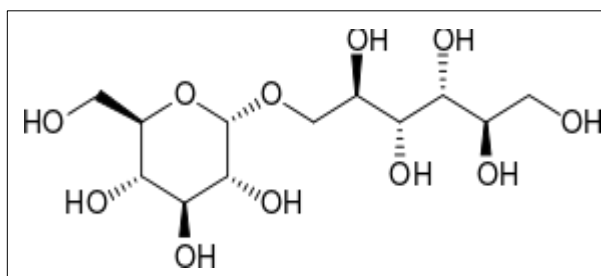
Extensivos exámenes toxicológicos han demostrado seguro el consumo de maltitol y la JECFA ha establecido una IDA no especificada (O'Brien, 2012).

## **g) Isomalt**

El isomalt (figura 37) es un disacárido de una mezcla equimolar de dos alcoholes de disacáridos: sorbitol y manitol (Khan, 1993).

### Propiedades

El isomalt es inodoro, cristalino y no higroscópico (O'Brien, 2012). Tiene un valor calórico de 2.0 Kcal/g y un dulzor con respecto a la sacarosa de 0.45-0.6 veces (ISO, 2012). Es extremadamente estable con respecto a hidrólisis química o enzimática.



**Figura 37: Estructura molecular del isomalt.**

Fuente: (Khan, 1993).

No puede ser fermentado por un gran número de levaduras y otros microorganismos encontrados en la naturaleza. Tiene una baja solubilidad, resiste altas temperaturas de cocción, baja viscosidad de la masa fundida, alta capacidad de calor específico. Punto de fusión es 122-123°C y el punto de fusión de 182°C y tiene un poder sensorial muy agradable (O'Brien, 2012).

### Uso

Las aplicaciones del isomalt son en dulces de alta y baja cocción, productos recubiertos, gomas de mascar, pastillas, chocolate, productos horneados, mermeladas, pastas de frutas, cereales, y aplicaciones farmacéuticas. Es apto para personas diabéticas y no es cariogénico (O'Brien, 2012).

Existen diferentes clases de isomalt como lo son; ST (Estándar), GS (Buena Solubilidad), LM (Baja humedad), DC (Compresión Directa), HC (alta cocción) y las características finales del producto dependen del tipo de isomalt usado (Tabla 7) (O'Brien, 2012).

**Tabla 7: Descripción general de variantes del Isomalt incluyendo aplicaciones.**

	Isomalt				
	ST	GS	LM	DC	HC
Estado del Isomalt	Cristalino/Polvo			Aglomerado	Líquido
Uso	Universal	Buena solubilidad	Baja humedad	Compresión directa	Alta cocción
Dulces de alta cocción	X				X
Dulces de baja cocción	X	X			
Gomitas	X	X			
Productos recubiertos	X	X			
Chicles					
- Cubierta	X	X			
- Relleno	X	X			
Pastillas				X	
Productos horneados	X	X			
Glaseados	X	X			
Rellenos (a base de grasa)	X	X			
Chocolate			X		
Mermelada	X	X			
Helados	X	X			

Fuente: (O'Brien, 2012).

### Síntesis

Obtenido por hidrogenación catalítica de isomaltulosa. La isomaltulosa es producida por isomerización catalítica de sacarosa por medio de un sistema enzimático presente en la bacteria *Protaminobacter rubrum*. La  $\alpha(1-2)$  vínculo entre la glucosa y la fructosa en la molécula de sacarosa se descompone y se vincula en la isomaltulosa sobre  $\alpha(1-6)$  (Khan, 1993).

### Toxicología

Extensos estudios toxicológicos y metabólicos han concluido que el isomalt es seguro. Además de establecerse una IDA no especificada por JECFA. Es importante mencionar que el consumo en grandes cantidades genera un efecto laxante en el organismo (O'Brien, 2012).

El isomalt es aprobado en más de 80 países de todo el mundo. Primero se aprobó su uso como sustituto del azúcar en Suiza y Reino Unido después siguieron todos los países del mundo. En muchos países europeos, el isomalt es aprobado como aditivo alimentario y se considera un producto GRAS por la FDA en 1990 (O'Brien, 2012).

## **IV. Edulcorantes de naturaleza proteica**

### **a) Miraculina (Miralina)**

La miraculina fue descubierta en 1968 (Pijoan, 2006) y es una glucoproteína insípida constituida por varios cientos de aminoácidos (Badui, 2006). Se cultiva en el invernadero en Taiwán para la producción en masa. Fabricado en comprimidos/pastillas basado en la congelación de la fruta seca en polvo (Shimamura & Lin, 2007). También se cultiva en invernadero en Japón, da sus frutos dos veces al año (Kurihara, 1992).

### Propiedades

Tiene un peso molecular de 42.000 Daltons. Tiene la peculiar propiedad de impartirle a los alimentos ácidos un sabor dulce (Fennema, 2000). Al igual que otros edulcorantes proteicos, la miraculina es termolábil y se inactiva a pH ácidos extremos (Fennema, 2000), pero la proteína en sí misma es muy estable y se puede almacenar en forma pura o en solución por meses sin pérdida de la función (Gibbs, et al., 1996).

El PE de una solución de miraculina inducido por una solución de ácido cítrico 0.1M ha sido calculado que es de unas 400,000 veces la de una solución de sacarosa. Su sabor persiste durante más de 24 horas cuando se coloca en la boca, lo que limita su uso potencial (Fennema, 2000). Además, acarrea el riesgo de confusión en los niños, al tener un poder modificador del sabor transcurridas varias horas tras su ingestión (Repetto & Camean, 2006).

### Uso

Los africanos han utilizado esta fruta para endulzar un atole agrio hecho de pan duro, vino de palma, y el pito, una cerveza amarga hecha de grano fermentado. También se usa antes de comer un determinado tipo de pan de maíz agria (Bartoshuk, 1974).

Pero por sus propiedades puede ser usado para endulzar alimentos o bebidas con pH ácido.

### Síntesis

La miraculina ha sido aislada del fruto de una planta de África Ecuatorial llamada *Richadella dulcifica*. (Fennema, 2000), o también conocida como *Synsepalum dulcificum*. El grupo prostético incluye distintos azúcares (Repetto & Camean, 2006), pero sus ingredientes activos son el ácido clorogénico y cinarina (Bordoni, et al., 2010).

### Toxicología

En EE.UU. en la década de los años 70, la miraculina se introdujo como una forma de ayudar a los diabéticos (Fennema, 2000). La petición de sustancia GRAS fue denegada en 1974, lo que llevó a la quiebra a la compañía Miraculin Corporation, donde se desarrolló el método para su extracción y estabilización (López & Canales, 2004).

La FDA no ha aceptado jamás su empleo, a pesar de las numerosas investigaciones toxicológicas realizadas. Asimismo, el SCF no ha podido tampoco determinar su seguridad ante la falta incluso de datos sobre su identidad exacta (Repetto & Camean, 2006).

## **b) Monellina**

La monelina o monellina es una proteína dulce (Repetto & Camean, 2006), que se descubrió en 1972 junto con la taumatina (Pijoan, 2006) y está constituida por dos cadenas polipeptídicas unidas por enlaces no covalente (Repetto & Camean, 2006).

Extraída de la pulpa del fruto *Discoreophyllum cumminsii*. (López & Canales, 2004) Conocida en el oeste de África por los nombres de Ekali-bonte, kaligbonde, ito-igbin, ayun-ita y serendipity berries (Alonso, 2010).

La monelina está formada por dos cadenas polipeptídicas (A y B) (Alonso, 2010). Las subunidades A y B contienen 50 y 42 aminoácidos respectivamente, y solo presentan un grupo –SH localizado en la subunidad BI. Solo es dulce en estado no disociado y con el resto –SH libre (Repetto & Camean,

2006). Como sucede con la taumatina, es necesario que se mantenga la estructura tridimensional para que exista sabor dulce (Alonso, 2010).

#### Propiedades

Presenta un peso molecular de alrededor de 15,000 Daltons (Repetto & Camean, 2006), tiene un PE de 2500-3000 veces mayor que la sacarosa (Badui, 2006) (Fennema, 2000).

Proporciona un sabor azucarado agradable, aunque la lenta percepción del sabor dulce y el regusto dulce muy persistente final limitan su uso, unido a su inestabilidad y alto precio. Aunque resiste temperaturas de 60-65°C, al incrementarse desde 70 a 100°C va perdiendo su sabor dulce, hasta desaparecer. El calentamiento en medio ácido acelera su destrucción, así como un pH extremo menor a 2 (Repetto & Camean, 2006).

#### Uso

La monellina no se emplea en bebidas dado que pierde la capacidad edulcorante con el tiempo (Alonso, 2010).

#### Síntesis

De forma natural se extrae de la pulpa del fruto comentado. En el laboratorio, por clonación de un gen sintético en *Escherichia coli* y en levaduras, se ha obtenido una proteína sintética de monelina tan dulce como la monelina natural, aunque más estable a temperatura ambiente y frente al calor (Repetto & Camean, 2006), pero su inestabilidad dificulta la comercialización (López & Canales, 2004).

#### Toxicología

En Europa el SCF no ha procedido todavía a su evaluación toxicológica (Repetto & Camean, 2006).

### **c) Taumatina**

Las taumatinas fueron aisladas por Van der Weel, en 1972 del fruto de una planta tropical del Oeste de África (Repetto & Camean, 2006) denominada *Thaumatococcus daniellii* (Fennema, 2000) y se utiliza en Japón desde el año 1979 (Alonso, 2010).

Las taumatinas son proteínas con un sabor muy dulce y tienen la capacidad de aumentar la palatabilidad (actualización o mejora de otros sabores) de los alimentos (Faus, et al., 1998). Existen



dos tipos de taumatinas (I y II) (Fennema, 2000) y se comercializan bajo el nombre de Talin (Badui, 2006), aunque la proteína más abundante de esta familia es la taumatina II (Faus, et al., 1998).

### Propiedades

Estas sustancias son proteínas alcalinas (pH = 12) cada una con un peso molecular de aproximadamente 20,000 Daltons (Fennema, 2000) y las dos son igualmente dulces (López & Canales, 2004) con un poder edulcorante de 2,000-3,000 (Repetto & Camean, 2006). En el caso de ambas taumatinas están formadas por 207 restos de aminoácidos (Tabla 8) donde solo se diferencian por 5 aminoácidos diferentes (López & Canales, 2004).

De su estructura molecular se desprende la ausencia del aminoácido histidina y la presencia de una gran cantidad de puentes disulfuro que la sostienen, estabilizan y le brindan una gran termorresistencia (Alonso, 2010). El 10% de la proteína se encuentra en  $\alpha$ -helice, 70% en  $\beta$ -plegada y 20% al azar (López & Canales, 2004). Asimismo, conviene destacar que el mantenimiento de su estructura tridimensional es fundamental para mantener su sabor dulce. Basta la simple ruptura del puente disulfuro entre las cisteínas 145 y 158 (particularmente lábil) para que el sabor dulce se pierda (Alonso, 2010).

Para ser una proteína es extremadamente soluble en agua (hasta 60%) y en alcohol acuoso (Repetto & Camean, 2006), extremadamente estable: a pH menores de 5.5, puede pasar varias horas a 100°C sin perder el dulzor (López & Canales, 2004), al igual que mantener su estabilidad en forma seca y congelada. Aunque se desnaturalizan irreversiblemente a 55°C a pH = 3.2 (Repetto & Camean, 2006). Presentan un dulzor retardado y persistente que se pierde totalmente a pH inferior a 2 (Cubero, et al., 2002) y a veces un sabor residual alicorado (Repetto & Camean, 2006).

Tiene además propiedades enmascarantes, no provoca caries dental, es sinérgico al combinarse con otros edulcorantes bajos en calorías y agrega sensación bucal (Repetto & Camean, 2006).

**Tabla 8: Estructura primaria de la taumatina.**

Aminoácido	Número de residuos	
	Taumatina I	Taumatina II
Glicina	24	24
Treonina	20	20
Alanina	16	16
Cisteína	16	16
Serina	14	13
Aspártico	12	13

**Tabla 8: Continuación.**

Prolina	12	12
Arginina	12	13
Fenilalanina	11	11
Lisina	11	11
Asparagina	10	8
Valina	10	10
Leucina	9	9
Isoleucina	9	9
Tirosina	8	8
Glutámico	6	6
Glutamina	4	5
Triptofano	3	3
Metionina	1	1
Total	207	207

Fuente: (López & Canales, 2004).

### Uso

La taumatina se usa como edulcorante en bebidas y postres y como edulcorante parcial mezclado como otros edulcorantes que facilitan la aparición del sabor dulce con mayor rapidez. Adicionalmente, es un poderoso potenciador del aroma, elevando hasta en diez veces el aroma a menta, canela o pimienta, por lo que se emplea en pastas de dientes y enjuagues bucales, goma de mascar o incluso como enmascarador o potenciador de los sabores de las medicinas. También se usa para mejorar y estimular el aroma del café y los productos lácteos (Repetto & Camean, 2006).

### Síntesis

Se obtienen por extracción acuosa (pH = 2.4-4.0) del fruto denominado “katemfe” de la planta indicada anteriormente y consiste básicamente en las proteínas taumatina I y II, junto con cantidades menores de constituyentes vegetales (Repetto & Camean, 2006). A pesar de sus ventajas, el uso industrial de taumatinas de origen vegetal es muy limitado debido a la extrema dificultad que implica la obtención de la fruta de la que es extraído (Faus, et al., 1998) ya que la planta *Thaumatococcus daniellii Benth* no solo requiere un clima tropical y la polinización por insectos, también debe ser cultivado entre otros árboles y aún el 75% de estas flores no tienen fruto. Aunque se han hecho intentos para producir taumatinas por ingeniería genética con diferentes microorganismos (Zemanek & Wasserman, 1995), hasta ahora los resultados han sido

desalentadores, por lo que la disposición de taumatina en la industria es muy escasa y cara (Faus, et al., 1998).

Se han realizado pruebas con hongos filamentosos. Entre las especies de hongos que han sido utilizadas con éxito como huésped para la producción de proteínas se han obtenido secreciones en el medio de crecimiento en concentraciones de  $5 \pm 7$  mg/L a partir del *Aspergillus niger* var. *Awamori* (Faus, et al., 1998).

Finalmente, conviene señalar que el gen de la taumatina se ha clonado en plantas superiores (*Solanum tuberosum*), generándose el sabor dulce en tejidos de las vellosidades de la raíz:  $3 \times 10^{-8}$  M como concentración promedio en el tejido (López & Canales, 2004).

### Toxicología

No tiene efecto mutagénico ni teratogénico. Dada su naturaleza proteica se podría pensar en una cierta capacidad alergénica, aunque los estudios experimentales desarrollados no han manifestado sensibilización alguna a esta. Además, la taumatina presenta una digestibilidad similar a la albúmina de huevo. El riesgo de su empleo es prácticamente inexistente debido a su elevado PE, por lo que su consumo es muy bajo (2 mg/día), y a las limitaciones tecnológicas de las posibilidades de aplicación. Por todo ello el JECFA en 1985 declaró una IDA “no especificada” para ella, permitiéndose su empleo de acuerdo con las buenas prácticas de fabricación. También en Europa, el SCF emitió un informe temporal favorable en 1985, para posteriormente ser aceptada (Repetto & Camean, 2006).

El uso de Talin está autorizado en Europa (E957) como edulcorante y potenciador del sabor y en los Estados Unidos como aromatizante natural (FEMA GRAS 3732). En total su uso está autorizado en más de 30 países de todo el mundo y fue autorizado por el Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios en 1985, además de ser un edulcorante autorizado en la UE (deben observarse unos límites máximos cuando se utiliza como edulcorante), y su uso está autorizado como edulcorante y como potenciador del sabor en Suiza, EE.UU., Canadá, Israel, México, Japón, Hong Kong, Corea, Singapur, Australia, Nueva Zelanda y Sudáfrica entre otros países. Se ha pedido su autorización en más países (ISO, 2012).

## **d) Mabinlina**

La mabinlina son proteínas de sabor dulce extraído de la semilla de Mabinlang (*Capparis masaikai* Levs). Una planta china en crecimiento en la provincia de Yunnan. Hay cuatro homólogos, la mabinlina-2 (Zhon, et al., 1983), que se extrajo por primera vez en 1983 y se caracterizó en 1993 (Pijoan, 2006). Las otras variantes de mabinlin-1, -3 y -4 se descubrieron y se caracterizaron en 1994 (Zhon, et al., 1983).

### Propiedades

La mabinlina tiene un PE de 100-400 veces más dulce que la sacarosa (Pijoan, 2006).

La dulzura de mabinlina-2 no sufre cambios después de 48 horas de incubación a 80°C (Zhon, et al., 1983) y la dulzura de mabinlina-3 y -4 se mantiene sin cambios después de 1 hora a 80°C, mientras que mabinlina-1 pierde dulzor después de 1 hora a la misma condición (Kurihara & Nirasawa, 1997).

### Uso

Como estas proteínas, son fácilmente solubles en agua, dulces, y estables al calor tiene la oportunidad para ser utilizado como cualquier edulcorante (Kohmura & Ariyoshi, 1998).

### Síntesis

Durante la última década, se han hecho intensos estudios para producir mabinlin-2 industrialmente. La proteína de sabor dulce se ha sintetizado con éxito por un método en fase sólida por etapas en 1998, sin embargo, la proteína sintética tiene un sabor astringente-dulce (Kohmura & Ariyoshi, 1998).

## **e) Brazzeina**

La brazzeina es una proteína dulce que se encuentra en una planta salvaje africana llamada *Pentadiplandra brazzeana* Baillon. (Ming & Hellekant, 1994). Es una planta de la selva de África occidental consumida por varias etnias gabonesas desde hace centenares de años (Pijoan, 2006). La brazzeina se encuentra en la región extracelular del fruto (Assadi-Porter, et al., 2008) y fue aislada por primera vez como una enzima en la Universidad de Wisconsin-Madison en 1994 (Ming & Hellekant, 1994).

### Propiedades

Es una proteína cruda extremadamente dulce, llamada pentadina antes de que fuera aislada y purificada en 1994, después de esto se llamó brazzeina (Van der Wel, et al., 1988). Su perfil temporal se asemeja mucho al de la sacarosa, pero se desarrolla más lentamente y dura más tiempo, además de no presentar un regusto metálico o amargo (Schmelzer & Gurib-Fakim, 2008). Esta proteína es altamente termoestable ya que su dulzor no disminuye a 90°C durante 4h (Ming & Hellekant, 1994), también es estable en un amplio intervalo de pH y es el edulcorante de naturaleza proteica más soluble en agua (>50 mg/mL) descubierto hasta el momento. Proporciona 4 kcal/g y tiene un efecto sinérgico si se mezcla con Stevia (Schmelzer & Gurib-Fakim, 2008).

Tiene un PE entre 500 y 2000 veces más que la sacarosa (Schmelzer & Gurib-Fakim, 2008) (2000 veces en comparación con una solución acuosa de sacarosa al 2% y 500 veces en comparación con el 10% del azúcar). Su sabor es más similar a la sacarosa que la taumatina (Ming & Hellekant, 1994) y está compuesta por 54 residuos de aminoácidos, correspondientes a un masa molecular de 6473 Da (Ming & Hellekant, 1994).

### Uso

Este edulcorante puede ser utilizado en casi cualquier aplicación de los alimentos, bebidas, dulces, condimentos y usos farmacéuticos. Este edulcorante puede ser consumido por personas diabéticas, ya que su índice glicémico es de cero (Cweet, s.f.).

### Síntesis

Este principio dulce se aisló mediante extracción con agua, ultrafiltración y filtración en gel (Van der Wel, et al., 1988), pero existen complicaciones en cuanto a la secuencia N-terminal específica por lo que se desarrolló un sistema de producción bacteriano para la brazzeina (Schmelzer & Gurib-Fakim, 2008), esto gracias a que el gen que codifica la brazzeina ha sido transferido a la bacteria *Escherichia coli*, *Lactococcus lactis* y al maíz, haciendo con esto más fácil y viable la producción heteróloga de este edulcorante. (Assadi-Porter, et al., 2008).

Otros resultados demuestran que la *Kluyveromyces lactis* es un sistema de expresión útil para la producción de la brazzeina recombinante en forma activa con un alto rendimiento con atributos útiles en la industria alimentaria (Jo, et al., 2013) y Cweet han desarrollado un proceso patentado de bio-fermentación que está mostrando buenos resultados (Cweet, s.f.).

### Toxicología

A principios del 2008 no se había concebido como un producto GRAS en los EE.UU., pero se espera la aprobación para el 2014. No es permitido su uso en alimentos en la UE (Schmelzer & Gurib-Fakim, 2008).

## **f) Curculina**

La curculina es una proteína modificadora del sabor. Se descubrió y se aisló en 1990 a partir del fruto de *Curculigo latifolia* (Hypoxidaceae), una planta de Malasia (Barre, et al., 1997).

### Propiedades

La curculina nativa es un dímero de 27.8 kDa de dos polipéptidos idénticos de 114 residuos de aminoácidos (Barre, et al., 1997). Se considera un edulcorante con una dulzura relativa de 430-2070 veces más que la sacarosa. El sabor de la proteína se mantiene sin cambios cuando se incubaba a 50 °C durante 1 hora entre un pH de 3 y 11 (Yamashita, et al., 1995).

Modifica las habilidades sensoriales con respecto a un material amargo, agrio o agua provocando un sabor dulce después del consumo de curculina (Tabla 9) (Kurihara, 1992).

**Tabla 9: Dulzor presentado en 3 bebidas.**

Bebida	Dulzor
Ácido cítrico 0.02 M	Comparable a una solución acuosa al 10% de azúcar
Agua	Comparable a una solución acuosa al 3% de azúcar
Té negro	Comparable a una solución acuosa al 2% de azúcar

Fuente: (Kurihara, et al., 1990).

### Uso

La curculina puede impartir un dulzor preferible a productos alimenticios que deben ser agrios desde el punto de vista de, por ejemplo, estabilidad en almacenamiento o aquellos que no contienen azúcar por razones clínicas o nutricionales. De este modo, la curculina puede usarse con varios propósitos como alimentos, bebidas o fármacos (Kurihara, et al., 1990).

### Síntesis

La curculina se obtiene por extracción de los frutos frescos o secos con una solución acuosa de una sal de una concentración de al menos 0.01 M, la mezcla obtenida se homogeneiza seguida por filtrado y centrifugado. El extracto así obtenido se desala y se seca. La pureza de la curculina se

puede elevar adicionalmente purificando el extracto anterior por cromatografía de intercambio iónico, seguida de un proceso de desalación y secado. De este modo se puede obtener curculina pura (Kurihara, et al., 1990). Puede ser cristalizada por el método de difusión de vapor utilizando polietilenglicol 400 como un precipitante (Harada, et al., 1994).

## **g) Monatina**

La monatina es un derivado de aminoácido natural extraído de la corteza de la raíz de una planta (*Schlerochiton ilicifolius*) oriunda del norte de Transvaal en Sudáfrica y Ajinomoto confía conseguir los permisos para su lanzamiento en el mercado de los EE.UU. en el 2014 (ISO, 2012).

### Propiedades

Es 1400 veces más dulce que el azúcar (ISO, 2012). Además de no tener un regusto metálico amargo, ácido o astringente, es más estable que el aspartame, un sabor más limpio que la sacarina, más dulce que la sucralosa, y carece del regusto a regaliz asociado a los edulcorantes a base de Stevia (Darwin, 2011).

### Uso

Por las propiedades mencionadas de este aminoácido puede ser utilizado en gran variedad de alimentos y bebidas.

### Síntesis

Se pone en contacto el triptófano o el ácido indol-3-láctico con un primer polipéptido (triptófano aminotransferasa, triptófano deshidrogenasa, tirosina aminotransferasa (aromática), triptofan-fenilpiruvato transaminasa, sustrato múltiple aminotransferasa, aspartato aminotransferasa, triptófano oxidasa, L-aminoácido oxidasa, D-aminoácido deshidrogenasa, D-aminoácido oxidasa, D- triptófano aminotransferasa, D-alanina aminotransferasa, glutamato deshidrogenasa, fenilalanina deshidrogenasa o una combinación de las mismas) y este convierte el triptófano o el ácido indol-3-láctico en indol-3-piruvato. Después se pone en contacto el indol-3-piruvato con un segundo polipéptido y una fuente de carbono C3, en el que el segundo polipéptido es una enzima que convierte el indol-3-piruvato y la fuente de carbono C3 en 2-hidroxiácido 2-(indol-3-ilmetil)-4-cetoglutarico y posteriormente se pone en contacto el 2-hidroxiácido 2-(indol-3-ilmetil)-4-cetoglutarico con un tercer polipéptido, en el que el tercer polipéptido (tirosina aminotransferasa (aromática), triptófano deshidrogenasa, triptófano-fenilpiruvato transaminasa, triptófano

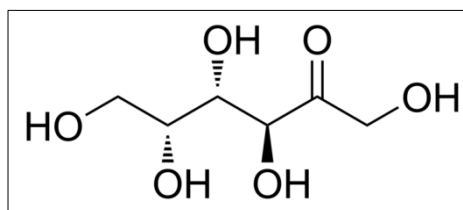
aminotransferasa, aspartato aminotransferasa, D-alanina aminotransferasa, D-triptófano aminotransferasa, glutamato deshidrogenasa, fenilalanina deshidrogenasa, sustrato múltiple aminotransferasa, D-aminoácido deshidrogenasa, una lisina épsilon aminotransferasa o una combinación de las mismas) convierte el 2-hidroxiácido 2-(indol-3ilmetil)-4-cetoglutarico en monatina (Hicks, et al., 2003).

## V. Otros edulcorantes

### a) Tagatosa

La tagatosa (figura 38) es un edulcorante natural presente en pequeñas cantidades en las frutas, el cacao y los productos lácteos. Es un monosacárido de origen natural, específicamente una hexosa (WebAcademia, 2013) siendo un epímero de la D-fructosa invertida en C-4 (AESAN, 2013) y es muy similar en textura a la sacarosa (WebAcademia, 2013).

D-tagatosa se propuso como edulcorante por G. Levin, después de varios intentos fallidos para comercializar L-glucosa para esa aplicación. Él patentó un método barato para hacer tagatosa en 1988 (WebAcademia, 2013). Actualmente los productos edulcorados con tagatosa son distribuidos por Damhert Nutrition (ISO, 2012).



**Figura 38: Estructura molecular de la tagatosa. Fuente: (ISO, 2012).**

Ya que se metaboliza de manera diferente a la sacarosa, la tagatosa tiene un efecto mínimo en los niveles de insulina y glucosa en sangre (WebAcademia, 2013).

#### Propiedades

La tagatosa es un polvo cristalino blanco casi inodoro, con una fórmula molecular de C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub> con un peso molecular de 180.16 g/mol (WebAcademia, 2013). La tagatosa tiene un PE de 0.92, un bajo contenido calórico (1.5 Kcal/g) y es un monosacárido de bajo índice glucémico (ISO, 2012).

#### Uso

Se utiliza generalmente para hornear, cocinar y con edulcorantes de alta intensidad para enmascarar su sabor amargo. Al utilizarse en la reacción de Maillard se activa la tagatosa



realzando el sabor y el rendimiento del color marrón (WebAcademia, 2013). Un reciente estudio también concluía que la tagatosa podría ser útil en bebidas ácidas (ISO, 2012).

### Síntesis

La tagatosa puede ser industrialmente producida a partir de galactosa a través de un proceso enzimático, a partir de la lactosa que se hidroliza en glucosa y galactosa. La galactosa se isomeriza en condiciones alcalinas a D-tagatosa por hidróxido de calcio. La mezcla resultante puede ser purificado y tagatosa sólido producido por cristalización (WebAcademia, 2013).

En la actualidad, además de los procesos químicos se están utilizando procesos biológicos o biotecnológicos, aprovechando la capacidad que tienen determinadas bacterias de convertir directamente la D-galactosa en D-tagatosa, principalmente por la acción de la enzima L-arabinosa isomerasa en procesos cada vez más rentables y efectivos (Rhimi, et al., 2011).

### Toxicología

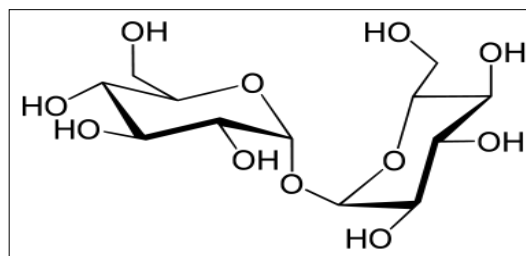
Su uso en alimentos y bebidas fue por primera vez autorizado en los EE.UU. donde obtuvo la certificación GRAS en 2001. Las autoridades surcoreanas lo autorizaron en 2003 y poco después, en abril de 2004, fue autorizado en Australia y Nueva Zelanda (ISO, 2012).

Los productos que superen los 15 g por porción o que contengan más del 1% de D-Tagatosa figurarán de forma clara y destacada en la etiqueta la mención de “un consumo excesivo puede producir efectos laxantes”, pero si no superaran estas cantidades deberá solo de hacerse mención (AESAN, 2013).

## **b) Trehalosa**

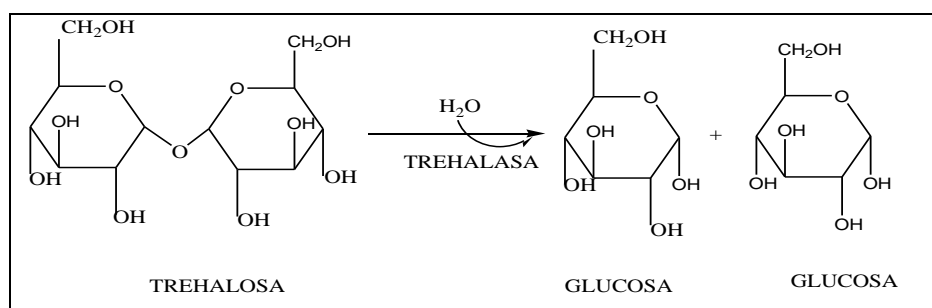
El oligosacarido  $\alpha$ -D-glucopiranosil  $\alpha$ -D-glucopiranosido, conocido como trehalosa (figura 39) se encuentra de forma natural en hongos y moluscos (Ravelo & Ramos, 2009).

El metabolismo de la trehalosa es mediante la hidrólisis de ésta (figura 40) en dos moléculas de glucosa mediante la enzima trehalasa que está



**Figura 39: Estructura molecular de la trehalosa. Fuente: (Ravelo & Ramos, 2009).**

presente en las vellosidades del intestino delgado y no incrementa los niveles de glucosa en sangre ni los niveles de insulina como lo hace la misma dosis de sacarosa (APAEH, s.f.).



**Figura 40: Metabolismo de la trehalosa. Modificado de: (Ravelo & Ramos, 2009).**

### Propiedades

Tiene un dulzor de 0.5 veces con respecto a la sacarosa y un menor valor calórico (3.6 Kcal/g) (ISO, 2012).

La trehalosa ha demostrado ser un estabilizador de enzimas, proteínas, biomazas, preparaciones farmacéuticas y órganos para el trasplante (Ravelo & Ramos, 2009). Además de que protege a las células de los efectos de congelamiento y deshidratación (ISO, 2012) y es el único azúcar capaz de proteger las biomoléculas del estrés ambiental. Está ampliamente distribuido en la naturaleza, siendo estable, inodoro y norreductor (Ravelo & Ramos, 2009).

### Uso

Este edulcorante es especialmente apropiado para utilizarlo en productos congelados, deshidratados o sometidos a altas temperaturas. La trehalosa se utiliza en alimentos como edulcorante, estabilizador, espesante y aromatizante. También se utiliza como aditivo en procesos de criopreservación (ISO, 2012).

### Síntesis

Actualmente la trehalosa de Cargill se fabrica a partir de almidones a través de un proceso enzimático patentado desarrollado por Hayashibara para producir un polvo blanco cristalino bajo la marca Trehalose (ISO, 2012).

### Toxicología

La trehalosa se ha aprobado como un aditivo alimenticio en Europa y Estados Unidos (Ravelo & Ramos, 2009). Este edulcorante está autorizado en más de 40 países de todo el mundo, entre ellos Estados Unidos, Unión Europea, Canadá, Japón, Taiwán y Corea (ISO, 2012).

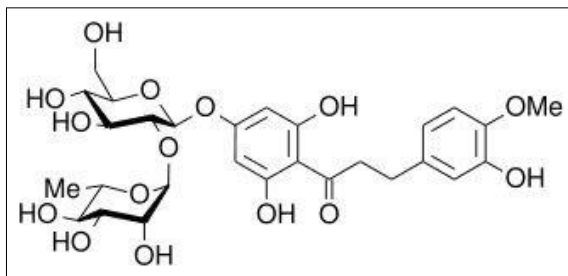
Aunque la ausencia de la enzima trehalasa (que es la que hidroliza la trehalosa) provoca una enfermedad denominada intolerancia a la trehalosa o intolerancia a los champiñones, es poco conocida y rara entre las personas.

### **c) Neohesperidina dihidrochalcona**

La neohesperidina dihidrochalcona (NHDC) (figura 41) es un flavonoide glucosilado que ha sido encontrado de forma natural en las naranjas amargas (Association, s.f.).

Fue sintetizada y descubierta casualmente en 1963. Es un edulcorante glucosídico 1-4[2-O-(6-desoxi- $\alpha$ -L-ramnopiranosil)- $\beta$ -D-glucopiranosil] oxi-2,6-dihidroxifenil-3-(3-hidroxi-4-metoxifenil)-1-propanona y tiene un peso molecular de 612.60 g/mol (Cubero, et al., 2002).

La neohesperidina una vez ingerida, es degradada principalmente por la microbiota intestinal y más del 90% de los metabolitos absorbidos son excretados en 24 horas, principalmente por la orina. Tiene un poder calórico máximo de 2 Kcal/g dependiendo de su metabolización, pero debido a las cantidades en que se utilice su contribución a la energía de la dieta es básicamente nula (Elis, 2011).



**Figura 41: Estructura molecular de la neohesperidina dihidrochalcona. Fuente: (International Sweeteners, s.f.).**

### Propiedades

La NHDC tiene un PE de 1500-2000 veces más que la sacarosa a nivel umbral. En niveles de uso práctico es en torno a 400-600 veces más dulce (Association, s.f.).

La molécula de NHDC es estable a temperaturas de pasteurización o UHT excepto en casos en que el pH del medio sea inferior a 2. La solubilidad de la NHDC es baja, pero no supone problemas ya que la dosis a la que se aplica está por debajo del límite de solubilidad de la sustancia. (Cubero, et al., 2002).

La NHDC alcanza más lentamente su máxima intensidad de dulzor pero persiste más en boca y presenta un sabor secundario mentolado. Cuando no se desea este fenómeno, puede recurrir a formulaciones patentadas que incluyen ciertos compuestos como el ácido glucónico, vainillina, bitartrato potásico, etc., que evite el inconveniente de la aparición de este regusto (Cubero, et al., 2002).

Uno de los beneficios es que la NHDC se usa habitualmente en combinación con otros edulcorantes. En esas combinaciones presenta un notable efecto sinérgico y puede aumentar la calidad de las mezclas de edulcorantes. Aún en concentraciones muy bajas, la NHDC puede mejorar el perfil aromático general y la palatabilidad de los alimentos. En tales condiciones, la NHDC actúa más como aromatizante y potenciador de sabor más que como edulcorante. La NHDC también tiene propiedades de reducción del sabor amargo (Association, s.f.).

### Uso

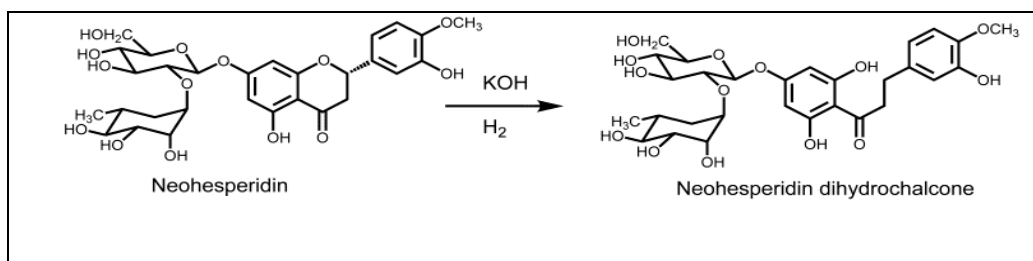
Debido a sus propiedades edulcorantes y aromatizantes, la NHDC puede utilizarse en una amplia variedad de alimentos y bebidas en combinación con otros edulcorantes para elaborar goma de mascar, caramelos, productos farmacéuticos, bebidas carbonatadas, bebidas no carbonatadas, yogurt, helados, postres, edulcorantes de mesa, pastas de dientes y productos farmacéuticos (Association, s.f.).

La NHDC no provoca caries y puede utilizarse en productos para personas diabéticas (Association, s.f.).

### Síntesis

Esta sustancia intensamente dulce, se producen por:

- Hidrogenación de narangina para dar naringindihidrochalcona (Fennema, 2000)
- Hidrogenación catalítica en medio alcalino de neohesperidina que da neohesperidina dihidrochalcona, (Cubero, et al., 2002) (figura 42)
- Hidrogenación de esperidina para dar 4'-O-glucósido herperidinadihidrochalcona (Fennema, 2000)



**Figura 42: Estructura molecular de la NHDC.** Fuente: (Cubero, et al., 2002).

### Toxicología

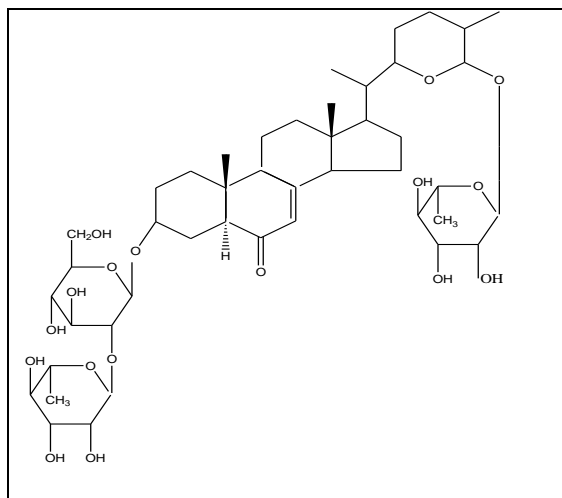
En 1988 el SCF de la Comisión Europea y actualmente la EFSA confirmó la inocuidad de la NHDC (FAGRAN, 2007). Siendo así que la seguridad de la NHDC se han comprobado intensamente y los estudios han confirmado esto. Está permitido su uso en Bélgica y Argentina pero la FDA de EE.UU. ha exigido comprobaciones toxicológicas adicionales (Fennema, 2000).

En los EE.UU. se aceptó como edulcorante desde 1994 y desde 1995 tiene el estado GRAS como aroma, en 1996 fue aprobada como saborizante o ingrediente para saborizantes en países tales como EE.UU., Japón, Australia y Nueva Zelanda, y se ha solicitado su aprobación en otros países (FAGRAN, 2007).

### **d) Osladino**

El osladino (figura 43) o también conocido como osladina (26-O- $\alpha$ -L-rhamnopyranosyl-(22R,25S,26R)-22,26-epoxy-6-oxo-5 $\alpha$ -cholestan-3 $\beta$ ,26-diol-3-o- $\alpha$ -L-rhamnopyrano-syl-(1 $\rightarrow$ 2)- $\beta$ -D-glucopyranoside) es un edulcorante potente natural extraído de los rizomas de *Polypodium vulgare* (Jizba, et al., 1971) con una estructura molecular de  $C_{45}H_{74}O_{17}$  y un peso molecular de 887.306 g/mol.

Esta planta crece en climas fríos así también el hecho que el principio activo está en los rizomas y no en las raíces y finalmente que la estructura compleja del compuesto impide el diseño y alto rendimiento de síntesis del mismo (Bassoli, et al., 2011).



**Figura 43: Estructura molecular del osladino.** Modificado de: (Jizba, et al., 1971).

### Propiedades

Es una saponina 500 veces más dulce que la sacarosa (Bassoli, et al., 2011) y su apariencia son cristales blancos solubles en etanol, pero poco solubles en agua. Sin embargo poseen un regusto que hace difícil utilizarlo como sustituto del azúcar (Yang & Tanaka, 1997).

### Uso

Más allá del creciente interés por endulzantes naturales, el osladino nunca alcanzó el éxito esperado (Bassoli, et al., 2011).

### Síntesis

El osladino está formada por la unión de la neohesperidosa con la polipodosaponina, a la cual se une a su vez, un residuo de L-ramnosa y se encuentra hasta en 0.03% de la materia seca de los rizomas del helecho *Polypodium vulgare* (Badui, 2006).

## **Capítulo III. Ventajas del uso y/o consumo de los edulcorantes**

Los cinco sabores fundamentales son: ácido, dulce, salado, amargo y umami. El sabor dulce generalmente se asocia, de forma espontánea, con la sacarosa. Pero existe una amplia gama de otros compuestos que también tienen un sabor dulce. Entre ellos, los polioles, los edulcorantes sintéticos, las proteínas y muchos otros (Sancho, et al., 1999).

A los mexicanos nos encantan los sabores dulces. No es gratuito que en prácticamente todos los estados de la República haya dulces típicos: las cajetas de Celaya, los ates de Morelia, los camotes de Puebla, las trompadas de Morelos, las cocadas de Jalisco, las glorias de Monterrey, etc. Además de que los mexicanos ocupamos el tercer lugar a nivel mundial en el consumo de refrescos (Euromonitor, 2013).

De acuerdo con una investigación publicada en esta revista sobre el consumo de refrescos en México (Aguilar, 2003), los mexicanos gastamos más dinero en estas bebidas que en comprar tortillas o frijoles. En promedio, cada mexicano consume 119 litros de refresco al año. (Euromonitor, 2013). Sin embargo, existen dos problemas de salud pública que conducen a millones de personas a limitar su consumo de azúcar: la obesidad y la diabetes.

En un edulcorante es muy importante el dulzor (Tabla 10), teniendo como base la sacarosa (Valdés & Ruiz, 2009).

**Tabla 10: Dulzor de diferentes edulcorantes en comparación con la sacarosa.**

<b>Edulcorantes</b>	<b>PE con respecto a la sacarosa</b>
<b>Artificiales</b>	
Aspartame	100-200
Neotame	8.000
Advantame	20.000
Sacarina	300-400
Ciclamato	30-80
Acesulfame de potasio	130-200
Alitame	2.000
Sucralosa	600-800
<b>Naturales</b>	
<b>Sacáridos</b>	
Glucosa	0.8
Fructosa	1.8
Jarabes de fructosa (42)	0.92
Jarabes de fructosa (55)	1.0
Sacarosa	1.0
Azúcar invertido	1.3
Maltosa	0.5
Lactosa	0.27
<b>Naturaleza glucosídico</b>	
Esteviósido	300
Glicirricina amoniacal	100
Luo Han Guo	400
Filodulcina	400-800
<b>Polihídricos</b>	
Sorbitol	0.5-0.6
Eritritol	0.7-0.8
Manitol	0.6-0.8
Xilitol	1.0
Lactitol	0.4
Maltitol	0.9
Isomalt	0.45-0.6
<b>Naturaleza proteica</b>	
Miraculina	400.000
Monelina	2.500-3.000
Taumatina	2.000-3.000
Mabinlina	100-400
Brazzeina	500-2.000
Curculina	430-2070
Monatina	1400

**Tabla 10: Continuación**

<b>Otros edulcorantes</b>	
Tagatosa	0.92
Trehalosa	0.5
NHDH	1.500-2.000/400-600
Osladino	500

Al combinar dos o más edulcorantes en el mismo producto se puede mejorar la seguridad de su empleo al reducirse la cantidad necesaria de cada una de las sustancias de la mezcla por el efecto sinérgico establecido entre ellas que aumenta mutuamente su poder edulcorante (Navarro, 2012).

Lo más preocupante de los edulcorantes artificiales es que el ciclamato se prohibió hace unos años por sospecha de carcinogenicidad, y en algunos países no está autorizado su uso en alimentos, la sacarina en dosis extremadamente altas produce cáncer, etc. Por estas razones se están buscando nuevos compuestos que puedan funcionar como edulcorantes y que mejor si estos compuestos son naturales.

## **1. Sobrepeso y Obesidad**

El sobrepeso y la obesidad se definen como una acumulación anormal o excesiva de grasa que puede ser perjudicial para la salud (OMS, 2012).

El IMC es un indicador simple de la relación entre el peso y la talla que se utiliza frecuentemente para identificar el sobrepeso y la obesidad en los adultos. Se calcula dividiendo el peso de una persona en kilos por el cuadrado de su talla en metros ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) (OMS, 2012).

La definición de la OMS es la siguiente:

- Un IMC igual o superior a **25** determina **sobrepeso**.
- Un IMC igual o superior a **30** determina **obesidad**.

El IMC proporciona la medida más útil del sobrepeso y la obesidad en la población. Sin embargo, hay que considerarla a título indicativo porque es posible que no se corresponda con el mismo nivel de grosor en diferentes personas (OMS, 2012).

La epidemia mundial del sobrepeso y la obesidad - “globesidad” - se está convirtiendo en un importante problema de salud pública en muchas partes del mundo. El aumento de la prevalencia



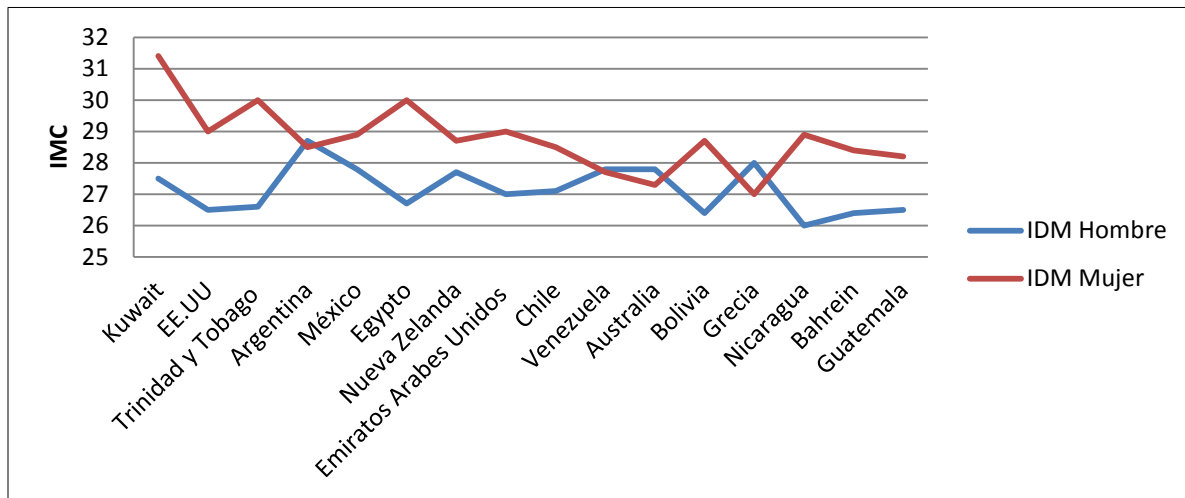
del sobrepeso y la obesidad está asociada con muchas enfermedades crónicas relacionadas con la dieta como la diabetes mellitus, enfermedades cardiovasculares, accidentes cerebrovasculares, hipertensión y ciertos tipos de cáncer (OMS, 2013).

De las 1,200 millones de personas que tienen problemas con el exceso de peso en el mundo, 70% es sobrepeso y 30% obesidad y 80 millones de estas son mexicanos (Centro de Nutrición, 2012).

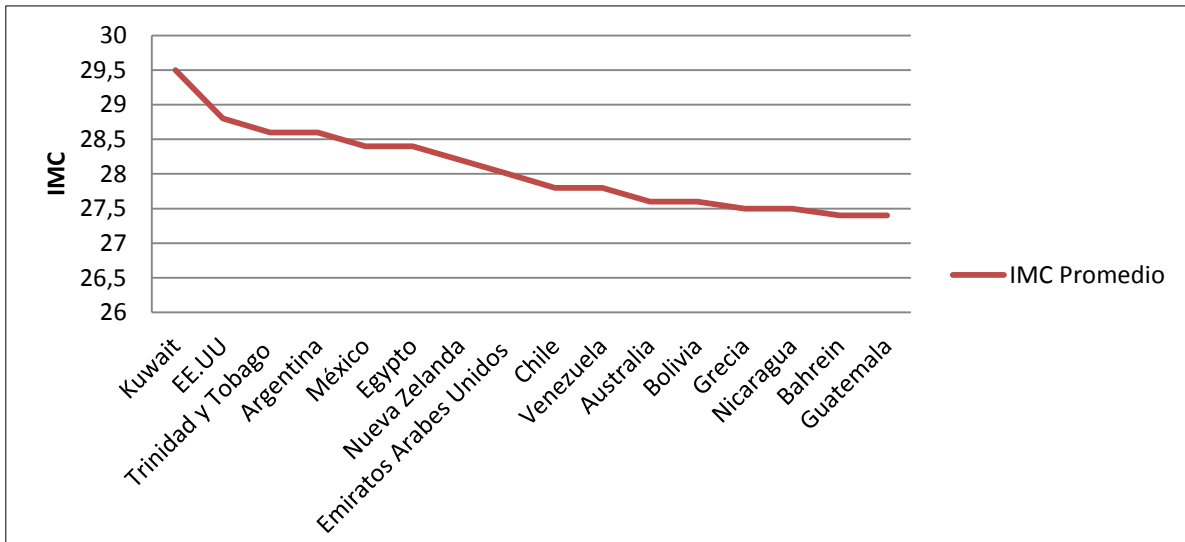
México ocupaba el cuarto lugar en 2010 junto con Egipto de los países con mayor obesidad en el mundo con un IMC del 27.8 y 28.9 de hombres y mujeres respectivamente (Gráfica 1) dando un promedio de 28.4 (Gráfica 2), ubicándose debajo del 29.5, 28.8, 26.6, 26.6 de Kuwait, EE.UU., Trinidad y Tobago y Argentina respectivamente (OMS, 2010).

Actualmente, México ocupa el primer lugar mundial en obesidad infantil, y el segundo en obesidad en adultos, precedido sólo por los EE.UU. Problema que está presente no sólo en la infancia y la adolescencia, sino también en población en edad escolar (UNICEF, 2013).

Datos del ENSANUT indican que uno de cada tres adolescentes de entre 12 y 19 años presenta sobrepeso u obesidad. Para los escolares, la prevalencia combinada de sobrepeso y obesidad ascendió un promedio del 26% para ambos sexos, lo cual representa más de 4.1 millones de escolares conviviendo con este problema (UNICEF, 2013).



**Gráfica 1: 10 países con mayor obesidad en el mundo. Modificado de: (OMS, 2010).**



**Gráfica 2: 10 países con mayor obesidad en el mundo (IMC promedio).** Modificado de: (OMS, 2010).

Por estas estadísticas es necesario que las personas empiecen a tomar acciones como lo son practicar ejercicio y equilibrar el consumo de los alimentos que ingiere para disminuir el aporte calórico de los mismos. Una buena alternativa para esto son los edulcorantes sintéticos ya que no son metabolizados y por consiguiente, no producen las calorías que generan los tradicionales carbohidratos; además, debido a que son mucho más dulces que la sacarosa, se usan en cantidades muy inferiores (Badui, 2006). Pero actualmente el consumidor no solo está exigiendo productos que tengan pocas calorías, sino que tengan buen sabor y que de preferencia sean naturales. Debido a esto los científicos se han enfocado en buscar alternativas naturales que cumplan con las expectativas deseadas no solo por el consumidor, sino por los organismos encargados de autorizarlas.

## 2. Diabetes Mellitus

La diabetes es una enfermedad crónica que ocurre cuando el cuerpo no puede producir suficiente o utilizar eficazmente la insulina. La insulina es una hormona producida por el páncreas que permite que la glucosa de los alimentos pueda entrar en las células del cuerpo, donde se convierte en energía que necesitan los músculos y los tejidos para funcionar (Harris & Zimmet, 1997).

Como resultado, una persona con diabetes no absorbe la glucosa adecuadamente y la glucosa permanece circulando en la sangre (hiperglucemia) que daña los tejidos con el tiempo. Este daño provoca complicaciones de salud que amenazan la vida (Harris & Zimmet, 1997).

Hay tres tipos principales de diabetes:

- Diabetes tipo 1
- Diabetes tipo 2
- Diabetes mellitus gestacional (DMG)

### Diabetes tipo 1

La diabetes tipo 1 es causada por una reacción autoinmune, donde el sistema de defensa del cuerpo ataca a las células productoras de insulina en el páncreas. Como resultado, el cuerpo ya no puede producir la insulina que necesita. La razón por la que esto ocurre no se entiende completamente. La enfermedad puede afectar a personas de cualquier edad, pero generalmente se presenta en niños o adultos jóvenes. Las personas con este tipo de diabetes necesitan inyectarse insulina todos los días con el fin de controlar los niveles de glucosa en la sangre. Sin insulina, las personas con diabetes tipo 1 mueren (Harris & Zimmet, 1997).

La diabetes tipo 1 suele desarrollarse repentinamente y puede incluir síntomas tales como: sed anormal y sequedad de boca, micción frecuente, cansancio extremo/falta de energía, hambre constante, pérdida repentina de peso, heridas de cicatrización lenta, infecciones recurrentes, visión borrosa (Harris & Zimmet, 1997).

### Diabetes tipo 2

La diabetes tipo 2 es el tipo más común de diabetes. Por lo general ocurre en los adultos, pero cada vez se ve en niños y adolescentes. En la diabetes tipo 2, el cuerpo es capaz de producir insulina, pero no es suficiente o bien el cuerpo no está respondiendo a sus efectos, dando lugar a una acumulación de glucosa en la sangre (Harris & Zimmet, 1997).

Aunque las razones para el desarrollo de la diabetes tipo 2 todavía no se conocen, hay varios factores de riesgo importantes. Estos incluyen: obesidad, la mala alimentación, la inactividad física, aumento de la edad, antecedentes familiares de diabetes, etnicidad, la mala nutrición durante el embarazo afecta el desarrollo del niño (Harris & Zimmet, 1997).

En contraste con las personas con diabetes tipo 1, la mayoría de las personas con diabetes tipo 2 generalmente no requieren dosis diarias de insulina para sobrevivir. Sin embargo, se pueden prescribir insulina junto con medicamentos por vía oral, una dieta sana y una mayor actividad física para controlar su enfermedad (Harris & Zimmet, 1997).

El número de personas con diabetes tipo 2 está aumentando rápidamente en todo el mundo. Este aumento está asociado con el desarrollo económico, envejecimiento de la población, la creciente urbanización, cambios en la dieta, la actividad física reducida y los cambios en los estilos de vida (Harris & Zimmet, 1997).

### *Diabetes mellitus gestacional*

Las mujeres que son diagnosticadas con diabetes durante el embarazo se dice que tienen DMG. Las mujeres que desarrollan diabetes durante el embarazo, lo que normalmente ocurre al final del embarazo, se debe a que el cuerpo no es capaz de hacer y usar suficiente insulina necesaria para el embarazo (Harris & Zimmet, 1997).

Las mujeres con DMG tienen que controlar los niveles de glucosa en la sangre para reducir al mínimo los riesgos para el bebé. Esto normalmente se puede hacer a través de una dieta saludable pero insulina o medicamento oral también puede ser necesaria (Harris & Zimmet, 1997).

La diabetes gestacional en mujeres normalmente desaparece después del parto. Sin embargo, las mujeres que han tenido GDM tienen un riesgo mayor de desarrollar diabetes tipo 2 más adelante en la vida. Los bebés que nacen de madres con diabetes gestacional tienen un mayor riesgo de obesidad y diabetes tipo 2 en la edad adulta (Harris & Zimmet, 1997).

### *Estadísticas*

En el 2011, 366 millones de personas entre 20-79 años tenían diabetes, del cual el 50% (183 millones) de estas personas no fueron diagnosticadas. Esta enfermedad generó una pérdida de al menos de 465 millones de dólares en gastos de salud y 4.6 millones de personas muertas. Donde México se encuentra entre los 10 países con mayor cantidad de personas diabéticas (Tabla 11) y se estima que para el año 2030 habrá 552 millones de personas con diabetes entre 20-79 años en el mundo (IFD, 2011).

**Tabla 11: Los 10 países/territorios con mayor número de personas diabéticas (20-79 años) en el 2011 y el 2030.**

País/Territorio		Millones de personas (2011)	País/Territorio		Millones de personas (2030)
1	China	90.0	1	China	129.7
2	India	61.3	2	India	101.2
3	Estados Unidos	23.7	3	Estados Unidos	29.6
4	Federación de Rusia	12.6	4	Brasil	19.6
5	Brasil	12.4	5	Bangladesh	16.8
6	Japón	10.7	<b>6</b>	<b>México</b>	<b>16.4</b>
<b>7</b>	<b>México</b>	<b>10.3</b>	7	Federación de Rusia	14.1
8	Bangladesh	8.4	8	Egipto	12.4
9	Egipto	7.3	9	Indonesia	11.8
10	Indonesia	7.3	10	Pakistán	11.4

Fuente: (IFD, 2011).

## Capítulo IV. Desventajas del uso y/o consumo de los edulcorantes

La sustitución de la sacarosa por los edulcorantes sintético no siempre es sencilla, ya que este azúcar desempeña, además, otras funciones en el alimento, como conservador y para conferir una textura y consistencia adecuadas; esto se observa en productos tales como mermeladas en los que el alto contenido de sacarosa reduce la actividad del agua a  $<0.8$  para evitar hongos y levaduras y ayuda a que gelifiquen las pectinas de alto metoxilo (Badui, 2006).

### 1. Fenilcetonúricos

El consumo de aspartame está restringido para las personas que son fenilcetonúricos o intolerantes a concentraciones elevadas de fenilalanina debido a la carencia de la 4-monooxigenasa, enzima relacionada con el metabolismo de este aminoácido en el hígado; la acumulación de la fenilalanina o de sus derivados provoca una mielinización deficiente del cerebro y en consecuencia, un retraso mental. Sin embargo, la ocurrencia de esta enfermedad en la población es muy baja (Badui, 2006). En América Latina el 0.71% de los recién nacidos presenta esta enfermedad (Borrajo, 2012). Por lo que no se considera un riesgo potencial esta enfermedad. Además de que cualquier producto endulzado con aspartame, debe de contar con una leyenda precautoria que diga “Fenilcetonúricos: contiene Fenilalanina” (Badui, 2006).

## **2. Resabio**

En el aspecto sensorial, algunos edulcorantes dejan un sabor un poco extraño en comparación con la sacarosa, lo cual no resulta atractivo para el consumidor y/o la persistencia o aparición no es tan favorable. Tal es el caso de la sacarina que presenta un sabor metálico y la NHDC que presenta un sabor mentolado, además de que este último alcanza lentamente su máxima intensidad de dulzor y su sabor es persistente.

Estos problemas se solucionan al realizar mezclas de edulcorantes para disminuir el sabor desagradable de los mismos y a la vez potencializar el dulzor, disminuyendo así la cantidad de uso lo cual disminuye la IDA de los edulcorantes empleados garantizando su seguridad.

## **3. Aspecto Toxicológico**

Algunos edulcorantes se han visto envueltos en escándalos, ya que se ha dicho que su consumo puede generar alta presión sanguínea, mutagenicidad, tumores en vejiga, atrofia testicular o deformaciones en feto como es el caso del ciclamato o incluso llegar a elevar el nivel de colesterol, tumores en pulmón y las glándulas mamarias como se observó en estudios realizados en ratas diabéticas que consumían acesulfame de potasio. La sacarina produce en dosis extremadamente altas cáncer en vejiga. Se debe de tener presente que los daños que producen estos edulcorantes se presentan solamente si se sobrepasa la IDA, lo cual se considera extremadamente difícil, más no imposible.

Por esta razón se descarta que sean dañinos para la salud, además de que existen organismos que se encargan de regularlos y autorizar su uso cuando se consideran seguros.

## **Capítulo V. Legislación**

### **1. Mundial**

El uso generalizado de aditivos en la industria alimentaria actualmente obliga a establecer unos mecanismos de control que regulen su correcta utilización y que verifiquen sus resultados. Para que una sustancia sea admitida como aditivo debe estar bien caracterizada químicamente y debe superar los controles toxicológicos establecidos por parte de los correspondientes organismos

sanitarios. Asimismo, ha de demostrarse su necesidad de tal modo que su uso suponga ventajas tecnológicas y beneficios para el consumidor (Ibáñez, et al., 2003).

A nivel mundial la FAO, en colaboración con la OMS, creó un comité que evalúa diversos aspectos de los aditivos (Ibáñez, et al., 2003) llamado JECFA, el cual se ha estado reuniendo desde 1956, inicialmente para evaluar la inocuidad de los aditivos alimentarios (FAO, 2013). Actualmente prepara especificaciones de identidad y pureza de los aditivos alimentarios, efectúa estimaciones de la ingestión de aditivos alimentarios y contaminantes, y propone límites máximos para residuos de medicamentos veterinarios en alimentos de origen animal (FAO, 2010).

La JECFA ha evaluado más de 2.500 aditivos alimentarios, unos 40 contaminantes y sustancias tóxicas naturales. Asimismo, la Comisión ha elaborado principios para evaluar la inocuidad de las sustancias químicas en los alimentos que son coherentes con el pensamiento actual sobre la evaluación de riesgos y tomar en cuenta la evolución de la toxicología y otras ciencias pertinentes (FAO, 2013).

El CCFAC recomienda a la CAC normas apropiadas para los aditivos alimentarios y contaminantes de los alimentos. En el caso de los aditivos, el CCFAC examina la justificación tecnológica y necesidad específicas de los niveles de uso propuestos. Asimismo establece prioridades para la evaluación de los aditivos y contaminantes por parte del JECFA (FAO, 2010).

La CAC que es un programa conjunto FAO/OMS sobre Normas Alimentarias de la CAC, es proteger la salud de los consumidores y garantizar la adopción de prácticas equitativas en el comercio de alimentos. La CAC aprueba formalmente las normas, directrices y otras recomendaciones del Codex elaboradas por sus órganos subsidiarios. Además brinda orientaciones a estos órganos subsidiarios sobre diversos aspectos, incluidos los relacionados con la gestión de riesgos (FAO, 2010).

En la UE, es la EFSA quien evalúa los datos toxicológicos disponibles y realiza las recomendaciones a la Comisión Europea, que redacta la legislación. Una vez establecidas las normativas a nivel Europeo (Directivas, Reglamentos...) éstas se trasladan a la legislación nacional de cada país miembro, que se creó en Enero de 2002, tras una serie de crisis alimentarias en la década de 1990. La EFSA fue creado como parte de un programa integral para mejorar la seguridad alimentaria de

la UE, garantizar un elevado nivel de protección del consumidor, restablecer y mantener la confianza en el suministro de alimentos de la UE (EFSA, 2009).

## **2. México**

Todos los aditivos alimentarios deben tener un propósito útil demostrado y han de someterse a una valoración científica rigurosa y completa para garantizar su seguridad antes de que se autorice su uso. El subcomité No. 10 “Aditivos y Contaminantes de los Alimentos” del CMCAC, se encarga de evaluar la seguridad de los aditivos en México (SE, 2013).

El CMCAC cuenta con el respaldo de diferentes dependencias gubernamentales, cámaras y asociaciones que se encargan de coordinar alguno(s) de los 18 subcomités mexicanos que atienden los trabajos de los Comités y Grupos del Codex Alimentarius (SE, 2013).

A continuación se observa un listado con las dependencias gubernamentales, cámaras, asociaciones, organismos nacionales de normalización, empresas e instituciones de educación superior que trabajan en conjunto con el CMCAC (SE, 2013):

Dependencias Gubernamentales:

- Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS).
- Instituto Nacional de Pesca (INAPESCA).
- Procuraduría Federal del Consumidor (PROFECO).
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, (SAGARPA).
- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA).
- Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados (CIBIOGEM).

Cámaras:

- Cámara Nacional de las Industrias Azucarera y Alcohólica (CNIAA).
- Cámara Nacional de la Industria de la Transformación (CANACINTRA).
- Cámara Nacional de la Industria de las Conservas Alimenticias (CANAINCA).
- Cámara Nacional de Industriales de la Leche (CANILEC).
- Consejo Mexicano de la Industria de Productos de Consumo (CONMEXICO).



Asociaciones:

- AgroBio México.
- Asociación Nacional de Industriales de Aceites y Mantecas Comestibles (ANIAME).
- ILSI de México.
- Consejo Mexicano de la Carne (COMECARNE).

Organismos Nacionales de Normalización:

- Consejo para el Fomento de la Calidad de la Leche y sus Derivados, A.C. (COFOCALEC).
- Sociedad Mexicana de Normalización y Certificación, S.C. (NORMEX).

Empresas:

- Sigma Alimentos.
- Coca-Cola México.
- Danisco México.
- Danone.
- Nestlé México.
- PepsiCo México.
- Unilever de México.
- Kellogg's.
- Kraft Foods de México.
- Elanco Animal Health, México.
- Mead Johnson Nutrición México.
- YAKULT.
- Abbott Laboratories de México, entre otras.

Academia:

- Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

### **3. Ingesta Diaria Admisible**

La IDA es un importante concepto normativo que con frecuencia es mal entendido. La FDA establece una IDA para los ingredientes alimentarios en un nivel determinado que son seguros

para el consumo diario sin riesgo. Consumir más de la IDA no significa que se producirá un efecto ya que la IDA incluye un amplio margen de seguridad por encima de lo que se considera el NOAEL (FAO, 2004).

Los estudios toxicológicos de residuos de medicamentos se basan en la determinación de ingestas diarias aceptables. Estas se obtienen en animales de laboratorio, luego de administrarles el aditivo en el alimento durante períodos prolongados de tiempo. De esta manera se determina el NOAEL y la IDA (FAO, 2004).

La IDA es la máxima cantidad del aditivo que la especie experimental puede recibir sin ningún tipo de manifestación toxicológica. Pero esta es la parte que se lleva a cabo en animales de laboratorio. Luego debemos, de alguna manera extrapolar al hombre, cosa que no es fácil. En general, lo que se hace es aplicar a la ingesta diaria aceptable del animal de laboratorio un factor de seguridad que se ubica normalmente en un valor de 100, aunque a veces puede ser más bajo y, en oportunidades, ser elevado a 1000 (cuando los riesgos lo justifican). De esta manera se obtiene la IDA para el consumidor humano. El MRL es, simplemente, el máximo nivel de residuos que se puede aceptar en un determinado alimento para que un humano que lo consume en forma normal y abundante no supere la IDA para el aditivo en cuestión. (FAO, 2004).

La FDA, previa a la aprobación del producto realiza costosos estudios de laboratorio, donde se demuestra su inocuidad ante las distintas pruebas a que son sometidos. Una vez que es aprobada la seguridad de un aditivo alimentario, se determina la cantidad diaria que se puede utilizar (IDA). Los valores de la IDA se expresan en mg/Kg de peso corporal del individuo (Valdés & Ruiz, 2009).

A continuación se muestra la IDA de algunos edulcorantes (Tabla 12).

**Tabla 12: IDA de los edulcorantes.**

<b>Edulcorante</b>	<b>IDA</b>	<b>Detalles</b>
<b>Artificiales</b>		
Aspartame	50 mg/kg. de peso corporal por día.	JECFA
	40 mg/kg. de peso corporal por día.	FDA
Neotame	0.2 mg/kg. de peso corporal por día	EFSA
Advantame	0.05 mg/kg. de peso corporal por día	EFSA
Sacarina	5 mg/Kg. de peso corporal por día.	JECFA en 1993 y EFSA en 1955
Ciclamato	7-11 mg/Kg. de peso corporal por día.	FDA
Acesulfame de Potasio	9 mg/Kg. de peso corporal por día.	SCF

**Tabla 12: Continuación.**

	15 mg/Kg. de peso corporal por día.	JECFA y la FDA.
Alitame	0-1 mg/Kg. de peso corporal por día.	JECFA en 1996
Sucralosa	0-15 mg/kg de peso corporal por día	JECFA en1990
<b>Naturales</b>		
<b>Naturaleza glucosídico</b>		
Esteviósido	2 mg/Kg. de peso corporal por día.	JEFSa en 2009
	5.5 mg/kg. de peso corporal por día.	Paraguay
Glicirricina amoniaca	10 mg mg/kg. de peso corporal por día	FDA
Luo Han Guo	GRAS	FDA
<b>Poliolos</b>		
Sorbitol	50 g/Kg de peso corporal por día	FDA
	BPF	JECFA y en la UE en 1985
Eritritol	GRAS	FDA
	NO especificado	OMS
Manitol	50 mg/kg. de peso corporal por día	JECFA
Xilitol	BPF	JECFA
Maltitol	BPF	JECFA
Isomalt	BPF	JECFA
<b>Naturaleza proteica</b>		
Taumatina	BPF	JECFA en 1985
<b>Otros edulcorantes</b>		
NHDH	5 mg/Kg de peso corporal por día	SCF en 1987

## Capítulo VI. Mercado de los edulcorantes

### Análisis del entorno

Desde mediados de 2009 el promedio mundial de los precios del azúcar ha experimentado un acentuado aumento que nos lleva a preguntarnos si la subida de los precios del azúcar está remodelando la demanda de edulcorantes. ¿Qué potencial poseen los edulcorantes alternativos de almidón, los EAI sintéticos y naturales y otros edulcorantes bajos en calorías para sustraer cuota de mercado al azúcar? ¿O existen factores técnicos y económicos clave que limitan este potencial? A continuación se analizarán estos sectores, donde se podrá ver que tanto mercado están ganando los edulcorantes con respecto al azúcar.

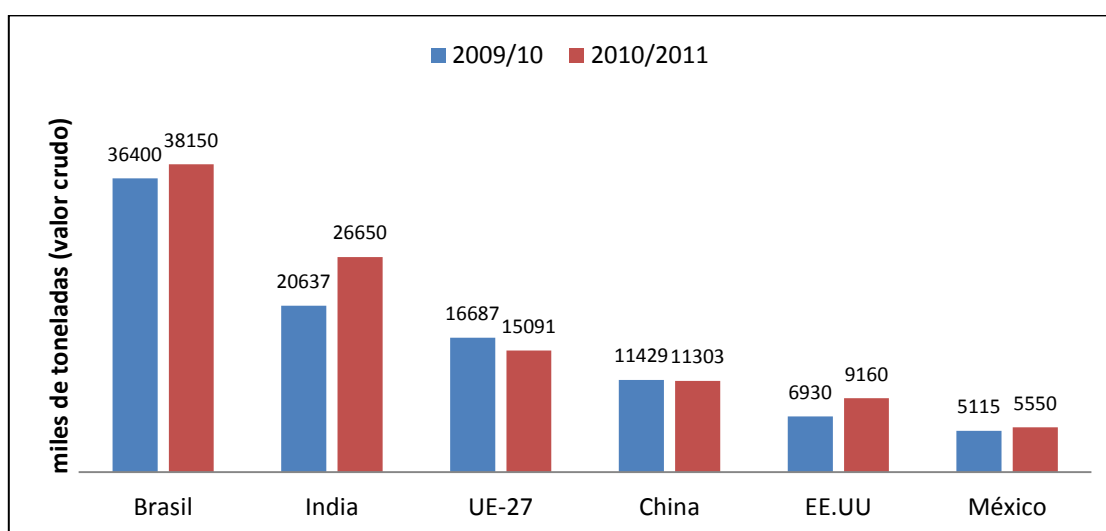
## 1. Sector azucarero

### a) Producción

Desde hace más de diez años, la producción mundial de azúcar ha mostrado una tendencia creciente, registrando una TMCA de 2.3% para los ciclos 2000/01 a 2010/11. En el último ciclo azucarero (2010/2011) alcanzó 160,948 millones de toneladas (SE, 2012).

Para los ciclos 2009/10 y 2010/11 la producción mundial aumentó 7.7%, principalmente como resultado de un mayor volumen producido por países como Brasil, que es considerado como el principal productor en el mundo con casi un cuarto de la producción mundial, y de la India registrando un incremento de 4.8% y 29.1%, respectivamente. Por el contrario, la UE registró una disminución de 1.1% en el mismo periodo (SE, 2012).

Para el caso de México, su nivel de producción lo ha llevado a obtener la 7ª posición en el mundo con una producción de 5.5 millones de toneladas en el ciclo 2010/11, alcanzando una participación de 3.4% en la producción total mundial (Gráfica 3) (SE, 2012).



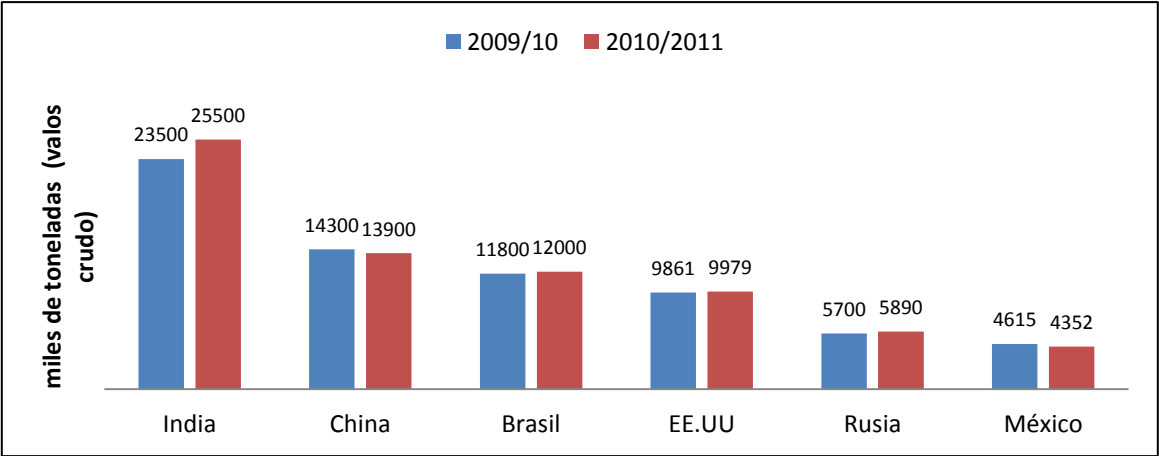
Gráfica 3: Producción de azúcar. Modificado de: (SE, 2012).

### b) Consumo

El comportamiento del consumo mundial de azúcar depende principalmente del crecimiento de la población, el ingreso, el precio y la demanda de productos sustitutos. La tendencia en el consumo de azúcar a nivel mundial se ha mantenido estable desde el ciclo 2000/01 a la fecha, mostrando

una TMCA de 2.0% en dicho periodo. El consumo mundial registrado en el último ciclo azucarero fue de 158.6 millones de toneladas (SE, 2012).

Para los ciclos 2009/10 y 2010/11, el consumo mundial de azúcar se incrementó en 2.4%, inferior al dinamismo registrado en la producción mundial (SE, 2012).



**Gráfica 4: Consumo de azúcar. Modificado de: (USDA, 2012).**

En lo que respecta al consumo por países, destacan la India, China, Brasil, EE.UU., y Rusia, que representaron 45.2% del consumo mundial para el ciclo 2010/11. India y Rusia mostraron los mayores aumentos en su demanda 8.5% y 3.3% para dicho ciclo, respectivamente. Por su parte, México consume 2.7% de la producción mundial (Gráfica 4). Sin embargo, en el último ciclo azucarero su consumo se ha visto reducido en un 5.7%, a causa del mayor nivel de precios de este producto y la creciente sustitución de azúcar por fructuosa en el mercado nacional, principalmente por la industria alimentaria del país (SE, 2012).

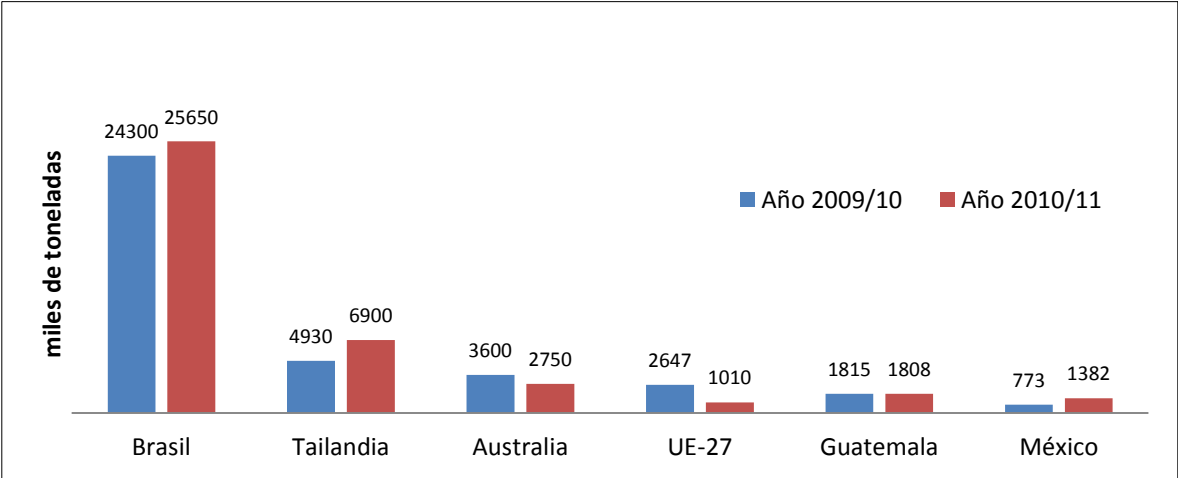
Existen seis regiones consumidoras de azúcar en el mundo. La primera de ellas, se localiza en Asia (integrada por 36 países), con un déficit de 6.3 millones de toneladas y 14.9 kg de consumo anual per cápita (SE, 2012).

La segunda región con mayor consumo es la Ex Unión Soviética (12 países) con un déficit de 4.8 millones de toneladas. En tercer lugar, se encuentra África del Norte con un déficit de 3.9 millones de toneladas en su consumo de azúcar. En cuarto y quinto lugar, se encuentra Norteamérica y Europa con un déficit de 2.8 y 2.4 millones de toneladas, respectivamente (SE, 2012).

En Norteamérica, la región deficitaria está integrada por dos países México y los EE.UU., con una población total de 422 millones de habitantes, quienes mantienen un alto nivel de consumo de azúcar, con relación a su nivel de producción, en términos per cápita el déficit en el consumo de azúcar en esta región asciende a 2.8 millones de toneladas (SE, 2012).

**c) Comercio Exterior**

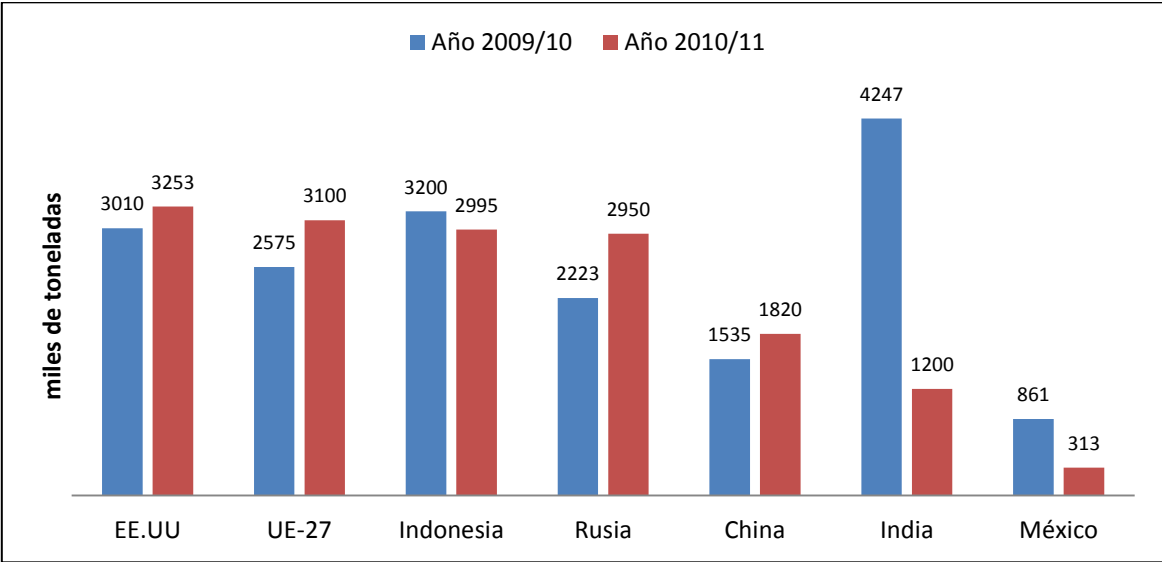
En el periodo comprendido entre 2000/01 y 2010/11, en el mercado internacional del azúcar se comercializó en promedio el 62.2% de la producción total en los mercados locales. Sin embargo, lo anterior no ha sido una tendencia regular, ya que en el ciclo 2004/05 fue de 65.7%. En contraste, para el ciclo 2008/09 el 65.5% de la producción se dispuso para ser comercializada en los mercados internacionales (SE, 2012).



**Gráfica 5: Exportaciones mundiales de azúcar. Modificado de: (SE, 2012).**

Las exportaciones mundiales de azúcar crecieron a una tasa promedio anual de 3.2% dentro del periodo 2000/01-2010/11, lo que significa un volumen acumulado de 524,315 mil toneladas. Los principales países exportadores de azúcar en el mundo, son: Brasil, Tailandia, Australia, la UE-27, y Guatemala (Gráfica 5), que representaron el 79.4% de las exportaciones totales en el ciclo 2010/11. Por su parte, Brasil, exportó en ese periodo 67.2% de su producción mientras que Tailandia y México lo hicieron en cerca de 25%. Asimismo, en el ciclo mencionado, México ocupó el 7º lugar en las exportaciones mundiales, alcanzando un 2.9% con respecto al total mundial, siendo el principal destino el mercado de los EE.UU. (SE, 2012).

Por su parte, las importaciones mundiales de azúcar se han incrementado a una tasa promedio anual de 2.9% en el periodo de 2000/01 a 2010/11, alcanzando un total de 51,828 mil toneladas durante este último ciclo (SE, 2012).



**Gráfica 6: Importación mundial de azúcar. Modificado de: (SE, 2012).**

Los principales importadores de azúcar del mundo (por tamaño de población y/o economía) que consumen más de lo que pueden producir son EE.UU., India, Indonesia, Rusia y China (Gráfica 6), quienes en conjunto adquieren el 29.6% de las importaciones mundiales. De estos países, EE.UU. concentró 6.3% para 2010/11, seguida de la UE con 6.0% e Indonesia con 5.8% (SE, 2012).

**d) Rendimientos en campo**

Para el ciclo 2009/2010, países con menores extensiones de tierra fueron los que presentan los mayores rendimientos en los campos cañeros, entre ellos destacan: Perú con 128.85 toneladas por hectárea (t/h), Colombia con 113 t/h, Guatemala 99.8 t/h, Egipto 99.1 t/h, y el lugar 15 ocupado por México con rendimientos de 66.93 t/h, por debajo del promedio mundial que se ubica en 77.7 t/h (Tabla 13) (SE, 2012).

El impacto de los rendimientos en los costos depende de la tecnología para producir, por ejemplo, costos de producción menores en el corte, alce, transporte y molienda de la caña necesaria para producir una tonelada de azúcar. A lo anterior, se debe agregar los costos por el mayor uso de

agua y fertilizantes en el campo. En este aspecto, destaca el caso de Australia, que resulta eficiente por sus altos rendimientos y la alta extracción de azúcar en fábrica, esto es posible debido a la combinación en el uso insumos de bajo costo con la aplicación adecuada de la tecnología para recuperar más sacarosa de la caña (SE, 2012).

**Tabla 13: Rendimiento en campo según cada país.**

País	Superficie (miles de hectáreas)		Superficie Cosechada /Sembrada (%)	Total caña molida (miles toneladas)	Rendimientos (%)	Caña molida para	
	Sembrada	Cosechada				Azúcar	Alcohol
Perú	82	78	95.1	10,050	128.85	10,050	
Colombia	202	185	91.6	21,000	113.51	17,300	3,700
Guatemala	220	220	100	21,955	99.8	21,455	500
Egipto	112	111	99.1	11,000	99.1	11,000	
Suazilandia	53	51	96.2	5,044	98.9	5,044	
Nicaragua	67	67	100	6,000	89.55	4,000	2,000
Australia		365		30,000	82.19	30,000	
Indonesia	350	340	97.1	26,600	78.24	26,600	
EE.UU	364	340	93.4	25,841	76	25,841	
El Salvador	63	61	96.8	4,628	75.87	4,628	
Ecuador	75	60	80	4,500	75	4,500	
Brasil	8,700	8,050	92.5	603,000	74.91	252,300	340,700
Costa Rica	52	50	96.2	3500	70	3500	
China	1,709	1,709	100	115,587	67.63	115,587	
<b>México</b>	<b>744</b>	<b>648</b>	<b>87.1</b>	<b>43,370</b>	<b>66.93</b>	<b>43,370</b>	
Argentina	322	310	96.3	20,660	66.65	20,260	400
India	4,180	4,180	100	277,800	66.46	190,800	87,000

Fuente: (SE, 2012).

En el caso de la agroindustria azucarera mexicana, y su posicionamiento competitivo medido por el rendimiento en campo se puede percibir un rezago importante con respecto a otros países. La superficie sembrada y cosechada de caña de azúcar, supera ampliamente a los países situados en los primeros lugares, pero su rendimiento y extracción de sacarosa es muy inferior (SE, 2012).

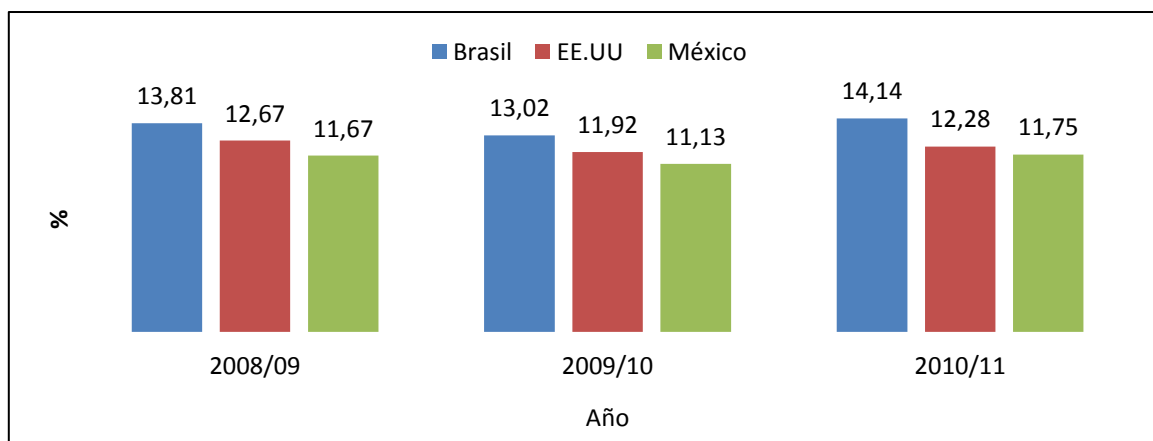
### e) Fábrica<sup>1</sup>

En Brasil, EE.UU., y México se muestra un comparativo del rendimiento de obtención de azúcar en fábrica para el ciclo 2009/10 y 2010/11. Como se aprecia en la gráfica 7, el rendimiento en fábrica

<sup>1</sup> El rendimiento en fábrica se estima a partir de la producción de azúcar con relación a la producción de caña para azúcar, medida en términos porcentuales.



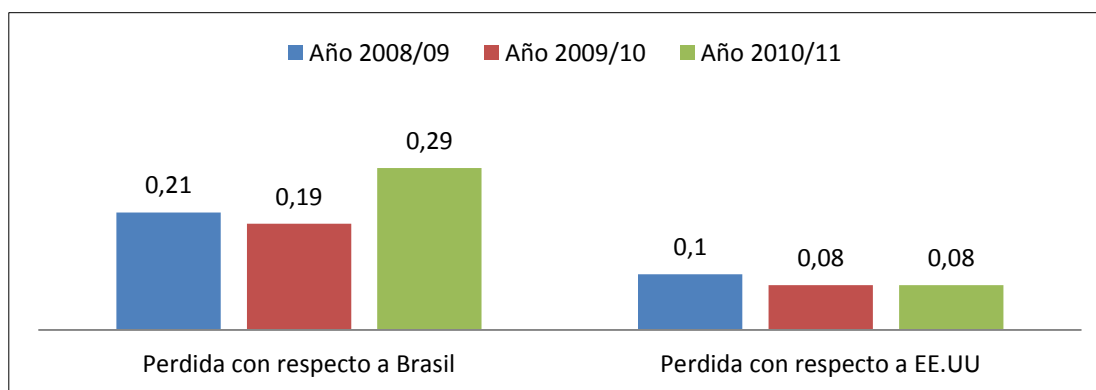
de Brasil es mayor al rendimiento obtenido en países como EE.UU. y México, al menos en los tres últimos ciclos de producción (SE, 2012).



**Gráfica 7: Rendimientos en fábrica en Brasil, Estados Unidos y México<sup>1</sup>.** Modificado de: (SE, 2012).

Brasil obtiene en promedio el 13.7% de azúcar con relación a la caña molida en el periodo considerado. Los EE. UU., obtienen 12.3% en promedio y México tan sólo el 11.5%. Para el periodo de 2010/11, el mayor crecimiento en el rendimiento de fábrica correspondió a Brasil con 8.6%, por su parte, en México creció 5.6% y en los EE.UU. aumentó en 3% (SE, 2012).

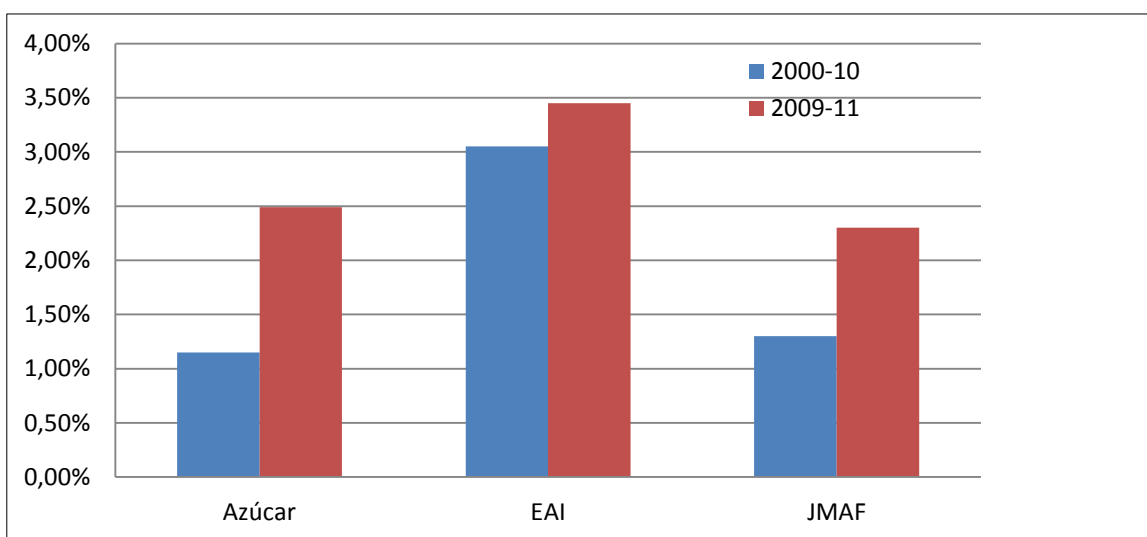
Los resultados indican que los ingenios nacionales pierden 0.29 centavos de dólar por cada cien gramos de azúcar extraída de la caña, esto si operaran bajo las mismas condiciones tecnológicas de los ingenios brasileños. En cambio, si operaran bajo las condiciones tecnológicas de los ingenios norteamericanos la pérdida sería sólo de 0.08 centavos de dólar por cada cien gramos para el ciclo de 2010/11 (Gráfica 8).



**Gráfica 8: Pérdida económica de los ingenios mexicanos (centavos de dólar por cada 100g de azúcar extraída de la caña).** Modificado de: (SE, 2012).

## 2. Sector de edulcorantes artificiales

El mercado global de los EAI sigue creciendo a un ritmo superior al del azúcar y al JMAF. Durante el periodo 2009-11 se estima que el mercado mundial de los EAI ha crecido en un 3,4% anual, superando el ritmo más modesto del 2,3% del JMAF (a pesar de que exhibió un crecimiento de casi el 10% en 2010) y del 1,2% del azúcar (que sufrió una contracción del -0,8% en 2009 por la subida de precios y la crisis financiera global) (Gráfica 9) (ISO, 2012). Aunque en los últimos tres años el consumo global de azúcar no ha crecido tan rápidamente como el de los EAI y el del JMAF, su cuota del mercado mundial de los edulcorantes es todavía similar a la que se observaba una década antes, en torno al 83% (ISO, 2012).



**Gráfica 9: Índices de crecimiento anual de la demanda global de edulcorantes. Modificado de: (ISO, 2012).**

Aunque el consumo de EAI está creciendo, éste sigue siendo pequeño en comparación al del azúcar (aunque la situación puede variar enormemente entre países). Por contra, la cuota que mantiene el JMAF en el mercado global de los edulcorantes ha descendido durante la última década desde el 8,2 al 7,3% debido mayormente al estancamiento sufrido hasta hace muy poco en el mercado estadounidense de los edulcorantes calóricos (incluyendo al azúcar) (ISO, 2012).

**Tabla 14: El mercado global de los edulcorantes (e.a.b) <sup>2</sup>.**

	Unidad	1985	1990	1995	2000	2005	2009	2010	2011
Azúcar	de Millones de toneladas	91.5	101.5	108.9	117.2	136.4	148.4	151.6	154.9
EAI		7.2	8.5	11.5	12.9	16.4	17.0	17.6	18.1
JMAF		6.2	7.6	9.7	11.7	12.0	12.1	13.2	13.7
Poliolos		0.5	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	1.0
Total		105.4	118.2	130.8	142.5	165.6	178.3	183.3	187.7
Azúcar	%	86.8	85.9	83.3	82.2	82.3	83.2	82.7	<b>82.5</b>
EAI		6.8	7.2	8.8	9.1	9.9	9.5	9.6	<b>9.6</b>
JMAF		5.9	6.4	7.4	8.2	7.3	6.8	7.2	<b>7.3</b>
Poliolos		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	<b>0.5</b>

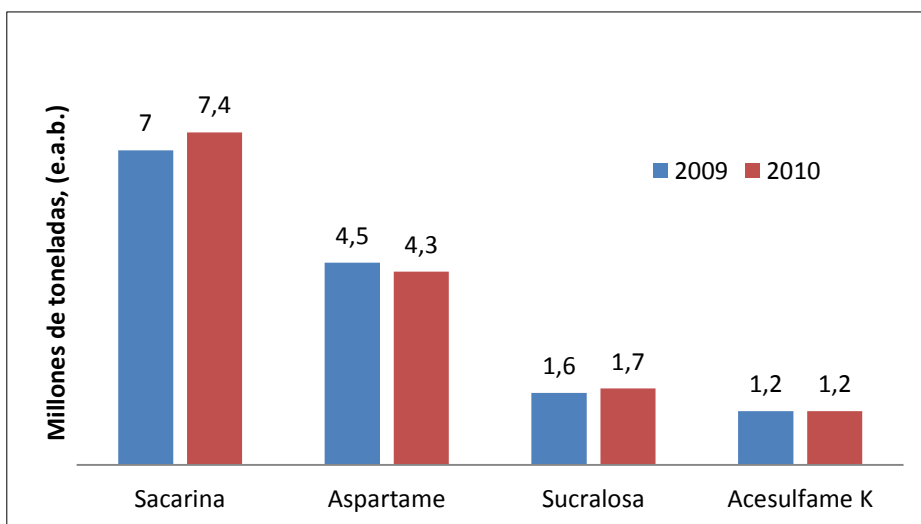
Modificado de: (ISO, 2012). EAI en equivalente de azúcar blanco (e.a.b)

Aunque en 2011 los EAI representaban menos del 10% del mercado global de los edulcorantes y el JAF cerca del 7% (tabla 14), existe una gran variación entre países. Los productores de EAI y JMAF confían en que los altos precios del azúcar generarán nueva demanda para sus edulcorantes a medida que los fabricantes de alimentos y bebidas busquen soluciones de menor coste en sus formulaciones de edulcorantes (ISO, 2012).

### Sacarina

La sacarina sigue dominando el mercado global de los EAI en cuanto a niveles de consumo, con cerca de 7,4 millones de toneladas (e.a.b.) en 2010 (gráfica 10). Sin embargo, esta cifra queda considerablemente por debajo del máximo de producción de 8,1 millones de toneladas (e.a.b.) conseguido a mediados de la pasada década. La caída de producción en el mayor productor mundial (China) comenzó en 2007. La producción de sacarina está regulada oficialmente y la entrada en vigor de leyes medioambientales más estrictas obligó a uno de los mayores centros de producción de las cinco instalaciones existentes en China a abandonar la producción (por contaminación fluvial) (ISO, 2012).

<sup>2</sup> Excluyendo edulcorantes de almidón distintos al JMAF. La glucosa, la fructosa y la dextrosa, por ejemplo, no son tan dulces como la sacarosa y normalmente no sirven como sustitutos del azúcar en muchas aplicaciones alimentarias. En el gran mercado de los edulcorantes de EEUU estos azúcares de almidón representan menos del 1% del consumo total de edulcorantes calóricos de casi 20 millones de toneladas.



**Gráfica 10: Consumo global de EAI. Modificado de: (ISO, 2012).**

La producción descendió en un 20% y los precios de la sacarina experimentaron un acentuado aumento multiplicándose por seis, antes de bajar en la segunda mitad de 2009. La producción de China volvió a subir en 2009 (hasta un nivel estimado de 7 millones de toneladas (e.a.b.)), hasta el 41% del mercado global de los EAI (gráfica 11) (ISO, 2012).

La Asociación Azucarera China (China Sugar Association) ha limitado las ventas nacionales de sacarina para fomentar la producción nacional de caña de azúcar y remolacha azucarera, ya que la producción de sacarina de los cuatro productores nacionales restantes de China alcanzó 5,1 millones de toneladas, (e.a.b.) en 2010, según datos de la Asociación Azucarera China. Las ventas nacionales se calculan en 0,9 millones de toneladas, (e.a.b.), y las exportaciones en 4,2 millones de toneladas, (e.a.b.) (ISO, 2012).

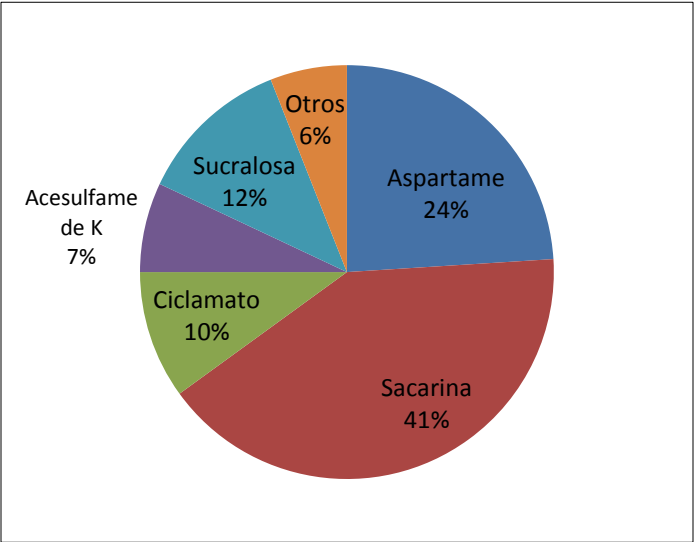
Datos de la Asociación Azucarera China, la producción de sacarina alcanzó 4,3 millones de toneladas, (e.a.b.) en los 10 primeros meses de 2011, un aumento del 9,8% con respecto al mismo periodo del año pasado. Las ventas nacionales experimentaron un aumento del 4,5% hasta las 0,65 millones de toneladas, (e.a.b.), lo cual tal vez obedece a que los altos precios del azúcar y del JMAF contribuyeron a impulsar su consumo. En comparación, las exportaciones solamente crecieron un 2,5% hasta 3,21 millones de toneladas, (e.a.b.) Los principales mercados de exportación son EE.UU., UE, Brasil, India, Indonesia, Tailandia, México, Pakistán y Sudáfrica (ISO, 2012).

Mientras que Asia sigue siendo el mayor consumidor de sacarina del mundo, en junio de 2009 el gobierno de EE.UU. decidió seguir imponiendo derechos anti-dumping a la sacarina proveniente de China (aplicados por primera vez en 2003). La decisión de prorrogar estos impuestos durante otros cinco años llegó después de que un estudio concluyese que la importación de este edulcorante a precios más baratos seguiría perjudicando al mercado nacional de los edulcorantes (ISO, 2012).

Aspartame

El consumo global de aspartame se contrajo ligeramente (2.8%) en 2010. Los 4,3 millones de toneladas (e.a.b.) de producción de aspartame en 2010 representan el 24% del mercado global estimado de EAI (gráfica 11). En Latinoamérica y Asia se ha producido un crecimiento del consumo limitado mientras se pierde mercado contra la sucralosa en el Reino Unido (ISO, 2012).

Los tres productores de aspartame más grandes del mundo son: NutraSweet (el titular original de la patente), Ajinomoto (Japón) y Daesang (Corea del Sur) y garantizaron en 2009 una mejora de precios y unos mayores márgenes de producción debido al descenso de la oferta de sacarina. El retorno de una oferta de sacarina más normal trajo consigo un retroceso en los precios de la sacarina y consecuentemente una contracción del margen para subir los precios del aspartame, al menos en los EE.UU. (ISO, 2012).



**Gráfica 11: Mercado global de los EAI.**

Según el analista británico de mercado Leatherhead, el aspartame sigue siendo uno de los edulcorantes intensos más utilizados y más conocidos, gracias en su mayor parte a su fuerte posicionamiento en los EE.UU., que suma el 60% de la demanda global. Los EE.UU. son el mayor productor y consumidor de aspartame. Sin embargo, el sector se enfrenta a la creciente presión de la

sucralosa y de los edulcorantes derivados de la stevia y su cuota en el mercado de los edulcorantes de mesa de EE.UU. ha descendido en más de un 15% en 2010 (ISO, 2012).

El mercado global del aspartame ha entrado en un periodo de declive con un problema de sobreabastecimiento global que ha erosionado los precios. Esa fue la principal razón por la que Holland Sweetener Company abandonó la producción en el año 2006. La industria del aspartame también ha sufrido un descenso de demanda en otras partes del mundo como Latinoamérica y la región de Asia-Pacífico. También se señala que a corto plazo el neotame podría comer terreno al aspartame en el sector de los refrescos, lo cual resultaría en un nuevo retroceso en esta categoría (ISO, 2012).

El nivel de producción (y consumo) de aspartame en China es importante. Desde 2006 a 2010 la capacidad de producción de aspartame aumentó en China desde las 10.250 hasta las 14.545 toneladas anuales (ISO, 2012).

#### Ciclamato

Asia continúa siendo el consumidor dominante de ciclamato con alrededor del 60% del consumo mundial de 1,6 millones de toneladas (e.a.b.) de 2010. China es un gran productor y abastecedor mundial de ciclamato. El volumen de ciclamato exportado por China aumentó rápidamente en la pasada década. El país cuenta con unos 10 grandes productores, entre ellos Sinopec Nanjing Chemical Industry Co., Ltd., Jintian Enterprises (Nanjing) Co., Ltd., Hebei Jizhong Chemical Co., Ltd. y Shandong Hengda Chemical (Group) Co., Ltd. Uno de los mayores productores es Zhong Hua Fang Da (HK) Ltd, que produce 35.000 toneladas anuales en sus fábricas de Shen Zhen y Yang Quan. Los principales mercados de exportación son Sudáfrica, Brasil, Argentina, Pakistán, Rusia, Vietnam, Malasia, Bangladesh, Turquía, Myanmar, Indonesia, UE, Alemania y los Países Bajos (ISO, 2012).

#### Acesulfame de Potasio

El consumo de acesulfame de potasio, ha alcanzado según estimaciones los 1,2 millones de toneladas (e.a.b.), cerca del 7% del mercado global de los EAI (gráfica 11) y suministrado por la compañía alemana Nutrinova. Esta compañía consiguió defender su edulcorante en 2007 y 2008 contra la importación de acesulfame de potasio genérico en los EE.UU. por parte de Ingredient

House, que aceptó abstenerse de vender el edulcorante en EE.UU. durante la duración de la patente estadounidense de Nutrinova (hasta 2015) y en otros países hasta 2013. Mientras tanto otras compañías también producen acesulfame de potasio en China (ISO, 2012).

Desde 2006 a 2010 la capacidad de producción de acesulfame de potasio en China aumentó desde las 13.620 hasta las 20.520 toneladas anuales. Sin embargo, la producción descendió desde las 7.325 hasta las 4.185 toneladas, esto a la intensa competencia entre productores nacionales y extranjeros dando lugar a un sobreabastecimiento que provocó márgenes operativos muy bajos y un descenso de producción (ISO, 2012).

### Sucralosa

La sucralosa proporcionó durante algunos años un negocio lucrativo para Tate & Lyle (T&L), la única compañía inicialmente autorizada a producirla y comercializarla bajo el nombre de Splenda. T&L afirma que en cuanto a valor, desde su lanzamiento de Splenda, la sucralosa se ha convertido en el segundo EAI más grande del mundo, el más grande de los EE.UU. y el más grande del sector alimentario a nivel mundial (ISO, 2012).

Se estima que el consumo global de sucralosa ha crecido en torno al 7% en 2010 y cerca del 10% en 2009 alcanzando los 1,7 millones de toneladas (e.a.b.), lo cual representa casi el 12% del mercado global de los EAI (gráfica 11). Esta tasa de crecimiento se debe a la mayor penetración en los mercados de alimentos y bebidas de Europa y EE.UU., así como por la reducción de su precio. En el Reino Unido grandes cadenas de supermercados han sustituido otros edulcorantes intensivos por sucralosa en sus propios productos de marca blanca (ISO, 2012).

En China los productores han dirigido activamente sus líneas de producción de sucralosa o han ampliado su capacidad existente desde que los productores nacionales de sucralosa ganaron una demanda interpuesta por T&L ante la ITC. La ITC determinó que los fabricantes chinos de sucralosa genérica no infringieron las patentes de T&L. A mediados de 2011 había 19 productores de sucralosa activos en China. La producción total de sucralosa de China alcanzó cerca de 420.000 toneladas (e.a.b.) en 2010 frente a una capacidad de producción instalada de 600.000 toneladas (e.a.b.). JK Sucralose Inc., Techno (Fujian) Biotechnology Co., Ltd. y Changzhou Niutang Chemical Plant Co., Ltd. fueron los tres mayores productores del año 2010, con una producción combinada que sumaba más del 40% del total del país. Aparte de una pequeña cantidad que se consume a nivel interno, la mayoría de la sucralosa que se produce en China se exporta (ISO, 2012).

Según JK Sucralose Inc. (el segundo mayor productor mundial), el mercado de este edulcorante está destinado a crecer. En 2010 Estados Unidos fue el mayor mercado, consumiendo más de 900.000 toneladas (e.a.b.) anuales, seguido de Europa que consume cerca de 240.000 toneladas (e.a.b.) anuales. Sin embargo, en los próximos años JK Sucralose Inc. prevé un cambio en ésta tendencia y vé emerger a China, India y Sudamérica como principales motores del crecimiento (ISO, 2012).

La producción de sucralosa de China aumentó en un 30% en 2010 gracias a la fuerte demanda de los mercados exteriores (ISO, 2012).

### Neotame

NutraSweet Company informó que sus ventas de neotame aumentaron en un 20% entre 2009 y 2010, y que se esperaba el mismo porcentaje en 2011. Se espera también que el aumento de la demanda de neotame por parte de los nuevos usuarios europeos contribuyera de manera significativa al crecimiento en 2011 (ISO, 2012). Además de que el edulcorante también ha obtenido hace poco la autorización en Noruega, Turquía, Hong Kong, Vietnam e Israel. En este momento el 90% de las ventas de NutraSweet se realizan fuera de EE.UU., principalmente en Latinoamérica y Asia (ISO, 2012).

En un comunicado de prensa difundido en mayo de 2011, The NutraSweet Company aplaudía los pasos dados por la Oficina General del Consejo de Estado de China para acabar con las falsificaciones de aditivos alimentarios en el país, donde la compañía batalla contra la producción de neotame falso. La producción local de neotame falso en China ha aumentado notablemente inundando el mercado chino con versiones inferiores del edulcorante. La compañía afirmó que el producto falsificado estaba afectando negativamente a su negocio en China y que podría suponer una amenaza a la seguridad de los consumidores ya que no existe una norma nacional para la producción local de neotame y por lo tanto no hay forma de garantizar la correcta fabricación y manipulación del aditivo patentado. NutraSweet reiteró que únicamente el neotame suministrado por The NutraSweet Company o por sus distribuidores oficiales en China tenía la garantía de haberse producido de acuerdo con los más exigentes criterios de calidad y seguridad (ISO, 2012).

### Advantame

Si bien la Compañía NutraSweet fue desarrollando neotame, Ajinomoto también busco desarrollar la próxima generación de edulcorantes intensos (O'Donnell & Kearsley, 2012). Como primer paso



Ajinomoto instaló el equipamiento para fabricar edulcorantes compuestos en su planta de Shanghai. La compañía señaló que comenzaría a trabajar con equipos similares en sus instalaciones de Tokai, en la prefectura japonesa de Mie, a finales de 2010. En 2011 instaló la maquinaria en su fábrica estadounidense, a la cual le seguirían las plantas de Brasil e Indonesia en 2013. La compañía lanzó el avance al mercado de EE.UU. a principios de 2011, en Brasil, Filipinas, India y Taiwán en 2012, y en Japón, Europa y China en 2013 (ISO, 2012).

### **3. Sector de edulcorantes naturales**

En términos generales, las previsiones apuntan a que el mercado global de los EAI crecerá a un ritmo más acelerado que el del azúcar y el del JMAF, algo consistente con la generalización del consumo de alimentos y bebidas "light" o "bajos en calorías". El JMAF podría penetrar todavía más en el mercado global de los edulcorantes, especialmente en la UE si se diera el caso de que se abandonen las cuotas de producción de azúcar. China también podría ser testigo de una mayor penetración del JMAF, aunque ello seguirá dependiendo de las perspectivas de los precios del azúcar y de los cereales. También es probable que los polioles, experimenten un robusto crecimiento de demanda gracias a que las tendencias de consumo de productos alimenticios naturales se están marcando cada vez más en algunos mercados clave (ISO, 2012).

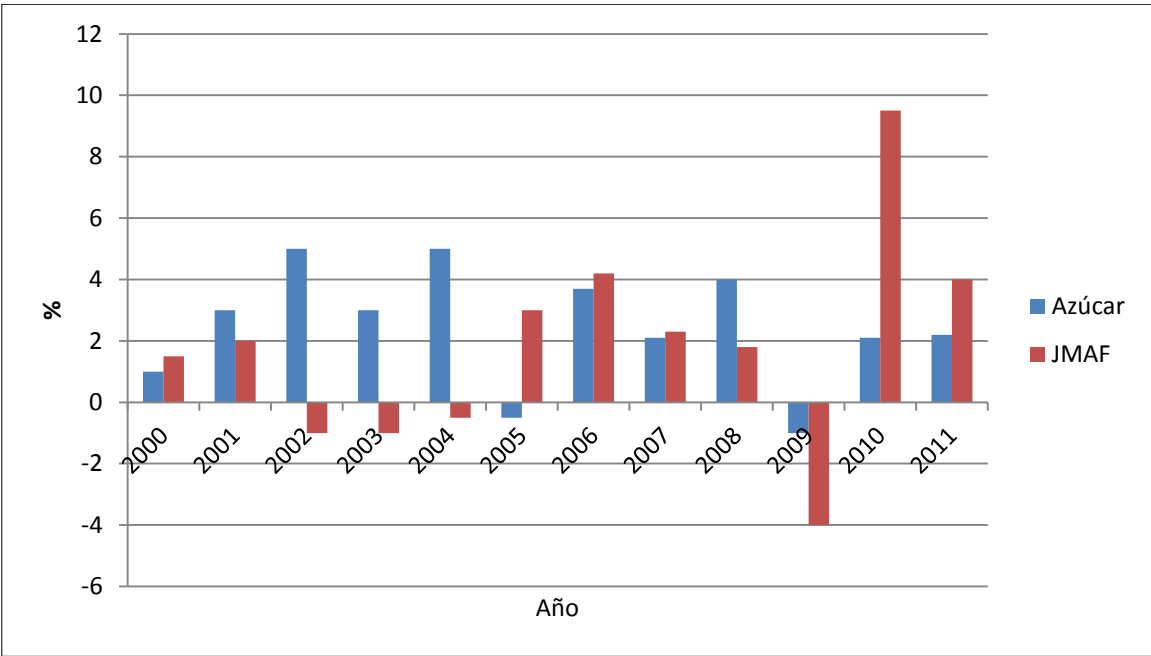
Existe toda una diversidad de edulcorantes calóricos derivados del almidón como la glucosa, la dextrosa, la maltosa y los jarabes de fructosa. No todos ellos pueden considerarse verdaderamente como sustitutos del azúcar ya que en algunos casos su utilización viene motivada por factores distintos al dulzor (propiedades espesantes, control de la cristalización, mantenimiento de la humedad, por ejemplo). Entre estos edulcorantes de almidón hablaremos solamente del JMAF debido al gran éxito que ha tenido en el mercado estadounidense representando el 94% de los edulcorantes consumidos en el sector de las bebidas. Este edulcorante ha tenido menos éxito en aplicaciones donde el azúcar se valora como agente de carga, por ejemplo en la mayoría de productos horneados y de confitería. (ISO, 2012).

#### Sacáridos

##### Fructosa

Después de un periodo de fuerte y sostenida expansión del mercado en los 90, desde el año 2000 los productores de JMAF han tenido muchos años de caídas. Los productores han sufrido la inestabilidad de los costes de materia prima y una subida de los precios de la energía. Entre los

años 2000 y 2009 el consumo mundial de azúcar aumentó en 31 millones de toneladas, valor crudo (un 26%), mientras que en 2009 el consumo de JMAF fue de 12,1 millones de toneladas, solamente un 4% superior al del año 2000. Durante ese periodo el consumo de JMAF alcanzó su techo en 2007 con 12,8 millones de toneladas, un 10% más que en el año 2000. Sin embargo en 2010 y 2011 el consumo global de JMAF ha crecido con mayor celeridad que el consumo mundial de azúcar (gráfica 12). En el año 2000, se consumió a escala global una tonelada de JMAF por cada 9,8 toneladas de azúcar, mientras que en 2011 esta relación había descendido hasta una tonelada de JMAF por cada 8,9 toneladas de azúcar (ISO, 2012).

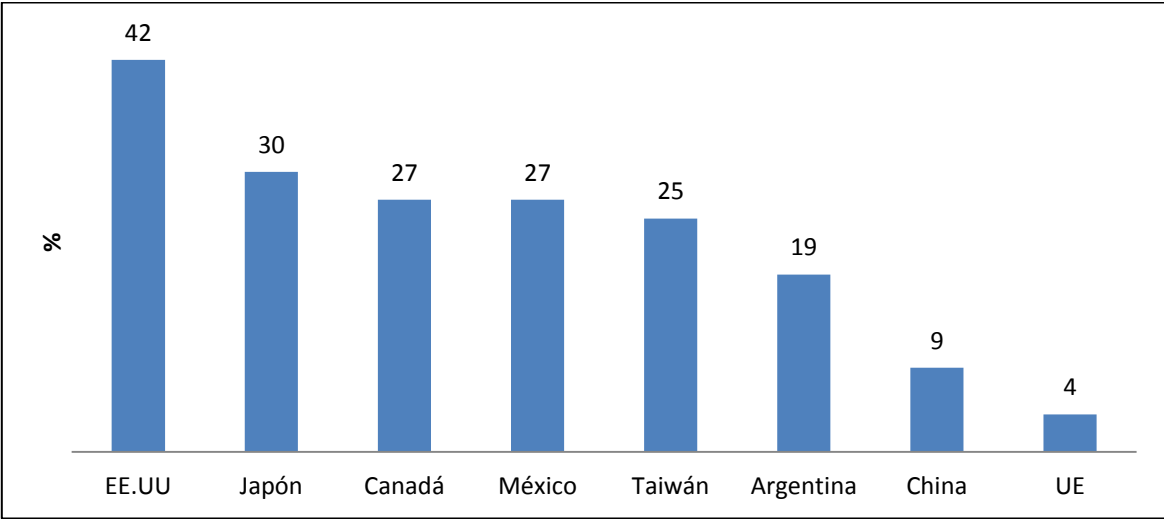


**Gráfica 12: Crecimiento anual del consumo mundial de azúcar y de JMAF. Modificado de: (ISO, 2012).**

La industria estadounidense domina el panorama mundial con un 60% de la producción mundial, y también es en este país donde el consumo de JMAF ha estado estancado o descendiendo durante gran parte de la pasada década (ISO, 2012).

En general los altos costes logísticos, de transporte y manipulación del JMAF por largas distancias hace que su comercio sea muy limitado. Por ello el consumo regional se corresponde más o menos con la producción regional. El aumento de la producción estadounidense de los dos últimos años obedece al repunte de las exportaciones a México después de la entrada en vigor del comercio

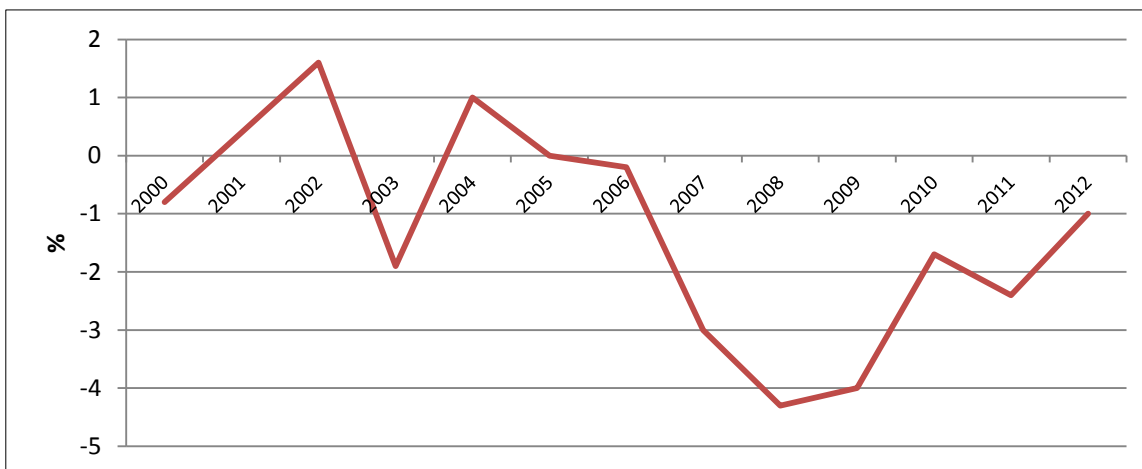
libre de edulcorantes en virtud del NAFTA. Como puede verse en la gráfica 13 la penetración del JMAF es más elevada en EE.UU., mientras que Japón, Canadá, México y Taiwán también exhiben un considerable grado de consumo. Durante los últimos años el aumento más acelerado de la penetración del JMAF se ha producido en México y China (ISO, 2012).



**Gráfica 13: Porción del JMAF en el consumo de azúcar y JMAF. Modificado de: (ISO, 2012).**

Datos del USDA muestran que el consumo de JMAF en Estados Unidos descendió desde los 9,1 millones de toneladas registrados en el año 2000 hasta los cerca de 7,5 millones de toneladas previstos para 2012, lo cual representa aproximadamente una cuota del 42% del mercado nacional del azúcar y JMAF (ISO, 2012).

La cuota del JMAF en el mercado de edulcorantes calóricos ha caído hasta el 44,5% en 2011, después de alcanzar su máximo del 50,3% en 2006 (Gráfica 14). La notable mejoría de la competitividad del precio del JMAF con respecto al azúcar no ha conseguido al parecer impulsar la incorporación de JMAF en las formulaciones de los fabricantes de alimentos y bebidas. Durante la primera mitad de la primera década del siglo, el JMAF se vendía habitualmente a un precio del 40% inferior a los precios al por mayor del azúcar refinado. Sin embargo, los precios del JMAF comenzaron a escalar con la subida de los precios del maíz a mediados de la década e incluso superaron la paridad con el azúcar en 2008. Esta circunstancia resultó efímera y en los últimos años el JMAF se ha vuelto más competitivo gracias al alza sostenida de los valores del azúcar en el mercado estadounidense (ISO, 2012).



**Gráfica 14: Evolución anual de las ventas nacionales de JMAF en EE.UU. Modifiedo de: (ISO, 2012).**

Según las previsiones la demanda de JMAF volverá a sufrir un modesto descenso del 1% aproximadamente en 2013. El descenso de la demanda es producto de la caída del consumo de refrescos carbonatados, ya que las bebidas de bajas calorías siguen ganando cuota de mercado a expensas de los refrescos carbonatados endulzados tradicionalmente (ISO, 2012).

#### Producción y consumo de EE.UU.

La creciente debilidad de la demanda de JMAF en EE.UU. está siendo compensada por unas elevadas exportaciones a México. Las principales compañías productoras de Estados Unidos son Archer Daniels Midland Company, Cargill Incorporated, Corn Products International Inc., National Starch LLC, Penford Products Co., Roquette America Inc., y Tate & Lyle Americas. En 2010 había 26 refinadores de maíz en 11 estados (Gráfica 15) (ISO, 2012).

#### La penetración del JMAF en México

Con una producción nacional de unas 400.000 toneladas, México consume cerca de 1,6 millones de toneladas anuales de JMAF (exportando 891.000 toneladas en 2011). Sin embargo, el USDA apunta a un estancamiento del consumo en México en 2011/12. El acentuado crecimiento logrado en los últimos años podría haber provocado una saturación del mercado, siendo el JMAF responsable del 28% del total del consumo combinado de JMAF y de azúcar del país (frente al 43% en los EE.UU.). Además, como las perspectivas apuntan a que los precios del azúcar se suavizarán

ligeramente mientras que los precios del maíz podrían mantenerse muy sólidos, parece improbable que a corto plazo se produzca una mayor penetración del JMAF (ISO, 2012).



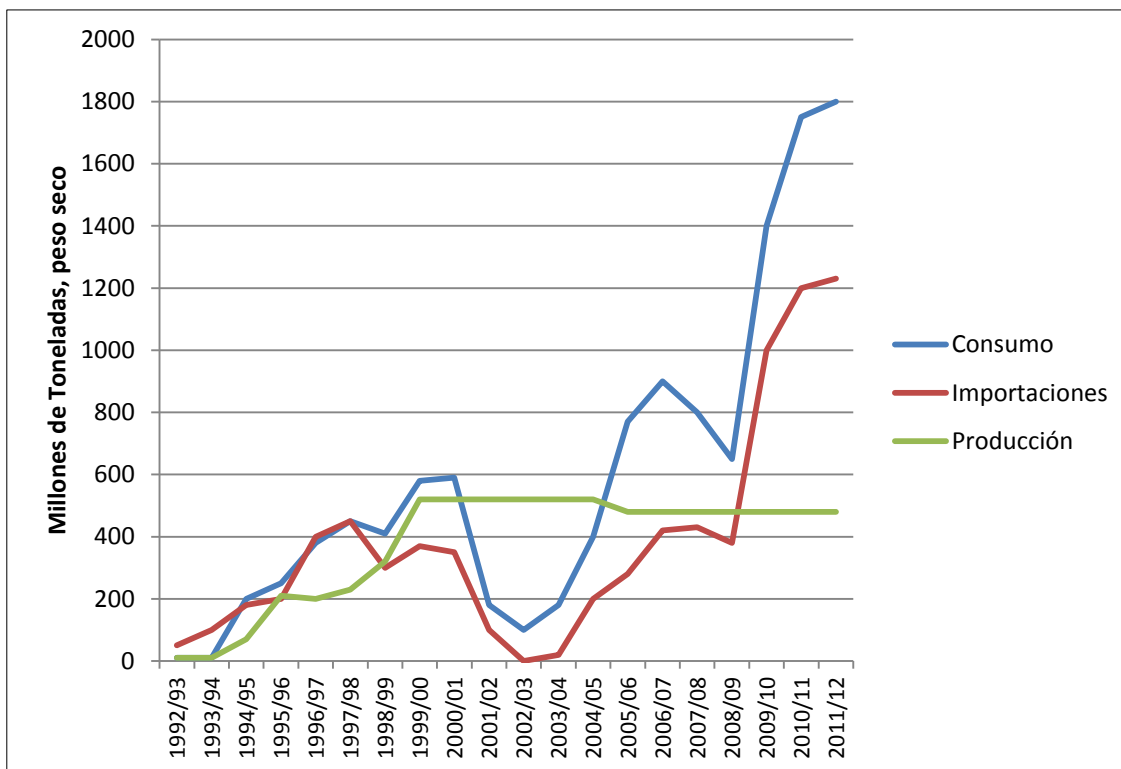
**Gráfica 15: Producción y consumo de JMAF en EE.UU. Modificado de: (ISO, 2012).**

El creciente consumo de JMAF ha rebajado el consumo de azúcar en México. En pocas palabras, México está exportando más azúcar a EE.UU. y está importando JMAF como sustituto más económico (ISO, 2012).

La gráfica 16 ofrece una perspectiva a largo plazo de la capacidad de producción y consumo nacional de JMAF de México, según datos compilados por McKeany-Flavell, una consultoría de materias primas. La capacidad alcanzó su techo en el año 2000 y se quedó estancada en torno a las 533.000 toneladas (peso seco) hasta el año 2006, cuando se estima que se redujo hasta las 478.000 toneladas. Incluso la producción nacional depende en gran medida de las importaciones de maíz de Estados Unidos (ISO, 2012).

### Argentina

Argentina posee cinco compañías que producen JMAF. Hay dos compañías que dominan el mercado y todas estaban operando a plena capacidad en 2010 produciendo una cantidad estimada de 300.000-400.000 toneladas (base seca). En 2011 una de las compañías amplió su capacidad en un 40-50% para concentrarse principalmente en el mercado nacional que está operando con una fuerte demanda porque el precio del JMAF es inferior al del azúcar (ISO, 2012).



**Gráfica 16: Consumo, Importaciones y Producción de JMAF en México. Modificado de: (ISO, 2012).**

### Naturaleza Glucosídico

Los edulcorantes sintéticos como la sacarina, el aspartame y la sucralosa seguirán dominando, pero los edulcorantes naturales (especialmente los edulcorantes derivados de la Stevia y del Luo Han Guo) están destinados a lograr un rápido crecimiento. Aprovechando las tendencias del mercado que reclaman ingredientes menos procesados y que favorecen la utilización de edulcorantes que puedan ser comercializados como “naturales”, los edulcorantes de Stevia ya han penetrado de manera significativa en el mercado estadounidense, especialmente en mezclas con otros edulcorantes, inclusive el azúcar. Tras el reciente visto bueno de las entidades reguladoras de la UE, el potencial para que se produzca un rápido crecimiento futuro de los edulcorantes de Stevia es considerable (ISO, 2012).

### Esteviósido

Los edulcorantes derivados de la stevia, han atraído últimamente un gran interés. Esto debido a su certificación GRAS. Por otra parte, el proveedor de stevia, Pyure Brands, introdujo una línea de extractos de stevia orgánica con certificación GRAS (ISO, 2012).

La stevia ya se ha establecido como un edulcorante consolidado en el mercado francés donde el sector de los refrescos es actualmente su principal usuario. Coca-Cola ha utilizado Truvia Rebiana en su producto Fanta Still y en los zumos de frutas Eckes-Granini bajo los nombres de producto Réa y Joker. La industria de los lácteos también ha mostrado un gran interés en la stevia: Danone comenzó a utilizar este ingrediente en sus yogures Taillefine en julio del año pasado. (ISO, 2012).

La creciente sensibilización por la salud, sus credenciales de producto totalmente natural y el número cada vez mayor de agencias reguladoras que conceden su autorización, están haciendo crecer rápidamente el potencial de mercado de la stevia. El posicionamiento de los edulcorantes de stevia para complementar al azúcar en mezclas de stevia/sacarosa para conseguir unos ahorros del 10-20% en el uso de azúcar en algunos productos alimentarios representará también otro pilar de considerable crecimiento potencial del uso de la stevia. Así y todo, el mercado de los edulcorantes de stevia sigue en su infancia. Las estimaciones sobre el volumen del mercado varían pero se estima que a nivel mundial en 2010 se han consumido cerca de 0,8 millones de toneladas, (e.a.b.). La zona de Asia-Pacífico, donde el ingrediente ha sido utilizado durante décadas como edulcorante en algunas regiones, posee la mayor cuota global de mercado con el 35%, seguido de Norteamérica (30%) y Sudamérica (24%). Europa, donde su utilización se ha visto limitada ante la falta del permiso de las autoridades reguladoras hasta noviembre de 2011, exhibe una cuota de mercado mucho menor (9%) (ISO, 2012).

Hay 6 grandes productores de edulcorantes de stevia en China, cuatro de los cuales son grandes compañías como GLG Life Tech Corporation (GLG), PureCircle (Jiangxi) Co.,Ltd (Jiangxi Purecircle), Shandong Huaxian Stevia Co., Ltd. (Shandong Huaxian) y Qufu Haigen Stevia Products Co., Ltd. (Qufu Haigen). Las dos restantes son de pequeño y medio tamaño: Jining Aoxing Stevia Products Co., Ltd. (Jining Aoxing) y Heilongjiang Land Reclamation Huiju Hailin Stevioside Co., Ltd. (Heilongjiang Hailin). Los edulcorantes derivados de la stevia son productos orientados a la exportación cuyo volumen de exportación estimado representa cerca del 60-70% de la producción total de edulcorantes de stevia. Los productores chinos se están preparando para satisfacer el sustancial mercado potencial que se prevé en la UE para los edulcorantes de stevia de alta pureza como el Reb- A80, el Reb-A95 y el Reb-A97. Los productores de edulcorantes de stevia de China están eligiendo diferentes formas de entrar en el mercado de la UE. Por ejemplo, Jining Aoxing y Jiangxi Purecircle entrarán directamente por sí mismas, mientras que las otras cuatro quieren cooperar con distribuidores y comercializadores internacionales (ISO, 2012).

Coca-Cola y Cargill por un lado y Pepsi y PureCircle por otro anunciaron inmediatamente alianzas para producir y comercializar Reb-A tras la autorización de diciembre de 2008 de la FDA. Coca-Cola y Cargill desarrollaron un edulcorante de stevia bajo la marca Truvia (que también contiene eritritol) del que se afirmó que era el primer edulcorante derivado de la stevia de cero calorías que entraba en el mercado. GLG Life Tech también acordó abastecer a Cargill con extracto de stevia de alta calidad a partir de octubre de 2009. Cargill ha renegociado hace poco su acuerdo de abastecimiento de 10 años con GLG Life Tech y a raíz de ello a partir del 30 de septiembre de 2011 Cargill ya no está obligado a adquirir el edulcorante exclusivamente a GLG (ISO, 2012).

El edulcorante de mesa Truvia de Cargill es ahora el segundo mayor sustituto del azúcar en Estados Unidos por detrás de Splenda (sucralosa) con una cuota de mercado del 13%, por delante de Equal (aspartame) y Sweet’N Low (sacarina). Después de menos de tres años en el mercado estadounidense, Truvia ha modificado de raíz la categoría de los edulcorantes y ha contribuido al crecimiento de un segmento minorista anteriormente estancado. La categoría ha crecido un 18% en tres años (ISO, 2012).

Pepsi se asoció con PureCircle para comercializar la marca PureVia basada en el edulcorante de Reb A. PureCircle es una compañía cotizada en Reino Unido con sede en las Bermudas que posee una planta de purificación en Malasia, y que en 2010 afirmaba producir el 80% del Reb A de alta pureza de todo el mundo. PureCircle también se ha alineado con Cargill (y su asociado Coca-Cola) (ISO, 2012).

En México, GAM (el mayor productor privado de azúcar de México) comercializará toda la línea de edulcorantes de stevia de GLG LifeTech, incluyendo Blendsure, Rebpure y RebSweet, así como sus edulcorantes derivados de extractos de stevia Anysweet y SweetSuccess (ISO, 2012).

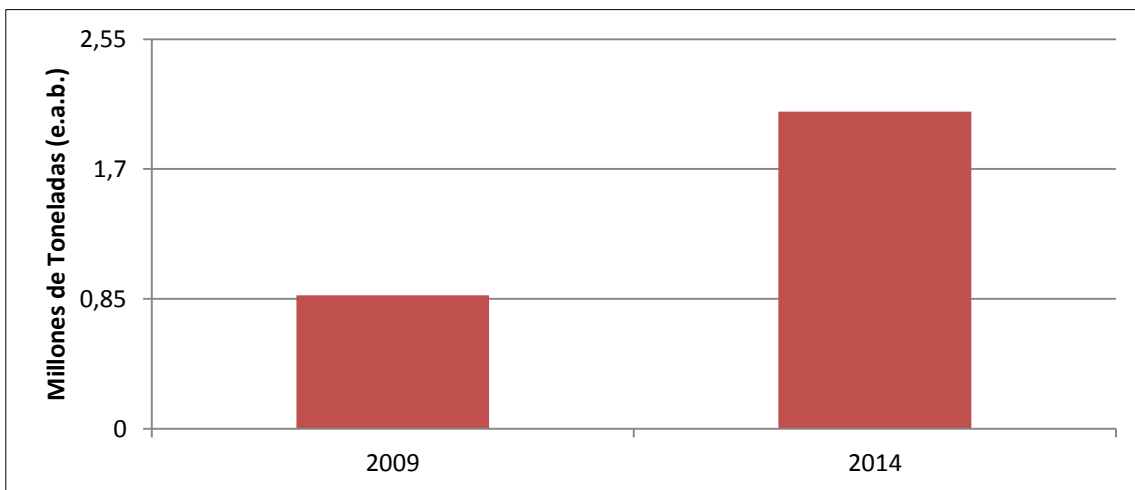
### Producción

En lo que respecta a la oferta, la producción comercial de stevia se concentra en China. Otros países productores de menor envergadura son: Paraguay, Argentina, Brasil, Chile, Camboya, Colombia, Kenia, Indonesia, Malasia, Perú, Vietnam e India. China suma cerca del 75-80% de la producción mundial de hojas de stevia. Aunque la base de producción se está ampliando en Latinoamérica y África, el temor de que la demanda pudiera sobrepasar a la oferta ha dado lugar a importantes inversiones en capacidad de producción en EE.UU. (ISO, 2012).



### Ventas

Un estudio de Zenith International, una consultoría sobre alimentación y bebidas, estima que las ventas mundiales de stevia alcanzaron 875.000 toneladas (e.a.b.), un aumento del 27% con respecto a 2009. Zenith pronostica que el mercado global de la stevia alcanzará los 2,75 millones de toneladas, (e.a.b.) para 2014 (Gráfica 17). A este nivel los edulcorantes de la stevia se convertirían en la tercera categoría más grande de consumo de EAI detrás de la sacarina y el aspartamo, sobrepasando a los ciclamatos, la sucralosa y el acesulfame-K (ISO, 2012).

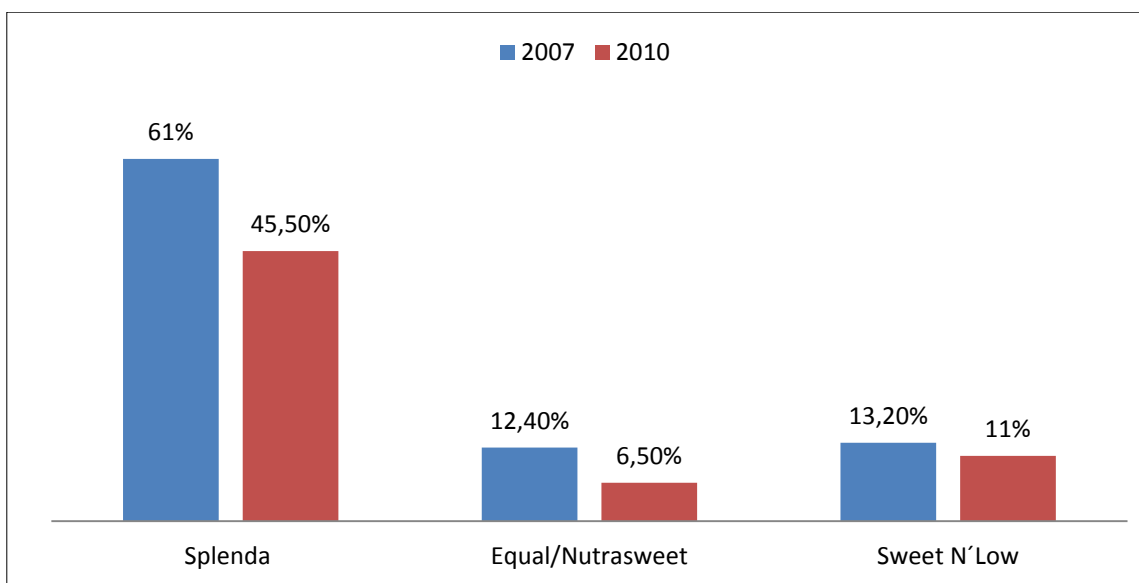


**Gráfica 17: Ventas mundiales de Stevia.**

Desde su autorización en 2008 los edulcorantes de stevia ya han penetrado notoriamente en el mercado de los edulcorantes de EE.UU. Según informaba en septiembre de 2011 Market Researcher Packaged Facts, Splenda/sucralosa sigue liderando el mercado de los sustitutos del azúcar de mesa/mercado minorista de Estados Unidos, aunque sus ventas han bajado un 5,6% desde 2009 a 2010. A otros EAI también les está costando avanzar en el mercado de los edulcorantes de mesa tras la llegada de productos derivados de la stevia como el Truvia de Cargill. Entre 2004 y 2008 se lanzaron en todo el mundo más de 2.000 productos edulcorados con stevia y en 2010 en el mercado estadounidense se introdujeron 76 líneas de productos endulzados con este edulcorante. La mayor parte de estos nuevos productos combinan stevia con uno o más edulcorantes de otro tipo.

Sweet 'N Low (sacarina) y Equal/Nutrasweet (aspartame) también vieron descender sus ventas en 2010, mientras que los sustitutos naturales del azúcar aumentaron sus ventas.

Las ventas de Truvia dieron un salto del 73,7% entre 2009 y 2010, aunque desde una base baja. Splenda bajó desde una cuota del mercado minorista de sustitutos del azúcar del 61% en 2007 hasta el 45,5% en 2010, mientras que Truvia y “Stevia in the Raw” sumaron el 13,8% del mercado en 2010. Equal/Nutrasweet pasó del 12,4% del mercado en 2007 al 6,5% en 2010, y Sweet N’ Low bajó del 13,2% en 2007 al 11% en 2010 (gráfica 18) (ISO, 2012).



**Gráfica 18: Ventas de EAI.**

#### Luo Han Guo

El edulcorante natural proveniente de una fruta china llamada Luo Han Guo se encuentra en su infancia con respecto a la penetración en el mercado. Este edulcorante saltó a los titulares cuando en los años 90 Procter & Gamble patentó un proceso para la extracción de mogróside V y llegó a un acuerdo con Amax NutraSource para distribuir un concentrado (ISO, 2012).

A finales de abril de 2011 Tate & Lyle anunciaba que había suscrito un acuerdo de comercialización y distribución global exclusivo de cinco años para el edulcorante de cero calorías basado en el Luo Han Guo de BioVittoria. Tate & Lyle comercializará el edulcorante en Estados Unidos bajo la marca “Purefruit” (ISO, 2012).

Aunque el edulcorante derivado del Luo Han Guo no resulta necesariamente más económico que otros edulcorantes, podría permitir a los fabricantes expandir su negocio en áreas en las que en estos momentos no tienen actividad, tales como los productos “naturales” de poder calórico medio o reducido (ISO, 2012).

En mayo de 2011 otro proveedor chino (Layn) consiguió certificación GRAS en EE.UU. para su edulcorante natural derivado del Luo Han Guo. Layn informó de que está procesando una abundante cosecha de Luo han Guo, que cumplen las directrices de “buenas prácticas agrícolas” e incluso algunas de ellas poseen certificación orgánica (ISO, 2012).

### Naturaleza Proteica

Un segmento del grupo de los edulcorantes naturales que todavía permanece completamente fuera del circuito comercial son las “proteínas dulces”. A pesar de que se han identificado al menos siete proteínas dulces (taumatina, monellina, mabinlina, pentadin, brazzeina, curculina y miraculina) sólo se han comercializado dos. **Talin** (taumatina de Naturex, Francia, anteriormente comercializada por el grupo Nutraceutical en España) y **Cweet** (brazzeina de Natur Research Ingredients (NRI). Todas estas proteínas se han extraído de plantas que crecen en bosques tropicales. Las proteínas dulces tienden a poseer perfiles de gusto lentos, características que los distinguen claramente del azúcar (ISO, 2012).

### Taumatina

Entre estas proteínas dulces, la taumatina es la más avanzada en cuanto a desarrollo del producto y estatus entre las autoridades reguladoras.

Todavía poco se sabe o se ha dado a conocer en relación al éxito comercial de la taumatina, a pesar de que su lanzamiento inicial se remonta a 1998 cuando Talin fue vendido por Tate & Lyle bajo una filial llamada Talin Company (de hecho en los años 70 T&L había puesto en marcha plantaciones a gran escala de katemfe (*Thaumatococcus daniellii*: una especie de planta tropical con flores que es la fuente natural de taumatina en Ghana, Liberia y Malasia). Esta compañía cambió de manos varias veces y pasó por una fusión corporativa antes de ser adquirida por The Braes Group, una compañía europea que trabaja con ingredientes alimenticios naturales y que en agosto de 2005 fue adquirida por la compañía española de ingredientes industriales alimenticios Nutraceutical. Actualmente la taumatina todavía se comercializa bajo la marca Talin pero ahora es un producto de Naturex (una compañía francesa de ingredientes alimentarios) debido a que Naturex adquirió el grupo Nutraceutical a finales de 2009 (ISO, 2012).

No obstante, parece que el mayor potencial de la taumatina está como enmascarador de sabores. Naturex afirma que Talin es un producto multifuncional que simultáneamente potencia el aroma y enmascara elementos no deseados del gusto de la stevia en particular. Naturex realizó un estudio

independiente para determinar los efectos que tenía Talin sobre el perfil gustativo de mezclas de extractos de stevia y de Reb A. Los resultados demostraron que la incorporación de cantidades extremadamente bajas de Talin a mezclas de Reb A y de stevia reduce considerablemente la percepción de amargor. También se incrementa ligeramente la intensidad del dulzor: al subir el pH se reduce el dulzor de la stevia y Talin contribuye a recuperarlo (ISO, 2012).

En noviembre de 2011, Talin de Naturex recibía la autorización como nuevo ingrediente alimentario en China, abriendo el mercado chino al producto (como enmascarador de aromas). Tras la autorización de la stevia en Europa, Naturex afirma que se abren enormes oportunidades para el Talin que se fabrica en las instalaciones británicas de la compañía, destacando el hecho de que todavía existen problemas con la formulación de la stevia en cuanto a su regusto amargo, independientemente del mercado de penetración de la compañía que lo utilice (ISO, 2012).

#### Brazzeina

Sin embargo, en términos generales la producción comercial de proteínas dulces se ha visto hasta el momento limitada por la dificultad de cultivar las plantas tropicales que albergan estas proteínas. Por otra parte los repetidos intentos por producir proteínas dulces recombinantes en microorganismos y sistemas de plantas transgénicas no han sido capaces de producir estas proteínas en niveles suficientemente elevados como para hacer económicamente viable su comercialización generalizada. Esta ha sido la experiencia con la brazzeina hasta finales de 2007 cuando Natur Research Ingredients (con sede en Los Angeles) lanzó Cweet, su marca de brazzeina. La compañía iba a explotar una gran mejora de producción descubierta en la Universidad de Wisconsin, Madison, donde se había desarrollado un sistema de extracción y purificación idóneo para la producción en masa. Sin embargo, en la actualidad no se puede determinar el grado de éxito comercial logrado con esta proteína dulce. Entonces se dijo que Cweet no estaría disponible en el mercado durante otros 12 o 18 meses, al estar pendiente de aprobación GRAS (ISO, 2012).

#### Poliols

Aunque los técnicos que trabajan en la elaboración de fórmulas para alimentos pueden utilizar edulcorantes no calóricos para conseguir el dulzor de los productos calóricos convencionales, al desarrollar productos sin azúcar o con contenido de azúcar rebajado invariablemente se topan con problemas de textura o de mala sensación bucal.

Sigue siendo muy difícil encontrar agentes de carga que no aporten calorías y que no provoquen efectos secundarios gastrointestinales. Los principales ejemplos de agentes de carga son los alcoholes polihídricos (alcoholes de azúcar) conocidos popularmente como polioles.

Los polioles han exhibido un fuerte crecimiento del consumo en los últimos años pero es difícil discernir su utilización como sustitutos del azúcar ya que se utilizan mucho con EAI como agentes de carga, y en otros usos no alimentarios (por ejemplo en productos farmacéuticos y de higiene bucal) (ISO, 2012).

Las aplicaciones industriales conforman el mayor segmento de usuarios finales de los polioles. Sin embargo, la aplicación de polioles a nivel industrial es relativamente madura en el mercado mundial, por lo que el grupo de alimentos y confitería representa el segmento de más rápido crecimiento entre los usuarios finales (ISO, 2012).

El consumo global de polioles como sustitutos del azúcar es difícil de determinar dada la escasez de datos de dominio público. Según el International Starch Institute, la producción mundial de sorbitol alcanzó aproximadamente a las 800.000 toneladas en 2010. Siendo el sorbitol el poliol más habitualmente utilizado (es el más económico) mantiene la mayor cuota de mercado entre polioles similares. La producción de xilitol se calcula en 200.000 toneladas, la de manitol en 180.000 toneladas y la de maltitol en 160.000 toneladas. Incluso asumiendo que todo ese volumen se utilizase como sustituto del azúcar, el total equivale a 0,9 millones de toneladas (e.a.b.). Calculando otras 100.000 toneladas de eritritol, isomalt y lactitol la producción global de polioles alcanza el millón de toneladas, (e.a.b.). Esta cantidad contrasta con un consumo de cerca de medio millón de toneladas en el año 2003. Sin embargo, otras fuentes apuntan a que la producción podría alcanzar incluso 1,6 millones de toneladas, pero en esta cantidad se incluyen aplicaciones distintas a las de sustitución de azúcar (ISO, 2012).

A nivel mundial se estima que el consumo de polioles en el segmento de la alimentación y la confitería ha crecido a una tasa anual del 4% durante el periodo 2001-2010. Los edulcorantes derivados de polioles de segunda generación como el maltitol, xilitol y lactitol están sustituyendo a los polioles de primera generación como el sorbitol. Danisco es el principal proveedor mundial de xilitol bajo la marca XIVIA, cuyo uso en alimentación está autorizado en más de 50 países.

La recesión económica mundial ha afectado negativamente al mercado de los polioles durante 2008 y 2009. La caída de la demanda de polioles en diversos usuarios finales de los sectores de las aplicaciones industriales, la alimentación y la confitería, entre otros, ha reducido notablemente la facturación total. El descenso de la demanda ha sido más notorio en Estados Unidos y en Europa. Además, el mercado ha sido testigo de un robusto aumento de los precios de las materias primas. Para hacer frente al acentuado aumento de los precios de materia prima, varios fabricantes decidieron elevar los precios de sus productos. Las deprimentes condiciones del mercado obligaron a varios fabricantes a reducir sus producciones o detener temporalmente su actividad. A medio plazo, se prevé que el retorno del crecimiento económico favorezca las perspectivas de recuperación y crecimiento en los años venideros. Probablemente el mercado experimentará un aumento de la demanda principalmente en los segmentos de la alimentación y la confitería, así como en aplicaciones farmacéuticas (Global Industry Analysts, 2011).

A nivel mundial Europa es el mayor mercado regional para los polioles. La creciente demanda de alimentos bajos en calorías está impulsando el crecimiento del mercado de los polioles en Europa. Los beneficios para la salud que ofrecen estos productos químicos siguen atrayendo a los fabricantes europeos de productos farmacéuticos o de higiene bucal. Asia-Pacífico es el mercado de más rápido crecimiento, con unas previsiones de aumento del consumo a una tasa anual combinada superior al 3% hasta 2015 (implica un crecimiento anual medio global menor que el de la pasada década) (Global Industry Analysts, 2011).

A nivel global el consumo de polioles en el segmento de la alimentación y la confitería ha experimentado un considerable crecimiento durante la pasada década y es probable que esta tendencia continúe (ISO, 2012).

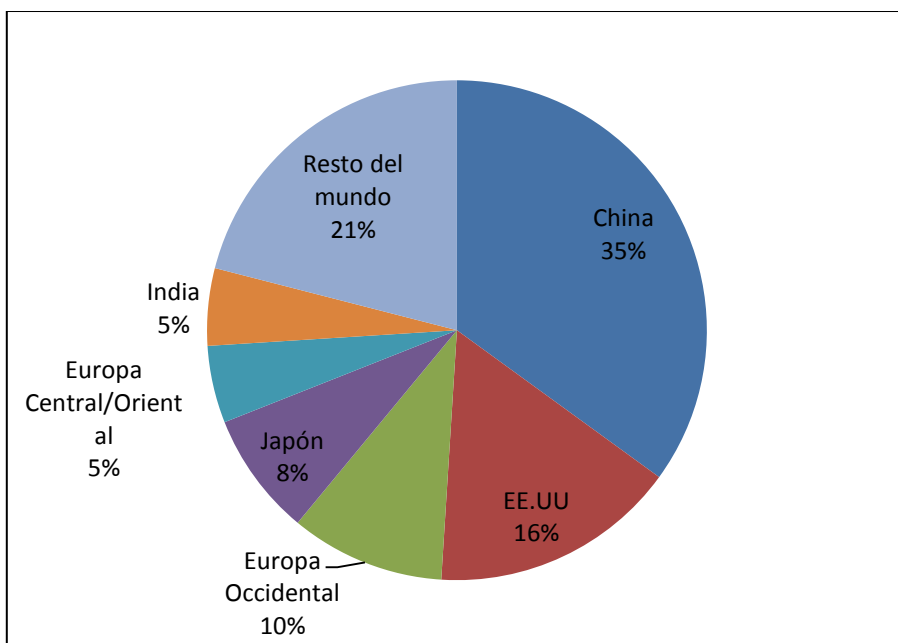
### Sorbitol

El sorbitol es el poliol más habitualmente utilizado, y representó el 74% de la producción global de alcoholes de azúcar en 2010. Su utilización en productos de higiene personal (principalmente pasta de dientes), alimentos, golosinas y en la fabricación de vitamina C, representó el 80% del consumo mundial de sorbitol en 2010; estas aplicaciones seguirán representando más del 75% de la demanda mundial a corto plazo. Durante el periodo 2007–2010 la demanda plana de EE.UU., Europa occidental y Japón (provocada por la paralización de la fabricación de vitamina C pero

también por la crisis económica general) se vio minimizada por la alta demanda en otros países y regiones como Indonesia, India, Taiwán, China y Oriente Medio (Química, 2011).

La gráfica 19 muestra el consumo mundial de sorbitol. China es el mayor consumidor, sumando más de un tercio del consumo mundial en 2010. En 2010 China también sumó el 33% y el 39% de la capacidad y producción mundial, respectivamente. Durante el periodo 2007–2010 el consumo de sorbitol creció en China a un ritmo medio anual superior al 6% (Química, 2011).

Se prevé que el crecimiento del consumo de sorbitol en mercados en desarrollo como Oriente Medio, Centroamérica y Sudamérica sea rápido. Los principales segmentos de crecimiento son los productos de higiene personal, los alimentos y la confitería. Durante el periodo 2010–2015 se prevé que la demanda de sorbitol en Europa occidental aumente en una tasa media anual de casi el 1,5%. El crecimiento en Europa central y Europa oriental superaría el 2%, gracias principalmente al aumento de la producción de productos de higiene personal. Principalmente en los países asiáticos se prevé que el consumo crezca en tasas anuales entre el 0,2% (Japón) y el 3,5% (Tailandia). Resumiendo, la industria del sorbitol está girando hacia mercados de alto crecimiento y alto consumo como China y otros países asiáticos (exceptuando Japón) (Química, 2011).



**Gráfica 19: Consumo mundial de sorbitol en 2010.** Modificado de: (Química, 2011).

### Eritritol

El poliol de carga eritritol es un poliol que se presenta a bajos niveles en frutas y alimentos fermentados, se está beneficiando del incremento de las ventas de stevia, según Cargill Sweetness (la compañía comercializa eritritol a nivel mundial bajo la marca Zerose). El edulcorante Truvia de Cargill, ha experimentado unas fuertes ventas en Estados Unidos utilizando Zerose como agente de carga. Zerose permite a Cargill aliviar el ligero amargor asociado con el Reb A, el extracto de stevia que Truvia contiene. Dejando a un lado la combinación con la stevia, que ha impulsado las ventas en EE.UU., la aceptación por parte de la UE del estatus 'cero calorías' para el eritritol a finales de 2008 fue lo que realmente impulsó la demanda europea del edulcorante. Por otra parte, la compañía Jungbunzlauer también ha presentado una mezcla de eritritol/edulcorante de stevia: ERYLITE-Stevia (ISO, 2012).

### Isomalt

Isomalt fue desarrollado, manufacturado y comercializado por BENEOPalatin GmbH, una subsidiaria de propiedad total de Südzucker AG (Alemania). Sin embargo, otros productores también se han convertido en activos en el mercado (O'Brien, 2012).

### Principales fabricantes de polioles

A nivel mundial existen muchas compañías que producen polioles. Los principales productores a nivel mundial son Arch Chemicals Inc., BASF Group, BASF Polyurethanes GmbH, Bayer AG, Cargill Inc., Chemtura Corp., Corn Products U.S., Daicel Chemical Industries Ltd., Dow Chemical Company, Huntsman Corp., Nanjing Hongbaoli Co. Ltd., Perstorp AB, Roquette-Frères, Shell Chemicals Ltd., SINOPEC Shanghai Gaoqiao Petrochemical Co. Ltd., y Stepan Co (ISO, 2012).

Según un estudio reciente China es uno de los mayores productores de alcoholes de azúcar. Con más de 50 productores activos la producción total de China alcanzó las 795.140 toneladas en 2010, lo cual supone el 50% del global total (que implica una producción global de 1,6 millones de toneladas) (ISO, 2012).

Cargill Food Ingredients ofrece isomalt, eritritol, maltitol, manitol y sorbitol. Cargill amplió notablemente su capacidad de producción de polioles durante la pasada década. Roquette-Frères ofrece una amplia gama de productos, entre ellos sorbitol, maltitol, manitol, xilitol, isomalt e isosorbida. Roquette instaló unidades de producción de polioles en EE.UU., Corea del Sur y China. Archer Daniels Midland es uno de los principales procesadores de productos agrícolas del mundo y



produce sorbitol. Corn Products Specialty Ingredients adquirió SPI Polyols Inc., en 2007. Producen y comercializan una amplia gama de polioles, entre ellos manitol, sorbitol, maltitol e hidrolizados de almidón hidrogenados. La adquisición convirtió a Corn Products en uno de los principales productores de polioles de Latinoamérica con instalaciones en Brasil, México y Colombia, permitiendo a la compañía entrar en los mercados de EE.UU. y Canadá como proveedor de polioles especiales, principalmente. La compañía adquirió la participación restante de la brasileña Getec Guanabara Quimica Industrial, uno de los mayores productores de polioles de la nación, que fabrica sorbitol líquido, manitol y dextrosa anhidra. Towa Chemical Industry Co. Ltd., filial de Mitsubishi Corporation, fue la primera en producir maltitol cristalino en 1972 en su planta de Fuji, Japón. En septiembre de 2005 Mitsubishi inauguró unas instalaciones de producción de maltitol cristalino de última generación en Tailandia que utilizan almidón de mandioca. Por otra parte, Beneo-Palatinit, que pertenece a SÜDZUCKER AG (el mayor productor de azúcar de Europa) es un gran productor de isomalt. Danisco Sweeteners comercializa lactitol en forma anhidra y monohidrato y Purac Biochem comercializa varias formas de lactitol (ISO, 2012).

### Otros edulcorantes

#### Tagatosa

SweetGredients comenzó a producir tagatosa para su venta en el mercado de los alimentos y bebidas de EE.UU. en mayo de 2003, siete años después de adquirir la licencia a Spherix y dos años después de conseguir la aprobación de la FDA. Mientras tanto Spherix retuvo todos los derechos de la tagatosa para fines no alimentarios que la compañía comercializó bajo la marca Naturlose. En mayo de 2004 se alcanzó un acuerdo formal de abastecimiento entre Spherix Incorporated y SweetGredients, conforme al cual SweetGredients suministraría tagatosa a Spherix para venderla como Naturlose (ISO, 2012).

Cuando SweetGredients (una empresa conjunta entre Arla Food Ingredients y Nordzucker AG) decidió poner fin a su actividad de producción de tagatosa a partir de lácteos en 2006 a pesar de contar con la autorización como nuevo ingrediente alimentario, Nutrilab (una filial de la compañía belga Damhert) saltó a la palestra y adquirió los stocks existentes. Nutrilab prevía comenzar la producción comercial de tagatosa hacia el final de 2010, a la espera de que se determine que es sustancialmente equivalente a la tagatosa de lactosa, que ya cuenta con la aprobación de nuevo ingrediente alimentario. Nutrilab estuvo compilando documentación científica durante dos años y

a finales de noviembre de 2009 presentó un documento de 800 páginas a las autoridades belgas de seguridad alimentaria (FAVV) (ISO, 2012).

Para mediados de 2011 Nutrilab estuvo ampliando la producción de tagatosa tras las aprobaciones de las autoridades reguladoras. La compañía dijo que su planta sería capaz de producir 5.000 toneladas anuales repartidas entre un 70% de cristales de tagatosa y un 30% de jarabe de tagatosa y que iba a comenzar su actividad tras la reciente autorización del edulcorante en la UE y su airosa salida de varias controversias sanitarias. En un plazo de siete a nueve años se prevé que alcance cerca de 10.000 toneladas (ISO, 2012).

Además de que en febrero de 2013 PepsiCo y Yoplait estaban interesados en el uso de tagatosa en sus productos. (WebAcademia, 2013).

### Trehalosa

La trehalosa fue creada por la compañía japonesa Hayashibara Company Ltd. En 2001 esta compañía y British Sugar plc., firmaron un acuerdo para la producción, comercialización y venta de trehalosa en Europa después la Comisión Europea aprobó oficialmente la trehalosa como nuevo ingrediente alimentario (ISO, 2012).

Cargill (Cargill Health & Food Technologies) consiguió los derechos de distribución exclusivos en Europa de la marca de trehalosa ASCEND en julio de 2003. Cargill también obtuvo los derechos exclusivos para vender la marca de trehalosa ASCEND en los mercados alimentarios de Norteamérica, Sudamérica y Centroamérica (ISO, 2012).

## **Precios de los edulcorantes**

### Azúcar

Para el 2010, se acentuó la tendencia al alza de los precios internacionales del azúcar, ya que alcanzaron sus niveles máximos históricos. Por ejemplo, en el mes de febrero, el Contrato 16<sup>3</sup> alcanzó los \$886.56 US por tonelada (\$0.886 US por Kilogramo), en el mes de diciembre, el Contrato 5<sup>4</sup> de azúcar refinada registró un nivel de \$719.17 US (\$0.719 US por Kilogramo), mientras que el precio correspondiente al Contrato 11<sup>5</sup> alcanzó un nivel máximo de \$685.32 US

<sup>3</sup> *Contrato 16*: Precio nacional de los Estados Unidos de la azúcar cruda expresado en centavos por libra y publicado por el Intercontinental Exchange (ICE).

<sup>4</sup> *Contrato 5*: Tipo de precio internacional de la azúcar refinada expresado en centavos de dólar y publicado por el NYSE Euronext.

<sup>5</sup> *Contrato 11*: Tipo de precio internacional de la azúcar cruda expresado en centavos de dólar por libra y publicado por el Intercontinental Exchange (ICE) (SE, 2012).

(\$0.685 US por Kilogramo). Los factores clave que afectaron el mercado mundial del azúcar en 2009 y el primer semestre de 2010, fueron de conformidad con el USDA (SE, 2012):

1. La creciente presión sobre los precios del azúcar por caída en la producción de 2008/09, llevando los precios al doble de la media a largo plazo.
2. Mayores costos de producción y el uso creciente de etanol en Brasil (producido a partir de caña de azúcar) sentó las bases para precios más altos y
3. Cambios inducidos por las políticas de producción entre los países asiáticos.

No obstante que las expectativas del precio del azúcar a nivel internacional parecen mejorar en las últimas semanas de octubre y noviembre de 2011, los precios internacionales del azúcar podrían presentar fluctuaciones para el ciclo 2011/12, debido a los siguientes factores (SE, 2012):

- El bajo nivel de inventarios en los últimos años, y su lenta recuperación a nivel mundial
- El impacto desfavorable del cambio climático (sequías, inundaciones, heladas, entre otras) sobre la producción.
- El desempeño con respecto a los precios de otros commodities o bienes sustitutos, y
- La implementación de iniciativas nacionales e internacionales en materia de producción de etanol a partir de la caña de azúcar.

Por estas razones muchas empresas recurren a otro tipo de edulcorantes. Por lo general el precio de otros edulcorantes es demasiado elevado en comparación al precio de la sacarosa (Tabla 15), pero a nivel de producción el costo puede ser igual o incluso menor en comparación con la sacarosa si se emplean estos edulcorantes, debido a su PE es alto y la cantidad empleada es menor.

**Tabla 15: Precio de diferentes edulcorantes por kilogramo.**

PRODUCTO	PRECIO/ KG
<b>Edulcorantes artificiales</b>	
Aspartame	18.10 USD
Neotame	81 USD
Sacarina	11.45 USD
Ciclamato	0.45 USD
Acesulfame de potasio	8.50 USD
Alitame	270 USD

**Tabla 15: Continuación.**

Sucralosa		90.00 USD
<b>Edulcorantes naturales</b>		
<b>Sacáridos</b>		
Glucosa	43	0.50-0.60 USD
	44	0.56-0.58 USD
	45	0.65 USD
Fructosa	42	0.50 USD
	55	0.58-0.60 USD
Sacarosa		0.50-0.55 USD
Azúcar invertido		1.48 USD
Maltosa		546 USD
Lactosa		7.58 USD
<b>Naturaleza Glucosídico</b>		
Esteviósido		90.00 USD
Luo Han Guo		390 USD
<b>Poliolos</b>		
Sorbitol		1.43 USD
Eritritol		3.50 USD
Manitol		5.3 USD
Xilitol		2.7 USD
Lactitol		3.2 USD
Maltitol		1.74 USD
Isomalt		4.2 USD
<b>Naturaleza Proteica</b>		
Miraculina (Miralina)		630 USD
Taumatina		510 USD
<b>Otros edulcorantes</b>		
Tagatosa		435 USD
Trehalosa		7.20 USD
Neohesperidina dihidrochalcona		283 USD

Todos los precios son + 16% IVA y con tasa de cambio de \$13.18 pesos.

## **OBJETIVO**

El objetivo general de esta tesina fue realizar una investigación bibliográfica, la cual ponga de manifiesto, la historia, el desarrollo y el futuro de los edulcorantes en la industria alimentaria y como han incidido en el desarrollo de los mismos, conociendo e identificando los principales edulcorantes naturales y artificiales, resaltando las ventajas y desventajas e impulsando la investigación para la producción de los mismos.

## CONCLUSIONES

Como se puede leer en el presente trabajo, los edulcorantes artificiales han tenido un auge muy importante en la sustitución del azúcar, esto debido principalmente en costo y al aporte calórico que representan.

En lo que respecta al costo, se benefician mayoritariamente las empresas que los emplean, ya que reducen notoriamente la cantidad de azúcar que se agrega a su formulación para alcanzar el dulzor deseado y con respecto al aporte calórico el beneficio es para el consumidor, ya que este está preocupado por lo que consume debido a las grandes enfermedades crónicas que actualmente está experimentando la sociedad y cada vez las personas deseamos consumir productos que tengan menos químicos en su composición sin que su precio sea muy elevado y es ahí donde los edulcorantes naturales tienen gran viabilidad en la industria alimentaria, debido a que el aporte calórico es poco significativo comparándolo con la sacarosa, no son cariogénicos, en el aspecto sensorial superan a los artificiales debido a que no dejan resabio en la boca y no presentan toxicidad.

Por las razones ya mencionadas se considera que los edulcorantes naturales podrían reemplazar por completo a los edulcorantes artificiales debido a los grandes beneficios que presentan, y a los aspectos de mercado que se han observado como el caso del edulcorante de mesa Truvia que es el segundo mayor sustituto de azúcar en EEUU., lo cual nos indica que con una correcta comercialización podrían ser sustitutos viables de edulcorantes de alta intensidad o en dado caso de la sacarosa.

Muchos edulcorantes han sido descubiertos recientemente, por lo que no se ha investigado exhaustivamente aspectos como su uso, síntesis, toxicología, etc., por lo que muchas empresas todavía no recurren a ellos debido más que nada a los aspectos toxicológicos. Sería importante iniciar líneas de investigación en este sentido para ampliar la gama de edulcorantes en alimentos industrializados.

También es importante mencionar que las empresas investigadoras deberían de dedicar más tiempo a métodos de extracción viables para la obtención de estos edulcorantes naturales y así

poder incrementar los rendimientos y abaratar los costos, para que las empresas consideren otras alternativas que además van definiendo las tendencias del mercado.

Los organismos encargados de regular los aditivos también juegan un papel importante que hace que las empresas enfoquen su atención en los aditivos que entran al mercado, por lo que estas instituciones deben de ser lo más objetivos posibles, dejando de lado intereses personales y solo enfocándose al bien de la sociedad.

En términos generales los edulcorantes naturales están ganando terreno con respecto a los artificiales, esto debido a los múltiples beneficios que se les ha observado, además de que pueden ser consumido por personas diabéticas y aquellas que controlan la cantidad de carbohidratos que ingieren, es por esto que la investigación de los edulcorantes naturales debe ser más exhaustiva y las empresas deben de ofrecer a los consumidores alternativas más naturales ya que esa es la nueva tendencia del mercado.

## **RECOMENDACIONES**

Investigar más sobre algunos edulcorantes ya que algunas síntesis y aspectos toxicológicos no están disponibles debido al reciente descubrimiento o al poco interés en la comercialización del edulcorante.

Analizar más a detalle el mercado de los edulcorantes y ver cuales tienen una gran ventaja para poder ser comercializados potencialmente.



## BIBLIOGRAFÍA

- A Berje, I. G. (s.f.). *Whole Herb Company*. Recuperado el 31 de Mayo de 2013, de <http://www.wholeherbcompany.com/public/downloads/Luo-Han-Guo.pdf>
- AESAN. (2013). *Ingredientes alimentarios autorizados en la UE*. Recuperado el 02 de Agosto de 2013, de [http://www.aesan.msc.es/AESAN/docs/docs/cadena\\_alimentaria/tabla\\_decisiones\\_2013.pdf](http://www.aesan.msc.es/AESAN/docs/docs/cadena_alimentaria/tabla_decisiones_2013.pdf)
- Aguilar, J. (2003). Consumo de Refrescos en México. *Consumidor*, 58-61.
- Ajimoto. (2012). *Advantame*. Recuperado el 31 de Julio de 2013, de <http://www.advantame.com/>
- Alais, C. (2003). *Ciencia de la leche* (Cuarta ed.). España: Reverté, S.A.
- Alitame. (1995). *INCHEM, Abbott P: WHO Food Additive*. Recuperado el 12 de Mayo de 2013, de <http://www.inchem.org/documents/jecfa/jecmono/v35je11.htm>
- ALMEX. (s.f.). *ALMEX*. Recuperado el 10 de Agosto de 2013, de <http://www.almidones.com.mx/en/productos/hfcc-42-y-55.html>
- Alonso, J. (2010). Edulcorantes naturales. *La Granja*, 12(2), 3-11.
- American Diabetes, A. (s.f.). *American Diabetes Association*. Recuperado el 14 de Mayo de 2013, de <http://www.diabetes.org/espanol/nutricion-y-recetas/edulcorantes-artificiales/>
- APAEH. (s.f.). *Asociación Para el Apoyo a los Enfermos de Huntington*. Recuperado el 20 de Junio de 2013, de [http://www.huntingtonargentina.com.ar/informacion\\_util/suple\\_TREHALOSA.html](http://www.huntingtonargentina.com.ar/informacion_util/suple_TREHALOSA.html)
- Arango, C. (2010). Sustitutos del azúcar. En N. Bordoni, A. Escobar, & R. Castillo (Edits.), *Odontología Pediátrica. La salud bucal del niño y el adolescente en el mundo actual* (págs. 287-298). Argentina: Medica Panamericana.
- Ashoor, S., & Zent, J. (1984). Maillard browning of common amino acids and sugar. *Journal Food Science*, 49, 1206.
- Aspartame.org. (2009). *Aspartame*. Recuperado el 23 de Abril de 2013, de <http://www.aspartame.org/pdf/2009Aspartamebrochure.pdf>

- Assadi-Porter, F., Patry, S., & Markley, J. (2008). Efficient and rapid protein expression and purification of small high disulfide containing sweet protein brazzein in *E. coli*. *Protein Expression and Purification*, 58(2), 263-268.
- Badui, S. (2006). Edulcorantes . En *Química de los Alimentos* (Cuarta ed.), págs. 528-532. México: Pearson.
- Badui, S. (2006). Hidratos de Carbono. En S. Valdés (Cuarta ed.), *Química de los Alimentos* (págs. 29-107). México: Pearson .
- Barre, A., Van Damme, E., Peumans, W., & Rougé, P. (1997). Curculin, a sweet-tasting and taste-modifying protein, is a non-functional mannose-binding lectin . *Plant Molecular Biology*, 33, 691-698.
- Barros, C. (2008). *Los aditivos en la alimentación de los españoles y la legislación que regula su autorización y uso*. España: Visión Libros.
- Bartoshuk, L. (1974). After-Dinner Talk - Taste Illusions: Some Demonstrations. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 237(1), 279-285.
- Bassoli, A., Borgonovo, G., & Morini, G. (2011). Lost and found in sweeteners: forgotten molecules and unsolved problems in the chemistry of sweet compounds. *Flavour and Fragrance Journal*, 26.
- Bieleski, R., & Redgwell, R. (1985). Changes in carbohydrate and enzyme levels during development of leaves of *Prunus persica*, a sorbitol synthesizing species. *Australia Journal of Plant Physiology*, 12, 657-668.
- Blumert, M., & Jialiu, L. (1999). *Jiaogulan: China's Immortality Herb*. Badger, CA: Torchlight Publication.
- Boatella, J., Codony, R., & López, P. (2004). *Química y Bioquímica de los Alimentos II*. España: Publicaciones y Ediciones de la Universidad de Barcelona .
- Bordoni, N., Escobar, A., & Castillo, R. (2010). Sustitutos del Azúcar. En C. Arango, *Odontología Pediátrica: La salud bucal del niño y el adolescente en el mundo actual* (págs. 287-298). Argentina: Medica Panamericana.
- Borrajo, G. (2012). Panorama epidemiológico de la fenilcetonuria (PKU) en Latinoamérica. *Acta Pediátrica de México*, 33(6), 279-287.
- Brusick, D., Cifone, M., & Young, R. B. (1989). Assessment of the genotoxicity of calcium cyclamate and cyclohexylamine. *Environmental and Molecular Mutagenesis*, 14, 188-199.
- Bryan, G., & Erturk, E. (1970). Production of mouse urinary bladder carcinomas by sodium cyclamate. *Science*, 167, 996-998.

- Carakostas, M., Curry, L., Boileau, A., & Brusick, D. (2008). Overview: The history, technical function and safety of rebaudioside A, a naturally occurring steviol glycoside, for use in food and beverages. *Food and Chemical Toxicology*, 46(Suppl. 7), 1-10.
- Centro Médico, A. (2012). *Centro de Nutrición, Obesidad y Alteraciones Metabólicas*. Recuperado el 10 de Junio de 2013, de <http://www.abchospital.com/articulos/item/2012/03/12/la-obesidad-en-m%C3%A9xico>
- CODEX. (1995). *CODEX STAN 192-1995 NORMA GENERAL DEL CODEX PARA LOS ADITIVOS ALIMENTARIOS*.
- COT. (2002). Consumer Products and the Environment. EE.UU. Annual Report.: Committees on Toxicity, Mutagenicity y Carcinogenicity of Chemicals in Food.
- Council, C. C. (2009). *Datos sobre la sucralosa*. Recuperado el 08 de Mayo de 2013, de <http://www.sucralosa-es.org/pdf/SucraloseonlinebrochureSpanish.pdf>
- Council, C. C. (2013). *Sorbitol* . Recuperado el 01 de Junio de 2013, de <http://www.caloriecontrol.org/sweeteners-and-lite/polyols/sorbitol>
- Cubero, N., A.Monferrer, & J.Villalta. (2002). Edulcorantes. En *Aditivos Alimentarios* (págs. 189-210). España: Grupo Mundi-Prensa.
- Cweet. (s.f.). *Natural Intensive Sweetener*. Recuperado el 10 de Agosto de 2013, de <http://www.cweet.com/about.html>
- Dahl, W., Foster, L., & Owen, R. (2012). Los hechos acerca de la fructosa. *Food Science and Human Nutrition*, 10(01), 1-2.
- Darwin, C. (2011). *ClubDarwin.net*. Recuperado el 02 de Agosto de 2013, de <http://www.clubdarwin.net/seccion/ingredientes/ajinomoto-lucha-por-estabilizar-la-rentabilidad-en-el-aspartame>
- Dawson, G. (1995). *Patente nº 5,411,755*,. EE.UU.
- DePuydt, R. (2002). *Stevia: naturally sweet recipes for desserts, drinks and more* (Segunda ed.). EE.UU: Book Publishing Company.
- EFSA. (2007). Neotame as a sweetener and flavour enhancer. *The EFSA Journal* , 581, 1-43.
- EFSA. (2009). *European Food Safety Authority*. Recuperado el 20 de Junio de 2013, de <http://www.efsa.europa.eu/en/aboutefsa.htm>
- Elis, M. (2011). *¿Sabes lo que comes?* Recuperado el 28 de Abril de 2013, de [http://alimentosyaditivos.blogspot.mx/2011/05/rscgf-v-x-tetve-teprogratepinform\\_10.html](http://alimentosyaditivos.blogspot.mx/2011/05/rscgf-v-x-tetve-teprogratepinform_10.html)

- EUFIC. (2013). *European Food Information Council*. Recuperado el 10 de Agosto de 2013, de <http://www.eufic.org/article/es/page/FTARCHIVE/artid/aditivos-alimentarios/>
- Euromonitor. (2013). *Euromonitor*. Recuperado el 11 de Abril de 2013, de <http://www.euromonitor.com/carbonates-in-mexico/report>
- Europea, C. (2003). *Dictamen del Comité científico de la alimentación sobre el ácido glicirricínico y su sal de amonio*.
- FAGRAN. (2007). *FAGRAN*. Recuperado el 15 de Mayo de 2013, de [http://www.fagran.org.ar/azucares\\_SeminarioEdulcorantes.php](http://www.fagran.org.ar/azucares_SeminarioEdulcorantes.php)
- FAO. (2004). *Deposito de Documentos de la FAO*. Recuperado el 20 de Junio de 2013, de <http://www.fao.org/docrep/007/y5468s/y5468s0b.htm#TopOfPage>
- FAO. (2010). *Deposito de documentos de la FAO*. Recuperado el 20 de Junio de 2013, de [http://www.fao.org/docrep/w4982s/w4982s09.htm#comisión del codex alimentarios \(cac\)](http://www.fao.org/docrep/w4982s/w4982s09.htm#comisión%20del%20codex%20alimentarios%20(cac))
- FAO. (2013). *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Recuperado el 20 de Junio de 2013, de <http://www.fao.org/food/food-safety-quality/scientific-advice/jecfa/en/>
- FAO. (s.f.). *Alitame*. Recuperado el 20 de Mayo de 2013, de <http://www.fao.org/ag/agn/jecfa-additives/specs/Monograph1/Additive-010.pdf>
- Faus, I., del Moral, C., Adroer, N., del Río, J., Patiño, C., Sisniega, H., y otros. (1998). Secretion of the sweet-tasting protein thaumatin by recombinant strains of *Aspergillus niger* var. awamori. *Springer-Verlag*, 49, 393-398.
- Fennema, O. (2000). Aditivos alimentarios. En R. Lindsay, *Química de los alimentos* (págs. 938-947). España: ACRIBIA S.A.
- Fernandez, J. (2010). *Hidratos de carbono y su aprovechamiento*. Recuperado el 08 de Agosto de 2013, de <http://www.ual.es/docencia/jfernand/ATA/Tema5/Tema5-HidratosCarbono.pdf>
- G., K., & Kreft, S. (2012). Excretion profile of glycyrrhizin metabolite in human urine. *Food Chemistry*, 131, 305.
- Gertjan, J., Agnes, W., Adam-Perrot, A., Brouns, F., Verkooijen, Y., Weseler, A., y otros. (2010). Erythritol is a sweet antioxidant. *Nutrition*, 26(4), 449-458.
- Geuns, E. (2003). Stevioside. *Phytochemistry*, 64(5), 913-921.

- Gibbs, B., Alli, I., & Mulligan, C. (1996). Sweet and taste-modifying proteins: A review. *Nutrition Research*, 16(9), 1619-1630.
- Gil, A., & Ruíz, M. (2010). *Tratado de Nutrición, Tomo II: Composición y calidad nutritiva de los alimentos* (Segunda ed.). España: Medica Panamericana.
- Giraldo, E., Marín, P., & HAbeych, N. (2005). Obtención de Edulcorantes de Stevia Rebaudiana Bertoni. *CENIC. Ciencias Biológicas*, 36(Especial), 15-23.
- Global Industry Analysts, I. (2011). "Polyols: A Global Strategic Business Report.
- González, S. (2011). Aproximación a la comprensión de un endulzante natural alternativo, la Stevia Rebaudiana Bertoni: producción, consumo y demanda potencial. *Agroalimentaria*, 17(32), 57-69.
- Harada, S., Otani, H., Maeda, S., Kai, Y., Kasai, N., & Y., K. (1994). Crystallization and preliminary X-ray diffraction studies of curculin. A new type of sweet protein having taste-modifying action. *Journal of Molecular Biology*, 238(2), 286-287.
- Harris, M., & Zimmet, P. (1997). Clasificación de la diabetes mellitus y otras categorías de intolerancia a la glucosa. En K. Alberti, P. Zimmet, & R. DeFronzo (Edits.), *Libros de Texto Internacional de la Diabetes Mellitus* (págs. 9-23). Chichester: John Wiley and Sons Ltd.
- Hearn, L., & Subedi, P. (2008). Determining levels of steviol glycosides in the leaves of Stevia rebaudiana by near infrared reflectance spectroscopy. *Food Composition and Analysis*, 22(2), 165-168.
- Hernández, A. (2003). La proteína unicelular y otros productos utilizados en la industria alimentaria . En *Microbiología Industrial* (págs. 192-216). Costa Rica: EUNED.
- Hernández, M. (1999). *Tratado de Nutrición*. España: Diaz de Santos, S.A.
- Herrerías, J., Díaz, A., & Jimenez, M. (1996). *Tratado de Hepatología* . España: Universidad de Sevilla .
- Hicks, P., Abraham, T., Cameron, D., Lindley, M., Goulson, M., Millis, J., y otros. (2003). *Patente nº BRI0413241A*. EE.UU.
- Horie, M., Ishikawa, F., Oishi, M., Shindo, T., Yasui, A., & Ito, K. (2007). Rapid determination of cyclamate in foods by solid-phase extraction and capillary electrophoresis. *Chromatography A*, 1(2), 423-428.
- Hossen, M., Shinmei, Y., & Jiang, S. (2005). Effect of Lo Han Kuo ( Siraitia grosvenori Swingle) on nasal rubbing and scratching behavior in ICR mice. *Biol Pharm Bull* , 28, 238-241.

- Hsu, H. (1986). *Oriental Materia Medica*. EE.UU: Oriental Healing Arts Institute,.
- Hull, P. (2010). Sugar alcohols: an overview . En P. Hull, *Glucose Syrups: Technology and application* (págs. 107-118). India: Wiley-BlackWell.
- Ibáñez, F., Torre, P., & Irigoyen, A. (2003). *Universitas Navarrensis*. Recuperado el 10 de Junio de 2013, de [http://www.nutricion.org/publicaciones/revista\\_agosto\\_03/funcionales/aditivos.pdf](http://www.nutricion.org/publicaciones/revista_agosto_03/funcionales/aditivos.pdf)
- IFD. (2011). *Federación Internacional de Diabetes*. Recuperado el 11 de Abril de 2013, de <http://www.idf.org/diabetesatlas/5e/the-global-burden>
- Ingredion. (2009). *Edulcorantes*. Recuperado el 10 de Agosto de 2013, de <http://co.ingredion.com/edulcorantes.html>
- INNOVAL. (2009). *INNOVAL*. Recuperado el 08 de Agosto de 2013, de <http://www.revistaialimentos.com.co/ediciones/edicion5/ingredientes-5/la-magia-de-los-jarabez-de-maiz.htm>
- Insights, M. (2012). Top 10 for 2013. *Innova- Food and Beverage Innovation*, 43(2).
- International Sweeteners, A. (s.f.). *Neohesperidina DC*. Recuperado el 5 de Mayo de 2013, de [http://www.info-edulcorants.org/pdf/E959\\_Neohesperidina\\_DC\\_SP.pdf](http://www.info-edulcorants.org/pdf/E959_Neohesperidina_DC_SP.pdf)
- International Sweeteners, A. (s.f.). *Sacarina*. Recuperado el 02 de Junio de 2013, de [http://www.info-edulcorants.org/pdf/Saccharin\\_ES.pdf](http://www.info-edulcorants.org/pdf/Saccharin_ES.pdf)
- ISO. (2012). Edulcorantes alternativos en un contexto de altos precios del azúcar. MECAS: Comité de Evaluación de Mercado, Consumo y Estadística .
- Jarma, A., Combatt, E., & Cleves, J. (2012). Aspectos nutricionales y metabolismo de Stevia rebaudiana (Bertoni). Una revisión . *Agronomía Colombiana*, 38(2), 199-208.
- JECFA. (2002). Evaluation of certain food additives. WHO Technical Report Series 913. EE.UU: WHO.
- JECFA. (2003). *Evaluation of certain food additives and contaminants*. Italia: WHO Library Cataloguing-in-Publication Data.
- JECFA. (2003). Safety evaluation of certain food additives.59th meeting. Food additives Series:50. FAO/WHO.
- JECFA. (2009). Evaluation of certain food additives. WHO Technical. Report Series No. 952. EE.UU: WHO.

- Jizba, L., Dolejs, L., Herout, V., & Sorm, F. (1971). The structure of osladin — The sweet principle of the rhizomes of *Polypodium vulgare* L. *Tetrahedron Letters*, *18*, 1329-1332.
- Jo, H., Noh, J., & Kong, K. (2013). Efficient secretory expression of the sweet-tasting protein brazzein in the yeast *Kluyveromyces lactis*. *Protein Expression and Purification*, *90*(2), 84-89.
- Khan, R. (1976). The chemistry of sucrose. *Advances in Carbohydrate Chemistry and Biochemistry*, *33*, 236.
- Khan, R. (1993). *Low-Calorie foods and food ingredients* (Primera ed.). India: Blackie Academic and Professional.
- Kier, L. (1972). A molecular theory of sweet taste. *Pharmaceutical Sciences*, *61*(1394).
- Kinghorn, A., Soejarto, & D.D. (2002). Discovery of terpenoid and phenolic sweeteners from plants. *Pure Applied Chemistry*, *74*(7), 1169-1179.
- Kohmura, M., & Ariyoshi, Y. (1998). Chemical synthesis and characterization of the sweet protein mabinlin II. *Biopolymers*, *46*(4), 215-223.
- Konoshima, T., & Takasaki, M. (2002). Cancer-chemopreventive effects of natural sweeteners and related compounds. *Pure and Applied Chemistry*, *74*, 1309-1316.
- Kuklinski, C. (2003). *Nutrición y Bromatología* (pp. 97-109.). España: Omega.
- Kurihara, Y. (1992). Characteristics of Antisweet Substances, Sweet Proteins, and Sweetness-Inducing Proteins. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *32*(3), 231-252.
- Kurihara, Y., & Nirasawa, S. (1997). Structures and activities of sweetness-inducing substances (miraculin, curculin, strogin) and the heat-stable sweet protein, mabinlin. *Foods and Food Ingredients Journal of Japan*(174), 67-74.
- Kurihara, Y., Kohno, H., Kato, M., Ikeda, K., & Miyake, M. (1990). *Patente nº ES 2 092 989*. España.
- Lee, K., Lee, P., Siaw, Y., & Morihara, K. (1992). Effects of methanol on the synthesis of aspartame precursor catalysed by *Pseudomonas aeruginosa* elastase. *Biotechnology Letters*, *14*(9), 779-784.
- Lemus, R., Vega, A., Bravo, L., & H. d. (2012). Stevia rebaudiana Bertoni, source of a high-potency natural sweetener: A comprehensive review on the biochemical, nutritional and functional aspects. *Food Chemistry*, *132*(3), 1121-1132.

- Liu, J., Jin-wei, L., & Jian, T. (2010). Ultrasonically assisted extraction of total carbohydrates from *Stevia rebaudiana* Bertoni and identification of extracts. *Food and Bioprocess Processing*, 88(2-3), 215-221.
- López, A., & Canales, M. (2004). Edulcorantes. En G. Garibay, R. Quintero, & L. M. (Edits.), *Biotecnología Alimentaria* (págs. 519-552). México: Limusa Noriega Editores.
- Magnasweet. (2011). *Mundo Alimentario*. Recuperado el 20 de Agosto de 2013, de [http://www.alimentariaonline.com/media/MA043\\_mega.pdf](http://www.alimentariaonline.com/media/MA043_mega.pdf)
- Maracullá, J., & Goñi, F. (1994). *Bioquímica Humana: Curso Básico* (Segunda ed.). España: Reverté, S.A.
- Maronea, P., Borzellecab, J., Merkela, D., Heimbachc, J., & Kennepohld, E. (2008). Twenty eight-day dietary toxicity study of Luo Han fruit concentrate in Hsd:SD® rats. *Food and Chemical Toxicology*, 46(3), 910-919.
- Martens, M. (2000). Safety evaluation of genetically modified foods. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 73, 14-18.
- Martínez, J. (2002). *Stevia rebaudiana*. *Medicinas Complementarias*(55-63), 55-63.
- Matsuda, H., Shimoda, H., Yamahara, J., & Yoshikawa, M. (1999). Effects of phyllodulcin, hydrangenol, and their 8-O-glucosides, and Thunberginols A and F from *Hydrangea macrophylla* SERINGE var. *thunbergii* MAKINO on passive cutaneous anaphylaxis reaction in rats. *Biological & pharmaceutical bulletin*, 22(8), 870-872.
- Michaelis, M., Geiler, J., Naczk, P., Sithisarn, P., Leutz, A., Doerr, H., y otros. (2011). Glycyrrhizin exert antioxidative effects in H5N1 influenza A virus-infected cells and inhibits virus replication and pro-inflammatory gene expression. *PLOS ONE*, 6(5).
- Ming, D., & Hellekant, G. (1994). Brazzein, a new high-potency thermostable sweet protein from *Pentadiplandra brazzeana* B. *FEBS Letters*, 355(1), 106-108.
- Mitchell, H. (2006). En *Sweeteners and sugar alternatives in food* (págs. 86-95). India: Blackwell Publishing .
- Mortensen, A. (2006). Sweeteners permitted in the European Union: safety aspects. *Scandinavian Journal Food Nutrition*, 50(3), 104-116.
- Multon, J. (2000). *Aditivos y auxiliares de fabricación en las industrias agroalimentarias* (Segunda ed.). España: Acribia.
- Munro, I., Bernt, W., Borzelleca, J., Flamm, T., Lynch, B., Kennepohl, E., y otros. (1998). Erythritol: an interpretive summary of biochemical, metabolic, toxicological and clinical data. *Food and Chemical Toxicology*, 36(12), 1139-1174.



- Navarro, M. (2012). Aspectos Bromatológicos y Toxicológicos de los edulcorantes. En M. Repetto, & C. A.M. (Edits.), *Toxicología Alimentaria* (págs. 475-497). España: Díaz de Santos.
- Neotame. (2011). *Neotame*. Recuperado el 31 de Julio de 2013, de [http://www.neotame.com.mx/pdf/neotame\\_cientifico\\_MX.pdf](http://www.neotame.com.mx/pdf/neotame_cientifico_MX.pdf)
- Ni, Y., Xiao, W., & Kokot, S. (2009). A differential kinetic spectrophotometric method for determination of three sulphanilamide artificial sweeteners with the aid of chemometrics. *Food Chemistry*, 113(4), 1339-1345.
- NMX-F-005-1983. (1983). *Glucosa de maíz*. México: Secretaria de Economía.
- NMX-F-217-1975. (1975). *Determinación de dextrosa equivalente en glucosa de maíz*. México: Secretaria de Economía.
- Nutritionals, M. (2000). Sucralosa Safety Assessment. *Food and Chemical Toxicology*, 38(suppl 2), S1-S1 29.
- O'Brien, L. (2012). *Alternative Sweeteners* (Cuarta ed.). EE.UU: CRC Press.
- O'Donnell, K., & Kearsley, M. (2012). *Sweeteners and Sugar Alternatives in Food Technology* (Segunda ed.). EE.UU: Wiley-Blackwell.
- OMS. (2010). *Visually*. Recuperado el 10 de Junio de 2013, de <http://visual.ly/weight-world>
- OMS. (2012). *Sobrepeso y Obesidad*. Recuperado el 10 de Junio de 2013, de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs311/es/>
- OMS. (2013). *Estadísticas de Obesidad y Sobrepeso*. Recuperado el 10 de Junio de 2013, de <http://apps.who.int/bmi/index.jsp>
- Otabe, A., Fujieda, T., Masuyama, T., Ubukata, K., & Lee, C. (2011). Advantame: un resumen de los datos de toxicidad. *Food and Chemical Toxicology*, 49(1), 2-7.
- Parque, J., Seo, B., Kim, J., & Parque, Y. (1998). Production of erythritol in fed-batch cultures of *Trichosporon* sp. *Fermentation and Bioengineering*, 86(6), 577-580.
- Patil, S., Ravi, R., Saraswathi, G., & Prakash, M. (2012). Development of low calorie snack food based on intense sweeteners. *Food Science and Technology*, 10, 7-12.
- Pijoan, M. (2006). Los dulces de un mundo sin azúcar. *Etnobotánica*, 25(5), 102-110.
- Piotr, T. (2003). *Chemical and Functional Properties of Food Saccharides*. CRC Press.
- Pompei, R., Ornella, F., Marccialis, M., Pani, A., & Loddo, B. (2011). Glycyrrhizic acid inhibits virus growth and inactivates virus particles. *Nature*, 281(5733), 689-690.

- Puri, M., Sharma, D., J., C., & Tiwary, A. (2012). Optimisation of novel method for the extraction of steviosides from *Stevia rebaudiana* leaves. *Food Chemistry*, 132(3), 1113-1120.
- Química, I. (2011). *IHS Química* . Recuperado el 22 de Julio de 2013, de <http://www.ihs.com/products/chemical/planning/ceh/sorbitol.aspx>
- Químicaorgánica.org. (2010). *Química Orgánica*. Recuperado el 02 de Junio de 2013, de <http://www.quimicaorganica.org/foro/121-preguntas-sobre-retrosintesis-y-sintesis/4233-retrosintesis-de-la-sacarina.html>
- Ravelo, S., & Ramos, E. (2009). La trehalosa. Parte II: su formación en diferentes variedades de caña. *Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar*, 43(3), 28-32.
- Remington, A. (2003). *Farmacía Tomo I* (Vigésima ed.). Argentina: Medica Panamericana.
- Repetto, M., & Camean, A. (2006). *Toxicología Alimentaria* (Segunda ed.). España: Diaz de Santos.
- Rhimi, M., Chouayekh, H., Gouillouard, I., Maguin, E., & Bejar, S. (2011). Production of D-tagatose, a low caloric sweetener during milk fermentation using L-arabinose isomerase. *Bioresour Technology*, 102(3), 3309-3315.
- Ruiz, M., Torres, R., & Sánchez, C. (2009). Determinación de los parametros hidrolíticos para la producción de jarabes de glucosa a partir de almidón de yuca . Colombia: Universidad del Quindío .
- Salmerón, J. (2008). Azúcar y Edulcorantes . En V. Rodríguez, & E. Simón (Edits.), *Bases de la Alimentación Humana* (págs. 131-144). España: Netbiblo, S.L.
- Sancho, J., Bota, E., & de Castro, J. (1999). *Introducción al análisis sensorial de los alimentos* (Primera ed.). España: Universidad de Barcelona.
- Schmelzer, G., & Gurib-Fakim, A. (2008). *Medicinal Plants 1* (Primera ed.). Netherlands: PROTA Foundation.
- SE. (2012). *Análisis de la situación económica, tecnológica y de política comercial del sector edulcorantes en México*. México: Dirección General de Industrias Básicas.
- SE. (2013). *Secretaría de Economía*. Recuperado el 20 de Junio de 2013, de <http://www.economia.gob.mx/comunidad-negocios/competitividad-normatividad/normalizacion/normalizacion-internacional/codext>

- Shallenberger, R., & Acree, T. (1971). Chemical structure of compounds and their sweet and bitter taste. En L. Beidler (Ed.), *Handbook of Sensory Physiology IV* (págs. 221-277 ). Berlin: Springer-Verlag.
- Shimamura, M., & Lin, M. (2007). Establishment of technology on miracle fruit tablets and its applications. *Chemical Senses*, 32(2), 6.
- Song, S., & Vieille, C. (2009). Recent advances in the biological production of mannitol. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 84, 55-62.
- Spillane, W., & Thompson, E. (2009). The effect on taste upon the introduction of heteroatoms in sulphamates. *Food Chemistry*, 114(1), 217-225.
- Størmer, F., Reistad, R., & Alexander, J. (1993). El ácido glicirricico de regaliz: Evaluación de riesgos para la salud. *Food and Chemical Toxicology*, 31(4), 303-312.
- Suzuki, Y., Murata, Y., Inui, H., Sugiura, M., & Nakano, Y. (2005). Triterpene glycosides of *Siraitia grosvenori* inhibit rat intestinal maltase and suppress the rise in blood glucose level after a single oral administration of maltose in rats. *Agriculture Food Chemistry*, 53, 2941-2946.
- Swingle, W. (1941). *Momrodica grosvenori* Sp. Nov. the source of the Chinese Lo han kuo. J Arnold Arboretum. *Department of Horticulture and Landscape Architecture. Purdue University. West Lafayette, IN.*, 22, 197-203.
- Ukiya, M., Akihisa, T., & Tokuda, H. (2002). Inhibitory effects of cucurbitane glycosides and other triterpenoids from the fruit of *Momordica grosvenori* on epstein-barr virus early antigen induced by tumor promoter 12-O-tetradecanoylphorbol-13-acetate. *Agriculture Food Chemistry*, 50, 6710-6715.
- UNICEF. (2013). *UNICEF, México*. Recuperado el 10 de Octubre de 2013, de <http://www.unicef.org/mexico/spanish/17047.htm>
- USDA. (2012). *ERS*. Recuperado el 20 de Junio de 2013, de <http://www.ers.usda.gov/Briefing/Sugar>
- Valdés, S., & Ruiz, M. (29 de Mayo de 2009). *Edulcorante en alimentos: aplicaciones y normativas*. Recuperado el 23 de Abril de 2013, de [http://docencia.izt.uam.mx/elbm/233210/tareas/alimentacion.enfasis.com\\_edulcorantes.pdf](http://docencia.izt.uam.mx/elbm/233210/tareas/alimentacion.enfasis.com_edulcorantes.pdf)
- Valencía, J. (2008). El suero de Quesería y sus posibles aplicaciones parte 2/3. *Mundo Lácteo y Cárnico*, 5(1), 16-18.

- Van der Wel, H., Larson, G., Hladik, A., Hladik, C., Hellekant, G., & Glaser, D. (1988). Isolation and characterization of pentadin, the sweet principle of *Pentadiplandra brazzeana* Baillon. *Chemical Senses*, 14(1), 75-79.
- Varela, G., Carbajal, A., & Moreiras, O. (1995). *Propiedades nutricionales del azúcar y la evolución de su consumo en los últimos treinta años (1964-1994)*. España: Ayala, S.L.
- Veracruz.gob. (2009). *Monografía de la caña de azúcar*. Recuperado el 10 de Agosto de 2013, de [http://portal.veracruz.gob.mx/pls/portal/docs/PAGE/COVECAINICIO/IMAGENES/ARCHIVO\\_SPDF/ARCHIVOSDIFUSION/MONOGRAFIA%20CA%D1ADEAZUCAR2010.PDF](http://portal.veracruz.gob.mx/pls/portal/docs/PAGE/COVECAINICIO/IMAGENES/ARCHIVO_SPDF/ARCHIVOSDIFUSION/MONOGRAFIA%20CA%D1ADEAZUCAR2010.PDF)
- Vértice, E. (2010). *Repostería*. España: Vértice.
- Voet, D., Voet, J., & Pratt, C. (2009). En *Fundamentos de Bioquímica* (pág. 216). Argentina: Medica Panamericana S.A.
- WebAcademia. (2013). Recuperado el 01 de Agosto de 2013, de [http://centrodeartigos.com/articulos-para-saber-mas/article\\_56991.html](http://centrodeartigos.com/articulos-para-saber-mas/article_56991.html)
- WebAcademia. (2013). *La sacarosa, Propiedades físicas y químicas, Producción, Consumo, Comercio y Economía*. Recuperado el 08 de Agosto de 2013, de [http://centrodeartigos.com/articulos-utiles/article\\_102988.html](http://centrodeartigos.com/articulos-utiles/article_102988.html)
- Weihrauch M, D. V. (2004). Artificial sweeteners—do they bear a carcinogenic risk? *Annals of Oncology*, 15(10), 1458-1460.
- Yagi, A., Ogata, Y., Yamauchi, T., & Nishioka, I. (1977). Metabolism of phenylpropanoids in *Hydrangea serrata* var. *thunbergii* and the biosynthesis of phyllo dulcin. *Phytochemistry*, 16(7), 1098–1100.
- Yamashita, H., Akabane, T., & Kurihara, Y. (1995). Activity and stability of a new sweet protein with taste-modifying action, curculin. *Chemical Senses*, 20(2), 239-243.
- Yang, C., & Tanaka, O. (1997). *Advances in Plant Glycosides, Chemistry and Biology*. Kunming, China: in Proceedings of the International Symposium on Plant Glycosides.
- Yeouruenn, L. (1995). *A New Compendium of Materia Medica*. Beijing: Science Press.
- Yinfang, D., & Chengjun, L. (1986). *Fruit as Medicine*. Kuranda, Australia: The Ram's Skull Press.
- Zemanek, E., & Wasserman, B. (1995). Issues and advances in the use of transgenic organisms for the production of thaumatin, the intensely sweet protein from *Thaumatococcus danielli*. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 35, 455-466.

- Zhon, H., Liping, P., & Min, E. (1983). Studies on mabinlin, a sweet protein from the seeds of *Capparis masaikai* levl. I. extraction, purification and certain characteristics. *Acta Botánica Yunnanica*(5), 207–212.