



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

LOS JARABES DE MAIZ DE ALTA FRUCTOSA COMO EDULCORANTE ALTERNATIVO AL AZUCAR, SU TECNOLOGIA Y MERCADO

T E S I S QUE PARA OBTENER EL TITULO DE: INGENIERIO EN ALIMENTOS P R E S E N T A : Gabriel Brown Valencia

Director de Tesis: I. A. ALFREDO ALVAREZ CARDENAS

Cuautitlán Izcalli, Edo. de México

2000

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

**PAGINACIÓN**

**DISCONTINUA**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLAN



DEPARTAMENTO DE  
EXAMENES PROFESIONALES

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN  
P R E S E N T E

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el Trabajo de TESIS:

Los Jarabes de Maíz de Alta Fructosa como Edulcorante Alternativo al  
Azúcar, su Tecnología y Mercado.

que presenta el pasante: Gabriel Brown Valencia  
con número de cuenta: 8553995-0 para obtener el TITULO de:  
Ingeniero en Alimentos

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO

A T E N T A M E N T E,  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 18 de Mayo de 2001

PRESIDENTE

[Firma]

VOCAL

I.A. Alfredo Alvarez Cárdenas

SECRETARIO

I.A. Rosalía Meléndez Pérez

PRIMER SUPLENTE

I.A. Laura M. Cortazar Figueroa

SEGUNDO SUPLENTE

M. en C. Ma. de la Luz Zarbrano Zaragoza

---

## DEDICATORIA

---

A mi madre, María del Carmen, por darme la vida, por tu amor, gracias por todo tu apoyo, por estar y darme libertad a tiempo. Eres una gran mujer. Te amo.

A mi padre, Gabriel, por lo que eres, por enseñarme a ser y escucharme cuando mas lo necesité, por el amor a tu manera, por ser ejemplo de fortaleza y tenacidad. Eres un gran hombre. Te amo.

A mi esposa, Laura, por tu paciencia y comprensión, por todo tu amor, por enseñarme el camino de Dios, por tu inteligencia y consejos, por escucharme siempre. Eres madre y esposa ejemplar. Te amo.

A mi hija, María, por que eres el principio y el fin de todo, el motivo principal de mi vida. Nunca dejas de enseñarme, por que todo lo vences y lo conquistas. Sigue igual. Te amo.

A mi hermana, Lety, por lo que vivimos de niños, risas y llanto, juegos y canciones, por ser como eres, por estar. Te amo.

---

A mi abuelita, Elenita, por que aunque no estés siempre estás. Te extraño mucho, gracias por consentirme y por lo de las tamborias.

A mis Abuelitos, Gabriel y Chema, por su sencillez.

A mis sobrinos Ricardito, Jovana y Brenda. Por que dan luz a la familia. Los quiero mucho.

A mis primos Marcela, Paco, Tony, Mony, Gaby, Beto, Poncho, Araceli, Checo, Baby, Griselda y Rogelio, por lo momentos compartidos, la diversión y el aprender de la vida juntos. Los quiero mucho.

A mis tíos Beto Brown (porque siempre esperas lo mejor de las personas y das sin esperar nada a cambio), Antonio (por haber existido y por tu cariño. Te extraño) Licha (por ser ejemplo de trabajo), Chavo (por ser ejemplo de rectitud), Yola (por cuidarme en Rosarito y por tu cariño), Chichí (por ser ejemplo de firmeza de convicciones), Oscar (por la infancia juntos), Elisa, Blanca, Baby, Araceli, Tere 1 y 2, Martha, y Ricky (por lo divertido que eres y eso también es un ejemplo). Porque son parte de lo que soy. Los quiero mucho.

A mis amigos de toda la vida y compañeros de trabajo.

A todos mis maestros, formales e informales, que a lo largo de esta vida me han regalado su conocimiento y un poco de su ser.

A Dios por permitirme compartir con toda esta gente maravillosa.

---

---

# INDICE

---

<b>INTRODUCCION.....</b>	<b>1</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>3</b>
<b>CAPITULO 1 ANTECEDENTES.....</b>	<b>4</b>
<b>1.1. Edulcorantes Nutritivos.....</b>	<b>8</b>
1.1.1. Azúcares.....	8
1.1.2. Jarabes de Maíz.....	11
1.1.3. Jarabe de Maíz de Alta Fructosa.....	11
1.1.4. Azúcar de Alcohol.....	12
1.1.5. Aspartame.....	13
1.1.6. Otros Edulcorantes Nutritivos.....	14

---

<b>1.2. Edulcorantes No Nutritivos.....</b>	<b>15</b>
1.2.1. Sacarina.....	16
1.2.1. Ciclamato.....	17
1.2.3. Otros Edulcorantes No Nutritivos.....	18
<b>CAPITULO 2  COMERCIALIZACION.....</b>	<b>19</b>
<b>2.1. Mercado Mundial.....</b>	<b>19</b>
2.1.1. Producto.....	19
2.1.2. Volúmenes de Producción y Productores.....	20
2.1.3. Consumo.....	27
2.1.4. Precios.....	28
<b>2.2. Mercado en México.....</b>	<b>30</b>
2.2.1. Producto.....	30
2.2.2. Volúmenes de Producción y Productores.....	34
2.2.3. Consumo.....	36
2.2.4. Precios.....	38
<b>CAPITULO 3  PRODUCCIÓN.....</b>	<b>40</b>

---

---

<b>3.1. Obtención de Lechada de Almidón.....</b>	<b>44</b>
3.1.1. Limpieza.....	44
3.1.2. Maceración.....	44
3.1.3. Separación de Germen.....	45
3.1.4. Molienda.....	46
3.1.5. Separación del Gluten del Almidón.....	46
<b>3.2. Refinería para la Obtención de Jarabes de</b>	
<b>    Maíz de Alta Fructosa.....</b>	<b>48</b>
3.2.1. Licuación.....	48
3.2.2. Sacarificación.....	50
3.2.3. Clarificación, Filtración y Refinación.....	55
3.2.4. Isomerización.....	57
3.2.4.1. Producción de Isomerasa.....	60
3.2.4.2. Inmovilización de Isomerasa.....	61
3.2.4.3. Reactores.....	62
3.2.5. Clarificación, Refinación y Evaporación.....	64
3.2.6. Separación Cromatográfica.....	65
3.2.7. Mezcla.....	69

---

---

<b>CAPITULO 4</b>	<b>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS..</b>	<b>71</b>
<b>CAPITULO 5</b>	<b>ALMACENAMIENTO, EMBARQUE Y MANEJO</b>	<b>79</b>
<b>CAPITULO 6</b>	<b>APLICACIÓN.....</b>	<b>84</b>
	<b>6.1. Formulaciones.....</b>	<b>86</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>		<b>92</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>		<b>94</b>

## INDICE DE CUADROS Y FIGURAS

CUADRO (CONTINUA 1 PAGINA)	TITULO	PAGINA
1	Producción de Maíz en Estados Unidos	6
2	Usos del Maíz en la Industria y Alimentos	7
3	Consumo Mundial de Jarabes de Maíz de Alta Fructosa en 1989	21
4	Productores en el Mundo de JMAF y Capacidades en 1989	23
5	Cuotas de Producción de JMAF para los Países Miembros de la Comunidad Europea en 1989	26
6	Cuotas Compensatorias Provisionales	33
7	Cuotas Compensatorias Definitivas	33
8	Producción en México de JMAF en el Año de 1997	35
9	Consumo de JMAF en México en 1997	37
10	Perfil de Carbohidratos en Almidón Hidrolizado de Bajo DE Derivado de la Licuación Enzimática	50
11	Interacción de las Variables de Sacarificación	51
12	Composición Típica de un Jarabe de Maíz Altamente Hidrolizado	57
13	Técnicas Industriales más Importantes para la Inmovilización de glucosa isomerasa	62

14	Condiciones Típicas Para la Isomerización Comercial	64
15	Separación Cromatográfica de Cama Movable de Productos de la Dextrosa Isomerizada	69
16	Características Físicas y Químicas Típicas de los JMAF	73
17	Perfil de Carbohidratos de Varios Edulcorantes	74
18	Dulzor Relativo de Varios Edulcorantes	75
19	Temperaturas de Entrega y Almacenamiento Recomendadas para Evitar Desarrollo de Color o Cristalización	81
20	Propiedades Funcionales de los JMAF	85
21	Aplicación de los JMAF	86
22	Bebida de Naranja	87
23	Concentrado Sabor Naranja	87
24	Pan de Caja	88
25	Panqué	88
26	Base de Crema para Batir	89
27	Bebida Láctea Saborizada	89
28	Helado Normal	90
29	Helado Suave	90
30	Mermelada	91
31	Salsa Catsup	91

FIGURA (CONTINUA 1 PAGINA)	TITULO	PAGINA
1	Consumo de Azúcar vs JMAF en Estados Unidos	28
2	Comparación de Precios en Estados Unidos para Azúcar, JMAF 42 y JMAF 55	29
3	Producción de JMAF en México	34
4	Importaciones de JMAF a México	36
5	Precios Promedio de Azúcar y JMAF en México, Libre de Flete	39
6	Grano de Maíz y sus Componentes	42
7	Diagrama de Bloques para la Obtención de Lechada de Almidón	43
8	Diagrama de Flujo para Obtención de JMAF a partir de Lechada de Almidón (1ª. Parte)	49
9	Reacción de Hidrólisis / Condensación Controlando la Conversión Enzimática de Almidón a D-Glucosa	52
10	Hidrólisis Enzimática de Almidón de Maíz Licuado (Dextrinas Lineales y Ramificadas)	53
11	Acción de la Glucoamilasa Sobre Soluciones de Glucosa y Almidón de Maíz Licuado	54
12	Diagrama de Flujo para Obtención de JMAF a partir de Lechada de Almidón (2ª. Parte)	55
13	Isomerización de Dextrosa a Fructosa vía el 1,2 Eenediol	56
14	Fraccionamiento de Fructosa y Refinado (dextrosa + altos sacáridos) por Cromatografía de Cama Movable	68

15	Presión Osmótica vs % de Sólidos de Varios Edulcorantes	72
16	Viscosidad vs Temperatura JMAF 42 y 55	74
17	Color vs Tiempo a Diferentes Temperaturas para JMAF	76
18	Solubilidad de JMAF vs Azúcar	77
19	Percepción de Dulzura para Varios Edulcorantes	78
20	Arreglo Típico de un Tanque de Almacenamiento de JMAF	82

---

## INTRODUCCION

---

**E**l deseo por lo dulce es innato, más que una preferencia aprendida. El ser humano desde bebé prefiere los sabores dulces a aquellos con otros sabores. Inclusive un feto de 4 meses incrementa su rango de crecimiento cuando se inyecta sacarosa en el fluido amniótico, y es muy conocida la preferencia de otros animales por el sabor dulce. Durante miles de años el sabor dulce pudo ser satisfecho solo por frutas naturalmente disponibles. La primera fuente concentrada de dulzor fue la miel de abeja, la cual por siglos solo fue disponible para algunas personas privilegiadas.

En el siglo IXX se inicio la producción industrial de azúcar de tal forma que el dulce fue disponible para la mayoría de la población mundial.

En la segunda mitad del siglo XX se da una revolución en el mundo de los edulcorantes al desarrollarse los Jarabes de Maíz de Alta Fructosa (JMAF); los primeros edulcorantes con dulzor igual o superior al azúcar obtenidos del almidón, una materia prima abundante en la naturaleza, de costo más estable y menor que el azúcar, de más fácil manejo y prácticamente las mismas propiedades. Es decir, el sustituto ideal del azúcar para la industria.

Los JMAF tardaron en llegar a México por la protección del gobierno a la industria azucarera y la política de puertas cerradas a las importaciones de otros países que se dio en los años 70's y 80's. Pero cuando las condiciones cambiaron en los 90's tuvieron un gran éxito como en todo el mundo.

La industria ha tenido cuidado en ir acostumbrando paulatinamente el paladar de sus consumidores, al poco perceptible diferente sabor de los JMAF, haciendo substitutiones parciales de azúcar al principio e incrementando poco a poco las substitutiones hasta llegar a un 100 % de uso de JMAF en lugar de azúcar.

Sin duda el descubrimiento del proceso para la fabricación de los JMAF es uno de los sucesos mas importantes en la industria de los alimentos en los últimos años, y en este trabajo se hace una revisión de sus características fisicoquímicas, propiedades funcionales y principales aplicaciones; así como el marco histórico, productivo y comercial que determinó el éxito de estos edulcorantes en el mundo.

---

# OBJETIVOS

---

## GENERAL.

Analizar la situación actual de los Jarabes de Maíz de Alta Fructosa y su perspectiva técnica, económica y política, que determinen su utilización como edulcorante alternativo al azúcar.

## ESPECIFICOS

1. Analizar el marco económico - político que rodea a los jarabes de maíz de alta fructosa en México y el mundo.
2. Definir las características físicas y químicas, las aplicaciones y manejo, así como establecer los parámetros para cada una de las etapas del proceso de producción moderno.
3. Apoyar el estudio de la carrera de ingeniería en alimentos en las materias de análisis de alimentos, química de alimentos, laboratorios de ciencia básica y laboratorios experimentales multidisciplinarios, así como auxiliar a los departamentos de investigación y desarrollo en la industria de los alimentos.

---

## CAPITULO 1

---

### ANTECEDENTES

**E**dulcorantes altamente concentrados empezaron a ser generalmente disponibles en los siglos **IXX** y **XX** cuando el azúcar de caña o remolacha pudo ser producida en grandes cantidades. El proceso de elaboración de azúcar es relativamente sencillo y se pueden obtener productos de alta calidad, mientras que métodos prácticos para la obtención de edulcorantes a partir de almidón de maíz requirió de un amplio periodo de desarrollo debido a la más complicada tecnología requerida. [1]

El Jarabe de Alta Fructosa (JAF) ha adquirido una posición de gran prominencia en la dieta humana como ningún otro edulcorante desde que el azúcar reemplazó a la miel de abeja. Esto ocurrió en un intervalo de tiempo relativamente corto de 25 años.

La producción de JAF fue posible gracias a los significativos avances en las tecnologías de isomerización industrial y la separación cromatográfica entre los años de 1960 a 1970.

Además, se dio un incentivo económico extra debido a las grandes fluctuaciones en el precio de el azúcar de caña o remolacha, lo que origino un gran interés en el desarrollo de un edulcorante alternativo que tuviera como materia prima al abundante almidón de maíz.

El JAF, en base seca, al ser un edulcorante natural proveniente del almidón, aporta la misma proporción de calorías por gramo de carbohidrato que el azúcar.

La materia prima más usada para la elaboración de JAF es el maíz. El JAF derivado específicamente de almidón de maíz es conocido como Jarabe de Maíz de Alta Fructosa (JMAF). Dependiendo del lugar del mundo, fuentes alternativas de almidón como arroz, trigo, tapioca, y papa son usadas dependiendo de su abundancia y su costo contra el maíz. El JAF proveniente de estas fuentes de almidón es llamado simplemente Jarabe de Alta Fructosa. [1, 4]

Los JMAF son comercializados en forma líquida con una concentración de sólidos de 71 % para el caso de el JMAF 42 y 77 % de sólidos para el JMAF 55. Estos 2 JMAF; el 42 y 55, son los más comunes y la diferencia básica entre ambos es el contenido del monosacárido fructosa en cada uno de ellos. En base seca el JMAF 42 contiene 42 % de fructosa y el JMAF 55 contiene 55 % de fructosa (ver Capítulo 4). Eventualmente, principalmente en EU podemos encontrar JMAF con mayores contenidos de fructosa como el JMAF 90 e inclusive JMAF en polvo.

La producción de edulcorantes a partir de almidón de maíz en los Estados Unidos (EU) ha sido soportada por la gran disponibilidad de maíz. Alrededor de 9,366 millones de bushels (1 bushel = 56 lb.) de maíz fueron producidos en los EU en 1997 (Cuadro No. 1), y de estos, solo alrededor del 11 % fueron usados para la producción de almidón y edulcorantes (Cuadro No. 2). El maíz es la materia prima ideal debido a su alto contenido de almidón, abundante abasto, y su disponibilidad durante todo el año.

*Cuadro No. 1 Producción de Maíz en Estados Unidos.*

AÑO	MILES DE BUSHELS
1995	7,373,876
1996	9,293,435
1997	9,365,574

*Fuente: Pagina WEB Corn Refiners Association ([www.corn.org/web/index.html](http://www.corn.org/web/index.html))*

Aunque el azúcar sigue siendo el edulcorante mas ampliamente utilizado en los EU, el rango de crecimiento en la producción de edulcorantes a partir de maíz se incrementó enormemente llegando casi a los mismos niveles del azúcar.

Cuadro No. 2 Usos del Maíz en la Industria y Alimentos (En millones de bushels).

ANO	JMAF	GLUCOSA Y DEXTROSA	ALMIDÓN	ALCOHOL PARA COMBUSTIBLE	ALCOHOL PARA BEBIDAS	CEREALES Y OTROS PRODUCTOS	TOTAL
1994	465	231	226	533	100	118	1,672
1995	482	237	219	396	125	133	1,592
1996	504	246	229	429	130	135	1,672
1997	540	250	240	515	133	136	1,814

Fuente: Pagina WEB Corn Refiners Association ([www.corn.org/web/index.html](http://www.corn.org/web/index.html))

Los edulcorantes derivados del almidón de maíz constituyen ahora el 39 % del consumo de calorías de edulcorantes en E.U. La mayoría de estas gracias al desarrollo del proceso comercial para la obtención de JMAF con un nivel de dulzor equivalente al de la sacarosa. [3, 10, 11, 12]

En México al igual que en los EU los JAF son elaborados a partir de almidón de maíz que es importado de ese país en barco y en carros de ferrocarril. Desafortunadamente el maíz que se produce en México apenas es suficiente para cubrir la demanda interna teniendo que cubrir el déficit con importaciones. Además de que el tipo de maíz producido es blanco y como se verá más adelante un subproducto importante de la elaboración de almidón es el gluten, que se utiliza para la alimentación de pollos, dándole un valor agregado si este proviene de maíz amarillo ya que ayuda a que la carne de este animal tome una coloración amarillenta sin necesidad de agregar colorantes a estos complementos alimenticios.

Los JMAF en México han tenido un importante crecimiento en los últimos años consolidándose como una excelente alternativa para la industria alimenticia mexicana.

Los edulcorantes generalmente se clasifican en edulcorantes nutritivos y no nutritivos:

## **1.1 EDULCORANTES NUTRITIVOS**

Cualquier edulcorante que provee calorías, o energía, es considerado como un edulcorante nutritivo. Azúcares, jarabes, melazas, alcoholes azucarados, y miel son por lo tanto todos calificados como edulcorantes nutritivos. Cada uno aporta aproximadamente el mismo número de calorías , gramo por gramo. El aspartame es considerado como un edulcorante nutritivo por la Administración de Drogas y Alimentos de Estados Unidos ( FDA de sus siglas en inglés ), debido a que aporta el mismo número de calorías por gramo que el azúcar. El aspartame puede ser usado en cantidades muy pequeñas debido a que es aproximadamente 200 veces mas dulce que la sacarosa. Por lo tanto, el aporte calórico del aspartame a los alimentos que endulza es insignificante. [24]

### **1.1.1 AZUCARES**

Los azucares (sacáridos) son los mas comúnmente reconocidos de los edulcorantes nutritivos. Estos son ampliamente distribuidos en la naturaleza y los podemos encontrar en frutas, vegetales, miel y leche. También aparecen en muchas moléculas orgánicas simples

y complejas, incluyendo al DNA. Estos compuestos poliméricos no son dulces, pero son calóricos. Todos los carbohidratos deben ser rotos en moléculas de azúcares simples (monosacáridos) antes de que puedan ser utilizados en el cuerpo humano. La glucosa y la fructosa son los monosacáridos más comunes.

También conocida como dextrosa, la glucosa es la principal forma en la que otros azúcares y carbohidratos son convertidos en el cuerpo humano, y esta es el azúcar principal encontrada en la sangre. La glucosa es naturalmente encontrada en muchas frutas y es la unidad básica que se repite en los almidones ( presente en la mayoría de las plantas alimenticias ) y en el glicogen ( "almidón animal" encontrado en el tejido muscular animal ).

La fructuosa (levulosa o azúcar de las frutas) es la más dulce de todos los azúcares naturales (más de 1.5 veces que la sacarosa) y es generalmente encontrada en alimentos como son frutas y miel. Por ejemplo, una manzana es aprox. 4% sacarosa en peso, 6% fructuosa y 1% glucosa, mientras que una uva es aprox. 2% sacarosa, 8% fructuosa, 7% glucosa, y 2% maltosa.

La sacarosa es el azúcar común para uso doméstico e industrial. Es el azúcar más abundantemente encontrado y usado desde la antigüedad. La sacarosa es un disacárido compuesto de dos azúcares simples: glucosa y fructuosa. El azúcar de mesa es aprox. 99.9% pura sacarosa, y es producida por la concentración de sacarosa proveniente del jugo de caña o remolacha. La sacarosa tiene una gran importancia debido a su aceptabilidad y palatabilidad, aunado a su disponibilidad, generalmente bajo costo, simplicidad de

---

producción, pureza y su largo historial de uso. Tradicionalmente el término azúcar ha sido usado para referirse a la sacarosa, lo cual puede provocar confusión ya que existen otros azúcares. Otro edulcorante es la melaza comúnmente usado en los siglos XVIII y XIX como un edulcorante propio para fermentaciones, por ejemplo: elaboración de ron. Las melazas contienen de 50% a 75% de sacarosa. . [23, 24]

La lactosa es un sacárido compuesto de dos azúcares simples: glucosa y galactosa. La leche humana contiene aproximadamente 7.5% de lactosa, mientras que la leche de vaca contiene aproximadamente 4.9%.

La maltosa es obtenida de la fermentación de almidones por enzimas o levaduras. Los almidones como ya se mencionó están compuestos por cadenas de glucosa. La enzima maltasa producida por levaduras degradan el almidón en un azúcar de dos moléculas de glucosa (maltosa). La maltosa también es producida durante la elaboración de pan como resultado de la degradación del almidón por enzimas presentes en la harina. Comercialmente, la maltosa puede ser producida por la hidrólisis parcial ácida del almidón. Una aplicación importante de la maltosa, es como adjunto en la elaboración de cerveza enriqueciendo su sabor y color.

La miel es un jarabe natural hecho de las plantas por las abejas. Puede variar de composición y sabor dependiendo de la fuente de donde el néctar fue recolectado y el tiempo de almacenaje. Debido a que algunas plantas producen naturalmente productos tóxicos, la miel puede contener también materiales tóxicos. Los principales azúcares

contenidos en la miel son: fructosa y glucosa, los mismos componentes del azúcar de mesa; además de muy pequeñas cantidades de vitaminas y minerales.

El jarabe de maple es producido por árboles maduros de maple. Su composición es casi completamente sacarosa. El jarabe es usado para impartir sabor mas que como un edulcorante. [23, 24]

### **1.1.2 JARABES DE MAIZ**

Estos edulcorantes provenientes del almidón de maíz por tratamientos con ácidos, calor, y/o enzimas, fueron desarrollados en 1920. Están compuestos por moléculas de diferentes largos de sacáridos. Estos jarabes no son tan dulces como la sacarosa, pero son muy usados en conjunto con el azúcar en confitería, helados, y otros productos alimenticios debido a sus propiedades texturizantes. Los jarabes de maíz han probado ser un eficiente reemplazante de sacarosa en la industria cervecera, de enlatado, de panificación y de alimento para animales debido a que es menos dulce que la sacarosa pero aporta cuerpo al producto por su mayor viscosidad. [24, 25]

### **1.1.3 JARABE DE MAIZ DE ALTA FRUCTOSA (JMAF)**

El jarabe de maíz de alta fructosa (JMAF) es elaborado por un proceso enzimático de conversión de glucosa, derivada del almidón de maíz, a fructosa. Este proceso, el cual utiliza a la enzima glucosa isomerasa, desarrollada en 1970, es un buen ejemplo del uso de

la biotecnología. El JMAF puede ser elaborado con una composición de 40 a casi 100% de fructuosa. Debido a que la fructosa es más dulce que la sacarosa, el uso de los JMAF, con altos niveles de fructosa; más de 90%, en productos alimenticios permite la reducción de la cantidad de edulcorante a utilizar, disminuyendo así el aporte de calorías. El JMAF es usado en muchos alimentos y bebidas y es el principal edulcorante nutritivo usado en la industria refresquera. [24, 25]

#### **1.1.4 AZUCAR DE ALCOHOL**

También conocidos como alcoholes polihídricos o polioles, estos edulcorantes se encuentran naturalmente en frutas. Son importantes en algunos productos alimenticios por sus propiedades de aporte de textura. Sus aplicaciones más comunes son: goma de mascar, dulces duros, y recubrimientos en chicles y pastillas.

Además, algunos azúcares de alcohol tienen otras propiedades importantes. Por ejemplo, como contienen el mismo número de calorías por gramo como otros edulcorantes, el sorbitol es absorbido más lentamente por el tracto digestivo que la sacarosa, por lo tanto es utilizado en la elaboración de productos alimenticios para dietas especiales. Los azúcares de alcohol son comúnmente usados en la elaboración de dulces o chicles dietéticos, ya que estos no promueven caries. [23, 24]

El Sorbitol, Manitol y Maltitol son considerablemente menos dulces que la sacarosa, pero el Xilitol tiene aproximadamente el mismo dulzor. Cuando el Sorbitol es consumido en

---

grandes cantidades (25 a 50 g. por día) puede tener un efecto laxante, aparentemente causado por la lenta absorción intestinal. Este efecto laxante puede ser encontrado particularmente en niños pequeños que consumen chicles dietéticos.

El Xilitol es un intermediario en el metabolismo de los carbohidratos en el hombre y animales, y se encuentra naturalmente en muchas frutas y vegetales.

Un nuevo poliol: Licasin, fue desarrollado por la compañía Roquette Frere Laboratories, por la hidrogenación de jarabe de maíz. El Licasin es solo 25 a 50 % de dulce que la sacarosa, pero no promueve caries y produce menos diarrea que otros polioles. [25]

### **1.1.5 ASPARTAME**

Conocido comúnmente como NutraSweet por su marca comercial, el Aspartame fue descubierto en 1965. Químicamente, el compuesto es un éster metílico de dos aminoácidos, fenilalanina y ácido aspártico (aspartato), los cuales son encontrados naturalmente en los alimentos. El aspartame, es por lo tanto, digerido en la misma forma que los aminoácidos y péptidos. Debido a que el aspartame contiene Fenilalanina, los productos que lo contengan deben declararlo en la etiqueta para notificarlo a individuos fenilcetonúricos (una rara enfermedad que requiere control en la ingesta de Fenilalanina).

El Aspartame es un edulcorante nutritivo debido a que es calóricamente equivalente a la sacarosa, pero es mucho más dulce que esta, 180 a 220 veces más, y por lo tanto es necesaria solo una pequeña cantidad para endulzar algún producto.

El sabor del Aspartame es muy similar al de la sacarosa y no tiene resabio. A altas temperaturas el Aspartame pierde sabor, por lo cual este no se usa en alimentos enlatados, horneados o rostizados. El aspartame puede ser usado en bebidas ácidas y bebidas ácidas carbonatadas. Es muy usado como edulcorante de mesa y en alimentos en polvo (bebidas, postres, etc.). [21]

### **1.1.6 OTROS EDULCORANTES NUTRITIVOS**

Algunos otros edulcorantes de origen natural son usados en varios países para endulzar alimentos. Esos edulcorantes son de un dulzor muy intenso, por lo cual pueden ser usados en cantidades muy bajas, contribuyendo con pocas calorías a los alimentos que endulzan.

Algunos de estos son:

Glicirizina, que es obtenido de la planta Licorice en Europa y Asia Central, usado como agente de sabor en tabaco para pipas, cigarrillos y tabacos masticables, "root beer", chocolate, vainilla, licores, salsa de soya, etc..

Talin, obtenido de una fruta africana de nombre científico *Thaumatococcus danielli*, usado como potenciador de sabor en gomas de mascar, pasta de dientes, enjuague bucal y otros productos cosméticos y farmacéuticos.

Monellin, obtenido de una mora africana de nombre científico *Discoreophyllum cumminsii*, y que en este momento no se usa comercialmente.

Steviosida, que se obtiene de las hojas de *Stevia rebaudiana* en Paraguay, usado en bebidas amargas en este país, teniendo también algunas aplicaciones en Japón.

Miraculin, obtenida también de una mora africana *Richardella dulcifica*, usado como modificador de sabor en frutas amargas, vegetales y yogurt. [24]

## **1.2 EDULCORANTES NO NUTRITIVOS**

Los edulcorantes no nutritivos son aquellos que no son metabolizados por el cuerpo y por lo tanto no contribuyen con ninguna energía o calorías a la dieta. Estos edulcorantes son especialmente ventajosos para aquellas personas que requieren una dieta con restricción de calorías, como personas con algunos tipos de diabetes y personas con sobrepeso, y para la prevención de caries dental. [24]

## 1.2.1 SACARINA

La Sacarina fue durante mucho años el único edulcorante no nutritivo autorizado para su uso en los Estados Unidos. Fue descubierto en 1879 y es un compuesto orgánico del petróleo, que originalmente fue usado como conservador de alimentos. Aproximadamente 200 veces mas dulce que la sacarosa, es absorbido lentamente, pero no metabolizado y es rápidamente excretado por el cuerpo, por lo cual no aporta calorías a la dieta.

Funcionalmente, la sacarina es estable a un amplio rango de temperaturas y es incoloro, inodoro y soluble en agua.

La sacarina fue clasificada originalmente en 1958 como GRAS ("Generally Recognized as Safe"), por lo cual fue exenta de la inspección de la FDA ("Food and Drugs Administration"), la cual requiere pruebas de que efectivamente el aditivo alimenticio no es dañino para la salud. Las Substancias GRAS son exentas bajo la base de pruebas científicas previas y el historial de uso sin efectos dañinos a la salud. En 1972 la sacarina fue borrada de la lista GRAS debido a un estudio de una fundación de investigación en Wisconsin, el cual sugirió, aunque no claramente demostrado, una conexión entre el consumo de sacarina y cáncer en ratas. Se ha permitido el uso de este producto como edulcorante en algunos alimentos indicando lo siguiente en la etiqueta: "El uso de este producto puede ser dañino para su salud. Este producto contiene sacarina que ha sido determinado como causante de cáncer en animales de laboratorio".

Después de mucho estudios no se ha demostrado que el consumo de sacarina provoque cáncer en humanos, por lo cual el uso de este edulcorante esta autorizado en mas de 80 países y ha sido determinado como seguro para la salud por el Comité de Expertos en Aditivos Alimenticios de la Organización Mundial de la Salud, y el Comité Científico para Alimentos de la Comunidad Económica Europea. [21, 22]

### **1.2.2 CICLAMATO**

Este edulcorante fue descubierto en 1937, y es aproximadamente 30 veces mas dulce que la sacarosa. Tiene un sabor muy similar a la sacarosa y a diferencia del aspartame y otros edulcorantes naturales, es estable al calor. El ciclamato está disponible en la forma de ácido ciclámico, ciclamato de calcio o ciclamato de sodio. El ciclamato fue primero comercializado en los Estados Unidos como un auxiliar para bajar de peso por el laboratorio Abbott a principios de los 50's y se hizo popular como edulcorante en las bebidas carbonatadas dietéticas en los 60's en conjunto con la sacarina.

Debido a que en un principio se utilizó este edulcorante en conjunto con la sacarina, también se le conecto con la producción de cáncer en animales de laboratorio. Sin embargo después de algunos estudios, en 1985, la FDA determinó que el ciclamato no es un aditivo cancerígeno y que no era necesario investigaciones futuras. [21]

---

### 1.2.3 OTROS EDULCORANTES NO NUTRITIVOS

Existen algunos otros edulcorantes no nutritivos, los cuales están en evaluación por las autoridades de salud de varios países:

Neoesperidin, usado en gomas de mascar, enjuagues bucales, pasta de dientes, algunos jugos de frutas y farmacéuticos.

Acesulfame, que es un derivado del ácido acetoacético, usado en bebidas calientes y frías, productos horneados, productos lácteos, cosméticos y farmacéuticos.

Neosugar, que es un derivado de la sacarosa producido por la enzima fructosiltransferasa, usado como edulcorante bajo en calorías principalmente en Japón.

Triclorogalactosacarosa (Azúcar TGS), que es un derivado de la sacarosa producido por la sustitución del cloro en los grupos hidroxil, usado como edulcorante bajo en calorías. [21, 24]

---

## **CAPITULO 2**

---

### **COMERCIALIZACION**

**P**ara un mejor entendimiento del marco de mercado y las condiciones económicas que rodean al edulcorante más popular en los últimos años, se dividió en dos partes: Mercado Mundial y Mercado en México; donde se tratan aspectos relevantes de Producto, Volúmenes de Producción y Productores, Consumo y Precios.

#### **2.1. MERCADO MUNDIAL**

##### **2.1.1. PRODUCTO**

El JMAF 42 fue el producto comercial predominante desde su introducción en 1967 hasta 1982. El periodo de 1980 a 1983 fue de un gran crecimiento para el JMAF 55. Durante ese tiempo, el JMAF 55 fue aprobado para substituir 50 % de la sacarosa en las bebidas

---

carbonatadas en Estados Unidos. Intentos por reemplazar toda la sacarosa en las bebidas de cola inicialmente fallaron, debido a la aparición de sabores extraños durante el almacenamiento.

Trabajando en conjunto con la industria de bebidas, un desarrollo de la "Staley Manufacturing Company" correlacionó la aparición de estos sabores extraños con la aparición de acetaldehídos en el JMAF. Esta fermentación por producto deterioraba sensiblemente el sistema de sabor de los refrescos de cola a niveles mayores de 80 ppm. En una concertada acción de la industria de los derivados de maíz en los EU, se cambiaron los métodos de refinación, reducción de acetaldehídos y otras trazas de contaminantes orgánicos, lo que significó un incremento considerable en la calidad de los JMAF. Como resultado de este desarrollo en Noviembre de 1984 se dio una autorización simultánea de sustitución del 100 % de la sacarosa para los productos de Coca Cola, Pepsi Cola y Royal Crown Cola Company. [12]

### **2.1.2. VOLÚMENES DE PRODUCCION Y PRODUCTORES**

La perspectiva mundial de consumo y capacidad de producción de fabricantes encontrada más reciente es de 1989, y se muestra en los Cuadros 3 y 4 respectivamente. Cabe mencionar que en ese año México aun no era ni consumidor ni productor de JMAF como se vera en el espacio relativo a "Mercado de JMAF en México".

Cuadro No. 3 Consumo Mundial de Jarabes de Maíz de Alta Fructosa en 1989

REGION	CONSUMO ESTIMADO (MILES DE TONELADAS BASE SECA)	
	JMAF 42	JMAF 55
Norteamérica	1,942	3,563
Sudamérica	53	43
Comunidad Europea	293	0
Escandinavia	8	0
Este de Europa	120	0
Asia	467	613
Australia	10	0
Africa	0	0
Total Mundial	2,893	4,219
Total Combinado de JMAF:	7,112	

*Fuente: Presentación en el 6<sup>o</sup> Simposium Anual de Edulcorantes de la Industria Canadiense de Edulcorantes, 1989*

Norteamérica aporta el 73 % de la capacidad mundial de producción (Cuadro No. 4) y el 77 % del consumo (Cuadro No. 3). Esto es debido principalmente a la abundante disponibilidad de maíz, franca competencia de precio contra la sacarosa y una gran base consumidora. En 1989 los EU importaron 166,000 tons. de JMAF de Canadá, debido a que los precios de JMAF fueron altos, soportados por un precio alto del azúcar de caña o remolacha.

La Comunidad Europea (CE) fue un mercado interesante para los JMAF a mediados de los 70's. Las siguientes condiciones favorecieron el desarrollo de los JMAF en la CE:

- 
- Altos precios de azúcar. Los cuales era improbable que bajaran debido a que su sistema de cuotas previene que la producción total de azúcar exceda ciertos límites.
  - Incentivos (reembolsos) a la producción de almidón.
  - Precios de materia prima 15 a 20 % más bajos.
  - Diferencias en el tratamiento de impuestos de los JMAF contra el azúcar granular o líquida.
  - Regulaciones que estimaron una compensación económica por el diferencial entre los precios de la materia prima y el producto final.

La industria de los derivados de maíz respondió a estas condiciones con la producción de 70,000 tons. (base seca) en 1976. La Organización de Agricultura y Alimentos (FAO con sus siglas en inglés) de las Naciones Unidas proyectó en 1977 un mercado de JMAF de 400,000 tons. (base seca) para 1985, basada en la capacidad de producción programada total a finales de 1978. Los ministros de la CE consideraron la producción considerablemente abajo a la proyección de la FAO, por lo tanto, se inició el sistema de cuotas para los JMAF en 1977. El reembolso por el uso de almidón en JMAF fue abolido, y las cuotas fueron establecidas para cada miembro de la CE. Esta acción no solo restringió la producción total de la CE a 291,085 tons. (base seca) de JMAF 42, también incrementó los precios de producción de los JMAF aproximadamente 20 % del costo de la sacarosa. Los

JMAF mantuvieron precios en la CE hasta que se redujo la producción anual a aproximadamente 182,000 toneladas (base seca) en 1989.

*Cuadro No. 4 Productores en el Mundo de JMAF y Capacidades en 1989 (Continúa 3 páginas)*

PRODUCTOR	LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA	CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN DE JMAF (MILES DE TONELADAS BASE SECA) <sup>a,b,c,d</sup>		FUENTE DE ALMIDÓN
		JMAF 42	JMAF 55	
<b>Canadá</b>				
Canada Starch Company (Casco)	Cardinal, Ont.	50	0	Maíz
	London, Ont.	37	89	
	Port Colborne, Ont.	28	56	
<b>Estados Unidos</b>				
ADM Corn Processing (Archer Daniels Midland)	Cedar Rapids, IA.	341	341	Maíz
	Clinton, IA.	159	295	
	Decatur, IL.	0	680	
	Montezuma, NY.	0	159	
American Fructose (Cargill, Inc)	Decatur, AL.	68	170	
	Dimmitt, TX.	48	107	
	Cedar Rapids, IA.	95	227	
	Eddyville, IA.	95	227	
Coors Biotech Products (Adolph Coors Co.)	Memphis, TN.	95	227	
	Johnstown, CO	23	70	
CPC International, Inc.	Argo, IL.	82	136	
	Stockton, CA.	45	84	
	Winston-Salem, NC.	61	104	
The Hubinger Company (H.J. Heinz Co.)	Keokuk, IA.	113	154	
A. E. Staley Manufacturing Co. (Late and Eyle, PLC)	Decatur, IL.	226	0	
	Lafayette, IN	27	655	
	London, IN.	112	363	
	Morrisville, PA.	27	172	
<b>Argentina</b>				
ARCOR, S.A.	Arroyito	53	28	Maíz

Georgalos Hnos., S.A. G.LUCOVIL, S.A. Industrias de Maíz, S.A. Refinerías de Maíz, S.A.	Buenos Aires San Luis Chacabuco Baradero	ND ND ND ND	ND ND ND ND	
<b>Uruguay</b> Agroindustrias la Sierra (CPC/Coca Cola)	Gregorio Aznarez	0	15	Maíz
<b>Bélgica</b> G.R. Amylum NV	Aalst	99	0	Maíz
<b>Finlandia</b> Finnish Sugar Company Ltd.	Jokioinen	18	0	Maíz
<b>Francia</b> Roquette Frères	Lille Cedex	20*	0	Maíz
<b>Alemania</b> Maizena GmbH (Gruppo Ferruzzi)	Krefeld-Linn	36*	0	Maíz
<b>Grecia</b> Bimyl SA Z.A.A.E.	Thessaloniki Piraeus	5* 8*	0 0	Maíz
<b>Hungría</b> Szabadeyhaza	Szabadeyhaza	50	0	Maíz
<b>Italia</b> Fabbriche Riunite Amido Glucosio Destrina SpA S.P.A.D. (Roquette Frères)	Milan Milan Milan	13* ND 7*	0 ND 0	Maíz
<b>Holanda</b> Avebe BA Cerestar Benelus BV ZBB (Amylum)	Veendam Sas Van Gent Koogaan de Zaan	ND ND ND	ND ND ND	Maíz
<b>Portugal</b> COPAM	Sacavem	10*	0	Maíz
<b>España</b> Campo Ibro Industrial S.A (Amylum) Glucosa y Derivados S.A (Ferruzzi) Levantina Agricola Industrial SA (Roquette Frères)	Zaragoza Barcelona Valencia	77 32 8	0 0 0	Maíz
<b>Reino Unido</b> Tunnel Refineries Ltd	Londres	27.5*		Maíz
<b>China</b> Bengbu DDS-Kroyer Shanqiu	Anauí Hubei Henan	15 18 18		Maíz, Arroz
<b>India</b>		3		Maíz
<b>Indonesia</b>	3 Productores	30	30	Tapioca

<b>Japón</b>				
Gunei Kagaku Kogyo Co, Ltd	Takasaki, Sunagawa	36 <sup>b</sup>		Maíz
	Hokkaido	48 <sup>b</sup>		
Harano Sangyo Company, Ltd	Aichi	12 <sup>b</sup>		
Kagoshima Bussan Kako	Kagoshima	11 <sup>b</sup>		
Kato Kagaku Company, Ltd	Kowa	144 <sup>b</sup>		
Mie Karyo Company, Ltd	Mie	48 <sup>b</sup>		
Nihon Cornstarch Company	Hekinan	144 <sup>b</sup>		
Nihon Denpun Kogyo Co.	Kagoshima	66 <sup>b</sup>		
Nihon Shokuhin-Kako Co.	Fuji	144 <sup>b</sup>		
Nihon Siryō Kogyo Company	Nagoya	36 <sup>b</sup>		
Oji Cornstarch Company, Ltd	Chiba	30 <sup>b</sup>		
Oriental Company, Ltd.	Kagamihara	12 <sup>b</sup>		
Sanei Ioka Company, Ltd.	Chita	72 <sup>b</sup>		
Sanmatsu Kogyo Co, Ltd	Chiba-Fukuoka	127 <sup>b</sup>		
Sanwa Denpun Kogyo Co.	Kahihara	144 <sup>b</sup>		
Shikishima Starch Manufactur	Suzuka	30 <sup>b</sup>		
Showa Sangyo Company, Ltd	Kashima	72 <sup>b</sup>		
Tanyo Noko Company, Ltd.	Konan	18 <sup>b</sup>		
Toyo Kagaku Company, Ltd.	Mie	11 <sup>b</sup>		
<b>Malasia</b>		75		Maíz
<b>Pakistán</b>	3 Plantas	80		Arroz
<b>Filipinas</b>		4		Maíz
<b>Singapur</b>		3	3	Maíz
<b>Corea de Sur</b>				Maíz
Bangil Industrial Company	Seoul	150 <sup>b</sup>		
Sih Han Flour Mills	Seoul	ND		
Sun Hill Glucose Company	Inchon	ND		
<b>Taiwan</b>				
Fong Leng Industrial Company	Tainan	50 <sup>b</sup>		Maíz
<b>Tailandia</b>				
Friendship Cornstarch Co.	Bangkok	25		Máiz
<b>Israel</b>				
Galam, Ltd.	Tel Aviv	ND		Maíz
<b>Australia</b>				
Manildra Sugars	Auburn	4		Trigo
<b>TOTAL</b>		<b>8,330</b>		

<sup>a</sup> Capacidades redondeadas, excepto las de la comunidad europea

<sup>b</sup> No especifican si es JAIM 42 o 55

<sup>c</sup> El asterisco indica comunidad europea

<sup>d</sup> ND: Capacidad no disponible

Fuente: International Sugar Economic Year Book and Directory, 1988

Es importante hacer notar que cualquier JMAF producido era contabilizado contra la cuota sobre una base de fructosa, por tanto se redujo la cantidad que un productor podía elaborar de JMAF 42. Esto efectivamente limitó la producción de jarabes más altos de fructosa como el JMAF 55 en Europa.

*Cuadro No. 5 Cuotas de Producción de JMAF para los Países Miembros de la Comunidad Europea en 1989*

Pais	Cuota de JMAF (Miles de Toneladas Base Seca)
Bélgica	72.3
Dinamarca	0
Francia	20.0
Alemania	35.7
Grecia	13.0
Irlanda	0
Italia	20.5
Luxemburgo	0
Holanda	9.1
Portugal	10.0
España	83.0
Reino Unido	27.5
Total	291.1

*Fuente: Sugar and Sweetener Situation and Outlook Report, 1989*

Las cuotas para la CE están listadas en el Cuadro No. 5. Anticipándose a su membresía en la CE, España y Portugal construyeron plantas de JMAF 55 y las mantuvieron trabajando a su máxima capacidad. Cuando la CE se expandió a 12 países, algunos miembros protestaron ya que consideraban que España y Portugal tenían desproporcionadas grandes cuotas de 83,000 y 10,000 tons. (base seca) respectivamente. España tenía la capacidad de

---

producir considerablemente más de 83,000 tons. por año, por lo tanto, solicitaron a la Corte Europea de Justicia incrementar la cuota. La petición fue denegada.

Otro gran productor de JMAF de la CE es Bélgica con 72,300 ton. (base seca) de cuota. El Reino Unido llenó su cuota año con año y en 1990 importó 9,200 tons. (base seca) de JMAF, la mayor parte para la elaboración de bebidas carbonatadas. El JMAF usado en Finlandia es usado como sustrato para fructosa cristalina (en polvo). Dinamarca, Irlanda y Luxemburgo no tienen producción de JMAF, y Grecia nunca a llegado a su cuota.

La ex- Unión Soviética tenía negociaciones con dos compañías, "Finnish Sugar" y "Archer Daniels Midland" para construir dos plantas.

Japón es el segundo más grande productor en el mundo y el más grande en Asia.

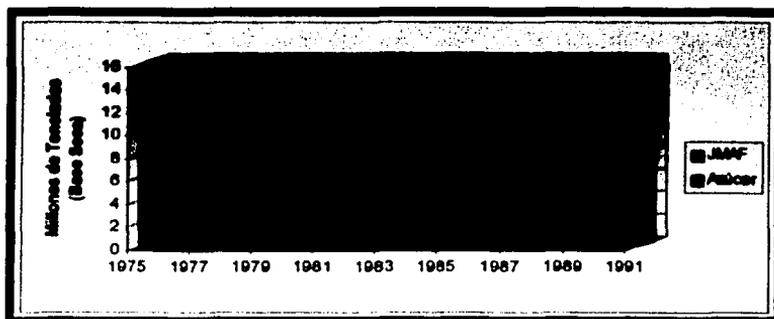
China tiene un gran potencial de crecimiento debido al gran mercado consumidor. [10, 12]

### **2.1.3. CONSUMO**

El consumo en EU contra la sacarosa se ilustra en la Figura No. 1, de la cual podemos sacar 3 conclusiones:

- El crecimiento en el consumo de JMAF a sus niveles actuales fue rápido y espectacular.

- El consumo de azúcar fue creciendo mientras disminuía el consumo de JMAF.
- EU continúa consumiendo ligeramente mas sacarosa que JMAF. [11]



*Figura No. 1 Consumo de Azúcar Vs JMAF en Estados Unidos*

*Fuente: Sugar and Sweetener Situation and Outlook Report, 1989*

#### 2.1.4. PRECIOS

La razón más importante para el rápido crecimiento del consumo de los JMAF fue económica. Los precios del azúcar han sido históricamente mas altos y variables, como se muestra en la Figura No. 2, con picos agudos en 1975 y en 1980. En esta figura los precios para JMAF son del medio oeste de Estados Unidos en jumbo de ferrocarril a la costa oeste menos 2 % de descuento por pago de contado y los precios de azúcar son con pago de impuestos de importación en Nueva York.

La naturaleza ciclica de los precios de azúcar por lo regular son atribuidos a inestabilidad politica y de agricultura en las regiones productoras de caña de azúcar. Los periodos de picos altos en los precios de azúcar han sido grandemente aprovechados por los productores de JMAF, ofreciendo una alternativa aceptable y competitiva de edulcorante, manteniendo un precio bajo y mas estable contra el precio alto y volátil del azúcar. Es decir que, los fabricantes de JMAF han capitalizado una tremenda ventaja competitiva. [12]

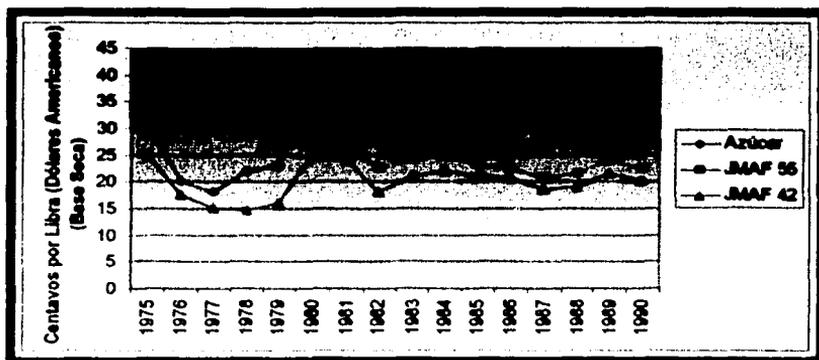


Figura No. 2 Comparación de Precios en Estados Unidos para Azúcar, JMAF 42 y JMAF 55.

Fuente: Sugar and Sweetener Situation and Outlook Report, 1989

Los JMAF vendidos en la CE tienen un premio de 8 - 10 % contra la azúcar refinada. El premio es debido en gran medida al sistema de cuotas, usado para mantener el precio del azúcar en niveles aceptables y competitivos.

---

El precio promedio en Japón de \$ 0.28 dólares/lb. durante 1987 -1988, comparado con el de el azúcar refinada de \$ 0.64 dólares/lb., permitían una gran posibilidad a los JMAF, debido al gran diferencial de precio entre los dos edulcorantes dado por los costos de las materias primas para obtenerlos. Por lo tanto Japón no restringió el crecimiento de los JMAF con cuotas. La expansión fue y es controlada por medio de la imposición de impuestos a la producción de JMAF, usados para soportar los precios de la sacarosa. Esta póliza, la cual hace los precios de azúcar mas competitivos contra los JMAF, permitió una recuperación del consumo de azúcar y finalizó con una era de rápido crecimiento de los JMAF en Japón. [11.12]

## **2.2. MERCADO EN MEXICO**

### **2.2.1. PRODUCTO**

Las primeras experiencias con JMAF en México se dieron en el año de 1990 por la importación de cantidades menores por Arancia-cpc, S.A. de C.V. (Arancia-cpc) del productor Estadounidense Cargill. Este producto se usaba principalmente en la industria de la panificación.

En agosto de 1995 Almidones Mexicanos, S.A. de C.V. (Almex) arranca una planta usada traída de EU en la ciudad de Guadalajara, con la primera producción nacional de JMAF 42 únicamente. Por lo tanto la promoción de JMAF por parte de esta empresa se enfoco en el

---

JMAF 42, aunque también importaban JMAF 55. Por su parte Cargill importaba JMAF 42 y 55 ya que hasta la fecha no cuenta con producción nacional.

A principios de 1996 Arancia-epc importó cantidades más importantes de JMAF, pero ahora de su socio en EU, Corn Products, con el objetivo de llegar a por lo menos a 10,000 ton./mes para el arranque de su planta completamente nueva en diciembre del mismo año y sustituirlas por producción nacional. A partir de enero de 1997 Arancia-epc deja de importar JMAF de los EU y hasta la fecha solo comercializa lo que produce en su planta en la ciudad de San Juan del Río, Querétaro.

De acuerdo a los datos anteriores el "boom" de los JMAF en México se da en el año de 1996 cuando varios embotelladores de bebidas carbonatadas de marcas nacionales y transnacionales deciden apostar por este edulcorante, con sustituciones de azúcar que iban del 50 al 100 %. Se estima que en ese año el consumo de JMAF en México fue de 650,000 ton. aproximadamente. Mismas que substituyeron azúcar con la consecuente disminución en el consumo de este edulcorante.

Las protestas de los azucareros por la disminución en sus ventas no se hicieron esperar y hacen sentir su poder político con una guerra de palabras en la prensa hablada y escrita, las cámaras de diputados y senadores, así como en la SECOFI (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial), en contra de los JMAF de importación y nacionales, argumentando en el primer caso que eran importados con precios demasiado bajos y que los importadores estaban incurriendo en una competencia desleal (dumping), y en el último caso que el maíz

con el que se fabricaban los JMAF en México eran de muy baja calidad (para animales), lo cual, por supuesto, es falso.

Al negociarse el tratado de libre comercio (TLC) se pensaba que la producción de azúcar mexicana no rebasaría en varios años a la demanda, sin embargo, desde 1996 las zafras han rebasado todas las expectativas y la producción de azúcar ha rebasado por mucho a la demanda, aunado a el "boom" de los JMAF en ese mismo año, con las ya mencionadas substituciones de azúcar.

El problema ha sido, por lo tanto, que no se contempló en el TLC exportaciones de azúcar de México a EU y si exportaciones de JMAF de EU a México.

A pesar de que los azucareros negociaron mal el TLC el gobierno mexicano los ha seguido apoyando y en un tiempo récord de 4 meses lograron que se le asignaran cuotas compensatorias provisionales (Cuadro No. 6) a las importaciones de JMAF de los EU, para finalmente imponer cuotas definitivas (Cuadro No. 7), como conclusión de una investigación dumping. La cronología a grandes rasgos es la siguiente:

FECHA	ACCIÓN
27-FEB-97	La CNIAA (Cámara Nacional de la Industria Azucarera y Alcohólica) logra su objetivo y la SECOFI inicia el proceso de investigación antidumping.
25-JUN-97	La SECOFI impone cuotas compensatorias provisionales a las importaciones de JMAF provenientes de los EU (Tabla No. 6).
23-ENE-98	La SECOFI impone las cuotas compensatorias definitivas que hasta la fecha prevalecen (Tabla No. 7).

*Cuadro No. 6 Cuotas Compensatorias Provisionales*

EXPORTADOR ESTADOUNIDENSE	IMPORTADOR	CUOTA COMPENSATORIA (DÓLARES/TON.)	
		JMAF 42 Fracción 1702.40.99	JMAF 55 Fracción 1702.60.01
Archer Daniels Midland	Almex	77.25	65.12
Staley Manufacturing Co.	Almex	125.30	95.58
Corn Products Company	Arancia-epc	125.30	175.50
Cargill	Cargill	66.57	63.42

*Fuente. Diario Oficial 25 de Junio de 1997*

*Cuadro No. 7 Cuotas Compensatorias Definitivas*

EXPORTADOR ESTADOUNIDENSE	IMPORTADOR	CUOTA COMPENSATORIA (DÓLARES/TON.)	
		JMAF 42 Fracción 1702.40.99	JMAF 55 Fracción 1702.60.01
Archer Daniels Midland	Almex	63.75	55.37
Staley Manufacturing Co.	Almex	100.60	90.26
Corn Products Company	Arancia-epc	93.44	75.85
Cargill	Cargill	100.60	175.50

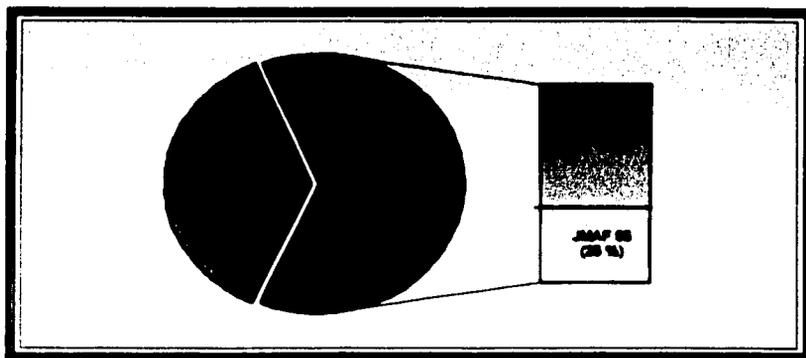
*Fuente. Diario Oficial 23 de Enero de 1998*

Lógicamente estas cuotas compensatorias solo afectan a los comercializadores de JMAF que importen el producto y no a los que lo producen en México. Esta situación obligó a la empresa Cargill a retirarse del mercado de JMAF ya que eran los únicos que no los producían en México y las cuotas compensatorias son demasiado altas para hacer rentable

su comercialización. Almex actualmente produce JMAF 42 e importa cantidades importantes de JMAF 55 y Arancia-cpc produce en México tanto JMAF 42 como JMAF 55 por lo cual no importa producto.

Los productores de JMAF de los EU han puesto sus protestas en los paneles del TLC y en la OMC (Organización Mundial de Comercio). Están en espera de respuesta a sus demandas.

### 2.2.2. VOLÚMENES DE PRODUCCION Y PRODUCTORES



*Figura No. 3 Producción de JMAF en México*

*Fuente: Información de Mercado*

En México, como ya se mencionó, han existido 3 grandes comercializadores de JMAF: Arancia-epc, Almex y Cargill. De estos solo los dos primeros producen JMAF en México y el tercero importaba la totalidad de su producto.

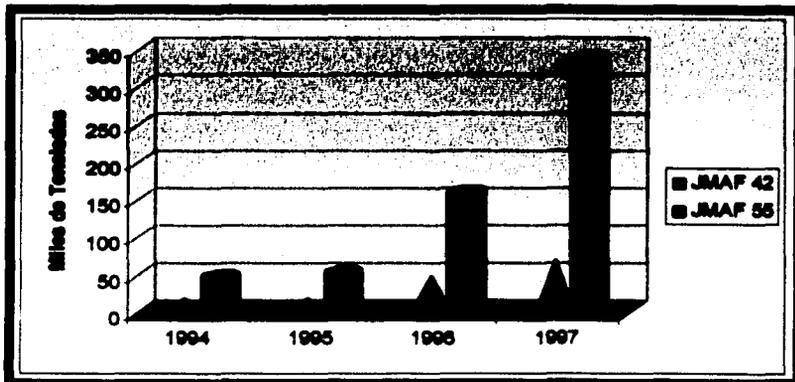
Arancia-epc produce JMAF 42 y 55 y Almex solo produce JMAF 42. Sus capacidades de producción se indican en la Cuadro No. 8 y en la Figura No. 3.

*Cuadro No. 8 Producción en México de JMAF en el Año de 1997*

EMPRESA	JMAF 42 (TON./AÑO)	JMAF 55 (TON./AÑO)	TOTAL (TON./AÑO)
Arancia-epc	60,000	180,000	240,000
Almex	144,000	0	144,000
Total Producción en México	204,000	180,000	384,000

*Fuente: Información de Mercado*

Aunque Arancia-epc durante el año de 1998 prácticamente no importó JMAF por su política de producción nacional, Almex comercializó el JMAF 42 que produce, e importó cantidades importantes de JMAF 55, que no produce, y Cargill después de la imposición de las cuotas compensatorias se retiró primero parcialmente del mercado por compromisos ya adquiridos, para finalmente dejar de comercializar JMAF. En la Figura No. 4 se puede apreciar la importación de JMAF en los últimos años.



*Figura No. 4 Importaciones de JMAF a México*

*Fuente: Azúcar y Fructosa, 1998*

El futuro de los JMAF en México es muy prometedor por lo que en el mercado se habla de una expansión de la planta de Arancia-cpc, la instalación de la columna de separación cromatográfica y equipos posteriores para la producción de JMAF 55 por parte de Almex y la instalación de una planta para la elaboración de los dos JMAF por parte de Cargill.

### 2.2.3. CONSUMO

Debido a que todo el JMAF que se importa o produce es consumido, el consumo de JMAF en México nos lo da la suma de lo producido mas lo importado (Cuadro No. 9).

Definitivamente el año de 1996 fue el "boom" de la fructosa consolidándose en el año de 1998 como el edulcorante ideal para la industria de las bebidas, tanto carbonatadas como de frutas, siendo insuficiente la oferta de producto contra la gran demanda generada. Por los beneficios económicos y de operación que ofrecen los JMAF, el futuro de este producto en nuestro país esta asegurado y por lo tanto las inversiones presentes y futuras que se hagan.

*Cuadro No. 9 Consumo de JMAF en México en 1997*

JMAF	1997 (TON.)
42	271,594
55	517,974
Total	789,568

*Fuente: Cuadro No. 8 y Figura No. 4*

Como se mencionó antes en los EU<sup>1</sup> ocurrió un fenómeno similar y el reacondo de los 2 mercados, azúcar y JMAF, se dio paulatinamente a lo largo de casi 30 años. En México este reacondo ha sido mas rápido y se estima que mas del 90 % de la industria embotelladora se convierta a JMAF en aproximadamente 10 años, lo que en la actualidad es un mercado de 1.7 millones de toneladas de azúcar al año. El cambio tan rápido lo podemos atribuir a diversos factores:

- Disponibilidad y desarrollo total de la tecnología para la elaboración de JMAF.
- Experiencia de aplicación de los JMAF en otros países con excelentes resultados.

- Los JMAF tienen precios más estables e independientes a factores políticos o de disponibilidad de materia prima (el maíz es una materia prima sumamente abundante).
- Históricamente precios de azúcar muy altos por el tratamiento político que se le ha dado a este producto
- Ahorros contra el azúcar que fluctúan entre 15 y 25 %, dependiendo de los movimientos en el precio del azúcar. En los volúmenes tan grandes que utiliza la industria embotelladora estos ahorros significan mucho dinero.
- Ventajas en la operación, ya que al ser un producto sometido a varios procesos de intercambio iónico, este es incoloro, evitándose de esta forma la operación de filtrado que se debe realizar con azúcar. Además de que por ser un producto líquido, también se evita la operación de elaboración de jarabe simple (disolución de azúcar en agua). Los ahorros por una operación más simple se han estimado en un 6 % aproximadamente contra el azúcar, que se suma al ahorro por precio que se menciona en el punto anterior.

#### **2.2.4. PRECIOS**

Al igual que en todo el mundo, la razón más importante para el rápido desarrollo del mercado de los JMAF en México ha sido económica. Por los motivos antes mencionados el azúcar ha sido históricamente manejada políticamente en México por el poder de los sindicatos, lo cual la hace un producto de precio alto e inestable.

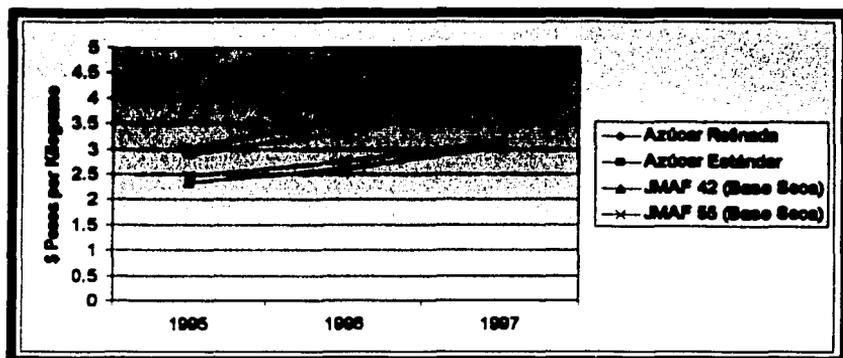


Figura No. 5 Precios Promedio de Azúcar y JMAF en México, Libre de Flete

Fuente: SECOFI ([www.secofi.gob.mx](http://www.secofi.gob.mx)); Sistema de Información Azucarera, 1988; El Economista ([www.economista.com.mx](http://www.economista.com.mx))

Los precios más bajos y estables de los JMAF, a pesar de que por la presión de los azucareros también se han visto sujetos a variables políticas, los han hecho el edulcorante preferido en la industria refresquera. En la Figura No. 5 se muestran los precios promedio de los JMAF 42 y 55 en los últimos años en México, que varían de un 15 a un 25 % abajo de los precios del azúcar.

Esto ha sido posible ahora que los ingenios azucareros son privados y que compiten en el mercado con otros edulcorantes como los JMAF, ya que en 1990 cuando se dieron las primeras importaciones de JMAF los ingenios eran propiedad del gobierno y los precios eran subsidiados, lo cual no permitía que los JMAF compitieran contra el azúcar.

---

## CAPITULO 3

---

### PRODUCCION

**A**l principio los procesos de obtención de jarabes de maíz utilizaban ácidos minerales para hidrolizar al almidón. Jarabes con un elevado nivel de destrosa equivalente (DE) eran difíciles de obtener con este método sin una degradación de sacáridos y la introducción de color y sabor al producto. La patente asignada en 1940 a Dale y Langlois, de la "Staley Manufacturing Company", para la hidrólisis ácido-enzimática significó un avance extraordinario en la conversión de almidón a edulcorante.

Concentraciones de 94 % de destrosa fueron posibles por primera vez, resultando jarabes dulces. Y las reacciones indeseables que producían productos con color, sabor y degradación, fueron substancialmente reducidos, obteniéndose jarabes de una gran pureza.

---

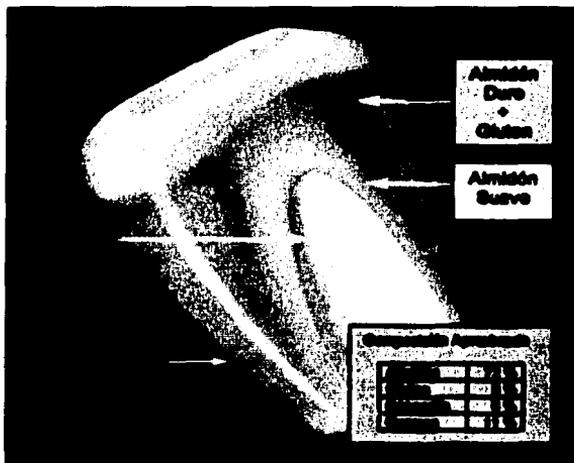
Edulcorantes de maíz producidos después de 1967 compitieron con éxito contra el azúcar en algunas aplicaciones debido al bajo costo, así como a una viscosidad adecuada, humectancia, y propiedades de solubilidad. Pero debido a que la sacarosa y el azúcar invertido tienen el doble de dulzor que el jarabe de maíz de mas alto DE, al final, bajo una base de dulzor, es mas caro. Esto limito el uso de jarabes de maíz contra el mas amplio rango de aplicación de la sacarosa.

La sacarosa completamente invertida (azúcar invertido) contiene igual proporción de dextrosa y fructosa, derivada de la hidrólisis de la sacarosa. Por lo tanto el principal argumento para la elaboración de un edulcorante capaz de substituir al azúcar fue en principio que la composición del azúcar invertido podría ser reproducida del almidón, con un dulzor y funcionalidad equivalentes por la isomerización de la dextrosa en fructosa.

Una composición equivalente a partir de dextrosa isomerizada fue por muchos años un reto para la industria. Muchos intentos fueron hechos por explotar la reacción de Lobry de Bruyn-Alberda Van Ekenstein para convertir dextrosa en fructosa mediante una base como catalizador, pero todos los intentos fallaron. La isomerización de la dextrosa, catalizada por iones de hidróxido, es no-especifica, resultando en la producción de manosa como principal producto. En adición, la isomerización secundaria de la fructosa da como resultado psicosa.

El alto dulzor y solubilidad de la fructosa, y la por fin realidad de la disponibilidad de fructosa a partir de dextrosa en laboratorio, creó un gran interés en el desarrollo de un proceso de manufactura industrial económico para obtener JAF a partir de maíz. El método

de hidrólisis ácido-enzimática del almidón desarrollado por Dale y Langlois, hizo realidad este propósito. [1, 3]



*Figura No. 6 Grano de Maíz y Sus Componentes*

*Fuente: Información Técnica Arancia-cpc*

Para iniciar el proceso de obtención de JMAF es necesario primero producir almidón en lechada (líquido), como se muestra en la Figura No. 7, que se explica a grandes rasgos enseguida, para su posterior envío a la refinería de JMAF, en la cual se profundizará más ya que es el estudio que nos ocupa, y que inicia con el proceso de licuación.



---

### **3.1. OBTENCIÓN DE LECHADA DE ALMIDÓN**

La obtención de la lechada de almidón se logra separando a este de los demás componentes del maíz. En la figura No. 6 se muestra un diagrama de un grano de maíz con sus diferentes componentes.

#### **3.1.2. LIMPIEZA**

A medida que se recibe el maíz, se limpia antes de almacenarse en planta. La selección y limpieza por aspiración con vacío elimina todos los materiales como lo son polvo, olotes, piedras e insectos. En la segunda limpieza es posible obtener tamo (polvo fino de maíz) y granillo (maíz quebrado) para su venta como alimento para animales.

#### **3.1.2. MACERACIÓN**

El maíz con un contenido de humedad aproximado de 14 a 16 % es ideal para macerar. Se requiere un proceso de ablandamiento para acondicionar el grano, para esto, se macera con bióxido de azufre (2,000 +/- 200 ppm) durante 28 a 48 h. a 50 °C (+/- 2 °C), hasta que el maíz alcanza una humedad de 46 %, lo que prepara al maíz para la molienda. De esta forma se rompen los enlaces del almidón con la proteína, facilitando la posterior separación.

Físicamente, la maceración se lleva a cabo en una serie de tanques en donde se controla por medio de un flujo a contracorriente de agua de maceración. A intervalos regulares se hace

---

recircular el agua con bióxido de azufre sobre cada tanque. El maíz mas viejo se remoja en agua que contiene la menor cantidad de productos solubles y el mas nuevo en agua que contenga una mayor cantidad de substancias solubles. Durante la maceración, el maíz se cubre por completo. Al final de periodo de maceración, el agua se separa del maíz. Esta agua de maceración contiene aproximadamente 6% de sólidos que están constituidos por 35 a 45% de proteínas. Al concentrar el agua de maceración a un contenido de sólidos del 35 a 55% se utiliza como alimento para animales o como material nutriente en procesos bioquímicos.

### **3.1.3. SEPARACION DE GERMEN**

El proceso de maceración reblandece el grano de maíz hasta un punto deseable (Aproximadamente 46 % Humedad). Ahora puede llevarse a cabo la separación del germen mediante una molienda gruesa que rompe el grano liberando el germen sin dañarlo. Esta molienda produce un material de forma de pulpa que contiene germen, cascarilla, almidón, y gluten que se hace pasar a través de un separador de ciclón, donde se recupera el germen.

Los métodos antiguos recurrían a un sistema de separadores por flotación. El nuevo método utiliza hidrociclones para separar las partículas de diferentes densidades. La cascarilla, almidón y gluten, las partículas más pesadas, se descargan del fondo del tubo del hidrociclón, y el germen, que es más ligero, se extrae de la parte superior del vortex.

El germen recuperado, libre de almidón y secado en un secador tubular rotatorio de vapor esta listo para la recuperación y refinación del aceite.

---

### **3.1.4. MOLIENDA**

Después de separar el germen, la cascarilla, almidón y gluten se muelen para liberar el resto del almidón. Casi siempre se verifica en un molino de impacto Entoleter. El material que va a molerse entra al rotor de la máquina que está girando y es arrojado con gran fuerza contra los impactores en la periferia del rotor y también contra un impactor estacionario, liberando fácilmente el almidón.

La pasta molida resultante contiene almidón, gluten y cáscara, se hace pasar a través de una serie de carretes con tamices de 18 a 20 mallas, en donde la cascarilla y fibras más gruesas se eliminan. El lavado a contraflujo elimina más almidón de las fibras que se han separado.

Las fibras finas se separan de la pasta de almidón y gluten por medio de filtros de nylon ajustados sobre agitadores giratorios.

Las fracciones de fibra se envían entonces al procesamiento de forraje donde es secada y envasada como alimento para animales.

### **3.1.5. SEPARACIÓN DEL GLUTEN DEL ALMIDÓN**

La pasta de almidón que contiene del 5 al 8% de gluten se hace pasar a través de centrifugas de alta velocidad como la centrifuga Merco. Primero separa el gluten del almidón y se concentra en otra centrifuga. A continuación se filtra y se seca en secadores

rotatorios. Este gluten, por su alto contenido de proteína, llega a ser uno de los principales componentes de los productos alimenticios para animales.

El almidón de la primera centrifugación todavía contiene del 2 al 2.5% de proteínas de gluten y se centrifuga aún más con hidrociclones.

El equipo de "hidrociclón" que se usa para la separación del almidón-gluten consta de varios cientos de pequeños tubos de hidrociclón en una caja con divisiones. Utilizando etapas múltiples de las unidades del hidrociclón y lavado a contracorriente es posible obtener una buena separación de almidón-gluten.

La corriente de almidón obtenida de esta separación es enviada a secar para su presentación en polvo o enviada a refinería para su posterior transformación en glucosa, maltodextrinas, etc., o en JMAF que es el producto que nos ocupa. [1, 2, 4, 8]

---

## 3.2. REFINERÍA PARA LA OBTENCIÓN DE JARABES DE MAÍZ DE ALTA FRUCTOSA

Una vez obtenida la lechada de almidón, esta corriente es pasada a la refinería de alta fructosa. Dicho proceso se muestra en las Figuras No. 8 y 12.

### 3.2.1. LICUACIÓN

El objetivo del proceso de licuación es convertir una suspensión concentrada de gránulos de almidón (lechada de almidón) en una solución de dextrinas solubles de baja viscosidad para un adecuado manejo y una fácil conversión a glucosa por la enzima glucoamilasa.

Normalmente una suspensión de almidón en agua es tratada con hidróxido de calcio a un pH de 6-7, óptimo para la  $\alpha$ -amilasa. El hidróxido de calcio es usado como una fuente de iones de calcio, requerido por la mayoría de  $\alpha$ -amilasas como un activador y un estabilizador.

Una solución de  $\alpha$ -amilasa es entonces añadida y la suspensión es bombeada dentro de un steam jet donde la temperatura es incrementada instantáneamente hasta 80-115 °C de 1 a 15 minutos. El almidón es inmediatamente gelatinizado y en la presencia de  $\alpha$ -amilasa, es depolimerizado a un fluido de fácil manejo. En una variación a este proceso, el almidón conteniendo calcio es calentado a 120-180 °C para gelatinizar al almidón, y la  $\alpha$ -amilasa es agregada, seguido de un enfriamiento a 90-105 °C.

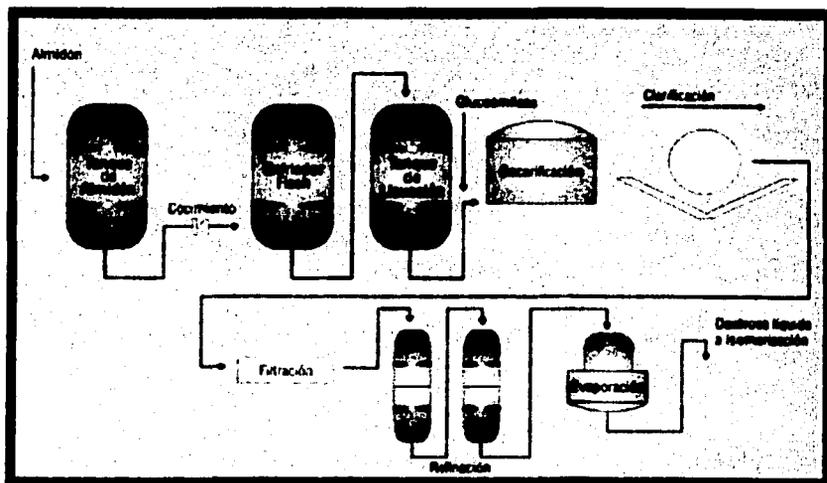


Figura No. 8 Diagrama para Obtención de JMAF a partir de Lechada de Almidón (1ª. Parte)

Fuente: Información Técnica Arancia-cpc

La máxima temperatura a la cual la corriente de almidón conteniendo a la enzima puede ser calentada en el steam Jet sin daños a la misma, depende de la fuente de la  $\alpha$ -amilasa. Por ejemplo; el  $\alpha$ -amilasa producida por el *Bacillus subtilis* puede ser usado por unos minutos a temperatura arriba de 94 °C.

Después del calentamiento en el steam Jet, la corriente de almidón es mantenida a la alta temperatura por algunos minutos para facilitar la licuación y después es reducida a 80 – 90 °C y mantenida a esa temperatura por 1-3 horas o hasta que la hidrólisis halla progresado a 15-20 DE.

El perfil de carbohidratos típico resultante de la licuación, se muestra en la Tabla No. 10. Una gran proporción de los aligosacáridos de DP 4 y mas altos son ramificados cuando provienen de almidones que contienen amilopectina.

[1, 4, 8]

*Cuadro No. 10 Perfil de Carbohidratos en Almidón Hidrolizado de Bajo DE  
Derivado de la Licuación Enzimática*

GRADO DE POLIMERIZACION	% EN PESO DE CARBOHIDRATO EN BASE SECA.		
	10 DE	15 DE	20 DE
1	0.3	0.7	1.4
2	3.4	5.5	7.6
3	4.3	6.9	9.4
4	3.5	5.2	6.9
5	3.6	5.5	7.4
6	7.0	10.6	14.3
Mayor a 6	77.9	65.6	53.0

*Fuente: Starch Chemistry and Technology, 1984*

### 3.2.2. SACARIFICACION

El objetivo de la sacarificación es convertir el almidón a D-glucosa en cantidades tan grandes como sea posible, siempre observando la rentabilidad económica. Usando glucoamilasa es posible convertir almidón casi en su totalidad (> 99 %) a D-glucosa, pero no es económicamente factible. Variables económicas y técnicas limitan la conversión a

aproximadamente 93 - 96 % de D-glucosa cuando se usa glucoamilasa. Estas variables se muestran en la Cuadro No. 11.

*Cuadro No. 11 Interacción de las Variables de Sacarificación*

VARIABLE	INTERVALO	COMENTARIO
Concentración de Substrato	25 - 35	Este rango es fijado por el costo de eliminar el exceso de agua de los hidrolizados para preparar JMAF balanceado contra la mas alta conversión a glucosa que se pueda obtener a una baja concentración de substrato.
Relación Enzima - Substrato	0.15 - 0.5 GU/ g <sup>a</sup>	Costo de enzima balanceado contra el tiempo de sacarificación y equipo requerido para sacarificaciones largas.
Tiempo de Sacarificación	40 - 90 h.	Depende de la relación enzima - substrato.
Temperatura de Sacarificación	50 - 63 °C	Limite máximo dependiente de la estabilidad de la glucoamilasa.
PH de Sacarificación	4.0 - 5.0	Depende de la fuente de la glucoamilasa. Los azúcares reductores son más estables en este rango.

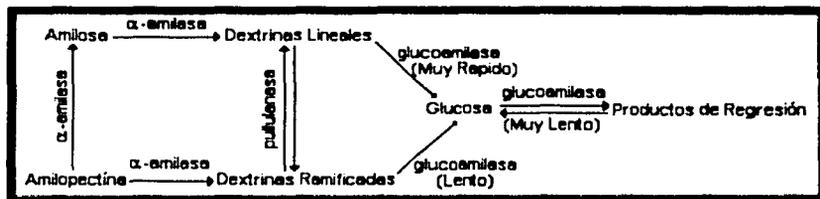
<sup>a</sup> Una GU (Unidad de Glucoamilasa) cataliza la conversión de almidón a glucosa a razón de

1 g/h a 60 °C.

*Fuente: Starch Chemistry and Technology, 1984*

La cinética de reacción del almidón licuado en la sacarificación por la glucoamilasa es muy compleja, ya que en cualquier momento durante la hidrólisis, un amplio rango de dextrinas lineales y ramificadas están presentes, causando muchas reacciones simultaneas, cada una diferente. Sin embargo, es ilustrativo considerar la reacción básica involucrada en términos relativos, como se muestra en la Figura No. 9, con el fin de obtener un entendimiento

cualitativo de las fuerzas que limitan una conversión completa bajo consideraciones de factibilidad económica.



*Figura No. 9 Reacción de Hidrólisis / Condensación Controlando la Conversión Enzimática de Almidón a D - Glucosa*

*Fuente: Nutritive Sweeteners From Corn, 1994*

La amilosa y amilopectina del almidón son convertidas por la  $\alpha$ -amilasa durante la licuación en dextrinas lineales y ramificadas. Las dextrinas lineales son rápidamente y casi en su totalidad convertidas a D-glucosa por la glucoamilasa. Las dextrinas ramificadas son mucho menos susceptibles a la hidrólisis, sin duda debido a la baja razón a la que la glucoamilasa rompe el enlace glucosídico  $\alpha$  - (1 - 6) , así como el enlace  $\alpha$  - D - (1 - 4) . Esto se ilustra en la Figura No. 10, en el cual se compara la hidrólisis de dextrinas lineales con la hidrólisis de almidón de maíz licuado conteniendo ambas dextrinas, lineales y ramificadas. Las condiciones a las cuales se lleva la hidrólisis de la figura No. 10 son: 60 °C, 0.3 unidades / g de sustrato de glucoamilasa y 31 % de concentración inicial de sustrato.

Para propósitos prácticos, la hidrólisis de dextrinas es irreversible. La primera excepción es la hidrólisis de los disacáridos maltosa e isomaltosa.

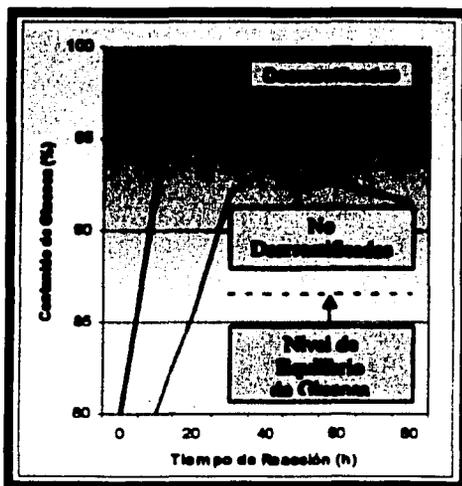


Figura No. 10 Hidrólisis Enzimática de Almidón de Maíz Licuado (Dextrinas Lineales y Ramificadas)

Fuente: *Starch Chemistry and Technology*, 1984

Por lo tanto, la hidrólisis a D-glucosa no es completa, debido a las reacciones de condensación simultáneas que ocurren cuando la D-glucosa es condensada a productos de regresión. La regresión es una simple manifestación de la reversibilidad de la hidrólisis. La D-glucosa y el almidón de maíz licuado alcanzan el mismo equilibrio en el contenido de D-glucosa cuando son tratadas con grandes cantidades de glucoamilasa (Gráfica No. 11;

condiciones de la hidrólisis: 60 °C, 1.8 unidades / g de sustrato de glucoamilasa, 30 % de concentración inicial de sustrato).

Las preparaciones de glucoamilasa usadas comercialmente son generalmente mezclas de varias amilasas. Por ejemplo, existen preparaciones de *Aspergillus niger* conteniendo 2 isoenzimas glucoamilasas, una  $\alpha$ -amilasa y otra transglucosilasa. [1, 2, 4, 5, 8]

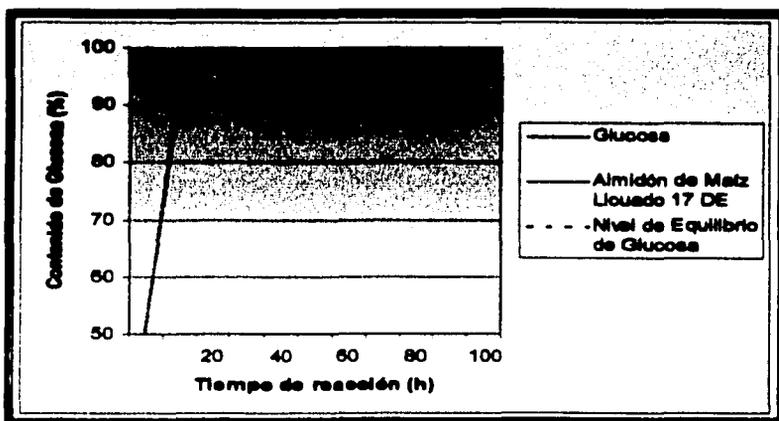


Figura No. 11 Acción de la Glucoamilasa Sobre Soluciones de Glucosa y Almidón de Maíz Licuado

Fuente: *Starch Chemistry and Technology*, 1984

### 3.2.3. CLARIFICACIÓN, FILTRACIÓN Y REFINACIÓN

Una vez que la sacarificación fue llevada hasta el nivel deseado, los procesos de clarificación, filtración y refinación son llevados a cabo. El licor crudo obtenido por sacarificación enzimática típicamente contienen menos de 1 % de materiales lípidos y proteicos. Estas impurezas son removidas por filtración, en filtros continuos rotatorios al vacío. En algunas instalaciones una centrifugación precede a la filtración. El filtrado es un licor transparente, ligeramente amarillo, que contiene aproximadamente 0.1 % de material nitrogenoso y 0.2 - 0.4 % de cenizas.

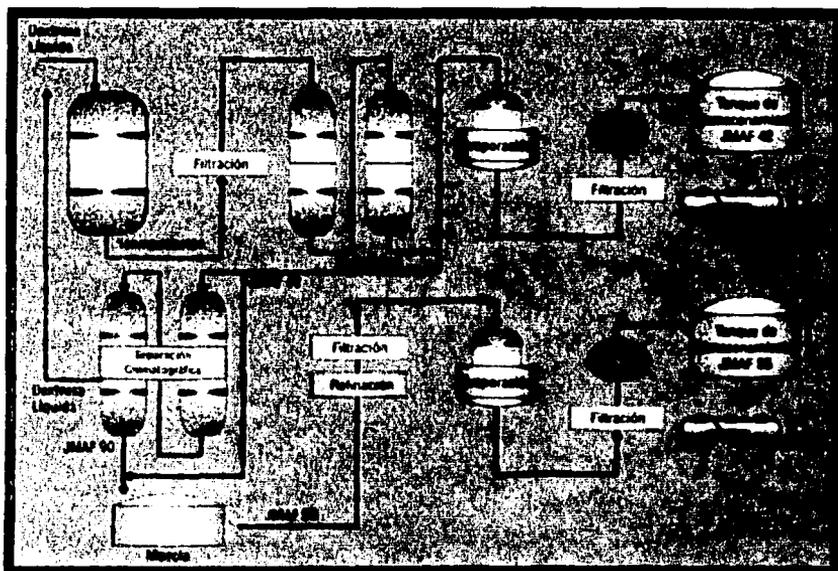
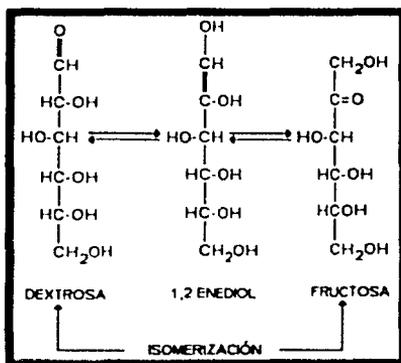


Figura No. 12 Diagrama para Obtención de JMAF a partir de Lechada de Almidón (2ª. Parte)

Fuente: Información Técnica Arancia-cpc

Después es tratada con carbón activado para remover la mayor parte de color y material nitrogenoso. A este proceso se le conoce como desionización por intercambio iónico. Esta etapa es requerida para remover los iones de calcio y otras impurezas las cuales pueden inhibir y desestabilizar a la glucosa isomerasa. Para completar la desionización se puede hacer pasar el licor por un segundo tratamiento con resinas catiónicas y aniónicas, como camas individuales o mezcladas.



*Figura No 13 Isomerización de Dextrosa a Fructosa via el 1,2 Enediol*

*Fuente: Starch Hydrolysis Products Worldwide Technology, 1992*

La desionización reduce el color a prácticamente cero y las cenizas y compuestos nitrogenoso a algunas ppm.

El hidrolizado refinado es una solución que contiene carbohidratos puros con un ligero sabor dulce. La composición típica de este jarabe es mostrado en la Cuadro No. 12. En esta composición, los disacáridos son derivados casi en su totalidad por regresión, los tetra y mas altos sacáridos son derivados de dextrinas ramificadas, las cuales son hidrolizadas muy lentamente por la glucoamilasa y, por lo tanto, sobreviven a la sacarificación. [2]

*Cuadro No. 12 Composición Típica de un Jarabe de Maíz Altamente Hidrolizado.*

SACÁRIDO	CARBOHIDRATO BASE SECA (%)
Dextrosa	94.0
Maltosa	1.0
Isomaltosa	1.2
Otros Disacáridos	1.3
Trisacáridos	0.4
Tetrasacáridos	0.1
Altos Sacáridos	2.0

*Fuente: Handbook of Sugars, 1985*

### 3.2.4. ISOMERIZACIÓN

Los primeros intentos de isomerización se enfocaron en la catalización alcalina. El álcali (Hidróxido de Sodio) convierte a la dextrosa a un enediol, el cual es convertido a fructosa via la reacción de Lobry de Bruyn-Alberda Van Ekenstein (Figura No. 13 de la pagina anterior). Esta reacción es difícil de controlar, ya que la fructosa se esta convirtiendo constantemente en una sucesión de enediones. El color y sabor indeseables, las reacciones

---

colaterales, y bajo rendimiento, limitaron el uso de la isomerización alcalina en la producción industrial de JMAF.

Los pasos bioquímicos de la transformación de dextrosa a fructosa es bien conocida, utilizando una serie de reacciones enzimáticas e intermediarios fosforilados. Por lo tanto, la aplicación de estos complejos pasos bioquímicos a un proceso industrial, requería de la disponibilidad de cantidades comerciales de algunas enzimas.

Contrario al bajo costo de las enzimas  $\alpha$ -amilasa y glucoamilasa usadas por los procesadores de derivados de maíz para obtener jarabes de maíz, las enzimas isomerasas eran excesivamente caras, lo que las hacía prohibitivas en un proceso industrial. Las investigaciones para la inmovilización de la isomerasa en un microorganismo y fermentaciones industriales, para una producción eficiente de la enzima, fueron determinantes en el avance que permitió la producción industrial de los JMAF.

Por lo tanto, algunas claves importantes en el desarrollo de los jarabes de alta fructosa fueron el descubrimiento de la glucosa isomerasa de bajo costo (D-xilosa ketol isomerasa), la identificación de ciertas *streptomicinas* sp. como una fuente estable de glucosa isomerasa, y el posterior desarrollo de un método de bajo costo para la inmovilización de la glucosa isomerasa.

La enzima que se utiliza en la actualidad es la xilosa isomerasa con actividad tanto para la dextrosa como para la xilosa.

---

Las fuentes microbiológicas para estas enzimas incluyen *Bacillus coagulans*, *Actinoplanes missouriensis*, *Flavobacterium arborescens*, y *Streptomyces* spp. Enzimas purificadas de estos organismos presentan un pH y temperatura óptimos de 7.0 - 8.0 y 55 - 65 °C, respectivamente.

La glucosa isomerasa es activada con magnesio, cobalto, y manganeso. Y la inhibe el cobre, mercurio, zinc, y calcio.

La glucosa isomerasa es la primera aplicación comercial de la tecnología de inmovilización de enzimas en el mundo y continua siendo uno de los mas grandes usos de esta tecnología. Se estima que en 1989 el mercado mundial de la enzima isomerasa fue de 45 millones de dólares.

La isomerización de la dextrosa se efectúa generalmente en reactores de cama empacados largos, de aproximadamente 1.5 m. de diámetro por 6.5 m. de altura. Estos son columnas cilíndricas diseñadas para dar una buena distribución y control de flujo. Los reactores son cargados con isomerasa inmovilizada generalmente por el método de adsorción física

La isomerización de dextrosa a fructosa es una reacción controlada termodinámicamente. La cantidad de fructosa que puede ser producida a temperaturas prácticas en la industria esta restringida por un equilibrio constante de aproximadamente 1 - 60 °C. Iniciando con una concentración de dextrosa de 94 %, la cantidad teórica de fructosa presente en equilibrio deberá ser de 47 %. Por lo tanto, tomando en cuenta el tiempo y la cantidad de

---

enzima requeridos para alcanzar un equilibrio en reactores comerciales, las cantidades de fructosa en una explotación comercial serán algo menores a los niveles teóricos.

El primer jarabe de alta fructuosa introducido por "Clinton Corn Processing Company" en 1967 contenía 15 % de fructosa y fue isomerizado en un proceso batch con una enzima soluble. Para el siguiente año ya se utilizaban reactores con glucosa isomerasa inmovilizada y el contenido de fructosa se incrementó a 42 %. El JMAF 42 se convertía así en el primer edulcorante de maíz con un uso comercial significativo. [1, 2, 4]

### 3.2.4.1. PRODUCCIÓN DE ISOMERASA

La glucosa isomerasa es producida intracelularmente por ciertas especies de microorganismos. Existen más de 50 especies de organismos los cuales producen glucosa isomerasa del tipo D-xylosa ketol isomerasa (esta enzima no debe ser confundida con la D-glucosa ketol isomerasa, EC 5.3.1.18 la cual es una oxireductasa que cataliza la interconversión glucosa-fructosa.). Las de mayor interés comercial por su habilidad para producir isomerasa termoestables en grandes cantidades son: *streptomycinas*, *basilos*, *Artobacterias*, y *Actinolanes*.

El proceso de cultivo de microorganismos para la producción de isomerasa varía de acuerdo al tipo de microorganismo a desarrollar. Todos los procedimientos usan fermentadores aerobios con cultivos puros diseñados para promover un máximo crecimiento de microorganismos y una máxima cantidad de isomerasa.

---

El proceso inicia con la inoculación de una pequeña cantidad del cultivo puro del microorganismo deseado en un matraz y continúa con varias resiembras culminando con una fermentación en un reactor de 200,000 litros. En todas las resiembras es importante extremar precauciones para evitar contaminación de los microorganismos. [8]

### **3.2.4.2. INMOVILIZACIÓN DE ISOMERASA**

La enzima glucosa isomerasa es usada casi siempre en forma inmovilizada. Se han utilizado numerosos métodos para la inmovilización de la isomerasa, pero solo dos son factibles económicamente:

- Adsorción en un vehículo insoluble.
- Fijación de la isomerasa dentro del microorganismo que la produce.

La técnica de adsorción requiere la extracción intracelular de la isomerasa de las células por maceración o tratamiento sónico, o por la destrucción de la pared celular con enzimas. La isomerasa solubilizada entonces puede ser adsorbida en un vehículo insoluble como la celulosa. La isomerasa en forma adsorbida puede retener toda la actividad de la isomerasa soluble.

La inmovilización de la isomerasa intracelularmente puede darse por simple calentamiento de los cultivos de microorganismos a una temperatura que destruya el mecanismo lítico de las células. Este método puede ser usado solo si la isomerasa es más estable al calor que las

enzimas líticas. En el Cuadro No. 13 se muestran las técnicas más importantes industrialmente de inmovilización. [8]

*Cuadro No. 13 Técnicas Industriales más Importantes para la Inmovilización de glucosa isomerasa.*

TECNICA DE INMOVILIZACIÓN	FUENTE DE LA ENZIMA	FORMA <sup>a</sup>
Adsorción en celulosas o resinas de intercambio aniónico.	Streptomyces sp.	Polvo o Granular
Adsorción en Alúmina porosa.	Streptomyces sp.	Granular
Tratamiento con calor de las células enteras a temperaturas que destruyen las enzimas líticas sin inactivación de la isomerasa.	Streptomyces sp.	Polvo
Entrampamiento de células con agentes floculantes.	Arthrobacter sp.	Granular

<sup>a</sup> Las isomerasas inmovilizadas en polvo son generalmente (menores que malla 100) y las isomerasas granulares son (mayores que malla 100).

*Fuente: Starch Hydrolysis Products Worldwide Technology. 1992*

### 3.2.4.3. REACTORES

Existen una gran variedad de reactores probados experimentalmente, pero los más usados en la industria son los reactores de cama empacados los cuales difieren dependiendo del la isomerasa usada, en polvo o granular.

Las preparaciones de isomerasa en forma de polvo pueden ser usadas en reactores que utilicen filtros de hoja en los cuales una pequeña capa (< 30 cm.) de polvo de isomerasa inmovilizada es cargada en los filtros. La solución de glucosa es entonces bombeada a

---

través de la isomerasa. Varios reactores pueden ser conectados en serie con lo cual se incrementa la eficiencia.

Las preparaciones de isomerasa en forma granular son generalmente usadas en reactores de cama profunda con columnas cilíndricas de 1.5 a 4.5 m.. Estos reactores son de un diseño mas simple que los reactores de filtro de hoja. El relativo tamaño grande de partícula de la isomerasa tipo granular en un reactor de filtro de hoja puede resultar en una pérdida de la eficiencia de la reacción debido a una limitación de difusión dentro de los poros los cuales disminuyen la accesibilidad de la isomerasa.

Esta limitación de difusión no se da en la isomerasa en polvo adsorbida en celulosa debido a la mayor área superficial y a la proximidad de la isomerasa a la superficie.

Las condiciones típicas para la isomerización comercial son dadas en el Cuadro No. 14. Una solución de glucosa refinada, resultante de un almidón hidrolizado de alta conversión, con mas de 90 % de D-glucosa, es usada para alimentar al reactor. El refinamiento es requerido para reducir el contenido de calcio a niveles que no inhiban seriamente la actividad de la isomerasa (usualmente  $< 20$  ppm) y otras substancias desconocidas que pueden disminuir la estabilidad de la isomerasa. Ya que la solución de D-glucosa debe ser refinada antes de la isomerización, algunos activadores y estabilizantes pueden ser agregados en pequeñas cantidades, por ejemplo, sales ferrosas, sales de sulfito, o combinaciones de ambos.

Cuadro No. 14 Condiciones Típicas Para la Isomerización Comercial

PARAMETRO	RANGO
Concentración de glucosa	40 – 60 %
Ph	7.0 – 8.5
Temperatura de reacción	55 – 65 °C
Activador de isomerasa	0.001 – 0.005 M Mg <sup>2+</sup>
Tiempo de residencia en el reactor	Menor a 4 horas.

*Fuente: Starch Chemistry and Technology. 1984*

La temperatura de reacción es mantenida alta con el fin de inhibir el crecimiento de microorganismos. Debido a la alta potencia de la isomerasa inmovilizada la reacción no debe durar mas de 4 horas y normalmente dura menos de 1 hora. [1]

### 3.2.5. CLARIFICACIÓN, REFINACIÓN Y EVAPORACIÓN

El jarabe isomerizado contiene agua, carbohidratos, y algunas sustancias activadoras adicionadas antes de la isomerización. Por lo cual se deben eliminar estas últimas, como trazas de sales, sustancias coloreadas y precursores de color y sabor.

Debido a que el jarabe contiene D-fructosa es necesario refinar a un pH y temperatura que no permitan el desarrollo de co-productos como la D-picosa y productos de regresión.

Después del refinado el jarabe isomerizado debe concentrarse a baja temperatura en evaporadores al vacío a un contenido en sólidos lo suficientemente alto para asegurar

resistencia contra contaminación microbiológica y lo suficientemente baja para prevenir cristalización de la D-glucosa.

El resultado hasta esta etapa es el Jarabe de Maíz de Alta Fructosa 42 (JMAF 42), el cual tiene un porcentaje de sólidos de 71 % y es un producto transparente, incoloro, compuesto por esencialmente carbohidratos puros y agua, con un claro y limpio sabor dulce. Las especificaciones son mostradas en el Cuadro No. 16. [1]

### **3.2.6. SEPARACION CROMATOGRAFICA (FRACCIONAMIENTO)**

La alta fructosa 42 tiene un dulzor igual a la sacarosa (ver Cuadro No. 18), sin embargo, en algunas aplicaciones (principalmente refrescos de cola) se requería un mayor dulzor para lograr un 100 % de sustitución de sacarosa. En los jarabes de alta fructosa el monosacárido que mas imparte esta característica es la D-fructosa. El máximo grado de conversión de D-glucosa a D-fructosa en una reacción catalizada es alrededor de 50 % por el equilibrio termodinámico entre las varias formas moleculares de D-glucosa y D-fructosa en solución.

Algunos métodos para alcanzar contenidos de D-fructosa mas grandes que el equilibrio han sido desarrollados y los podemos clasificar en 3:

- Cinéticos
- Químicos

- Físicos

Los métodos cinéticos y químicos resultan en conversión directa para un supra-equilibrio del contenido de D-fructosa.

Los métodos físicos incluyen la separación de la mezcla de glucosa - fructosa para obtener dos fracciones, una rica en D-fructosa y otra rica en D-glucosa. La fracción rica en D-glucosa es reisolomerizada y se obtiene un JMAF con un 90 % de D-fructosa (base seca).

Los métodos físicos tienen ventajas sobre los cinéticos y químicos para la producción de jarabes con un supra-equilibrio de fructosa, debido al bajo costo y alta eficiencia.

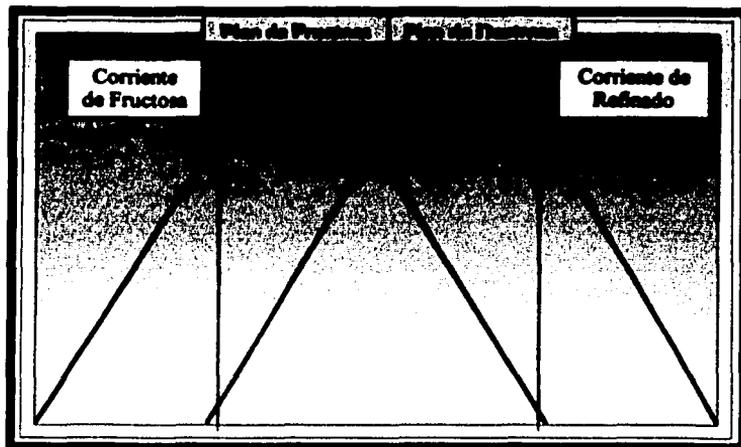
El proceso ideal para la separación de la mezcla glucosa - fructosa es aquel que no requiere la adición de químicos, obteniéndose la necesidad de una segunda refinación. Estas características las cumple el método físico de separación cromatográfica basado en el intercambio iónico con materiales adsorbentes.

Los avances en este método se dieron de la siguiente forma:

- Techni-Chem desarrolló un sistema batch de una columna individual, en la cual las fracciones de sacáridos eran colados de la columna con agua.

- Universal Oil Products lanzó un sistema cromatográfico de cama-movible que usaba seolite para separar los carbohidratos, a principios de los 60's. Esta aplicación para separación de sacáridos representó un avance significativo sobre el método batch.
- Mitsubishi Chemical Industries introdujo un sistema cromatográfico, basado en resinas, con cama movible a mediados de los 70's, el cual daba una mayor resolución en la separación de carbohidratos. Esta tecnología fue licenciada a los productores de JMAF de Japón y Estados Unidos a finales de los 70's y fue inmediatamente puesta en uso por los fabricantes de Jarabes de Maíz de Alta Fructosa con un contenido de fructosa de 55 % (JMAF 55).

En el cromatógrafo de cama movible la resina es colocada en camas independientes que se colocan en serie. La fructosa tiene una mayor afinidad que la glucosa por las resinas de intercambio catiónico de sales de calcio. Como se muestra en la Figura No. 14, esta afinidad lentamente progresa hacia la dextrosa mientras los sacáridos se mueven a través de la columna cromatográfica y se completa la separación.



*Figura 14 Fraccionamiento de fructosa y refinado (dextrosa + altos sacáridos) por Cromatografía de Cama Móvil*

*Fuente: Starch Hydrolysis Products Worldwide Technology, 1992*

Continuamente sofisticadas válvulas alimentan resina y descargan las fracciones de fructosa, con un porcentaje mínimo de 90 % de fructosa (JMAF 90), y refinado (glucosa + altos sacáridos). En el Cuadro No. 15 se ilustra la habilidad del cromatógrafo de cama móvil para separar eficientemente fructosa de otros productos de la isomerización. [1, 2]

*Cuadro No. 15 Separación Cromatográfica de Cama Móvil de Productos de la Dextrosa Isomerizada*

COMPONENTE	SUBSTRATO	FRUCTOSA	REFINADO
Fructosa	40.5	97.3	2.4
Dextrosa	52.3	1.2	89.3
Altos Sacáridos	7.2	1.4	8.3
Substancia Seca	60.3	31.7	22.9
Recuperación de Fructosa		96.7	
Recuperación de Dextrosa			99.1

*Fuente: Sugar - Azúcar, 1980*

### 3.2.7 MEZCLA

Como ya se mencionó concentraciones cercanas al 50 % de fructosa son posibles a través de la isomerización, sin necesidad de usar la tecnología de separación cromatográfica. Por lo tanto, el jarabe con 42 % de fructosa (JMAF 42) es el más económico de producir y se elabora con un estándar industrial desde 1968. Este producto es conocido como "la primera generación" de JMAF.

Para lograr obtener el jarabe con 55 % de fructosa se mezclan JMAF 90, de la corriente del separador cromatográfico, con JMAF 42, de la corriente de salida del evaporador después de la isomerización.

Después de muchos años de investigación finalmente la industria de los derivados de maíz logró satisfacer el deseo de los embotelladores de bebidas carbonatadas por un jarabe de

dulzor equivalente al azúcar. Así, nace en 1978 "la segunda generación" de jarabes con un contenido de fructosa de 55% (JMAF 55).

Finalmente la mezcla se refina nuevamente y se evapora para ajustar el porcentaje de sólidos a 77 %. [1, 2, 3, 4]

Algunos fabricantes producen jarabes con contenidos de fructosa de entre 80 - 95 % para aplicaciones llamadas extra - dulzor o bajo en calorías.

En el siguiente capítulo en el Cuadro No. 16 se muestran las especificaciones para JMAF 42, 55, 80, 90 y 95, donde se puede apreciar las diferencias básicas entre cada uno de estos jarabes.

---

## CAPITULO 4

---

### CARACTERISTICAS FISICAS Y QUIMICAS

**L**as características físicas y químicas típicas de los JMAF se muestran en el Cuadro No. 16 de la próxima página. Se compara a los JMAF usados en la industria, aunque como ya se mencionó los más usados son los JMAF 42 y 55.

En todos los JMAF, el porcentaje de sólidos es alto y por ende la presión osmótica de los monosacáridos lo cual previene el crecimiento de microorganismos, como se muestra en la Figura No. 15. El contenido de sólidos en la HFCS 42 es menor que los otros jarabes para prevenir el riesgo de cristalización de la dextrosa.

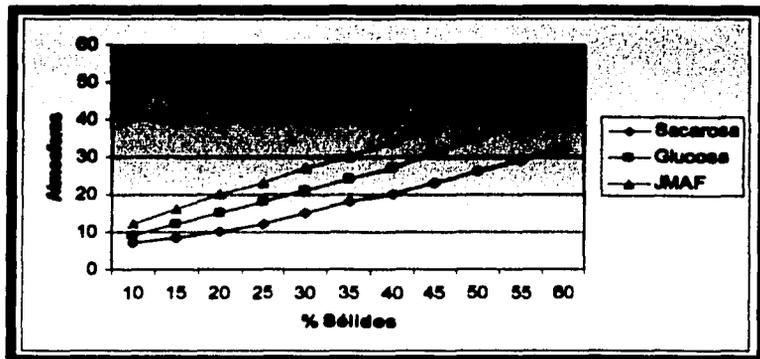


Figura No. 15 Presión Osmótica vs % de Sólidos de Varios Edulcorantes

Fuente: Información Técnica Arancia-cpc

El pH para todos los productos es bajo y tiene un rango de 3.5 - 4.5 en el momento del embarque. Existe rápido desarrollo de color a valores mas ácidos o alcalinos, por lo tanto es el rango ideal de pH. Existe cierta capacidad buffer remanente en los jarabes terminados después de los prolongados tratamientos de intercambio iónico, por lo cual es común para los JMAF que el pH baje lentamente a valores más ácidos conforme avance el tiempo de almacenamiento. [3]

Los bajos valores de cenizas y color (Figura No. 17) reflejan los intensos tratamientos de intercambio iónico y carbón activado durante la refinación que reciben los jarabes. Estos jarabes también cuentan con un excepcional bajo sabor extraño.

Son jarabes altamente fermentables debido a la alta composición de monosacáridos y bajos aligósacáridos. En el Cuadro No. 17 se muestra el perfil de carbohidratos para varios edulcorantes, donde se puede ratificar la afirmación anterior. Esta propiedad de fermentabilidad es especialmente importante en la industria de la panificación, ya que los monosacáridos de los JMAF son directamente fermentados por las levaduras. [1, 3]

*Cuadro No. 16 Características Físicas y Químicas Típicas de los JMAF*

PARÁMETRO	JMAF (% DE FRUCTOSA)				
	42	55	80	90	95
Perfil de Carbohidratos					
Dextrosa ( % )	53	41	18	9	4
Fructosa ( % )	42	55	80	90	95
Altos Sacáridos ( % )	5	4	2	1	1
Sólidos ( % )	71	77	77	77	77
Humedad ( % )	29	23	23	23	23
pH (Sin Diluir)	4.0	4.0	3.5	3.5	3.5
Cenizas (Sulfatadas) ( % )	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
Color (RBU, Máximo)	25	25	35	35	25
Dulzor <sup>a</sup>	92	99		106	
Microbiología	Cumplen con los requerimientos de FDA				
Densidad a 20 °C ( Kg/lt. )	1.346	1.384	1.384	1.407	1.385
Viscosidad a 27 °C ( cp )	160	800	600		575

<sup>a</sup>Correlacionado al azúcar = 100 a 10 % de dilución y temperatura de 20 °C

*Fuente: Starch Hydrolysis Products, 1992*

Además los azúcares reductores también inhiben las reacciones de oxidación en alimentos. Esto es útil para mantener el color rojo brillante en la salsa de tomate (catsup) y mermeladas de fresa.

Cuadro No. 17 Perfil de Carbohidratos de Varios Edulcorantes

EDULCORANTE	DP <sub>1</sub> <sup>a</sup>		DP <sub>2</sub>		DP <sub>3</sub>	DP <sub>4</sub> y más altos
	Fructosa	Dextrosa	Sacarosa	Maltosa	Triosa	
Sacarosa			100			
Sacarosa Inversión Media	25	27	46	2 <sup>b</sup>		
Sacarosa Totalmente Invertida	45	48	3	4 <sup>b</sup>		
Dextrosa		100				
Jarabe de Maíz 42 DE		20		14	12	54
Alta Maltosa 42 DE		8		40	15	37
Jarabe de Maíz 62 DE		39		31	7	23
JMAF 42	42	52		6 <sup>b</sup>		
JMAF 55	55	40		5 <sup>b</sup>		
JMAF 90	90	9		1 <sup>b</sup>		

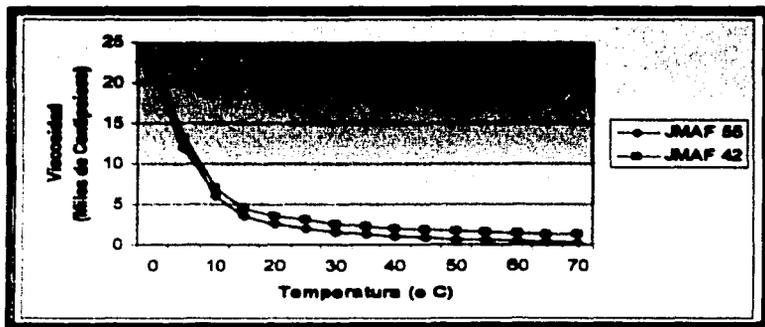
<sup>a</sup> DP = Grado de Polimerización<sup>b</sup> DP<sub>2</sub> y altos sacáridosFuente: *Functional Properties of food Components, 1991*

Figura No. 16 Viscosidad vs Temperatura en JMAF 42 y 55

Fuente: *Información Técnica Arancia-cpc*

La viscosidad de los JMAF es similar a la de los jarabes de azúcar totalmente invertida o dextrosa líquida. Al incrementarse el contenido de fructosa la viscosidad del producto disminuye, pero este efecto es mínimo comparado con los efectos de temperatura y % de sólidos como se muestra en la Figura No. 16 donde se aprecia el comportamiento de los JMAF 42 y 55 respectivamente contra la temperatura.

El dulzor de los JMAF comparados con el azúcar (dándole un valor de 100 a este último) va desde 92 hasta 106 (a 10 % de dilución y temperatura de 20 °C). Cabe mencionar que la determinación de el valor de dulzor es una medida subjetiva ya que depende del sentido del gusto, por lo que en la bibliografía se encuentran diferentes comparaciones con variaciones mínimas, como la que se muestra en el Cuadro No. 18, donde se compara a varios edulcorantes contra el azúcar. [3]

*Cuadro No. 18 Dulzor Relativo de Varios Edulcorantes*

EDULCORANTE	NIVEL DE DULZOR
Sacarosa	100
Dextrosa	70 – 80
Fructosa	140
Jarabe de Maíz 70 DI	70 – 75
Jarabe de Maíz de Alta Conversión	65
Jarabe de Maíz de Regular Conversión	50
Maltosa	30 – 50
Lactosa	20
JMAF 90	120 – 160
JMAF 55	110
JMAF 42	100
Azúcar Invertida	110
Sorbitol	50
Xilitol	100

*Fuente: Functional Properties of Food Components, 1991*

Cuando los JMAF son usados en combinación con el azúcar, el dulzor es generalmente mas alto al esperado. Por ejemplo a 45 % de solios, una mezcla de 25 % de JMAF y 75 % de sacarosa es tan dulce como una solución de sacarosa al 45 %. Por lo tanto, cuando los JMAF son usados con sacarosa en productos con una concentración total de edulcorante alta, no existe pérdida aparente de dulzor. En productos menos dulces, o cuando solo un edulcorante es usado, un decremento en el dulzor puede darse, si la sacarosa es substituida en su totalidad. A esto podemos adicionar que se pueden emplear los JMAF como substitutos totales de sacarosa en productos con baja concentración de edulcorante, sin una pérdida de dulzor, por ajustes simples a la acidez del producto. El dulzor es también influenciado por la temperatura y la presencia de otras sustancias. Es difícil, por lo tanto, determinar el dulzor relativo de los jarabes de maíz y el azúcar en combinación con otros ingredientes, por lo cual cada producto debe ser considerado individualmente. [3]

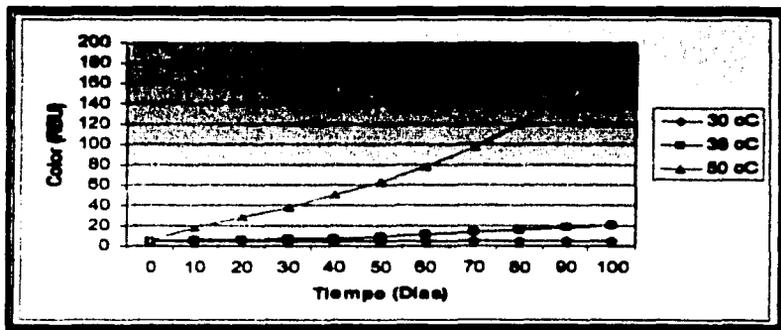


Figura No. 17 Color vs Tiempo a Diferentes Temperaturas para JMAF

Fuente: Adaptada de Información Técnica de Arancia-cpc

La especificación de color para JMAF 42 o 55 indica 25 RBU's como máximo. La temperatura de recepción y almacenamiento (Cuadro No. 19) a la que se manejan los JMAF es ideal para mantener la transparencia de los mismos, ya que en este rango por 90 días casi no existe desarrollo de color como se muestra en la Figura No. 17.

El sector de mercado más importante para los JMAF es el de las bebidas carbonatadas, por lo que es muy importante una buena solubilidad del edulcorante con el agua, otros edulcorantes, ácidos, concentrados, etc.. En la Figura No. 18 se presenta una comparación de esta característica contra el azúcar, donde se puede apreciar su mejor solubilidad.

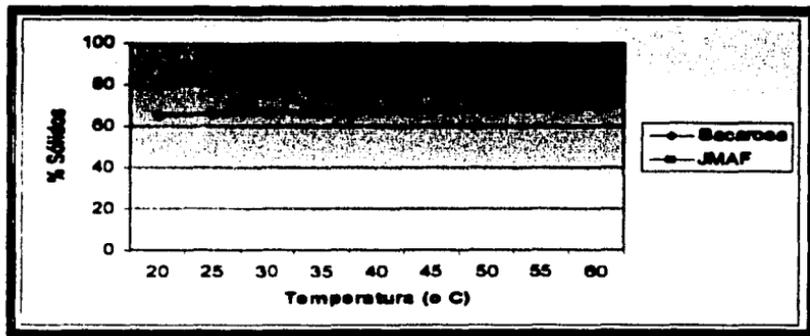


Figura No. 18 Solubilidad de Jarabes de Maíz de Alta Fructosa vs Azúcar

Fuente: Información Técnica Arancia-cpc

La percepción de dulzura de los JMAF es diferente a la de el azúcar como se demuestra en la Figura No. 19, donde se aprecia que la intensidad de dulzor en la boca de los JMAF es mas alta que el azúcar pero dura menos tiempo. Es decir, los JMAF no enmascara sabores como el azúcar, por lo cual al momento de hacer modificaciones en formulaciones por sustitución de azúcar, es importante tomar en cuenta esto ya que los sabores de los concentrados (saborizantes) o ácidos resaltarán, por lo que seguramente habrá que disminuir las proporciones de estos ingredientes.

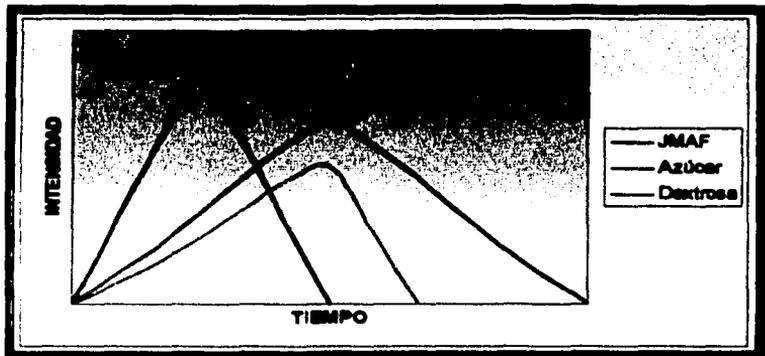


Figura No. 19 Percepción de Dulzura para Varios Edulcorantes

Fuente: Información Técnica de Arancia-cpc

---

## CAPITULO 5

---

### ALMACENAMIENTO, EMBARQUE Y MANEJO

**L**os JMAF pueden ser almacenados en la mayoría de sistemas de azúcar líquida. Lo más recomendable es que tanques, tubería, válvulas y accesorios, sean construidos en acero inoxidable 304 o 316. En tanques pueden ser utilizados también aquellos de acero al carbón con un recubrimiento epóxico grado alimenticio, aunque no es muy deseable. No se recomienda el uso de aluminio debido al alto riesgo que se tiene de que se transfiera sabor al JMAF, ni el empleo de materiales plásticos debido a que no cumplen los requerimientos de acabado sanitario.

Los tanques deben ser cilíndricos y pueden ser horizontales o verticales dependiendo de la disponibilidad de espacio. La parte inferior del tanque deberá ser inclinada y con una pendiente mínima de 2 % para facilitar el drenado del jarabe.

Es importante la instalación de un sistema de venteo, para eliminar la humedad en el interior del tanque y de esta forma eliminar la posibilidad de condensación de agua. Si existe condensación de agua en la superficie del JMAF podemos tener partes en las cuales disminuya el porcentaje de sólidos y por ende la presión osmótica, existiendo la posibilidad de desarrollo de microorganismos. El sistema debe estar provisto de un filtro de aire con un tamaño de poro de máximo 0.3 micras, ventilador y lampara de luz ultravioleta para la esterilización del aire de venteo.

Deberá contar con una entrada hombre para facilitar el mantenimiento y limpieza del mismo. Es recomendable la instalación de indicadores de nivel ultrasónicos o de presión diferencial, para cuantificar correctamente el volumen del tanque, ya que no son recomendables los indicadores de nivel de manguera o vidrio, debido a que solo nos dan una idea aproximada del nivel, son mas susceptibles a contaminaciones o cristalización del producto, y además debe considerarse el cambio de volumen por temperatura y la perfecta nivelación del tanque. Un termómetro debe ser instalado a un cuarto de altura del tanque para monitorear la temperatura del jarabe. Una válvula para toma de muestras puede ser instalada cerca del fondo del tanque.

La temperatura de recepción y almacenamiento son de suma importancia para evitar la cristalización de la dextrosa en el JMAF. En el Cuadro No. 19 se muestran las temperaturas encontradas en la bibliografía y a las que se entrega el producto en México, con las cuales se elimina la posibilidad de desarrollo de color o cristalización:

*Cuadro No.19 Temperaturas de Entrega y Almacenamiento Recomendadas para Evitar Desarrollo de Color o Cristalización*

PRODUCTO	BIBLIOGRAFÍA (°C)	EN MÉXICO (°C)
JMAF 42	35 - 41	26 - 32
JMAF 55	24 - 30	26 - 32
JMAF 80 a 95	18 - 24	No se produce

*Fuente: Starch Hydrolysis Products, 1992 y Especificaciones de JMAF 42 y 55 de Arancia-epc*

En México que no existen temperaturas tan extremas de frío como en los EU o otros lugares del mundo, los JMAF 42 y 55 se embarcan a temperaturas de 26 a 32 oC.

Por lo tanto, para mantener estas temperaturas y eliminar el riesgo de cristalización o desarrollo de color, los tanque se deben aislar, o incluso proveer de un sistema de calentamiento, dependiendo de las condiciones ambientales y de la ubicación del tanque (dentro de la instalación o a la intemperie). Esta misma precaución se debe tener para las tuberías.

En la Figura No. 20 se muestra una instalación típica para el almacenamiento de JMAF.

Los JMAF pueden ser embarcados en tanques aislados de ferrocarril de acero inoxidable de la planta productora a estaciones de transferencia, con capacidades de aproximadamente 90 tons.. De las estaciones de transferencia se embarca a los usuarios finales en pipas aisladas



2. Si los cristales no se disuelven después de alcanzar la temperatura de 54 oC, se continua con vapor intermitente para mantener la temperatura a 52 - 54 oC. La temperatura no debe exceder los 54 oC, para evitar el desarrollo de color.

3. Algunos tipos de agitación (agitador eléctrico, recirculación, inyección de aire, etc.) pueden ayudar en casos extremos, y es muy importante observar los principios de sanitización cuando se usen estos equipos: el aire debe estar exento de humedad y cualquier equipo que entre en contacto con el producto debe estar perfectamente sanitizado y libre de cualquier material extraño. [3]

El bombeo de los JMAF se puede efectuar con bombas centrífugas si existe un adecuado control de la temperatura, aunque es más recomendable el uso de bombas de desplazamiento positivo por ser más eficiente el bombeo cuando existe aumento de viscosidad por enfriamiento del producto. [13]

---

## CAPITULO 6

---

### APLICACION

**M**ás del 80 % del JMAF producido es destinado a la industria de las bebidas no alcohólicas, tanto carbonatadas como frutales. El rango de usos del JMAF 42 es más amplio pasando por bebidas, alimentos procesados, panificación y cereales. Los atributos funcionales de los JMAF incluyen las habilidades mostradas en el Cuadro No. 20 y sus aplicaciones en el Cuadro No.21.

Básicamente cualquiera de los JMAF pueden substituir azúcar en forma líquida en cualquier producto que esta este presente; dependerá del fabricante el tipo de JMAF a usar, así como el grado de substitución, dependiendo del perfil de sabor, consistencia o propiedad funcional que busque. Por lo tanto, los JMAF son funcionalmente equivalentes al azúcar líquida invertida en la mayoría de alimentos y bebidas y puede ser substituida con pequeños

o sin ningún cambio en formulación y proceso de elaboración, obteniéndose el mismo producto final.

Enseguida se muestra un cuadro donde se describen las propiedades funcionales de los JMAF.

*Cuadro No.20 Propiedades Funcionales de los JMAF*

PROPIEDAD FUNCIONAL	DESCRIPCIÓN
Dulzor	Imparten un grado de dulzor equivalente al azúcar líquida invertida. Esta ha sido la característica que ha puesto a los JMAF en la posición en la que se encuentran, misma que es esencialmente importante en la industria de las bebidas, que representa el segmento de mercado de mayor uso de los JMAF.
Humectancia	Son retenedores de humedad y/o evitan el secado de algunos alimentos. En panificación se usan como alargadores de vida de anaquel ya que al mantener la humedad en el pan evitan que este se seque y haga duro.
Inhibidor de Cristalización	JMAF $\delta = 55$ . En mermeladas y algunos dulces.
Presión Osmótica	Producen una presión osmótica que es mayor que la que genera la sacarosa o el azúcar con un nivel de inversión media y por lo tanto ayuda controlando el crecimiento microbiano.
Fermentabilidad	Provee de un medio que las levaduras fermentan directamente. Util en la industria de las bebidas alcohólicas y la de panificación.
Solubilidad	Tienen una solubilidad tal que se mezcla fácilmente con ácidos, saborizantes, otros edulcorantes y agua. Lo cual es de suma importancia en la industria de bebidas.

*Fuente: Functional Properties of Food Components, 1991*

Las aplicaciones mas comunes de los JMAF se muestran en el siguiente cuadro.

*Cuadro No. 21 Aplicación de los JMAF*

SEGMENTO DE MERCADO	APLICACIÓN
Bebidas Alcohólicas y Cervecería	cerveza, tequila, brandy, cordiales, licores, vinos.
Alimento para Animales	comida para gatos, perros, ganado.
Panificación	pan de caja, pan dulce de todo tipo, panquelería, pasteles, galletas, glases/merengues/rellenos, pays.
Bebidas No Alcohólicas	carbonatadas, bebidas/jugos de frutas.
Enlatados y empacadoras	frutas en almibar, mermeladas, salsa de tomate (catsup), frutas confitadas, jaleas.
Lácteos	yoghurt, cremas batidas, leches saborizadas, bases para helados, leches con cultivos lácticos, helados.
Cereales	cereales para desayuno.
Químicos, Medicamentos, Farmacéuticos	aminoácidos, antibióticos, enzimas, procesos de fermentación, jarabes medicinales, shampoo.

*Fuente: Functional Properties of Food Components, 1991*

## 6.1. FORMULACIONES

A continuación se enlistan formulaciones típicas de diferentes productos alimenticios en donde los JMAF substituyen total o parcialmente a la sacarosa.

Cuadro No. 22 Bebida de Naranja

INGREDIENTE	CANTIDAD (g.)
JMAF 42	134.40
Concentrado de Naranja 60°Brix	12
Ac. Ascórbico	0.16
Ac. Cítrico	2.24
Color Amarillo No. 6	Variable, a tono deseado
Agua	Ajustar a 1 lt.

*Fuente: Información Técnica Arancia-cpc*

Cuadro No. 23 Concentrado Sabor Naranja

INGREDIENTE	CANTIDAD (g.)
JMAF 55	50.00 %
Agua	7.00%
Goma Acacia (Soln. 30% w/w)	36.00%
A. Espesante / Aceite Esencial (Rel. 2/1)	4.00
Ac. Ascórbico	2.00%
Penaut Oil	0.70%
Amarillo No, 6	Variable, a tono deseado

*Fuente: Información Técnica Arancia-cpc*

*Cuadro No. 24 Pan de Caja*

<b>INGREDIENTE</b>	<b>CANTIDAD (Kgs.)</b>
Harina de Trigo	100
Agua	59.55
Levadura	2
Sal	2.25
JMAF 42	8.45
Grasa Vegetal	4

*Fuente: Información Técnica Arancia-cpc*

*Cuadro No. 25 Panqué*

<b>INGREDIENTE</b>	<b>CANTIDAD (Kgs.)</b>
Harina de Trigo	100
Margarina	54
Huevo Blanco	41
Yema de Huevo	27
Agente Esponjante	5
Glucono delta Lactona	1.8
Soda	0.7
Leche en Polvo Descremada	10
Sacarosa	84
JMAF42	52
Agua	59

*Fuente: Información Técnica Arancia-cpc*

*Cuadro No. 26 Base de Crema para Batir*

<b>INGREDIENTE</b>	<b>CANTIDAD (%)</b>
Agua	37.00%
Grasa Vegetal	27.00%
JMAF 55	13.00%
Maltodextrina 20 DE	9.25%
Emulsificantes	6.35%
Suero en Polvo	3.95%
Caseinato de Sodio	3.10%
Estabilizantes	0.35%
<b>Total</b>	<b>100.00%</b>

*Fuente: Información Técnica Arancia-cpc*

*Cuadro No. 27 Bebida Láctea Saborizada*

<b>INGREDIENTE</b>	<b>CANTIDAD (g.)</b>
Leche Descremada	80%
JMAF 42	12%
Goma Xantano	0.1%
Carragenina	0.14%
CMC	0.40%
Sabor y Color	Al gusto
Agua	Completar a 100 partes
<b>Total</b>	<b>100.00%</b>

*Fuente: Información Técnica Arancia-cpc*

*Cuadro No. 28 Helado Normal*

<b>INGREDIENTE</b>	<b>CANTIDAD (%)</b>
Mantequilla	26.80%
Monoestearato de Glicerilo	20.10%
Maltodextrina	19.00%
Sacarosa	13.40%
JMAF 55	13.40%
Suero de Leche	6.70%
Estabilizante	0.60%
Total	100.00%

*Fuente: Información Técnica Arancia-cpe**Cuadro No. 29 Helado Suave*

<b>INGREDIENTE</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>
Mantequilla	11.50%	18.50%	27.50%
Monoestearato de Glicerilo	39.50%	34.00%	30.20%
Sacarosa	19.70%	21.60%	19.20%
Maltodextrina	14.80%	13.90%	12.40%
JMAF 55	13.20%	10.80%	9.60%
Estabilizante	1.30%	1.20%	1.10%
Total	100.00%	100.00%	100.00%

*Fuente: Información Técnica Arancia-cpe*

Cuadro No. 30 Mermelada

INGREDIENTE	CANTIDAD (%)
Fruta Congelada	30%
JMAF 55	35%
Sacarosa	12%
Glucosa de Maíz 42 DE	18%
Pectina	0.35%
Ac. Cítrico (50% w/w)	0.65%
Agua Dil. Pectina (60-80°C)	4.00%
Total	100.00%

*Fuente: Información Técnica Arancia-cpc*

Tabla No. 31 Salsa Catsup

INGREDIENTE	CANTIDAD (kg.)
Pulpa de Tomate (27.5% S.S)	85%
Vinagre Destilado	3.5%
JMAF 55	7%
Glucosa Maíz 42 DE	1.5%
Extracto de Cebolla	0.05%
Sal	2.75%
Unidades de Especias( 5 lb.c/u)	0.20%
Total	100%

*Fuente: Información Técnica Arancia-cpc*

Como se observa en las formulaciones anteriores los JMAF substituyen parcial o totalmente a la sacarosa dependiendo de la propiedad funcional que se desea. En algunas formulaciones como en mermelada es muy difícil substituir la totalidad de la sacarosa debido a la más baja viscosidad de los JMAF, así como en los helados ya que los JMAF funcionan como un depresor del punto de congelación.

---

## CONCLUSIONES

---

- La tecnología para la obtención de JMAF a partir de almidón está completamente desarrollada y disponible para su aplicación en México.
- La aplicación de los JMAF como sustitutos de azúcar ha tenido un gran éxito económico y tecnológico en todo el mundo.
- Los precios de los JMAF son más estables e independientes a factores políticos, que los del azúcar, el cual es el edulcorante mas ampliamente difundido en el mundo
- Las ventajas operativas que aportan los JMAF sobre el azúcar significan un beneficio económico extra.
- Los JMAF aportan la misma cantidad de calorías por gramo de carbohidrato que el azúcar, lo que los convierte en una alternativa para el aporte a la dieta humana de las mismas.

- En aproximadamente 10 años los niveles de consumo de JMAF y azúcar serán iguales en México.
- Los productores de JMAF en México tienen un gran futuro por lo cual las inversiones están garantizadas.
- La isomerización y la separación cromatográfica son los dos desarrollos tecnológicos determinantes para la explotación comercial de los JMAF.
- Las Características físico-químicas de los JMAF los hacen un sustituto ideal del azúcar.
- El manejo de los JMAF al ser productos líquidos se simplifica por el uso de tanques, bombas y tuberías.
- Los JMAF tienen aplicación en prácticamente todos los productos alimenticios que contengan azúcar en su formulación, como sustitutos parciales o totales.
- El mayor desarrollo de los JMAF como edulcorante se ha dado en la industria de las bebidas carbonatadas y sin carbonatar.

---

# BIBLIOGRAFIA

---

## LIBROS

1. "Starch Hydrolysis Products"

Worldwide Technology Production and Applications

Fred W. Schenck

Ronald E. Hebeda

Ed. VCH Publishers (UK) Ltd.

1992

2. "Starch Chemistry and Technology"

Roy L. Whistler

James N. Be Miller

Eugene F. Paschall

Ed. Academic Press, INC.

1984

3. "Functional Properties of Food Components"

Yeshajahu Pomeranz

Ed. Academic Press, INC.

1991

4. "Starch Production and Technology"

J. A. Radley

Ed. Applied Science Publisher, Ltd.

1976

5. "Fermentation Advances"

Y. Takasaki

Y. Kosugi

Ed. Academic Press, INC.

1969

6. "International Sugar Economic Year Book and Directory"

F. O. Licht

Ed. H. Ahlfeld

1988

7. "Handbook of Sugar"  
W. R. Junk  
H. M. Pancoast  
Ed. AVI Publishing Company  
1985
  
8. "Immobilized Enzymes for Food Processing"  
R. V. Mac Allister  
Ed. CRC Press  
1980

## **PUBLICACIONES**

9. "Sugar Symposium"  
Sugar - Azucar  
T. Hirota  
Enero, 1980.
  
10. "Presentation at the 6<sup>th</sup>. Annual Sweetener Symposium of the Canadian Industrial  
Sweetener Users"  
S. Vuilleumier  
Octubre, 1989

11. "Sugar and Sweetener Situation and Outlook Report"

Economic Research Service

US Department of Agriculture

Junio, 1989.

12. "Sugar and Sweetener Situation and Outlook Report"

Economic Research Service

US Department of Agriculture

Septiembre, 1989.

13. "Información Técnica Alta Fructosa 42 y 55"

Arancia Corn Products, S.A. de C.V.

1998

14. "Resolución por la que se declara de oficio el inicio de la investigación sobre elusión del pago de cuotas compensatorias impuestas a las importaciones de jarabe de maíz de alta fructosa grado 55, mercancía clasificada en la fracción arancelaria 1702.60.01 de la Tarifa de la Ley del Impuesto General de Importación, originarias de los Estados Unidos de América, independientemente del país de procedencia"

Diario Oficial de la Federación

Junio 25, 1997.

15. "Resolución final de la investigación antidumping sobre las importaciones de jarabe de maíz de alta fructosa, mercancía clasificada en las fracciones arancelarias 1702.40.99 y 1702.60.01 de la Tarifa de la Ley del Impuesto General de Importación, originarias de los Estados Unidos de América, independientemente del país de procedencia"

Diario Oficial de la Federación

Enero 23, 1998.

16. "Urgente una Salida Negociada para el Azúcar"

El Economista

Junio 9, 1997.

17. "Activas 48 Investigaciones Antidumping"

El Economista

Septiembre 5, 1997.

18. "Critica EU Barreras Comerciales de México "

La Jornada

Noviembre 24, 1997.

19. "La Alta Fructosa Desplaza Miles de Toneladas de Azúcar Nacional"

El Economista

Septiembre 10, 1997

20. "Conferencia de Prensa del Dr. Herminio Blanco Mendoza Secretario de la SECOFI"  
SECOFI  
Marzo 12, 1998.
  
21. "Low Calorie Sweeteners: Aspartame, Saccharin and Cyclamate"  
American Council on Science and Health  
Mayo, 1984.
  
22. "Saccharin Review of safety issues"  
American Medical Association  
Noviembre, 1992.
  
23. "Sucrose, Sugars and Sweeteners"  
Sugar and Health  
Agosto, 1995.
  
24. "Sweeteners: Nutritive and Non-Nutritive"  
Institute of Food Technologists Expert Panel on Food Safety & Nutrition  
Noviembre, 1994.
  
25. "Sweet Choices. Questions and Answers about Sweeteners in Low-Calorie Foods and Beverages"  
Calorie Control Council  
Octubre, 1990.

**INTERNET**

26. Página WEB de "Corn Refiners Association"

[www.corn.org/web/index.html](http://www.corn.org/web/index.html)

27. Página WEB de "El Economista"

[www.economista.com.mx](http://www.economista.com.mx)

28. Página WEB de "Secretaría de Comercio y Fomento Industrial"

[www.secofi.gob.mx](http://www.secofi.gob.mx)

29. Página WEB de "La Jornada"

<http://serpiente.dgsca.unam.mx/jornada>

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN