

19
200



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
"CUAUTITLÁN"

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA SUSTITUIR
LA SACAROSA POR AZÚCAR INVERTIDO EN
LA INDUSTRIA DE JUGOS, NECTARES Y
BEBIDAS DE FRUTAS.

T E S I S
PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO EN ALIMENTOS
P R E S E N T A :
JORGE EDGAR MONTIEL COELLO

Asesor: Dra. Sara Esther Valdes Martínez

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx.

1993



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 está 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.

INDICE GENERAL

	<u>Pag.</u>
Indice general	i
Indice de cuadros	iv
Indice de figuras	vi
Resumen	viii
Introducción	ix
Objetivos	ii
1. Estudio socioeconómico de la situación actual que presenta la industria azucarera y su efecto en la industria de jugos, néctares y bebidas de frutas.	1
2. Características generales de los edulcorantes.	12
2.1 Clasificación de los edulcorantes.	13
2.2.1 Edulcorantes naturales.	16
2.2.1.1 Carbohidratos.	16
2.2.1.2 Glucósidos.	20
2.2.1.3 Proteínas.	23
2.2.1.4 Alcoholes polihídricos o polioles	23
2.2.2 Edulcorantes sintéticos o artificiales.	23
3. Características de la sacarosa.	28
3.1 Origen y estructura.	28
3.2 Propiedades físicas.	29
3.3 Propiedades químicas.	30
3.4 Usos.	31
3.5 Proceso de elaboración.	33
4. Características del azúcar invertido.	39
4.1 Origen y estructura.	39
4.2 Propiedades físicas.	41
4.3 Propiedades químicas.	41
4.4 Determinación.	43
4.5 Usos.	44
4.6 Métodos de elaboración.	44

4.6.1	Inversión ácida.	45
4.6.1.1	Métodos de elaboración.	47
4.6.2	Inversión enzimática.	50
4.6.3	Inversión con resinas de intercambio iónico.	52
5.	Elaboración de jugos, néctares y bebidas de frutas.	53
5.1	Descripción de los productos.	53
5.2	Descripción de los procesos de elaboración.	54
5.2.1	Elaboración de concentrado.	54
5.2.2	Elaboración de los productos.	56
5.3	Preparación del jarabe de azúcar.	60
6.	Desarrollo experimental.	65
6.1	Primera etapa experimental. Evaluación del grado de inversión que presentan los diferentes productos de estudio, en función del tiempo.	65
6.1.1	Desarrollo.	65
6.1.2	Discusión de resultados.	72
6.2	Segunda etapa experimental. Selección del ácido para efectuar la inversión de sacarosa.	78
6.2.1	Desarrollo.	78
6.2.2	Discusión de resultados.	80
6.3	Tercera etapa experimental. Determinación de la concentración del ácido seleccionado y del tiempo con que se obtiene la mayor inversión, con el menor costo de operación.	87
6.3.1	Determinación del porcentaje de inversión óptimo.	87
6.3.1.1	Desarrollo.	87
6.3.1.2	Discusión de resultados.	88
6.3.2	Cálculo de la concentración de H_3PO_4 y tiempo óptimos para efectuar la inversión de sacarosa.	95
6.3.2.1	Desarrollo.	95
6.3.2.2	Discusión de resultados.	96

7. Estimación del ahorro obtenido en la sustitución de sacarosa por azúcar invertido en la preparación de bebidas de frutas.	100
8. Conclusiones y recomendaciones.	104
9. Bibliografía.	107

INDICE DE CUADROS.

		Pag. <hr style="width: 50%; margin: 0 auto;"/>
1.	Producción, consumo y exportación de azúcar crudo (en miles de toneladas) de 1970 a 1991.	4
2.	Volumen de la producción de caña de azúcar en el periodo 1959-1987.	7
3.	Clasificación de diferentes edulcorantes en base a su origen y estructura.	15
4.	Poder edulcorante de diferentes compuestos.	17
5.	Distribución de carbohidratos en la naturaleza.	19
6.	Fuente de obtención y aplicaciones de diferentes carbohidratos.	21
7.	Fuente de obtención y aplicaciones de diferentes glucósidos.	22
8.	Fuente de obtención y aplicaciones de diferentes proteínas edulcorantes.	24
9.	Fuente de obtención y aplicaciones de diferentes alcoholes polihídricos o polioles.	25
10.	Fuente de obtención y aplicaciones de diferentes edulcorantes sintéticos o artificiales.	27
11.	Solubilidad de la sacarosa a diferentes temperaturas.	29
12.	Productos obtenidos de la fermentación de sacarosa y organismos asociados al proceso.	30
13.	Composición del azúcar blanco y oscuro.	32
14.	Tipos de azúcar comunmente empleados.	33
15.	Ejemplo de especificación requerida para azúcar como materia prima.	37
16.	Rotación específica de algunos azúcares.	39
17.	Cambios químicos que puede sufrir el azúcar invertido bajo algunas condiciones de procesamiento.	43
18.	Poder de inversión de diferentes ácidos.	46

19.	Especificación para el azúcar invertido de una empresa que lo elabora.	49
20.	Especificación para el jugo de toronja.	54
21.	Acidez, grados Brix, pH y viscosidad que presentan algunas preparaciones de jugos, néctares y bebidas de frutas.	59
22.	Especificaciones para el jarabe de azúcar.	64
23.	Productos seleccionados para la primera fase experimental y nomenclatura.	70
24.	Porcentaje de inversión que presentan los diferentes productos de estudio, en función del tiempo.	73
25.	Puntos porcentuales de incremento en la inversión que presentan los diferentes productos de estudio por efectos del calentamiento y del tiempo de almacenamiento.	76
26.	Correlación del porcentaje de inversión y el tiempo de los productos de estudio, desde 0 hasta 27 días.	77
27.	Porcentaje de inversión y grados Brix de soluciones de sacarosa al 66% y 70°C en diferentes intervalos de tiempo, con diferentes ácidos en concentraciones equivalentes.	81
28.	Constantes de disociación a 25°C de los ácidos fosfórico y cítrico.	83
29.	Porcentaje de inversión (%) en soluciones de azúcar de segunda clase al 66% a 70°C, con diferentes concentraciones de ácido fosfórico, a distintos intervalos de tiempo.	89
30.	Valor de las constantes E y F de la ecuación (5), para diferentes concentraciones de ácido fosfórico.	93
31.	Tiempo mínimo y porcentaje de inversión máximo esperados para diferentes concentraciones de H_3PO_4 .	93
32.	Tiempo requerido para alcanzar una inversión $Y_{60} = 82.2\%$ para diferentes concentraciones de H_3PO_4 .	96

INDICE DE FIGURAS

Pag.

1.	Producción, consumo y exportación de azúcar crudo, de 1970 a 1991.	5
2.	Estructura química de algunos compuestos edulcorantes.	14
3.	Representación de la estructura de la sacarosa.	28
4.	Diagrama de bloques para la elaboración de azúcar crudo.	35
5.	Diagrama de bloques para la elaboración de azúcar refinado a partir de azúcar crudo.	36
6.	Formación de azúcar invertido en la hidrólisis de sacarosa.	40
7.	Factor de corrección de grados Brix para jarabes que contienen sacarosa y azúcar invertido.	42
8.	Diagrama de bloques para la elaboración de azúcar invertido.	48
9.	Diagrama de bloques del proceso de concentrado de jugos.	57
10.	Diagrama de bloques del proceso de concentrado de pulpas.	58
11.	Diagrama de bloques del proceso de elaboración de jugos, néctares y bebidas de frutas.	61
12.	Diagrama de bloques para la elaboración de jarabe de azúcar.	63
13.	Cuadro metodológico seguido en el desarrollo experimental.	66
14.	Pasos correspondientes a la primera etapa experimental o de diagnóstico.	67
15.	Pasos correspondientes a la segunda etapa experimental o de selección de un ácido para invertir sacarosa.	68
16.	Pasos correspondientes a la tercera etapa experimental o de determinación de las condiciones de operación.	69

17.	Porcentaje de inversión que presentan algunos productos en función del tiempo.	74
18.	Porcentaje de inversión que presentan algunos productos en función del tiempo.	75
19.	Porcentaje de inversión que presenta una solución de sacarosa al 66% a 70°C en función del tiempo, con diferentes ácidos.	82
20.	°Bx que presenta una solución de sacarosa al 66% durante su hidrólisis, en función del tiempo, con diferentes ácidos.	84
21.	Porcentaje de inversión con H_3PO_4 en soluciones de azúcar de 2a. clase, al 66% y 70°C, en función del tiempo.	90
22.	Distancia mínima entre el punto P de la curva de inversión con 1.4% de H_3PO_4 , y el punto P' de 100% de inversión.	94
23.	Concentración de H_3PO_4 Vs. tiempos en que se alcanza el porcentaje de inversión máximo esperado.	98
24.	Balace de costos en la preparación de jarabe de azúcar y jarabe de azúcar invertido, por concepto de sacarosa, energía eléctrica, vapor y ácido fosfórico.	101

RESUMEN

Se propone la sustitución de sacarosa por azúcar invertido en la elaboración de jugos, néctares y bebidas de frutas como una alternativa para reducir el consumo de azúcar y disminuir costos de producción. Los productos con los que se trabajó son: bebida de naranja, bebida de manzana, bebida de guayaba, jugo de naranja, néctar de durazno, jugo de toronja y dos bebidas de piña con formulaciones diferentes (bebida de piña 1 y bebida de piña 2).

En una etapa preliminar se siguió el desarrollo de la inversión en los productos al paso del tiempo y sin ningún procedimiento ajeno al normalmente seguido para su elaboración, observándose en todos un comportamiento lineal pero con valores en las pendientes variables, siendo máximo en el jugo de toronja (46.26% de inversión) y particularmente bajos para las bebidas de naranja, manzana y guayaba teniendo un máximo de 15.37% de inversión en la bebida de manzana a los 27 días de observación; con esto se estableció que la línea correspondiente a las bebidas es la más viable para generar ahorro por la sustitución con azúcar invertido por ser, además, la que más sacarosa emplea en sus formulaciones aunque en general todas son susceptibles de hacerlo.

La inversión de la sacarosa se realizó por hidrólisis ácida probándose los ácidos clorhídrico, fosfórico y cítrico. Se decidió trabajar con el fosfórico por su mayor velocidad inicial de inversión, su facilidad de adquisición, la seguridad de su empleo y su costo. Las condiciones óptimas de operación encontradas son una concentración de ácido de 0.18% durante 119.8 minutos a una temperatura de 70°C para obtener una inversión óptima de 82.2%.

Con estas condiciones se espera obtener una disminución del 14.8% en el consumo de azúcar lo que equivale a un ahorro diario de N\$ 5.952.6 respecto a los productos elaborados con sacarosa.

INTRODUCCION

Los jugos y néctares son productos que se consumen tradicionalmente desde hace ya muchos años lo cual no es el caso de las bebidas de frutas que hasta hace relativamente poco tiempo han tenido un fuerte impacto entre ciertos sectores de la población; un rápido vistazo al mercado de las bebidas de sabores, a través de la observación de la oferta en los anaqueles de tiendas y supermercados y en la publicidad, muestra el fuerte desarrollo que han tenido recientemente.

Paralelamente, mientras la demanda de dichos productos va en aumento, el azúcar, que es un ingrediente importante, es afectado por serios problemas para su abastecimiento debido a la crisis que padece la industria desde hace ya varios años.

La importación de azúcar es una medida que siempre está presente para nivelar los requerimientos, sin embargo los déficits en la producción nacional deben causar preocupación por constituir síntomas de debilidad económica.

La solución del problema azucarero es una labor difícil y compleja, sin embargo, azúcar e industria alimentaria van a la par en una gran cantidad de casos y, el precio del primero afecta siempre considerablemente los costos de los productos alimenticios, de modo que la búsqueda de formas de reducir el consumo de sacarosa es una actividad constante en el ramo de los alimentos.

El presente trabajo tiene ese espíritu de reducir consumos de azúcar, pero sin prescindir completamente de ella, a partir del desarrollo de los objetivos enmarcados a continuación.

OBJETIVOS.

OBJETIVO GENERAL:

Evaluar la factibilidad de reducir los costos de producción de jugos, néctares y bebidas de frutas, sustituyendo en su formulación el jarabe de sacarosa por jarabe de azúcar invertido.

OBJETIVOS PARTICULARES:

1. Evaluar la situación actual que presenta la industria azucarera en México y su efecto en la industria de jugos, néctares y bebidas de frutas.
2. Evaluar el grado de inversión de sacarosa que presentan diferentes productos (jugos, néctares y bebidas de frutas) en función del tiempo.
3. Seleccionar un ácido que en función del costo y características del jarabe obtenido, sea el más adecuado para invertir sacarosa.
4. Determinar a qué concentración del ácido seleccionado y a que tiempo se obtiene la mayor inversión de sacarosa con el menor costo de operación.

1. ESTUDIO SOCIOECONOMICO DE LA SITUACION ACTUAL QUE PRESENTA LA INDUSTRIA AZUCARERA Y SU EFECTO EN LA INDUSTRIA DE JUGOS, NECTARES Y BEBIDAS DE FRUTAS.

En la actualidad, la industria alimentaria en México ha venido enfrentando una serie de situaciones adversas que parten de las políticas económicas adoptadas por los últimos gobiernos y que le han afectado desde la escasez de insumos y materias primas, atraso tecnológico, investigación insuficiente, hasta la falta de estímulos financieros y para colocar sus productos en el exterior.

Después de la gran crisis de 1982, el Gobierno de la República inició un proceso de cambio encaminado a transformar la planta productiva, elevar el nivel de eficiencia en general de la economía y a desarrollar el sector exportador para generar los recursos necesarios para el desarrollo. Los objetivos no se cumplieron y en 1987 se alcanzó el nivel más alto de inflación de la historia del país, estando además en peligro de entrar a una situación de hiperinflación abierta hacia fines del año. La medida adoptada entonces fue la firma del Pacto de Solidaridad Económica en 1988 que a la fecha se ha continuado con el nombre de Pacto para la Estabilidad y el Crecimiento Económico y dentro del marco del Plan Nacional de Desarrollo 1989-1994 (41), que tiene dentro de sus objetivos el recuperar el crecimiento con estabilidad de precios.

Dentro de las líneas políticas adoptadas, la política de concertación busca mantener mediante el compromiso de los sectores, certidumbre en la evolución de precios "que propicie gradualmente una mayor determinación automática de los mismos, a medida que se consolide la estabilidad necesaria para la operación ordenada de los mercados y se proteja el poder adquisitivo de los salarios" (41). La política de ingresos públicos tiene como uno de sus propósitos "combinar la ampliación de las bases tributarias de los distintos impuestos y del número de contribuyentes con menores tasas impositivas"(41) y eliminar los tratamientos preferenciales no justificados.

Ante estas medidas, las diferentes industrias han tenido que mantener el precio de sus productos prácticamente estáticos pese a aumentos graduales en sus insumos y, eventualmente, de los salarios. Lo anterior, aunado a los elevados costos de producción, a la contracción del mercado nacional, a las dificultades para exportar (a pesar del actual interés del gobierno para impulsar el comercio exterior) y a la

competencia originada por la apertura comercial, ha provocado una reducción paulatina de su producción, siendo esto particularmente cierto en el caso de las Micro, Pequeña y Mediana Industrias que en el peor de los casos han tenido que desaparecer.

Ante esta situación, la Industria Alimentaria se enfrenta al reto de ofrecer productos de calidad que estén al alcance de los consumidores y que le reditúe ganancias de modo que le haga atractiva la inversión. Las soluciones adoptadas pueden ser muy variadas y en función del tipo de producto de que se trate.

En el caso particular de la producción de bebidas, jugos y néctares (que junto con los refrescos, dulces y chocolates representan un importante renglón de la industria de alimentos) se ha planteado ya desde la década de los años setenta, la posibilidad de reducir costos de producción sustituyendo en las formulaciones el azúcar por otros edulcorantes, buscándose además en algunos casos mejorar el producto en alguna de sus características según el sustituto empleado, como es el caso de las bebidas bajas en calorías. Un ejemplo se encuentra en la amplia utilización que se hizo de los ciclamatos durante la década de los sesenta cuando la producción de este edulcorante llegó a hasta 21 millones de libras por año y era considerado recomendable para la elaboración de alimentos dietéticos. Después de su prohibición en Estados Unidos y otros países, la sacarina y más recientemente el aspartamo son dos de los edulcorantes que más diversidad de aplicaciones han encontrado (13,24).

Hasta el momento, el azúcar continúa siendo el edulcorante más ampliamente utilizado, tanto por tradición y la relativa seguridad de su consumo en la salud, como por la gran estructura comercial internacional que representa, siendo de gran importancia en la economía de prácticamente todas las naciones. Sin embargo, en los últimos años han ocurrido una escasez creciente del dulce y alzas de su precio que fueron particularmente críticos en los años setenta, observándose hasta la fecha sus efectos negativos para la industria.

En México, la actividad azucarera constituye la principal agroindustria del país, siendo importante por las dimensiones de su mercado, los variados usos del azúcar como materia prima, la amplia participación que tiene en el empleo y su potencial participación en exportaciones. Esta actividad con dos millones de dependientes económicos, sesenta mil puestos de trabajo cada año, 130 mil familias involucradas y un peso específico de 350 billones de pesos (51), ha estado ligada siempre a los problemas de la propiedad de la tierra

como parte de la herencia de sojuzgamiento que dejó la colonia. Así mismo, en el campo y en el ingenio se han mezclado todo tipo de conflictos, desde la explotación campesina hasta las prácticas de una comercialización laberíntica y especulativa. Así, a lo largo de su historia, esta rama industrial ha pasado por diferentes fases de expansión y crisis. Durante este siglo, su historia se ha visto ligada al cacicazgo de políticos como Aarón Sáenz, y de extranjeros, como William Jenkins, quienes representaron el poderío que cobró auge durante el gobierno de Manuel Avila Camacho cuando crearon la Comisión Nacional de Productores de Azúcar S.A. y la Unión Nacional de Productores de Azúcar (UNPASA), caracterizándose este periodo porque mientras escaseaba el dulce en México y se condicionaba su venta a la adquisición de otros productos, el país era un exportador mundial, solo antecedido por Cuba (12).

Más recientemente, durante el gobierno de José López Portillo, la crisis se hizo más evidente cuando el país pasó de ser exportador de azúcar a importador: este cambio en la balanza puede observarse numericamente en el cuadro 1 y la figura 1 para el periodo comprendido por los años 1976 a 1982; durante este lapso el nivel de exportación fue de cero y durante varios años el consumo de azúcar superó la producción nacional. El problema se agudizó aún más a principios de la década de los ochentas; para 1983 el Gobierno Federal llegó a controlar 50 de los 68 ingenios que operaban en el país (6), la referencia (51) da la cifra del control de 52 de los 65 ingenios existentes "a principios de la década". Cabe señalar que durante 1983 el volumen de producción fue el más alto registrado hasta entonces (ver el cuadro 1) e, irónicamente, cuando se realizaron también las mayores importaciones del dulce (780,000 Tn) (51,52).

Ante esta difícil situación, y conforme a la estrategia de reordenación frente a la crisis global de la economía, el gobierno emprendió una nueva reestructuración de la industria azucarera, considerando primeramente unificar en un solo organismo la responsabilidad de dirigir y coordinar la actividad. Así, el 13 de julio de 1983 se crea Azúcar S.A. de C.V. en reemplazo de la UNPASA y la Comisión Nacional de la Industria Azucarera (CNIA) (51,52).

La nueva paraestatal, además de administrar los ingenios, comercializaba todo el dulce del país. De este modo, la actividad azucarera llegó a estar sujeta a una serie de regulaciones y condicionantes en materia de precios, sistemas de pago, comercialización e incluso en relación con los métodos de producción, lo que mermó sustancialmente su eficiencia.

**CUADRO 1. PRODUCCION, CONSUMO Y EXPORTACION DE AZUCAR CRUDO
(EN MILES DE TONELADAS) DE 1970 A 1991.**

ANO	PRODUCCION	CONSUMO	EXPORTACION
1970 ¹	2.208	1.841	592
1971 ¹	2.393	1.775	534
1972 ¹	2.359	1.910	579
1973 ¹	2.592	2.165	568
1974 ¹	2.649	2.173	480
1975 ¹	2.548	2.234	138
1976 ¹	2.547	2.510	0
1977 ¹	2.541	2.467	0
1978 ¹	2.849	2.729	0
1979 ¹	2.881	2.886	0
1980 ¹	2.603	2.921	0
1981 ¹	2.360	3.050	0
1982 ¹	2.667	2.660	0
1983 ¹	2.893	2.870	12
1984 ¹	3.045	2.930	70
1985 ¹	3.228	3.130	123
1986 ¹	3.691	3.450	275
1987 ²	3.744	3.428	505
1988 ²	3.592	3.511	933
1989 ²	3.472	3.734	496
1990 ^{*2}	3.174	2.791	5
1991 ^{*2}	3.493		

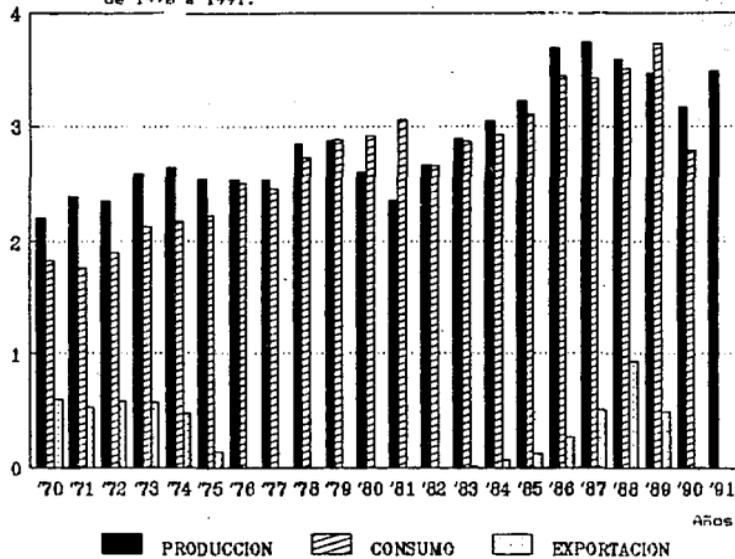
* Cifras preliminares.

FUENTE: 1. Arrieta Dávila Carlos. La amarga historia del azúcar. Decisión. Año IX. No. 110. Méx. 1988. Pág.24.

2. Azúcar S.A. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Tercer Informe de Gobierno 1993. Anexo. Pág. 219.220.

FIGURA 1.

Miles de ton Producción, consumo y exportación de azúcar crudo,
de 1970 a 1991.



En 1984, 1985 y principalmente en 1986, se registraron zafras record (ver cuadro 2) que motivaron un crecimiento anual promedio de 8.4% en la producción azucarera, lo cual permitió recuperar la autosuficiencia en 1985. Tanto en el campo como en los procesos de fábrica se apreciaron avances que sustentaron el dinamismo de la actividad. Durante esos tres años se incorporaron al cultivo cañero casi 70 000 hectáreas más y se detuvo la tendencia al envejecimiento de los campos cañeros. Esto contribuyó a aumentar el rendimiento medio por hectárea de 68.4 Toneladas en 1983 a 73 toneladas en 1986. El mejoramiento de la capacidad productiva en el campo se reflejó también en el mayor contenido de sacarosa de la caña, la cual ascendió a 11.8% en 1986, superior al de las ocho zafras anteriores (6). Todo esto contribuyó a conseguir de nuevo la autosuficiencia y reiniciar la exportación al superarse el incremento del consumo interno, esto puede observarse en el cuadro 1 (pag. 4) para los años 1984 a 1987.

Aquí es importante señalar que el índice de consumo interno ha venido descendiendo de 5.1 en los años setenta a 3.1 en el trienio de 1984 a 1986 lo que ayudó a eliminar el déficit de la oferta nacional frente a la demanda, y como consecuencia tanto de la búsqueda de sustitutos por parte de la industria, como por el deterioro de la economía en la mayor parte de la población (6).

Pese a este avance en la producción, no se superaron otros problemas de fondo como las deficiencias administrativas y de mantenimiento, índices de producción aún bajos, altos costos de elaboración, estructuras financieras viciadas, políticas irreales en el precio del producto, contratiempos en la distribución y comercialización, entre otros muchos, además de que las ventas al exterior enfrentan el proteccionismo de los países industrializados, la competencia de otros países productores, y la competencia de edulcorantes alternos (3,6).

Todo lo anterior determinó que Miguel de la Madrid tomara la determinación de iniciar la venta de los ingenios (en poder del Estado desde la época de Luis Echeverría Álvarez) con el fin de reestructurar la industria y sacarla adelante, ya que a fines de su mandato México debió importar 300 000 toneladas de azúcar. Sin embargo, esto originó nuevas tensiones: la privatización de la industria ha discriminado al sector social y favorecido a grupos empresariales tales como "Xabre", "Beta", "Escorpión", "Querétaro" y "Gamesa", la mayoría de ellos representantes de firmas refresqueras las cuales tienen el objetivo de autoabastecerse de azúcar para la elaboración de los refrescos, absorbiendo el 30% de la producción (12).

CUADRO 2. VOLUMEN DE LA PRODUCCION DE CANA DE AZUCAR EN EL PERIODO 1959-1987.

AÑO	VOLUMEN (Miles de Ton)
1959*	17.765
1960**	19.542
1961*	19.167
1962*	21.116
1963*	22.327
1964*	26.990
1965**	30.956
1966***	32.229
1967**	32.107
1968**	31.683
1969**	32.446
1970**	34.651
1971***	32.715
1972***	32.252
1973***	32.861
1974***	33.499
1975***	35.841
1976***	31.387
1977****	29.397
1978****	35.475
1979****	34.587
1980****	36.480
1981****	34.905
1982****	36.940
1983*****	32.489
1984*****	34.746
1985*****	35.689
1986*****	40.375
1987*****	

- * Sexenio del lic. Adolfo López Mateos
- ** Sexenio del lic. Gustavo Díaz Ordaz
- *** Sexenio del lic. Luis Echeverría Álvarez
- **** Sexenio del lic. José López Portillo
- ***** Sexenio del lic. Miguel de la Madrid Hurtado

FUENTE: Arrieta Dávila Carlos. La amarga historia del azúcar. Decisión. Año IX. No. 110. Méx. 1988. Pao. 27.

La venta de los ingenios se inició con irregularidades al destinarse los mejores a grupos empresariales poderosos, como los anteriormente señalados, violándose el acuerdo que establecía la adquisición de un ingenio productivo con otro deficitario (12).

El gobierno de Carlos Salinas de Gortari recibe a la industria azucarera quebrada y con un futuro incierto, atravesando la más grave crisis de su historia.

Durante la actual administración, la venta de los ingenios ha continuado, aunque la crisis del mercado (precio por encima del internacional, sobresaturación de mercancía, caída de la demanda) ha causado que los empresarios, cuya aparición fue considerada como la solución del problema, hayan aumentado su deuda con la Financiera Nacional Azucarera (FINASA) más allá de las posibilidades de pago poniendo en riesgo el saneamiento financiero del sector azucarero, lo que a su vez se traduciría en menores inversiones encaminadas a modernizar la agroindustria y a la posibilidad de que no pudieran hacer frente a su deuda y el Gobierno Federal tuviera que volver a administrar el sector (51).

Quedaba claro que la verdadera naturaleza del problema azucarero consiste en que ni bajo la administración gubernamental ni con la privatización se logró crear una estructura coherente, eficaz y global.

A partir de 1986 se esperaba un crecimiento constante en el sector dados los logros obtenidos en ese año y aunado a las ventajas que se esperaban de la venta de los ingenios. Para la zafra 1986-1987 se obtiene la máxima superficie cosechada de caña (587 mil hectáreas) y la mayor producción de azúcar (3 744 000 tn). Pero en adelante los números volvieron a descender siendo necesario realizar importaciones para 1989 y la mayor, hasta ese momento, en 1990 (ver el cuadro 1, pag. 4). Esta situación fue un factor que contribuyó fundamentalmente a la crisis de la agroindustria y como consecuencia de la apertura indiscriminada de fronteras que decidió el Gobierno de la República luego del desabasto de azúcar, lo que implicó la importación, entre 1990 y 1991, de 2,500,000 toneladas por encima de la producción nacional (3,600,000 ton) y a un precio más bajo que el interno (15).

En estas condiciones, el 27 de noviembre de 1990 el gobierno convocó a la firma de un convenio para la reestructuración del sector completo con el concurso de las cámaras, los cañeros y la paraestatal responsable, pero los compromisos derivados de dicha reunión no fueron cumplidos por ninguna

de las partes.

El problema de la sobresaturación del mercado (consecuencia de la liberalización de las importaciones) está afectando seriamente la rentabilidad de la industria en la actualidad; se estima que esta sobreoferta rebasa el millón de toneladas, lo que significa que los inventarios actuales no se podrían acabar de consumir sino hasta el segundo semestre de 1973. El gobierno analiza la posibilidad de cancelar algunos contratos de importación y de realizar exportaciones temporales, pero esto no ofrece una solución de fondo en un marco donde existe un mercado internacional distorsionado donde países como los miembros de la Comunidad Económica Europea (CEE) ofrecen azúcar por debajo de sus costos de producción (51).

Las expectativas generales para el presente son desfavorables. Existe carencia de reglas claras de producción, de tiempos, de exportación e importación y de comercialización. Para agosto de 1972 se tienen dos ingenios totalmente quebrados, Zacatepec y El Mante; más de una decena en virtual quiebra, y la mayoría de ellos en plena descapitalización, lo que se traduce en una alarmante incapacidad de la industria para satisfacer los requerimientos del consumo nacional que para 1972 se calculó en 4.5 millones de toneladas; la zafra 1971-1972 se estima en 3.2 millones de toneladas, lo que denota un déficit de 900,000 toneladas. Un agravante más han sido las malas condiciones climáticas de principios de 1972 que provocaron que se dejarán de moler alrededor de 5 millones de toneladas de caña, según Azúcar S.A., agregando que al no ser autosuficientes, se tendrá que seguir importando azúcar en los próximos años y plantea además la urgencia de regular la internación de azúcar al país para no repetir la "muy amarga experiencia" de hace dos años "y de la cual todavía estamos pagando las consecuencias" al importar masivamente el producto (22,35).

Toda esta problemática ha causado preocupación más allá de nuestras fronteras. El Departamento de Agricultura de Estados Unidos en un documento editado en marzo de 1971 analiza la situación y resume un probable futuro: "De acuerdo con las proyecciones de una elevada producción y una disminución en el consumo, México tendría un superhábit para exportación de 800 mil toneladas para 1976. Y viceversa, la combinación de una baja producción y un aumento en el consumo darían como resultado la importación de 2.8 millones de toneladas de azúcar" (51).

Estudios sobre esta problemática se han llevado a cabo también en nuestro país por diversos organismos no oficiales

v las conclusiones han arrojado propuestas relativamente sencillas, como en el caso de la Universidad Autónoma Metropolitana que estudia el caso desde hace más de diez años: "la industria azucarera ha seguido una estrategia costosa, supeditada a la tecnología impuesta por las grandes compañías productoras de refrescos, y ha demorado el desarrollo de opciones a la producción de azúcar refinada, como serían los jarabes invertidos o azúcares líquidos, que se pueden producir a partir de la caña de azúcar con un menor costo energético, equipo menos oneroso y una reducida importación de tecnología y maquinaria"(15).

Por todo lo anterior, las perspectivas del azúcar aún no son alentadoras a corto plazo y, considerando además que dentro de la actual reestructuración se está buscando la fijación de precios reales acordes con los costos, es de interés avanzar en la búsqueda de sustitutos que permitan reducir la incertidumbre respecto al abastecimiento de la materia prima, reducir costos y asegurar la calidad de los diferentes productos manteniendo la continuidad de su producción.

Sin embargo, desplazar completamente al azúcar como materia prima constituye una solución muy drástica desde diferentes puntos de vista. Por un lado se ha revisado ya brevemente la importancia económica, política y social que tiene esta agroindustria, de modo que no es fácil pensar en su eliminación pues implicaría un costo social muy elevado, además de que los diferentes intereses creados en su entorno lo impedirían.

Por otro lado, las industrias que han intentado la sustitución de la sacarosa han observado que no cualquier edulcorante puede ser utilizado pues aquellos denominados sintéticos o artificiales están sujetos a estrictas reglamentaciones y continuas investigaciones para evitar que produzcan daños a la salud pública y, siendo sus productos, en muchos casos, de una antigua tradición, resulta riesgoso modificar sus atributos sensoriales lo que podría repercutir en el rechazo del consumidor ante los "nuevos sabores".

Debido a lo anterior, la industria alimentaria que requiere de edulcorantes no pretende de manera directa dicha sustitución. Más bien ha diferenciado, en general, a sus productos como aquellos que contienen azúcar, naturales o "normales", y aquellos que no la contienen, etiquetándolos de diferente forma como dietéticos, ligeros, etc. Una variante de lo anterior es la mezcla de dos o más edulcorantes naturales o sintéticos en un mismo producto.

La industria de jugos, néctares y bebidas de frutas es un caso en el que repercute directamente la problemática del sector azucarero, pues el dulce representa el segundo ingrediente de importancia en la formulación de los productos.

En esta industria, el empleo de edulcorantes alternos tiene algunas dificultades específicas: primeramente y considerando lo que es un jugo, este producto no debería llevar dulce extra, sin embargo se permite su adición cuando la cantidad no sobrepasa lo establecido en las normas y se le señala en la etiqueta.

Los jugos y néctares, por otro lado, son consumidos en buena parte por un un sector que los busca como alimento, esto es, deportistas, enfermos, gente que sigue una dieta o que gusta de comer fruta, y por lo mismo difícilmente aceptaría un producto adulterado con ingredientes "artificiales" o con sabores extraños o diferentes al de las frutas en cuestión.

La población que consume bebidas de frutas, o con sabor a frutas, está más bien preocupada por adquirir un producto de bajo precio y de "buen sabor", esto es, de acuerdo a sus costumbres gastronómicas en las que por lo general predomina el sabor del azúcar por ser éste consumido desde temprana edad.

Tomando en cuenta lo antes expuesto se observa la necesidad para la industria de jugos, néctares y bebidas de fruta, de implementar una estrategia que no elimine completamente el empleo de la sacarosa, pero sí que reduzca su consumo. Diversas posibilidades pueden seguirse mediante la experimentación con los diferentes edulcorantes naturales o con mezclas de éstos y con edulcorantes artificiales. De entre las diversas posibilidades se propone al azúcar invertido como sustituto de la sacarosa, considerando que se trata de un edulcorante natural y producto de la hidrólisis del mismo azúcar con propiedades similares a éste, pero con la ventaja de ser más dulce.

2. CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS EDULCORANTES

De los sentidos humanos, el del gusto tiene una gran importancia por sus implicaciones psicológicas y socioculturales que originan, por ejemplo, que un alimento se considere seguro para la salud si sabe bien y peligroso o tóxico si es amargo; así mismo, un alimento es agradable si es dulce (19,44).

Durante mucho tiempo, la sacarosa mejor conocida como azúcar fue el edulcorante natural más ampliamente utilizado tanto en la industria alimentaria como en los hogares. Sin embargo, en los últimos años se ha originado un creciente interés en la investigación y desarrollo de sustitutos, motivado esto por los factores ya descritos en el capítulo anterior a los cuales se les puede añadir las recomendaciones de asociaciones dentales, intolerancia a glucosa en diversos tipos de pacientes, problemas de obesidad, y la búsqueda de edulcorantes más adecuados a procesos industriales específicos o a gustos locales. Estas investigaciones abarcan en la actualidad un amplio panorama que incluye una gran variedad de sustancias capaces de producir sabor dulce.

En 1985, el Consejo de Control de Calorías definió a un edulcorante ideal como "aquella sustancia que puede tener igual o mayor dulzor que la sacarosa y que es incoloro, inodoro, fácilmente soluble, estable y con las características de funcionalidad y economía viables; asimismo, debe reducir o no aportar calorías a la dieta, debe metabolizarse normalmente o ser no nutritivo sin presentar efectos tóxicos o contribuir a la caries dental". Sin embargo, en la actualidad no se conoce ningún edulcorante que posea el total de las características mencionadas, lo que hace necesario efectuar en muchos casos la selección de aquel o aquellos que resulten más adecuados para cada proceso en particular (16,24).

Los edulcorantes se emplean en la industria alimentaria no solo para aportar sabor dulce a los alimentos, en ocasiones cubren ciertas características en base a sus propiedades funcionales (cuerpo, textura, desarrollo de color, etc.) así como para actuar como agentes dispersantes, englobantes, fijativos, etc. afectando la viscosidad, consistencia, cuerpo y sensación bucal de los productos en que se emplean (40).

2.1 CLASIFICACION DE LOS EDULCORANTES

Existe una gran diversidad entre las estructuras y propiedades de los compuestos químicos con poder edulcorante, lo que hace difícil una clasificación de estas sustancias; en la figura 2 se muestran algunas de estas estructuras. Diversos criterios han sido tomados en cuenta para efectuar diferentes clasificaciones; a continuación se enumeran las más importantes:

a) De acuerdo a su origen. Según se encuentren en la naturaleza (extrayéndose de fuentes naturales) o se obtengan mediante una síntesis química, se clasifican en naturales (sacarosa, glucosa, fructosa, etc.) y artificiales o sintéticos (sacarina, aspartame, ciclamato, etc.) respectivamente.

Esta clasificación no es del agrado de algunos investigadores que argumentan que dicha discriminación no se justifica al poder demostrarse que tanto compuestos naturales como sintéticos pueden encontrarse tanto en la naturaleza como pueden producirse sintéticamente (50), sin embargo, es una de las más empleadas.

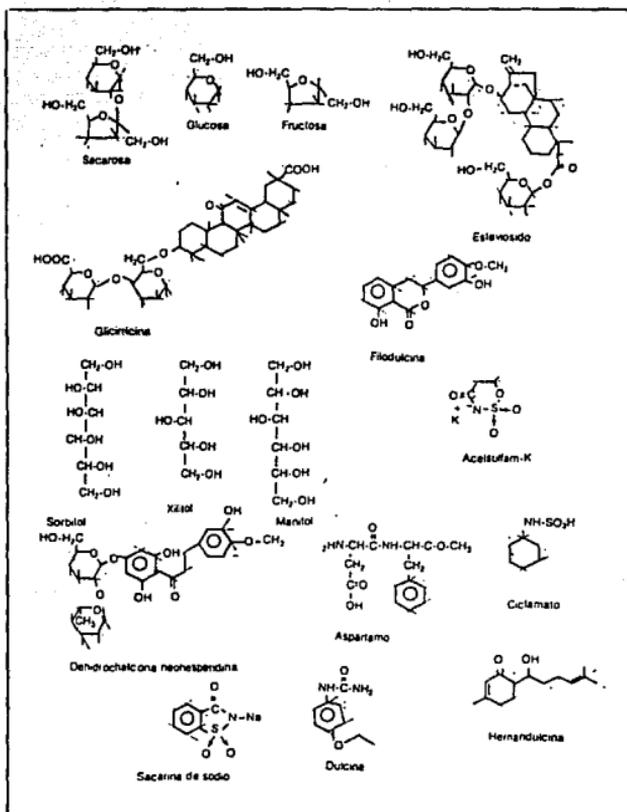
b) De acuerdo a su estructura los edulcorantes naturales pueden clasificarse a su vez en hidratos de carbono o carbohidratos, alcoholes polihídricos, glucósidos, proteínas y otros. Por su parte, los edulcorantes artificiales muestran tales diferencias en su estructura química que no es posible clasificarlos de este modo.

En el cuadro 3 se muestra un esquema de la clasificación de edulcorantes de acuerdo a su origen y estructura.

c) De acuerdo a su comportamiento fisiológico se tienen edulcorantes nutritivos y no nutritivos según se metabolizan o no en el organismo. Ejemplos de los primeros son el aspartame y la sacarosa, entre los no nutritivos se encuentra la sacarina y el neozúcar.

d) De acuerdo a su valor calórico se tienen edulcorantes dietéticos, cuando su ingestión proporciona un bajo nivel calórico, y no dietéticos, cuando su ingestión proporciona un alto nivel calórico. Ejemplos de edulcorantes dietéticos son la sacarina, ciclamato, manitol; edulcorantes no dietéticos son la sacarosa, xilitol, taumatina.

FIGURA 2 Estructura química de algunos compuestos adulcorantes.



e) Desde un punto de vista tecnológico, Von Rymon Lipinsky (52) propone tres grupos de compuestos. El primer grupo comprende al azúcar y productos con estructura similar (fructosa, glucosa, jarabes de almidón hidrolizados, etc.). El segundo grupo coloca productos de bajo poder edulcorante y cuyo uso ha sido enfocado principalmente a personas que no pueden metabolizar a la sacarosa, además de que no pueden ser fácilmente metabolizados por bacterias como los compuestos del primer grupo; los productos de este grupo son esencialmente alcoholes polihídricos, además de otros como maltitol, lactitol y jarabes de almidón hidrogenado. En el tercer grupo se encuentran "edulcorantes intensos", compuestos de hasta 1000 veces el dulzor de la sacarosa y que no contribuyen al contenido energético de alimentos y bebidas y no proveen de otras funciones técnicas o propiedades funcionales.

f) Finalmente, una forma sencilla de agrupar a los compuestos edulcorantes (aunque no corresponde propiamente a una clasificación formal) es mediante su ordenamiento según su intensidad de dulzor. En el cuadro 4 se enlistan algunos de ellos en esta forma.

De las clasificaciones anteriores se optó por aquella en base a su origen y estructura para llevar un seguimiento esquemáticamente sencillo en la presentación del siguiente resumen de las características de algunos de los compuestos más importantes.

2.2.1 EDULCORANTES NATURALES

2.2.1.1 CARBOHIDRATOS

En un principio el nombre de "carbohidratos" o "hidratos de carbono" fue aplicado a sustancias tales como los azúcares, el almidón y la celulosa, que tenían fórmulas empíricas del tipo $C_x(H_2O)_y$ pero posteriormente se descubrió que la generalización estequiométrica no resultaba siempre válida. El término sin embargo, se ha conservado hasta nuestros días para designar este importante grupo de compuestos naturales que constituyen los nutrimentos más abundantes y baratos que se encuentran en la naturaleza y por lo tanto los más consumidos por el hombre; representan más de la mitad de la materia orgánica distribuyéndose principalmente en los vegetales al ser elaborados por el proceso de fotosíntesis que utiliza la energía solar para reducir o fijar el dióxido de carbono a lo largo de una serie de reacciones individuales catalizadas por enzimas y aun no comprendidas en su

CUADRO 4. PODER EDULCORANTE DE DIFERENTES COMPUESTOS.

COMPUESTO	PODER EDULCORANTE RELATIVO (SACAROSA = 1)
α-D-galactosa	0.27
α-D-lactosa	0.27
β-D-lactosa	0.48
Dulcitol	0.4
β-D-glucosa	0.4
Neosugar	0.4-0.6
Maltosa	0.5
Sorbitol	0.5
α-D-manosa	0.59
α-D-glucosa	0.6-0.7
D-xilosa	0.7
Manitol	0.7
Glicerol	0.8
Sacarosa	1.0
Xilitol	1.0
Jarabe invertido	1.05-1.3
Jarabes de maíz ricos en fructosa	1.0-1.3
Fructosa en solución (5-15%)	1.15-1.25
Fructosa cristalina	1.8
Liclasina 25-30 Ciclamato	300-800
Glicirricina	50-100
Aspartame	100-200
Acesulfame-K	130-200
Sacarina	200-700
Dulcina	250
Esteviósido	300
Naranquina dehidrochalcona	350
Filodulcina	400
Glucósidos de la fruta de Lo-Han	400
Sucralosa	600-800
Hernandulcina	1000
Neohesperidina dehidrochalcona	2000
Alitame	2000
Monelina	2000-2500
Taumatina	2500
5-nitro-2-propoxilaniclina (P-4000)	4000

FUENTE: Rodríguez - Palacios, F. J., et. al. (1986); "EDULCORANTES"; Tecnología de Alimentos; 21 (4):14 ; Godshall M.A. (1990); "USE OF SUCROSE AS SWEETENER IN FOODS"; 35(4):385 ; y Baduí D. S. Química de los Alimentos. Alhambra. Méx. 1986. Pág. 71.

totalidad. La ecuación general de la fotosíntesis puede representarse de la siguiente forma:



Los carbohidratos actúan como depósitos químicos de energía solar, la cual es transferida posteriormente al adenosin de trifosfato (ATP) apartir del adenosin de difosfato (ADP) durante el metabolismo.

Algunas propiedades funcionales de los azúcares son (9):

- 1) Tienen dulzura.
- 2) Son solubles en agua y facilmente forman jarabes.
- 3) Cuando se evapora el agua de sus soluciones. forman cristales.
- 4) Proporcionan energía para la nutrición.
- 5) Son facilmente fermentados por los microorganismos.
- 6) Al ser calentados sufren reacciones de caramelización, relacionadas con la formación de compuestos coloridos.
- 7) En presencia de aminoácidos se combinan para producir colores oscuros (reacción de encafecimiento de Maillard).
- 8) Dan cuerpo y consistencia a soluciones.

Quimicamente los carbohidratos son compuestos polihidroxi-alifáticos que contienen grupos carbonilo y carboxilo en sus derivados simples, por lo que se denominan respectivamente polihidroxi-aldehidos y polihidroxi-cetonas.

Para su clasificación existen diferentes criterios:

- a) por su distribución y uso en alimentos;
- b) por su poder edulcorante;
- c) por su distribución en la naturaleza;
- d) por su estructura química.

De acuerdo a su uso en alimentos se tienen azúcares, almidones, gomas, pectinas, etc. Dentro del cuadro 4 (pag.17) se muestra el poder edulcorante de algunos azúcares y en el cuadro 5 se muestra la distribución de carbohidratos en la naturaleza. También pueden separarse en carbohidratos aprovechables y no aprovechables. La forma más común de clasificarlos es la que se refiere a su estructura química que se basa en el tamaño de la molécula o número de átomos que contenga; de este modo se tienen mono, oligo y polisacáridos (7).

CUADRO 5. DISTRIBUCION DE CARBOHIDRATOS EN LA NATURALEZA.

EN ANIMALES:

Reserva energética : glucógeno
En ácidos nucleicos: D-ribosa
Azúcar de la sangre: D-glucosa
Azúcar de la leche : lactosa

EN PLANTAS:

Reserva energética : almidón, inulina, hemicelulosa
Producto de la
fotósisntesis : D-glucosa
Productos de
degradación : gomas y mucílagos
Productos varios : fructosa, sacarosa, etc.

FUENTE: BADUI D. S. Química de los Alimentos. Alhambra. Méx.
1986. Pag. 43.

Los monosacáridos son los azúcares más simples y son los elementos de construcción de los carbohidratos más complejos que van desde los disacáridos y trisacáridos hasta las dextrinas cuya cadena es intermedia, y los almidones, celulosas y hemicelulosas, gomas y pectinas. cuyas moléculas pueden contener varios centenares de las unidades de monosacáridos.

En general, la estructura química de los carbohidratos determina su funcionalidad y sus propiedades en los sistemas alimenticios afectando sus características de sabor, viscosidad, estructura y color, principalmente.

Los grupos químicamente reactivos de los azúcares son los grupos $-OH$ ó hidroxilos alrededor de la estructura anular,

$$\begin{array}{c} O \\ // \\ -C \\ \backslash H \end{array}$$
 y los grupos $-C$ ó aldehidos y $-C$ ó cetona en los anillos

abiertos. Los azúcares que poseen estos grupos aldehidos o cetonas libres son los llamados reductores en medio alcalino y se enolizan rápidamente para reducir iones como el Cu^{2+} y el $Fe(CN)^{3-}$. Si estos grupos unen dos o más monosacáridos y dejan de estar libres, se les denomina a los azúcares resultantes no reductores.

En el cuadro 6 se muestra de modo resumido la fuente de obtención y algunas de las aplicaciones más importantes de dichos carbohidratos (4,7,9,19,24,31,32,44,48).

2.2.1.2 GLUCOSIDOS

Este grupo está formado por un azúcar reductor y un no carbohidrato denominado aglucón, cuya unión se efectúa a través del carbono anomérico del azúcar.

En el cuadro 7 se muestra de modo resumido la fuente de obtención y algunas de las aplicaciones más importantes de varios glucósidos (24,44).

CUADRO 6. FUENTE DE OBTENCION Y APLICACIONES DE DIFERENTES CARBOHIDRATOS.

CARBOHIDRATO	FUENTE	APLICACIONES
Sacarosa	Diversos vegetales caña de azúcar y remolacha	Puede ser empleada en practicamente todos los productos alimenticios (4,7,9,19,24,31,32,44).
Lactosa	Leche de vaca	Agente retensor de sabores artificiales, aromas y color (7,19,31,34)
Glucosa	Diversas frutas, producto de la hidrólisis de almidón.	Confitería, panificación, bebidas (7,19,44).
Fructosa	Miel, vegetales y frutas, hidrólisis de fructosanos	Puede ser empleada en practicamente todos los productos alimenticios (7,19,24,44).
Maltosa	Hidrólisis de almidón	Confitería, helados, jugo de frutas (4,7,44).
Az.invertido	Hidrólisis de sacarosa	Confitería, conservas, bebidas, panificación (7,9,19,31,44,48).
Edulcorantes de maíz	Hidrólisis de maíz	Alimentos infantiles, panadería, cervezas, bebidas, confitería, etc. (7,19,24,31,44).

CUADRO 7. FUENTE DE OBTENCION Y APLICACIONES DE DIFERENTES GLUCOSIDOS.

GLUCOSIDO	FUENTE	APLICACIONES
Esteviósido	<i>Stevia rebaudiana</i>	- - (24.44).
Glicirricina	<i>Glycyrrhiza glabra</i>	Chocolates v saborizantes artificiales (24.44)
Filodulcina	<i>Hydranga macrophylla</i>	Caramelos, goma de mascar, pastas de dientes (24.44).
Osladina	<i>Polypodium vulgare</i>	- - (24.44).
Glucósido de la fruta de Lo-han	<i>Momordica grosvenori</i>	- - (24.44).

2.2.1.3 PROTEINAS

Las propiedades edulcorantes de este grupo se han estudiado hasta fechas muy recientes encontrándose un gran poder edulcorante en varios casos.

En el cuadro 8 se muestra de modo resumido la fuente de obtención y algunas de las aplicaciones más importantes de algunas proteínas (24,44).

2.2.1.4 ALCOHOLES POLIHIDRICOS O POLIOLES

La reducción de sustancias carbonílicas da lugar a sus correspondientes alcoholes. Así, en condiciones adecuadas, las aldosas y cetosas se reducen produciendo polioles. Las "poliol deshidrogenasas" también conocidas como aldosas reductasas son las enzimas que catalizan la reducción de los azúcares. Estas reducciones también se han utilizado para la interconversión de los azúcares, como es el caso de la obtención de fructosa a partir de glucosa.

Los polioles en general son de sabor dulce. Algunos de los que se han estudiado tienen uso potencial en la industria de los alimentos (9).

En el cuadro 9 se muestra de modo resumido la fuente de obtención y algunas de las aplicaciones más importantes de dichos compuestos (4,9,19,21,24,44).

2.2.2 EDULCORANTES SINTETICOS O ARTIFICIALES

Es a partir de los años sesentas como resultado de la creciente demanda por los productos bajos en calorías, que los edulcorantes artificiales empiezan a tener popularidad la cual se ve incrementada posteriormente por la búsqueda de nuevos sustitutos del azúcar motivada por el alza en su precio durante la década siguiente. Pero aún en la actualidad, este desarrollo de nuevas alternativas de edulcorantes sigue presentando los mismos problemas; se sabe muy poco sobre el mecanismo del gusto y las estructuras químicas de los nuevos agentes edulcorantes son tan variadas que resulta casi imposible predecir que estructuras pueden producir dulzor. Por otro lado las técnicas y pruebas de seguridad de los nuevos compuestos representan altos costos y

CUADRO 8. FUENTE DE OBTENCION Y APLICACIONES DE DIFERENTES PROTEINAS EDULCORANTES.

PROTEINA	FUENTE	APLICACIONES
Taumatinas	<i>Thaumatococcus danielli</i>	Gomas de mascar, bebidas carbonatadas, potenciador de sabores como café y menta (22,44).
Miralina o Milagrosina	<i>Synsepalum dulcificum</i>	- - (22,44).
Monelina	<i>Discoreophyllum cumminsii</i>	- - (22,44).
Hernandulcina	<i>Lippia dulcis</i>	- - (22,44).

CUADRO 9. FUENTE DE OBTENCION Y APLICACIONES DE DIFERENTES ALCOHOLES POLIHIDRICOS O POLIOLES.

POLIOOL	FUENTE	APLICACIONES
Sorbitol	Algunos frutos y vegetales, hidrogenación de glucosa	Gomas de mascar, productos dietéticos, bebidas refrescantes (4,19,44).
Xilitol	Diferentes vegetales, Transformación de xilanos	Gomas de mascar, alimentos para diabéticos, potenciador de sabores (9,21,24,44).
Manitol	Idrogenación de jarabes invertidos	Potencialmente en alimentos en polvo y gomas de mascar (4,9,24,44).
Isomalta	Mezcla de α -D-glucopiranosil-1,6-manitol y α -D-glucopiranosil-1,6-sorbitol	Dulces, gomas de mascar, alimentos para diabéticos (9,19,21,24,44).

los resultados están sujetos a años de escrutamiento regulatorio, antes de estar listos para su producción comercial.

En el cuadro 10 se muestra de modo resumido la fuente de obtención y algunas de las aplicaciones más importantes de varios edulcorantes sintéticos o artificiales (4,21,24,44).

CUADRO 10. FUENTE DE OBTENCION Y APLICACIONES DE DIFERENTES EDULCORANTES SINTETICOS O ARTIFICIALES.

EDULCORANTE	FUENTE	APLICACIONES
Acesulfam K	Derivado del ácido aceto-acético	Potencialmente en bebidas, lácteos, alimentos balanceados (21,24,44).
Dehidrochalconas	Isomerización y rug-tura de anillos flavonoides mediante hidrogenación alcalina	Potencialmente en confitería, jugos, gomas de mascar, fármacos (4,21,24,44)
Aspartamo	Unión de los aminoácidos L-aspártico y L-fenilalanina	Cereales, gomas de mascar, bebidas, lácteos, dulces, etc. (21,24,44).
Alitame	Unión del ácido L-aspártico, D-alanina y 2,2,4,4-tetrametiltietanilamina	Potencialmente en bebidas y productos farmacéuticos (4,21,24,44).
Ciclamato	Sulfonación de ciclohexalamina	Alimentos bajos en calorías, pastillas edulcorantes, bebidas carbonatadas (4,21,24,44).
Sacarina	Derivado del anhídrido ftálmico	Alimentos dietéticos y para diabéticos, bebidas, confitería, etc. (4,21,24,44).
Glicirrizina	Extracto del licor de raíz	Agente activador de superficie, saborizante de tabaco, fármacos (21,24)
Poliazúcar	Unión de sacarosa y un polímero de alcohol vinílico	- - (21,24,44).
Neozúcar	Por acción enzimática de fructosil transferasa sobre sacarosa	Alimentos bajos en calorías (4,21,24,44).
Sucralosa	Clorinación selectiva de sucrosa	Potencialmente en bebidas y alimentos bajos en calorías (4,21,24,44).
L-azúcares	Estereoisómeros de los azúcares -D	Potencialmente en alimentos bajos en calorías (4,21,24,44).

3. CARACTERISTICAS DE LA SACAROSA.

3.1 ORIGEN Y ESTRUCTURA

La sacarosa, azúcar de caña o de remolacha es de los edulcorantes más antiguos conocidos por el hombre y de los más ampliamente utilizados; sus referencias alcanzan los primeros registros escritos. Es seguramente el edulcorante más antiguo derivado de plantas que se cultivan en forma comercial. Se encuentra distribuida en gran variedad de plantas, pero solo cuatro son fuentes comerciales para su producción industrial: la caña de azúcar, la remolacha, el árbol de palma y el arce. Cuando los azúcares de diversos orígenes están bien refinados son, para todos los fines prácticos, idénticos en pureza y en caracteres físicos. De este modo, el azúcar refinado es una de las sustancias más puras de entre todas las producidas en gran volumen pues es sacarosa en aproximadamente el 99.9% (32)

Químicamente es un disacárido con fórmula molecular $C_{12}H_{22}O_{11}$, constituido por α -glucosa y β -fructosa, el primero en forma piranósica y el segundo en forma furanósica, unidos por el enlace glucosídico β -(1 \rightarrow 2). De aquí que la sacarosa no posea grupos carbonílicos libres y sea, por lo tanto, un azúcar no reductor dando pruebas negativas con las soluciones de Benedict y Tollens, y no presentando además mutarrotación por lo cual probablemente se deba que sea fácilmente cristalizable y muy estable en su forma seca. En la figura 3 se muestra una representación de la estructura de la sacarosa (8,46).

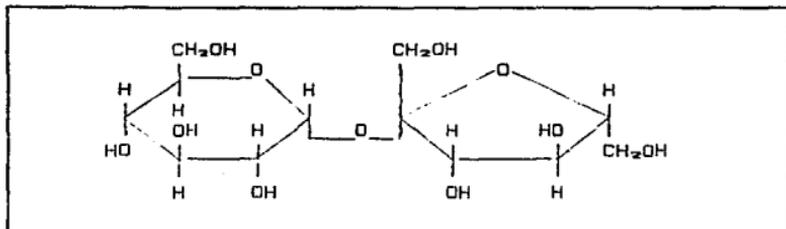


FIGURA 3. Representación de la estructura de la sacarosa.

3.2 PROPIEDADES FISICAS.

La sacarosa es una sustancia soluble en el agua que cristaliza en forma monoclinica característica, siendo sus cristales de forma romboide y perfectamente bien definidos; el punto de fusión de los cristales es aproximadamente de 184°C; es facilmente soluble en agua, alcohol etílico anhidro, éter, cloroformo y en el glicerol anhidro. Su densidad es de 1.58046 g/cm³ (a 17.5°C, referida al agua a 17.5°C) (17.32). Hugot (28) da algunos otros valores de densidad para el azúcar:

Densidad del azúcar en cristal	=1.6 g/cm ³
Densidad aparente (es función de la forma y uniformidad de los cristales)	=0.8-1.0 g/cm ³
Densidad de azúcares blancos de alta titulación, puede llegar hasta	=0.75 g/cm ³
Densidad frecuente en azúcares crudos	=0.85-0.90 g/cm ³

La vibración que se presenta al llenar los sacos compacta al azúcar en un 10 a 20% y modifica los valores de densidad (28)

La propiedad física más notable de la sacarosa es su sabor dulce y es frecuentemente empleada como referencia o patrón en la comparación del dulzor, con valor de 1 o 100. Su segunda propiedad más destacada es su solubilidad en el agua (7,9), el cuadro 11 muestra algunos valores de solubilidad en función de la temperatura de solución.

CUADRO 11. SOLUBILIDAD DE LA SACAROSA A DIFERENTES TEMPERATURAS.

T(°C)	S*(g sacarosa % solución)	S*(g sacarosa % H ₂ O)
20	66.32	196.9
40	70.14	234.9
60	74.24	288.2
80	78.62	367.7

* En estado de saturación.

FUENTE: HUGOT E. Manual para ingenieros azucareros. Cía. Editorial Continental, S.A. de C.V. México, 1984. pag. 557.

Cuando la sacarosa se disuelve en agua o cuando se diluye una solución de sacarosa, el volumen de la solución resultante es siempre menor que la suma de los volúmenes de los componentes, a esta propiedad se le conoce como contracción (28).

3.3 PROPIEDADES QUIMICAS.

Las reacciones más importantes en que participa la sacarosa son las siguientes: hidrólisis, fermentación, oxidación, y degradación alcalina y ácida. Estas se comentan brevemente enseguida.

En medio ácido y en presencia de calor, la sacarosa se descompone en sus dos monómeros D-glucosa y D-fructosa conociéndose esta reacción como inversión. Esta hidrólisis también puede llevarse a cabo por medio de enzimas llamadas invertasas como la α -glucosidasa de levadura o una β -fructofuranosidasa, lo cual demuestra, además, la configuración del enlace glicosídico entre los dos hidroxilos anoméricos de los monosacáridos componentes (46).

La sacarosa, como componente de la melaza, ha sido importante fuente de alcohol industrial y para bebidas alcohólicas (rones) obtenidas por fermentación con levaduras. El cuadro 12 muestra otros productos de la fermentación de sacarosa:

CUADRO 12. PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA FERMENTACION DE SACAROSA Y ORGANISMOS ASOCIADOS AL PROCESO.

PRODUCTOS	ORGANISMO	RENDIMIENTO (%)
Acetona	<i>Clostridium acetobutylicum</i>	6
1-butanol	<i>Clostridium acetobutylicum</i>	18
Acido cítrico	<i>Citromyces, Aspergillus niger</i>	50
Dextrana	<i>Leuconostoc mesenteroides,</i> <i>L. dextranicum</i>	25
Acido fumárico	<i>A. fumáricus, Rhizopus</i> <i>nigricans</i>	50
Acido D-glucónico	<i>Penicillium chrysogenum,</i> <i>A. niger</i>	50
Acido itacónico	<i>A. terreus</i>	15
Acido cójico	<i>A. flavus, A. oryzae</i>	60
Acido láctico	<i>R. oryzae</i>	95

FUENTE: Kirk, Raymond E., Othmer Donald F. (Directores). Enciclopedia de Tecnología Química. Tomo II, pag.914 U.T.E.H.A., México, 1988.

Con ácido nítrico concentrado la sacarosa sufre una oxidación fuerte produciendo cantidades equimolares de ácido oxálico y de ácido tartárico (32,46).

Por catálisis con níquel Raney, la hidrogenación de la sacarosa invertida da una mezcla de sorbitol y D-manitol. En condiciones más drásticas, se rompen las cadenas del azúcar y se obtienen buenos rendimientos de glicerol y de glicol propilénico; la reacción tiene dos fases: en la primera se forma el alcohol del azúcar y en la segunda se realiza la división, ésta ocurre de 225 a 235°C y de 80 a 100 atmósferas por catálisis con níquel (32,46).

Degradación alcalina: La sacarosa, calentada en autoclave con hidróxido cálcico acuoso, produce hasta 70% de ácido láctico (32).

Degradación ácida: Los ácidos inorgánicos calientes convierten la sacarosa en 5-(hidroximetil)furfural. Mediante variaciones, la reacción puede producir cantidades equimolares de ácido levulínico y fórmico (32,46).

Anteriormente se mencionó que la sacarosa es una de las sustancias más puras que se producen en gran volumen, sin embargo, su pureza está condicionada a diversos factores dentro de los que se encuentran el tipo de caña, el proceso de elaboración en cada una de sus etapas y el producto final (azúcar crudo o azúcar refinado) principalmente. En el cuadro 13 se muestran la composición del azúcar blanco y oscuro.

La sacarosa tiene el inconveniente de favorecer el desarrollo de caries debido a que las destransacarosas del *Streptococcus mutans* o *Streptococcus salivarius* presentes en la flora bucal, polimerizan la glucosa presente en la sacarosa produciendo dextranos, que forman el "sarro" donde se fijan los microorganismos formadores del ácido que produce las caries (24,44).

3.4 USOS.

En la industria alimentaria se utiliza el azúcar principalmente en su forma cristalina pero también llega a utilizarse el azúcar líquido (mayor al 62% de sacarosa) para alimentos donde el azúcar irá disuelto: frutas en conserva,

CUADRO 13. COMPOSICION DEL AZUCAR BLANCO Y OSCURO.

	Azúcar oscuro crudo (por 100 g)	Azúcar blanco crudo (por 100 g)
Agua (g)	1	0
Proteína (g)	0.2	0
Energía (Kcal)	389	400
	1620	1674
Calcio (mg)	30	0
Hierro (mg)	2	0
Vitamina B ₁ (mg)	0.02	0
B ₂ (mg)	0.1	0
Niacina (mg)	0.3	0

FUENTE: B.S. Platt, "Tablas de valores representativos de alimentos que se utilizan normalmente en países tropicales". Informe del Consejo de Investigación Médica, número 302. H.M.S.O. (tomado de ref. 3).

jarabes, helados, productos lácteos, bollería, confitería, bebidas gaseosas, etc., que presentan facilidades en su manipulación para poder bombearse y no favorecer el desarrollo de bacterias por su alta concentración (5).

De las industrias que emplean azúcar son seguramente las de fabricación de dulces y las de bebidas carbonatadas las más importantes, tanto por ser la sacarosa el principal ingrediente de sus productos (después del agua, en el caso de las bebidas), como por el volumen del edulcorante que requieren para elaborar los mismos, dado la gran demanda que tienen dichos productos. Una de las industrias que les siguen en importancia, dado estos criterios, es la de bebidas de frutas. El azúcar representa, para el caso de las bebidas gaseosas y de frutas, aproximadamente el 11% (peso/volumen) y el 88% (peso/peso) en base seca. Otras industrias que utilizan azúcar son la pastelería, la industria chocolatera (íntimamente relacionada con la confitería), jarabes saborizantes y de mesa, helados, mezclas para pasteles y budines, y en mermeladas, jaleas y conservas. El azúcar se emplea también en el curado de carnes y en la preparación de carne picada, encurtidos y otros alimentos (5,13,32,42).

Otros empleos industriales del azúcar son en el campo de los plásticos como componente de resinas de urea-formaldehído y como acelerador de la copolimerización del butadieno y el estireno, el azúcar es también un buen humectante en la manufactura del tabaco. Se emplea en la fabricación de explosivos y de diversos productos de origen microbiano tales como el ácido cítrico, la penicilina y la dextrana. En la

manufactura de azúcar crudo se puede obtener como producto secundario la cera de caña de azúcar (28,32).

La calidad y tipos de azúcar existentes en el mercado son diversos, el cuadro 14 muestra algunos tipos de azúcar comunmente empleados (32).

CUADRO 14. TIPOS DE AZÚCAR COMUNMENTE EMPLEADOS.

USO	TIPO	CARACTERISTICAS
Preparación de alimentos	Granulado	Presentación en diferentes tamaños de partículas
	Polvo	Partículas muy finas
	Azúcar moreno	15 grados, desde el castaño claro al castaño oscuro
	Turbinados	Refinados parcialmente
	Azúcar líquido	Diferentes concentraciones
Uso en el hogar	Granulado	Fino o extrafino
	Azúcar moreno	Grado n° 8 y n° 13, generalmente
	Azúcar glass	Polvo extremadamente fino
	"Conglomerados"	Azúcar en terrones, cubos o tabletas

3.5 PROCESO DE ELABORACION.

Como ya se mencionó anteriormente, las fuentes principales para la obtención del azúcar son variadas destacándose la caña de azúcar y la remolacha por provenir casi todo el suministro mundial de estos dos vegetales.

En nuestro país, la elaboración del dulce a partir de la caña de azúcar constituye la única fuente explotada

industrialmente. El proceso básico de obtención es el mismo prácticamente en todos los casos, a continuación se resume el proceso de elaboración del azúcar.

El proceso en la fábrica comienza desde la recepción de las cañas que se hace sobre básculas; luego del pesado, las cañas son conducidas a las trituradoras y posteriormente a los molinos de donde se obtiene el jugo. Después del primer prensado, el bagazo es mezclado con agua caliente o jugo de caña diluido (imbibición) y pasa de nuevo a prensado con lo que se extrae mayor cantidad de sacarosa. El bagazo final es utilizado como combustible para las calderas y, en ocasiones, para elaboración de fibras para placas de madera o forrajes (13,17,28,32).

El jugo recolectado es filtrado y seguidamente se purifica por medio de diferentes tratamientos siendo los más importantes la defecación, la sulfitación, la fosfatación y la carbonatación. Luego de una decantación el jugo claro es evaporado obteniéndose una mezcla ductil de cristales de azúcar y melaza la cual es centrifugada para obtener azúcar. El líquido recuperado de la centrifuga contiene aún algo de sacarosa, por lo que se regresa al evaporador. El azúcar obtenido es envasado para transportarse a las refinadoras (13,17,28,32).

El azúcar crudo contiene alrededor de 98% de sacarosa: en la refinación se busca reducir al mínimo las impurezas. En la primera etapa de la refinación el azúcar es lavado con agua, la masa pastosa resultante se centrifuga. La masa centrifugada se disuelve posteriormente en agua caliente para someterse a un proceso de defecación y posteriormente a un filtrado con carbón de huesos. El azúcar se cristaliza en charolas al vacío, los cristales son clasificados por tamaño y empacados (13,17,28,32).

Las figuras 4 y 5 muestran un esquema para la elaboración de azúcar crudo y refinado, respectivamente, a partir de la descripción hecha por Hugot E. (28) y Kirk (32).

El cuadro 15 muestra las especificaciones comunes que requiere a la refinadora una industria que emplea azúcar como materia prima.

En la manufactura del azúcar líquido o jarabe de azúcar, el líquido de azúcar crudo lavado se clarifica y decolora y después se evapora hasta 67°Bx. Si la sacarosa ha sido invertida parcial o totalmente, se prosigue la evaporación

26

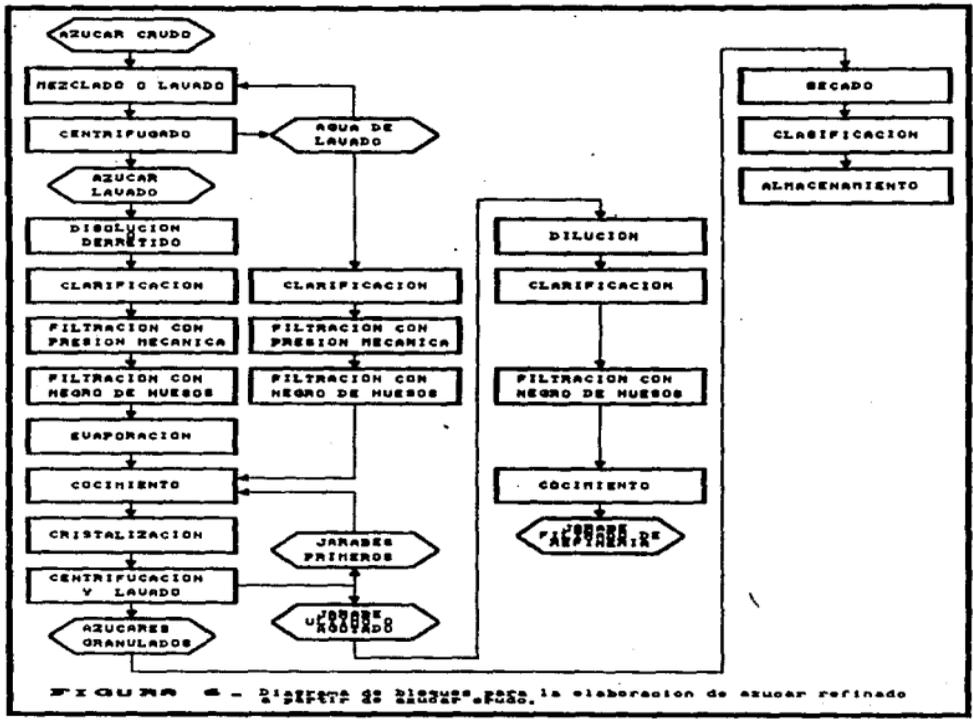


FIGURA 6 - Diagrama de procesos para la elaboracion de azucar refinado a partir de azucar crudo.

CUADRO 15. EJEMPLO DE ESPECIFICACION REQUERIDA PARA AZUCAR COMO MATERIA PRIMA.*

NOMBRE	: Azúcar estandar.
PRESENTACION	: Saco de rafia de 50kg netos, limpios y libres de roturas.
GRADO	: Alimenticio.
CARACTERISTICAS SENSORIALES:	
Aspecto	: Cristales uniformes, libre de terrones y material extraño.
Color	: Blanco o ligeramente amarillento.
Olor	: Inodoro.
Sabor	: Dulce, característico.
CARACTERISTICAS FISICOQUIMICAS:	
Azúcar invertido	: Pasa la prueba USPxx1 P1612
Calcio	: Pasa la prueba USPxx1 P1612
Cenizas sulfatadas	: 0.25% máximo AOAC ED 14
Cloruros	: Pasa prueba USP
Humedad	: 0.06% máximo
Pureza	: 99.4% mínimo
Rotación específica	: +66.1°
SO ₂ totales	: 70 ppm máximo
Solubilidad	: Soluble en agua, poco soluble en alcohol y glicerina.
Arsénico	: 1 ppm máximo
Metales pesados	: 5 ppm máximo
CARACTERISTICAS MICROBIOLOGICAS:	
Cuenta bacteriana total	: 30 colonias/g máximo
E. coli	: Negativo
Hongos	: 10 colonias/g máximo
Levaduras	: 10 colonias/g máximo
Salmonella	: Negativo
MATERIAL EXTRANO:	
Fragmentos de insecto	: Ninguno en 50 g.
Pelos de roedor	: Ninguno en 50 g.

* Vigente en enero de 1993.

FUENTE: Comunicación personal.

hasta 70-76°Bx. Los azúcares líquidos se alteran muy rápido si no están protegidos contra la fermentación en la superficie, ya sea con lámparas de radiación ultravioleta en los tanques de almacenado, o por filtración eficaz del aire admitido. Estos jarabes tienen varias ventajas: ahorran los costos de las operaciones de cristalización y secado, de envasado, embalaje y cribado y del manejo de los azúcares sólidos; esta opción debe considerarse cuando el empleo de la sacarosa es en forma líquida, como en el caso de la preparación de los jugos, néctares y bebidas de frutas (5,13,31,32).

4. CARACTERISTICAS DEL AZUCAR INVERTIDO

4.1 ORIGEN Y ESTRUCTURA.

El nombre de azúcar invertido proviene del hecho de que la rotación óptica de una solución de sacarosa cambia o se invierte de dextrógira a levógira por hidrólisis. Es en 1836 cuando Biot descubre que el plano de la luz polarizada que pasaba a través de una solución de sacarosa giraba hacia la derecha antes de calentarla con ácidos, y hacia la izquierda después del tratamiento; fue entonces que le dió a esta solución el nombre de "azúcar invertido" (32). En la figura 6 se representa la formación de azúcar invertido por hidrólisis de sacarosa.

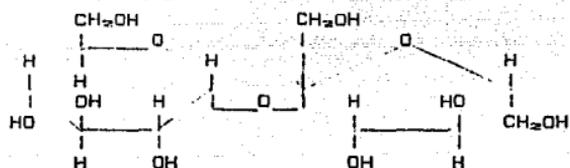
El azúcar invertido es una mezcla equimolecular de D-glucosa y D-fructosa y sus propiedades son el resultado de la combinación de estos dos azúcares. El jarabe obtenido presenta un poder levorrotatorio de (-20°) en contraste con el de la sacarosa nativa que es de $(+66.5^\circ)$ y como consecuencia de la mezcla de la glucosa y fructosa que en estado libre presentan un poder de $(+52.5^\circ)$ y (-92°) respectivamente; el cambio neto de rotación es de (87°) . El cuadro 16 muestra la rotación de la luz polarizada que presentan estos azúcares (7,20,31).

CUADRO 16. ROTACION ESPECIFICA DE ALGUNOS AZUCARES.

AZUCAR	ROTACION ESPECIFICA $[\alpha]_D^{20}$
Sacarosa	+66.5
D-glucosa	+52.5
D-fructosa	-92.5
Azúcar invertido	-20

La D-fructosa, la D-glucosa y la sacarosa se encuentran naturalmente presentes en diferentes alimentos en distintas proporciones, esto hace pensar que la síntesis de cada uno se efectúa en forma separada. En cambio, en muchos frutos se ha encontrado que la proporción de D-fructosa y D-glucosa coincide, permitiendo considerar a estos azúcares como azúcar

FIGURA 6. Formación de azúcar invertido en la hidrólisis de sacarosa.

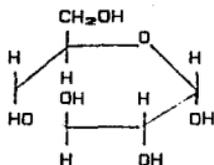


100g sacarosa
 (α -D-glucopiranosil- β -D-fructofuranósido)
 $[\alpha]^{20}_D = +66.5$

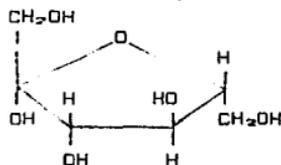
+

5.6g H₂O

medio ácido o acción enzimática



52.63g D-glucosa
 (α -D-glucopiranososa)
 $[\alpha]^{20}_D = +52.5$



52.63g D-fructosa
 (β -D-fructofuranosa)
 $[\alpha]^{20}_D = -92.5$

Azúcar invertido

invertido, resultado probablemente de la hidrólisis de la sacarosa por una invertasa enzimática o por los ácidos que existen naturalmente en estos como es el caso de las naranjas, toronjas, ciruelas, cerezas, albaricokes, melocotones, tomates, moras y granadas, entre otros; en cierto tipo de dátiles se ha encontrado invertasa, al igual que en la remolacha azucarera. La melaza de la caña también contiene considerable cantidad de azúcar invertido (32).

4.2 PROPIEDADES FISICAS.

La solubilidad del azúcar invertido depende de la solubilidad de la D-glucosa en una solución de D-fructosa, pues la D-glucosa cristaliza en la mezcla más rápidamente. Mientras que la solubilidad de la sacarosa a 30°C es de 68.11% (32) (68.22% interpolando valores del cuadro 11, pag. 29), para el azúcar invertido es de 69.7% estando saturada en este punto con D-glucosa. La solubilidad del azúcar invertido y de la sacarosa se reduce para ambas cuando están juntas, pero el contenido total de azúcar en la solución aumenta (20,32).

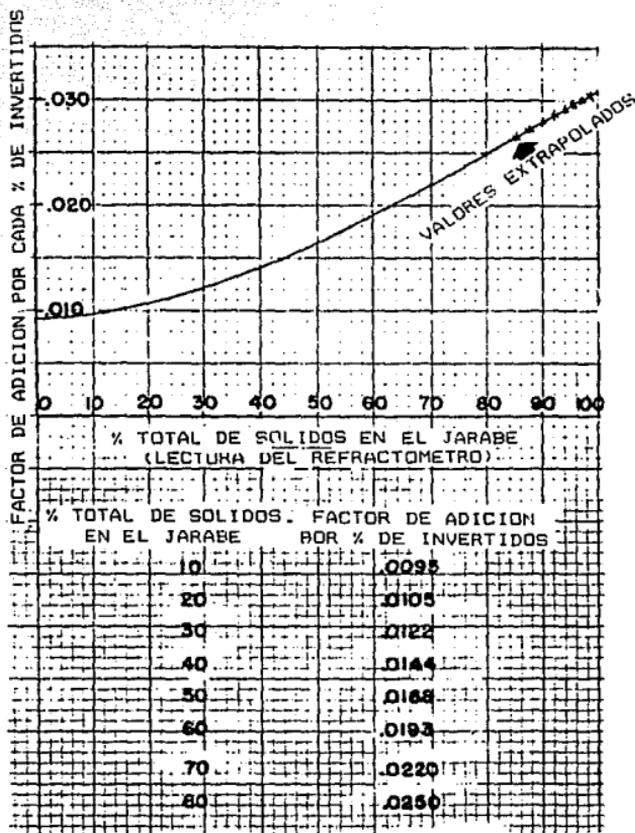
La presencia de invertidos en los jarabes de sacarosa disminuye la lectura del refractómetro, por lo que la determinación de grados brix (*Bx) no es una indicación exacta del porcentaje de sólidos para todos los jarabes. Para contrarrestar este defecto se hace uso de un factor de corrección. La figura 7 indica el factor de adición por cada punto porcentual de invertidos en base húmeda de un jarabe (31).

El poder edulcorante del azúcar invertido (en base a la sacarosa igual a 1) varía en las diferentes referencias de 1.05 a 1.30 (ver el cuadro 4, pag. 17). Su rotación específica depende de la temperatura y de la concentración lo cual se debe principalmente a la fructosa, pues la rotación específica de la glucosa se afecta poco por la temperatura. La fructosa es, igualmente, la principal responsable de la alta higroscopicidad del azúcar invertido seco (32).

4.3 PROPIEDADES QUIMICAS.

Las reacciones que puede sufrir el azúcar invertido son las características de los monosacáridos en general, estas son de reducción y oxidación por la acción de ácidos, álcalis y el calor (pirólisis). Los grupos aldehído y cetona de la glucosa y la fructosa sufren las reacciones características de esos grupos. La aplicación de calor sobre los azúcares

FIGURA 7. FACTOR DE CORRECCION DE GRADOS BRIX PARA JARABES QUE CONTIENEN SACAROSA Y AZUCAR INVERTIDO.



FUENTE: JUNK RAY, B.A. y PANCOAST, B.S. Handbook of sugars. For processors, chemist and technologists. AVI, 1993 Westport, Connecticut. Pag. 51.

tiene el efecto de acelerar considerablemente todas las reacciones que estos pueden sufrir. El cuadro 17 indica los cambios químicos a que está propenso el azúcar invertido.

CUADRO 17. CAMBIOS QUIMICOS QUE PUEDE SUFRIR EL AZUCAR INVERTIDO BAJO ALGUNAS CONDICIONES DE PROCESAMIENTO.

CONDICIONES	REACCION	PRODUCTO
Alcalis débiles	Isomerización	Epímeros
Alcalis medios	Enolización	Fragmentación
Alcalis fuertes	Oxidación	Acidos sacáricos
Acidos débiles	Isomerización lenta	
Acidos fuertes	Deshidratación	Furfural
Calor moderado	Ox. ac. ascórbico	Pigmentos
Calor moderado	Reacciones de Maillard	Pigmentos
Calor fuerte	Caramelización	Pigmentos

FUENTE: Badui Dergal Salvador. Química de los alimentos. Ed. Alhambra, México, 1986, pag. 56.

4.4 DETERMINACION.

La capacidad de reducción de los compuestos cúpricos por los grupos aldehído y cetona de los azúcares que componen el jarabe invertido es una propiedad que se aprovecha para la determinación de dichos azúcares. Existen varios métodos, de ellos, los más generalmente empleados son el de Lane Eynon y el de Munson y Walker, en los cuales se usa la solución de Fehling modificada por Soxhlet; existen además otras modificaciones al método de Fehling, estas son los métodos de Benedict, Somogyi, Hagedorn-Jensen y Willstaetter-Schudel, todos ellos basados en el mismo principio. Otro método de análisis consiste en la medida del poder rotatorio de la solución a dos temperaturas, esto debido a que la D-fructosa, y por consiguiente el azúcar invertido, tiene un elevado coeficiente de temperatura. Otros métodos de determinación de azúcar invertido en presencia de sacarosa son el de Herzfeld, para cantidades de azúcar menores de 1.5%, y el de Meissl y Hiller para mezclas en todas proporciones (9,25,26, 32,39).

4.5 USOS.

Las propiedades de retención de humedad, elevado grado de dulzor, alta solubilidad y el retardo de la cristalización de la sacarosa en la mezcla, contribuyen al valor del azúcar invertido para varios usos alimenticios. En confitería se emplea para restringir la tendencia de los dulces a secarse y cristalizar por el reposo. En los caramelos fundentes y en los que tienen frutas incluidas, se producen centros blandos o completamente licuados por adición de invertasa a la materia fundente lo que origina la inversión lenta de la sacarosa. En la elaboración de bombones se agrega también invertasa para invertir una parte de la sacarosa produciendo una mezcla resistente a la acción de la levadura al aumentarse la densidad y la presión osmótica del jarabe. En la preparación de jaleas y frutas en conserva se produce azúcar invertido por la inversión de sacarosa durante la cocción por la acción hidrolítica de los ácidos de las frutas. El azúcar invertido líquido comercial se emplea frecuentemente en la preparación de jaleas y conservas y para las bebidas carbonatadas. En panificación y pastelería se utiliza con éxito para mantener los productos blandos y evitar el agrietamiento (32).

En otras áreas, el azúcar invertido se emplea en preparaciones farmacéuticas y ha sustituido a la glucosa en inyecciones intravenosas. En la alimentación de inválidos y niños lactantes, es absorbida más fácilmente que la maltosa, la lactosa o la sacarosa. Se ha aconsejado como esclerosante en el tratamiento de venas varicosas. En la industria del tabaco se emplea como humectante para regular el contenido de humedad de los tabacos preparados. Por su higroscopicidad, el azúcar invertido se ha empleado en la plastificación del papel y en el tratamiento de la madera y de los productos de madera para evitar el secado y alabeado (32).

4.6 METODOS DE ELABORACION.

Como ya fue mencionado anteriormente, la sacarosa es un compuesto muy estable en forma seca, pero es susceptible a hidrolizarse en solución. Esta reacción es conocida como inversión de sacarosa.

La inversión puede efectuarse, básicamente, en medio ácido en presencia de calor y mediante enzimas. A su vez, la inversión ácida puede llevarse a cabo con ácidos inorgánicos fuertes o ácidos orgánicos débiles. El método enzimático

utiliza a la invertasa para la inversión. Un tercer método relativamente reciente consiste en hacer pasar una solución de sacarosa por resinas de intercambio de iones.

Existen muchas patentes para efectuar la inversión, pero básicamente todas se basan en alguno de los dos métodos ácido o enzimático variando solo en algún tratamiento como es el caso de aplicar una refrigeración rápida o efectuar la hidrólisis a baja temperatura para evitar reacciones secundarias (32).

4.6.1 INVERSION ACIDA.

La hidrólisis con ácido es hasta la fecha una práctica común para la producción industrial de azúcar invertido. Los ácidos varían en su habilidad para invertir sacarosa casi en el orden de su grado de ionización. El cuadro 18 muestra el poder de inversión de diferentes ácidos tomando arbitrariamente al ácido clorhídrico con valor de 100.

La velocidad de inversión es función de la concentración del ácido, de la temperatura y del tiempo de inversión. Los líquidos invertidos pueden presentar color, el cual puede intensificarse con el tiempo haciendo la mezcla poco estable comparada con la sacarosa líquida; este desarrollo de color se ve influenciado por el pH y la temperatura de inversión. La hidrólisis ácida puede causar en condiciones extremas una pérdida de 7 a 8% de fructosa identificándose dicha pérdida como dianhidridos de fructosa. En la selección de un ácido para invertir sacarosa también debe de considerarse la compatibilidad del ácido con el producto terminado (31,32).

Comercialmente el ácido clorhídrico es usualmente utilizado por su alto poder de inversión, debe emplearse en grado USP. Al neutralizar con hidróxido de sodio se produce una molécula de agua y una de cloruro de sodio que en la mayoría de las formulaciones no es de importancia por su pequeña cantidad (31).

Otro ácido comúnmente utilizado es el tartárico, con la desventaja de resultar más caro que el clorhídrico, tanto por su precio comercial, como por su menor poder de inversión.

El ácido cítrico y el fosfórico son ácidos que deben ser considerados por su frecuente empleo en diversos productos

CUADRO 18. PODER DE INVERSION DE DIFERENTES ACIDOS.

ACIDO	PODER DE INVERSION
Bromhídrico	111.4
Clorhídrico	100.0
Nítrico	100.0
Metanosulfónico	100.0
Sulfúrico	53.6
Oxálico	18.57
Fosfórico	6.21
Tartárico	3.0
Cítrico	1.72
Láctico	1.07
Acético	0.4

FUENTE: Junk Ray B.A. y Pancoast H.M. Handbook of Sugars for Processors. Chemists and Technoloicist. AVI Publishing Co. Westport, Conn. 1973. Pág. 52.

como ingredientes dentro de los que se encuentran los refrescos y bebidas de frutas.

4.6.1.1 METODOS DE ELABORACION.

A) Una planta del ramo de productos para panificación que elabora azúcar invertido a partir de la hidrólisis de sacarosa con ácido clorhídrico tiene el siguiente proceso cuando se emplea azúcar morena como materia prima (información personal) :

En una paila de preparación se agrega agua y se eleva la temperatura mientras se va añadiendo el azúcar en proporción de 274.6 kg por cada 100 l de agua. Al llegar a 75°C se detiene el calentamiento y se adiciona lentamente 0.24% de ácido clorhídrico diluido en 0.56% de agua, mientras la solución es recirculada para agilizar el mezclado.

A los 10 minutos de haber agregado el ácido se toma una lectura de pH y en función de su valor, mediante una tabla, se determina el tiempo total que se dará a la inversión. El rango que se tiene es $\text{pH} = 1$ a 1.4 para un tiempo de inversión de 18 a 30 minutos.

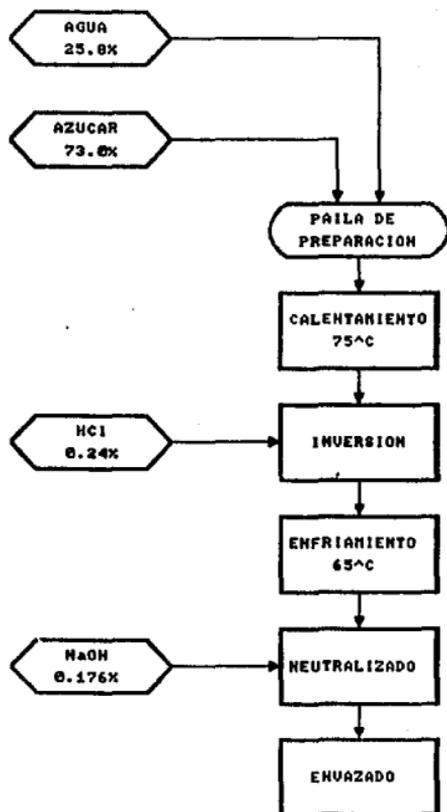
Después de transcurrido el tiempo dado para la inversión, el jarabe es enfriado a 65°C mínimo y neutralizado con 0.176% de NaOH en solución líquida al 50%. La inversión final alcanzada es 80 a 85% mínimo. El jarabe se envasa en tambores de metal con bolsa interna de polietileno de 270 kg y en cubetas de plástico de 25 kg.

Cuando la materia prima es azúcar blanca, el HCl se agrega en concentración de 0.06%; el tiempo total de inversión es menor que para azúcar morena. La figura 8 muestra esquemáticamente los pasos seguidos en el proceso de elaboración.

El cuadro 19 muestra las especificaciones que esta planta da a su producto final.

Otros métodos de inversión son descritos en la literatura, algunos de ellos se resumen a continuación:

FIGURA 8. Diagrama de bloques para la elaboración de azúcar invertido.



CUADRO 19. ESPECIFICACION PARA EL AZUCAR INVERTIDO DE UNA EMPRESA QUE LO ELABORA.

GRADO	: Alimenticio
PRESENTACION	: Tambos de 270 kg netos y Cubetas de 25 kg netos.
CARACTERISTICAS SENSORIALES:	
Apariencia	: Líquido viscoso.
Color	: Amarillo claro.
Sabor	: Dulce.
CARACTERISTICAS FISICOQUIMICAS:	
Sólidos totales	: 73% mínimo.
Rotación específica	: -16.6°.
pH	: 5 - 6.
Metales pesados	: 10 ppm máximo
CARACTERISTICAS MICROBIOLÓGICAS:	
Cuenta total	: 25 colonias/g máximo.
Hongos	: 2 colonias/g máximo.
Levaduras	: 1 colonia/g máximo.

FUENTE: Comunicación personal.

B) Un método para grandes cantidades de jarabe empleando ácido clorhídrico consiste en disolver 110 ml del ácido por cada 50 galones (189 l) de solución de sacarosa a 66.5°Bx, calentar a 70°C y mantener la temperatura por 1.5 horas. Se enfría mezclando lentamente con agitación constante y agregando 105g de bicarbonato de sodio previamente disuelto en una pequeña cantidad de agua (31).

C) Otro método eleva a 90°C una solución de sacarosa de 60°Bx ajustada a un pH de 1.8 con ácido clorhídrico durante 30 minutos, posteriormente se eleva el pH con álcali diluido (31).

D) Una solución de sacarosa a 60°Bx y pH de 2.3 alcanzado con ácido clorhídrico puede ser hidrolizada en un minuto con una temperatura de 115°C y presión de 0.7 Kg/cm² (32).

E) Usando ácido tartárico se puede efectuar una inversión lenta; se disuelven 100lb (45.36 Kg) de azúcar en 5 gal (18.9 l) de agua y se calienta a 100°C con agitación constante agregando 45.5 g de ácido tartárico disuelto en una pequeña cantidad de agua. El calentamiento se detiene y se enfría gradualmente hasta 37-38°C en un recipiente aislado. La inversión se alcanza alrededor de las 16 horas. El pH puede elevarse con 51 g de bicarbonato disuelto en agua agregado lentamente y con agitación (31).

4.6.2 INVERSION ENZIMATICA.

La aplicación a nivel industrial de la catálisis enzimática se ha venido desarrollando ampliamente en el campo alimentario, para mejorar propiedades de materia prima, así como para su transformación.

Para la inversión de sacarosa se utiliza la invertasa, la cual es una enzima que en la actualidad es de gran importancia potencial en la industria azucarera por la posibilidad de comercializar la sacarosa en forma soluble. Los nombres con los que es conocida esta enzima son: invertasa, invertina, sacarasa, β -fructofuranosidasa, β -glucosido invertasa, fructohidrolasa, glucopiranosil fructofuranosidasa, α -glucosidasa.

Existen dos clases de invertasas, la β -fructosidasa o β -fructofuranosidasa, y la α -glucósido-invertasa o α -glucopiranosidasa, las cuales reconocen a la fructosa y a

la glucosa respectivamente.

La principal fuente de la invertasa es la levadura. Industrialmente se obtiene de la cepa de *S. cerevisiae*. aunque también se ha extraído de *S. carlsbergensis*, *S. pastorianus*, *Cándida utilis* y *Cándida monilia*, y de algunos hongos como *A. orizae*, *A. wentii*, *A. niger*. En menor cantidad se ha encontrado la enzima en algunas bacterias patógenas y del tipo láctico, en algunas plantas superiores en flores, hojas y frutos, y en la saliva de algunos invertebrados, entre otros (1).

La enzima es estable alrededor de 35°C y la temperatura óptima de actividad es alrededor de 50°C. Es inhibida por iodo, iones de metales pesados (Cu^{+2} , Hg^{+2} , Ag^{+1}), iodoacetato, ferricianuro, anilina, el alcohol en concentraciones de 20 a 30% destruye en un 50% la actividad de la invertasa. Otro factor de inhibición de la invertasa son sus productos de hidrólisis. La actividad enzimática es función de la temperatura, concentración, pH, y presencia de otros compuestos en el medio.

Como respuesta al elevado costo de las enzimas, en los últimos años se han venido implementando diferentes métodos para aplicarlos mediante técnicas de inmovilización de soportes insolubles y de este modo poder ser reutilizadas, proporcionando además facilidades en el control de los diferentes procesos (1).

Los procesos de inmovilización de enzimas pueden clasificarse en dos categorías generales: enzimas inclusas o atrapadas y enzimas ligadas. El sistema de enzimas atrapadas, a su vez, puede ser subdividido en enzimas atrapadas por un espacio como encapsulación o por muchos espacios pequeños como en la matriz de un polímero. Las enzimas ligadas pueden estar unidas a soportes ya sea por adsorción, o por un enlace covalente (1).

Algunas ventajas en el uso de enzimas inmovilizadas son (1, 36):

- 1) Capacidad de reuso.
- 2) Son fácilmente separables de los reactantes al finalizar la reacción.
- 3) Permiten un control más preciso de la reacción.
- 4) Generalmente presentan un incremento en la estabilidad de operación.
- 5) Reduce la inhibición por el producto.
- 6) No ocurre autodigestión de enzimas proteolíticas.

- 7) Se reduce la posibilidad de reacciones inmunológicas.
- 8) Permite el uso de enzimas de organismos patógenos.
- 9) Permite la operación al operar el pH óptimo por modificación característica de la carga del soporte.

La hidrólisis enzimática es empleada frecuentemente para azúcares que contienen gran cantidad de cenizas, pues se requeriría mucho ácido para vencer el efecto amortiguador de sus sales (32).

Aguirre y Olvera (1) reportan como óptima una temperatura de 50°C para la enzima utilizando como soporte alúmina sin tratamiento térmico de menor porosidad, salinizada y tratada con glutaraldehído. La enzima puede ser utilizada una segunda vez, aunque una tercera utilización da resultados bajos en rendimiento.

Un método que no emplea soporte consiste en mantener a la invertasa una solución de sacarosa de 45 a 50°Bx con un pH de 5.2 a 5.6 a una temperatura de 55 a 60°C. La inversión se lleva a cabo en un 95% en 24 horas (32).

4.6.3 INVERSION CON RESINAS DE INTERCAMBIO IONICO.

Este método utiliza resinas de intercambio de cationes de tipo sulfónico a través de las cuales se hace pasar una solución de sacarosa de elevada densidad, clarificado y decolorado con carbón. El efluente ácido se mantiene a una temperatura aproximada de 50°C hasta que se ha producido la hidrólisis en la proporción requerida. El líquido pasa posteriormente por una resina de intercambio de aniones débilmente básica. El jarabe obtenido es claro, de color estable, libre de cenizas y libre de los productos de descomposición característicos de la inversión ácida (32).

5. ELABORACION DE JUGOS, NECTARES Y BEBIDAS DE FRUTA.

5.1 DESCRIPCION DE LOS PRODUCTOS.

Los jugos, néctares y bebidas de frutas son elaborados mediante procesos similares por lo que es posible encontrar dichos procesos en una misma planta. Algunas plantas se enfocan a solo uno o dos de los productos y otras, además de los mencionados, elaboran otros, como jugo de verduras, bebidas para mezclar con licores, etc. Las definiciones correspondientes se dan a continuación:

A) El jugo de frutas es el líquido extraído de la parte comestible de la fruta, sin alteraciones ni adulteraciones (14); es "el jugo obtenido de fruta por procesos mecánicos, fermentable pero no fermentado, teniendo las características de color, olor y sabor típicos de la fruta de que proviene" (27).

B) El néctar de frutas es "el producto fermentable pero no fermentado obtenido de la adición de agua y azúcar al jugo de fruta, jugo de fruta concentrado, o una mezcla de estos que conforman las especificaciones dadas" (27).

C) Las bebidas de frutas serán aquellas que contengan o no una parte de jugo o pulpa de fruta y otra de aditivos tales como azúcar, esencias, colorantes, saborizantes, etc.

Dentro de las plantas procesadoras se considera comúnmente como jugos, néctares y bebidas a los productos que con la rehidratación del concentrado de la fruta correspondiente, se logra una estandarización de apariencia, olor, sabor, color y grados brix ($^{\circ}\text{Bx}$) característicos para cada producto; para el jugo de toronja, por ejemplo, se tiene la especificación mostrada en el cuadro 20.

Cabe mencionar que la definición de lo que es un jugo se refiere exclusivamente al producto extraído de la fruta correspondiente, sin embargo, es posible la incorporación de aditivos (principalmente azúcar) en bajas proporciones para mejorar los atributos del producto y estandarizar las especificaciones de los mismos; en estos casos se requiere la especificación de su adición en las etiquetas de los envases. Otra práctica común es la mezcla de distintos lotes de jugo con diferentes características cada uno de ellos, con el mismo objetivo de estandarización del producto final.

CUADRO 20. ESPECIFICACION PARA EL JUGO DE TORONJA.

Apariencia:	Jugo claro, sin partículas extrañas.
Olor	: Característico de toronja fresca, no fermentado ni cocido.
Sabor	: Característico de toronja fresca, no fermentado ni cocido, ni amargo.
Color	: Blanco amarillento, no se aceptan tonos cafés ni oscuros.
*Bx	: 10.2.

5.2 DESCRIPCION DE LOS PROCESOS DE ELABORACION.

La siguiente descripción de los procesos tiene como base la observación directa en planta de una empresa que los elabora y los manuales de especificaciones generales de la misma.

Los jugos, néctares y bebidas pueden ser elaborados a partir de la fruta fresca, o bien, a partir de la rehidratación de concentrados de frutas, en este segundo caso el proceso de elaboración puede dividirse en dos partes: una de elaboración del concentrado, y otra de preparación de los productos. El concentrado puede ser obtenido en la misma planta o bien abastecido por proveedores externos; esta situación depende de su existencia en almacén de acuerdo a los requerimientos y del empleo de concentrados que no se elaboran en la planta.

5.2.1 ELABORACION DE CONCENTRADO.

Para ambos casos de elaboración (a partir o no de concentrado), la fruta pasa por etapas similares: la fruta fresca después de ser recibida es almacenada donde pueden ser mantenidas sus características o controlarse su maduración hasta que alcance su estado óptimo.

El proceso en sí comienza con una selección donde se separan basuras y se dejan pasar solo aquellas piezas con

características fisiológicas adecuadas. eliminando las que presenten magulladuras, roturas, infecciones, manchas y grado de madurez inadecuado. Esta operación es fundamentalmente manual.

La fruta seleccionada es sometida posteriormente a un lavado con agua que puede ser por inmersión, aspersion, o en tanques con agitación. Pueden ser adicionados detergentes para facilitar la operación, en este caso la fruta debe ser perfectamente enjuagada (43).

La fruta pulposa lavada es sometida a un pelado por el método más adecuado a cada una de ellas y posteriormente es prensada para extraer la pulpa, ésta pulpa pasa entonces por un refinador con malla $\emptyset.020-0.023$ pulg donde además de la reducción de tamaño se lleva a cabo una separación de fibras y restos de cascara y huesos.

Cuando se trata de frutas jugosas, después del lavado se efectúa la extracción por prensado o por maceración y el jugo se filtra para eliminar sólidos insolubles (bagazo, fibras, etc.).

Para la obtención de jugos claros se tiene la aplicación de centrifugación, la clarificación con enzimas, la clarificación con taninos y gelatina, la clarificación flash (a base de un tratamiento térmico y filtración) (30,43).

La etapa de eliminación de aire atrapado en los fluidos tiene el objetivo de evitar pérdidas de vitamina C, evitar la formación de sabores y olores extraños y favorecer el correcto llenado de los productos. Posteriormente se somete a una pasteurización donde la temperatura está alrededor de 90°C con un tiempo de calentamiento de un minuto (39,43).

El jugo y pulpa extraído es concentrado en evaporadores al vacío hasta $55-60^{\circ}\text{Bx}$ y $9-12^{\circ}\text{Bx}$ respectivamente, empleando comúnmente temperaturas de $45-50^{\circ}\text{C}$ por tiempos de 3 minutos.

Los concentrados se enfrían a $5-8^{\circ}\text{C}$, se envasan en tambos con bolsa interna de polietileno y posteriormente son congelados de -20 a -30°C , el producto es entonces almacenado para su posterior empleo por períodos que llegan a ser en ocasiones mayores a un año.

En las figuras 9 y 10 se muestran en forma esquemática los pasos seguidos para concentrar jugo y pulpa de frutas, respectivamente.

5.2.2 ELABORACION DE LOS PRODUCTOS.

Para la elaboración de productos a partir de la fruta fresca se tiene, de manera similar a la elaboración de concentrados, un almacenamiento, una selección, un lavado, la extracción de la pulpa o el jugo, filtración, clarificación (en su caso), y la eliminación de aire. La siguiente etapa es denominada "preparación" o de "mezclado".

Cuando se parte de concentrados de frutas, la elaboración de los productos se inicia con la evaluación sensorial del concentrado.

El concentrado que se acepta es llevado a los "tanques de rehidratación" donde mediante la adición de agua y agitación se rehidratan de 12 a 20°Bx los jugos y de 6 a 10°Bx los néctares, en función de la fruta concentrada de que se trate y del sistema de bombeo que se empleará para su transporte. La relación de °Bx/acidez debe ser en general de 8 a 10.

El rehidratado es bombeado a los "tanques de preparación" o "tanques de mezcla" en donde se unifica el proceso con la materia fresca o no rehidratada.

En el mezclado se efectúa un ajuste de °Bx, acidez, pH, viscosidad, y se hace una revisión de olor, color y sabor, de acuerdo a las especificaciones propias de cada producto; este ajuste se practica mediante mezclas de diferentes lotes de jugos o pulpas o rehidratados y con la adición de los demás ingredientes que cada producto lleve: agua, esencias, conservadores, jarabe de azúcar, colorantes, estabilizadores. El cuadro 21 presenta algunas características fisicoquímicas establecidas para diferentes preparaciones elaboradas por la empresa.

Una operación opcional para algunos productos es la homogeneización de las preparaciones a una presión de 1800 a 2200 psi.

Posteriormente la preparación se lleva a pasteurización en un

FIGURA 9. Diagrama de bloques del proceso de concentrado de jugos.

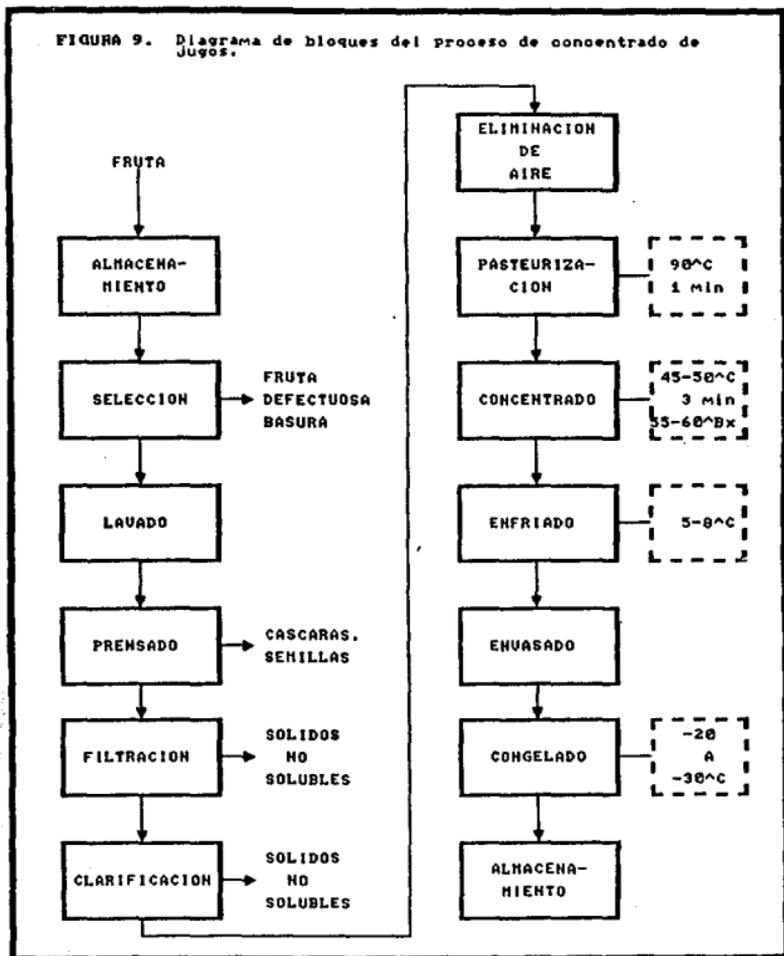
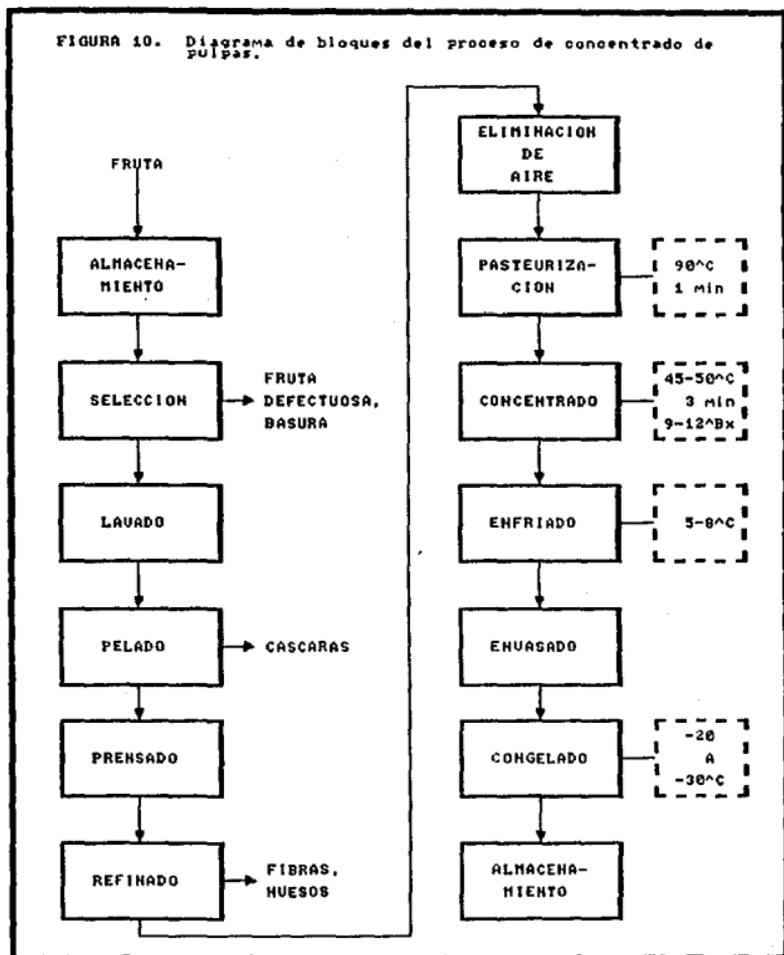


FIGURA 10. Diagrama de bloques del proceso de concentrado de pulpa.



CUADRO 21. ACIDEZ, GRADOS BRUX, pH Y VISCOSIDAD QUE PRESENTAN ALGUNAS PREPARACIONES DE JUGOS, NECTARES Y BEBIDAS DE FRUTAS.

PRODUCTO	ACIDEZ ^a	pH	Brix	VISCOSIDAD ^b
B.Naranja	20-24	3.25-3.45	11.0-11.2	*
B.Manzana	20-24	3.03-3.5	11.0-11.2	*
B.Guayaba	20-24	3.35-3.55	11.5-11.7	4.5-5.5
B.Piña, =	40-44	3.5	10.8-11.0	4.0-4.5
B.Piña, =	44-48	3.2	11.0-11.2	*
J.Naranja	0.60	3.0-3.4	11.5-11.7	6-10
J.Piña	0.46-0.48	3.1-3.5	12.3-12.5	4-7
J.Toronia	88-90	2.8-2.9	10.0-10.2	*
N.Durazno	0.28-0.30	3.0-3.4	12.2-12.4	25-35

B. = Bebida.
 J. = Juco.
 N. = Néctar.

- ^a = Determinada como % de ácido cítrico.
- ^b = Determinada en centipoises.
- = = El subíndice indica que se trata de dos productos diferentes.
- * = No se checa, por ser muy cercana a la del agua.

intercambiador de calor de placas o de tubos y coraza a temperatura de 90 a 105°C y tiempos de calentamiento van de 30 a 60 s.

El fluido caliente se bombea hacia la llenadora, la cual dosifica a los envases a una temperatura de 90°C los jugos y 84-89°C los néctares. Los envases llenos pasan a la cerradora.

Los envases cerrados y calientes se hacen pasar por un tunel de enfriamiento en tres etapas: en la primera se esprea agua a 50°C., en la segunda a 30-35°C y en la tercera se aplica agua ambiente a 15-20°C.; el producto debe salir a una temperatura de 25-30°C.

Los envases que lo requieran son trasladados a una máquina etiquetadora. Las etiquetas pueden ser individuales o venir en rollo y son fijadas con adhesivo caliente.

Finalmente, en el empaclado, los envases son colocados en cajas de cartón corrugado que en algunos casos incluye envoltura de polietileno. Las cajas son acomodadas en tarimas y estivadas en el área de almacenamiento.

En la figura 11 se muestran los pasos descritos del proceso de elaboración de los diferentes productos.

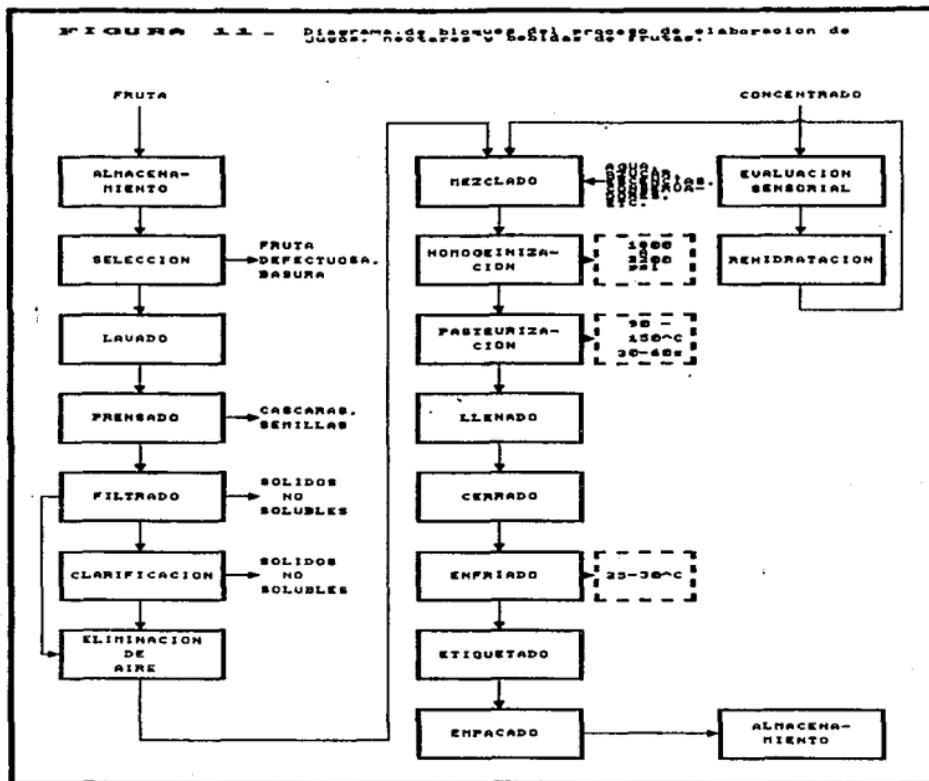
5.3 PREPARACION DEL JARABE DE AZUCAR.

El azúcar que se adiciona durante la etapa de preparación de los productos es un jarabe que se elabora previamente y es bombeado a las pailas de preparación cuando se le requiere, en cantidades variables según la preparación de que se trate. En el cuadro 21 (pag. 59) puede inferirse diferentes valores de azúcar presente en diversos productos, a partir de la información de grados Brix.

En la paila de preparación del jarabe se adiciona agua y se calienta con vapor hasta una temperatura de 60° a 65°C.

Al mismo tiempo que se calienta el agua, se agregan a la paila 185.5 Kg de azúcar por cada 100 l de agua; el azúcar normalmente se tiene en costales de 50 Kg, de modo que se agrega aproximadamente 3 3/4 costales por 100 l de agua. El

FIGURA 1.1 - Diagrama de bloques del proceso de elaboración de jugos, nectares y está. Prdo. Frutas.



azúcar se agrega poco a poco para facilitar su disolución y con agitación constante.

Después del azúcar, se agrega 0.75 Kg de carbón activado y 1.25 Kg de tierra filtrante (Hy-Flo o Super Cel) por cada 100 l de jarabe.

Se eleva la temperatura entre 75° y 85°C y se mantienen la agitación constante hasta la completa disolución.

Cuando se ha disuelto completamente el azúcar y se ha incorporado perfectamente el carbón y la tierra, se pasa a la paila de balance del filtro.

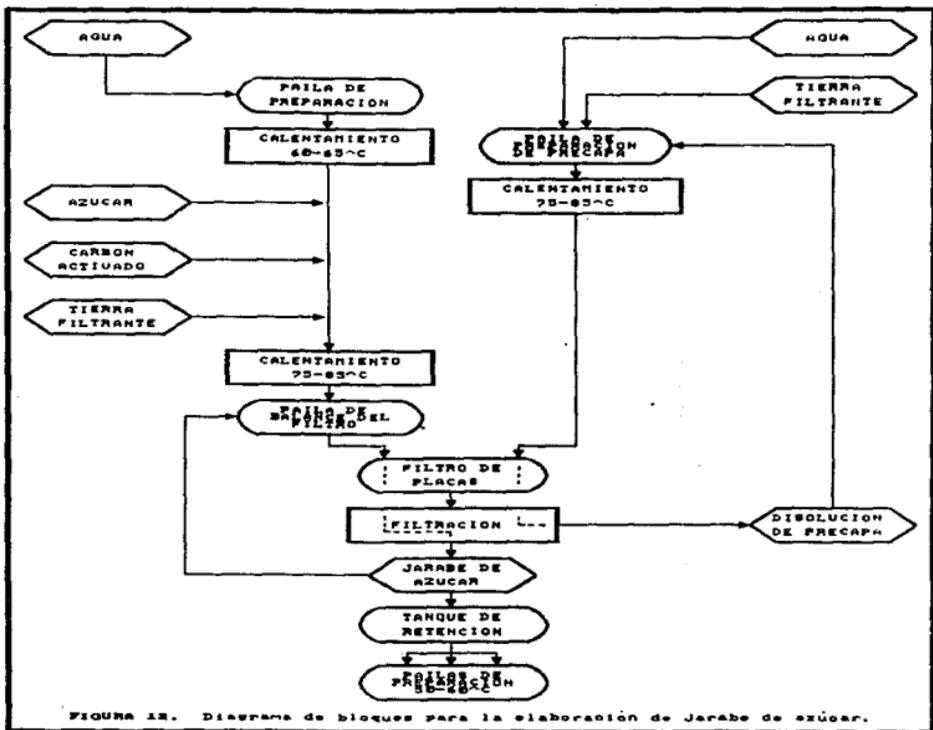
Paralelamente, en la paila de preparación de precapa se agrega agua y tierra filtrante en proporción de 1.5 Kg/100 l. Se calienta con vapor hasta alcanzar una temperatura de 75° a 85°C. Se mantiene en agitación constante hasta que la tierra filtrante se encuentre perfectamente suspendida y sin grumos.

Cuando la disolución se ha completado, se abre la llave de paso al filtro de placas y se hace recircular hasta que el agua sale completamente clara. En este momento se cierra la válvula de paso de la paila de preparación de solución de precapa y se abre la válvula de paso de la paila de balance del filtro, con lo que se inicia el proceso de filtración del jarabe.

El jarabe se recircula hasta obtener un líquido cristalino y libre de impurezas. Una vez filtrado, el jarabe se bombea a los tanques de retención de donde se surte a todas las líneas de preparación en planta.

La figura 12 muestra los pasos seguidos en la preparación del jarabe de azúcar.

El jarabe debe tener las características enumeradas en el cuadro 22.



CUADRO 22. ESPECIFICACION PARA EL JARABE DE AZUCAR.

COLOR	: Ligeramente amarillo ambar.
SABOR	: Característico a caña. No agrio y/o fermentado.
OLOR	: Característico a caña. No fermentado.
APARIENCIA	: Cristalino, libre de partículas extrañas. No debe presentar principios de cristalización.
Bx	: $60 \pm 0.2^$
ABSORBANCIA	: 400 máximo.

* Experimentalmente se observan variaciones de 56° a 63°Bx.

FUENTE: Comunicación personal.

5. DESARROLLO EXPERIMENTAL.

El desarrollo experimental de este trabajo se dividió en tres partes: una primera etapa de diagnóstico, la segunda de selección de ácidos y la tercera etapa experimental enfocada a establecer las condiciones de operación del proceso de inversión de la sacarosa. las figuras 13, 14, 15 y 16 muestran esta división.

6.1 PRIMERA ETAPA EXPERIMENTAL. EVALUACION DEL GRADO DE INVERSION QUE PRESENTAN LOS DIFERENTES PRODUCTOS DE ESTUDIO, EN FUNCION DEL TIEMPO.

Los jugos, néctares y bebidas de frutas son productos ácidos que contienen sacarosa; ésta proviene de la fruta con la cual son elaborados y del jarabe que se adiciona a cada uno de los productos de acuerdo a su formulación; el pH varía de un producto a otro desde 2.8 hasta 3.55 (ver cuadro 21, pag. 59) y, durante la elaboración, se tiene una etapa de calentamiento donde la temperatura se eleva de 90 a 105°C (ver inciso 5.2, pag. 54).

Las condiciones anteriormente mencionadas favorecen la inversión de la sacarosa, es por esto que se planteó una primera etapa experimental que permitiera conocer el grado de inversión que alcanzan los diferentes productos de estudio durante su elaboración y posterior almacenamiento (objetivo particular 2), y de este modo verificar la susceptibilidad de dichos productos a incrementar la inversión de la sacarosa presente, mediante el imolemento de algún proceso complementario de inversión (objetivos particulares 3 y 4).

En la figura 14 se muestran los pasos seguidos en esta primera etapa experimental.

6.1.1 DESARROLLO.

El desarrollo de esta etapa experimental se efectuó dentro de las instalaciones de una planta que elabora diferentes tipos de los productos de interés, de modo que la selección de éstos tuvo los siguientes criterios:

- a) Se escogieron productos con elevada demanda en el

FIGURA 13. Cuadro metodológico seguido en el desarrollo experimental.



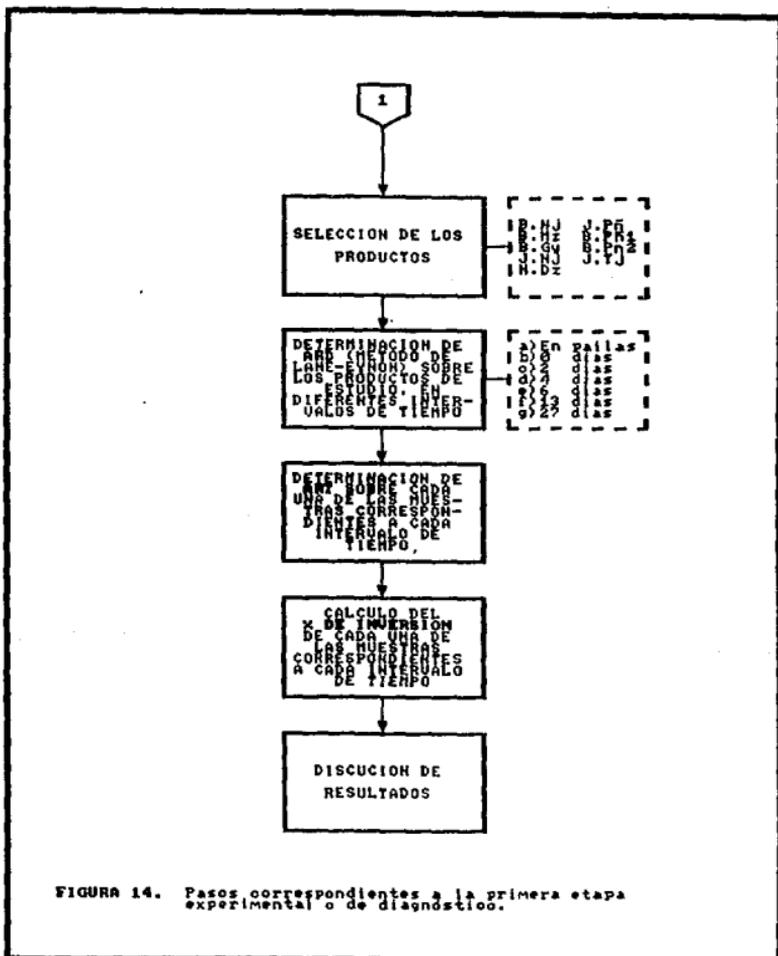


FIGURA 14. Pasos correspondientes a la primera etapa experimental o de diagnóstico.

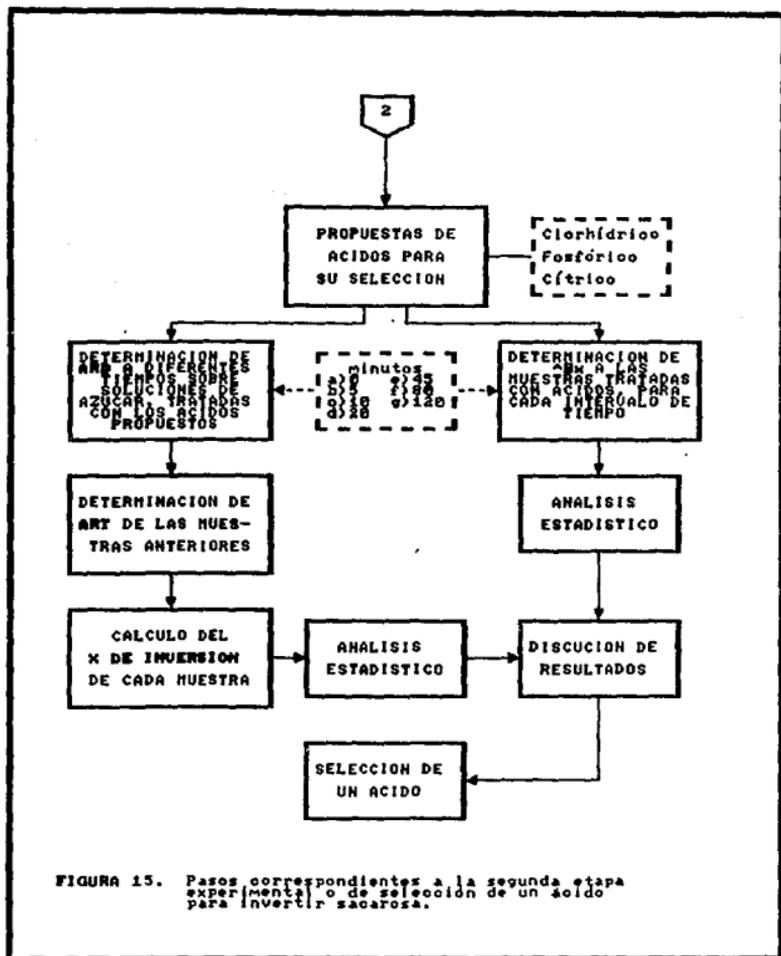
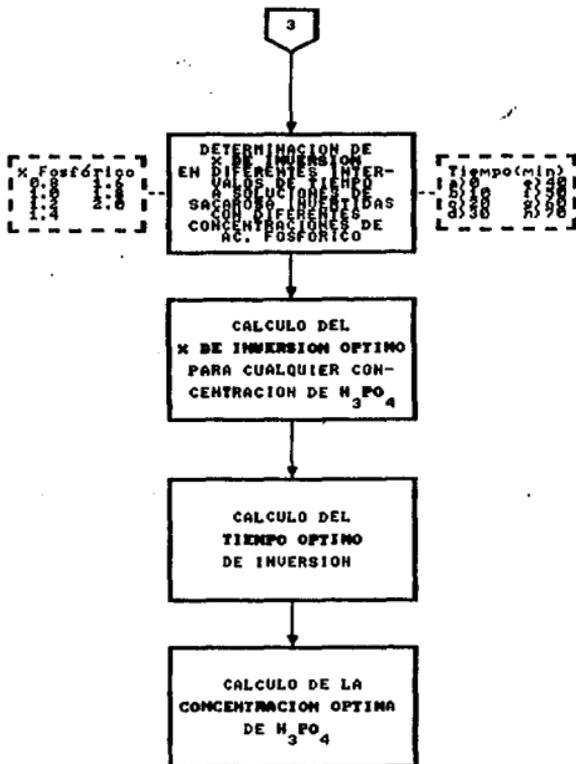


FIGURA 15. Pasos correspondientes a la segunda etapa experimental o de selección de un ácido para invertir sacarosa.

FIGURA 16. Pasos correspondientes a la tercera etapa experimental de determinación de las condiciones de operación.



mercado, lo cual se refleja en el volumen de producción de cada uno de ellos.

- b) Variedad de los productos. esto es, abarcar jugos, néctares y bebidas de diferentes frutas cada uno.
- c) Se prefirió a aquellos con mayor cantidad de azúcar en su formulación.
- d) Disponibilidad de los productos, de acuerdo a sus fechas de producción.

Los productos seleccionados se muestran en el cuadro 23 indicando el tipo de producto y la nomenclatura con que se les identificará en adelante.

CUADRO 23. PRODUCTOS SELECCIONADOS PARA LA PRIMERA FASE EXPERIMENTAL, Y NOMENCLATURA.

TIPO DE PRODUCTO	NOMENCLATURA
Bebida de naranja	(B.Nj)
Bebida de manzana	(B.Mz)
Bebida de guayaba	(B.Gy)
Jugo de naranja	(J.Nj)
Néctar de durazno	(N.Dz)
Jugo de piña	(J.Pñ)
Bebida de piña, tipo 1	(B.PR1)
Bebida de piña, tipo 2	(B.PR2)
Jugo de toronja	(J.Tj)

Variables:

Variable independiente: Tiempo (días).

Variable dependiente : Porcentaje de inversión (%).

Determinación del porcentaje de variación:

- a) En pailas de mezclado, habiéndose incorporado todos los ingredientes específicos para cada producto,
- b) al momento del llenado (cero días),
- c) a los dos días del llenado,
- d) a los cuatro días,
- e) a los seis días.

- f) a los trece días, y
 g) a los 27 días del llenado.

Las determinaciones se realizaron con los productos tal como se elaboran para su distribución comercial y sin ninguna alteración a su formulación característica. Las determinaciones se efectuaron a lo largo de casi un mes que es el tiempo máximo que llegan a durar los productos en almacenamiento dentro de la planta. Se determinó también el porcentaje de inversión antes del calentamiento (en pailas) para observar en que proporción contribuye esta operación a la hidrólisis de la sacarosa. Los lotes de los diferentes productos se tomaron de aquellos provenientes de la paila de la que se tomó la primera muestra. Los lotes se almacenaron a temperatura ambiente promedio de 20°C.

El porcentaje de inversión se determinó mediante el cálculo de los azúcares reductores directos (ARD) y los azúcares reductores totales (ART) de los productos, con el método de reducción de cobre de Lane-Evnon (38.39). Para determinar los ART se agregó ácido clorhídrico a las muestras en proporción de 2ml por cada 10ml de muestra y se calentó en baño maría a 60°C durante 10 a 15 minutos. Los cálculos se efectuaron con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ inv} = \frac{T_t}{T_d} \times \frac{D_t}{D_d} \times \frac{f_d}{f_t} \times 100 \quad (1)$$

donde:

%inv= Porcentaje de inversión.

Tt = Título en ml de la determinación de ART.

Td = Título en ml de la determinación de ARD.

Dt = Porcentaje de dilución de la muestra a la que se le determinó ART.

Dd = Porcentaje de dilución de la muestra a la que se le determinó ARD.

ft = Factor obtenido de la estandarización de los reactivos de Fehling con que se determinó ART.

fd = Factor obtenido de la estandarización de los reactivos de Fehling con que se determinó ARD.

6.1.2 DISCUSION DE RESULTADOS.

Los resultados obtenidos se resumen en el cuadro 24 y las figuras 17 y 18.

En el cuadro 24 puede observarse que los juocos (J.Ni, J.Pñ y J.Ti) son los que presentan el mayor porcentaje de inversión inicial (en pailas): esto está relacionado con el hecho de que los juocos son los productos con menor cantidad de azúcar añadida en su formulación y, como se señaló en el punto 4.1 (pág. 39), el azúcar invertido se encuentra naturalmente en ciertos frutos tales como los cítricos.

El porcentaje de inversión frente al calentamiento tuvo respuestas muy variadas entre los diferentes productos: mientras que para las bebidas de manzana y guayaba y los juocos de piña y toronja el incremento de invertidos fue de menos de cuatro puntos porcentuales, la bebida de piña 2 aumentó en más de 20 puntos porcentuales sus invertidos (ver el cuadro 25). Estas diferencias pueden atribuirse a los tiempos de calentamiento a que cada producto es sometido y, posiblemente, a las fluctuaciones en el lapso que transcurre desde que el producto es calentado hasta que es enfriado, debido falta de control en el proceso. El promedio de incremento de la inversión en esta parte es de 7.56 puntos porcentuales.

La inversión al paso del tiempo, a partir de 0 días y hasta la última determinación, sigue un comportamiento fundamentalmente lineal con ecuación

$$X_{\text{inversión}} = B\theta + A. \quad (2)$$

como puede observarse en las figuras 17 y 18: los puntos mostrados en las gráficas son los obtenidos experimentalmente (cuadro 24) y las rectas corresponden a la correlación de dichos puntos. Las correlaciones para cada producto pueden observarse en el cuadro 26. Los dos productos que presentan una correlación menor a 0.9 son B.Ni y B.Gv. estos valores son influidos por lo dudoso de los datos de la última determinación (28 y 27 días respectivamente) que apuntan porcentajes de inversión menores a las del día anterior lo cual no es posible y puede atribuirse a errores experimentales, además de la carencia de un dato (para 13 días) en la bebida de naranja.

La inversión final a la que se llega entre los diferentes productos tiene un amplio margen entre el menor y el mayor valor, esto es, entre la bebida de naranja y el juoco de

CUADRO 24. PORCENTAJE DE INVERSION QUE PRESENTAN LOS DIFERENTES PRODUCTOS DE ESTUDIO. EN FUNCION DEL TIEMPO.

PRODUCTO	TIEMPO (dias)						
	Paila	0	2	4	6	13	27
						*14	*28
B.Ni.	1.69	8.48	9.57	9.85	10.63	-	*10.55
B.Mz.	4.05	7.82	8.36	8.91	9.08	*13.69	15.37
B.Gv.	2.34	4.24	4.65	4.94	5.35	*14.69	12.21
J.Ni.	17.25	28.99	30.17	31.0	30.58	34.21	38.36
N.Dz.	3.22	11.89	12.04	9.83	12.85	14.75	18.11
B.PR.1	3.15	10.33	10.20	11.14	12.23	15.39	19.53
B.PR.2	4.92	25.88	29.36	27.59	30.04	33.25	*43.60
J.PR.	13.39	16.64	17.89	18.15	18.31	20.3	23.71
J.Ti.	24.04	27.85	30.06	-	33.93	38.67	46.26

El signo (*) indica que las pruebas fueron tomadas a los 14 y 28 días, según la columna correspondiente, en vez del tiempo preestablecido de 13 y 27 días.

El signo (-) indica que la determinación no fue obtenida.

FIGURA 17.

Porcentaje de inversión que presentan algunos productos en función del tiempo.

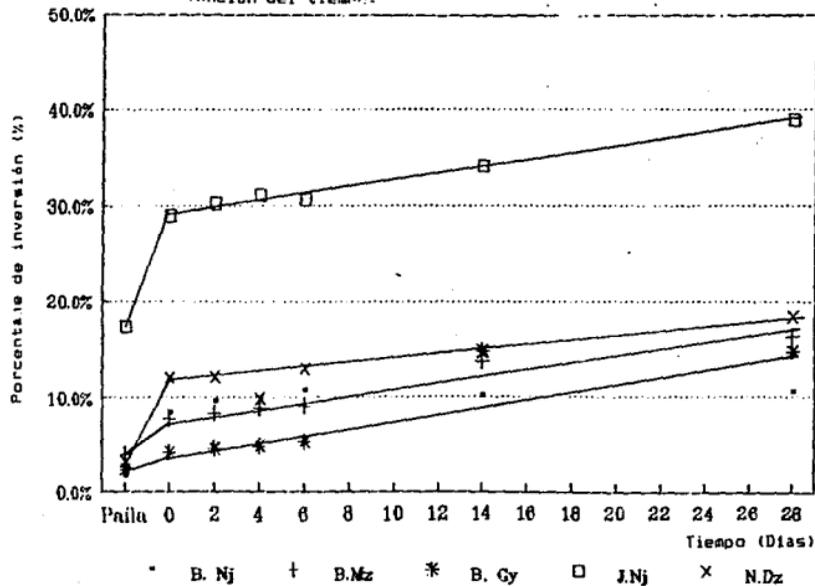
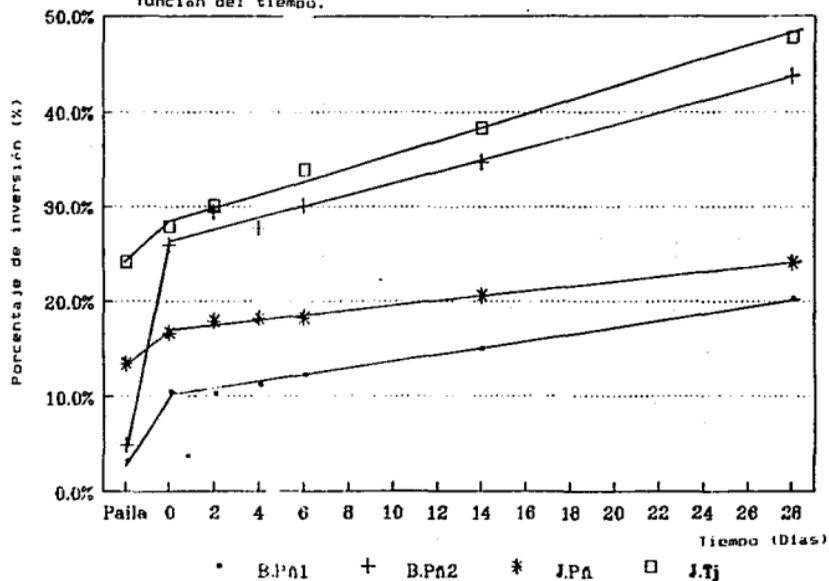


FIGURA 18

Porcentaje de inversión que presentan algunos productos en función del tiempo.



CUADRO 25. PUNTOS PORCENTUALES DE INCREMENTO EN LA INVERSIÓN QUE PRESENTAN LOS DIFERENTES PRODUCTOS DE ESTUDIO POR EFECTOS DEL CALENTAMIENTO Y DEL TIEMPO.

PRODUCTO	CALENTAMIENTO	0-27 DÍAS	TOTAL
B.Nj	6.79	2.07	8.86
B.Mz	3.77	7.55	11.33
B.Gv	1.90	7.97	9.87
J.Nj	11.74	9.37	21.11
N.Dz	8.67	6.22	14.98
B.PR1	7.18	9.20	16.38
B.PR2	20.96	17.72	38.68
J.PR	3.25	7.07	10.32
J.Tj	3.81	18.41	22.22
PROMEDIO	7.36	9.51	17.07

toronja (35.7 puntos porcentuales), estas diferencias pueden apreciarse también a través de las pendientes (B) del cuadro 26 donde dichas pendientes constituyen indicadores de la capacidad de inversión de los diferentes productos al paso del tiempo.

El promedio de incremento de la inversión desde 0 hasta 27 días es de 7.36 puntos porcentuales y el promedio total, considerando todo el lapso del estudio es de 17.7 puntos porcentuales. La mayor hidrólisis alcanzada puede considerarse aún baja (J.T.i=46.26%) pues no alcanza siquiera la mitad de la inversión y es, por lo tanto, susceptible de llegar a valores mayores.

Por otro lado, es importante señalar que los tres productos con el menor porcentaje de inversión (B.Nj, B.Mz y B.Gv) corresponden precisamente a la línea de productos con mayor empleo de azúcar y con el mayor volumen de producción dentro de la planta, lo cual implica que siendo susceptible de hidrolizarse su sacarosa, es posible reducir la cantidad de azúcar usado para su elaboración con el consiguiente ahorro que puede esperarse significativo dado los volúmenes manejados en la planta.

Como una actividad complementaria se calculó el porcentaje de inversión que se tiene en el jarabe con que se preparan los productos. La determinación presentó algunas dificultades para el método empleado (Lane-Eynon) ocasionadas por la turbidez, espesor, y bajo contenido de reductores directos. El resultado estimado bajo estas condiciones es de 0.18% de

invertidos.

Los puntos anteriores refuerzan la propuesta de implementar una operación complementaria a los procesos de elaboración que permita alcanzar un mayor grado de inversión de la sacarosa en los diferentes productos (particularmente en las bebidas de naranja, guayaba y manzana) para alcanzar el objetivo de reducir la cantidad de sacarosa de las formulaciones, sin afectar el grado de dulzor.

CUADRO 26. CORRELACION DEL PORCENTAJE DE INVERSION Y EL TIEMPO DE LOS PRODUCTOS DE ESTUDIO, DESDE 0 HASTA 27 DIAS.

PRODUCTO	A	B	CORRELACION
B.Nj	9.43015	0.04823	0.629976
B.Mz	7.86924	0.30216	0.965862
B.Gv	4.41680	0.36942	0.821867
J.Nj	29.24096	0.34354	0.991123
N.Dz	10.96389	0.26320	0.921767
B.PK1	9.99233	0.36281	0.992473
B.PK2	26.28717	0.60372	0.985883
J.PK	17.00327	0.24962	0.994555
J.Tj	28.94787	0.66730	0.991164

6.2 SEGUNDA ETAPA EXPERIMENTAL. SELECCION DEL ACIDO PARA EFECTUAR LA INVERSION DE SACAROSA.

Una vez verificado la susceptibilidad de los diferentes productos de estudio v principalmente de las bebidas de naranja, guayaba v manzana a incrementar sus niveles de inversión, se procedió a seleccionar un ácido adecuado para tal efecto.

Los pasos seguidos se muestran en el diagrama de la figura 15 (pag. 68).

6.2.1 DESARROLLO.

Para proponer a los ácidos susceptibles de ser utilizados en la inversión de sacarosa se tomaron en cuenta su poder de inversión, su seguridad para el consumo humano, y su precio, principalmente.

Los ácidos considerados son el clorhídrico, el fosfórico y el cítrico, por las siguientes razones:

a) El ácido clorhídrico es comunmente reportado en la literatura como el ideal para efectuar la hidrólisis de grandes cantidades de sacarosa por su elevado poder de inversión relativo (ver el cuadro 18 pag. 46). Esta característica permite su utilización en pequeñas cantidades, por lo que su costo resulta bajo; de igual modo, el riesgo para la salud por sus residuos despues de neutralizar v las impurezas que pudiera tener, resultan mínimos.

b) El ácido fosfórico constituye un ingrediente importante en la formulación de algunas bebidas oaseosas (refrescos de cola, principalmente) donde precisamente se busca la inversión del azúcar agregado. Una comunicación personal de una empresa indica que se han efectuado pruebas con este ácido para agregarlo a bebidas de fruta con buenos resultados por lo que es posible que en un futuro cercano se encuentre el ácido fosfórico como un ingrediente común en algunos productos, esto si es que no se está haciendo ya.

c) El ácido cítrico es un ingrediente base en la formulación de los productos de estudio.

Se efectuó la inversión de soluciones de sacarosa utilizando los tres ácidos ya mencionados para observar la validez de los datos bibliográficos sobre su poder de inversión.

Variables:

Variable independiente: Tiempo (minutos).

Variable dependiente: Porcentaje de inversión (%).
Sólidos solubles (%Bx).

Niveles de variación:

0, 5, 10, 20, 45, 80, 120 minutos, a partir del momento de adicionar el ácido.

Las soluciones se prepararon con sacarosa grado reactivo agregando 66g y aforando a 100ml con agua destilada, similares a los utilizados en las preparaciones. La temperatura de operación fue de $70^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, con agitación constante y sobre "baño maría". La temperatura se fijó sabiendo que la velocidad de inversión aumenta con la temperatura, por lo que se buscó que esta fuera máxima sin inducir a reacciones no deseables (ver incisos 4.1 y 4.6.1 de este trabajo, pag. 39 y 45 respectivamente).

La concentración de ácido utilizado es equivalente a su poder de inversión relativo: 100 para el ácido clorhídrico, 6.21 para el fosfórico, y 1.72 para el cítrico (ver el cuadro 11, pag. 29). La cantidad base de ácido utilizada fue de 0.0875% de clorhídrico que es reportada como adecuada para efectuar la inversión de grandes cantidades de sacarosa (ver ref. 31 e inciso 4.6.1 de este trabajo, pag. 45). De este modo, se agregó 1.4% de fosfórico, considerando una pureza del 85%, y 5.09% de cítrico, empleando un valor de densidad de 1.77 g/ml, el dato de pureza no se consideró por desconocerse. Los ácidos utilizados fueron grado alimenticio, excepto el clorhídrico que fue grado reactivo.

El ácido se agregó a las soluciones en el momento en que se observó que la sacarosa se había disuelto en su totalidad y la temperatura era la especificada.

Las muestras que se fueron tomando se neutralizaron con hidróxido de sodio al 50% en agua y se redujo su temperatura con agua corriente, para detener la inversión.

Todas las determinaciones fueron realizadas por triplicado.

El porcentaje de inversión se obtuvo con el método de Lane-Eynon y la ecuación (1) del modo indicado en la página 71 del inciso 6.1.1.

Mediante un análisis de varianza para un diseño de bloques aleatorizados (29.37) se determinó la influencia de los diferentes ácidos empleados sobre la variable de respuesta (% de inversión v μ), a través de la prueba de hipótesis:

H_0 : $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = \mu_6 = \mu_7 = \mu_8 = \mu_9 = \mu_{10}$

H_A : No todos los μ_i son iguales.

Estos resultados, junto con el criterio del precio de jarabe por ácido utilizado, se emplearon para efectuar la selección sobre los ácidos. Los precios de los diferentes ácidos fueron consultados a empresas que los distribuyen a nivel industrial y con vigencia en diciembre de 1992.

6.2.2 DISCUSION DE RESULTADOS.

Los resultados se indican en el cuadro 27 y la figura 19. La tendencia de la curva v de las que aparecen en adelante corresponden al ajuste que ofrece el gráfico del paquete First Choise. Se observa que el comportamiento general de los tres ácidos es similar: se tiene una primera etapa de rápida inversión donde a pequeños incrementos de tiempo se consigue altos valores de hidrólisis, y un segundo periodo donde se requiere de espacios de tiempo mayores para observar aumento en el porcentaje de inversión.

Para comprobar la semejanza de comportamiento entre los tres ácidos se practicó un análisis de varianza de bloques aleatorizados.

El valor F calculado es $F=3.14$ y el valor crítico del estadístico $F(\alpha=0.05)$ para $v_1=2$ y $v_2=12$ grados de libertad es $F_{\alpha}=3.89$, de modo que

$$(F=3.14) < (F_{\alpha}=3.89)$$

por lo tanto, se acepta la hipótesis H_0 .

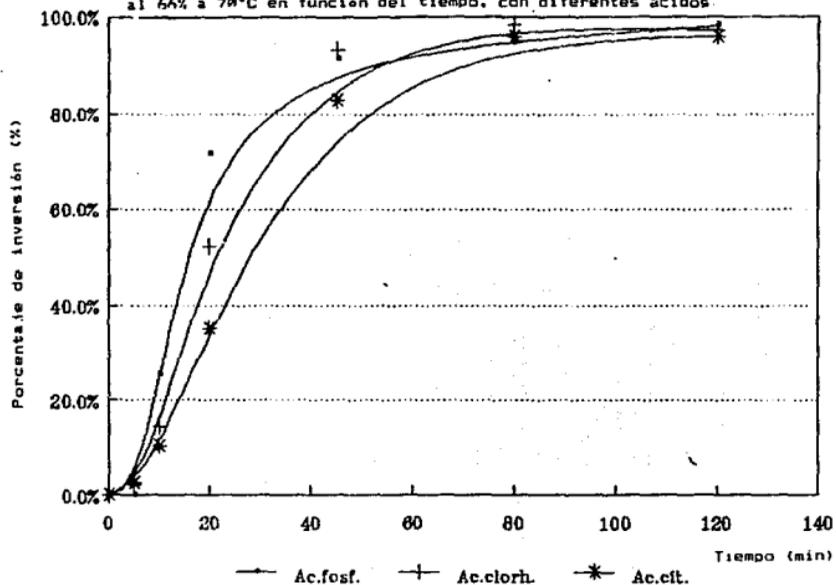
Este comportamiento era esperado por haberse empleado concentraciones equivalentes de los ácidos e iguales

CUADRO 27. PORCENTAJE DE INVERSION Y GRADOS BRUX DE SOLUCIONES DE SACAROSA AL 66% Y 70°C EN DIFERENTES INTERVALOS DE TIEMPO, CON DIFERENTES ACIDOS EN CONCENTRACIONES EQUIVALENTES.

TIEMPO (min)	H ₃ PO ₄ (1.41%)		HCl (0.0875%)		CITRICO (5.09%)	
	% INV.	*Bx	% INV.	*Bx	% INV.	*Bx
0	0.0	55.0	0.0	54.0	0.0	56.0
5	5.14	55.2	2.17	54.8	2.46	57.6
10	25.59	56.1	14.59	54.9	10.73	58.1
20	71.66	57.7	51.91	56.8	35.18	59.8
45	91.59	60.0	93.42	60.1	83.01	63.8
80	95.52	64.2	98.49	63.6	95.98	68.8
120	98.17	68.2	97.42	69.8	96.00	77.2

FIGURA 19.

Porcentaje de inversión que presenta una solución de sacarosa al 64% a 70°C en función del tiempo, con diferentes ácidos



condiciones de temperatura, sin embargo, pueden observarse algunas diferencias: la hidrólisis con ácido cítrico es marcadamente menor respecto a la efectuada con fosfórico durante la primera etapa de inversión. Al respecto puede apreciarse que el ácido clorhídrico, el fosfórico y el cítrico corresponden respectivamente a la clasificación de ácidos fuertes, semifuertes y débiles; esta clasificación se basa en la capacidad o grado de disociación α , de este modo, se tiene que el HCl se ionizan completamente en el agua, mientras que el fosfórico y el cítrico sólo lo hacen parcialmente, pero con marcada diferencia (ver el cuadro 28) (2.49) lo cual se refleja finalmente en los resultados, pues como puede apreciarse en la figura 19 (pag. 82), si bien la inversión con fosfórico domina durante la primera etapa, durante la segunda es el clorhídrico el que destaca, quedando siempre a la zaga el cítrico, demostrándose la capacidad de inversión de los diferentes ácidos en función de su grado de disociación. Por otro lado, debe tomarse en cuenta el hecho de que no se consideró el grado de pureza del cítrico por desconocerse, lo cual es un factor que también debe afectar los resultados.

CUADRO 28. CONSTANTES DE DISOCIACION* A 25°C DE LOS ACIDOS FOSFORICO Y CITRICO.

ACIDO	K_1	K_2	K_3
Fosfórico	7.52×10^{-3}	6.25×10^{-8}	5×10^{-13}
Cítrico	9.20×10^{-4}	2.69×10^{-10}	1.34×10^{-16}

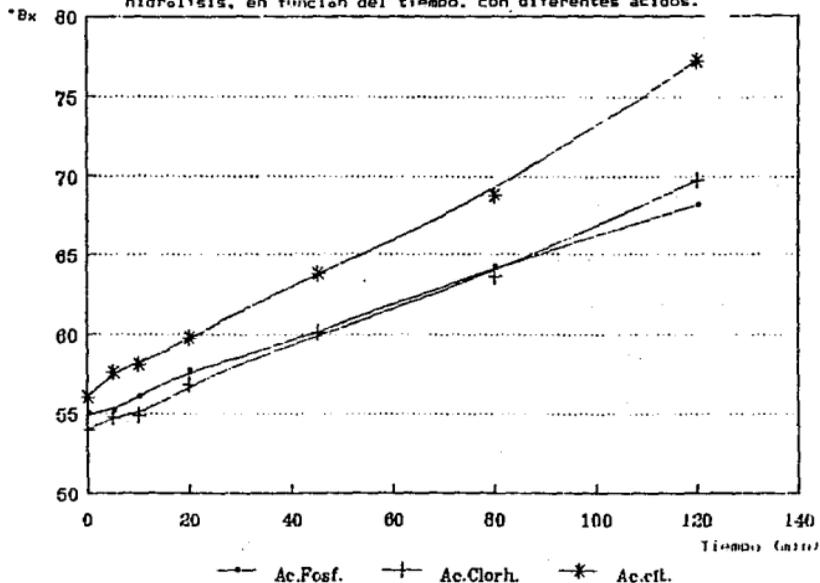
* La constante de disociación K de una relación entre α y la concentración y representa, correlativamente, una medida de fuerza del ácido o una medida de su tendencia a experimentar disociación.

FUENTE: Vogel, Arthur I. Química Analítica Cualitativa. Ed. KAPELUSZ. 5a. ed. B.A. Argentina. Pag. 16.

De forma paralela se determinó los sólidos solubles de las muestras. Los valores se muestran en el cuadro 25 (pag. 76) y la figura 20. En la figura 20 se aprecia que la distribución de los puntos en los tres casos sigue un comportamiento lineal similar. Al inicio, los %x de las tres muestras es similar pero, conforme avanza el tiempo, la muestra tratada con HCl tiende a deslizarse por encima de las líneas de las otras dos muestras las cuales son prácticamente iguales y solo se aprecia una tendencia a la separación hacia el final del tratamiento (tiempo=120 min).

FIGURA 20.

*Bx que presenta una solución de sacarosa al 66% durante su hidrólisis, en función del tiempo, con diferentes ácidos.



Para comprobar la semejanza de comportamiento de °Bx entre los tres ácidos se practicó un análisis de varianza de bloques aleatorizados.

El valor calculado de F es $F=17.08$ v el valor crítico del estadístico $F(\alpha=0.05)$ para $v_1=2$ v $v_2=12$ grados de libertad es $F_{\alpha}=3.89$, de modo que

$$(F=17.08) > (F_{\alpha}=3.89)$$

por lo tanto, se rechaza la hipótesis H_0 y se acepta la hipótesis alterna H_a (al menos una de las medias es diferente).

De modo similar que en el análisis para el % de inversión, se esperaba un comportamiento parecido de los °Bx frente a los tres diferentes ácidos. De acuerdo a lo expuesto en la sección 4.2 (paq. 41) podría haberse esperado una disminución en los grados Brix conforme aumentara la inversión, sin embargo, el incremento en los valores de grados Brix es atribuible principalmente a la temperatura a la que se trabajó lo que favoreció la evaporación del agua; de este modo, las variaciones que se presentan entre las soluciones tratadas con los tres ácidos se deben principalmente a las condiciones atmosféricas no controlables, esto es, la temperatura y humedad relativa presente al momento del tratamiento, lo cual influye en la eliminación de agua de las muestras y constituye un factor que deberá tomarse en cuenta para la implementación en planta del método de inversión de la sacarosa que resulte de acuerdo al objetivo de este trabajo.

La selección sobre los ácidos se complementó con la información de sus costos por litro de jarabe. Los precios de los ácidos cotizados en enero de 1993 son los siguientes:

~ N\$ 36.91/lit de HCl	grado alimenticio.
N\$ 0.77/lit de HCl	grado industrial.
N\$ 1.87/lit de H_3PO_4	grado alimenticio.
N\$ 6.25/lit de cítrico	grado alimenticio.

Durante la tarea de indagar los precios de los ácidos se encontró que el clorhídrico grado alimenticio no se fabrica en el país y solo se pudo localizar a un proveedor que lo importara (y a decir de él, el único en el mercado nacional). Al parecer, el ácido que llegan a emplear las empresas es de

grado industrial, de modo que se presentan los precios de ambos. El precio del ácido grado alimenticio es aproximado de acuerdo al vigente hacia tres años debido a que el proveedor no contaba con el dato real en el momento de la entrevista*.

Considerando las proporciones empleadas de acuerdo a sus valores de poder relativo de inversión, se tienen los siguientes costos:

Con HCL: N\$ 0.1041 lt de jarabe (Grado alimenticio).
N\$ 0.0022/lt de jarabe (Grado industrial).
Con H₃PO₄: N\$ 0.052 /lt de jarabe (Grado alimenticio).
Con cítrico: N\$ 0.56 /lt de jarabe. (Grado alimenticio).

Considerando los resultados anteriores fue puesto en tercer lugar al ácido cítrico como opción para efectuar la inversión de la sacarosa, esto es, por haber resultado en la prueba de hidrólisis el que menor inversión daba en función del tiempo, como por el alto costo que representaría su empleo.

Los otros dos ácidos producen resultados parecidos en cuanto al tiempo de hidrólisis se refiere, incluso, como ya se mencionó, el fosfórico presenta cierta ventaja sobre el clorhídrico. En cuanto a los costos, el ácido clorhídrico en grado alimenticio presenta el mayor precio en tanto que el de grado industrial es el que representa evidentemente el menor gasto por preparación. Podría resultar evidente la selección de este último ácido como la primera opción viable para efectuar la inversión, sin embargo, se requeriría de una investigación previa sobre su seguridad debido a los posibles efectos tóxicos por la presencia de arsénico, fierro y plomo, entre otros. Por otra parte, siendo el de grado alimenticio de importación, esto lo hace riesgoso para asegurar su abastecimiento.

Las anteriores consideraciones aunadas al antecedente de las investigaciones que se realizan con el ácido fosfórico para su incorporación a bebidas (ver 6.2.1. inciso b, pag. 78) definieron finalmente que se decidiera por el ácido fosfórico para efectuar la hidrólisis de la sacarosa.

* Se extrapoló el valor conocido del ácido con el dato del 67.1% de inflación acumulada correspondiente de julio de 1969 a Diciembre de 1972. Fuente: Índice nacional de precios al consumidor. Banco de México.

6.3 TERCERA ETAPA EXPERIMENTAL. DETERMINACION DE LA CONCENTRACION DEL ACIDO SELECCIONADO Y DEL TIEMPO CON QUE SE OBTIENE LA MAYOR INVERSION, CON EL MENOR COSTO DE OPERACION.

Una vez seleccionado al acido fosfórico para llevar a cabo la inversión de la sacarosa, se pasó a la tercera etapa experimental. La figura 16 muestra los pasos seguidos (pag. 69).

6.3.1 DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE INVERSION OPTIMO.

6.3.1.1 DESARROLLO.

Se determinó el porcentaje de inversión al paso del tiempo en soluciones de sacarosa invertidas con diferentes concentraciones de H_2PO_4 .

Variables:

Variable independiente: Tiempo (minutos). Concentración de acido fosfórico (%).

Variable dependiente: Porcentaje de inversión (%).

Niveles de variación:

Se probaron siete diferentes concentraciones para el ácido fosfórico, tres arriba y tres debajo de la concentración utilizada en la fase anterior: 0.8, 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8, 2.0%.

Se tomaron muestras cada 10 minutos hasta completar 70 minutos. El tiempo final fue establecido a partir de la observación de la etapa anterior de alcanzarse en este intervalo porcentajes de inversión superiores al 90%.

Las dispersiones se prepararon con azúcar comercial de segunda clase (azúcar morena), en proporción de 66 gr de azúcar para 100 ml de jarabe.

La temperatura de operación fue de $70^{\circ}C \pm 2^{\circ}C$.

La inversión de las muestras fue detenida del modo descrito en la fase anterior (inciso 6.2.1. pag. 79). El porcentaje de inversión se obtuvo mediante la determinación de ARD y ART con el método de Lane-Evnon y la ecuación (1) del modo indicado en el inciso 6.1.1. pag. 71. Todas las determinaciones se efectuaron por triplicado.

Los datos obtenidos se agruparon en un cuadro y con él se construyó un gráfico. Las curvas obtenidas se ajustaron a una ecuación con la que se calculó el porcentaje de inversión óptimo.

Tomando en cuenta que el costo de elaboración del jarabe se incrementa con el tiempo de proceso debido al gasto de energía (vapor de calentamiento y agitación), se buscó maximizar el grado de inversión minimizando el tiempo de tratamiento; para esto se consideró que el punto de cada curva que cumple este requisito es aquel al cual la distancia es mínima entre el punto de 100% de inversión $P'(X',Y')$ sobre el eje ordenado, y el punto $P(X,Y)$ sobre la curva.

La distancia entre los dos puntos P y P' está dada por

$$d = |PP'| = \sqrt{(\theta - \theta')^2 + (Y - Y')^2} \quad (3).$$

La resolución de esta ecuación y la sustitución en la ecuación encontrada para las curvas permite conocer el % de inversión óptimo para cada concentración del ácido; el promedio de estos valores será el % de inversión óptimo promedio para cualquier concentración de H_3PO_4 .

6.3.1.2 DISCUSION DE RESULTADOS.

Los resultados se indican en el cuadro 29 y la figura 21.

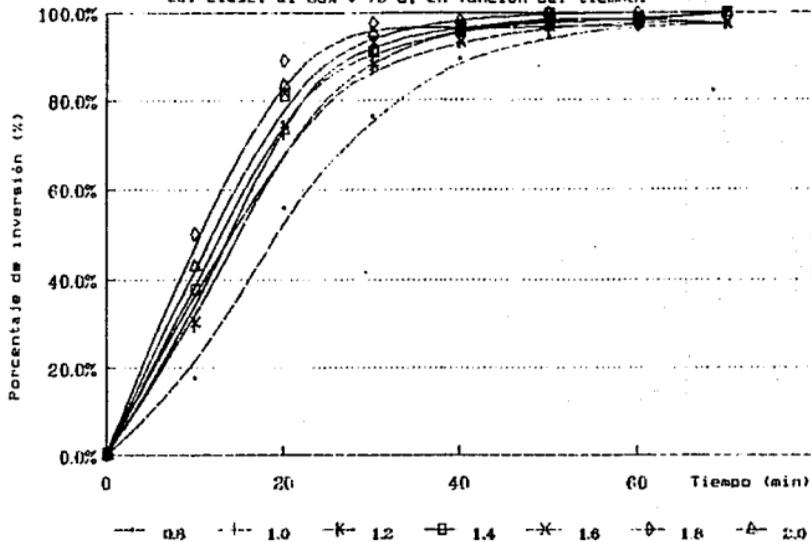
En la figura 22 se observa que el desarrollo de la inversión a diferentes concentraciones del ácido tiene el mismo comportamiento que el señalado en 6.2.2: se tiene una primera etapa de rápida inversión donde a pequeños incrementos de tiempo se consigue altos valores de hidrólisis, y un segundo período donde se requiere de espacios de tiempo mayores para observar aumento en el porcentaje de inversión. El tiempo de inversión disminuye conforme aumenta la concentración del ácido.

CUADRO 29. PORCENTAJE DE INVERSION (%) EN SOLUCIONES DE AZUCAR DE SEGUNDA CLASE AL 66% A 70°C, CON DIFERENTES CONCENTRACIONES DE ACIDO FOSFORICO, A DISTINTOS INTERVALOS DE TIEMPO.

TIEMPO (MIN)	% (EN VOLUMEN) DE H ₃ PO ₄						
	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
0	0	0	0.17	0	0.18	0.18	0
10	17.58	29.45	-	37.68	30.06	49.91	42.92
20	55.81	72.79	74.23	80.92	81.48	89.08	83.45
30	76.33	89.90	87.70	91.28	93.25	97.51	95.44
40	89.41	96.18	93.20	95.66	96.71	95.96	98.30
50	94.53	98.06	96.86	99.74	98.31	96.98	100.0
60	97.43	98.45	98.06	97.62	99.13	97.14	100.0
70	97.31	100.0	97.59	100.0	97.37	-	100.0

FIGURA 21.

Porcentaje de inversión con H_2PO_4 en soluciones de azúcar de 2a. clase, al 66% v 70°C, en función del tiempo.



Se buscó linearizar las curvas obtenidas en la figura 21 (pag. 98) encontrándose que el comportamiento que mejor se ajusta es el correspondiente al de la ecuación

$$Y = C (1 - 10^{-D\theta}) \quad (4)$$

donde

- Y = Porcentaje de inversión, %.
- θ = Tiempo, min.
- C = 100% de inversión; es el valor máximo que puede alcanzar la variable Y.
- D = Variable puntual.

Ordenando la ecuación (4) de modo que se tenga la ecuación de una recta:

$$\log Y'' = E\theta + F \quad (5)$$

donde

- $Y'' = C - Y$
- E = Pendiente
- F = Ordenada al origen.

El valor correlacionado por mínimos cuadrados de las constantes E y F referentes a cada concentración se muestran en el cuadro 30.

Sustituyendo (5) en (3).

$$d = \sqrt{(\theta - \theta')^2 + (C - 10^{E\theta + F} - Y')^2} \quad (6)$$

Derivando d respecto a θ e igualando a cero para optimizar la función, se tiene

$$d' = \frac{1}{2} [(\theta - \theta')^2 + (C - 10^{E\theta + F} - Y')^2]^{-1/2} [2(\theta - \theta') + 2(C - 10^{E\theta + F} - Y') - C \ln 10^{E\theta + F}] = 0 \quad (7)$$

Como $P'(\theta', Y') = P'(\theta, 100)$, simplificando se tiene

$$10^{E\theta + F} = \frac{-2\theta}{-2 - E} \quad (8)$$

que es la ecuación que corresponde a la distancia mínima entre el punto P' del eje ordenado v el punto P de las curvas. La figura 22 muestra, como ejemplo, la distancia |PP'| correspondiente a la curva de 0.8% de H₂PO₄.

Sustituyendo los valores correspondientes a cada concentración de ácido e iterando en la ecuación (8) se obtiene el tiempo mínimo de calentamiento. Con estos datos se sustituye en (5) para calcular el porcentaje de inversión máximo esperado. Los valores obtenidos se muestran en el cuadro 31.

Promediando la columna de la derecha del cuadro 31 se obtiene el valor promedio de porcentaje de inversión óptimo

$$Y_{oo} = 82.2\%$$

que puede esperarse para cualquier concentración de ácido utilizada.

CUADRO 30. VALOR DE LAS CONSTANTES E Y F DE LA ECUACION (5), PARA DIFERENTES CONCENTRACIONES DE ACIDO FOSFORICO.

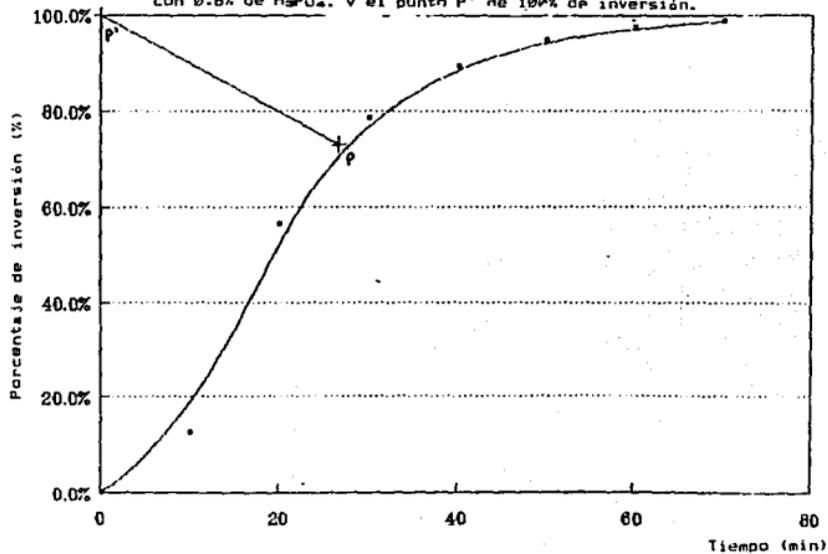
CONCENTRACION DE H_3PO_4 (%)	E	F	CORRELACION
0.8	-0.03029	2.24515	-0.99917
1.0	-0.03974	2.22368	-0.99792
1.2	-0.02840	1.95948	-0.99775
1.4	-0.03811	2.11615	-0.99180
1.6	-0.03959	1.92380	-0.95485
1.8	-0.03959	1.92380	-0.95485
2.0	-0.05138	2.25070	-0.99843

CUADRO 31. TIEMPO MINIMO Y PORCENTAJE DE INVERSION MAXIMO ESPERADOS PARA DIFERENTES CONCENTRACIONES DE H_3PO_4 .

CONCENTRACION DE H_3PO_4 (%)	TIEMPO (MIN)	PORCENTAJE DE INVERSION (%)
0.8	26.8	72.87
1.0	27.8	86.85
1.2	28.3	86.69
1.4	26.4	87.12
1.6	20.3	79.33
1.8	17.2	82.51
2.0	18.9	80.96

FIGURA 22.

Distancia mínima entre el punto P de la curva de inversión con 0.8% de H_2PO_4 y el punto P' de 100% de inversión.



6.3.2 CALCULO DE LA CONCENTRACION DE H_2PO_4 Y TIEMPO OPTIMOS PARA EFECTUAR LA INVERSION DE SACAROSA.

6.3.2.1 DESARROLLO.

Con el valor de Y_{opt} y la ecuación (5) se calculó el tiempo con que se alcanza dicho porcentaje de inversión para cada concentración de ácido utilizada.

Se buscó una ecuación del tipo

$$G = H\theta + I \quad (9)$$

que relacionara los valores de tiempo (θ) y concentración (X , incluido en G) calculados.

La ecuación encontrada se utilizó en el siguiente modelo que representa el costo total de preparación para cada uno de los productos:

$$C_T = C_1 + C_2\theta + C_3X \quad (10)$$

donde

C_T = Costos totales de preparación de cada uno de los productos por unidad de volumen [pesos/lit].

C_1 = Costos fijos de preparación; incluye todos los costos de preparación, excepto aquellos por concepto de gasto de energía y ácido empleado. Como hasta este momento no es posible saber en que proporción puede reducirse la cantidad de azúcar en los productos, ésta puede considerarse como constante dentro del modelo propuesto. [pesos/lit].

C_2 = Costo de energía por tiempo empleado en la preparación de un volumen de jarabe invertido. Incluye el costo por la electricidad consumida por los agitadores y el de el vapor necesario para elevar la temperatura que corresponde a N° 0.107 pesos/min y N° 0.301 pesos/min respectivamente, valuados en diciembre de 1992 para una preparación de 7000 lit (datos proporcionados por una empresa que elabora los productos de estudio). Sumando ambos conceptos se tiene que $C_2 = N° 58.2 \times 10^{-4} / \text{lit min}$.

C_3 = Costo volumétrico del ácido fosfórico. El precio del ácido es de N\$ 1.87/kg; considerando una densidad $\xi = 1.66$ g/ml y una pureza del 85% se tiene que $C_3 = N\$ 3.65$ /lt.

θ = Tiempo de preparación del jarabe invertido. [min].

x = Fracción volumétrica de ácido fosfórico. $x = X/100$.

La optimización de la ecuación (10) da el valor del tiempo óptimo de inversión y la sustitución de éste en (9) proporciona la concentración del ácido para alcanzar en ese tiempo una Y_{opt} .

6.3.2.2 DISCUSION DE RESULTADOS.

Sustituyendo Y_{opt} en (5) para cada una de las concentraciones trabajadas de H_3PO_4 , se obtiene el tiempo requerido para alcanzar dicho valor de inversión, estos datos se presentan en el cuadro 32.

CUADRO 32. TIEMPO REQUERIDO PARA ALCANZAR UNA INVERSION $Y_{opt}=82.2\%$ PARA DIFERENTES CONCENTRACIONES DE H_3PO_4 .

CONCENTRACION DE H_3PO_4 (%)	TIEMPO (MIN)
0.8	32.84
1.0	24.49
1.2	24.97
1.4	22.72
1.6	22.05
1.8	17.01
2.0	19.47

Linearizando los valores de concentración contra tiempo del cuadro 32 se obtiene el valor de las constantes H e I de la ecuación (9):

$$\frac{1}{x} = 0.049890 - 0.3831 \quad (9),$$

con una correlación $r = 0.9368$, donde

$$1/X = G$$

y X es el porcentaje de ácido fosfórico adicionado para alcanzar una inversión de 82.2% en un tiempo θ .

Los valores correlacionados se muestran graficados en la figura 23 señalados con el signo (+). los puntos (.) corresponden a los datos del cuadro 32 con los que efectuó la correlación. Puede observarse la relación inversa que guarda el tiempo con la concentración del ácido, esto es que a una mayor concentración de ácido, se requiere de un tiempo menor para llevar la inversión de sacarosa hasta una $Y_{82.2} = 82.2\%$; y para una concentración menor del ácido se necesitará más tiempo para llegar al mismo grado de inversión $Y_{82.2}$.

Sustituyendo en (10) el valor de X por su correspondiente de la ecuación (9):

$$C_T = C_1 + C_2\theta + \frac{C_3}{100} \frac{1}{B\theta + A} \quad (11).$$

Derivando respecto al tiempo θ e igualando a cero:

$$C_T' = C_2 - \frac{C_3}{100} \frac{1}{(B\theta + A)^2} = 0 \quad (12).$$

reordenando

$$B^2\theta^2 + 2AB\theta + (A^2 - \frac{BC_3}{100C_2}) = 0 \quad (13).$$

Calculando las raíces:

$$\theta_1 = 119.8 \text{ min.}$$

$$\theta_2 = -104.4 \text{ min.}$$

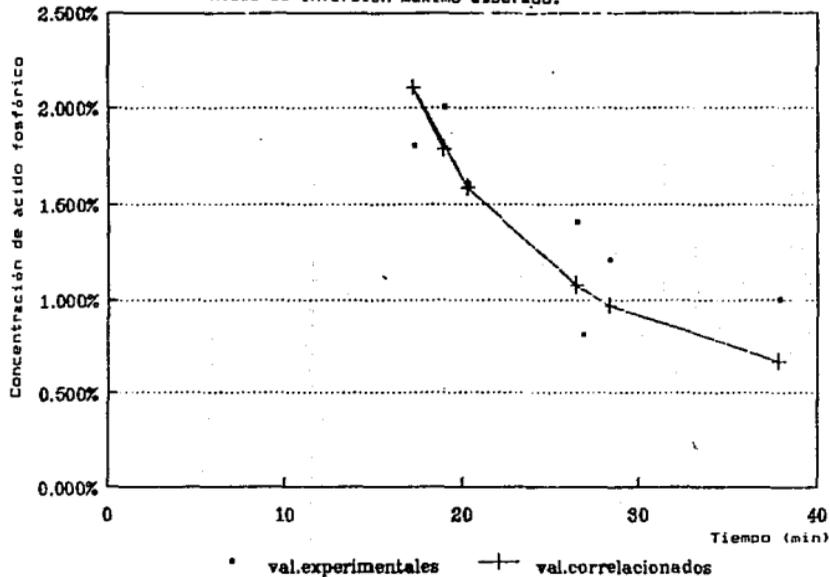
Tomando el valor de tiempo

$$\theta = 119.8 \text{ min}$$

y sustituyendo en la ecuación (7) se obtiene una concentración de ácido de

FIGURA 23.

Concentración de H_2PO_4 . Vs. tiempos en que se alcanza el porcentaje de inversión máximo esperado.



$$X = 0.1787\% \approx 0.18\%$$

representando ambos datos los valores óptimos de acuerdo al modelo matemático empleado.

7. ESTIMACION DEL AHORRO OBTENIDO EN LA SUSTITUCION DE SACAROSA POR AZUCAR INVERTIDO EN LA PREPARACION DE BEBIDAS DE FRUTAS.

Los cálculos realizados en el presente capítulo se basaron en la preparación de bebidas de fruta por ser estas las que emplean en su formulación mayor cantidad de sacarosa. Los jugos y néctares, cuando emplean azúcar, es principalmente con el objeto de hacer ajustes en el valor de B_x .

Los calculos se hacen exclusivamente con base en el proceso de elaboración de los jarabes pues no se requiere de ningún equipo alterno o mano de obra adicional para efectuar la inversión ácida de la sacarosa. El mismo personal encargado de la elaboración del jarabe normal puede ocuparse de la hidrólisis, modificando únicamente al proceso que va conocen la adición del ácido e incrementando el tiempo de agitación y calentamiento.

La intensidad adolorante para un jarabe invertido en un 100% es 1.05-1.3 (ver el cuadro 4, pag. 19). El valor medio de este intervalo es alrededor de 1.18. Tomando en cuenta este valor medio, el dulzor esperado para un jarabe invertido a $Y_{op}=82.2\%$ será de

$$(\underline{0.18 \text{ incremento de dulzor}}) \times 82.2\% \text{ inversión de az.} + 1.0 = 100\% \text{ inversión de azúcar}$$

1.148 veces respecto al de la sacarosa pura, esto es, se tendrá un incremento en el dulzor en un 14.8%, o visto de otro modo, empleando azúcar invertido a Y_{op} se puede reducir el consumo de sacarosa en un 14.8%.

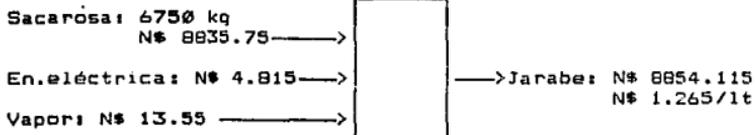
La cantidad de azúcar que se utiliza diariamente en la planta donde se realizó la investigación, es alrededor de 54,000 kg/día, adquiriéndose a N\$ 1.309/kg (precio en diciembre de 1992). Aproximadamente el 60% de este volumen de azúcar se emplea para la preparación de bebidas.

Para ayudar a calcular el incremento en el precio de las preparaciones por efecto de la adición del ácido y el tiempo de inversión, se plantean los balances mostrados en la figura 25 donde se involucran la sacarosa, la energía eléctrica, el vapor y el ácido como los factores que intervienen de modo más importante en la variación en el costo de preparación de los jarabes de sacarosa y de azúcar invertido.

FIGURA 24. Balance de costos en la preparación de jarabe de azúcar y jarabe de azúcar invertido, por concepto de sacarosa, energía eléctrica, vapor y ácido fosfórico.

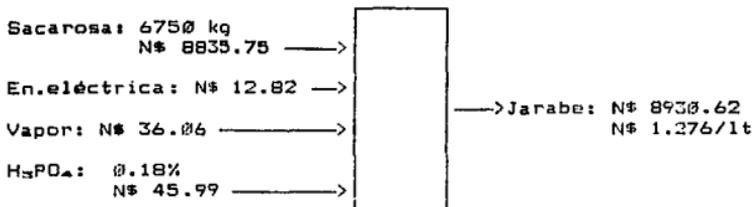
JARABE DE SACAROSA:

BASE: 7000 lt, 45 min de proceso.



JARABE DE AZUCAR INVERTIDO:

BASE: 7000lt, 119.8 min de proceso.



Las diferentes bebidas que se estudiaron presentan en promedio 11.16'8x en la preparación (ver el cuadro 21. pag. 81), esto representa en promedio 110 gr de azúcar por litro de preparación (el contenido de pulpa que se añade aporta el restante de los sólidos solubles): esta cantidad de azúcar equivale a

$$\frac{0.110 \text{ Kg azúcar}}{\text{lt preparación}} \times \frac{7.000 \text{ lt jarabe}}{6.750 \text{ Kg azúcar}} = \frac{0.114 \text{ lt jarabe}}{\text{lt preparación}}$$

Con el precio calculado del jarabe se tiene

$$\frac{0.114 \text{ lt jarabe}}{\text{lt preparación}} \times \frac{1.265 \text{ N\$}}{\text{lt jarabe}} = \frac{0.144 \text{ N\$}}{\text{lt prep.}}$$

Empleando azúcar invertido se utilizarían

$$\frac{110 \text{ gr az.}}{\text{lt preparación}} - \left(\frac{110 \text{ gr az.}}{\text{lt preparación}} \times 0.148 \right) =$$

93.7 gr de azúcar/lt de preparación, que equivale a

$$0.0937 \frac{\text{Kg az.}}{\text{lt prep.}} \times \frac{7.000 \text{ lt jarabe inv.}}{6.750 \text{ Kg azúcar}} = \frac{0.0972 \text{ lt jarabe inv.}}{\text{lt preparación}}$$

Con el precio calculado para el jarabe invertido se tiene

$$\frac{0.0972 \text{ lt jarabe inv.}}{\text{lt preparación}} \times \frac{1.276 \text{ N\$}}{\text{lt jarabe inv.}} = \frac{0.124 \text{ N\$}}{\text{lt prep.}}$$

Como se mencionó anteriormente, la cantidad de azúcar destinada a la preparación de bebidas es 60% del total, esto representa 32,400 kg azúcar/día que son empleados en

$$32,400 \text{ kg azúcar} \times \frac{1 \text{ lt preparación}}{0.110 \text{ kg azúcar}} =$$

294,545 lt de preparaciones para bebidas, elaboradas con

$$294,545 \text{ lt preparación} \times \frac{0.114 \text{ lt jarabe}}{\text{lt prep.}} =$$

33,578 lt de jarabe de azúcar por día, lo cual representa un costo por elaboración del jarabe de

$$\frac{33,578 \text{ lt jarabe az.}}{\text{día}} \times \frac{1.265 \text{ N\$}}{\text{lt jarabe az.}} = \text{N\$ } 42,476.2/\text{día.}$$

Para el mismo volumen de preparación, empleando jarabe de azúcar invertido se requeriría de

$$32.400 \text{ Kg azúcar} \times 0.148 = 27,604 \text{ kg de azúcar}$$

con un costo de elaboración de jarabe de

$$\frac{294,545 \text{ lt prep.} \times 0.124 \text{ N\$}}{\text{día}} = \frac{\text{lt prep (con az. invertido)}}{\text{día}} \text{ N\$}$$

N\$ 36.523.6/día

La diferencia, N\$ 5,952.6, corresponde al ahorro diario que se puede esperar empleando el jarabe invertido.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

1. La agroindustria del azúcar en nuestro país presenta una problemática de índole política y administrativa, principalmente, que tiene sus orígenes desde el momento mismo de su introducción. La actual crisis por la que atraviesa se hace evidente a partir de 1983 y se continúa y agudiza hasta estos momentos (febrero de 1993). Sin embargo, su importancia social como generadora de empleos es notable.

2. La problemática que también se presenta a nivel mundial, aunada con los efectos relacionados con el consumo del dulce, motivan constantes investigaciones con edulcorantes alternos. Sin embargo, éstos presentan ciertas desventajas debido a sus sabores característicos, resabios, su toxicidad o desconocimiento de su metabolismo y consiguiente dificultad para su aprobación legal, elevados costos de producción, desconfianza del consumidor, desarrollo de propiedades funcionales específicas, etc.

3. La sustitución total del azúcar resulta difícil e impráctica a corto plazo debido lo anteriormente señalado respecto de los edulcorantes alternos y al impacto social que originaría la caída de empleos.

4. Es posible disminuir el consumo de azúcar sin afectar volúmenes de producción, modificando su presentación como azúcar invertido.

5. Es importante, sin embargo, abundar en la investigación de edulcorantes alternos, particularmente en aquellos encontrados en vegetales de origen mexicano (*Lippia dulcis* y *Okenia hypogaea*) para contribuir al desarrollo del conocimiento a partir del estudio de elementos nacionales.

6. Un grupo de productos susceptibles de aceptar la sustitución de azúcar por azúcar invertido son los jugos, néctares y bebidas de fruta; particularmente estos últimos por requerir mayores cantidades de dulce en su preparación.

7. Los jugos, néctares y bebidas de fruta presentan en su proceso condiciones que favorecen la inversión de la sacarosa debido al medio ácido y el empleo de altas temperaturas. Los valores de inversión varían entre los diferentes productos estudiados desde 10.5% hasta 43.5%, sin embargo estos son bajos, particularmente para el caso de las bebidas (10.5% a

19.5%), excepto para el caso de B.PK.2 que es la que presenta 43.6%.

8. La hidrólisis de la sacarosa es una operación relativamente sencilla, particularmente la hidrólisis ácida debido a que no se requiere de ningún equipo extra para su implementación, además de las condiciones de elaboración que favorecen naturalmente la inversión.

9. El ácido seleccionado para efectuar la inversión es el fosfórico debido a la seguridad de su empleo, a los antecedentes en la investigación para su incorporación en bebidas, y mayor velocidad de inversión relativa presentada en la primera etapa de la hidrólisis, respecto a los otros dos ácidos estudiados.

10. No debe descartarse el empleo del ácido clorhídrico pues su bajo costo en grado industrial y su mayor poder de inversión representaría un importante incremento en el monto del ahorro originado por la sustitución con el jarabe invertido. Para tal efecto deben realizarse previamente análisis de residuos en los productos para prevenir posibles efectos tóxicos.

11. El ácido fosfórico debe emplearse en concentración de 0.17% durante 135.4 min para obtener una inversión óptima del 85.2%.

12. Con las condiciones anteriores y suponiendo una intensidad edulcorante para el jarabe invertido de 1.15 veces el de la sacarosa, se espera una disminución de 15% en el consumo normal de azúcar que corresponde a un 14.3% de ahorro en la preparación de bebidas.

13. Es posible esperar un ahorro mayor considerando que si no se neutraliza el ácido empleado para la inversión, éste puede contribuir a las condiciones ácidas de la preparación, esto es, pH y acidez, con lo cual se disminuiría la cantidad adicionada de cítrico.

14. La inversión óptima esperada está calculada para ser alcanzada durante el tiempo de preparación del jarabe, por lo que es posible esperar que el valor real de inversión sea superior después del calentamiento propio del proceso de elaboración de las bebidas y del posterior almacenamiento previo a la distribución comercial de los productos.

15. La cantidad real de jarabe invertido a emplear depende del poder edulcorante relativo que éste desarrolle en el producto, de modo que se requiere de un análisis organoléptico.

16. Debe considerarse la posibilidad de adquirir azúcar líquido en vez de cristalizado, pues es así como se emplea para la elaboración de los diferentes productos y para su inversión. Esto implica el ahorro correspondiente al proceso de cristalización de la sacarosa.

17. Se recomienda efectuar pruebas en planta para corroborar los resultados obtenidos en laboratorio y a partir del modelo matemático empleado.

BIBLIOGRAFIA

- 1) AGUIRRE GARCIA, Martha Beatriz. OLVERA TREVINO, María de los Angeles P.
Hidrólisis continua de sacarosa mediante invertasa inmovilizada.
Tesis para obtener el título de Químico Farmacéutico Biólogo. UNAM, Facultad de Química, Mex. 1981.
- 2) ANDER, Paul. SONNESSA, Anthony J.
Principios de Química. Introducción a los conceptos Teóricos.
Ed. LIMUSA. México. 1977.
- 3) ARRIETA DAVILA, Carlos. La amarga historia del azúcar. La venta de ingenios. DECISION. Año IX. Nº110. Febrero de 1988.
- 4) Alternative Sweeteners Calorie Control Council.
Atlanta, Georgia. 5/81.
- 5) CAKEBREAD, Sidney.
Dulces elaborados con azúcar y chocolate.
Editorial Acribia, Zaragoza (España). 1981.
- 6) Comercio Exterior. Vol.37. Nº6. México, junio de 1947.
pag. 449-452.
- 7) BADUI DERGAL, Salvador.
Química de los Alimentos.
Editorial Alhambra (Universidad) Mexicana. Mex. 1986.
- 8) BAUM, Stuart J.
Introducción a la Química Orgánica y Biológica.
Editorial C.E.C.S.A. México, 1981.
- 9) BRAVERMAN, J.B.S.
Introducción a la Bioquímica de los Alimentos.
Editorial El Manual Moderno. 2ª ed. Mex. 1980.
- 10) BUCK. R.E. Natural Sweeteners. Food Research; 10/27/75.

- 11) Comercio Exterior. Situación actual y perspectivas de la industria azucarera. Diciembre, 1989.
- 12) CORREA Guillermo, CORRO Salvador, ROBLES Manuel. Sin reglas claras, los ingenios se hacen chatarra y México pasa de exportador a importador de azúcar. PROCESO. N2675. 9 de octubre, Mex. 1989.
- 13) DESROSIER, N.W.
Elementos de Tecnología de Alimentos.
Editorial C.E.C.S.A. México, 1987.
- 14) Dirección General de Normas.
Norma oficial de nomenclatura de algunos términos empleados en la industria enlatadora de alimentos.
Clave: D.G.N. F 15 - 1949.
- 15) Documentos. Cuadernos de Nutrición. Vol.12, N21.
- 16) DZIEZAK, J.D. (1986); Special report: Sweeteners and product development; Food Technology; 40 (1): 112-130.
- 17) ESCOBAR Rómulo.
Enciclopedia agrícola de conocimientos afines.
Tomo I.
- 18) Especificaciones generales de productos. Procesos vigentes en octubre de 1987. Juços del Valle. S.A. de C.V.
- 19) FARRAS A., PAREDES L., SANCHEZ E.S. Alternativas para la obtención de sustitutos de azúcar con elevado poder edulcorante: Los jarabes fructosados. Tecnología de Alimentos (Mex.), Vol.XVII, N25.
- 20) FENNEMA, Owen R.
Introducción a la Ciencia de los Alimentos.
Editorial REVERTÉ, S.A. España, 1982.
- 21) Future Ingredients. Focus of ovift Meeting. Staff report Food Technology - January 1988.

- 22) GARCIA COLIN, Margarita. Azúcar, La Crisis de Nunca Acabar. EPOCA. No.61. México, agosto 3, 1992.
- 23) GONZALEZ MARIN, Maria Luisa. Crisis y reconversión en la industria azucarera, sus efectos en las condiciones de trabajo. Revista Latinoamericana de Economía, Problemas del Desarrollo 77. Vol. XX, abril-junio de 1989. UNAM. México.
- 24) GUTIERREZ LARA, Claudia Dolores. Perspectivas de aplicación de diferentes edulcorantes bajos en calorías en la industria alimentaria. Tesis para obtener el título de Ingeniero en Alimentos. F.E.S.-C. U.N.A.M., México, 1992.
- 25) HART F.L., FISHER H.J. Análisis Moderno de los Alimentos. Editorial Acribia. Zaragoza, España. 1971.
- 26) HERNANDEZ Aldo, MIRABAL Margarita, NORNIELLA Guillermo. Análisis Químico de los Alimentos. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría. Ministerio de Educación Superior, Cuba.
- 27) HICKS, D. (Editor). Production and Packaging of Non-Carbonated Fruit Juices and Fruit Beverages. Blackie and Son. London. Great Britain, 1990.
- 28) HUGOT E. Manual para ingenieros azucareros. Cía. Editorial Continental, S.A. de C.V. México, 1984.
- 29) HURLEY PHEE, Dennis, et all. Técnicas de diseño experimental. Cuautitlan Izcalli, Méx. 1981.
- 30) JOSLYN, M. A. y TRESSLER D. K. Fruit and Vegetable Juice Processing Technology. 2nd. edition, the AVI Publishing Company, INC. Wesport, Connecticut. 1971.

- 31) JUNK RAY B.A., PANCOAST H.M.
Handbook of Sugars for Processors. Chemists and Technologist.
AVI Publishing Co. Westport, Conn. 1973.
- 32) KIRK, Raymond E., OTHMER Donald F. (Directores).
Enciclopedia de Tecnología Química.
Tomo II.
U.T.E.H.A., México, 1961.
- 33) KREYSZIG, Erwin.
Introducción a la estadística matemática. Principios y métodos.
Ed. LIMUSA. Méx. 1987.
- 34) LEDERKREMER Rosa M., VARELA Oscar.
Hidratos de Carbono.
Serie Química. Monografía No.32.
Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos.
Washington, D.C., E.E.U.U., 1988.
- 35) LLANOS SAMANIEGO Raul. Se reducirá en 500 mil toneladas la zafra 1991-1992: Azúcar S.A. La Jornada. Junio 28, 1992, pag. 28.
- 36) LOPEZ MUNGUÍA Agustín, QUINTERO RODRIGUEZ Rodolfo (compiladores).
Tecnología Enzimática, Aplicaciones en alimentos y medicina. UNAM, México, 1987.
- 37) MENDENHALL, William.
Introducción a la Probabilidad y a la Estadística.
Wadsworth Internacional / Iberoamérica. 1982.
- 38) Official Methods of Analysis of the Association of Analytical Chemists (AOAC).
Sidney Williams (Editor).
14 edition, 1984, U.S.A.
- 39) PEREIRA PACHECO Fabiola.
Alimentos. Manual de análisis fisicoquímicos.
Universidad Autónoma de Yucatán, México, 1988.

- 40) PINTAURO, N.D. (1977); "Sweeteners and Enhancers"; Food Technology Review; No.40; U.S.A.
- 41) Plan Nacional de Desarrollo 1989-1994. Secretaría de Gobernación. México, 1988.
- 42) POTTER, Norman N.
La Ciencia de los Alimentos.
EDUTEX, S.A. México, 1978.
- 43) RODRIGUEZ MAYA Dora María.
Alternativas tecnológicas en la elaboración de jugos y bebidas de frutas.
Tesis para obtener el título de Químico Farmacéutico Biólogo. Facultad de Química. U.N.A.M. México, 1988.
- 44) RODRIGUEZ-PALACIOS, et. al. Edulcorantes. Tecnología Alimentaria (Mex.), Vol.21, N24, 1986.
- 45) SALINAS DE GORTARI, CARLOS. Tercer Informe de Gobierno 1991. Anexo. Presidencia, Poder Ejecutivo Federal. México.
- 46) SOLOMONS, T.W.G.
Química Orgánica.
Ed. Limusa. México, 1979.
- 47) VALDIVIA L.A., LOPEZ-MUNGUÍA C.A. Sustitución parcial de sacarosa en bebidas refrescantes con edulcorantes de bajo contenido calórico. Tecnología de Alimentos (Mex.) Vol.20, N26.
- 48) VALERO Daniel, VALDIVIESO Renato.
Potencialidad de edulcorantes a partir de arroz en Venezuela.
Editorial CIEPE. Venezuela, 1982.
- 49) VOGEL, Arthur I.
Química Analítica Cualitativa.
Ed. Kapelusz. 5a. edición. Buenos Aires, Arg. 1969.
- 50) VON RYMON LIPINSKI, G.W. Intense Sweeteners; Food Marketing and Technology; June (87): 8-11.

- 51) ZABLUDOVSKY, Abraham (presidente). El azúcar mexicano: Entre el desorden y la sobreoferta. EPOCA. Nº3, México, junio 24, 1991.
- 52) ZABLUDOVSKI, Abraham (presidente). El Gobierno Sale de la Producción. EPOCA. Nº 3, México, junio 24, 1991.