



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLAN



OBTENCION DE ECUACIONES EMPIRICAS PARA LA
ESTIMACION DE LA ELEVACION DE LA ^{de}
TEMPERATURA DE EBULLICION Y PRESION DE ^{Exámenes Profesionales}
VAPOR EN JUGOS DE MANGO MANZANA Y PINA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO (A) QUIMICO (A)
P R E S E N T A N :
ELVIA PATRICIA CHAVARRIA BURGUENO
RUBEN DELGADO CORTES

ASESOR: I.Q. GUADALUPE FRANCO RODRIGUEZ

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

2002

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN A. M.
UNIDAD DE LA ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLÁN



ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

Exámen Profesional

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE

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

Con base en el art. 23 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

Obtención de Emulsiones Emulsificadas para la Estabilización de la
Elevación de la Temperatura de Ebullición y Presión de Vapor
en Jugos de Mango, Manzana y Piña.

que presenta el pasante: Rubén Delgado Cortés
con número de cuenta: 9002434-4 para obtener el TITULO de:
Ingeniero Químico

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE.

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 14 de noviembre de 2001

PRESIDENTE	<u>I.Q. Guadalupe Franco Rodríguez</u>	
VOCAL	<u>Dr. Adolfo Obaya Valdivia</u>	
SECRETARIO	<u>I.D.Q. Jaime Flores Minutti</u>	
PRIMER SUPLENTE	<u>I.A. Rosalín Meléndez Pérez</u>	
SEGUNDO SUPLENTE	<u>M. en C. César Soto Figueroa</u>	

A NUESTROS PADRES

ÍNDICE

	PÁGINA
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	2
2.1 GENERAL	2
2.2 PARTICULARES	2
3. JUSTIFICACIÓN	3
4. GENERALIDADES	4
4.1 LA FRUTA	4
4.2 JUGOS DE FRUTA	5
4.3 MÉTODOS DE CONSERVACIÓN	7
4.3.1 TRATAMIENTO TÉRMICO	8
4.3.1.1 ENLATADO	8
4.3.1.2 PROCESO ASÉPTICO	9
4.3.1.3 EMBOTELLADO	9
4.3.2 CONSERVADORES QUÍMICOS	10
4.3.3 CONGELACIÓN	10
4.3.4 ESTERILIZACIÓN POR FILTRACIÓN	10
4.3.5 CONCENTRACIÓN	10
4.4 LA PIÑA	11
4.4.1 ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN	12
4.4.1.1 PRODUCCIÓN NACIONAL	14
4.4.2 CULTIVO	14
4.4.3 COMPOSICIÓN QUÍMICA	15

4.4.4 USOS	
4.4.4.1 ALIMENTICIOS	18
4.4.4.2 OTROS USOS	18
4.4.5 TOXICIDAD	19
	20
4.5 EL MANGO	
4.5.1 PRODUCCIÓN MUNDIAL	21
4.5.2 CULTIVO	21
4.5.3 COMPOSICIÓN QUÍMICA	24
4.5.4 USOS	25
4.5.4.1 ALIMENTICIOS	29
4.5.4.2 OTROS USOS	29
4.5.5 TOXICIDAD	30
	30
4.6 LA MANZANA	
4.6.1 DESCRIPCIÓN	31
4.6.2 DISTRIBUCIÓN	31
4.6.3 CULTIVO	31
4.6.4 COMPOSICIÓN QUÍMICA	33
4.6.5 USOS	33
4.6.5.1 ALIMENTICIOS	38
4.6.5.2 OTROS USOS	38
	39
4.7 PROCESO DE OBTENCIÓN DE JUGO	
4.7.1 MATERIA PRIMA	39
4.7.2 RECEPCIÓN DE LA FRUTA	40
4.7.3 SELECCIÓN DE LA FRUTA	40
4.7.4 LAVADO	40
4.7.5 MOLIENDA	40
4.7.6 PRENSADO Y EXTRACCIÓN	40
4.7.7 TAMIZADO	41
4.7.8 DECANTACIÓN Y ALMACENAMIENTO TRANSITORIO	41
4.7.9 CLARIFICACIÓN	41
	42

	PÁGINA
4.7.10 FILTRACIÓN	43
4.7.11 PASTEURIZACIÓN	44
4.7.12 CONCENTRACIÓN	45
4.7.13 ENVASADO	46
4.8 EVAPORACIÓN	46
4.8.1 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL PUNTO DE EBULLICIÓN DEL LÍQUIDO	49
4.8.2 ELEVACIÓN DE LA TEMPERATURA DE EBULLICIÓN DE LAS SOLUCIONES	50
4.9 PRESIÓN DE VAPOR DE LOS LÍQUIDOS	56
5. MATERIAL Y MÉTODO	62
5.1 MATERIAL	62
5.2 MÉTODO	62
5.2.1 OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL JUGO	62
5.2.2 DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA DE EBULLICIÓN	67
6. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	70
6.1 CARACTERIZACIÓN DEL JUGO	70
6.2 FUNCIONAMIENTO DEL APARATO EXPERIMENTAL	70
6.3 ELEVACIÓN DE LA TEMPERATURA DE EBULLICIÓN	71
6.4 GRÁFICA DE DÜHRING	80
6.5 PRESIÓN DE VAPOR	85
7. CONCLUSIONES	90
8. REFERENCIAS	91
ANEXOS	
1. PREPARACIÓN DE SOLUCIONES DE SACAROSA	94
2. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS DE JUGO	95
3. DETERMINACIÓN DE LAS PRESIONES DE TRABAJO	96

	PÁGINA
4. INVERSIÓN DE LA SACAROSA	97
5. TERMODINÁMICA DE LA EVAPORACIÓN	100
6. ESQUEMA DEL EVAPORADOR A VACÍO A NIVEL LABORATORIO UTILIZADO PARA LA CONCENTRACIÓN DEL JUGO DE FRUTA	103
7. REGRESIÓN LINEAL MULTIVARIABLE	104
8. TABLAS	105

TABLAS

	PÁGINA
1. PRINCIPALES PRODUCTORES DE PIÑA A NIVEL MUNDIAL EL AÑO 1999	13
2. COMPOSICIÓN GENERAL DE LA PIÑA	15
3. CARBOHIDRATOS EN PIÑA	15
4. NITRÓGENO EN PIÑA	16
5. INORGÁNICOS EN PIÑA	16
6. CONSTITUYENTES VARIOS EN PIÑA	17
7. PRODUCCIÓN MUNDIAL DE MANGO 1999	23
8. COMPOSICIÓN GENERAL DEL MANGO	25
9. CARBOHIDRATOS EN MANGO	26
10. NITRÓGENO EN MANGO	26
11. INORGÁNICOS EN MANGO	27
12. CONSTITUYENTES VARIOS EN MANGO	28
13. COMPOSICIÓN NUTRICIONAL PROMEDIO DE LA MANZANA FRESCA	35
14. COMPOSICIÓN PROMEDIO DE LA MANZANA RED DELICIOUS	36
15. COMPOSICIÓN NUTRICIONAL PROMEDIO DEL JUGO DE MANZANA ENLATADO O EMBOTELLADO, SIN ENDULZAR, SIN ÁCIDO ASCÓRBICO	37
16. COMPOSICIÓN PROMEDIO DEL JUGO DE MANZANA RED DELICIOUS	38
17. MATERIAL CAUSANTE DE LA TURBIDEZ EN EL JUGO DE MANZANA	42
18. CARACTERIZACIÓN DEL JUGO DE PIÑA, MANZANA Y MANGO	70
19. TEMPERATURA DE EBULLICIÓN DEL AGUA PURA	70

20. VALORES DE LAS CONSTANTES DE LA ECUACIÓN PROPUESTA $\Delta T = a \cdot b^W$ PARA LA SOLUCIÓN DE SACAROSA	72
21. VALORES DE LAS CONSTANTES DE LA ECUACIÓN PROPUESTA $\Delta T = a \cdot b^W$ PARA JUGO DE PIÑA	73
22. VALORES DE LAS CONSTANTES DE LA ECUACIÓN PROPUESTA $\Delta T = a \cdot b^W$ PARA JUGO DE MANZANA	74
23. VALORES DE LAS CONSTANTES DE LA ECUACIÓN PROPUESTA $\Delta T = a \cdot b^W$ PARA JUGO DE MANGO	75
24. ECUACIÓN PROPUESTA: $\Delta T = \exp(\alpha + \beta W + \gamma P)$	76
25. ECUACIÓN EMPÍRICA $\ln P = \delta - \frac{\epsilon}{T}$ PARA LA PREDICCIÓN DE LA PRESIÓN DE VAPOR DE LAS SOLUCIONES DE SACAROSA	85
26. ECUACIÓN EMPÍRICA $\ln P = \delta - \frac{\epsilon}{T}$ PARA LA PREDICCIÓN DE LA PRESIÓN DE VAPOR DE JUGO DE PIÑA	86
27. ECUACIÓN EMPÍRICA $\ln P = \delta - \frac{\epsilon}{T}$ PARA LA PREDICCIÓN DE LA PRESIÓN DE VAPOR DE JUGO DE MANZANA	86
28. ECUACIÓN EMPÍRICA $\ln P = \delta - \frac{\epsilon}{T}$ PARA LA PREDICCIÓN DE LA PRESIÓN DE VAPOR DE JUGO DE MANGO	87
29. ECUACIÓN EMPÍRICA $\ln P = A - \frac{B}{T} + C \ln T$ PARA LA PREDICCIÓN DE LA PRESIÓN DE VAPOR DE LAS SOLUCIONES DE SACAROSA	88
30. ECUACIÓN EMPÍRICA $\ln P = A - \frac{B}{T} + C \ln T$ PARA LA PREDICCIÓN DE LA PRESIÓN DE VAPOR DEL JUGO DE PIÑA	88
31. ECUACIÓN EMPÍRICA $\ln P = A - \frac{B}{T} + C \ln T$ PARA LA PREDICCIÓN DE LA PRESIÓN DE VAPOR DEL JUGO DE MANZANA	89

	PÁGINA
32. ECUACIÓN EMPÍRICA $\ln P = A - \frac{B}{T} + C \ln T$ PARA LA PREDICCIÓN DE LA PRESIÓN DE VAPOR DEL JUGO DE MANGO	89
33. TEMPERATURA DE EBULLICIÓN PROMEDIO (°C) PARA SOLUCIONES DE SACAROSA	105
34. TEMPERATURA DE EBULLICIÓN PROMEDIO (°C) PARA JUGO DE PIÑA	105
35. TEMPERATURA DE EBULLICIÓN PROMEDIO (°C) PARA JUGO DE MANZANA	106
36. TEMPERATURA DE EBULLICIÓN PROMEDIO (°C) PARA JUGO DE MANGO	106
37. ΔT (°C) PARA LAS SOLUCIONES DE SACAROSA	107
38. ΔT (°C) PARA JUGO DE PIÑA	107
39. ΔT (°C) PARA JUGO DE MANZANA	108
40. ΔT (°C) PARA JUGO DE MANGO	108
41. ECUACIONES GRÁFICA DE DÜHRING PARA SOLUCIONES DE SACAROSA (GRÁFICA 19)	109
42. ECUACIONES GRÁFICA DE DÜHRING PARA JUGO DE PIÑA (GRÁFICA 20)	109
43. ECUACIONES GRÁFICA DE DÜHRING PARA JUGO DE MANZANA (GRÁFICA 21)	110
44. ECUACIONES GRÁFICA DE DÜHRING PARA JUGO DE MANZANA (GRÁFICA 22)	110

GRAFICAS

	PÁGINA
1. PRODUCCIÓN MUNDIAL DE PIÑA EN EL PERIODO DE 1970-1999	12
2. PRODUCCIÓN NACIONAL DE PIÑA EN EL PERIODO DE 1970-1999	14
3. PRODUCCIÓN MUNDIAL DE MANGO EN EL PERIODO DE 1970-1999	21
4. PRODUCCIÓN MUNDIAL DE MANGO EN EL AÑO 1999	22
5. PRODUCCIÓN DE MANGO EN EL PERIODO 1980-1999 EN INDIA	23
6. PRODUCCIÓN ANUAL DE MANGO EN CHINA	23
7. PRODUCCIÓN ANUAL DE MANGO EN MÉXICO	24

8. PRODUCCIÓN MUNDIAL DE MANZANA EN EL PERIODO DE 1970-1999	32
9. PRODUCCIÓN NACIONAL DE MANZANA EN EL PERIODO DE 1990-1999	39
10. ELEVACIÓN DE LA TEMPERATURA DE EBULLICIÓN PARA SOLUCIONES DE SACAROSA	72
11. ELEVACIÓN DE LA TEMPERATURA DE EBULLICIÓN PARA JUGO DE PIÑA	73
12. ELEVACIÓN DE LA TEMPERATURA DE EBULLICIÓN PARA JUGO DE MANZANA	74
13. ELEVACIÓN DE LA TEMPERATURA DE EBULLICIÓN PARA JUGO DE MANGO	75
14. COMPARACIÓN DE LA ELEVACIÓN DE LA TEMPERATURA DE EBULLICIÓN PARA SACAROSA (P=585.05 mbar)	77
15. COMPARACIÓN DE LA ELEVACIÓN DE LA TEMPERATURA DE EBULLICIÓN PARA JUGO DE PIÑA (P=585.05 mbar)	77
16. COMPARACIÓN DE LA ELEVACIÓN DE LA TEMPERATURA DE EBULLICIÓN PARA JUGO DE MANZANA (P=585.05 mbar)	78
17. COMPARACIÓN DE LA ELEVACIÓN DE LA TEMPERATURA DE EBULLICIÓN PARA JUGO DE MANGO (P=585.05 mbar)	78
18. COMPARACIÓN ENTRE LA SOLUCIÓN DE SACAROSA Y JUGO DE PIÑA, MANZANA Y MANGO P=779.2 mbar (datos ajustados)	79
19. GRÁFICA DE DÜHRING PARA SOLUCIONES DE SACAROSA	81
2. GRÁFICA DE DÜHRING PARA JUGO DE PIÑA	82
21. GRÁFICA DE DÜHRING PARA JUGO DE MANZANA	83
22. GRÁFICA DE DÜHRING PARA JUGO DE MANGO	84

FIGURAS

1. ASCENSO DEL PUNTO DE EBULLICIÓN DEBIDO A LOS SOLUTOS	51
2. GRÁFICA TÍPICA DE DÜHRING	55
3. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE JUGO DE FRUTA CLARIFICADO	65
4. ESQUEMA DEL APARATO EXPERIMENTAL	67

1. INTRODUCCIÓN

La tendencia comercial del regreso a lo natural, sitúa a los jugos de fruta como un producto altamente reconocido debido a sus excelentes propiedades nutritivas y vitamínicas aunadas a su característico buen sabor.

Pero no siempre es posible disfrutar el jugo directamente del fruto, ya sea que se trate de uno no propio de la región, que no sea su temporada, o bien, por simple comodidad. Por lo que es común comprarlo ya preparado en sus diversas presentaciones, mismas que deberán igualar e incluso superar el jugo casero.

Diariamente se procesan miles de toneladas de fruta mediante procesos industriales bien definidos y al igual que en todo proceso, es factible la implementación de mejoras y optimización de recursos en el mismo. Para lo cual, se requieren datos de las propiedades fisicoquímicas de la fruta.

El conocer las propiedades fisicoquímicas de los alimentos es fundamental para analizar las operaciones unitarias presentes en la industria alimenticia. El estudio de estas propiedades y su respuesta a las condiciones de proceso es necesario debido a que influyen en el manejo del alimento durante el procesamiento y también a que son buenos indicadores de otras propiedades y la calidad del alimento. Esto permite un mejor control tanto del producto como del proceso, con beneficios para el productor, la industria y el consumidor.

Datos tales como la temperatura de ebullición y su variación con la presión y la concentración de sólidos solubles son muy importantes para la industria alimenticia en general y en particular para los derivados de fruta, ya que se requieren para el diseño y la optimización de muchas operaciones de proceso (evaporación, transferencia de calor).

2. OBJETIVOS

2.1 GENERAL

Obtener ecuaciones empíricas para la estimación de la temperatura de ebullición y presión de vapor en jugos de piña, manzana y mango mediante un estudio experimental.

2.2 PARTICULARES

- ◆ Determinar la temperatura de ebullición de los jugos de piña, manzana y mango bajo diferentes condiciones de presión y concentración de sólidos solubles.
- ◆ Obtener una correlación para estimar el cambio en la temperatura de ebullición del jugo de piña, manzana y mango en función de la presión y concentración de sólidos solubles.
- ◆ Elaborar la Gráfica de Dühring para los jugos de piña, manzana y mango.
- ◆ Obtener ecuaciones empíricas para predecir la presión de vapor de los jugos de piña, manzana y mango.
- ◆ Evaluar la posibilidad de utilizar datos de temperatura de ebullición de la solución de sacarosa en lugar de los obtenidos para los jugos de piña, manzana y mango.

3. JUSTIFICACIÓN

El jugo es una forma común de disponer de una fruta durante todo el año, aún cuando no sea temporada o bien, la fruta no sea originaria de la región. Durante el proceso de elaboración del jugo de fruta, éste sufre varios calentamientos, por ejemplo la pasteurización, la evaporación como es el caso de la obtención de los concentrados. Por lo que es necesario contar con datos reales que describan el comportamiento del jugo bajo diferentes condiciones de presión y concentración de sólidos solubles ("Brix) durante la evaporación para poder optimizar el proceso.

En este trabajo se obtuvieron datos experimentales de temperatura de ebullición en función de la concentración de sólidos solubles y la presión para tres jugos de fruta de gran demanda mundial y de las cuales México figura entre los principales productores (www.fao.com): piña, manzana y mango; además de una solución de azúcar comercial (sacarosa). Posteriormente, para cada solución se determinó una correlación que describe la dependencia entre dichas variables y se construyeron gráficas de Dühring de cada solución en estudio, las cuales tienen la característica de ser una forma práctica y sencilla de disponer de los datos.

Para complementar el estudio, los datos se ajustaron a ecuaciones empíricas de presión de vapor derivadas de la ecuación de Clausius-Clapeyron.

4. GENERALIDADES

4.1 LA FRUTA

En sentido estricto que en botánica se da a la palabra, el fruto es un ovario maduro que contiene semillas, es decir los óvulos maduros. Aunque nosotros al hablar de frutos sólo imaginemos cosas dulces y tiernas como uvas, manzanas, melocotones ó cerezas, en realidad también son frutos las habas, granos de maíz, tomates, pepinos y sandías, así como las nueces. Un fruto verdadero es el que procede únicamente del ovario. Si deriva de los sépalos, pétalos o de los receptáculos, además del ovario, se habla de fruto accesorio. Por ejemplo, la manzana es principalmente un receptáculo carnoso grande y sólo su parte central procede del ovario.³⁵

Los frutos verdaderos y accesorios pueden ser de tres tipos generales: frutos simples, frutos agregados y frutos múltiples. Los frutos simples, por ejemplo, cerezas o dátiles, son los que maduran a partir de una flor de un solo pistilo; los frutos agregados (frambuesas y zarzamoras) los que maduran a partir de una flor con varios pistillos, y los frutos múltiples (piña), son aquellos derivados de un grupo de flores que se unen para formar un solo fruto. Se clasifican también en frutos secos si al madurar comprenden tejidos secos y duros y frutos carnosos en caso contrario. Los frutos secos están adaptados especialmente para ser transportados por el viento o fijarse al cuerpo de los animales mediante ganchos. Las aves, los mamíferos y otros animales comen frutos carnosos con sus semillas encerradas, estas atraviesan el conducto digestivo del animal y caen con las heces en otro lugar. Así, los frutos carnosos representan también una adaptación para la dispersión de la especie. En un tipo de fruto seco, denominado nuez, la pared del ovario forma una cáscara dura que rodea la semilla. La parte comestible de la nuez común es la semilla que se encuentra dentro de los tegumentos del fruto o cáscara. La almendra no es como una nuez, sino la semilla o "hueso" de un fruto carnoso parecido al durazno.³⁵

El sector frutícola mundial comprende la producción, comercialización e industrialización de cítricos (naranjas, mandarinas, pomelos, limones), bananas y plátanos, frutas tropicales (mango, piña, papaya, dátiles), frutas de carozo (durazno, ciruela, cereza) y pomáceas (manzanas, peras) o frutales de pepita.⁴⁰

Hay, por lo tanto, una gran variedad de frutos que difieren por el número de semillas que contienen, la parte de la flor de donde proceden, así como por su color, forma, consistencia y contenido de agua y azúcar.³⁵

4.2 JUGOS DE FRUTA

El uso de los jugos de frutas en la alimentación humana tiene desde el punto de vista bromatológico y dietético una gran importancia. Dentro de los componentes de los jugos de frutas están:

- Azúcares en forma de glucosa y fructosa, altamente asimilables y que constituyen un elemento energético de primer orden.
- Ácidos en forma de ácido tartárico, cítrico y málico, que desempeñan un papel estimulador de las funciones glandulares digestivas, favoreciendo así la digestión y el apetito.
- Sustancias minerales, consideradas como elementos catalizadores inorgánicos.
- Enzimas.
- Sustancias aromáticas y cromáticas.
- Vitaminas que se encuentran en las frutas en cantidades distintas según la clase y variedad.¹

El valor nutritivo de las frutas, especialmente su contenido en vitamina C, se reconoció durante los años de hambruna de la gran depresión y la demanda se estimuló posteriormente por los desarrollos tecnológicos. En ese momento, el consumo a gran escala era principalmente un fenómeno norteamericano estimulado por la demanda del ejército y el avance tecnológico que permitió la producción de jugos concentrados congelados.³²

En la segunda mitad de los años 70 tuvo lugar un enorme incremento en su consumo como consecuencia de una demanda de bebidas que fueran compatibles con la idea de adoptar un estilo de vida saludable, empuje que se vio favorecido por la aplicación de tratamientos de pasteurización UHT y envasado aséptico. Esta tecnología permitió la elaboración, a menudo a partir de concentrados, de un producto de alta calidad y larga vida útil, plenamente de acuerdo con las consideraciones de un producto "sano".³²

En la actualidad, con las modernas técnicas de producción y envasado la industria pone a disposición del consumidor una gran variedad de productos que permiten elegir, a lo largo de todo el año, entre una variedad mucho más amplia de las frutas que la que tenían a su disposición en tiempos pasados. ⁴

Sin embargo, es importante que cada país cuente con regulaciones propias para caracterizar cada producto y evitar engaños al consumidor. En México, el organismo encargado es la Secretaría de Salubridad y Asistencia, S.S.A. A continuación se presenta un extracto del reglamento de control sanitario de productos y servicios elaborado por dicha institución: ⁴⁴

CAPITULO VII. "Frutas, hortalizas y sus derivados".⁴⁴

VII.1.3. Jugos y néctares:

- a. Jugo concentrado de fruta o de hortaliza, al producto que por procesos físicos se le ha eliminado parte de su contenido de agua y que puede estar congelado o envasado asépticamente,
- b. Jugo de concentrado, al producto que se obtiene al agregar agua purificada a un jugo concentrado para obtener un producto similar en cuanto a concentración y características sensoriales del jugo de la fruta o de la hortaliza de que se trate,
- c. Jugo de fruta o de hortaliza, al producto obtenido por extracción del endocarpio sin diluir y de las materias de las frutas u hortalizas maduras, sanas y limpias, a las que por procesos adecuados se les puede remover la pulpa, parcial o totalmente,
- d. Jugo deshidratado de fruta o de hortaliza, al producto referido en el inciso anterior, al que se le ha eliminado el agua y
- e. Néctar, al producto elaborado con pulpa y jugo de frutas, adicionado de agua potable, azúcares, acidulantes, aromas naturales y antioxidantes, y

VII.1.4. Proceso:

- a. Esterilización comercial, al tratamiento térmico aplicado al producto para la destrucción de todos los microorganismos viables de importancia en la salud pública y aquellos capaces de reproducirse en el alimento bajo condiciones normales de almacenamiento y distribución, sin la condición de refrigeración.

VII.5. Para los jugos clarificados, se podrán utilizar como coadyuvantes de la elaboración, clarificantes, filtrantes, carbón activado y nitrógeno en la cantidad mínima necesaria.

VII.6. El jugo de fruta o de hortaliza podrá ser concentrado y luego reconstituido con agua potable o purificada, según sea el caso, para conservar los factores esenciales de composición y calidad del mismo.

VII.9. Para los jugos se podrá emplear sacarosa, glucosa, fructosa o jarabe de maíz para ajustar la relación brix/acidez, de acuerdo con lo que se establezca en las normas correspondientes.

Dentro de las distintas especies de frutas utilizadas en la industria, los cítricos ocupan el primer lugar, en especial la naranja y pomelo. Le siguen en orden de importancia la piña, y después la manzana, la uva y otras frutas de menor importancia.¹

Los métodos de extracción de una determinada fruta dependen de la estructura y porción comestible de la misma. Los métodos de conservación incluyen el tratamiento térmico, la congelación, la refrigeración, la concentración y, en el caso de los jugos claros, la filtración. Los jugos pueden someterse a operaciones que separan los compuestos volátiles de sabor, el agua, los productos responsables del sabor amargo y ácido y recombinarse luego, para obtener un producto de características fijas. Lo que queda de las frutas tras la obtención de jugo se utiliza por la industria elaboradora de otras bebidas de fruta.⁴

4.3 MÉTODOS DE CONSERVACIÓN

La conservación de alimentos puede definirse como todo método de tratamiento de los mismos que prolonga su duración, de forma que mantenga un grado aceptable de calidad, incluyendo color, textura y aroma.

Para garantizar la calidad del jugo y una larga vida útil, es necesario reducir o inhibir la actividad de microorganismos y enzimas, obteniendo así, una estabilidad microbiológica y la reducción de las reacciones químicas que lo deterioran. Existen diversos métodos de conservación, los principales son:

4.3.1 TRATAMIENTO TÉRMICO

Existen muchos métodos para el procesamiento de productos empacados en envases sellados herméticamente. La mayoría de los productos se colocan en envases, los cuales se sellan y procesan en algún tipo de autoclave (recipiente a presión). Este tipo de sistema de procesamiento se conoce como el procesamiento térmico convencional. El procesamiento aséptico es un método de procesamiento térmico diferente y más nuevo. Ambos métodos deben ser construidos y operados de tal manera que el producto terminado sea comercialmente estéril. Otro método comúnmente utilizado es el embotellado.²

4.3.1.1 ENLATADO (PROCESAMIENTO TÉRMICO CONVENCIONAL)

Este método es una de las mejores opciones para la preservación de los alimentos. El proceso de enlatado comercial, desarrollado por Nicolas Appert, esencialmente es el que se utiliza en la actualidad. Los procesos de esterilización toman lugar dentro de la lata cuando los alimentos son sometidos a un calentamiento uniforme, por lo que el uso de conservadores no es necesario. Las latas pueden soportar el manejo, altas temperaturas y presiones dentro de los contenedores o cocedores llamados "retortas" usados en las plantas procesadoras y permiten conducir el calor rápidamente permitiendo que penetre de manera eficiente al centro del alimento.³¹

Otro método eficaz es el tratamiento térmico en autoclaves estacionarias, la cual es un recipiente vertical u horizontal que soporta la presión y que opera en forma discontinua, sin agitación y se usa para procesar alimentos empacados en envases sellados herméticamente. Generalmente los envases se estiban o amontonan en canastos, carros o bandejas que se usan para cargar y descargar la autoclave. Sin embargo, las autoclaves tipo sin canasto operan sin el uso de sistemas que soporten los envases. También existen las hidrostáticas que operan a una temperatura de proceso constante y tiene un transportador continuo de envases que transporta los envases a través de la autoclave. Como resultado, existe un flujo constante de envases. Por último, existen autoclaves con agitación o giratorias que proveen un manejo continuo del envase con agitación intermitente del producto. Este sistema de autoclave está construido por lo menos de dos cámaras cilíndricas donde se efectúa el procesamiento y el enfriamiento.²

Los envases pueden tratarse también a baño María, en agua a ebullición, pero el producto suele verse muy afectado por el tratamiento y es frecuente que ofrezca una baja calidad, difícil de admitir en el mercado.

4.3.1.2 PROCESO ASÉPTICO

Técnicamente, el proceso aséptico es un tratamiento térmico similar al enlatado en el que el producto se pasteuriza previamente y luego se envasa en recipientes estériles que se cierran herméticamente. El sistema Tetra-pak®, utiliza un cambiador de calor para pasteurizar y enfriar el jugo con el que se llenan recipientes de cartón, aluminio y plástico laminados. El material con el que está construido el cartón en el que se envasa el producto entra en la máquina en forma de lámina, que se esteriliza con una disolución caliente de peróxido; con ella, se construye un tubo que se llena, se cierra, se corta y se dobla, para formar un envase.

4.3.1.3 EMBOTELLADO

El embotellado se lleva a cabo de modo similar al enlatado, pero se utilizan como recipientes botellas de vidrio en lugar de botes de hojalata. Las botellas pasan, tras su cierre, bajo una niebla de agua caliente para pasteurizar la tapa, también pueden cerrarse al vapor. El enfriamiento se logra haciendo pasar las botellas bajo duchas de agua utilizando inicialmente agua caliente para evitar la rotura del vidrio por el choque térmico.

Más difíciles de llenar, por su inestabilidad térmica, son los recipientes plásticos. Las botellas de polipropileno resisten la temperatura a que se rellena normalmente en caliente, pero se trata de un material de envasado inadecuado para los jugos de fruta por su gran permeabilidad al oxígeno. Se considera adecuada una botella si soporta 70°C durante 10 minutos. La vida útil de los recipientes de plástico con jugos de fruta es de unos 6 meses, luego, la permeabilidad del oxígeno a través del plástico oscurece el jugo u oxida algunos de sus constituyentes, como el ácido ascórbico. Los recipientes de plástico, aunque ofrezcan problemas técnicos de llenado y pasteurización, son los preferidos por el mercado, por su diversidad de formas y por la excelente presentación del producto.

4.3.2 CONSERVADORES QUÍMICOS

Este método de conservación no es el más adecuado porque el uso de los antisépticos utilizados se halla limitado por la Legislación. Está permitido el uso de conservadores químicos tal como el sorbato de potasio que se adiciona a los jugos de fruta en una concentración de 0.01%.

4.3.3 CONGELACIÓN

La congelación de los jugos se practica cuando el pH de la pulpa es elevado, o cuando resulta importante conservar un determinado componente del sabor. El jugo se enfría en un cambiador de calor y se introduce en recipientes de plástico que se congelan en un congelador relámpago, utilizando aire a temperaturas de alrededor de -40°C . El jugo debe congelarse hasta -18°C y almacenarse a esta temperatura.

4.3.4 ESTERILIZACIÓN POR FILTRACIÓN

Existen filtros de membrana para filtrar jugos clarificados, como el de manzana y el mosto, tan finamente que se eliminen incluso los mohos y las levaduras que ordinariamente los deterioran. Los mostos que se almacenan para su futura fermentación y transformación en vino suelen esterilizarse por filtración y almacenarse en tanques estériles. La esterilización por filtración sustituye al tratamiento del mosto con dióxido de azufre y elimina los problemas que conlleva la eliminación del conservador antes de iniciar la fermentación.

4.3.5 CONCENTRACIÓN

Las principales razones para la concentración son la reducción de las alteraciones microbiológicas cuando el total de sólidos solubles es superior a 65 %, así como la ampliación de la conservación y la reducción del volumen. Debido a la sensibilidad natural al calor de los jugos de frutas es necesario calentar a vacío junto con un sistema de recuperación de aromas.

El principio esencial en que se basa la concentración por evaporación es que generalmente hay una tendencia a que se forme una fina capa de líquido sobre una superficie caliente bajo una presión reducida. Con los evaporadores de película ascendente o película descendente el jugo pasa por un haz de tubos calentados por vapor de forma que el vapor en expansión extiende el producto sobre la superficie caliente estableciéndose una fina película. En los evaporadores de placas el líquido se hace pasar entre dos láminas calientes muy próximas.

En otros tipos de evaporadores se crea mecánicamente una película por el movimiento rápido de las aletas. En los evaporadores centrífugos se forma una película bajo la superficie cónica de rotación calentada con vapor por la acción centrífuga. Para aumentar la eficiencia del proceso es posible tener más de un evaporador y utilizar el vapor desprendido de uno para calentar el siguiente (de múltiple efecto).

Los jugos con sabores delicados, que se ven afectados por los tratamientos térmicos durante la concentración, pueden concentrarse por congelación. Durante la concentración por congelación, se va retirando el hielo, a medida que se va formando en el jugo, con lo que éste va concentrándose progresivamente. Durante la congelación del jugo de manzana, con el hielo se arrastran algunos componentes. Para concentrar jugos de frutas sin someterlos a calentamiento, se han utilizado combinaciones de ultra filtración y ósmosis inversa. Aunque se conocen desde hace algún tiempo, las tecnologías de membrana no han ganado la aceptación de la industria.

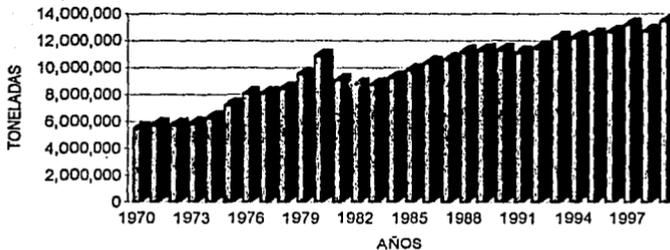
4.4 LA PIÑA

Las bromeliáceas es una familia de plantas que abarca más de 200 especies y 46 géneros, algunas de las cuáles se utilizan para la obtención de fibra o como plantas ornamentales por las flores o el follaje vistoso que forman. Pero es la piña el miembro de mayor importancia económica de ésta familia.

Botánicamente, la piña es conocida como *ananás comusus*, pero tiene varios nombres propios del lugar de donde proviene. Es llamada *abaçaxi* en Portugal, *ananás* en Francia y Holanda, *nanas* en el sur de Asia y este de las Indias, *po-lo-mah* en China y *piña dulce* en Jamaica por citar algunos ejemplos.

4.4.1 ORIGEN Y DISTRIBUCION

Por años Hawai suplió el 70% en la industria conservera mundial y el 85% para jugo de piña enlatado. Sin embargo, debido a que los costos de producción en Hawai (de los cuales el 50% corresponde a mano de obra) se incrementaron en un 25% o más y al costo creciente de las tierras agrícolas (debido a la urbanización el turismo, etc.) el crecimiento de la industria se limitó, y las grandes empresas productoras como Dole Company trasladaron el 75% de sus operaciones a Filipinas, donde, en 1983, empleaban a 100,000 trabajadores en casi 25,000 acres (10,117 ha) rentadas casi en su totalidad, para tal fin.



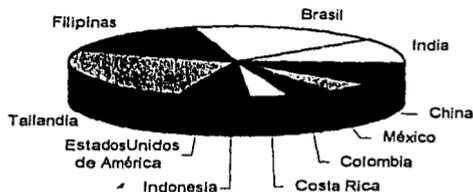
GRÁFICA 1. PRODUCCIÓN MUNDIAL DE PIÑA EN EL PERIODO DE 1970- 1999⁴¹

En el lapso 1970-1990, Indonesia, México, Filipinas, China, India, Brasil, Tailandia, y EE.UU. (Hawai), destacaron en el ámbito mundial por su importancia como productores de piña. La producción conjunta de estos países, durante el período referido alcanzó un volumen ligeramente superior a los 183 millones de toneladas. La producción total de dichos países mostró una tendencia creciente, excepto en 1981, cuando se presenta un brusco descenso del 24% en la producción respecto al año anterior, sin embargo, más que descenso, se trata de un aumento en la producción de Filipinas y principalmente de Tailandia, que en 1981 retornan a su particular ritmo de crecimiento; y es tan fuera de lo común la producción de 1981, que tuvieron que pasar 12 años para alcanzar ese nivel. De los ocho países seleccionados en el contexto mundial por su importancia como productores de piña destacan, en orden descendiente por su participación absoluta y relativa en el volumen total producido en el período 1970-1999, los siguientes: Tailandia

(28.3%), Brasil (16.19%), Filipinas (15.4%), India (11.4%) y EE.UU.. (9%). Para 1999, la producción total de estos países, se estimó en aproximadamente 8.74 millones de toneladas, volumen 38.2% superior a la correspondiente a 1982 y que corresponden al 65% de la producción mundial de ese año. Cabe destacar que en 1999 Colombia y Costa Rica ya figuran como productores de importancia en el ámbito mundial y que EE.UU.. presenta un descenso en su producción del 50% en los últimos 20 años mientras que México la incrementó solo en 8% en el mismo periodo de tiempo.

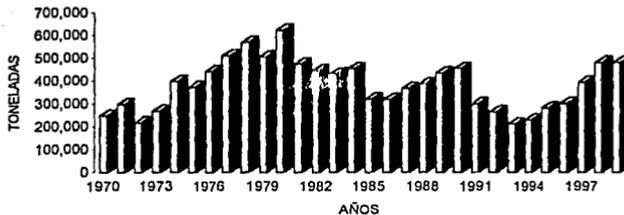
TABLA 1 PRINCIPALES PRODUCTORES DE PIÑA A NIVEL MUNDIAL EN EL AÑO 1999⁴¹

PAIS	TONELADAS	%
Tailandia	2,353,037	17.50%
Filipinas	1,495,120	11.12%
Brasil	1,740,840	12.95%
India	1,100,000	8.18%
China	941,057	7.00%
México	480,856	3.58%
Colombia	407,753	3.03%
Costa Rica	400,000	2.98%
Indonesia	326,950	2.43%
EE.UU..	301,000	2.24%
OTROS	3,897,590	28.99%
SUMA	13,444,203	100.00%



4.4.1.1 PRODUCCIÓN NACIONAL

GRÁFICA 2 PRODUCCIÓN NACIONAL DE PIÑA EN EL PERIODO DE 1970 -1999*



Como puede verse en la gráfica no se tiene un ritmo de crecimiento estable pero al parecer, a partir de 1993, la producción nacional de piña muestra una clara tendencia en incrementar la producción. Se cultiva principalmente en los estados de Oaxaca y Veracruz aunque son potencialmente importantes los estados de Jalisco, Nayarit, Sinaloa, Michoacán, Tabasco y Chiapas.

4.4.2 CULTIVO^{39,42}

A. Clima. La producción de la piña se limita (excepto en invernaderos) a las zonas tropicales y subtropicales en una latitud comprendida entre 30°N y 25°S debido a que una temperatura de entre 18.33 – 45 °C le es favorable, y aunque la planta puede tolerar noches frescas, la exposición prolongada a bajas temperaturas provoca retrasos en la madurez y una fruta con mayor acidez. El sabor de la fruta también se ve afectado por la altitud y se recomienda sembrarla a no más de 1,738 m por encima del nivel del mar siendo el valor óptimo menos de 800 m, por encima de los 1,738 m el sabor es indeseablemente ácido. Con respecto a la precipitación, debe ser de aproximadamente 1,143 mm, divididos entre primavera y otoño, sin embargo, la piña es resistente a la sequía y seguirá produciendo fruto dentro de una taza anual de precipitación de 650 – 3,800 mm, (1000 – 1500 mm idealmente), dependiendo del cultivo, su localización y grado de humedad atmosférica (entre 70 y 80 grados).

4.4.3 COMPOSICIÓN QUÍMICA

La composición química de la piña ha sido reportada por numerosos autores y aunque la mayoría de los datos se refieren a la variedad cayena lisa (por razones antes mencionadas) existen relativas diferencias entre los datos debido al lugar de origen del fruto, al grado de madurez y factores ambientales y agronómicos, por lo que los datos presentados a continuación no pretenden ser definitivos ni convertirse en parámetros de calidad ya que cada país cuenta con sus propias regulaciones y más adelante presentaremos las referentes al jugo de piña en México.

TABLA 2 COMPOSICION GENERAL

Parámetro	(a)	(b)	(c)	(d)	(f)	(g)
°Brix	14.5	10.6 - 17.5	10.5	13.8		
Acidez titulable % de ácido cítrico	0.89	0.6 - 1.62	0.56	0.6		
Razón (Brix/Acido)	21.0	---	---	---		
% Agua	---	81.2 - 86.2	---	---	86.5	85.53
% Fibra	12-13	0.3 - 0.61	---	0.11	1.2	0.2
% Ceniza	---	0.3 - 0.42	---	0.35	0.29	0.3
Densidad (g/cm ³)	---	---	1.058	---		
Viscosidad (cp)	---	---	12.5	---		
PH	---	---	3.6	---		

TABLA 3 CARBOHIDRATOS

Parámetro*	(a)	(b)	(e)
Glucosa	1.5	1.0 - 3.2	
Fructuosa	1.4	0.6 - 2.3	
Sacarosa	8.4	5.9 - 12.0	
Amidón	---	< 0.002	
Celulosa	---	0.43 - 0.54	
Hexosa	11.3	0.1 - 0.15	
Pentosa	---	0.33 - 0.43	
Pectina	---	0.06 - 0.16	

*gramos por 100 gramos de porción

TABLA 4. NITROGENO

	(b)	(d)	(e)	(f)	(g)
Nitrógeno total	0.108	---	---		
Nitrógeno soluble	0.079	---	---		
Proteína	0.181	0.41	0.30	0.390	0.320
Amoniaco	0.010	---	---		
Aminoácidos	0.331	---	---	0.328	

TABLA 5. INORGÁNICOS

Constituyente	(b) mg/100g	(d)	(e)	(f)	(g)
Azufre, S	7				
Calcio, Ca	7 - 16	10.8	50	7.0	17
Cobre, Cu				0.11	
Cloro, Cl	46				
Fósforo, P	6 - 21			7.0	8.0
Hierro, Fe	0.3	0.32	1.57	0.370	0.26
Magnesio, Mg	11			14	13.0
Manganeso, Mn	0.03			1.649	0.99
Nitrato	0 - 120				
Potasio, K	11 - 330			113.0	134.0
Selenio, Se				0.6mcg	0.1
Silicio, Si	11 - 69				
Sodio, Na	14			1.0	1.0
Yodo, Y	0.006 - 0.107				
Zinc, Zn				0.08	0.11

TABLA 6. CONSTITUYENTES VARIOS

Constituyente	(a)	(b)	(d)	(e)	(f)	(g)
Ácidos orgánicos % en peso						
Cítrico	0.46	0.32 - 1.22				
Málico	0.23	0.1 - 0.47				
Oxálico	---	0.005				
Pigmentos mg/100g						
Caroteno		0.13 - 0.29				
Xantofila		0.03				
Vitaminas µg/100g						
p-Aminobenzoico		17 - 22				
Ácido fólico		2.5 - 4.8				
Niacina		200 - 280	0.25	0.10	0.420	0.257
Ácido Pantoténico		75 - 163			0.160	0.1
A (como alcohol)		0.02 - 0.04				
Tiamina		69 - 125	0.07	0.02	0.092	0.055
Riboflavina		20 - 88	0.02	0.02	0.036	0.022
B ₆		10 - 140	0.07		0.087	0.096
Ácido ascórbico mg/100g		10 - 25	13.0	5.0	15.4	10.700
Fenólicos µg/100g						
p-Ácido Cumárico		33 - 73				
Ácido Ferulico		20 - 76				

FUENTE

^aPiña originaria de Costa Rica de variedad desconocida y centrifugada para un nivel de pulpa del 12 % en volumen.

^bAnálisis del total comestible por Pineapple Research Institute of Hawaii, variedad: cayena lisa

^cDatos de la caracterización fisicoquímica de un jugo, variedad cayena lisa, piña mexicana.

^dComposición promedio del jugo de piña, variedad cayena lisa.

^eTablas del I.N.N., sin especificar la variedad.

^fPorción comestible sin cáscara, variedad desconocida, análisis USDA Nutrient Database for Standard Reference, (Noviembre 1999)

^gJugo de piña procesado, sin endulzante y sin ácido ascórbico adicionado, análisis USDA Nutrient Database for Standard Reference, (Noviembre 1999)

4.4.4 USOS^{39,42}

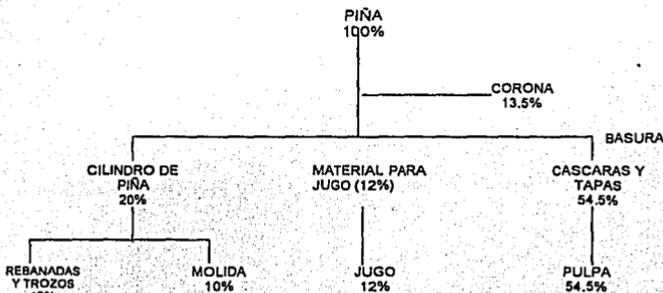
4.4.4.1 ALIMENTICIOS

Caseros. Una vez eliminados corona, piel, ojos y centro, se consume en una gran variedad de formas: como fruta fresca, jugos, en ensaladas, compotas, pasteles, budines, como guarnición en el jamón y carne y otros postres y platillos locales como la popular nata de piña en Filipinas. Además de la fruta, en África y Guatemala se comen los retoños tiernos de la planta en ensaladas.

Industriales. La mayor parte de la cosecha mundial se destina a su procesamiento siendo los principales productos:

- Rebanadas. Es un trozo completo cortado transversalmente del eje del cilindro de la piña cuando ha sido pelada y eliminado el corazón.
- Chunks. Son trozos obtenidos al cortar en 8 partes una rebanada de 2 ½ " con un grosor especial de ¾", largo 1" y un grosor de ½".
- Tidbits. Son pequeños triángulos obtenidos al cortar en 16 partes una rebanada, con un largo de 1" y un grosor de ½".
- Jugos y néctares El jugo de piña se produce de las porciones comestibles de la fruta que no son adecuados para la producción de partes enteras. Se distribuye envasado para su consumo directo o concentrado especialmente para la preparación de jugos mezclados y bebidas en general.

APROVECHAMIENTO REAL DE LA PIÑA



NOTA: La rebanada de piña del 2½" pesa 80 Grs. cada una, el bote se lleva 8 y 24 botes por caja. En total se necesitan 15.36 Kg. por caja de producto terminado.

La rebanada de piña del 2 pesa 43 Grs. cada una, el bote se lleva 10 y 24 botes por caja. En total se necesitan 10.32 Kg. por caja de producto terminado.

La rebanada de piña del 2 pesa 43 Grs. cada una, el bote se lleva 50 y 6 botes por caja. En total se necesitan 12.90 Kg., por caja de producto terminado.

4.4.4.2 OTROS USO

La enzima bromeliana. Se obtiene de los tallos maduros de la piña. Su empleo es parecido al de la papaina: como ablandador de carne, en la industria cervecera y del curtido. Se adiciona también a la gelatina para aumentar su solubilidad entre otros.

Fibra. La fibra de piña es blanca, fuerte y sedosa y ya era extraída por los filipinos antes de 1591. Hay ciertos cultivos sembrados especialmente para la obtención de fibra, por ejemplo la 'Petrolera', que es ideal por sus hojas largas, anchas y rígidas. Una vez obtenida la fibra, puede tener usos variados según la región, por ejemplo: en las provincias chinas de Kwantung y Hainan se teje una tela muy tosca; en India es apreciada por los zapateros; en África Oriental se le usa para atar joyas y otros accesorios; en Guam se le emplea para envolver y coser puros y en Taiwán se elabora una tela tosca para la ropa interior de los granjeros. Se estima que 22,000 hojas proporcionan una tonelada de material que rinde en 22 - 27 Kg. de fibra.

El jugo. En algunos lugares es común usar el jugo de piña para la limpieza de machetes y cuchillos.

Alimento para el ganado. Los desperdicios finales del procesamiento en las industrias son deshidratados y sirven para el alimento de reses, puercos y pollos. Este alimento también es extraído en menor escala de los desperdicios de tallos empleados para obtener enzimas. Las plantas ya viejas se emplean también como forraje; se guardan en silos y se proporcionan cuando otro tipo de alimento escasea, pero es bajo en proteína y alto en fibra por lo que se mezcla con urea, melazas y agua para mejorar su valor nutritivo. En ocasiones se alimenta a los caballos con las coronas del fruto.

En 1982, se despertó la expectación de la gente porque se detectó heptacloro (un agente cancerígeno) en la leche de las vacas alimentadas con hojas de plantas de piña que se habían rociado con el químico para controlar plagas, por lo que se recomienda dejar pasar un año antes de usarlo como alimento porque "supuestamente" la sustancia estará diluida para entonces.

Medicina tradicional. El jugo de piña se usa como diurético, laxante, estrogénico, para molestias en la garganta y como antídoto para el mareo. Debido a que se cree que la carne de fruta demasiado inmadura es tóxica, se ingiere deliberadamente como abortivo, para expeler parásitos intestinales y como un drástico tratamiento de las enfermedades venéreas. En África se usa la raíz como remedio para la edema. La cáscara aplastada se aplica en fracturas y heridas y junto con la planta de romero, en los hemorroides. Los indígenas en Panamá usan el té de la hoja como purgativo y vermífugo. En el Choco, Colombia, los brotes más tiernos se emplean para tratar las enfermedades respiratorias de los niños.

Con respecto a la enzima bromeliana, se le han atribuido varias cualidades reales e imaginarias: antiinflamatorio, relajante muscular, inhibidor del apetito, alivio de la sinusitis y en general para tratar abscesos, contusiones, hematomas, esguinces y ulceraciones.

4.4.5 TOXICIDAD^{39,42}

La piña verde (inmadura), no solo es venenosa, también irrita fuertemente la garganta y actúa como un poderoso purgante.

El excesivo consumo del corazón ha causado la formación de bolas de fibra (bezoars) en el tracto digestivo.

Los trabajadores que han trabajado por mucho tiempo en la cosecha de la piña tienen las huellas de los dedos completamente borradas por la presión y los efectos de la bromeliana en la queratina. Asimismo también son frecuentes las heridas que provocan las espigas de las hojas.

10 de cada 24 sujetos son sensibles al etil acrilato que se ha llegado a encontrar en el fruto.

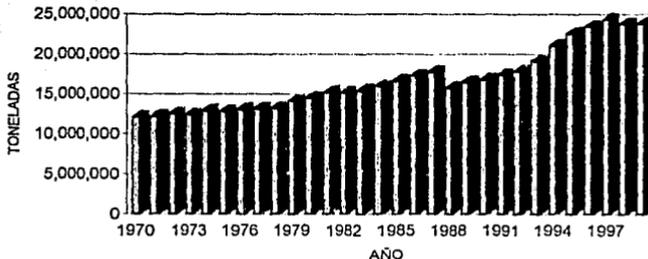
Las "dosis terapéuticas" de la bromeliana pueden causar náusea, vómito, diarrea, salpullido y menorragia.

4.5 EL MANGO

El mango (*Mangifera Indica*) es una de las primeras frutas tropicales cultivadas por el hombre y los más antiguos cultivos se remontan a más de 4000 años en la región Indo-Burma. Perteneció a la familia de las Anacardiáceas, notoria por abarcar varias plantas muy venenosas, hasta el punto de compartir algunas de las características de sus parientes. Hoy día es una fruta muy popular en el mundo hecho que se ve reflejado en la universalidad de su nombre que en inglés y español es el mismo y apenas presenta variaciones en otros idiomas: francés (el mangot, el mangue, el manguier), Portugués (la manga, mangueira), y holandés (el manja). En algunas partes, de África, se llama el mangou o el mangoro.

4.5.1 PRODUCCION MUNDIAL

En la década pasada, el año de 1997 se caracterizó por ser el de mayor producción, totalizando 24,294,998 toneladas, esto es 39.97% más que en 1990, cuando se alcanzaron 16,762,583 toneladas, el nivel más bajo de la década. Si bien en 1999 la producción es ligeramente menor, como puede verse en la gráfica, se ha mantenido un ritmo de crecimiento y la producción total de la década es 31.6% y 63.7% mayor al de la década pasada y antepasada respectivamente.



GRAFICA 3. PRODUCCIÓN MUNDIAL DE MANGO EN EL PERIODO DE 1970 –1999**

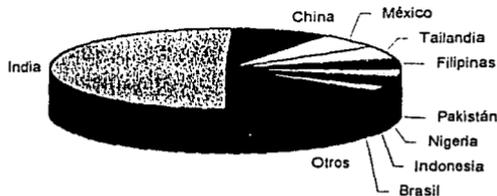
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Durante los últimos treinta años, los países que presentaron el mayor incremento en volumen de producción fueron India (4.9 millones de TM), China (1.9 millones), México (1.1 millones); Tailandia (0.8 millones) y Filipinas (0.77 millones). El incremento total de estos países representa el 81.17% del incremento mundial, lo que significa que estos países, además de ser los de mayor producción, tienden a mantenerse como los líderes en el mundo.

India es el mayor productor con 12 millones de TM representando el 50.42% de la producción mundial, le siguen más de 25 países con volúmenes superiores a 100,000 TM/año. Después de la India, los mayores productores son: China, México, Tailandia, Filipinas, Pakistán, Indonesia, Brasil y Nigeria, que junto con la India representan el 86.5% del total mundial.

TABLA 7. PRODUCCION MUNDIAL DE MANGO 1999⁴¹

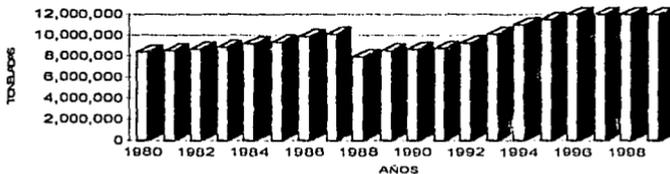
PAIS	TONELADAS	%
INDIA	12,000,000	50.42%
CHINA	2,126,522	8.93%
MÉXICO	1,449,478	6.09%
TAILANDIA	1,250,000	5.25%
FILIPINAS	931,500	3.91%
PAKISTÁN	916,800	3.85%
NIGERIA	731,000	3.07%
INDONESIA	600,059	2.52%
BRASIL	600,000	2.52%
OTROS	3,195,078	13.42%
SUMA	23,800,437	100%



GRÁFICA 4 PRODUCCIÓN MUNDIAL DE MANGO EN EL AÑO 1999

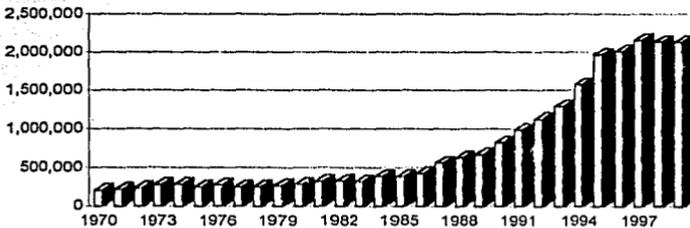
INDIA. Como líder a nivel mundial, ha mantenido su crecimiento salvo en el periodo de 1988 – 1993. A pesar de llegar a ser el primer productor del mundo, sólo exporta el 1 % de su producción, principalmente en forma de procesado (néctar, jugo, pulpa, chutney, pickles, etc.) siendo el principal exportador del mundo de estos productos. La industria procesadora de mango capta el 9% de la producción total de mango fresco.

En India se cultiva 1,000 cultivares y la variedad "ALPHONSO" es la más cultivada, utilizada para exportar básicamente al Reino Unido, Canadá, Singapur y Australia. No exporta a EE.UU. ni a Japón por restricciones sanitarias.



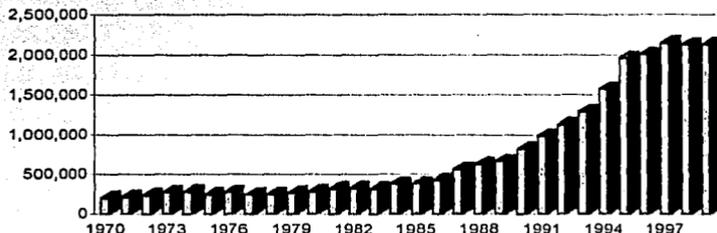
GRAFICA 5. PRODUCCION DE MANGO EN EL PERIODO 1980 -1999 EN INDIA³⁹

CHINA. Se ha constituido como el segundo mayor productor del mundo, aportando el 8.9% del total mundial, mientras que en 1970 solo aportaba el 1.7%. En 1992, desplaza a México del segundo lugar en la producción mundial.



GRAFICA 6. PRODUCCION ANUAL DE MANGO EN CHINA (TONELADAS AÑO)⁴¹

MÉXICO. Es el 3er. productor del mundo, con crecimiento notable en los últimos años gracias al desarrollo tecnológico, al incremento del mercado nacional y a la apertura del mercado exterior en particular EE.UU., Japón y Europa. En 1970, producía sólo 307,615 TM y en 1999, 1,449,478 TM, pasando de 40 000 ha a 120 000 ha ubicadas principalmente en la Costa del Pacífico y en el Golfo de México.



GRAFICA 7. PRODUCCION ANUAL DE MANGO EN MÉXICO⁴¹

México es el mayor exportador del mundo de mango fresco, cubriendo el 80% del mercado de EE.UU., Canadá (9%); Europa (6%) y Japón (2%). La participación de las variedades en la exportación es: T. ATKINS (49%)-, HADEN (23%); KENT (24%); y KEITT (3%). Durante varios años han efectuado investigaciones combinando variedades y localidades que les ha permitido ofertar mango desde mediados de marzo hasta septiembre.

4.5.2 CULTIVO^{39,42}

A. Suelo. El árbol de mango crece bien en casi cualquier tipo de tierra: arenosa, marga o arcilla, siempre y cuando este bien irrigada. Considerándose a la tipo marga la mejor. Si la tierra es demasiado rica, húmeda y muy fertilizada, el árbol responderá vegetativamente pero será deficiente al florecer y fructificar. Un pH entre 5.5 y 7.5 es preferido. Ellos son algo tolerantes de alcalinidad. Para el crecimiento bueno, mangos las necesidades una tierra profunda para acomodar sus sistemas de la raíz extensos.

B. Clima. Se adapta naturalmente a las tierras tropicales bajas (a 1000 m) situadas entre 25°N y 25°S del Ecuador. Se cultiva en jardines a altitudes ligeramente más frías pero es

propenso a sufrir daño. Requiere también de una lluvia de 75 – 250 cm en los cuatro meses de verano (jun –sep), seguido de ocho meses de estación seca. Sin ser una regla. Los climas de vientos fuertes no le favorecen porque tiran la fruta antes de que este madura.

4.5.3 COMPOSICION QUÍMICA

Existe una gran cantidad de material acerca de la composición del mango, pero la mayoría coinciden en que la composición cambia considerablemente con la variedad. Lo cuál es muy evidente si revisamos la amplia gama para porción comestible (55 - 75%), semilla (7 - 23%); y cáscara (8-22%). Sin embargo muchos autores coinciden en que a excepción del mango puertorriqueño, la mayoría pueden caracterizarse por tener un alto contenido de azúcar (15- 20%) y un bajo contenido ácido (0.2 – 0.5%). Además de ser una excelente fuente de vitaminas A y C.

TABLA 8. COMPOSICION GENERAL

Parámetro	(a)	(b)	(c)	(d)	(l)	(j)	(k)
Acidez titulable % de ácido cítrico	0.24	0.25	0.29	0.41			
% grasa	0.08	0.09	0.07	0.05	0.2	0.1	0.4
% Agua	81.85	78.52	82.26	80.50	82.4	56.0	81.7
% Fibra							0.9
% Ceniza	0.32	0.32	0.33	0.48			0.4
Energía (kcal)					57	39	66

TABLA 9. CARBOHIDRATOS

Parámetro	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(g)	(h)	(i)	(j)
Azúcares totales	12.36	10.53	5.27	8.13				13.8	9.4
Glucosa					5.3			0.7	0.5
Fructuosa					20.6			3.0	2.0
Sacarosa					74.1			10.1	6.9
Almidón	0.74	1.60	1.45	0.49				0.3	0.2
Fibra									
Celulosa						0.67	0.66		
Hemicelulosa						0.34	0.40		
Lignina						0.53	0.33	0.3	0.2
Fibra insoluble						1.07	1.06	0.5	0.3
Fibra soluble						0.61	0.64	1.6	1.1
Pectina									

Gramos por 100 gramos de porción comestible

TABLA 10. NITRÓGENO

	(a)	(b)	(c)	(d)	(i)	(j)
Nitrógeno total					0.11	0.07
Proteína	0.46	0.47	0.34	0.50	0.7	0.5
Aminoácidos						

TABLA 11. INORGANICOS

Constituyente	(a) mg/100g	(b)	(c)	(d)	(l)	(j)	(K)
Calcio, Ca	8.73	10.35	10.90	22.45	12	8	10
Cobre, Cu					0.12	0.08	
Fósforo	10.18	14.58	9.90	14.00	16	11	13
Hierro	0.16	0.34	0.19	0.45	0.7	0.5	0.4
Magnesio					13	9	
Manganeso					0.3	0.2	
Potasio	115.0	66.45	64.75	103.95	180	120	189
Sodio	0.84	0.29	0.30	1.20	2	1	7
Azufre, S					N	N	
Cloro					N	N	
Selenio(μg), Se					N	N	
Yodo(μg)					N	N	
Zinc, Zn					0.1	0.1	

N. Nutriente presente en cantidades significativas pero no se dispone del dato

TABLA 12. CONSTITUYENTES VARIOS

Constituyente	(a)	(b)	(c)	(d)	(f)	(i)	(j)	(k)
Ácidos orgánicos % en peso								
Cítrico					0.327			
Málico					0.074			
Glicólico					0.061			
Tartárico					0.081			
Oxálico					0.036			
Pigmentos mg/100g								
Caroteno IU	5169	11021	4693	6024		1800	1225	4800
Vitaminas mg/100g								
p-Aminobenzolco								
Ácido fólico								
Niacina	0.42	1.65	---	0.09		0.5	0.3	1.1
Pantotenato						0.16	0.11	
A (como alcohol)								
Tiamina (B1)	0.06	0.09	---	0.05		0.04	0.03	0.05
Riboflavina(B2)	0.06	0.09	---	0.06		0.05	0.03	0.05
B6						0.13	0.9	
E						1.05	0.71	
Ácido ascórbico mg/100g	20.05	10.17	4.43	14.38		37	25	35

FUENTES

aBeyers 1979 o Jethro mango originario de Sudáfrica variedad: Kent A

B Beyers 1979 o jethro mango originario de Sudáfrica variedad: Zill A

cBeyers 1979 o jethro mango originario de Sudáfrica variedad: Haden A

dBeyers 1979 o jethro mango originario de Sudáfrica variedad: Peach A

e(Chan and Kwok, 1975) o jethro, variedad Haden A

fFang (1960) variedad KentB

g Lund and Smoot (1982) o Jetro variedad Tommy Atkins A

h Lund and Smoot (1982) o Jetro variedad KeittA

i Holland,B,I.D.Unwin,(1992) ,pag 48 porción comestible de una variedad sin especificar

kHolland,B,I.D.Unwin,(1992) ,pag 48 fruta con piel y hueso variedad sin especificar

FAO 1990, utilización de alimentos tropicales 1990 pag 510

4.5.4 USOS

4.5.4.1. ALIMENTICIOS

Una vez retirada la cáscara, lo único que varía es la forma de disfrutar del mango. Hay quien prefiere montarlo en un tenedor y morderlo o tal vez rebanarlo y servirlo como postre, en una ensalada, en el cereal, en gelatinas o helados. Los mangos muy maduros también pueden aprovecharse para hacer conservas, mermelada, jalea o néctar. Industrialmente, el jugo de mango también es deshidratado para comidas de niños o reconstituido para bebidas o mezclado con cereal, una natilla deshidratada se ha desarrollado para beber en la India con éxito. Los mangos también se congelan, se rebanan y se comen con azúcar espolvoreada. Los mangos inmaduros generalmente verdes, también se utilizan, pelados y rebanados, como relleno para pie, jalea, en salsas y platillos regionales, sancochado con azúcar, sal u otras especias y cocinado con pasas u otras frutas para preparar chutney, también pueden salarse, secarse al sol y hecho polvo sazonados con numérico para dar un sabor ácido al chutney, vegetales y sopas como condimento.

El núcleo fresco de la semilla del mango (el hueso) constituye 13% del peso de la fruta, 55% a 65% del peso de la hueso. Y es el principal subproducto de la industria procesadora. Después de empaparse con tanino y aumentar la astringencia, se secan y muelen para mezclarse con trigo o arroz para hacer pan. También se extrae una grasa blanca, sólida como manteca, es comestible y se ha propuesto como suplente de la manteca de cacao en el chocolate.

La grasa extraída del grano es blanca, el sólido como la manteca de cacao y sebo, comestible, y se ha propuesto como un suplente para la manteca de cacao en el chocolate. La cáscara constituye 20% a 25% del peso total de la fruta. Investigadores en India han mostrado que la cáscara puede utilizarse como una fuente de pectina. El promedio de rendimiento en base seca ese de es 13%. Peso. En Indonesia y los Filipinas se cocinan las hojas del mango inmaduras para comidas.

4.5.4.2 OTROS USOS

La grasa de la semilla: Tiene gran cantidad de ácido estérico, la grasa es adecuada para hacer jabón -. El residuo de la extracción de dicha grasa de la semillas se utiliza como alimento para ganado y enriquecimiento de la tierra.

Madera: La madera se seca en hornos o se encurte en agua con sal. Es gris o café-verdoso de textura burda; dureza que va de media - fuerte, resistente en el agua pero no en la tierra; fácil de trabajar. En India, después del tratamiento preservativo, se usa para las balsas y vigas, marcos de ventanas, instrumentos agrícolas, tacones del zapato y cajas, hace un carbón excelente.

La corteza: posee 16% a 20% tanino y ha sido empleado para curtir las pieles. Rinde un tinte amarillo, o con el turmérico y cal, un rosa luminoso.

La goma Es algo resinosa, de color rojo - café, se usa por remendar loza en África tropical. En India, se vende como un suplente para la goma árabe.

Los Usos medicinales: Las flores secas contienen un 15% de tanino, sirven como astringentes en los casos de diarrea, disentería crónica, el catarro de la ampolla y uretritis crónico resultado de la gonorrea. La corteza contiene el mangiferin y es astringente y empleado contra la reuma y difteria en India. La goma resinosa del tronco es aplicada en los grietas en la piel de los pies y en la sarna, y se cree útil en los casos de sífilis

La decocción del núcleo de la semilla de mango (no libre de tanino -) se usa como vermífugo y como astringentes en casos de diarrea, hemorragias y hemorroide sangrante. La grasa se administra en los casos de estomatitis. Los extractos de frutas verdes, de corteza, tallos y hojas han mostrado actividad antibiótica. En algunas de las Islas del Caribe, la decocción de la hoja se toma como un remedio para la diarrea, la fiebre, quejas del pecho, diabetes, hipertensión y otras enfermedades.

4.5.5 TOXICIDAD

La savia que exuda el tallo cerca de la base de la fruta que es al principio algo láctea y amarillenta. Se pone amarillo-pálido y translúcido cuando seca. Contiene el mangiferin, ácido resinoso, ácido del mangiferin, y el resinol, lo mismo que del tronco y ramas y la

piel de la fruta verde, es una potente irritante de la piel y capaz de ampollar la piel del individuo normal. Como con la hiedra venenosa de típica reacción retardada. Las personas extremadamente sensibles pueden reaccionar con el hinchazón considerable de los párpados, la cara, y otras partes del cuerpo. Ellos no deben manejar, pelar, o comer mangos o cualquier comida que contienen carne del mango o jugo. Una precaución buena es usar un cuchillo para pelar el mango, y un cuchillo limpio para rebanar la carne para evitar contaminar la carne con la resina de la cáscara.

Las hojas contienen el glucósido, mangiferine. En India, se alimentaron las vacas anteriormente que el mango sale para obtener de su ácido euxanthic de orina que es rico amarillo y se ha usado como un tinte. Subsecuentemente la succión continua de las hojas puede ser fatal, la práctica se ha proscrito. La Madera del mango nunca debe usarse en los hogares o para el combustible cocción, porque su humo es muy irritante.

4.6 MANZANA

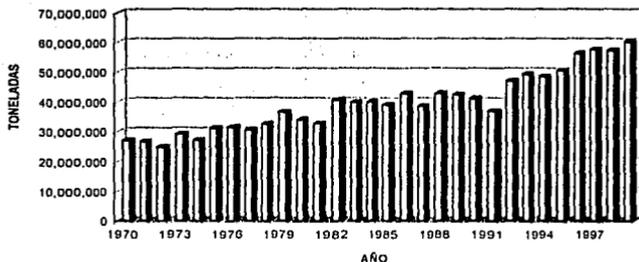
4.6.1 DESCRIPCION³⁹

La manzana es un fruto con una estructura firme, carnososa, derivada del receptáculo de la flor. Las hojas son anchas, ovales, aterciopeladas por el envés. La flor abierta es globosa, a veces blanca, pero casi siempre teñida o estriada de rosa; pocas especies presentan flores de color rojo vivo. Las características físicas del fruto son muy variables. El color de la piel va desde el verde hasta el rojo muy oscuro, casi negruzco. El tamaño oscila entre un poco mayor que el de una cereza y casi tan grande como el de una toronja o pomelo mediano. El manzano pertenece al género *Malus*, de la familia *Rosaceae*.

4.6.2 DISTRIBUCIÓN

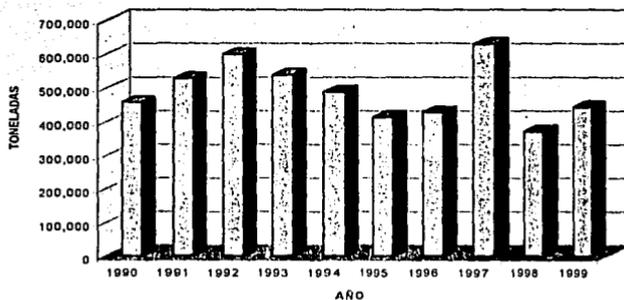
La manzana es muy importante comercialmente, hoy en día, se cultiva en la mayor parte de las regiones templadas del mundo. Argentina, Australia, Bulgaria, Canadá, China, Francia, Alemania, Hungría, Italia, Japón, Holanda, Nueva Zelanda, Polonia, África del Sur, España, Inglaterra y los Estados Unidos de América son quizás los primeros productores de manzanas destinadas tanto al consumo interno como a la exportación.

A continuación se muestran los datos de producción mundial. Aquí podemos observar que la industrialización de la manzana ha alcanzado gran potencia comercial ya que se ha incrementado considerablemente su nivel de producción:



GRAFICA 8. PRODUCCIÓN MUNDIAL DE MANZANA EN EL PERIODO DE 1970 –1999⁴¹

A continuación se muestra la producción nacional de manzana en la década de los noventa:



GRAFICA 9. PRODUCCIÓN NACIONAL DE MANZANA EN EL PERIODO DE 1990 –1999⁴¹

4.6.3 CULTIVO³⁹

A. Suelo. Requiere de un suelo margoso, profundo y bien drenado con un pH entre 6-7

B. Clima. Las manzanas se adaptan a varios climas, pero se considera que se adaptan mejor en una zona de baja temperatura y una latitud cerca de 35-50°.

- Las manzanas requieren 120-180 días sin escarcha para madurar.
- La calidad de la fruta (color, sabor) es mejor en días cálidos / noches frías y de luz intensa.
- La madera de los manzanos puede tolerar temperaturas de -40°F, pero las flores y sus frutos se mueren si se someten a una temperatura de 26-28°F.

4.6.4 COMPOSICIÓN QUÍMICA

CARBOHIDRATOS Los carbohidratos representa el principal valor alimenticio de la manzana. Esta contiene tanto los carbohidratos disponibles, tal como los azúcares y almidón, así como una fracción no disponible compuesta de pectina, celulosa y hemicelulosa. Las manzanas jóvenes contienen una cantidad relativamente alta de almidón (3-4%), pero cuando la fruta madura el almidón se convierte en azúcar reduciendo la cantidad de almidón, o bien, éste desaparece. Un método simple para medir la concentración de azúcar total es con un refractómetro. Las mediciones se expresan en °Brix. Las manzanas frescas contienen aproximadamente un 15% de carbohidratos totales. Los azúcares más comunes son fructosa(3-11.7%), sacarosa(0.88-5.2%), y glucosa(0.89-5.58%).

FIBRA Las manzanas son una muy buena fuente de fibra. Las manzanas con cáscara contienen más del 0.7-0.8% de fibra, lo cual es mayor que el contenido de fibra en la naranja, plátano, toronja, albaricoque o el durazno.

VITAMINAS El promedio del contenido de ácido ascórbico es aproximadamente de 5 mg/100g de manzana. Este es mayor que el contenido de otra vitamina en la manzana, pero menor que en la naranja, toronja, fresa, albaricoque, o plátano. El contenido de otras vitaminas es insignificante comparado con el ingesto diario recomendado.

PECTINA Las peclinas proporcionan un alto grado de turbidez al jugo de manzana y al encontrarse en forma coloidal, ocasionan problemas en la filtración cuando se encuentra en niveles elevados de concentración. El contenido promedio de peclina en la manzana es de 0.5-1.6%.

AMINOÁCIDOS Las manzanas frescas con cáscara contienen aproximadamente el 0.19% de proteína, por lo cual es una fuente pobre de este importante nutriente. Como se puede esperar, el contenido individual de aminoácidos también es bajo. Los ácidos glutámico y aspártico son los aminoácidos predominantes en la manzana fresca, seguidos por la lisina y leucina.

MINERALES

Contenido de cenizas

Éste puede variar dependiendo de la región geográfica donde se cosechó la manzana, esto debido a los diferentes minerales disponibles en el suelo de cada una.

Contenido de minerales específicos

En la siguiente tabla se muestran valores promedio del contenido de minerales específicos. Se puede observar que el contenido de calcio, hierro y magnesio en manzanas sin cáscara es menor que el contenido en manzanas con cáscara, lo que sugiere que una proporción significativa de estos minerales se encuentra en la cáscara.

La mayor porción del contenido de minerales lo constituye el potasio. Generalmente, éste representa más del 40% del total de las cenizas. El fósforo y el calcio probablemente son los que después del potasio, se encuentran en mayor cantidad.

ACIDOS ORGÁNICOS Quizá uno de los constituyentes más importantes de la manzana son los ácidos orgánicos. El ácido principal en la fruta el málico, aunque también están presentes otros ácidos como son el cítrico, láctico y oxálico. La fracción de ácido de la fruta es de interés debido a que afecta la calidad de la misma. La acidez total de las manzanas está relacionada a condiciones climáticas y el tiempo de crecimiento.

A continuación se presenta la composición nutricional promedio de manzana fresca.

TABLA 13. COMPOSICIÓN NUTRICIONAL PROMEDIO DE LA MANZANA FRESCA

	UNIDAD	VALOR POR 100 GRAMOS DE PORCIÓN COMESTIBLE CON PIEL	VALOR POR 100 GRAMOS DE PORCIÓN COMESTIBLE SIN PIEL
Promedios			
Agua	g	83 930	84 460
Energía	kcal	59 000	57 000
Energía	kJ	247 000	238 000
Proteína	g	0.190	0.150
Total lípidos (grasa)	g	0.360	0.310
Carbohidratos	g	15.250	14.840
Fibra total	g	2.700	1.900
Cenizas	g	0.260	0.240
Minerales			
Calcio, Ca	mg	7.000	4 000
Hierro, Fe	mg	0.180	0.070
Magnesio, Mg	mg	5 000	3 000
Fósforo, P	mg	7 000	7 000
Potasio, K	mg	115 000	113 000
Sodio, Na	mg	0 000	0 000
Zinc, Zn	mg	0.040	0.040
Cobre, Cu	mg	0.041	0.031
Manganeso, Mn	mg	0.045	0.023
Selenio, Se	mcg	0.300	0.300
Vitaminas			
Vitamina C, ácido ascórbico	mg	5 700	4 000
Tiamina	mg	0.017	0.017
Riboflavina	mg	0.014	0.010
Niacina	mg	0.077	0.091
Ácido pantoténico	mg	0 061	0 057
Vitamina B ₆	mg	0 048	0 046
Folato	mcg	2 800	0 400
Vitamina B ₁₂	mcg	0 000	0 000
Vitamina A, IU	IU	53 000	44 000
Vitamina A, RE	mcg RE	5 000	4 000
Vitamina E	mg ATE	0.320	0.080
Lípidos		12.178	0.155
Aminoácidos			
Triptofano	g	0.002	0.001
Treonina	g	0.007	0.005
Isoleucina	g	0.008	0.006
Leucina	g	0.012	0.009
Lisina	g	0.012	0.009
Metionina	g	0.002	0.002
Cistina	g	0.003	0.002
Fenilalanina	g	0.005	0.004
Tirosina	g	0.004	0.003
Valina	g	0.009	0.007
Arginina	g	0.006	0.005
Histidina	g	0.003	0.002
Alanina	g	0.007	0.005
Ácido aspártico	g	0.034	0.026
Ácido glutámico	g	0.020	0.016

USDA Nutrient Database for Standard Reference, Release 13 (Noviembre 1999)

TABLA 14 . COMPOSICIÓN PROMEDIO DE LA MANZANA RED DELICIOUS

Micro nutriente	mg/100g
Ácido ascórbico total	3.51
Niacina	0.08
Ácido pantoténico total	0.07
Ácido pantoténico libre	0.06
Vitamina B ₆	0.03
Riboflavina	0.02
Tiamina	0.01
Folacina total (µg)	0.85
Folacina libre (µg)	0.21
K	114.49
Mg	8.46
P	7.02
Ca	4.88
Na	4.18
Fe	0.11
Cu	0.04
Mn	0.03
Zn	0.02

FUENTE: Johnson et al. (1984)

TABLA 15. COMPOSICIÓN NUTRICIONAL PROMEDIO DEL JUGO DE MANZANA ENLATADO O EMBOTELLADO, SIN ENDULZAR, SIN ÁCIDO ASCÓRBICO.

Nutriente	Unidad	Valor por 100 gramos de porción comestible
Promedios		
Agua	g	87.930
Energía	kcal	47.000
Energía	kJ	197.000
Proteína	g	0.060
Total lípidos (grasas)	g	0.110
Carbohidratos, por diferencia	g	11.680
Fibra, alimentación total	g	0.100
Cenizas	g	0.220
Minerales		
Calcio, Ca	mg	7.000
Hierro, Fe	mg	0.370
Magnesio, Mg	mg	3.000
Fósforo, P	mg	7.000
Potasio, K	mg	119.000
Sodio, Na	mg	3.000
Zinc, Zn	mg	0.030
Cobre, Cu	mg	0.022
Manganeso, Mn	mg	0.113
Selenio, Se	mcg	0.100
Vitaminas		
Vitamina C, ácido ascórbico	mg	0.900
Tiamina	mg	0.021
Riboflavina	mg	0.017
Niacina	mg	0.100
Ácido pantoténico	mg	0.063
Vitamina B ₆	mg	0.030
Folato	mcg	0.100
Vitamina B ₁₂	mcg	0.000
Vitamina A, IU	IU	1.000
Vitamina A, RE	mcg_RE	0.000
Vitamina E	mg_ATE	0.010
Lípidos		
Ácidos grasos, saturados	g	0.019
Ácidos grasos, monosaturados	g	0.005
Ácidos grasos, poliinsaturados	g	0.033
Colesterol	mg	0.000

FUENTE: USDA Nutrient Database for Standard Reference, Release 13 (Noviembre 1999)

TABLA 16. COMPOSICIÓN PROMEDIO DEL JUGO DE MANZANA RED DELICIOUS

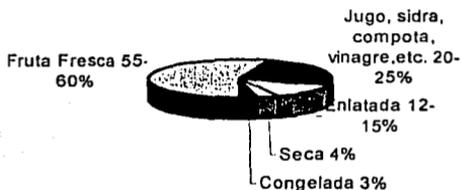
Micro nutriente	g/ml
Brix	12.15
Brix/Acido	42.3
pH	3.78-4.02
Gravedad específica	1.048
Acidez Total	0.336
Cenizas	0.2193
Fructosa	5.3
Glucosa	2.1
Sacarosa	2.41
Prolina	5.59
Cadmio	0.00528
Calcio	36.11
Hierro	1.19
Plomo	0.0260
Fósforo	124.2
Potasio	1084
Sodio	18.71
Zinc	0.364
Fenólicos totales	7.35
Aminoácidos totales	2.6

Fuente: Mattick y Moyer (1983).

4.6.5 USOS

4.6.5.1 ALIMENTICIOS

Las manzanas se consumen de diversas formas; crudas, cocidas en numerosos postres (manzana asada, pastel de manzana, *strudel*, etc.) y transformadas industrialmente: manzanas secas, enlatadas y cortadas en rodajas, jugo de manzana pasteurizado, sidra, vinagre. Francia es el primer productor mundial de un aguardiente de manzana llamado calvados. En otros países son más populares los licores de manzana, de menor graduación que los aguardientes. El porcentaje promedio del consumo de manzana en sus diversas formas es el siguiente:



4.6.5.2 OTROS USOS ³⁹

- A. Propiedades Medicinales/tóxicas. Los glicósidos cianogénicos son compuestos que forman HCN (ácido hidrocianico) al hidrolizarse. "Amigdalina" es el más común en la familia Rosaceae. El HCN inhibe la oxidasa cytochomo, el paso terminal en la fosforilación oxidativa. Esto provoca una "asfixia a nivel celular", cuyos síntomas son espasmos, coma, dificultad para respirar y la muerte. La Amygdalina se encuentra en las semillas de manzana y pera.
- B. Agentes Antidiarreicos. Una decocción de la fruta se utiliza como un astringente para la diarrea. Los Indios de Norteamérica la utilizaban.
- C. Actividad antibiótica. La raíz de las especies *Malus* contienen florentina que actúa contra la bacteria gram+/-,. La fruta contiene también ácido parascórbico que actúa en contra de la bacteria gram+ y la protozoa.
- D. Mitos y Folklore. Las manzanas eran usadas frecuentemente en la mitología griega y romana como símbolo de inmortalidad o reencarnación. Son la comida de los Dioses, o se daban a los humanos en recompensa de algún acto heroico.

4.7 PROCESO DE OBTENCIÓN DE UN JUGO

La elaboración de los jugos de frutas debe tener como base conservar al máximo las características propias del aroma, sabor y frescura, y muy especialmente su valor nutritivo tocando al mínimo las vitaminas A y C, que son los elementos más fácilmente alterables.¹ A continuación se describen las operaciones que se realizan para el proceso.

4.7.1 MATERIA PRIMA

La calidad del jugo está en función de la variedad de la fruta que se utilice, del grado de madurez de ésta que debe ser óptimo, así como la ausencia de toda fermentación, la cual puede afectar a la fruta en su aspecto sanitario y también en su sabor.¹

4.7.2 RECEPCIÓN DE LA FRUTA

Por lo general, la fruta llega en camiones de volteo los cuales realizan la descarga en silos o pilas de no más de dos metros de profundidad para evitar posibles daños causados por el peso de la fruta.¹⁶

4.7.3 SELECCIÓN DE LA FRUTA

Consiste en separar toda aquella fruta que pueda presentar alteraciones. Se realiza en mesas especiales de destrio.¹

4.7.4 LAVADO

Tiene por objeto eliminar de la fruta toda la tierra u otras sustancias que tenga adheridas. Se realiza por medio de fuertes chorros de agua, y en algunos casos, por un cepillado complementario.¹

4.7.5 MOLIENDA

Se realiza con máquinas distintas, según el tipo de fruta que se procese: para las manzanas se usa un rallador que consiste en un cilindro sobre el cual están adosadas pequeñas cuchillas que trabajan sobre una plancha acanalada. La fruta pasa entre estos dos elementos y es reducida a pulpa. Previamente se pela y se elimina el corazón. La manzana no debe ser molida demasiado fina, pues de lo contrario, aparecen problemas en el prensado. Las piñas se trituran después de eliminar la piel y el cilindro axial. Las uvas se aplastan con estrujadoras, compuestas de dos cilindros que giran en sentido contrario. Tal como se ve, cada tipo de fruta está sometida a un tratamiento particular.¹

4.7.6 PENSADO Y EXTRACCIÓN

Para la extracción de jugos se utilizan aparatos de muy diversos tipos, según la fruta y el producto que se desee obtener. Por ejemplo, la manzana molida se lleva a un escurridor, el cual consta de un gusano que transporta la fruta dentro de una canaleta de malla con orificios de aproximadamente 0.47 cm de diámetro. Esto se hace con el objeto de separar por gravedad el jugo liberado durante la molienda. El bagazo húmedo se transporta entonces a la prensa utilizando un tornillo sin fin.¹⁶

El jugo puede extraerse de la pulpa de manzana, o de las manzanas cortadas, mediante prensas accionadas a mano, prensas discontinuas de funcionamiento automático, prensas continuas, separadores centrifugos y por técnicas de extracción por difusión.

4.7.7 TAMIZADO

Tiene por objeto separar, en algunos jugos de frutas, todas las sustancias de mayor tamaño, a fin de mejorar su apariencia. El tamizado se realiza al mismo tiempo que la extracción por medio de centrifugas, cilindros perforados rotativos de las prensas de tornillo, paredes perforadas de las prensa hidráulicas y otro tipo de equipos, debiéndose procurar que aireen lo menos posible el jugo y que no sean atacados por elementos de éste.¹

4.7.8 DECANTACIÓN Y ALMACENAMIENTO TRANSITORIO

El jugo que sale de la prensa en un líquido ambarino, viscoso y con sólidos en suspensión. Este se deposita en el tanque donde se colocó el jugo drenado en la operación de molienda.

Si el jugo se va a comercializar en su presentación opalescente, se manda a tanques profundos y se deja reposar entre 12 a 36 horas a una temperatura de 5°C máximo. Con el procedimiento antes descrito se logra que las partículas en suspensión de mayor tamaño (arriba de 100-500µm de diámetro) sedimenten. Otro método puede ser la centrifugación o la filtración. Por último el jugo se pasteuriza.¹⁶

4.7.9 CLARIFICACIÓN

Consiste en la eliminación de todas las materias pécticas, proteicas y gomosas que se encuentran en los jugos y que posteriormente dificultan la filtración. La clarificación puede realizarse de diversas formas:

- Por encolado. Consiste en la adición de un producto que provoque la precipitación y arrastre de las sustancias en suspensión. Los clarificantes pueden ser orgánicos como la clara de huevo, gelatina, albúmina de sangre, de huevo caseína, ó minerales como la bentonita, el anhídrido silícico y las tierras de Lebrija.
- Por calentamiento. Se basa en el hecho de que la mayoría de las sustancias coloidales presentes en los jugos precipitan por el calor. Se realiza en pasteurizadores rápidos o intercambiadores de calor y el jugo se calienta a temperaturas que oscilan entre los 70 y 80° C durante un minuto.
- Por enfriamiento. El enfriado de los jugos turbios, llevándolos a la congelación, provoca una modificación en las materias coloidales, que precipitan al producirse la descongelación¹.

TABLA 17. MATERIAL CAUSANTE DE LA TURBIDEZ EN EL JUGO DE MANZANA

Tamaño	Materia	Comportamiento de sedimentación
100 μm	Cristales celulares de la planta y protoplasma coagulado	Rápido
10 μm	Levadura	Lento
	Fragmentos celulares Bacterias	Lento
1 μm	Esporas	Lento
	Complejos proteína-tanino	Lento
100 ηm	Almidón retrograda	Coloide, se mantienen en suspensión
	Gomas	
	Carbohidratos poliméricos(pectinas)	
10 ηm	Proteínas	Solución verdadera
	Polifenoles (taninos)	Solución verdadera
1 ηm	Ácidos, azúcares, alcohol	Solución verdadera

FUENTE: Downing

- Por enzimas. Las enzimas actúan transformando la pectina en ácido péctico insoluble, que al precipitar arrastra consigo las sustancias en suspensión. La clarificación enzimática presenta las siguientes ventajas:

1. Buena clarificación.
2. El jugo se mantiene estable por mucho tiempo.
3. Mayor coloración del jugo.
4. Mayor rendimiento.
5. Facilidad de Empleo¹

Este procedimiento se utiliza mucho para la clarificación del jugo de manzana.

- Por centrifugación. Sirve para eliminar una parte, a veces la más importante de las materias en suspensión. Se emplea especialmente para los jugos de uva y manzana.¹
- Por ultrafiltración. Con este tratamiento se obtiene un jugo claro brillante sin utilizar enzimas o agentes coagulantes.

4.7.10 FILTRACIÓN

El propósito de la filtración es remover las partículas sólidas del líquido. Para esto se pueden utilizar ayuda-filtro para hacer más eficiente el proceso.

Un filtro es esencialmente un soporte para un medio filtrante con algún método de drenado del líquido a través del medio. Las partículas son retenidas por el medio y el filtrado limpio pasa a través de él.

El jugo previamente despectinizado se envía a un tanque provisto de un agitador. Aquí se adiciona a la ayuda-filtro. Un de los ayuda-filtro más comúnmente utilizado es la tierra de diatomeas el cual se utiliza en cantidades de 1.2 a 2.4 Kg. por cada 1000 litros de jugo. Se procede entonces a filtrar el jugo. También se utiliza perlitá o celulosa.

4.7.11 PASTEURIZACIÓN

La pasteurización tiene como objetivo destruir todas las bacterias, esporas y moho contenidos en el jugo. Esto se logra exponiéndolos a una cierta temperatura mínima por un cierto tiempo mínimo –la mayor temperatura, el menor tiempo requerido.

Métodos de pasteurización

Pasteurización Batch. El jugo de manzana puede pasteurizarse en una botella o lata después de que han sido llenadas y selladas. Las botellas se colocan en un contenedor de líquidos y se cubren con agua. Se calienta el agua a 175-180°F por 3 minutos para prevenir un enmohecimiento posterior. Después de esto, los contenedores se enfrían con agua.

Pasteurización HTST (tiempo-corto). La pasteurización Alta-Temperatura, Tiempo-Corto (High-Temperature, Short-Time) debe su nombre al relativamente corto tiempo de pasteurización de 15 segundos. Este tiempo se puede alcanzar fácilmente en un proceso continuo al hacer pasar el jugo a través de un tubo caliente. Si el producto tiene la temperatura de pasteurización a la salida del tubo puede considerarse que se ha pasteurizado este. El jugo se enfría para almacenarse.

Pasteurización UHT. En esta pasteurización, el producto se lleva por encima de su punto de ebullición (bajo presión) por una fracción de segundo. Esto da un producto esterilizado que no requiere refrigeración posterior. El problema es que puede generar un ligero sabor a cocido.⁴³

Método de Pasteurización ⁴¹	Temperatura °F	Tiempo
Batch	145	30 min.
HTST	161	15 sec
UHT	250	0.1 sec

4.7.12 CONCENTRACIÓN

La concentración del jugo la remoción de agua. Existen varios métodos, dentro de los principales están la evaporación, ósmosis inversa y el congelamiento.

Concentración por evaporación. El jugo puede concentrarse por evaporación del agua, el componente mayoritario. Debido a que la evaporación del agua va acompañado por la pérdida de los compuestos volátiles causantes del aroma y sabor, el jugo se lleva a un sistema de recuperación de aroma. El proceso más común consiste en una evaporación flash de más o menos el 10% del jugo, lo cual separa los volátiles. Estos se concentran en una columna de destilación fraccionada para obtener la esencia concentrada, la cual puede usarse para reconstituir el jugo devolviéndole su aroma y sabor agradable. Enseguida se concentra el jugo en evaporadores. Estos son normalmente de doble o triple efecto, y en algunas ocasiones se utiliza el de simple efecto. La operación se realiza a una presión de vacío de 60 cm Hg aproximadamente. La concentración más común comercialmente es de 0-70°Brix.

Concentración por congelación. El agua contenida en el jugo se congela y se separa mecánicamente por centrifugación o prensado. Esto se puede hacer en forma discontinua, obteniéndose productos de excelente calidad con una concentración de sólidos solubles del 45-0°Brix, aunque no se descarta el uso de equipos continuos.

Concentración por ósmosis inversa. Ésta ocurre cuando se ejerce una presión en la solución más concentrada generando un exceso de presión diferencial causando que el agua fluya de la solución más concentrada a la menos concentrada a través de una membrana semipermeable. Con este método se han obtenido concentraciones de 40°Brix usando una presión de 170 atmósferas.

4.7.13 ENVASADO

Puede llevarse a cabo en latas, botellas y otros recipientes. La temperatura óptima de llenado es por encima de los 88°C para no requerir de un posterior tratamiento térmico. Este recipiente debe cerrarse herméticamente y enfriarse a 32°C aproximadamente para no afectar el sabor del jugo.¹⁶

4.8 EVAPORACIÓN ^{10,21,26,45}

El método más utilizado para la conservación de los jugos de fruta es la concentración por evaporación. La evaporación se refiere al proceso de calentamiento de un líquido hasta su punto de ebullición para remover el agua como vapor. La evaporación o concentración de una solución por ebullición del solvente tiene tres aplicaciones principales en la industria de los alimentos:

- La preconcentración de líquidos previa a su último proceso, por ejemplo, antes de desecarlos por pulverización, de desecarlos con tambor, de cristalizarlos, etc.
- La reducción del volumen del líquido para disminuir costos de almacenamiento, envasado y transporte.
- Para reducir la "actividad del agua" aumentando la concentración de los sólidos solubles en los productos alimenticios, con objeto de contribuir a su conservación, por ejemplo la fabricación de leche condensada edulcorada y de los jugos de fruta concentrados.¹⁰

Debido a que varios alimentos, entre ellos el jugo de frutas, son muy sensibles al calentamiento, la cantidad de calor puede minimizarse utilizando una evaporación bajo vacío para reducir el punto de ebullición. Los componentes básicos de este proceso consisten de:

- Un intercambiador de calor para aportar el calor sensible y el calor latente de evaporación del alimento líquido. En la industria de los alimentos normalmente se utiliza como medio de calentamiento vapor no saturado.
- Un sistema de vacío para mantener baja la temperatura del producto y alta la diferencia en temperaturas.
- Un separador en el que el vapor se separa de la fase líquida concentrada.

- Un condensador para condensar el vapor y eliminar el condensado del sistema. En los sistemas que operan a presión atmosférica el separador puede omitirse.¹⁰

Existen evaporadores de efecto simple y de efectos múltiples. En un evaporador de efecto simple, el fluido de servicio (a menudo vapor saturado proveniente de una caldera) provee la energía necesaria para la evaporación y el vapor proveniente del alimento que está siendo concentrado se desecha. En un sistema de evaporación de dos etapas (o efectos), el vapor producido en la primera etapa se emplea como fuente de energía para el segundo efecto, por lo que se aprovecha el calor latente de ebullición del producto sometido al primer efecto. Esta cascada de efectos puede continuarse para varias etapas y es evidente que sólo se inyecta vapor de servicio en el primer efecto, por lo que la presión y temperatura del primer efecto es siempre la mayor en el sistema. El vapor fluye de un evaporador a otro por diferencia de presiones: de mayor presión (primer efecto) a menor presión (último efecto). En el último efecto, el vapor fluye hacia un condensador.

Este tipo de sistemas pueden remover una mayor cantidad de humedad del producto, comparados a un sistema de una etapa. Algunos ejemplos típicos del uso de evaporadores múltiples son la evaporación de azúcar y concentración de jugos.⁴⁵

Hay dos ventajas principales de la evaporación de efecto múltiple:

- a. Economía: Se evaporan más kg de agua por kg de vapor de servicio.
- b. Mejora de la transferencia de calor: Esto se debe al incremento de viscosidad del producto.

Cada efecto opera a una presión y temperatura más bajas que el efecto anterior. Los vapores son removidos del efecto anterior a la temperatura de ebullición de ese efecto, por lo que es necesario aumentar el vacío en el siguiente efecto a fin de que siga existiendo una diferencia de temperaturas en la evaporación. Los costos de operación en estos sistemas dependen del número de etapas y las temperaturas de operación. Una forma de aumentar la economía y la conservación de energía de sistemas múltiples y simples es recomprimir el vapor proveniente de la ebullición del alimento, lo que se logra añadiendo energía al vapor en forma de una corriente de vapor jet, termo-compresión o por medios mecánicos como el uso de un compresor.⁴⁵

Para una misma diferencial de presión y mismas condiciones de proceso, los sistemas de evaporación con mayor número de efectos requieren menos vapor de servicio. Para propósitos de comparación, una regla empírica dice que la evaporación en cada efecto es de 0.7 a 0.9 kg de vapor extraído del producto por kg de vapor de servicio condensado en el primer efecto. Por lo tanto, con la misma velocidad de evaporación, un evaporador de efecto quintuple requerirá cerca del 20% del vapor necesario en un evaporador simple. En la práctica, la economía del vapor puede variar ampliamente debido a las diferencias en la temperatura de entrada del producto y otros requerimientos energéticos, como calores de dilución y cristalización, cuando ésta existe. Los evaporadores de efecto múltiple no siempre son la mejor opción: es evidente que el costo inicial del equipo sobrepasa al de los evaporadores simples. La evaporación simple se prefiere para velocidades bajas de evaporación o líquidos que ebullen a altas temperaturas.⁴⁵

Normalmente los evaporadores de un sistema múltiple se construyen con las mismas medidas: mismo tamaño, construcción y área de transferencia de calor. A menos de que las pérdidas de calor del sistema sean apreciables, los evaporadores tendrán de hecho la misma capacidad.⁴⁵

Si la alimentación que entra en el evaporador está a la temperatura de ebullición correspondiente a la presión existente en el espacio de vapor, todo el calor transmitido a través de la superficie de calefacción es utilizado en la evaporación y la capacidad es proporcional a la velocidad de transmisión de calor. Si la alimentación está fría, el calor que se requiere para calentarla hasta su temperatura de ebullición puede ser bastante grande y, consecuentemente, se reduce la capacidad para un valor dado de la velocidad de transmisión de calor, toda vez que el calor utilizado para calentar la alimentación no está disponible para la evaporación. Por el contrario, si la alimentación está a una temperatura superior a la de ebullición en el espacio de vapor, una parte de la alimentación se evapora espontáneamente mediante equilibrio adiabático con la presión del espacio de vapor y la capacidad es superior a la correspondiente a la velocidad de transmisión de calor. Este proceso recibe el nombre de evaporación flash.²⁵

La caída real de temperatura a través de la superficie de calefacción depende de la disolución que se evapora, de la diferencia de presión entre la cámara de vapor y el espacio de vapor situado encima del líquido en ebullición, así como de la altura del líquido

sobre la superficie de calefacción. En algunos evaporadores la velocidad del líquido en los tubos también influye sobre la caída de temperatura debido a que la pérdida por fricción en los tubos aumenta la presión efectiva del líquido. Cuando la disolución tiene las características del agua pura, su temperatura de ebullición puede obtenerse a partir de las tablas del vapor de agua conocida la presión.²⁵

Para garantizar una operación eficiente y económica del evaporador es necesario que se diseñe correctamente. El calor total necesario Q para el evaporador viene dado por:

$Q = (\text{calor necesario para llevar el alimento hasta el punto de ebullición}) + (\text{calor necesario para originar la evaporación})$

$$Q = m_1' Cp(T_2 - T_1) + m' \lambda_R^{21}$$

donde m_1' es el flujo másico a la entrada, Cp es el calor específico, m' es el flujo másico de evaporación, $T_2 - T_1$ es la temperatura de evaporación menos la temperatura de la masa entrante y λ_R es el calor latente de vaporización²¹.

Cabe mencionar a que la calidad del producto dependerá de la temperatura de evaporación y del tiempo de residencia. Para la evaporación de jugo de fruta la temperatura varía entre 40°C (una temperatura menor elevaría los costos de la generación de vacío) y 100°C mientras que los tiempos de residencia puede ser desde tan sólo varios segundos hasta algunas horas para ciertos procesos por lotes.

4.8.1 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL PUNTO DE EBULLICIÓN DEL LÍQUIDO¹⁰

La fuerza motriz determinante de la transferencia de calor en un intercambiador de calor es la diferencia de temperatura entre el medio de calentamiento (vapor en los serpentines) y el líquido a calentar. La temperatura del último depende de diversos factores, entre ellos los siguientes:

- ♦ **Presión Externa.** Un líquido hierve cuando la presión de vapor que ejerce es igual a la presión externa a la que se halla sometido. En el caso de los

productos alimenticios el solvente suele ser el agua, sustancia cuyas relaciones de presión de vapor-temperatura son bien conocidas.

- ♦ Solutos Disueltos (elevación del Punto de Ebullición). El punto de ebullición de una solución es mayor que el del solvente puro a la misma presión. Cuanto más concentrada sea la solución tanto más elevado será su punto de ebullición.
- ♦ Cabeza Hidrostática. A cualquier nivel por debajo de la superficie libre, el líquido se encuentra sometido a una presión igual a la suma de la presión ejercida sobre su superficie y la presión correspondiente a la cabeza hidrostática (distancia vertical desde la superficie libre al nivel en cuestión). En consecuencia, la temperatura de ebullición del líquido en un evaporador varía con la profundidad. Este aumento en la temperatura de ebullición reduce la diferencia de temperatura entre el medio de calentamiento y el líquido en ebullición y puede conducir al sobrecalentamiento del líquido. Este sobrecalentamiento puede dañar al producto en una unidad diseñada para operar a una temperatura especificada que se sobrepasa inadvertidamente.

4.8.2 ELEVACIÓN DE LA TEMPERATURA DE EBULLICIÓN DE LAS SOLUCIONES ²³

Las soluciones que contienen solutos no volátiles hierven a temperaturas más elevadas que las del solvente puro. La diferencia entre los puntos de ebullición de la solución y del solvente para una presión constante establecida, se conoce como elevación del punto de ebullición, que depende de la naturaleza del solvente y la concentración del soluto, pero es independiente de la naturaleza del solvente y la concentración del soluto, pero es independiente, por lo menos en soluciones diluidas, de la naturaleza del soluto en tanto este no se ionice.

Este aumento es fácil de comprender en función de la disminución de la presión de vapor y es una consecuencia directa de ella. Consideremos el diagrama presión de vapor-temperatura de la figura 1, la curva AB representa la presión de vapor del solvente puro como función de la temperatura. Como la presión de vapor de la solución es, para todas las temperaturas, menor que la del solvente, la curva de presión de vapor-temperatura de la solución debe quedar debajo de la del solvente puro y de aquí que quedará representada por otra tal como CD en la figura.

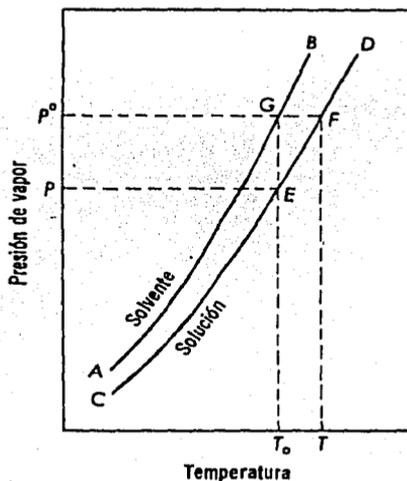


FIG. 1 ASCENSO DEL PUNTO DE EBULLICIÓN DEBIDO A LOS SOLUTOS.²³

A fin de alcanzar el punto de ebullición correspondiente a cierta presión externa que se ejerce sobre la solución P° , debe calentarse a temperaturas a las cuales las presiones de vapor respectivas igualan la del confinamiento. Como lo señala el diagrama, el solvente puede alcanzar la presión P° a la temperatura T° , pero la solución debe elevarse a T' mayor que T° , antes de que se alcance la misma presión. En consecuencia para la misma presión externa, la solución debe hervir a una temperatura más elevada que la del solvente puro; y el ascenso del punto de ebullición de la solución, $\Delta T'$ está dado por $\Delta T' = T' - T^\circ$. Estas consideraciones son completamente generales y se aplican a cualquier solución de soluto no volátil.

Al aplicar la ecuación de Clausius-Clapeyron y la ley de Raoult a las condiciones descritas en la figura 1, es posible deducir una relación entre el ascenso del punto de ebullición de la solución y su concentración. Como los puntos E y F quedan sobre la curva de presión de vapor de la solución, ambos están dados por la ecuación de Clausius-Clapeyron.

$$\ln \frac{P^{\circ}}{P} = \frac{\Delta H_{\text{vap}}}{R} \left(\frac{T - T_0}{TT_0} \right) \quad (1)$$

donde P y P° son las presiones de vapor de la solución a las temperaturas T° y T respectivamente, ΔH_{vap} es el calor de vaporización por mol de solvente desde la solución. Si ésta es diluida, aquel calor equivale esencialmente al de vaporización por mol de solvente puro. De nuevo, cuando la solución es diluida, T no es muy diferente de T° , y de aquí que podemos escribir $TT_0 = T_0^2$. En consecuencia, la ecuación (1) se transforma en

$$\ln \frac{P^{\circ}}{P} = -\ln \frac{P}{P^{\circ}} = \frac{\Delta H_{\text{vap}}}{R} \cdot \frac{\Delta T}{T_0^2} \quad (2)$$

En la ecuación (2) P es la presión de vapor de la solución a T° mientras que P° es también la del solvente puro a la misma temperatura. Cuando la ley de Raoult es aplicable a la solución, resulta

$$\frac{P}{P^{\circ}} = y_1 = 1 - y_2 \quad (3)$$

donde y_2 es la fracción molar del soluto en solución. De aquí, la ecuación (3) se convierte en

$$\ln(1 - y_2) = -\frac{\Delta H_{\text{vap}}}{R} \cdot \frac{\Delta T}{T_0^2} \quad (4)$$

Además, el desarrollo de $\ln(1 - y_2)$ en serie de potencias, da la expresión siguiente

$$\ln(1 - y_2) = -y_2 - \frac{y_2^2}{2} - \frac{y_2^3}{3} - \dots \quad (5)$$

ya como se especificó que la solución era diluida, y_2 debe ser pequeño; con lo cual todos los términos del desarrollo después de primero, deben considerarse despreciables, y podemos escribir $-y_2$ en vez de $\ln(1 - y_2)$ en la ecuación (4),

$$-y_2 = -\frac{\Delta H_{\text{vap}}}{R} \cdot \frac{\Delta T}{T_0^2} \quad (6)$$

y por tanto:

$$\Delta T = \frac{RT_0^2}{\Delta H_{\text{vap}}} \cdot y_2 \quad (7)$$

la ecuación (7) nos da el aumento del punto de ebullición de una solución en función del punto de ebullición y calor de vaporización del solvente, y de la fracción molar de soluto en solución. Como para un solvente dado T_0 y ΔH_{vap} son constantes, el aumento del punto de ebullición en soluciones diluidas es proporcional a la fracción molar del soluto únicamente y no es dependiente de la naturaleza del soluto, por tanto, es una propiedad coligativa.

Es práctica común en el estudio de esta propiedad, expresar la concentración no en fracción molar sino en *moles de soluto por 1000g de solvente*, es decir, molalidad m . Si ahora designamos con n_1 el número de moles de solvente en 1000g, entonces,

$$y_2 = \frac{m}{n_1 + m} \approx \frac{m}{n_1} \quad (8)$$

Puesto que en soluciones diluidas m es pequeño en relación con n_1 y puede despreciarse. Por lo tanto:

$$\Delta T' = \left[\frac{RT_0^2}{\Delta H_{\text{vap}} n_1} \right] m \quad (9)$$

Para un solvente dado, todas las cantidades en el paréntesis de la ecuación (9) son constantes, y el término total. Escribiendo

$$K_b = \frac{RT_0^2}{\Delta H_{\text{vap}} n_1} \quad (10)$$

la ecuación (9) se reduce finalmente a

$$\Delta T' = K_b m \quad (11)$$

De acuerdo con la ecuación (11) el ascenso del punto de ebullición de una solución diluida es directamente proporcional a *la molalidad de la solución*. La constante de proporcionalidad K_b , se denomina *constante ebulloscópica*, y significa el incremento del punto de ebullición de una solución 1 molal de un soluto en un solvente cuando son aplicables las leyes de las soluciones diluidas a dichas concentraciones.²³

En los evaporadores de efecto múltiple en los que los efectos se alimentan en serie, el punto de ebullición se eleva de un efecto al siguiente, a medida que crece la concentración; por tanto, para la transmisión de calor se dispone de menos cantidad que la diferencia de temperatura aparente, aunque los puntos de ebullición sean más altos, ya que la temperatura de condensación del vapor en la cámara de calefacción del efecto siguiente es la del vapor puro.

A medida que se eleva la concentración, también crece la viscosidad del líquido; este aumento afecta a la transmisión de calor, imponiendo casi siempre un límite al grado de evaporación que se puede llevar a cabo.

Para disoluciones concentradas la elevación del punto de ebullición se obtiene mejor a partir de un regla empírica conocida como regla de Dühring, que dice que la relación entre las temperaturas a las cuales dos disoluciones ejercen la misma presión de vapor es constante. Es decir, si se toma la relación temperatura-presión de vapor de un líquido de referencia como el agua y si se conocen dos puntos en la curva de temperatura-presión de vapor de la disolución que se está evaporando, se pueden leer en el diagrama de los puntos de ebullición de la disolución a diferentes presiones. La gráfica de Dühring da por interpolación el punto de ebullición de disoluciones de concentraciones diferentes y a presiones distintas siguiendo una línea de composición constante. La regla no es exacta dentro de amplios márgenes de presiones pero se aplica frecuentemente en los cálculos industriales.¹³

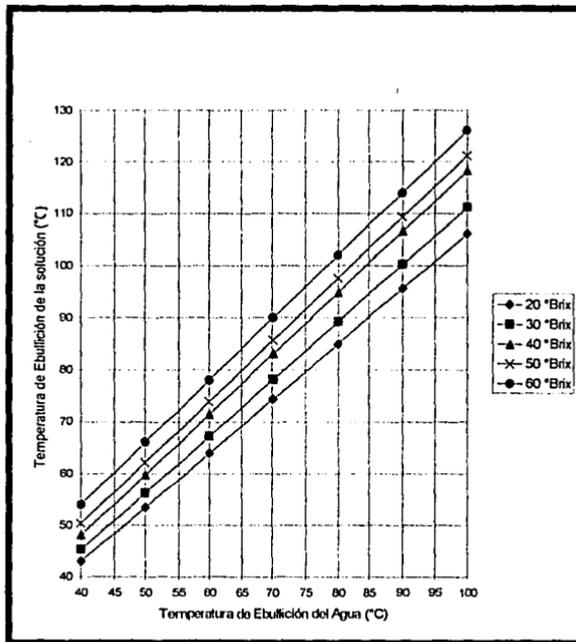


FIG. 2. GRÁFICA TÍPICA DE DÜHRING¹⁴

4.9 PRESIÓN DE VAPOR DE LÍQUIDOS ¹⁷

Considerando un sistema compuesto de un líquido puro que está en coexistencia con su vapor a una temperatura y presión (total) determinadas. Se debe asumir que la presión del sistema es causada por dicha sustancia, y que no existen otros gases presentes en la fase vapor. La presión en este caso se refiere a la presión orto-bárica. Debido a que el líquido y el vapor coexisten la razón de vaporización del líquido es igual a la razón de condensación del vapor, esta equivalencia dinámica corresponde entonces al equilibrio líquido-vapor de la sustancia. Aunque este sistema puede tratarse usando la teoría de cinética molecular, estudiaremos el proceso desde una perspectiva macroscópica basada en la equivalencia de los potenciales químicos (energía libre molar) de dos fases en coexistencia.¹⁷

Supongamos que una sustancia pura, A , está presente tanto en la fase líquida como en la fase gas, $A(l)$ y $A(g)$, respectivamente, a una temperatura T y una presión P . Ya hemos asumido que el único vapor presente en el sistema es el producido por la sustancia A , por lo cual la presión vapor de saturación de A a la temperatura T se expresa como $P = P_A P_A$. La condición de equilibrio entre las dos fases de A puede establecerse como

$$\mu_A(l)(T, P) = \mu_A(g)(T, P) \quad (\text{condición de equilibrio}) \quad (12)$$

donde $\mu_A(l)(T, P)$ y $\mu_A(g)(T, P)$ son los potenciales químicos del líquido y del vapor de A a T y P , respectivamente. Si la temperatura cambia infinitesimalmente, a $T + dT$, y la presión producida por A cambia en $P + dP$ para mantener el equilibrio entre las dos fases, entonces a los nuevos valores de T y P , tenemos que

$$\mu_A(l)(T + dT, P + dP) = \mu_A(g)(T + dT, P + dP), \quad (13)$$

Esta ecuación puede escribirse en términos de diferenciales de los potenciales químicos:

$$\mu_A(l)(T, P) + d\mu_A(l) = \mu_A(g)(T, P) + d\mu_A(g) \quad (14)$$

Debido a que los potenciales químicos del líquido y del vapor de la sustancia A a T y P son iguales (1), la ecuación anterior se transforma en

$$d\mu_A(l) = d\mu_A(g) \quad (15)$$

la diferencial de μ para cualquier material puro es $d\mu_i = V_{m,i}dP - S_{m,i}dT$, donde $V_{m,i}$ y $S_{m,i}$ son el volumen molar y la entropía respectivamente de la sustancia, i . Sustituyendo esto en (15) para dos fases de A , tenemos

$$V_{m,A}(l)dP - S_{m,A}(l)dT = V_{m,A}(g)dP - S_{m,A}(g)dT \quad (16)$$

La ecuación (16) es una ecuación fundamental en el equilibrio de fase de un componente. Debe notarse que este es un resultado general que no requiere específicamente que las dos fases sean líquido y vapor. De aquí en adelante se omitirá el subíndice A ya que se considera una sola sustancia pura.

Ya que se desea conocer el cambio de la presión de vapor debido a un cambio de temperatura manteniendo el equilibrio de fase, resolvemos la ecuación (16) para (dP/dT) :

$$\frac{dP}{dT} = \frac{S_m(g) - S_m(l)}{V_m(g) - V_m(l)} = \frac{\Delta S_m}{\Delta V_m}, \quad (17)$$

donde ΔV_m y ΔS_m son los cambios de volumen y entropía para la fase de transición, respectivamente. Si consideramos una fase de transición isotérmica $A(l) = A(g)$ y usando la ecuación de Gibbs-Helmholtz, $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ para esta transformación, de acuerdo a la ecuación (12) deducimos que $\Delta G = 0$ y así

$$\Delta S = \frac{\Delta H}{T} \quad (18)$$

substituyendo esta expresión para ΔS en (17) resulta

$$\frac{dP}{dT} = \frac{\Delta H_m}{T \Delta V_m} \quad (19)$$

la ecuación (19) es conocida como la ecuación de Clapeyron- Clausius.

En la ecuación (19), $\Delta V_m = V_m(g) - V_m(l)$. El volumen molar del vapor en equilibrio con el líquido excede por mucho al del líquido (para condiciones inferiores al punto crítico) usando la ley del gas ideal para aproximar $V_m(g)$ e ignorando el término pequeño $V_m(l)$, ΔV se transforma en

$$\Delta V \approx V_m(g) = \frac{RT}{P} \quad (20)$$

substituyendo esta expresión en la ecuación (19) y reordenándola

$$\frac{dP}{P} = \frac{\Delta H_{m,vap}}{R} \frac{dT}{T^2} \quad (21)$$

debe notarse que la ecuación (3.11), es conocida como la ecuación Clausius-Clapeyron, la cual recuerda la ecuación de van't Hoff:

$$d \ln H_p^o = \frac{\Delta H^o}{R} \frac{dT}{T^2} \quad (22)$$

donde K_p y ΔH^o son las constantes de equilibrio estándar y la entalpía del proceso. Por lo que la presión de vapor (expresada en atmósferas) es una constante de equilibrio verdadera (en la aproximación de gas ideal), y $\Delta H_{m,vap}$ en la ecuación (21) es la entalpía de vaporización molar.

La ecuación (21) puede integrarse rápidamente si se asume que $\Delta H_{m,vap}$ es independiente de la temperatura en todo el rango de temperaturas correspondiente a las

mediciones de presión. Así, si integramos de una temperatura arbitraria T'' a la cual la presión de vapor es P'' hasta una temperatura T' , tenemos

$$\ln P = -\left(\frac{\Delta H_{m,vap}}{R}\right)\left(\frac{1}{T'} - \frac{1}{T''}\right) + \ln P'' \quad (23)$$

o

$$\ln P = \left(\ln P'' + \frac{\Delta H_{m,vap}}{RT''}\right) - \frac{\Delta H_{m,vap}}{RT'}$$

La ecuación (23) predice que una gráfica de $\ln P$ contra $1/T$ debe ser lineal, con una pendiente igual a $\Delta H_{vap}/R$. Esto se observa experimentalmente para muchos líquidos y sistemas sólidos mientras que el rango de temperaturas no sea demasiado grande (en el orden de varias decenas de grados). Estas gráficas pueden ser curvas si: (1) se obtuvieron datos precisos de presión, (2) el calor de vaporización es particularmente dependiente de la temperatura. Con frecuencia, las tablas de datos de presión de vapor proveen relaciones de la forma:

$$\ln P = A - \frac{B}{T} \quad (24)$$

en donde A y B son constantes. Puede verse al comparar las ecuaciones (23) y (24) que B está relacionada con el calor de vaporización. Otra relación conveniente de presión de vapor encontrada en tablas es la ecuación de Antoine, la cual contiene tres parámetros y permite una mayor precisión en un rango grande de temperatura:

$$\ln P = A' - \frac{B'}{t - C'}$$

donde t es la temperatura en Celsius y las constantes A' , B' y C' se obtienen empíricamente para representar la presión de vapor en un rango de temperatura para el cual la ecuación de Antoine es válida. Debe notarse que C' no es necesariamente

273.15, la conversión entre las escalas Celsius y Kelvin, pero refleja las características de un líquido en particular (o sólido). Más aún, β' no está simplemente relacionado con el calor de vaporización.

Si el rango de temperatura es muy grande para la ecuación (23), o si las mediciones de presión de vapor son muy precisas, la dependencia con la temperatura de ΔH_{vap} puede incluirse. De

$$d\Delta H = \Delta C_p dT' \quad (25)$$

donde $\Delta C_p = C_{p'} - C_{pL}$ (la diferencia en las respectivas capacidades caloríficas de la fase vapor y la fase líquido), una forma más exacta de la ecuación (23) puede obtenerse. Integrando (25):

$$\Delta H = \Delta H' + \int_T^{T'} \Delta C_p dT', \quad (26)$$

donde T' es una temperatura de referencia arbitraria y $\Delta H'$ es la entalpía de transición correspondiente. Si las capacidades caloríficas se toman como independientes de T' , (26) se transforma en

$$\Delta H = \Delta H' + \Delta C_p (T' - T''). \quad (27)$$

Si sustituimos esta expresión en la ecuación (21), obtenemos finalmente

$$\frac{dP}{P} = \frac{1}{R} [\Delta H' + \Delta C_p (T' - T'')] \frac{dT}{T^2} \quad (28)$$

recordando que T'' es constante, esta ecuación puede integrarse para P en función de T :

$$\ln P = -\frac{\Delta H_{\text{vap}}'}{nRT} + \frac{\Delta C_p}{R} \ln T + \frac{\Delta C_p T''}{nRT} + C, \quad (29)$$

donde la constante C se encuentra estableciendo la condición límite: la presión de vapor de una sustancia a una temperatura arbitraria. La ecuación (29) tiene la forma general:

$$\ln P = -\frac{A}{T} + B \ln T + C, \quad (30)$$

donde $A = \Delta H_{\text{vap}} / R + \Delta C_p T'' / R$; $B = \Delta C_p / R$ y C es una constante.

Las ecuaciones (22) y (29) puede distinguirse experimentalmente solo si (1) el rango de temperatura extendido sobre las mediciones de presión de vapor es demasiado grande, (2) la precisión en P es muy grande, o (3) ΔC_p para el sistema es particularmente grande- o alguna combinación de estas condiciones.¹⁷

5. MATERIAL Y MÉTODO

5.1 MATERIAL

Soluciones de sacarosa y jugo clarificado de piña, manzana y mango de diferente concentración de sólidos: 10,20,30,40,50,60 y 70°Brix, agua destilada, NaOH 0.113 N, solución de fenoltaleína.

1 Condensador de Vidrio

1 Manómetro tipo U de mercurio

1 Matraz Claissen Pírex de 500 ml

1 Mechero

1 Potenciómetro

1 Refractómetro de Abbe

1 Sistema de Vacío

1 Soporte Universal

1 Termómetro de Mercurio

1 Termómetro Diferencial (sensibilidad 0.05°C)

1 Tripie

Baño de Aceite

Manguera de Látex

5.2 MÉTODO

5.2.1 OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL JUGO

Las variedades de cada fruta se eligieron en base a su disponibilidad en el mercado. El procedimiento de obtención de cada jugo se describe a continuación:

Jugo de Manzana.

El jugo se obtuvo en el laboratorio a partir de manzanas frescas de la variedad Red Delicious. Se escogieron manzanas maduras, no se utilizaron manzanas inmaduras ya que tienen un alto contenido de almidón lo que dificultaría la clarificación del jugo, ni

tampoco muy maduras ya que son difíciles de prensar y se obtiene muy poco jugo. Seguido a esto, las manzanas se lavaron perfectamente, se descorazonaron y se trocearon para iniciar la extracción del jugo, la cual se llevó a cabo con un extractor de jugos casero.

La filtración del jugo recién extraído es muy difícil debido a que gran parte del material sólido suspendido es coloidal y solo sería retenido por un filtro muy cerrado por lo que para reducir las pectinas naturales del producto se le añadió el sistema enzimático *ARAPECT APXL*® (ENMEX, S.A. DE C.V.) en una cantidad de 0.02 ml por 1 l de jugo* dejándolos actuar durante 8 horas a temperatura ambiente lo cual ayudo a reducir la viscosidad.

Posteriormente, el jugo se centrifugo en una centrifuga clinica obteniéndose finalmente el jugo de manzana clarificado. Una vez caracterizado el jugo, éste se concentró mediante evaporación a nivel laboratorio (anexo 6) hasta obtener una concentración de 70 ° Brix. Dicha evaporación se llevó a cabo bajo vacío (temperatura de ebullición = 40°C) para evitar la descomposición térmica del jugo, lo que hubiese afectado la calidad del mismo. Las muestras de diferente concentración de sólidos solubles se obtuvieron al reconstituir el concentrado con agua destilada. En el anexo 2 se muestran los cálculos efectuados para preparar las soluciones de jugo a las siguientes concentraciones de sólidos: 10,20,30,40,50,60 y 70°Brix.

* Dosis recomendada por el fabricante

Jugo de Piña

El jugo se obtuvo a partir de piñas frescas de la variedad "Cayena Lisa". Se escogieron piñas maduras, sin fermentar. Seguido a esto, las piñas se lavaron perfectamente, se pelaron, se descorazonaron y se trocearon para iniciar la extracción del jugo, la cual se llevó a cabo con un extractor de jugos casero. Para eliminar la turbidez del jugo se le añadió el sistema enzimático *MACEREX PM* ® (ENMEX, S.A. DE C.V.) en una cantidad de 0.03 ml por 1 l de jugo* dejándolos actuar durante 2 horas a temperatura ambiente.

Posteriormente, el jugo se centrifugó en una centrifuga clinica obteniéndose finalmente el jugo de piña clarificado. Una vez caracterizado el jugo, éste se concentró mediante

evaporación a nivel laboratorio (anexo 6) hasta obtener una concentración de 70 ° Brix. Dicha evaporación se llevó a cabo bajo vacío (temperatura de ebullición = 40°C) para evitar la descomposición térmica del jugo, lo que hubiese afectado la calidad del mismo. Las muestras de diferente concentración de sólidos solubles se obtuvieron al reconstituir el concentrado con agua destilada.

* Dosis recomendada por el fabricante

Jugo de Mango

Para obtener el jugo se utilizó la variedad "Manila" por tener la consistencia adecuada para la extracción del jugo. El jugo se obtuvo a partir de mangos frescos. Los mangos se lavaron perfectamente, se pelaron y con ayuda de un cuchillo se retiró la pulpa del hueso, dicha pulpa se pasó por un extractor de jugos casero para extraer el jugo.

Para disminuir la viscosidad y mejorar la eficiencia de la centrifugación (Sreenath et al., 1987) de éste se le añadió el sistema enzimático *MACEREX PM*® (ENMEX, S.A. DE C.V.) en una cantidad de 0.03 ml por 1 l de jugo* dejándolos actuar durante 2 horas a temperatura ambiente. Posteriormente, el jugo se centrifugó en una centrifuga clínica obteniéndose finalmente el jugo de mango clarificado.

Para fines de este estudio, el jugo (previamente caracterizado) se concentró mediante evaporación a nivel laboratorio hasta obtener una concentración de 70 ° Brix. Dicha evaporación se llevó a cabo bajo vacío (temperatura de ebullición = 40°C) para evitar la descomposición térmica del jugo, lo que hubiese afectado la calidad del mismo. Las muestras de diferente concentración de sólidos solubles se obtuvieron al reconstituir el concentrado con agua destilada.

* Dosis recomendada por el fabricante

Las soluciones de sacarosa se prepararon con azúcar refinada y agua destilada a diferentes concentraciones de sólidos solubles (anexo 1).

En el siguiente diagrama se muestra en forma generalizada el procedimiento utilizado para la obtención de los jugos de fruta:

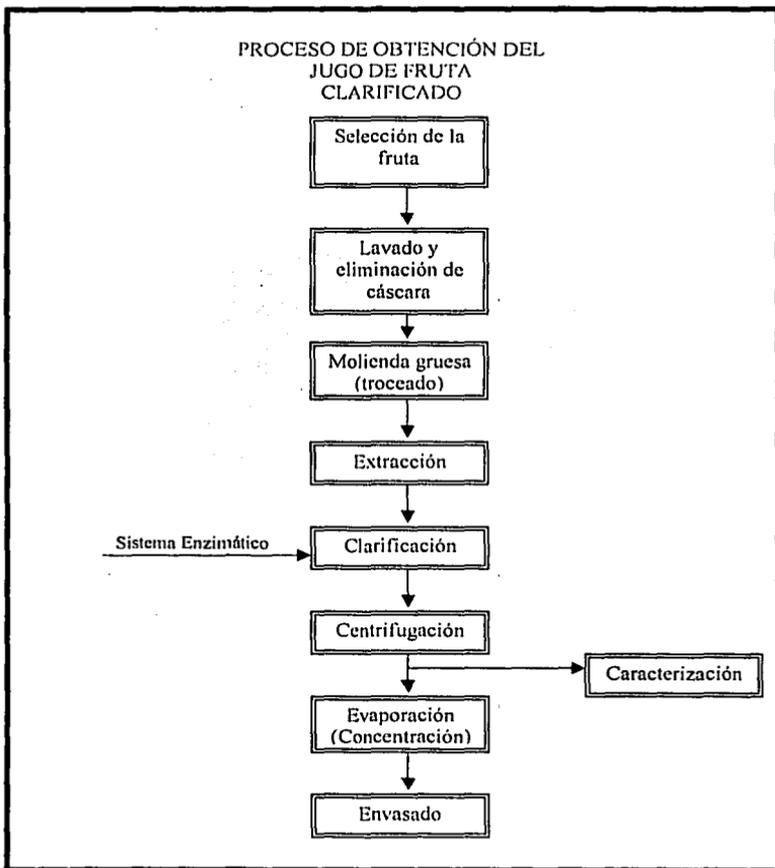


FIG. 3 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE JUGO DE FRUTA CLARIFICADO

Para caracterizar el jugo se llevaron a cabo los siguientes métodos de análisis. Cada determinación se realizó por triplicado³⁴:

- Sólidos solubles totales. El porcentaje de sólidos solubles, que en frutas son principalmente azúcares, se expresa en grados Brix. Los °Brix relacionan la gravedad específica de una solución con la concentración equivalente de azúcares solubles que se encuentran en la muestra. Para esta determinación se utilizó un refractómetro de Abbe (Erma, Optical Instruments).
- pH. El pH es una medida de la concentración de iones hidrógeno. El término pH en los alimentos tiene una gran importancia, ya que de este parámetro depende su conservación, estabilidad fisicoquímica y estabilidad microbiológica. Éste se midió con un potenciómetro, calibrado a pH=4, obteniéndose una medición directa.
- Determinación de la acidez titulable. Ésta puede expresarse como la cantidad de ácido libre (ácido cítrico, ácido málico) en el producto (g/100g, g/100ml, o g/l). Los métodos volumétricos de alcalimetría y acidimetría, tienen como fundamento la acción mutua entre ácidos y bases, es decir reacciones de neutralización mediante soluciones alcalinas de concentración conocida, las cuales se hacen actúa cuantitativamente sobre soluciones ácidas. Las frutas y las hortalizas contienen ácidos naturales: ácido cítrico, ácido málico, tartárico, y otros: los cuales contribuyen al sabor y pueden disminuir el proceso de descomposición de la fruta. Para determinar la acidez titulable de las soluciones en estudio, se colocó una muestra de 10 ml de jugo en un matraz Erlenmeyer con 5 gotas de una solución de fenolftaleína al 1% en 50% de alcohol isopropílico. Esta muestra se titula con NaOH 0.1163N hasta el punto de equivalencia cambio de color a rosa). Para calcular el por ciento de ácido se utiliza la siguiente relación³⁴:

Ácido cítrico (piña y mango)

$$\% \text{Acido} = \frac{ml_{NaOH} \cdot 0.1163 \cdot 100 \cdot 0.064}{V_{\text{jugo}}} \quad (31)$$

Ácido málico (manzana)

$$\%Acido = \frac{ml_{ALCUM} * 1163 * 100 * .067045}{V_{JUGO}} \quad (32)$$

- Densidad. La densidad es una medida indirecta de evaluar la concentración del jugo de fruta. Se determinó por diferencia de peso con respecto al agua. Se utilizó un picnómetro previamente tarado. La densidad del jugo se evaluó en base a la siguiente relación³⁴:

$$\rho = \frac{M_3 - M_1}{M_2 - M_1} \quad (33)$$

donde M_1 = peso del picnómetro vacío (g)

M_2 = peso del picnómetro con agua (g)

M_3 = peso del picnómetro con jugo (g)

- Determinaciones organolépticas. Se evaluó el color, olor y sabor de los jugos obtenidos asépticamente.

5.2.2 DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA DE EBULLICIÓN

Para llevar a cabo la parte experimental se armó un aparato como se muestra en la siguiente figura:

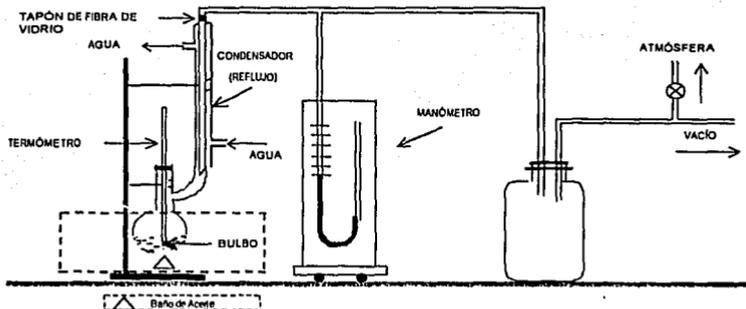


FIG. 4 ESQUEMA DEL APARATO EXPERIMENTAL

Se utilizó este arreglo por que nos permitió controlar de manera efectiva las variables involucradas en la ebullición del jugo y obtener por lo tanto los datos experimentales:

**Brix (Concentración de Sólidos Solubles).* Una vez que el jugo alcanzó el punto de ebullición y el agua comenzó a evaporarse, fue necesario que éste se integrara nuevamente al seno del líquido. Dicha función se cumplió utilizando el condensador que en conjunto con la gravedad, se encargó de "regresar" el agua evitando un cambio en la concentración. Para verificar esto, al finalizar cada corrida experimental se tomó una muestra del líquido y se midieron los °Brix sin encontrar algún cambio significativo en la concentración, lo cuál, también fue un indicativo de que se redujo al mínimo la hidrólisis de la sacarosa.

Presión. Esta es la variable que se decidió mantener constante lo cual se logró regulando el aire que pasaba a través de la válvula, abriéndola o cerrándola según se requiriera hasta que el nivel de mercurio en el manómetro abierto tipo U alcanzara las marcas preestablecidas, las cuales correspondían a las presiones absolutas de vacío fijadas para este estudio experimental. Para evitar una caída de presión por fricción, la longitud de las conexiones fue la mínima posible.

Temperatura de Ebullición. Una vez que se fijó la presión y se inició el calentamiento, llegó el momento en que el jugo alcanzó su punto de ebullición y era el momento de registrar la temperatura. Observando el esquema se ve que es posible medir la temperatura en varios puntos: la fase líquida, la interfase líquido vapor o la fase vapor. A pesar de que el baño de aceite utilizado para el calentamiento de la solución cubría gran parte del matraz, la temperatura de la fase vapor no se mantenía constante (lo cual era de esperarse por los flujos internos de vapor y condensado) se decidió medir la temperatura en el seno del líquido, colocando el bulbo del termómetro (termómetro diferencial con una sensibilidad de 0.05°C) ligeramente por debajo del nivel y registrando la temperatura en el momento en que se mantuviera constante por lo menos cinco minutos, es decir, el momento en que las fases líquido y vapor estaban en equilibrio.

El procedimiento experimental fue el siguiente: se cargó una muestra de 100 ml de jugo de concentración conocida en el matraz y se cerró el sistema, se inició el flujo de agua fría en el condensador, el calentamiento y la mayor presión, Dicha presión y la temperatura

de ebullición asociada se registraron y posteriormente se varió el vacío hasta alcanzar el valor menor inmediato de presión y se repitió el procedimiento. Y así sucesivamente hasta llegar a la presión atmosférica. El calentamiento se detuvo para retirar la muestra de jugo y se verificó su concentración (°Brix). Dicha metodología se repitió para cada concentración y jugo en estudio.

El buen funcionamiento del aparato se verificó determinando el punto de ebullición del agua a cada presión de trabajo. En la Tabla 19 se muestran los valores promedio obtenidos experimentalmente.

6. RESULTADOS Y ANÁLISIS

6.1 CARACTERIZACIÓN DEL JUGO

Los resultados promedio de la caracterización fisicoquímica de cada jugo se muestra en la Tabla 18 los cuales se compararon con los reportados en la literatura además de que se realizó una prueba organoléptica para asegurar un jugo en óptimas condiciones.

TABLA 18 CARACTERIZACIÓN DEL JUGO DE PIÑA, MANZANA Y MANGO

Jugo	*Brix	Acidez Titulable (g/100cm ³)*	*Brix/Acidez	Densidad (g/cm ³)	pH	Olor	Color	Sabor
Piña experimental	11	0.3076	32.5097	1.04568	3.7	característico	característico	característico y agradable
Piña teórico ^a	10.5 min	1.2 máx	---	1.042 min	3.3-3.7	característico	característico	característico y agradable
Manzana experimental	13.5	0.4150	32.5301	1.05858	3.6	característico	característico	característico y agradable
Manzana teórico ^b	11.0-14.0	0.3 - 0.60	30.0-42.0	1.04-1.06	3.5 - 4.0	característico	característico	característico y agradable
Mango experimental	15	0.4726	31.7393	1.0672	4.0	característico	característico	característico y agradable
Mango teórico ^c	14 min	0.2-0.5	---	---	3.5-4.0	característico	característico	característico y agradable

* para piña y mango expresado como ácido cítrico, para manzana como ácido málico

FUENTE: ^a SECOFI NOM F-117-1968,

^b SECOFI NOM F-045-1982,

^c SECOFI NOM F-057-1980.

Por lo tanto los tres jugos obtenidos cumplen con las características requeridas.

6.2 VERIFICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL APARATO EXPERIMENTAL

En la siguiente tabla se muestra los valores promedio de temperatura de ebullición del agua obtenidos experimentalmente, los cuales coinciden con los reportados en la literatura²⁸ considerando que la sensibilidad del termómetro diferencial utilizado en el experimento es de 0.05°C. La presión en el lugar de trabajo fue de 779.2 mbar (587 mm Hg).

TABLA 19 TEMPERATURA DE EBULLICIÓN DEL AGUA PURA

Presión (mbar)	191.25	289.53	387.82	486.1	585.05	684.66	779.62
T experimental (°C)	59.2	68.3	75.2	80.7	85.3	89.3	92.8
T reportada* (°C)	59.13	68.28	75.15	80.68	85.33	89.34	92.81

**Fuente: Tablas de Vapor(28)

6.3 ELEVACIÓN DE LA TEMPERATURA DE EBULLICIÓN

Se obtuvieron datos promedio (tablas 33-36, anexo 8) de las temperatura de ebullición de las soluciones de sacarosa, jugo de piña, jugo de manzana y jugo de mango a diferentes concentraciones de sólidos solubles (10,20,30,40,50,60 y 70°Brix) en un rango de presión de 191.25 a 779.2 mbar. Cada medición se realizó por triplicado.

Debido a que uno de los objetivos de este estudio fue la obtención de una correlación que nos permitiera estimar la elevación de la temperatura de ebullición fue preciso calcular la diferencia de la temperatura del jugo (ΔT) con respecto al agua pura como la diferencia entre la temperatura de ebullición de la solución en estudio y la temperatura de ebullición del agua a la misma presión (Tablas 37-40, anexo 8):

$$\Delta T = T_{eb_{sol}} - T_{eb_{agua}} \quad (34)$$

donde,

$T_{eb_{sol}}$ = temperatura de ebullición de la solución

$T_{eb_{agua}}$ = temperatura de ebullición del agua pura

El valor de $T_{eb_{agua}}$ que se utilizó para este cálculo fue el obtenido experimentalmente. Analizando los datos tenemos que el valor de ΔT depende considerablemente del contenido de sólidos solubles y se incrementa notablemente con un cambio en la presión. Para expresar cuantitativamente la dependencia de ΔT con la concentración de sólidos solubles (° Brix), $\Delta T = F(^{\circ}\text{Brix})$, se realizó una *regresión no lineal* para cada solución a las 7 condiciones de presión utilizando el programa "Curve Expert 1.3 para WINDOWSSM" el cual permite seleccionar entre una gran variedad de modelos matemáticos mediante la comparación del coeficiente de correlación " r " \rightarrow 1. El mejor modelo fue el de potencia modificada cuya expresión matemática es:

$$Y = a \cdot b^X \quad (35)$$

donde,

$Y = \Delta T$

$X = W(^{\circ}\text{Brix})$

$a, b = \text{constantes}$

y no un modelo lineal como el propuesto por Varshney & Bardhate (1978)³³ para el jugo de mango y piña ó la ecuación (11) $\Delta T = K_1 m$. Ambos modelos son válidos para

soluciones diluidas ($< 40^{\circ}\text{Brix}^{33}$). En las gráficas (10-13) se aprecia que es posible considerar al ΔT como una función lineal de la concentración en el intervalo de 10-40 $^{\circ}\text{Brix}$. En las tablas 20-23 se dan los valores de las constantes de la ecuación $\Delta T = a \cdot b^W$ (gráficas 10,11,12,13) a cada presión de trabajo para las soluciones en estudio.

TABLA 20 VALORES DE LAS CONSTANTES DE LA ECUACION PROPUESTA $\Delta T = a \cdot b^W$ PARA LA SOLUCION DE SACAROSA

Presión (mbar)	a	b	r
191.25	0.12566113	1.0511018	0.9986335
289.53	0.12296777	1.0521237	0.999134
387.82	0.13068878	1.0518462	0.9992419
486.1	0.13271392	1.052174	0.9987405
585.05	0.14182015	1.0516062	0.9986035
684.66	0.15515636	1.0504498	0.9986195
779.62	0.1615434	1.0501768	0.9991729

W = $^{\circ}\text{Brix}$

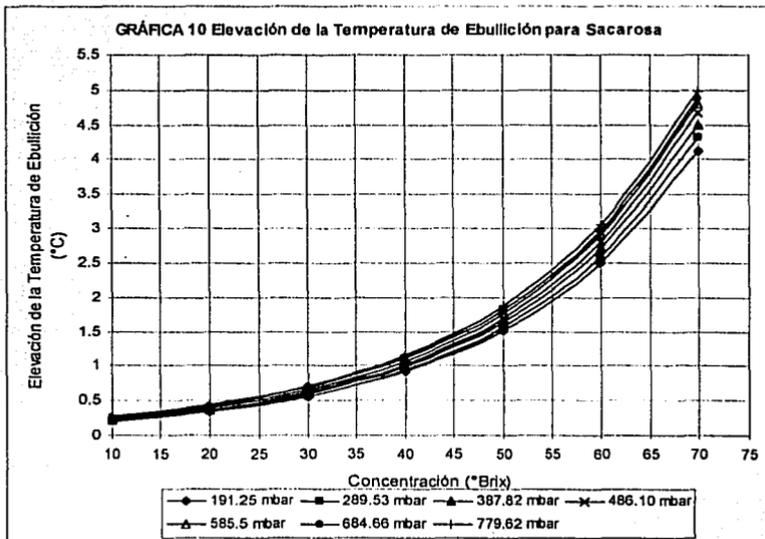


TABLA 21 VALORES DE LAS CONSTANTES DE LA ECUACIÓN PROPUESTA $\Delta T = a \cdot b \cdot W$ PARA EL JUGO DE PIÑA DE PIÑA

Presión (mbar)	a	b	r_i
191.25	0.18040993	1.0491681	0.9988861
289.53	0.19288985	1.0498159	0.9987039
387.82	0.18962448	1.051206	0.9988714
486.1	0.19447999	1.0515926	0.9985757
585.05	0.18688618	1.0528345	0.9987207
684.66	0.19035312	1.0530653	0.9982488
779.62	0.20289564	1.0525695	0.9978113

W = °Brix

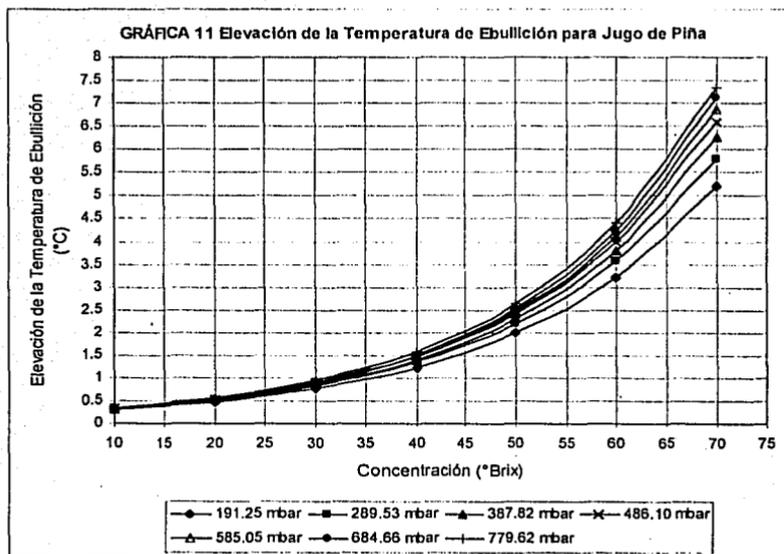


TABLA 22 VALORES DE LAS CONSTANTES DE LA ECUACIÓN PROPUESTA $\Delta T = a \cdot b^w$ PARA EL JUGO DE MANZANA

Presión (mbar)	a	b	r
191.25	0.31333708	1.0455593	0.9996062
289.53	0.37014025	1.0451395	0.9994329
387.82	0.37014025	1.044391	0.9990034
486.1	0.38047379	1.0444251	0.9992558
585.05	0.39893159	1.0440863	0.998795
684.66	0.42681358	1.0434797	0.99881
779.62	0.46983999	1.0424659	0.9981233

W = °Brix

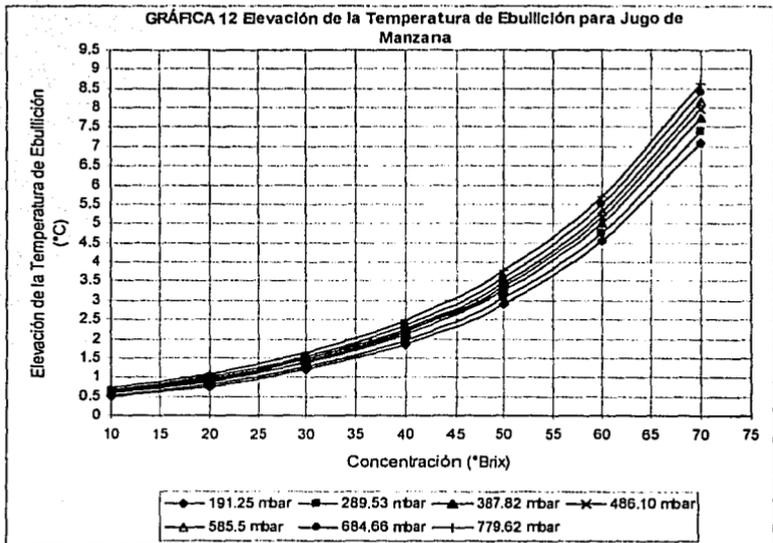
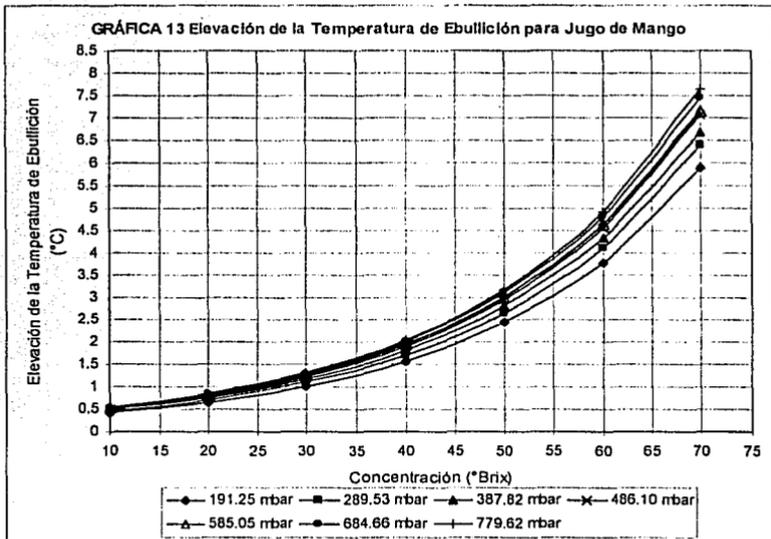


TABLA 23 VALORES DE LAS CONSTANTES DE LA ECUACIÓN PROPUESTA $\Delta T = a \cdot b^W$ PARA EL JUGO DE MANGO DE MANGO

Presión (mbar)	a	b	r
191.25	0.26602226	1.0452739	0.9981305
289.53	0.29035504	1.044998	0.9976456
387.82	0.32082794	1.0443238	0.9974553
486.1	0.32075866	1.044854	0.9975761
585.05	0.33943201	1.0444985	0.9981771
684.66	0.34712929	1.0447563	0.9982059
779.62	0.34577144	1.0452	0.9983935

W = °Brix



Las ecuaciones anteriores representan únicamente la dependencia de la elevación de la temperatura de ebullición con el contenido de sólidos solubles para una presión determinada. Para establecer la relación entre las tres variables: ΔT , W y P , es decir $\Delta T=f(W,P)$, los datos se ajustaron mediante una **regresión lineal multivariable**³⁶ (anexo 7). El resultado de esta regresión fue una ecuación para cada solución la cual tiene la siguiente forma:

$$\Delta T = \exp(\alpha + \beta W + \gamma P) \quad (36)$$

Donde,
 W = °Brix
 P = Presión (mbar)
 α, β, γ = parámetros

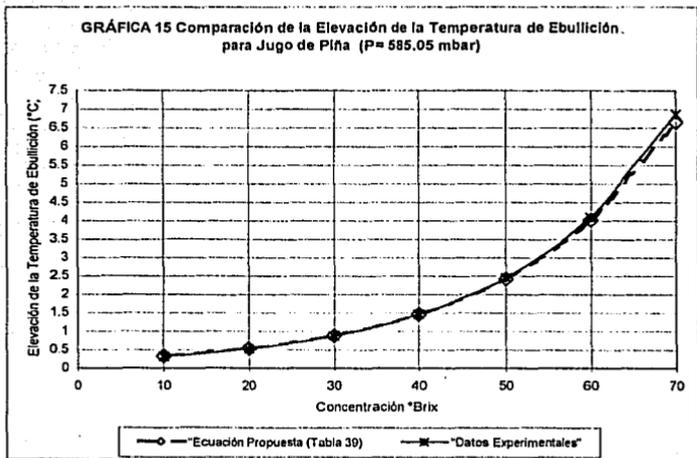
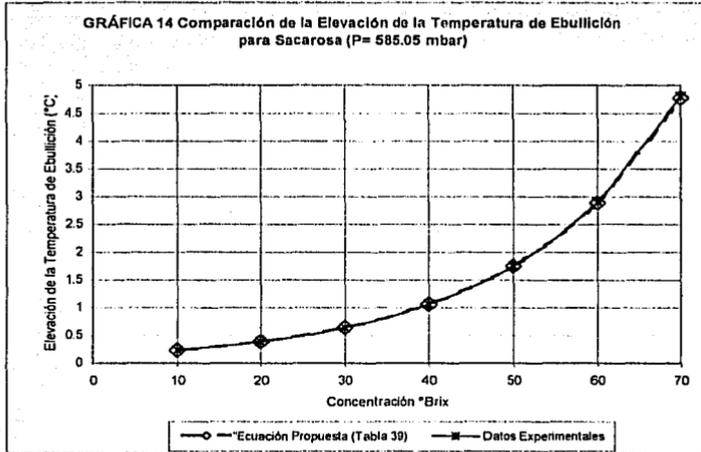
A continuación se dan los valores de los parámetros para cada solución en estudio

TABLA 24 ECUACIÓN PROPUESTA: $\Delta T = \exp(\alpha + \beta W + \gamma P)$

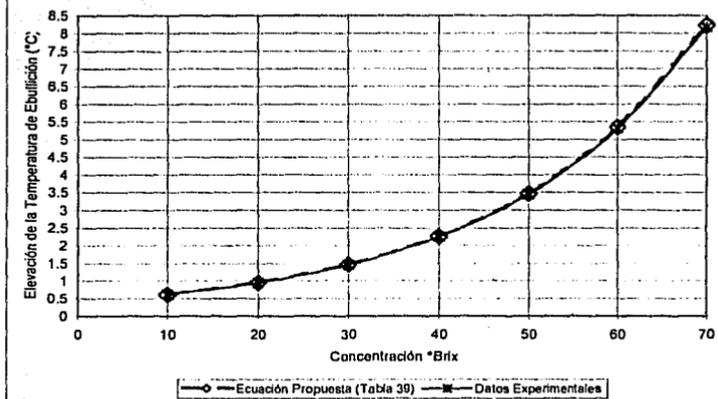
Solución	α	β	γ
Sacarosa	-2.167562069	0.05007810673	3.845266308*10 ⁻⁴
Piña	-1.85479663	0.05047300108	3.696232384*10 ⁻⁴
Manzana	-1.183010092	0.04321332791	4.562351431*10 ⁻⁴
Mango	-1.347965625	0.0438670655	4.208271097*10 ⁻⁴

NOTA: W es la concentración de sólidos solubles en °Brix y P la presión en mbar

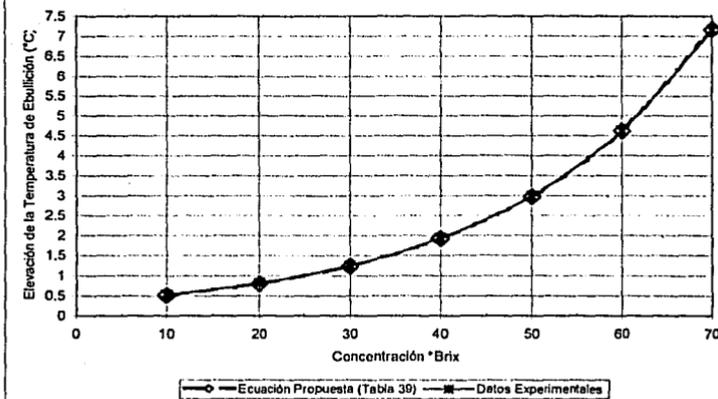
De la tabla anterior tenemos que el mayor valor del término independiente α corresponde al jugo de manzana, mientras que el menor es el correspondiente a la solución de sacarosa (α jugo de manzana > α jugo de mango > α jugo de piña > α solución de sacarosa) por lo que a las mismas condiciones de presión y concentración tenemos que el ΔT jugo de manzana > ΔT jugo de mango > ΔT jugo de piña > ΔT solución de sacarosa. Al comparar los datos obtenidos experimentalmente contra los generados con la ecuación propuesta a una presión determinada (585.05 mbar) para cada solución, se comprobó que la correlación obtenida se ajusta al comportamiento real para las soluciones un rango de concentración de 10 a 70° Brix (gráficas 14-17).



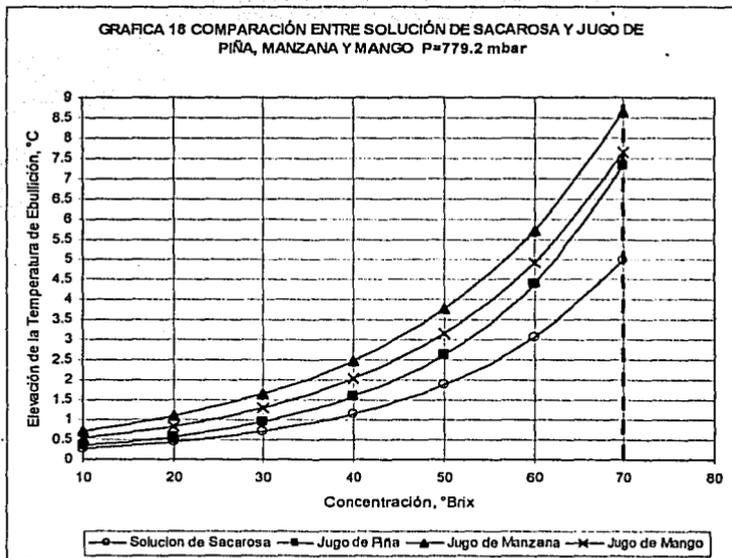
GRÁFICA 16 Comparación de la Elevación de la Temperatura de Ebullición para Jugo de Manzana (P= 585.05 mbar)



GRÁFICA 17 Comparación de la Elevación de la Temperatura de Ebullición para Jugo de Mango (P= 585.05 mbar)



Con el objetivo de analizar la posibilidad de utilizar los datos de ΔT de la solución de sacarosa en lugar de los datos correspondientes de cada jugo se hizo una comparación gráfica entre las temperaturas de ebullición de los jugos de piña, manzana, mango y la solución de sacarosa a una presión de 779.2 mbar. En la gráfica 18 se aprecia una diferencia entre las curvas, la cual se incrementa con la concentración y equivale a una diferencia en la temperatura de ebullición. Haciendo un corte a 70 °Brix obtenemos los valores de ΔT correspondientes para las cuatro soluciones: sacarosa 4.97 °C, piña 7.32 °C, mango 7.63 °C y manzana 8.64 °C (ΔT jugo de manzana > ΔT jugo de mango > ΔT jugo de piña > ΔT solución de sacarosa) y por ejemplo, la diferencia entre el ΔT de la sacarosa y del jugo de manzana es del 57.52%.



CENTRO DE INVESTIGACIONES Y SERVICIOS
 DE LA BIBLIOTECA

La diferencia entre los puntos de ebullición de los jugos y la solución de sacarosa se debe a los diferentes porcentajes de sacarosa, azúcares reducidos y ácidos orgánicos. Sin olvidar que cuando un jugo es sometido a un calentamiento, la molécula de sacarosa sufre una reacción de inversión (anexo 4) en sus dos componentes monosacáridos: glucosa y fructosa. Esta reacción se puede acelerar con un incremento en la acidez, la temperatura y la concentración. Cabe mencionar que el punto de ebullición es función de la molalidad de la solución y la hidrólisis modifica significativamente el número de moles presentes en la solución.

6.4 GRÁFICAS DE DÜHRING

Las ecuaciones anteriores son útiles para realizar cálculos por medio de una secuencia lógica, pero si lo único que se requiere es el valor de la elevación de la temperatura de ebullición de una forma sencilla se puede utilizar una gráfica muy útil: la gráfica de Dühring. La regla de Dühring establece que el punto de ebullición de una solución dada es una función lineal del punto de ebullición del agua a la misma presión.

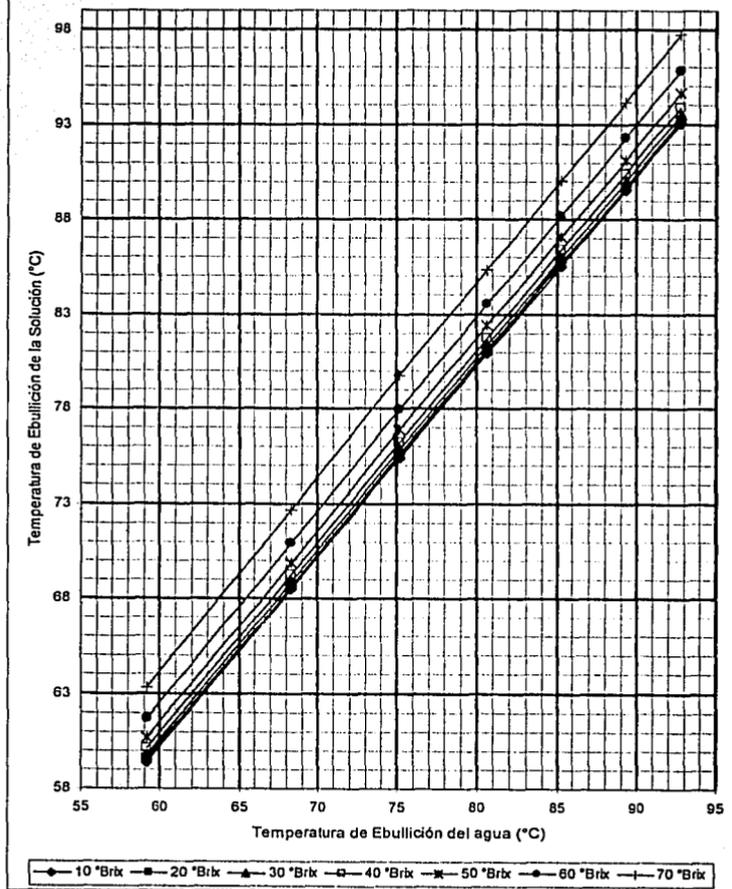
Para la construcción de las gráficas de Dühring se requirieron los valores de temperatura de ebullición de la solución y los del agua pura a las mismas condiciones de presión. Utilizando estos valores se realizó una regresión lineal donde:

$$T_{eb_{sol}} = \delta + \epsilon T_{eb_{agua}} \quad (37)$$

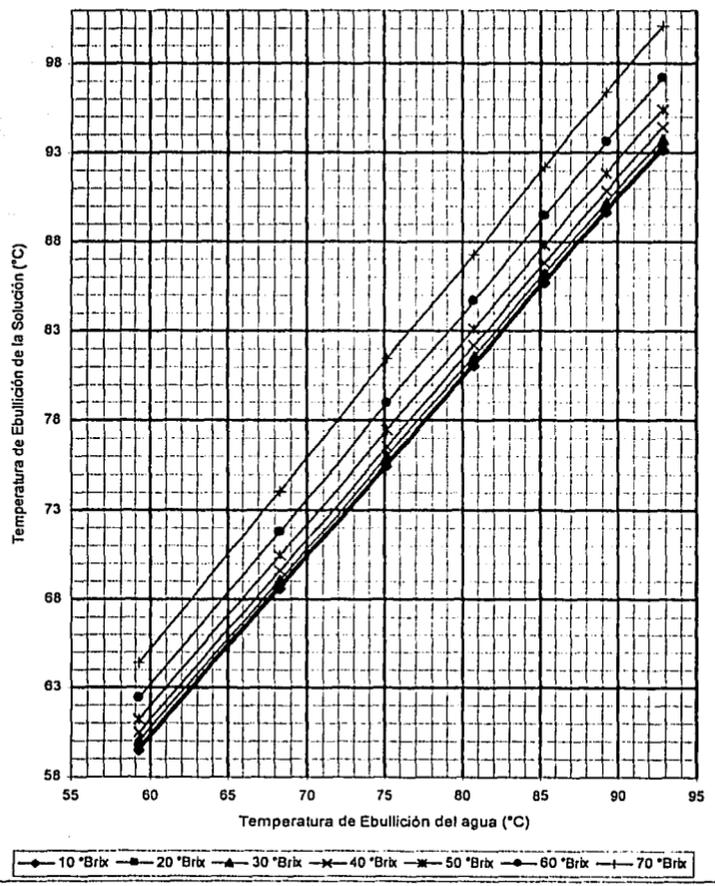
los valores de las constantes δ y ϵ se muestran en las tablas 41-44 (anexo 8).

A continuación se presentan las gráficas de Dühring (gráficas 19-22) para la solución de sacarosa y los jugos de piña, manzana y mango respectivamente. El punto de ebullición de jugo a diferente concentración se incrementa linealmente con el punto de ebullición del agua como lo establece la regla de Dühring.

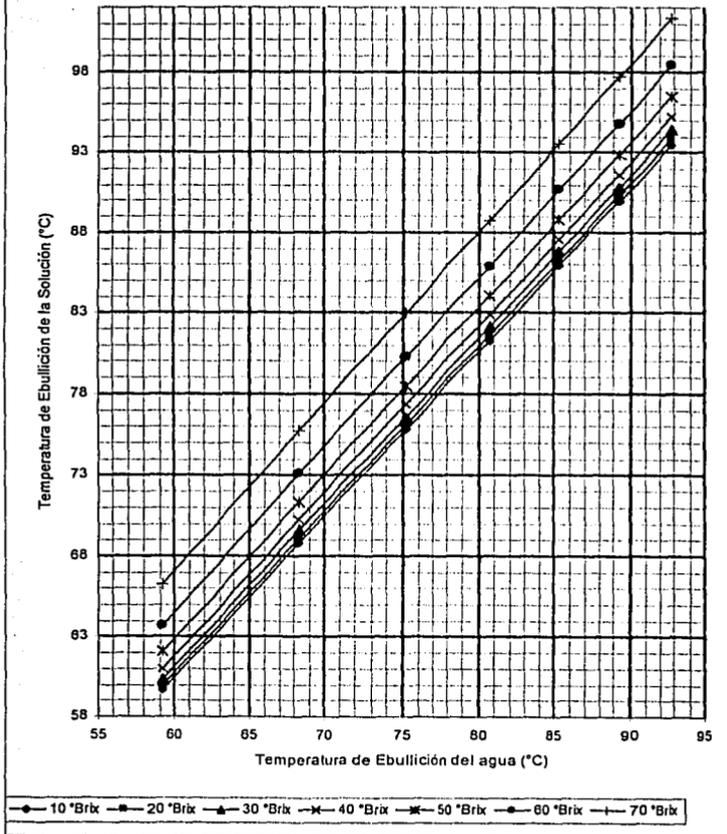
GRÁFICA 19 Gráfica de Dühring para Soluciones de Sacarosa



GRÁFICA 20 Gráfica de Dühring para Jugo de Piña

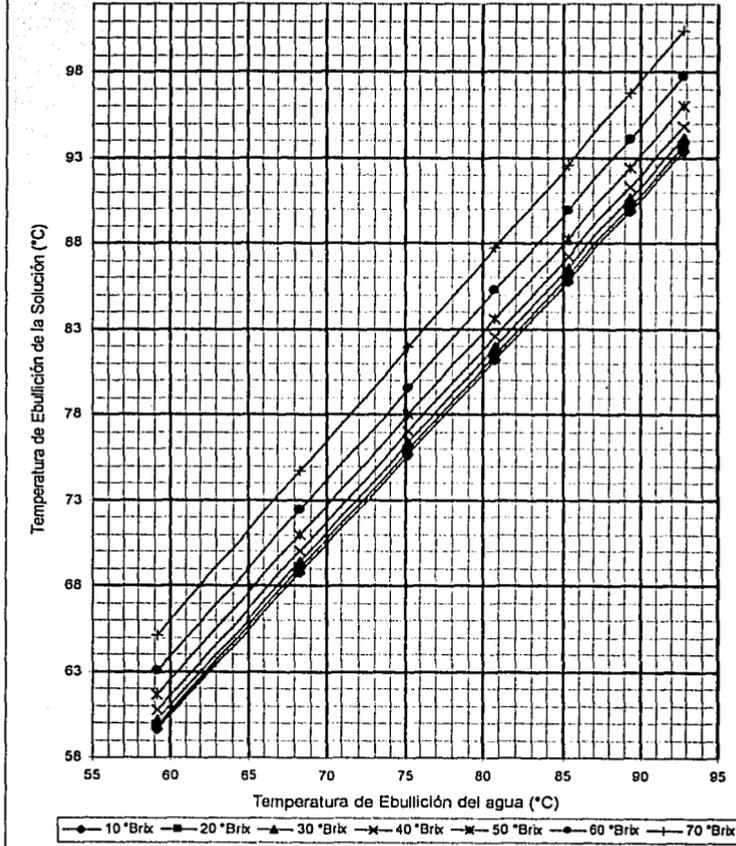


GRÁFICA 21 Gráfica de Dühring para Jugo de Manzana



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

GRÁFICA 22 Gráfica de Dühring para Jugo de Mango



6.5 PRESIÓN DE VAPOR

Para completar el estudio los datos se ajustaron a dos ecuaciones empíricas derivadas de la ecuación de Clausius-Clapeyron ¹⁶ para la predicción de la presión de vapor de las sustancias en estudio.

La primera proviene de la ecuación (23):

$$\ln P = \left(\ln P^0 + \frac{\Delta H_{m,vap}}{RT^0} \right) - \frac{\Delta H_{m,vap}}{RT}$$

cuya forma generalizada es:

$$\ln P = \delta - \frac{\epsilon}{T} \quad (38)$$

la cual tiene la forma de una línea recta una línea recta cuya pendiente será igual a ϵ y la ordenada al origen δ .

Para obtener los valores de éstos parámetros se hizo un ajuste de los datos de presión y temperatura utilizando el programa "Curve Expert 1.3 para Windows". En las tablas 25-28 están los valores de las constantes así como el coeficiente de correlación r .

TABLA 25 ECUACIÓN EMPÍRICA $\ln P = \delta - \frac{\epsilon}{T}$ PARA LA PREDICCIÓN DE LA PRESIÓN DE VAPOR DE LAS SOLUCIONES DE SACAROSA

*Brix	δ	ϵ	r
10	20.544822	5083.9874	0.9999854
20	20.536074	5083.0403	0.9999842
30	20.523634	5082.1887	0.9999825
40	20.504631	5081.2969	0.9999808
50	20.476292	5080.864	0.9999793
60	20.435163	5082.0585	0.99998
70	20.374368	5086.3474	0.9999835

TABLA 26 ECUACIÓN EMPÍRICA $\ln P^s = \delta - \frac{\epsilon}{T}$ PARA LA PREDICCIÓN DE LA PRESIÓN DE VAPOR DE JUGO DE PIÑA

°Brix	δ	ϵ	r
10	20.558231	5089.9673	0.9999925
20	20.548576	5089.539	0.9999883
30	20.527146	5086.8926	0.9999884
40	20.482999	5079.4032	0.9999887
50	20.396416	5062.096	0.9999894
60	20.233248	5026.0075	0.9999911
70	19.938045	4956.1347	0.9999934

TABLA 27 ECUACIÓN EMPÍRICA $\ln P^s = \delta - \frac{\epsilon}{T}$ PARA LA PREDICCIÓN DE LA PRESIÓN DE VAPOR DE JUGO DE MANZANA

°Brix	δ	ϵ	r
10	20.496382	5072.1545	0.9999825
20	20.471688	5068.041	0.9999804
30	20.439799	5063.8498	0.9999775
40	20.399502	5060.459	0.999974
50	20.34949	5059.4022	0.9999703
60	20.293558	5065.089	0.9999676
70	20.237465	5084.2897	0.999968

TABLA 28 ECUACIÓN EMPÍRICA $\ln P' = \delta - \frac{e}{T}$ PARA LA PREDICCIÓN DE LA PRESIÓN DE VAPOR DE JUGO DE MANGO

°Brix	δ	e	r
10	20.524084	-5080.5335	0.9999901
20	20.505303	-5077.8434	0.9999906
30	20.476785	-5073.8652	0.9999911
40	20.433449	-5067.9618	0.9999916
50	20.368179	-5059.3778	0.9999915
60	20.270241	-5046.9694	0.9999899
70	20.124871	-5029.4469	0.9999831

Los datos se ajustaron también a una ecuación empírica la cual se considera la dependencia del calor de vaporización con la temperatura. Dicha ecuación tiene la siguiente forma

$$\ln P = A - \frac{B}{T} + C \ln T^{16}$$

Esta ecuación empírica es la forma generalizada de la ecuación (29)¹⁶.

$$\ln P = A + \frac{\Delta H_{vp}}{nRT} + \frac{\Delta C_p}{R} \ln T + \frac{\Delta C_p T^2}{nRT^2}$$

donde A es una constante, $B = \Delta H_{vp}/R + \Delta C_p T^2/R$, $C = \Delta C_p/R$, las unidades de T son K y de P son mbar.

En las tablas 29-42 se dan los parámetros de la ecuación propuesta, los cuales se obtuvieron mediante el programa "Curve Expert 1.3 para Windows".

TABLA 29 ECUACIÓN EMPÍRICA $\ln P = A - \frac{B}{T} + C \ln T'$ PARA LA PREDICCIÓN DE LA PRESIÓN DE VAPOR DE LAS SOLUCIONES DE SACAROSA

*Brix	A	B	C	r
10	49.731167	6569.8671	-4.2572528	0.9999936
20	51.527647	6661.5344	-4.5202275	0.9999938
30	53.531959	6764.3115	-4.8139296	0.9999939
40	55.272533	6854.7408	-5.0697386	0.9999939
50	55.604298	6875.3581	-5.1209353	0.9999936
60	52.080055	6702.2689	-4.6113873	0.9999925
70	39.849056	6086.765	-2.8362901	0.9999885

TABLA 30 ECUACIÓN EMPÍRICA $\ln P = A - \frac{B}{T} + C \ln T'$ PARA LA PREDICCIÓN DE LA PRESIÓN DE VAPOR DEL JUGO DE PIÑA

*Brix	A	B	C	r
10	47.136305	6444.3375	-3.8761854	0.9999912
20	47.754528	6476.9315	-3.9672573	0.9999904
30	48.162395	6497.7445	-4.0290968	0.9999892
40	47.855098	6479.158	-3.9895949	0.9999878
50	45.81348	6365.1745	-3.7030382	0.9999868
60	40.189614	6053.1046	-2.905538	0.9999875
70	28.109445	5378.9686	-1.1886126	0.9999915

TABLA 31 ECUACIÓN EMPÍRICA $\ln P = A - \frac{B}{T} + C \ln T$ PARA LA PREDICCIÓN DE LA PRESIÓN DE VAPOR DEL JUGO DE MANZANA

*Brix	a	b	c	r
10	56.02698	6883.9823	-5.1812197	0.99999
20	59.438943	7057.0465	-5.6814269	0.9999888
30	63.336938	7256.2999	-6.2530143	0.9999873
40	67.341099	7464.0993	-6.8403847	0.9999856
50	70.58522	7639.1572	-7.3168023	0.9999841
60	71.372725	7699.1095	-7.4343601	0.9999835
70	66.612974	7490.5669	-6.7426584	0.9999853

TABLA 32 ECUACIÓN EMPÍRICA $\ln P = A - \frac{B}{T} + C \ln T$ PARA LA PREDICCIÓN DE LA PRESIÓN DE VAPOR DEL JUGO DE MANGO

*Brix	a	b	c	r
10	39.205461	-6032.0269	-2.724743	0.9999936
20	37.64617	-5951.4026	-2.4997954	0.9999937
30	36.026588	-5867.1247	-2.2673724	0.9999937
40	34.741846	-5799.1449	-2.0857477	0.9999935
50	34.606405	-5789.0234	-2.0745248	0.9999925
60	37.128573	-5914.7385	-2.4544157	0.9999894
70	44.852809	-6310.5276	-3.5962079	0.9999796

Los datos experimentales se ajustan a las dos ecuaciones anteriores ya que el rango de temperatura no es muy grande (del orden de varias decenas de grados).¹⁷

7. CONCLUSIONES

Fue posible determinar la temperatura de ebullición de las soluciones en estudio a las condiciones de presión y concentración de sólidos determinados utilizando el aparato experimental que se muestra en la figura 4. Con los datos obtenidos se determinó que la elevación de la temperatura de ebullición en los jugos de manzana, mango y piña depende, en términos matemáticos, exponencialmente de la concentración de sólidos solubles y de la presión. Esta relación se puede expresar de acuerdo a la ecuación $\Delta T = \exp(\alpha + \beta W + \gamma P)$

Existe una diferencia entre las propiedades fisicoquímicas de los jugos y la solución de sacarosa a las mismas condiciones de presión y concentración de sólidos solubles, lo cual se debe a que los jugos son mezclas complejas de varios compuestos orgánicos. Dicha diferencia se incrementa al aumentar los °Brix de la solución. Razón por la cual es preferible utilizar, siempre y cuando sea posible, datos experimentales del jugo.

Una forma sencilla de disponer de estos datos son las gráficas de Dühring en la cual se establece que el punto de ebullición de una solución dada es un función lineal del punto de ebullición del agua a la misma presión. Se obtuvieron para cada solución en estudio, con la única limitante que cada línea sólo es válida para un valor específico de concentración de sólidos.

La presión de vapor del jugo de manzana, mango, piña y de la solución de sacarosa puede expresarse por medio de la ecuación empírica $\ln P = \delta - \frac{\epsilon}{T}$, o bien, tomando en cuenta la dependencia del calor de vaporización con la temperatura utilizando la siguiente ecuación $\ln P = A - \frac{B}{T} + C \ln T$. Ambas ecuaciones son una excelente representación del comportamiento de la presión de vapor de las soluciones en estudio.

La solución de sacarosa y los jugos de fruta utilizados cumplen con la propiedad coligativa que establece que la temperatura de ebullición aumenta al incrementarse la cantidad de soluto disuelto en la solución.

8. REFERENCIAS

1. Alexandre Benavent, "Procesos de Elaboración de Alimentos", Universidad Politécnica de Valencia, Valencia (1996)
2. "Alimentos Enlatados. Principios de Control de Proceso Térmico, Acidificación y Evaluación del Cierre de los Envases", 5ª Edición, The Food Processors Institute, U.S.A.(1993)
3. Apellanie de la Fuente, Javier, "Criterios de Selección y Operación de un Sistema Clarificador de Jugo de Manzana por Filtración", Tesis UNAM, Ingeniería en Alimentos (1985).
4. Arthey, D., "Procesado de Frutas", Acribia, España (1996).
5. Askar, A., Treptow, H., "Quality Assurance in Tropical Fruit Processing", Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Alemania (1993).
6. Belitz, H.D. Grosch, "Química de los Alimentos", Ed. Acribia, España 1992
7. Beveridge, T., Franz, K., y Harrison, J.E., "Clarified Natural Apple Juice: Production and Storage Stability of Juice and Concentrate", J. Food Sci. 51:411 (1986)
8. Bolland, I.D. Unwin, Fruits and Nuts, first suplement to the fifth edition os McCance and Widdowson's. The Composition of foods, Ed. The Bath Press, Inglaterra, 1992
9. Braddock, R.J., Marcy, J.E., (1985). "Freeze Concentration of pineapple Juice", Journal of Food Science. 50:1636-1639
10. Brennan, J.G., "Las Operaciones de la Ingeniería de los Alimentos", 2ª Edición, Acribia, España(1980).
11. Cruess, "Commercial Fruit and Vegetable Products", 4ª Ed., McGraw-Hill Book Company, Estados Unidos de América(1966).
12. Downing, D.L., "Processed Apple Products", Avi Book, Estados Unidos de América(1989).
13. Earle, R.L., "Ingeniería de los Alimentos", 2ª Edición, Acribia, España (1988).
14. Fang, T.T. (1965). Mem. Coll. Agric. Nat. Taiwán Univ. 8 (2), 236
15. Fellow, P.J., "Food Processing Technology, Principles an Practice", Woodhead Publishing Limite, Gran Bretaña (1996)
16. Granados, F.Y; Reyes, S.G., "Sustentación del Peritaje a Jugos del Valle, S.A. de C.V.", Tesis profesional, Licenciatura, Ingeniero en Alimentos, UNAM (1997)

17. Halpern, A.M., Reeves, J.H., "Experimental Physical Chemistry, A Laboratory Textbook", Scott, Foresman and Company, Estados Unidos de América(1988).
18. Hulme, A.C., "The Biochemistry of Fruits and their Products", Segunda edición, Ed. Academic Press, Inglaterra, 1974. Tomo 2
19. Instituto Nacional de Nutrición, "Valor Nutritivo de los Alimentos", Tablas de Uso Práctico, 1976
20. Johnson, C.D.; Eitenmiller, R.R., Jones, J.B., Rao, V.N.M. y Gebhardt, S.E., "Composition of Red Delicious Apples", J. Food Sci. 49:952 (1984).
21. Lewis, M.S., "Propiedades Físicas de los Alimentos y de los Sistemas de Procesado", Acribia, España (1993).
22. Loncin, M., "Tecnía de la Ingeniería Alimentaria", Dossar, Madrid(1966).
23. Maron, S.H. "Fundamentos de Fisicoquímica", Editorial Limusa, México (1998)
24. Martín, S., Peterson, Ph.D., "Enciclopedia Food Science", The Avi Publishion Company, Inc., Estados Unidos de América
25. McCabe, W.L., "Operaciones Básicas de Ingeniería Química", 4ª Edición, McGraw-Hill, México(1993).
26. McLellan, M.R., Kime, R.W. y Lind, L.R., "Apple Juice Clarification With the Use of Honey and Pectinase", J. Food Sci. 50:206 (1985).
27. Mehrlich F.P., "Fruits and Vegetable Juice Processing Technology", Ed. AVI Pub., EUA, 1971
28. Reyes Saenz, Gisela y Granados Flores, Ytzi, "Sustentación del Peritaje a Jugos del Valle, S.A. de C.V." Tesis UNAM, Ingeniería en Alimentos (1997).
29. The Electrical Research Association, "Tablas de Vapor", Alfaomega, S.A. de C.V., México (1988).
30. Utilización de Alimentos Tropicales: Frutas y Hojas. Organización para las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO, Roma 1987
31. Valdivia, M.A., "Estudio Comparativo de Conservación de Nutrientes en Alimentos Frescos y Enlatados", Programa Universitario de Alimentos, UNAM (2001)
32. Varnam, A.H., Sutherland, J.P., "Bebidas, Tecnología, Química y Microbiología", Acribia, España(1994).

33. Varshney, N.N. y Barhate, V.D., "Effect of concentrations and vacua on boiling points of fruit juices" J. Food Sci. 51:172 (1978)
34. Velazco, M.S., "Estudio sobre la recuperación del aroma a partir de los desechos obtenidos del paseso de industrialización de la piña", Tesis profesional, Licenciatura, Ingeniero en Alimentos, UNAM (1986)
35. Ville, Claude A., "Biología", 4ª Edición, McGraw-Hill, México (1995)
36. Wonnacott, "Introducción a la Estadística", Editorial Limusa, Segunda Edición, México (1999)
37. <http://200.36.1184/manzana/tipos/tipos.htm>
38. <http://foodsci.uoguelph.ca/deicon>
39. <http://uga.edu/hortcrop/riegerindex.html>
40. http://www.cfired.org.ar/esp2/sectores/frutic/f_frutic.htm
41. <http://www.fao.org>
42. <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/morton>
43. <http://www.dairyeng.com/tech/appljuce.html>
44. <http://www.ssa.gob.mx/dir/csbs/ra7.htm>
45. www.geocities.com/CapeCanaveral/Station/6035/evaporacion/EVAPORACION-3.htm

ANEXO 1

PREPARACIÓN DE SOLUCIONES DE SACAROSA

Se utilizó la siguiente fórmula para calcular los gramos de sacarosa que se adicionaron a 100 gramos de agua destilada.

$$g_{sac} = \frac{^{\circ}Brix * g_{Agua}}{100 - ^{\circ}Brix}$$

Concentración (°Brix)	Gramos de sacarosa (g _{sac})
10	11.1111
20	25
30	42.8571
40	66.6666
50	100
60	150
70	233.3333

ANEXO 2**PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS DE JUGO**

Solución base: Jugo concentrado de 70°Brix

Los cálculos son para muestras de 100 gramos totales.

Concentración (°Brix)	Gramos de Jugo concentrado	Gramos de agua destilada
10	14.2857	85.7143
20	28.5714	71.428
30	42.8571	57.1429
40	57.1428	42.8572
50	71.4285	28.5715
60	85.7142	14.2858
70	100	0

Una vez efectuada la dilución, se verificó la concentración de sólidos solubles totales por medio de un refractómetro de Abbe.

ANEXO 3

DETERMINACIÓN DE LAS PRESIONES DE TRABAJO

En el experimento se utilizó un manómetro tipo U abierto de mercurio. Por lo cual, la presión se registró en centímetros de mercurio. Para efectos del estudio matemático se transformó a mbar.

Temperatura promedio de trabajo = 22°C

$\rho_{Hg} = 13.5409 \text{ g/cm}^3$ (a 22°C)

Se llevó a cabo la siguiente conversión para pasar de cm Hg a mbar

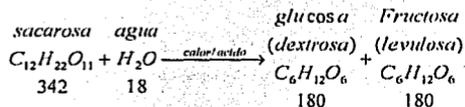
$$P(\text{mbar}) = P(\text{cmHg}) * \rho_{Hg} (\text{g/cm}^3) * (0.02204 \text{ lb/g}) * (6.452 \text{ cm}^2/\text{in}^2) * (68.95 \text{ mbar/lb/in}^2)$$

Presión (cm Hg)	Presión (mbar)
14.4	191.25
21.8	289.53
29.2	387.82
36.6	486.10
44.05	585.05
51.55	684.66
58.7	779.62

ANEXO 4

INVERSIÓN DE LA SACAROSA.

La reacción de inversión es la siguiente:



El peso molecular y fórmula de los reactivos y productos que participan en la reacción se muestran como referencia. La ecuación de arriba indica que una molécula de sacarosa reacciona con una molécula de agua para producir una molécula de fructosa y una de glucosa, la mezcla equimolar de éstos azúcares es comúnmente conocida como azúcar invertida. Esta reacción es llamada inversión debido a que mientras la sacarosa es dextrorrotatoria (esta rota el plano de luz polarizada a la derecha), el azúcar invertido es levorotatorio (rota el plano de luz polarizada a la izquierda).

Los siguientes factores afectan la inversión:

1. pH. Un bajo pH hace más rápida la inversión.
2. Temperatura. La elevación de la temperatura, acelera la inversión. Por consiguiente, la sacarosa en un brebaje a 90 °F en dos semanas va a tener una inversión mayor que un brebaje con el mismo pH a 70 °F.
3. Tiempo. La inversión procede con el tiempo; por consiguiente, la sacarosa en un brebaje viejo invierte más que un brebaje reciente.

Los efectos de la inversión son:

1. un incremento en los sólidos
2. un decremento en el volumen
3. una ganancia en su poder endulzante.

Incremento en los sólidos. Como la ecuación de arriba indica, 342 gramos de sacarosa combinados con 18 gramos de agua dan 360 gramos de azúcar invertido, por lo tanto, por cada gramo de sacarosa, obtenemos 360/342 ó 1.05263 gramos de azúcar invertido. De otra forma, hay 5.263% de ganancia en sólidos en la inversión total. El número 1.05263 es el conocido factor equivalente de sacarosa, lo cuál significa que 1.05263 libras de azúcar invertida son equivalentes a 1.0 libras de sacarosa ó, convirtiéndolo, una libra de azúcar invertido es equivalente a $1/1.05263$ ó 0.95 libras de sacarosa. Los °Brix invertidos de brebajes formulados con sacarosa pueden calcularse multiplicando los °Brix del brebaje por el factor equivalente de sacarosa. Por ejemplo:

°Brix del brebaje fresco:	11.00
°Brix invertidos: 11×1.05263	11.58

A partir de que los componentes no sacáridos del brebaje no invierten, para resultados exactos, su contribución de sólidos totales puede ser sustraída antes de multiplicar por el factor. En el ejemplo anterior, asumiendo que los componentes no azucarados contribuyen con el 0.3% de los sólidos, el cálculo (°Brix invertidos) puede ser hecho como se muestra a continuación:

$$[(11.00 - 0.3) \cdot 1.05263] + 0.3 = 11.56$$

la diferencia entre 11.58 y 11.56 no es significativa en este caso en particular. Sin embargo, en el caso de jugos, el error debido a asumir que los sólidos no azucarados son sacarosa puede ser grande.

Decremento en el volumen. Para la ecuación de inversión de sacarosa mostrada, el agua es usada en la reacción. Esto propicia que el volumen decremente y esto es generalmente llamado "la disminución debido a la inversión". Esta disminución puede ser calculada como se muestra en el ejemplo siguiente para una solución de sacarosa de 50 °Brix:

1. A partir de las tablas de sacarosa: 1000 galones de una solución de sacarosa de 54 °Brix pesan $10.439 \text{ lb/gal} \times 1000 \text{ gal} = 10,439 \text{ lb}$.

2. Sobre el total de la inversión: los Brix verdaderos de la solución son $54.000 \times 1.05263 = 56.842$.
3. A partir de las tablas de azúcar invertida: obtenemos que un azúcar invertido de 56.842° Brix pesa 10.543 lb/gal .
4. De esta forma, dividido el peso total de la solución por el peso por galón, el volumen en galones de la solución es:
 $10.439 \text{ lb} + 10.543 \text{ lb/gal} = 990.14 \text{ galones}$
5. La disminución es por lo tanto:
 $1000 - 990.14 = 9.86 \text{ galones}$

Cuando estos cálculos se repiten para soluciones de sacarosa de altas y bajas concentraciones, los resultados se muestran en la tabla siguiente.

DISMINUCIÓN DE LAS SOLUCIONES DE SACAROSA EN LA INVERSIÓN TOTAL.

Brix de sacarosa	Disminución / 1000 gal, gal
10.00	2.06
20.00	4.08
40.00	7.83
50.00	9.45
54.00	9.86
60.00	10.66
65.00	11.09
77.00	11.98

La reducción en el volumen puede notarse, de cualquier modo, que las reducciones de volumen anteriores son máximas; que es, en caso de ocurrir una inversión total de la sacarosa. En la práctica, la sacarosa rara vez se invierte en su totalidad.

ANEXO 5

TERMODINÁMICA DE LA EVAPORACIÓN^{BARBOSA-CANOVAS}

La evaporación del jugo de fruta implica un cambio de fase cuando el agua de éste se convierte en vapor. Conforme se lleva a cabo la evaporación, las temperaturas de ebullición aumentan debido a que aumenta la concentración del jugo. Esta elevación de temperatura reduce la caída de temperatura disponible si se asume que la fuente de calor permanece constante, así mismo la razón de transferencia de calor disminuirá.

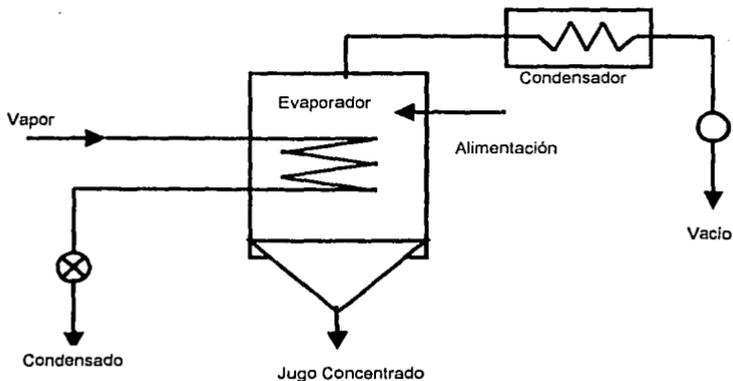
- **Cambio de Fase.** El calor latente de vaporización del jugo puede describirse como una función de la presión por medio de la ecuación de Clausius-Clapeyron:

$$\ln(P) = \frac{\lambda}{\lambda^o} \ln(P^o) + C \ln(P^o) + C'$$

donde

- P^o = presión de vapor del agua pura
- λ^o = calor latente de vaporización del agua pura
- P = presión de vapor del jugo
- λ = calor latente de vaporización del agua en el jugo
- C = constante

DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE UN EVAPORADOR



- **Balace de Masa y Calor Durante la Evaporación.** El balance de masa de un evaporador simple como el mostrado en el diagrama anterior conduce al siguiente balance global de masa:

$$F = V + P$$

donde

F = alimentación

P = producto

V = vapor

El balance de materia en el líquido es:

$$X_F F = X_P P$$

donde

X_F = la fracción de sólidos en la alimentación

X_P = la fracción de sólidos en el producto

El balance entálpico del evaporador mostrado en el diagrama esquemático es:

$$F c_{pF} (T_F - 0) + w_s H_s = V H_v + P c_{pP} (T_P - 0) + w_c H_c$$

donde

c_{pF} = calor específico de la alimentación

c_{pP} = calor específico del producto

T_F = temperatura de la alimentación

T_P = temperatura del producto en el evaporador

w_s = vapor suministrado

H_s = entalpia del vapor

H_c = entalpia del condensado

H_v = entalpia del gas

Se utilizó una temperatura base de 0°C para obtener los valores de entalpía de las tablas de vapor estándar. La cantidad de calor requerida para enfriar el condensado por debajo de su temperatura de condensación por lo general es pequeña y se desprecia en la mayoría de los cálculos, así mismo las pérdidas de calor de las superficies del cuerpo del evaporador. La transferencia de calor del medio de calentamiento al producto se describe como:

$$q = UA(T_s - T_p)$$

donde

U = coeficiente global de transferencia

T_s = temperatura del vapor

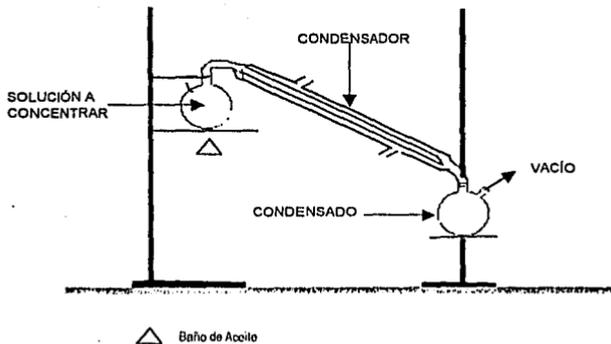
T_p = temperatura del producto

El calor requerido para ser transferido del vapor al producto para llevar a cabo la evaporación es:

$$q = w_s H_s - w_p H_c$$

ANEXO 6

ESQUEMA DEL EVAPORADOR A VACÍO A NIVEL LABORATORIO UTILIZADO PARA CONCENTRAR EL JUGO DE FRUTA



ANEXO 7

REGRESIÓN LINEAL MULTIVARIABLE

Para llevar a cabo la regresión lineal de los datos de elevación de temperatura, concentración de sólidos solubles (°Brix) y presión se realizó lo siguiente:

- 1) Para linealizar los datos se obtuvieron los valores de $\ln \Delta T$
- 2) Se resolvió el siguiente sistema de ecuaciones para cada solución en estudio para obtener el valor numérico de α , β y γ :

$$\sum \Delta T = \alpha + \beta \sum W + \gamma \sum P \quad (i)$$

$$\sum \Delta TW = \alpha \sum W + \beta \sum W^2 + \gamma \sum WP \quad (ii)$$

$$\sum \Delta TP = \alpha \sum P + \beta \sum WP + \gamma \sum P^2 \quad (iii)$$

los valores de las sumatorias para cada solución en estudio se muestran a continuación:

	Sacarosa	Piña	Manzana	Mango
$\sum \Delta T$	1.105129121	16.85284254	37.60189502	29.95668948
$\sum W$	1960	1960	1960	1960
$\sum W^2$	98,000	98,000	98,000	98,000
$\sum P$	23828.21	23828.21	23828.21	23828.21
$\sum P^2$	13481663.36	13481663.36	13481663.36	13481663.36
$\sum \Delta TP$	1025.736057	1663.384523	2351.057028	2058.062063
$\sum \Delta TW$	1265.800165	8895.525075	19149.64581	15364.78738
$\sum WP$	953128.4	953128.4	953128.4	953128.4

- 3) Una vez obtenidos éstos valores se sustituyeron en la siguiente ecuación:

$$\ln \Delta T = \alpha + \beta W + \gamma P \quad (iii)$$

y para obtener la ecuación (36) se aplicó la función *exp* en ambos lados de la ecuación.

ANEXO 8

TABLAS

TABLA 33 TEMPERATURA DE EBULLICIÓN PROMEDIO (°C) PARA SOLUCIONES DE SACAROSA

	Presión (mbar)						
°Brix	191.25	289.53	387.82	486.1	585.1	684.66	779.62
10	59.3	68.4333	75.35	80.85	85.45	89.45	93
20	59.5	68.6	75.5	81.05	85.7	89.7	93.2
30	59.7	68.8	75.8	81.4	86	90.05	93.575
40	60.25	69.35	76.3	81.8333	86.5	90.55	94.05
50	60.7	69.85	76.8	82.3	87	91.05	94.6
60	61.716	70.9	77.9	83.45	88.1	92.2	95.8
70	63.3	72.6	79.7	85.4	90.15	94.2	97.8

TABLA 34 TEMPERATURA DE EBULLICIÓN PROMEDIO (°C) PARA JUGO DE PIÑA

	Presión (mbar)						
°Brix	191.25	289.53	387.82	486.1	585.1	684.66	779.62
10	59.35	68.46	75.4	80.9	85.55	89.55	93.05
20	59.6	68.7	75.7	81.2	85.8	89.8	93.43
30	60.05	69.25	76.2	81.7	86.3	90.33	93.9
40	60.4	69.75	76.7	82.3	86.9	91	94.55
50	61.1833	70.45	77.43	83.1	87.77	91.8	95.4
60	62.5	71.85	78.9	84.5	89.2	93.3	96.9
70	64.35	74.1	81.5	87.35	92.25	96.5	100.25

TABLA 35 TEMPERATURA DE EBULLICIÓN PROMEDIO (°C) PARA JUGO DE MANZANA

°Brix	Presión (mbar)						
	191.25	289.53	387.82	486.1	585.1	684.66	779.62
10	59.55	68.65	75.55	81.1	85.7	89.7	93.2
20	60.0	69.1	76	81.55	86.15	90.2	93.7
30	60.45	69.55	76.6	82.15	86.75	90.9	94.5
40	61.1	70.25	77.3	82.85	87.63	91.65	95.3
50	62.1	71.45	78.45	84.05	88.7	92.9	96.63
60	63.7	73.1	80.38	86	90.8	94.95	98.7
70	66.3	75.65	82.85	88.6	93.375	97.6	101.3

TABLA 36 TEMPERATURA DE EBULLICIÓN PROMEDIO (°C) PARA JUGO DE MANGO

°Brix	Presión (mbar)						
	191.25	289.53	387.82	486.1	585.1	684.66	779.62
10	59.45	68.55	75.45	80.95	85.55	89.55	93.05
20	59.7	68.85	75.8	81.3	86	90	93.5
30	60.15	69.3	76.3	81.8	86.5	90.55	94.1
40	60.8	70	77.05	82.6	87.3	91.4	94.9
50	61.7	71.05	78.15	83.75	88.4	92.5	96.05
60	63.15	72.55	79.7	85.3	90.05	94.2	97.8
70	65	74.5	81.75	87.5	92.35	96.65	100.35

TABLA 37 $\Delta T(^{\circ}\text{C})$ PARA LAS SOLUCIONES DE SACAROSA

°Brix	Presión (mbar)						
	191.25	289.53	387.82	486.1	585.05	684.66	779.62
10	0.1	0.1333	0.15	0.15	0.15	0.15	0.2
20	0.3	0.3	0.3	0.35	0.4	0.4	0.4
30	0.5	0.5	0.6	0.7	0.7	0.75	0.775
40	1.05	1.05	1.1	1.1333	1.2	1.25	1.25
50	1.5	1.55	1.6	1.6	1.7	1.75	1.8
60	2.516	2.6	2.7	2.75	2.8	2.9	3
70	4.1	4.3	4.5	4.7	4.85	4.9	5

TABLA 38 $\Delta T(^{\circ}\text{C})$ PARA JUGO DE PIÑA

°Brix	Presión (mbar)						
	191.25	289.53	387.82	486.1	585.05	684.66	779.62
10	0.15	0.16	0.2	0.2	0.25	0.25	0.25
20	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.63
30	0.85	0.95	1	1	1	1.03	1.1
40	1.2	1.45	1.5	1.6	1.6	1.7	1.75
50	1.9833	2.15	2.23	2.4	2.45	2.5	2.6
60	3.3	3.55	3.7	3.8	3.9	4	4.1
70	5.15	5.8	6.3	6.65	6.95	7.2	7.45

TABLA 39 $\Delta T(^{\circ}\text{C})$ PARA JUGO DE MANZANA

°Brix	Presión (mbar)						
	191.25	289.53	387.82	486.1	585.05	684.66	779.62
10	0.35	0.35	0.35	0.4	0.4	0.4	0.4
20	0.8	0.8	0.8	0.85	0.85	0.9	0.9
30	1.25	1.25	1.4	1.45	1.45	1.6	1.7
40	1.9	1.95	2.1	2.15	2.33	2.35	2.5
50	2.9	3.15	3.25	3.35	3.4	3.6	3.83
60	4.5	4.8	5.18	5.3	5.5	5.65	5.9
70	7.1	7.35	7.65	7.9	8.075	8.3	8.5

TABLA 40 $\Delta T(^{\circ}\text{C})$ PARA JUGO DE MANGO

°Brix	Presión (mbar)						
	191.25	289.53	387.82	486.1	585.05	684.66	779.62
10	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
20	0.5	0.55	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7
30	0.95	1	1.1	1.1	1.2	1.25	1.3
40	1.6	1.7	1.85	1.9	2	2.1	2.1
50	2.5	2.75	2.95	3.05	3.1	3.2	3.25
60	3.95	4.25	4.5	4.6	4.75	4.9	5
70	5.8	6.2	6.55	6.8	7.05	7.35	7.55

TABLA 41 ECUACIONES GRÁFICA DE DÜHRING PARA SOLUCIONES DE SACAROSA (GRÁFICA 19)

$$Teb_{sol} = \delta + \epsilon Teb_{agua}$$

°Brix	δ	ϵ	r
10	0.0911309	1.0017477	0.9999997
20	0.16025069	1.0027558	0.9999994
30	0.28066526	1.0043369	0.999999
40	0.48969568	1.0068129	0.9999984
50	0.85167312	1.0106788	0.999998
60	1.476926	1.016699	0.9999983
70	2.5542554	1.0260489	0.9999988

TABLA 42 ECUACIONES GRÁFICA DE DÜHRING PARA JUGO DE PIÑA (GRÁFICA 20)

$$Teb_{sol} = \delta + \epsilon Teb_{agua}$$

°Brix	δ	ϵ	r
10	0.23719827	1.0009977	0.9999998
20	0.34566727	1.0022372	0.9999996
30	0.49535869	1.0046629	0.9999993
40	0.69427571	1.0092915	0.9999989
50	0.94354235	1.0179591	0.9999986
60	1.2251553	1.0339567	0.9999987
70	1.4767487	1.0631454	0.9999992

TABLA 43 ECUACIONES GRÁFICA DE DÜHRING PARA JUGO DE MANZANA (GRAFICA 21)

$$Teb_{sol} = \delta + \epsilon Teb_{agua}$$

*Brix	δ	ϵ	r
10	0.11013909	1.006136	0.9999988
20	0.22427412	1.0087538	0.9999979
30	0.42967591	1.0124093	0.9999966
40	0.79189807	1.0174577	0.9999948
50	1.419959	1.0243442	0.9999928
60	2.4956844	1.0335792	0.9999914
70	4.3196508	1.0456911	0.9999922

TABLA 44 ECUACIONES GRÁFICA DE DÜHRING PARA JUGO DE MANGO (GRÁFICA 22)

$$Teb_{sol} = \delta + \epsilon Teb_{agua}$$

*Brix	δ	ϵ	r
10	0.19735394	1.0037982	0.9999998
20	0.30905562	1.0058502	0.9999997
30	0.48395759	1.0090101	0.9999995
40	0.75780688	1.013876	0.9999993
50	1.1865616	1.0213682	0.999999
60	1.8578165	1.0329034	0.9999979
70	2.9086818	1.0506624	0.9999926