



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**

**ESTUDIO DEL PROCESO DE DESHIDRATACION
OSMOTICA DE FRESA (*Fragaria vesca*)**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO EN ALIMENTOS
P R E S E N T A N :
SANDRA CHAVARRIA TORRES
ROBERTO A. VELAZQUEZ SANCHEZ

ASESORES:

M. EN C. MA. ELENA VARGAS UGALDE
I.A. ANA MA. DE LA CRUZ JAVIER

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEXICO.

1997

**FESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

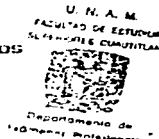
El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MÉXICO

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

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS



DR. JAIME KELLER TORRES
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLÁN
P R E S E N T E .

AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la F.E.S. - C.

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

Estudio del Proceso de Deshidratación Osmótica de Fresa (Fragaria vesca).

que presenta la pasante: Chavarría Torres Sandra
con número de cuentas: 9256450-5 para obtener el TÍTULO de:
Ingeniería en Alimentos ; en colaboración con :
Velázquez Sánchez Roberto Alejandro

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

A T E N T A M E N T E .

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 7 de Febrero de 1997.

PRESIDENTE	<u>Dr. Alberto Tezanto Coronel</u>	
VOCAL	<u>Ma. Elena Vargas Ugarte</u>	
SECRETARIO	<u>L. Q. Oscar Germán Ibarra</u>	
PRIMER SUPLENTE	<u>Dr. José Luis Arfona Román</u>	
SEGUNDO SUPLENTE	<u>L.B.Q. Ma. de la Luz Zambrano Zambrano</u>	



ESTADOS UNIDOS MEXICANOS
 INSTITUTO NACIONAL
 AUTÓNOMO DE ESTUDIOS
 PROFESIONALES

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

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

D. N. A. M.
 INSTITUTO DE ESTUDIOS
 PROFESIONALES CUAUTITLÁN



Departamento de
 Exámenes Profesionales

ATN: Ing. Rafael Rodríguez Cubillo
 Jefe del Departamento de Exámenes
 Profesionales de la F.E.S. - C.

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

Estudio del Proceso de Deshidratación Osmótica de Zorra
 (Francia vesca).

que presenta el pasante Roberto Alejandro Velázquez Sánchez
 con número de cuenta: #B39927-6 para obtener el TÍTULO de:
Ingeniero en Alimentos : en colaboración con :
Sandra Chavarría Torres

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

A T E N T A M E N T E .
 "POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
 Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 7 de Septiembre de 1997

PRESIDENTE Dr. Alberto Tecante Coronel
 VOCAL M. en C. M. Elena Vargas Domínguez
 SECRETARIO L. Q. Oscar Carrón Ibarra
 PRIMER SUPLENTE Dr. José Luis Aragón Rosón
 SEGUNDO SUPLENTE I. B. Q. Ma. de la Luz Zambrano

AGRADECIMIENTOS

✧ Agradezco al SEÑOR, por permitirme llegar hasta aquí y por permitirme terminar mi carrera que con altas y bajas hay llega a su fin, mil gracias

✧ Agradezco a mi PAPA, mi MAMA y mis HERMANAS por su apoyo, su paciencia, su cariño y comprensión en este largo camino que estoy por terminar, empezando nuevos en los cuales espero seguir contando con ustedes Gracias por ser mis guías, mis amigos, por creer en mi. Los quiero mucho

✧ Agradezco a toda mi FAMILIA ABUELITOS, TIOS y TIAS, PRIMOS y PRIMAS por el apoyo que me dieron, por las ausencias que se dieron por los trabajos y las tareas de la escuela de las cuales el esfuerzo hoy parece dar frutos

✧ Agradezco también a mis SERES QUERIDOS AUSENTES, que se que aunque no están conmigo en este momento tan especial para mi en persona su recuerdo es el que vive, por el ejemplo que me legaron de lucha y perseverancia y que creyeron en mi siempre. Gracias.

SANDY.

AGRADECIMIENTOS

- *A mi madre , por su ejemplo, amor y apoyo en todo momento. Esto no hubiera sido posible sin ti.*

- *A mi abuela, Sergia q.e.p.d. por protegerme, cuidarme y consentirme.*

- *A Lucy, por su apoyo, comprensión y amor en todo momento.*

- **A mis abuelos Irene Neri q.e.p.d. y Eliú Monroy C. y mis tíos, Eliú y Zaira, y Erich mi segundo padre, por aceptarme como parte de su familia.**

- **A mis tíos Montserrat y Rodolfo**

- **A mis primos Pabel y Julio**

- **A mi familia Menez Robles**

Gracias a :

Mariano, Ruben, Veronica Toache, Oscar, Luz, Hilda , Paty, Aleida, Areli , Malena, Karl, Gymeel, Jennyfer, Jorge, Sucel y Juan q.e.p.d

gracias por ser tan buenos amigos.

RECONOCIMIENTOS

• *Agradecemos a nuestra asesora M. en C. Ma. Elena Vargas Ugalde por la gran disposición que tuvo para con nosotros de ayuda y enseñanza. Por ser paciente con nosotros ante las informalidades que se llegaron a presentar y los regaños que aunque no fueron tan directos nos hicieron esforzarnos al máximo.*

• *Gracias a quienes nos dieron parte de su tiempo para la realización de este trabajo: M. en C. Ma. de la Luz Zambrano, I.A. Ana Ma. De la Cruz Javier, I.A. María Eugenia Ramírez O., I.A. Patricia Muñoz, Lic. Mariano Pantoja F., C. Eliú Monroy Neri, P.I.A. Aleida Hernandez Ortiz, y P.I.A. Lucía Carrillo Castulo.*

Sandra y Roberto

INDICE

Resumen	1
Objetivos	2
Introducción	3
Capítulo I. Marco de Referencia	
1 Generalidades sobre Fresa	5
1.1 Historia	5
1.2 Clasificación	6
1.3 Composición Química	9
1.4 Variedades cultivadas en Mexico	10
1.5 Producción a nivel Nacional	12
2 Deshidratación	16
2.1 Proceso de deshidratación osmótica	18
2.1.1 Alternativas de elaboración	18
2.1.2 Definición de Deshidratación osmótica	23
3 Variables y Parámetros que influyen en la deshidratación osmótica	26
3.1. Propiedades de los materiales alimenticios	27
4. Acoplamiento entre la deshidratación osmótica y el secado	29
5. Métodos de medición físicos y sensoriales en alimentos	31
5.1. Color	31
5.1.1 Importancia del color en los alimentos	32
5.1.2 Medidas del color	32
5.1.3 Color en fresas	33
5.2. Textura	36
5.2.1. Evaluación de la textura	36

5.2.2. Medición de la textura en fresas.....	36
5.3 Sólidos solubles	37
6 Azúcares	37
6.1 D(+)-Glucosa	39
6.2 Sacarosa	41
7 Ley de Fick para la difusión molecular	42
8 Principios de escalamento	44

Capítulo 2. Metodología

2.1 Cuadro metodológico	46
2.2 Diagrama de proceso	49
2.3 Variables	50
2.4 Desarrollo Experimental	51
2.5 Diseño Experimental	52

Capítulo 3. Resultados

Act preliminar 1 Sólidos solubles en la fresa natural y comercial.....	63
Act preliminar 2. Contenido de humedad en la fresa natural y comercial.....	63
Act preliminar 3. Selección del tipo de azúcar a emplear, y relación en la que se utilizó	64
Act preliminar 4 Estudio del proceso de deshidratación osmótica de fresa y sus alternativas.....	64
Actividad 1. Determinación de las condiciones de deshidratación osmótica	64

Cálculo de los coeficientes de difusión a partir de las cinéticas de absorción de azúcar y de secado aplicando la 2ª ley de Fick.....		65
a.	Absorción de azúcar	65
b.	Secado osmótico	67
c.	Coeficiente de difusión	67
Actividad 2	Características de calidad	69
Determinación de una ecuación de predicción del tiempo de elaboración.....		71

Capítulo 4. Escalamiento del tanque de deshidratación osmótica de fresa

4 1	Elección de la base de cálculo	72
4 2	Dimensionamiento del tanque de cristalización	72
4 3	Determinación del espesor de un cuerpo elíptico	74
4 3 1.	Determinación del calor requerido para la deshidratación osmótica de fresas.....	75

Conclusiones.....78

Bibliografía.....79

Anexos

Anexo I	Equipo de medición de color.....	83
Anexo II	Equipo de medición de textura.....	84
Anexo III	Propiedades de los jarabes.....	86
Anexo IV	Obtención del coeficiente de difusión.....	87
Anexo V	Nomenclatura.....	89

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diversas formas de fresa	7
Figura 2 Fenómeno de transferencia de soluto-agua en la deshidratación osmótica a nivel microscópico	24
Figura 3 Núcleo favilio	34
Figura 4 Penetrómetro de aguja mostrando superficie del alimento s. cono C, mordaza CI y el indicador D	37
Figura 5 Difusión molecular	43
Figura 6 Forma seleccionada del tanque de deshidratación osmótica	73
Figura 7 Colorímetro y procesador de datos Minolta	83
Figura 8 Indicador de un diamante Mitutoyo No 2052F con base magnética	84
Figura 9 Penetrómetro Humboldt	85

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Composición de la fresa.....	10
Cuadro 2. Principales variedades de fresa producidas por estado (SARH, 1986).....	11
Cuadro 3. Exportación de fresa (SARH, 1996).....	16
Cuadro 4. Concentración de jarabe seleccionadas.....	53
Cuadro 5. Contenido de sólidos solubles en fresa natural.....	63
Cuadro 6.1. Difusividades de fresa a diferentes temperaturas y concentraciones para un tamaño de 1 cm ³	68
Cuadro 6.2. Difusividades de fresa a diferentes temperaturas y concentraciones para una fresa entera.....	68
Cuadro 6.3. Contenido de humedad.....	69
Cuadro 6.4. Luminosidad en fresa.....	69
Cuadro 6.5. Penetrabilidad en fresa.....	70
Cuadro 6.6. Comparación del análisis microbiológico entre la fresa deshidratada osmóticamente y la mermelada de fresa.....	70
Cuadro 7. Especificaciones del equipo de deshidratación osmótica de fresa.....	77

INDICE DE GRAFICAS

Gráfica 1.1 Producción nacional de fresa en 1991 (SARH)	12
Gráfica 1.2 Producción nacional de fresa en 1992 (SARH)	13
Gráfica 1.3 Producción nacional de fresa en 1993 (SARH)	13
Gráfica 1.4 Producción nacional de fresa en 1994 (SARH)	14
Gráfica 1.5 Evolución de la producción de fresa 1980-1994 (SARH) 15	
Gráfica 2.1 Comportamiento de la concentración 40% Glucosa- 60% Sacarosa a diferentes temperaturas	65
Gráfica 2.2 Comportamiento de la concentración 30% Glucosa- 70% Sacarosa a diferentes temperaturas	66
Gráfica 2.3 Comportamiento de la concentración 20% Glucosa- 70% Sacarosa a diferentes temperaturas	66
Gráfica 2.4 Cinética de secado	67
Gráfica 3. Difusión en estado no estacionario para cilindro, esfera y placa	88

ESTUDIO DEL PROCESO DE DESHIDRATACION OSMOTICA DE FRESA
(*Fragaria vesca*)

R E S U M E N

Se estudió el proceso de deshidratación osmótica en fresa (*Fragaria vesca*) reduciendo el tiempo requerido de elaboración tomando como base el coeficiente de difusión. Se variaron los siguientes parámetros: concentración de jarabe (glucosa-sacarosa), temperatura y tamaño de partícula. Se efectuó la deshidratación osmótica, se determinaron los sólidos solubles y se calcularon los valores de difusividad mediante la segunda ley de Fick para esfera.

Se encontró que las condiciones adecuadas fueron: una concentración de jarabe de 20%Glucosa y 70%Sacarosa a una temperatura de 40°C.

Se obtuvo un producto con 86°Bx, se encontraron coeficientes de difusión del orden de 10^{-6} m²/s, el tiempo de elaboración se redujo de 36 hrs. a 12 hrs. aproximadamente.

OBJETIVOS

Objetivo General

Estudiar el proceso de deshidratación osmótica de fresa con el fin de disminuir el tiempo de elaboración de fruta cristalizada mediante la utilización de los coeficientes de Difusión, obteniendo una ecuación de predicción de dicho tiempo

Objetivos Particulares

1. Estudiar las variables involucradas en la deshidratación osmótica de fresa para determinar las condiciones de operación con las cuales se requiere menor tiempo de proceso.
2. Calcular los coeficientes de difusión a partir de las cinéticas de absorción de azúcares y de secado aplicando la segunda ley de Fick, para determinar el tiempo requerido para alcanzar el equilibrio en el proceso.
3. Obtener una ecuación de predicción para el tiempo de proceso en función de la temperatura y la concentración de azúcar.
4. Plantear el escalamiento del equipo principal de proceso a partir de la relación existente con los coeficientes de difusión y los números adimensionales como una alternativa en la producción de fresa cristalizada

INTRODUCCION

México es un gran productor de fresa, teniendo como principal representante al Estado de Guanajuato. Su consumo es generalmente al natural pero por ser un fruto muy perecedero y tener pérdidas significativas, se destina una gran parte a la Industria de la Transformación (mermelada, jalea, fresa congelada y cristalizada).

Esta última no se consume en grandes cantidades, por los costos de producción debido al tiempo empleado en su procesamiento (Ryall and Pentzer, 1982).

La deshidratación osmótica es un proceso de remoción de agua utilizado en alimentos, ya sea frutos o vegetales, que se sumergen en una solución hipertónica, dicha solución tiene una alta presión osmótica y una baja actividad de agua (a_w) en la cual existe una división de fuerzas entre la solución y el agua contenida en el alimento, la deshidratación osmótica es un proceso simultáneo de difusión de agua y soluto (Lerichi, 1985, Rastogi, 1995).

En general la deshidratación osmótica se usa para alargar la vida de anaquel de algunos frutos y vegetales por medio de la deshidratación parcial. Después, pueden someterse a otros procesos como refrigerado, secado, secado a vacío o secado por aire (Hawkes, 1978; Dixon, 1977; Nanjundaswamy, 1977, Alzamora, 1993).

En nuestro país esta actividad se realiza en forma artesanal por lo que sus propias deficiencias incrementan el tiempo de elaboración y costos. Mientras el tiempo de procesos es más largo, se observa que la solución se difunde en

forma inversa provocando que no se alcance el contenido de azúcar deseado (Ponting,1973).

Por ello es importante el estudio del proceso ya que se pretende disminuir esas deficiencias conociendo las condiciones directamente involucradas (tipo y concentración de azúcar, temperatura y tiempo de cristalizado) para un mejor aprovechamiento de la materia prima alargando su vida de anaquel. Sabiendo que en el extranjero estos productos tienen una gran aceptación podremos aumentar su mercado no solo nacional sino también al exterior (Palou,1993,González,1993).

Determinando las condiciones involucradas y auxiliándose con la ecuación de la segunda Ley de Fick podremos conocer los coeficientes de difusión y de esta forma predecir los tiempos de producción (Palou,1993)

CAPITULO 1

MARCO DE REFERENCIA

1. GENERALIDADES SOBRE FRESA

Botánicamente las frutas son aquellas partes de las plantas que almacenan las semillas. La diferencia entre frutas y hortalizas fue hecha sobre la base de su uso. Las clases de planta que generalmente se comen durante el curso de la comida principal son consideradas como hortalizas. Las que comúnmente se comen como postre son consideradas como frutas.

Las frutas, productos para postres, son los ovarios maduros de las plantas con sus semillas. La porción comestible de la mayoría de las frutas es la parte carnosa del pericarpio o los conductos que cubren y envuelven a la semilla. Las frutas son generalmente ácidas y azucaradas. Se agrupan según diversas clasificaciones, las cuales dependen principalmente de su estructura botánica, su composición y las condiciones climáticas (Potter, 1973).

La fresa es un fruto carnoso de color rojo, succulento y fragante, de la familia de las Rosáceas, género y especie *Fragaria vesca*; este nombre se deriva del latín *fraga* que significa frambuesa (Badui, 1988; SECOFI, 1987).

1.1. Historia

La fresa se cultiva desde tiempos de los romanos y posiblemente desde los griegos (Darrow, 1974), en ese entonces la fruta no se consideraba un cultivo importante, sin embargo, es muy difícil saber sobre este rubro ya que no hay

información registrada. Las fresas silvestres se han podido desarrollar en cualquier parte del mundo, en diferentes climas y condiciones. Aproximadamente por el año 1300 se practicó el cultivo de fresas en Europa. En Francia se sembraron como plantas de ornato (Sistrunk y Morris, 1985).

A principios de 1700 se realizó un progreso significativo, estableciendo la fundación de nuevos cultivos. La fresa silvestre *Fragaria chionis*, fue llevada de Francia a Chile y se hibridó con la fresa silvestre americana *Fragaria virginiana* (Darrow, 1974). Duchesne fue el primero en identificar las primeras variedades híbridas como *Fragaria ananassa*. Este y otros cultivos híbridos se extendieron por el mundo desde principios de 1800. Esto se ha debido a la buena aceptación de las diferentes variedades de fresa. En la actualidad es una de las frutas más conocidas y consumidas en todo el mundo.

1.2. Clasificación

Debido a la gran variedad y diversidad de frutales, es conveniente agruparlos según su clasificación botánica, naturaleza del cultivo y sus frutas.

A. Clasificación Botánica

Esta clasificación involucra diversas familias y géneros. A continuación se hará mención de las frutas más comunes entre ellas la FRESA.

Familia	Género o especie	Nombre común
Anacardiaceae	<i>Anacardium occidentale</i>	mango
Astaceae	<i>Citrus limón</i>	limón
Bromeliaceae	<i>Ananas comosus</i>	piña
Guttifera	<i>Mammea americana</i>	mamey
ROSACEAS	<i>Prunus pérsica</i>	durazno
	<i>Fragaria spp</i>	FRESA

Las plantas de fresa son rosáceas, con tallos rastreros, nudosos y con espolones; sus hojas son pecioladas, vellosas y blancas por el envés, divididas en tres segmentos aonados, y con dientes gruesos en el margen; sus flores son pendunculáreas blancas o amarillentas, solitarias o en corâmbulos poco nutridos, el fruto puede ser casi redondo o algo punteado. En la actualidad existe una gran cantidad de variedades cuyas cualidades han sido ya demostradas y que reúnen los requisitos de mercadeo y de procesamiento imprescindibles para dichos fines, las variedades pueden ser de forma ovoídea, globular, cónica, cónica globular, cónica longitudinal, como se muestra en la figura 1.

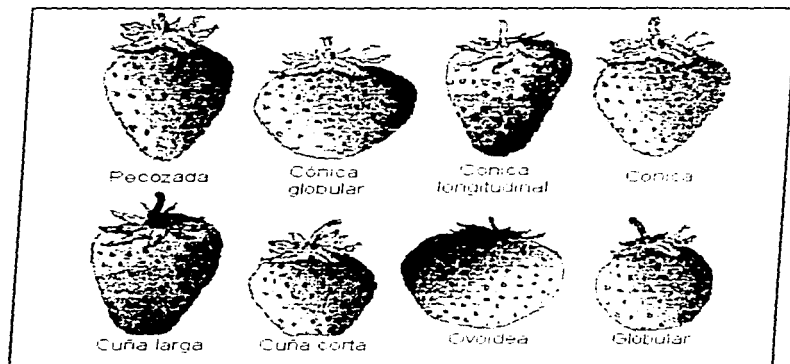


Figura 1. Diversas formas de la fresa

B. Clasificación por la naturaleza de cultivos frutales

En la práctica, las plantas frutales se agrupan según sus ciclos y hábitos de crecimiento, así pues se tiene (SEP, 1983):

a. Hábitos de crecimiento

<i>HERBACEOS</i>	plátano, piña, <i>FRESA</i>
Enredaderas	vid
Arbustos	guayaba, mora
Arboles grandes	aguacate, mango
Arboles pequeños	cítricos, manzano, coco

b. Tiempo de transporte y primera cosecha

<i>ANUALES</i>	<i>FRESA</i> , mora
Bianuales	piña, plátano
Perennes	la mayoría de los frutales

C. Clasificación de acuerdo a la naturaleza de los frutos

El fruto de las plantas está constituido por uno o más ovarios maduros, incluyendo partes de la flor que se fusionan y maduran con él. Clasificándose morfológicamente en (SEP, 1983):

a. Sencillos son derivados de una flor, la cual cuenta con un solo pistilo simple o compuesto.

- Secos
 - 1) Cápsulas castaña
 - 2) nueces avellana
 Se aprovecha de ellos la semilla

- Carnosos
 - 3) Bayas aguacate
 - 4) Falsas bayas plátano
 - 5) Drupas durazno
 - 6) Pomos manzano

Se aprovecha de ellos los tejidos como la pared del ovario y el receptáculo.

b. Agregados son derivados de una flor con varios pistilos de tipo simple o de tipo accesorio

- 7) Agregados simples anonáceas
 8) Agregados accesorios FRESA, mora

c. Múltiples formados por la inflorescencia. Cada flor madura en un fruto infero. A su vez, éstos se fusionan formando una masa conjunta y carnosa, por ejemplo piña (SEP, 1983)

1.3. Composición Química

Aparte de su buen sabor, las frutas son importantes por su contenido en carbohidratos, proteínas, grasas, minerales y vitaminas esenciales

La composición de las hortalizas y frutas no sólo varía de acuerdo con las variedades botánicas, las prácticas de cultivo y el estado atmosférico sino que cambia con el grado de madurez antes de la cosecha y la condición de madurez posterior, progresiva después de la cosecha, la cual es fuertemente influenciada por las condiciones de almacenaje. Así pues la composición química de la FRESA se muestra a continuación (Potter, 1973; Hulme, 1974).

COMPOSICION QUIMICA DE LA FRESA

(% de Composición-Porción comestible)

Carbohidratos	Proteínas	Grasa	Ceniza	Agua
83	0.8	0.5	0.5	89.9

Dentro de esta composición existe la presencia más específica de otros componentes, tales como

COMPONENTES	%(P/P)	COMPONENTES	%(P/P)
sólidos solubles	7.8	vit. ácido ascórbico	89
sólidos insolubles	2.4	tiamina	0.03*
sólidos totales	10.2	riboflavina	0.0027-0.007*
Pectina mínimo	0.13	ác. nicotínico	0.06*
Pectina máximo	0.90	caroteno	0.03-0.064*
Pectina promedio	0.54	Min. P	23.0*
Azúcares reductores	4.13	K	161*
sacarosa	0.87	Na	1.5*
azúcares totales	5.00	Ca	22.0*
pH	3.26	Mg	11.7*
ácido cítrico	0.92	Fe	0.71*
ácido málico	0.09	Cu	0.13*
Nitrogeno total	148**	S	13.4*
Taninos	0.11-0.15		

Referencia: Huilme, 1974

*(mg/100g) ** (mgN/100g)

Cuadro 1. Composición de la fresa

1.4. Variedades cultivadas en México

En los dos principales Estados productores de fresa en México, prevalecen las variedades que se muestran en el Cuadro 2. Las características principales de las variedades de fresa se mencionan a continuación (Scoot, 1974, SARI I, 1986).

Estado	Región	Variedad
Guanajuato	Irapuato	Tioga, Fresno Aliso, Solana
Michoacán	Zamora	Tioga Fresno

*Cuadro 2. Principales variedades de fresa producidas por Estado
SARH, 1986*

a)Tioga

Las plantas de esta variedad son vigorosas, proporcionando con ello una fruta grande en forma cónico-longitudinal de color rojo muy brillante, superior en tamaño a la del fresno, su sabor y aroma son de buena calidad.

Por otra parte, el fruto es de los más firmes, con una gran tolerancia a la manipulación, almacenaje y transporte. También soporta cierto grado de salinidad en los suelos y no es muy exigente en cuanto a fertilización.

b)Solana.

Se adapta a suelos salinos, tiene gran fertilidad, sus frutos son muy grandes y puede alcanzar de 40 a 45 gramos de peso, es de forma irregular y de color rojo brillante, su carne es rosada, compacta, perfumada y resistente al transporte.

c)Fresno

Se caracteriza por ser de fruto grande, de carne compacta y de sabor acidulado fragante, las bayas son cónico-longitudinales, suficientemente firme y de buen sabor, su corteza es de un rojo encendido lo que las hace atractivas. Tolera la salinidad, cuando esta no se presenta en exceso, es muy susceptible al

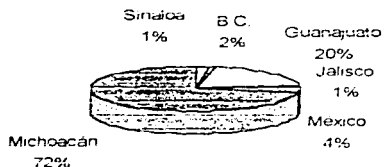
marchitamiento letal, pero es resistente al ataque de virus, además el tallo del fruto es muy frágil

d) Aliso

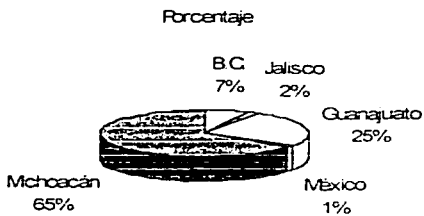
Es una nueva variedad, planta vigorosa con fruto de color rojo oscuro, menos grande que la variedad tioga su forma es semicónica de buen sabor y muy productiva.

1.5. Producción a nivel nacional

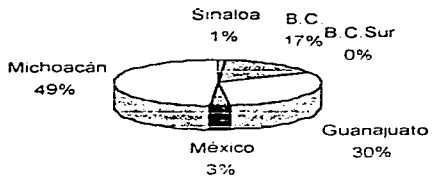
La producción nacional de fresa se concentra en la región de Zamora, Michoacán, como consecuencia de un desplazamiento durante los 70', cuando la mayor producción se centraba en la zona de Irapuato, Guanajuato Michoacán produce la mayor parte de la fresa mexicana con 39,445 toneladas, le sigue en importancia Baja California con 20,015 toneladas mientras que los Estados de Baja California Sur, Jalisco, México, Morelos, Oaxaca y Zacatecas sólo aportan 2,995 toneladas de la producción anual. Las Gráficas 1.1, 1.2, 1.3 y 1.4 muestran el porcentaje de producción de los últimos años



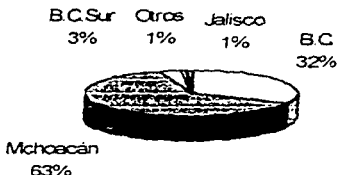
Gráfica 1.1. Producción Nacional de fresa en 1991 (SARFI)



Gráfica 1.2. Producción Nacional de fresa en 1992 (SARH)



Gráfica 1.3. Producción Nacional de fresa en 1993 (SARH)



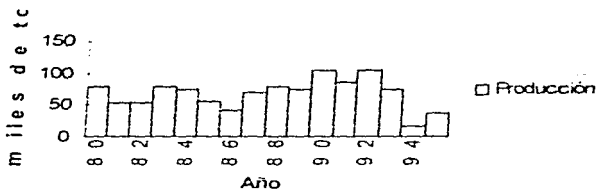
Gráfica 1.4. Producción Nacional de fresa en 1994 (SARFI)

La temporada de producción de fresa se inicia a mediados de Octubre terminando a finales de Junio, con producciones máximas en los meses de Marzo y Abril. En la zona de Irapuato se logran producciones durante casi todo el año a diferencia de Zamora, en donde su producción termina a finales de Junio en temporada de lluvias.

1.5.1. Balanza comercial

La balanza comercial favorece a México en sus diferentes presentaciones, siendo la fresa congelada la que se encuentra fuertemente orientada a la exportación. Sin embargo, a partir de 1987 se ha incrementado notoriamente la exportación de fresas frescas debido a la liberación del permiso de cultivo (SARH-BANCOMEXT, 1990).

En la Gráfica 1.5, se muestra el gran incremento que se llegó a tener en la producción de fresa de 1990-1992, para Abril de 1994 se observa una buena producción de fresa



Gráfica 1.5 Evolución de la producción de fresa 1980-1994 (SARI)

1.5.2. Comercio Internacional de fresa

La fresa se comercializa como producto fresco, congelado (con o sin azúcar) y procesado (mermelada, jugos, jaleas, confitados). Los intercambios se realizan principalmente a nivel internacional, es decir, como comercio entre países de Norteamérica y entre los países Europeos. La principal excepción a esta regla es Polonia quien constituye el segundo proveedor de fresas a los Estados Unidos.

España e Italia son los proveedores de Europa, México y Polonia abastecen a los Estados Unidos quien a su vez exportan a Canadá, Japón y

países del lejano oriente. Nueva Zelanda, Chile e Israel son países con producciones pequeñas que exportan a Europa, Norteamérica y Japón (SARII-DANCOMEXT, 1990)

El siguiente cuadro muestra que la mayor cantidad de fresa exportada es en estado fresco, aunque el 1989 se incrementó la exportación de fresa congelada. En el presente año la producción en ambos casos a aumentado en forma considerable.

ANO	CONGELADA	FRESCA
1987	41,115,957	
1988	1,636,857	17,431,012
1989	8,396,597	5,486,012
1990	3,625,391	6,175,282
1993	2,657,000	8,596,000
1994	3,308,300	7,734,173
1995	15,400,000	12,200,000
1996 (HASTA JUNIO)	5,300,000	10,220,000

Cuadro 3. Exportación de fresa (SARII, 1996)

2. DESHIDRATACION

Por deshidratación de alimentos queremos decir la eliminación casi completa del agua que contienen éstos, bajo condiciones de control que producirán sólo un mínimo de cambio o, idealmente, ningún cambio, en las propiedades del alimento. La humedad final de estos alimentos deshidratados es del 10 al 12%, según el producto. Uno de los principales criterios por los que se juzga la calidad de los alimentos deshidratados exige que, cuando se les reconstituye mediante la adición de agua, sean muy parecidos o casi

indistinguibles del material alimenticio original que se empleó en su elaboración. En la deshidratación de los alimentos, el desafío tecnológico es especialmente grande, ya que los niveles muy bajos de humedad requeridos para la estabilidad máxima del producto no se obtiene fácilmente con un mínimo de cambio en los materiales alimenticios. Además, estos resultados óptimos se logran muchas veces sólo aumentando el costo del proceso de deshidratación.

Cualquiera que sea el método de secado empleado, la deshidratación de un alimento consta de dos etapas:

- 1) la introducción de calor al producto
- 2) la extracción de humedad del producto

Estas dos etapas no siempre son favorecidas por las mismas condiciones de operación.

Por transferencia de masa queremos decir transferencia de agua. Al deshidratar alimentos procuramos obtener la velocidad máxima en el secado, de manera que hacemos todos los esfuerzos posibles a fin de acelerar las velocidades de transmisión de calor y transferencia de masa. Las siguientes variables son importantes (Potter, 1973):

- Temperatura
- Velocidad del aire
- Humedad
- Presión atmosférica y de vacío
- Evaporación y Temperatura
- Tiempo y temperatura.

2.1. Proceso de deshidratación osmótica

La deshidratación osmótica es una técnica útil para la concentración de frutas y vegetales, ya sea en forma entera o bien en piezas, en presencia de una solución azucarada o salada de alta presión osmótica. Ocurren dos flujos simultáneos o a contracorriente. Flujo de agua fuera del alimento hacia la solución y una simultánea transferencia de soluto de la solución hasta el alimento, debido al gradiente de agua y del soluto para cruzar las células de la membrana. Estas membranas celulares, permiten libremente el paso de las moléculas de soluto. Este tipo de membranas pueden ser consideradas como membranas semipermeables.

Algunos jarabes osmóticos pueden no ir hasta la célula pero sí penetrar hasta los espacios intercelulares debido a la permeabilidad y selectividad de los tejidos estructurales, madurez y tipo de almacenamiento, exposición al calor y algún pretratamiento químico (Torreguiani, 1993).

2.1.1. Alternativas de Elaboración

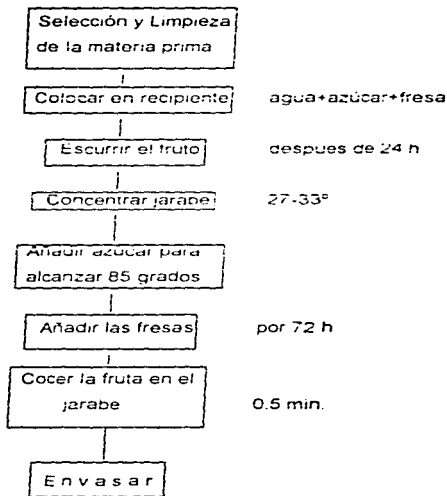
En la actualidad debido a la gran demanda que existe de los productos deshidratados por este medio, muchos de los artesanos del país que se dedican a esta actividad se han visto en la necesidad de tener que adecuar tecnología para tener que cubrir tal demanda que no solo se ha acrecentado en el país sino también en el extranjero. Por ello se han considerado principalmente dos alternativas de elaboración de la fresa cristalizada (como comúnmente se conoce) dependiendo de los recursos con los que se cuenten para su producción. Estas alternativas son citadas a continuación.

a) Elaboración Artesanal

Debido a que la fresa es un fruto delicado es necesario que se encuentre en un estado de madurez fisiológica antes de procesarlo. Con agua a 5°C se lavan para desprender la tierra que tuviesen adherida y quitarles el pedúnculo y el cáliz.

Las fresas se colocan en una vasija de cobre o acero inoxidable en capas, por cada 5 kilogramos de fresa se emplean 2.5 kilos de azúcar. Se pone primero

una capa de azúcar seguida de una de fresa hasta cubrir dos terceras partes del recipiente. Se agregará un cuarto de litro de agua por cada 5 kg de fresa y 2.5 kg de azúcar y a fuego muy lento, moviendo la vasija, se irá fundiendo el azúcar. Durante unos minutos, sin que se llegue el conjunto a cocer, se tendrá así hasta que al tacto se noten que están blandas. El jarabe que se obtiene tendrá 21 °Drix, de no ser así, añadirse más azúcar para conseguir dicha graduación. Al día siguiente se escurre el fruto y se agrega azúcar para concentrar el jarabe a 27-33 grados, añadiendo si se desea colorante orgánico rojo. Este almibar, a la temperatura de 85°C, se añade a la fresa. Al tercer día se dará una pequeña cocción de medio minuto al jarabe con el fruto, dejando posteriormente que se enfríe para que por último sean envasadas (Lancera, 1978).



*Diagrama de Bloques para Fresa Cristalizada
Elaborada artesanalmente*

Referencia: Lancera, 1978

b) Elaboración a nivel industrial

Primeramente habrá que hacer la selección de la materia prima la cual deberá de cumplir con ciertas características de apariencia para seguir el proceso, tales características pueden ser madurez, color, firmeza, estado físico en el cual llegan. Posteriormente se llevarán a limpieza para retirar toda materia ajena a ella así como quitarles el pedúnculo y el cáliz.

Seguido a ello las fresas serán sometidas a un escaldado a una temperatura de entre 75-100°C con adición de carbonato de calcio para evitar que se rompa la estructura de la fruta. Una vez concluidas estas operaciones, la fresa esta lista para ser sometida a la deshidratación osmótica en donde la fruta se sumerge en una solución osmótica, la cual puede estar compuesta por uno o varios tipos de azúcares, a una temperatura de 20-50°C en un tiempo que va de 15 a 240 minutos con agitación moderada para evitar daños al fruto. Una vez llevado a cabo esto, el fruto se somete a un escurrido para retirar el exceso de solución osmótica para poder secarlo y culminar la deshidratación. De aquí en adelante el producto puede ser envasado y conducido a la venta o bien someterse a otro tipo de operaciones, según le convenga al productor (Torreguiani, 1993).

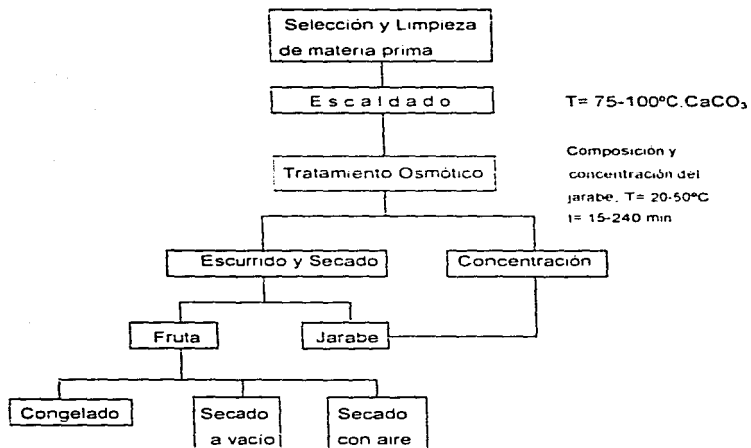


Diagrama de bloques para fruta cristalizada a nivel Industrial

2.1.2. Definición de Deshidratación Osmótica

En años recientes, la deshidratación osmótica de frutas es utilizada como una alternativa en un paso intermedio o como un pretratamiento tecnológico. A recibido mucha atención en el campo de los procesos de preservación de frutas como una propuesta para reducir el consumo de energía y mejorar la calidad de productos frutícolas.

La deshidratación osmótica de frutas está basada en el principio natural de la actividad de la pared celular como una membrana semipermeable.

La cantidad y periodo del intercambio de agua dentro de los tejidos de frutas por la solución de azúcar durante la deshidratación osmótica depende de muchas variables, como son la concentración de jarabe, la temperatura de la solución, naturaleza de los frutos, geometría, tiempo de contacto, etc. Por lo que la deshidratación osmótica consiste en el flujo de un solvente desde una solución diluida, colocada dentro de una membrana semipermeable hacia una solución más concentrada que rodea la membrana. El agua se difunde a través de la membrana, de la solución diluida hacia la solución concentrada hasta que se alcanza una concentración de equilibrio. El soluto es incapaz de difundirse a través de la membrana en la dirección inversa, o lo hace muy lentamente, de manera que el principal resultado de este proceso es la transferencia de agua a la solución concentrada.

Los trozos de fruta se pueden considerar como soluciones diluidas rodeadas por una membrana semipermeable, dado que contiene azúcares, ácidos orgánicos y otros solutos de bajo peso molecular en pequeñas proporciones, disueltos en grandes cantidades de agua y su estructura celular actúa aproximadamente como membrana semipermeable. Esto hace posible el que se pueda lograr una deshidratación parcial de trozos de fruta, simplemente

por inmersión en una solución adecuada de suficiente concentración de azúcar (Rastogi, 1995).

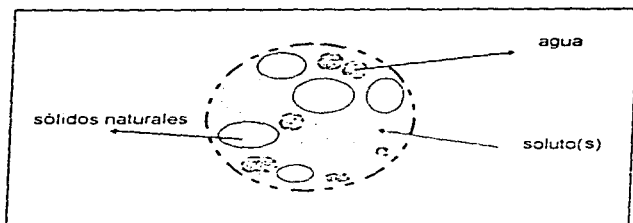


Figura 2. Fenómeno de Transferencia de soluto-agua en la deshidratación osmótica a nivel microscópico

2.1.2.1. Agentes Osmóticos

La adición de agentes osmóticos, es uno de los métodos más antiguos para reducir al mínimo la oxidación, fue utilizada mucho antes de que se conocieran las causas de como se llevaba a cabo esta reacción. El jarabe reduce al mínimo la oxidación cubriendo la fruta y previene de este modo el contacto con el oxígeno atmosférico. El jarabe también ofrece una cierta protección contra las pérdidas de ésteres volátiles de las frutas y contribuye al mismo tiempo a endulzar las frutas ácidas. Actualmente es común el disolver ácido ascórbico y ácido cítrico en el jarabe para un mayor efecto o agregar el jarabe después de un tratamiento con sulfito, que no es muy recomendable por la FDA.

La deshidratación con soluciones osmóticas puede presentar ciertas ventajas sobre el proceso sin tratamiento osmótico. Entre otras, se pueden mencionar las siguientes ventajas:

- minimizar daños por color
- mejorar el color, el sabor y textura del fruto
- se da un menor tiempo de secado
- proporciona mayor tiempo de vida de anaquel del producto

***Propiedades que deben tener los azúcares**

- Bajo peso molecular
- Miscibilidad o alta solubilidad en agua
- Ausencia de toxicidad en el hombre
- Actividad bacteriostática y micostica
- Compatibilidad con las características fisicoquímicas del alimento
- Compatibilidad con las características sensoriales del alimento
- No debe tener un sabor desagradable
- Alto valor nutricional
- Acción sinérgica con otros agentes
- Bajo costo
- Capacidad de disminuir la actividad de agua, la cual afecta la fuerza impulsora responsable de la transferencia de masa.
- Ser inócuos y estar permitidos como aditivos alimentarios.
- Poseer una difusividad reducida en el tejido vegetal la que, dentro de lo admisible garantice su mínima incorporación al producto
- Tener una estabilidad suficiente para que sea posible reconcentrar la solución

***Composición de la Solución Osmótica**

Las numerosas posibilidades de combinación de solutos en la solución osmótica se toman en cuenta para su optimización en términos de:

- máxima eliminación de agua
- mínima ganancia de soluto
- máxima calidad sensorial
- mínimo costo del soluto

De acuerdo a un estudio realizado por Chinfe J. et al (1980) sobre la predicción de la actividad de agua (a_w) en soluciones acuosas no electrolíticas, encontraron que para obtener una actividad de agua de 0.85 a 25°C se requirió en forma individual una concentración de 58.0% en peso para el jarabe de glucosa en tanto que para sacarosa una concentración de 67.0% en peso. La moléculas de azúcar más pequeñas tienen mayor capacidad para disminuir la actividad de agua que las moléculas de azúcares más grandes en la misma proporción de peso. De esta manera se espera que la glucosa sea un mejor depresor de la actividad acuosa que la sacarosa y además la glucosa es menos dulce que la sacarosa (Acea 1988).

3. VARIABLES Y PARAMETROS QUE INFLUYEN EN LA CRISTALIZACION

Tanto la cantidad como la velocidad de remoción de agua dependen de diversas variables y parámetros de proceso. A continuación se hace mención de ellos (Zazueta, 1994):

- Naturaleza y composición de la fruta
- Concentración de la solución osmótica
- Composición de la solución osmótica
- Tiempo de inmersión
- Temperatura
- Relación solución: alimento
- Área superficial del alimento
- Presencia o ausencia de agitación

3.1. Propiedades de los materiales alimenticios

*Encogimiento, endurecimiento de la cubierta

Aun cuando las células están muertas retienen grados variables de elasticidad se extienden o se encogen bajo tensión. Uno de los cambios más obvios durante la deshidratación de los alimentos, tanto celulares como no celulares es el encogimiento.

Si se tuviera un material perfectamente elástico bajo presión de turgencia y se le quitara la humedad uniformemente a través de todo su volumen el material se encogería de una manera pareja y lineal a medida que perdiera su humedad. Este encogimiento uniforme se ve rara vez en los materiales alimenticios que se están deshidratando porque las piezas de alimento generalmente no tienen elasticidad perfecta, y por que el agua no se elimina uniformemente a través de la pieza de alimento a medida que se seca. Los diferentes materiales alimenticios exhiben diferentes patrones de encogimiento en el curso de la deshidratación.

Una condición relacionada con el encogimiento y sellado de la superficie de una pieza de alimento se conoce como endurecimiento de la cubierta. Esto puede suceder cuando hay una temperatura muy alta en la superficie y la pieza se seca de manera desigual, de suerte que se forma rápidamente una piel seca, antes de que la mayor parte de la humedad del interior haya podido escapar hacia la superficie. Esta piel, que es bastante impermeable, luego aprisiona gran parte del agua restante dentro de la partícula y la velocidad de secado disminuye notablemente.

El endurecimiento de la cubierta es más común en algunos alimentos que en otros; es especialmente común en aquellos alimentos que contienen azúcares disueltos y otros solutos muy concentrados. El agua capilar lleva azúcares, sales

y otros materiales en solución a la superficie de las piezas de alimento durante la deshidratación. Luego, en la superficie, el agua se evapora y los solutos quedan depositados. A esto se debe la exudación pegajosa y azucarada en la superficie de algunas frutas en las primeras etapas de secado. Los efectos combinados del encogimiento y de la obstrucción de los poros debido al depósito de solutos contribuyen al endurecimiento de la cubierta. Cuando este endurecimiento constituye un problema, puede reducirse mediante temperaturas bajas a la superficie a fin de propiciar el secado más uniforme de toda la pieza del fruto (Potter, 1973).

*Cambios fisicoquímicos

Una amplia gama de cambios químicos tienen lugar durante la deshidratación de los alimentos junto con los cambios físicos. Estos contribuyen a la calidad final del producto en lo referente a su color, textura, viscosidad, valor nutritivo y estabilidad de almacenamiento.

El "oscurecimiento" no enzimático, o reacción de Maillard, que es la reacción de los grupos aldehído y amino de los azúcares y las proteínas, es muy importante en la deshidratación de los alimentos. Al igual que otras reacciones químicas, la reacción de Maillard es propiciada por altas temperaturas y por las altas concentraciones de los grupos reactivos cuando también está presente algo de agua. Durante el proceso de deshidratación, se concentran los grupos reactivos. La reacción de Maillard generalmente prosigue más rápidamente durante el secado cuando la humedad ha sido reducida al nivel de un 20 o 15%. A medida que el porcentaje de humedad sigue bajando, la velocidad de la reacción de Maillard disminuye, de manera que en los productos deshidratados que han retenido menos de un 2% de humedad, los cambios adicionales en el color debido a esta clase de reacción son apenas perceptibles aún después de un almacenamiento prolongado.

Otra consecuencia común a la deshidratación, es la "pérdida del grado de facilidad de rehidratación". Las causas son en parte físicas, debido al encogimiento y la distorsión de las células y los capilares pero también químicas y fisicoquímicas en el nivel coloidal. Los azúcares y las sales se escapan de las células dañadas entrando el agua que se emplea para reconstituir los alimentos deshidratados lo cual resulta en la pérdida de la turgencia. Estos y otros cambios químicos hacen que la cantidad de agua reabsorbida por los productos deshidratados sea algo menor que el contenido de agua original, y contribuyen a las alteraciones en la textura.

Otro cambio químico común relacionado con la deshidratación es la "pérdida parcial de los componentes volátiles" del sabor. Esto ocurre invariablemente, por lo menos en un grado limitado (Potter, 1973).

4. ACOPLAMIENTO ENTRE LA DESHIDRATACION OSMOTICA Y EL SECADO

La deshidratación osmótica acoplada con el secado permite obtener una fruta deshidratada de excelente calidad, por las siguientes razones:

- 1) El uso de azúcar como agente osmótico de secado previene en mucho la pérdida del sabor y olor característico de la fruta fresca que se encuentra comúnmente en el secado con aire o vacío. La ganancia de sólidos por la fruta influye positivamente en la retención de volátiles aromáticos durante el secado final, dado que la retención de éstos durante el secado por evaporación o sublimación depende en gran parte de la concentración de sólidos del producto.

- 2) La alta concentración de azúcar que rodea a los trozos de fruta durante el secado previene la decoloración de la fruta por oscurecimiento enzimático y permite obtener un color aceptable en el producto final sin necesidad de tratamiento con aditivos
- 3) La deshidratación osmótica incrementa la retención de nutrientes durante el secado y minimiza el daño por calor y las características organolépticas debido a la remoción de pequeñas cantidades de ácido de la fruta
- 4) Junto con el agua se remueven también pequeñas cantidades de ácido de la fruta debido a la ósmosis y se ganan sólidos, lo que cambia la relación acidez/azúcares, por lo que se obtiene un producto final de sabor más suave y dulce que la fruta deshidratada ordinariamente
- 5) La fruta preconcentrada por ósmosis no se sujeta a una temperatura alta por un largo periodo, de manera que el daño por color se minimiza.
- 6) La incorporación de solutos del medio osmótico mejora también la textura de la fruta deshidratada, particularmente cuando el secado final se realiza a vacío, liofilización y lecho fluidizado a alta temperatura (Acea, 1988)

La concentración osmótica acoplada al secado no está exenta de desventajas, entre las cuales se pueden citar:

- 1) El decremento de la acidez puede ser desventaja para algunos productos.

2) Algunas frutas tratadas osmóticamente y secadas a muy baja humedad han mostrado una tendencia a enranciarse después de algunas semanas de almacenamiento

3) Durante el secado convencional las piezas tienden a pegarse unas con otras y en las charolas de los secadores (Acea 1988).

5. METODOS DE MEDICION FISICOS Y SENSORIALES EN ALIMENTOS

La calidad en frutas, como en otros productos es la combinación de características las cuales los hacen deseables para el consumidor. Los frutos son ordinariamente seleccionados por su apariencia, ya que otros métodos para determinar la calidad no está disponibles para el consumidor casual. Estos factores son el tamaño, el color, la consistencia, la forma y algunos defectos físicos que en general son de completa importancia

Para la clasificación de los frutos por su calidad se necesitan diferentes pruebas como el sabor, la textura, el color, el tamaño así como su composición química y cuenta microbiológica, lo que determinará si son aptos para el consumidor y que cantidad de dinero se debe pagar por el producto. (Yahia, et.al., 1992).

5.1. Color

El color que se percibe en los alimentos no es más que la luz reflejada por los mismos, y que a su vez, es captada por el ojo humano (Gross, 1987). En pruebas físicas se tienen tres parámetros para determinar dicho color (Minolta, 1996).

- 1) Color - denominado como "tono" (rojo, amarillo, azul, verde, etc).
- 2) Luminosidad - esta característica define al producto como claro u opaco y se mide en porcentaje
- 3) Croma o Intensidad - concentración o porcentaje de contribución de cada colorante que compone al color global, está referida a la pureza del color

Físicamente el color de un objeto se mide y representa por curvas espectrofotométricas, las cuales proyectan fracciones de luz reflejada como una función de longitud de onda del espectro visible (Bilimeyer, 1968)

5.1.1. Importancia del color en los alimentos

El color es un factor dominante en la aceptación de un alimento por parte del consumidor. Un color atractivo atrae al consumidor a probar el alimento, mientras que un alimento sin color produce el efecto contrario.

La medida del color es un importante medio de aseguramiento de la calidad en productos alimenticios. Aunque el color en frutas es una manifestación externa de la composición de los pigmentos de las plantas (Shewfelt, et al., 1993)

5.1.2. Medida del color

La medición de los cambios en los pigmentos ayuda a comprender la fisiología, la madurez y la senescencia, ya que los cambios físicos repercuten en un impacto visual. Aunque la apariencia está en función del color, en la actualidad hay instrumentos disponibles que detectan este factor. La visualización del color se realiza por comparación de estándares de color como: Atlas, cartas, abanicos o comparadores especiales de color (Hunter, 1987).

El sistema Munsell se basa en el principio de la percepción visual de pequeñas diferencias de color: el sistema describe todos los posibles colores en términos de tono, valor y croma. En el sistema Ostwald los colores se describen como saturación de color, contenido de blanco y contenido de negro, basados en términos de idealización de curvas espectrométricas, que se obtienen a partir del estudio de los colores (Billmeyer, 1968).

El sistema CIE (Comisión Internacional de l'Éclairage o International Commission on Illumination), es para muchos el sistema más importante para medir el color. En 1931 CIE realizó una descripción numérica de la respuesta del color al ojo humano; estas expresiones son "x", "y" y "z".

Para la medición directa del color, Hunter desarrolló colorímetros que leen directamente el reflejo de la luz, la cual está basado en las coordenadas de la escala de CIE. A partir de este estudio se desarrolló la escala de CIE L^*, a^*, b^* .

La selección del equipo para medir el color, dependerá del objeto al que se desea aplicar y la variedad de productos a ser probados (Billmeyer, 1968).

5.1.3. Color en fresas

El color de las fresas es uno de los atributos más importantes, y repercute directamente en su aceptación por el consumidor. El color es diferente de cultivo a cultivo y varía de un suave rojo naranja a un rojo púrpura oscuro en las frutas maduras. Internamente el color puede variar del centro blanco de la fruta con un rojo púrpura oscuro a un color uniforme a lo largo de la fruta hasta cubrir el rango completo del color. El color de un genotipo está influenciado por la madurez, daño físico, tiempo y temperatura después de la cosecha y otros factores tales

como pH, actividad de oxidación del polifenol, ácido ascórbico y fenoles totales (Sistrunk, 1967, Sistrunk y Moore, 1971)

a) Antocianinas

Estos son los pigmentos encargados de darles el color a las fresas. Todas las antocianinas pertenecen a un grupo de glucósidos cuya estructura general es el 2-fenilbenzopirilo o ion flavilo (Figura 3). Están formadas por una molécula de antocianidina (aglicón) que se une a una fracción de carbohidrato a través de un enlace β -glicosídico. Los carbohidratos pueden ser D-glucosa, D-galactosa, etc (Tafoya y García, 1993)

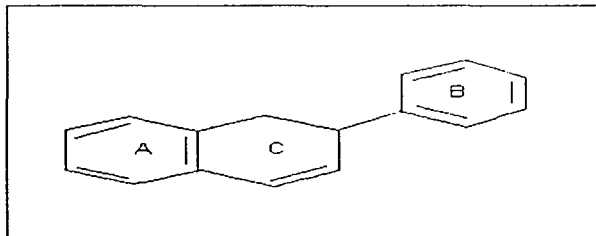


Figura 3. Núcleo flavilo

b) Causas de alteración.

El deterioro de las características del color de las fresas es el resultado de la maduración, cosecha, manipulación, procesamiento y almacenamiento.

Además de los factores que anteriormente se mencionan los cambios en el color pueden deberse a transformaciones de:

- a) pH - durante los cambios de pH puede ocurrir la pérdida de color por la formación de una pseudobase de carbinol
- b) Bióxido de azufre o sulfitos - pérdida de color o formación de tonalidades pardas (formación de compuestos más estables)
- c) Acido ascórbico - cuando ocurre la oxidación de este ácido, las antocianinas se tornan de un color café rojizo
- d) Iones metálicos y sales - cataliza las reacciones de coloración
- e) Aminoácidos, fenoles y azúcares derivados - pérdida de color por condensación
- f) Actividad enzimática - glucosidasas y fenolasas causan variación o pérdida de color
- g) Actividad de microorganismos - degradación de color por metabolización
- h) Aire y luz - provocan pérdida de color (Sistrunk, 1985)

c) Medición del color en fresas

Se han empleado varias pruebas objetivas en la evaluación de color en fresas (Sistrunk y Moore, 1971). Esto se ha logrado medir con el colorímetro Hunter por varios investigadores que demostraron que al seleccionar las fresas y extraer el color muestran una máxima absorción a 500nm. La densidad óptica fué corregida significativamente con un color rojo como rango de un panel de control. La dilución óptica total es medida con la siguiente fórmula

$$\text{densidad óptica total} = \text{densidad óptica} \times \text{dilución}$$

en donde se utiliza un factor de alcohol acidificado extraído de fresas, que ha sido usado para determinar la concentración de pigmentos (Lundergan y Moore, 1975). Además ocurre una variación considerable para todas las poblaciones.

5.2. Textura

La textura se puede considerar como la respuesta integrada de los estímulos del tacto, como resultado de la aplicación de un esfuerzo, en este caso de un alimento; no se refiere a una sola propiedad sino al conjunto de varios atributos. La textura se refiere a sólidos, en los semisólidos se denomina consistencia y en los líquidos viscosidad (Badui, 1988)

5.2.1. Evaluación de la textura

Para expresar el comportamiento mecánico existen dos procedimientos; el primero es el método sensorial que consiste en tocar, estrujar, morder o masticar el alimento y describir las sensaciones. Estas apreciaciones varían ampliamente con el individuo que las efectúa, por lo que se necesita un tratamiento estadístico para poder evaluarlas adecuadamente, así como de un entrenamiento para cada uno de los jueces. El segundo grupo de procedimientos de evaluación utiliza métodos físicos, en este caso el valor no depende del individuo que lo realiza, estos métodos suelen ser considerados como "objetivos". Los resultados obtenidos se expresan en metros[m], kilogramos[kg] y segundos[s] (Muller, 1977).

5.2.2. Medición de la textura en fresas

El penetrómetro es un equipo sencillo para medir la distancia a la que un cono o aguja penetra en un alimento a un determinado tiempo. En su forma más simple el objeto se coloca sobre la superficie del alimento y se descarga durante un tiempo determinado; al final de dicho tiempo el cono se fija con una mordaza y se mide la profundidad de penetración con una escala, ver Figura 4.

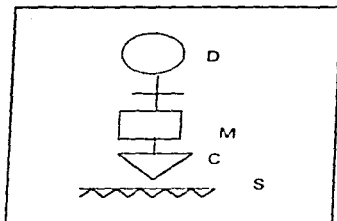


Figura 4. Penetrómetro de aguja mostrando superficie del alimento S, aguja C, la mordaza M y el indicador D

La profundidad de penetración dependerá del peso de la aguja, geometría, el tipo de material, su temperatura y el tiempo de penetración (Lewis, 1993)

5. 3. Sólidos solubles

Los sólidos solubles determinan la cantidad de azúcar presente en un alimento y en este caso son de gran importancia debido a que se quiere alcanzar una concentración mayor a los 83°Bx, que es la cantidad de sólidos solubles presentes en la fresa cristalizada comercial. Esta medición en forma directa será realizada por un refractómetro que por medio de la refracción de la luz se obtienen lecturas reportadas en °Bx

6. GENERALIDADES DE LOS AZUCARES

Los carbohidratos constituyen uno de los productos más importantes de los vegetales, a los cuales les sirven de sostén o protección de paredes celulares (celulosa) o como fuente de energía (glucosa).

El nombre de los carbohidratos o glúcidos se les dio por su fórmula más común $C_nH_{2m}Om$ o $C_n(H_2O)_m$. Sistemáticamente se les puede clasificar como azúcares y polisacáridos.

Los azúcares pueden ser monosacáridos y oligosacáridos. Los monosacáridos son los azúcares más sencillos y no son hidrolizables. Los oligosacáridos, lo mismo que los polisacáridos, se hidrolizan dando monosacáridos. Los azúcares contienen varios centros quirales (carbonos disimétricos), lo que da un número considerable de isómeros ópticos. Todos los azúcares son sólidos cristalinos, incoloros, solubles en agua y de sabor dulce más o menos intenso.

A los azúcares se les asignan nombres terminados en OSA. Por la naturaleza del grupo carbonilo pueden ser llamados aldosas si es aldehído (-CHO) o bien cetosas si es cetónico (-CO-). En la mayoría de los monosacáridos el número de átomos de oxígeno coincide con el número de carbonos; por ello los azúcares que tienen 3 oxígenos se llaman triosas, si tienen 4, tetrosas, si tienen 5, pentosas; y si tienen 6, hexosas. Hay algunos monosacáridos que tienen menos oxígenos que átomos de carbono, como la 2-desoxirribosa (Dominguez, 1987).

Las pentosas y hexosas más importantes son:

- D-2-desoxirribosa
- D-ribosa
- D-arabinosa
- D-xilosa
- D-glucosa
- D-fructosa

Estos compuestos, de un modo u otro, constituyen más de la mitad de la cantidad orgánica de la superficie terrestre, la mayor parte de los vegetales se haya compuesta por carbohidratos, mientras que el reino animal solo contiene una cantidad limitada de ellos.

Varios azúcares, almidones, celulosa, hemicelulosa, pectinas y numerosas gomas y mucilagos son todos ellos carbohidratos. Los azúcares simples, glucosa y fructosa, pueden hallarse en la miel y en varios frutos. Estos a menudo se encuentran acompañados por azúcares combinados, los disacáridos de los cuales la sacarosa, por ejemplo, hallada en la remolacha azúcares y en la caña de azúcar, es el ejemplo más representativo (Braverman, 1980).

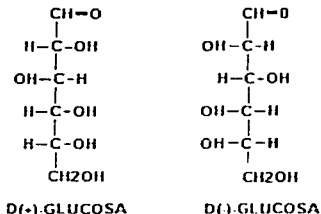
A continuación, se mencionarán los azúcares de interés para la parte experimental de este proyecto: la Glucosa y la Sacarosa.

6.1. D(+)-Glucosa (Monosacárido)

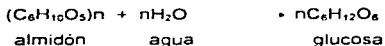


Es la aldosa de la sorbita. Es la más conocida y abundante de las hexosas. También denominada dextrosa o azúcar de uva, constituyendo una magnífica fuente de energía para el organismo humano.

La glucosa se encuentra en el jugo de uva y en el de higo, en la miel (junto con la fructosa) y en muchas frutas dulces. En pequeñas cantidades se encuentra, en la sangre, el hígado y en otras partes del organismo de los mamíferos (Braverman, 1980).



Se obtiene comercialmente, tratando almidones y féculas, por ácidos minerales diluidos (catalizador) para provocar la hidrólisis



Se presenta en forma de cristales mal definidos, que funden a 80°C si se obtienen de una solución acuosa, si la cristalización se efectúa en solución de alcohol etílico o alcohol metílico, se obtienen cristales anhidros que funden a 146°C. Es soluble en agua (83 gr. en 100 gr. de agua a 17.5°C) y su solución acuosa fermenta en acción de la levadura.

En el comercio se encuentra en dos grados: para la alimentación (miel karo, jarabe de maíz, dextrosa) y para uso industrial como en el plateado de espejos (es reductor energético), la producción de alcohol etílico, la de vinagre y otros (Lenz del Rio, 1985).

6.2. Sacarosa (Disacárido)



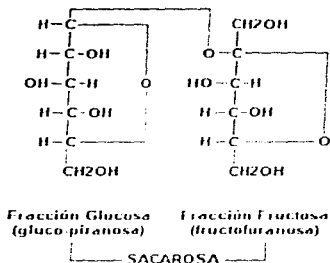
Constituye el azúcar común de nuestra alimentación, y se encuentra en el jugo de caña y en la remolacha, así como en el néctar de las flores y en varias plantas. Se obtiene de la remolacha, que le contiene en proporción de 10 a 16% en peso, y de la caña, cuyo jugo, tienen la siguiente composición:

COMPONENTE	PORCENTAJE
agua	80%
sacarosa	18%
glucosa	0.3%
goma	1.4%
sales minerales	0.3%

La sacarosa cristaliza en prismas monoclinicos, es muy soluble en el agua y su solución acuosa es dextrógira. No reduce el licor de Fehling, ni el nitrato de plata amoniacal. No es directamente fermentable.

Mantenida a 160°C por algún tiempo, o por acción de ácidos minerales diluidos y a la ebullición, se desdobla en glucosa y fructosa. La mezcla de estos monosacáridos que se obtiene, recibe el nombre de azúcar invertido (Lenz del Río, 1985).

La fórmula estructural de la sacarosa se indica, generalmente, como una fracción de glucosa (en forma cíclica piranosa) y la otra fracción de fructosa (en forma cíclica furanosa) (Braverman, 1980).



La sacarosa, y algunos sacáridos han sido muy usados como agentes osmóticos debido a las ventajas que ofrecen. La sacarosa previene el oscurecimiento enzimático por inhibición de la polifenoloxidasa.

7. LEY DE FICK PARA LA DIFUSION MOLECULAR

La difusión molecular puede definirse como la transferencia de moléculas individuales a través de un flujo por medio de los movimientos individuales y desordenados de la molécula.

En la figura 5 se muestra el proceso de difusión molecular. Se ilustra la trayectoria desordenada que la molécula A puede seguir al difundirse del punto (1) al (2) a través de las moléculas de B.

Si hay un número mayor de moléculas de A cerca del punto (1) con respecto al punto (2), entonces y puesto que las moléculas se difunden de

manera desordenada en ambas direcciones habrá más moléculas de A difundiéndose de (1) a (2) que de (2) a (1). La difusión neta de A va de una región de alta concentración a una de baja concentración.

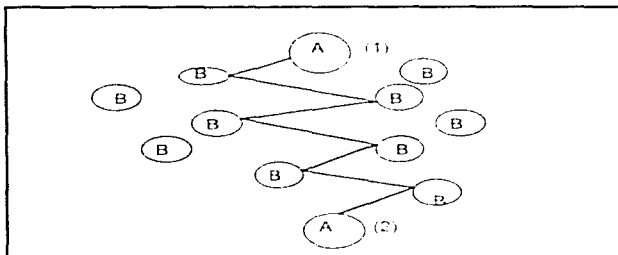


Figura 5. Difusión Molecular

La difusión de las moléculas se debe a un gradiente de concentración. La ecuación general de la Ley de Fick puede escribirse como sigue para una mezcla de A y B:

$$J_A z = -C D_{AB} \frac{dx_A}{dz} \quad (1)$$

donde:

C = es la concentración total de A y B (mol Kg A+B/m³)

x_A = es la fracción mol de A en la mezcla A y B

z = dirección normal al flujo

Si c es constante, entonces, puesto que $C_A = Cx_A$. La ecuación quedaría:

$$c \, dx_A = d(Cx_A) = dC_A \quad (2)$$

Sustituyendo en la ecuación (1) la ecuación anterior, tenemos que la ecuación para una concentración total constante es

$$J_A z = -DAB \frac{dC_A}{dz} \text{----- (3)}$$

Esta ecuación es la de uso más común en muchos procesos de difusión molecular. Cuando C varía un poco, se aplica un valor promedio en la ecuación 3 (Geankoplis, 1991)

Para el caso de sólidos, la difusión dependerá de la geometría del mismo, por lo que Newman diseñó una gráfica para la difusión de una esfera, cilindro o barra rectangular partiendo de la Segunda Ley de Fick (Treybal, 1988)

8. PRINCIPIOS BASICOS DE ESCALAMIENTO

El criterio más importante en el escalamineto, es la determinación del tamaño y la forma, es el principio de semejanza cuyo concepto fue formulado por Newton.

1. Semejanza geométrica, es decir la planta piloto y la de proceso han de tener la misma forma o relación de dimensiones
2. Semejanza cinemática, de manera que en la planta piloto y la planta de proceso industrial existen las mismas relaciones de velocidad

3. Similitud dinámica, que se tendrá cuando la planta piloto y la planta industrial existen las mismas relaciones de fuerza. Por ejemplo, el régimen de turbulencia debe ser semejante en ambas escalas, cuando se manejan fluidos

4 Similitud térmica de forma que se obtengan diferencias de temperaturas similares entre los distintos puntos del sistema que se simula en planta piloto y a nivel industrial

5 Similitud química o bioquímica, es decir a de haber diferencia de concentración de productos o componentes similares entre los distintos puntos del sistema, tanto a nivel planta piloto como a nivel industrial

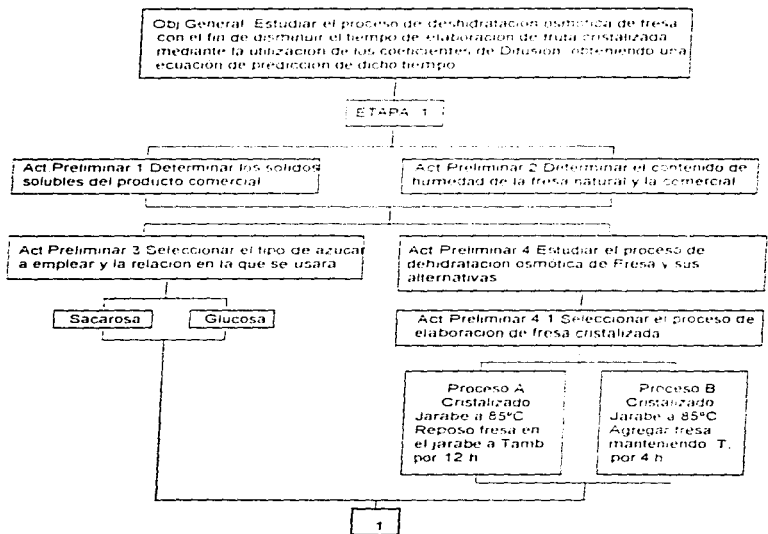
En nuestro caso se contó con una similitud geométrica, ya que se utilizó la misma geometría en la planta piloto que en la que se planteó posteriormente a nivel industrial, similitud cinemática porque los dos sistemas se desarrollaron en estado estacionario, similitud térmica debido a que se utilizaron las mismas temperaturas y similitud química por haber las mismas concentraciones de jarabe en los dos sistemas

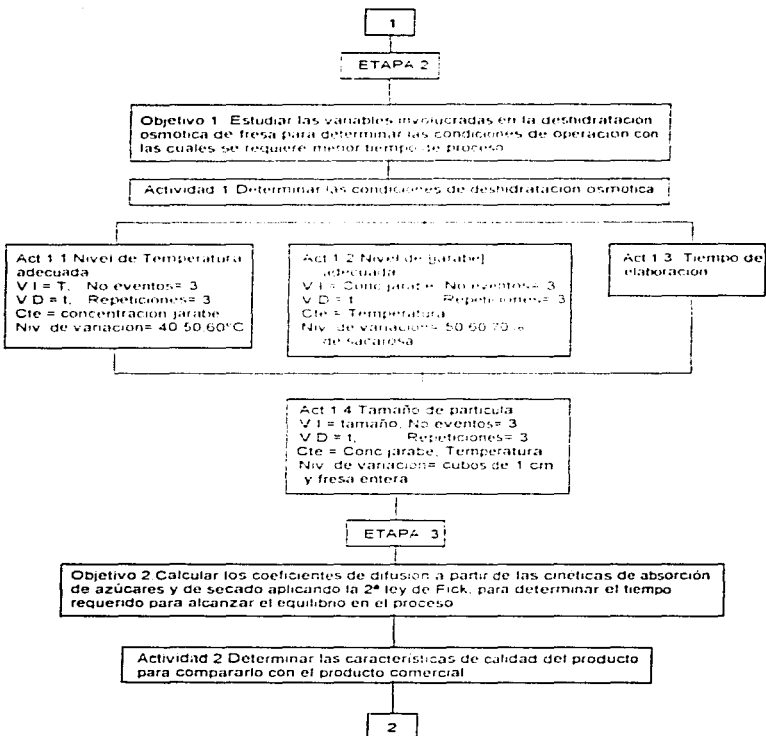
Una vez cumpliendo las similitudes anteriores se utilizó al coeficiente de difusión como parámetro de similitud debido a que está presente en el número adimensional que Schmidt que expresa el cociente entre la viscosidad y la difusión de masa

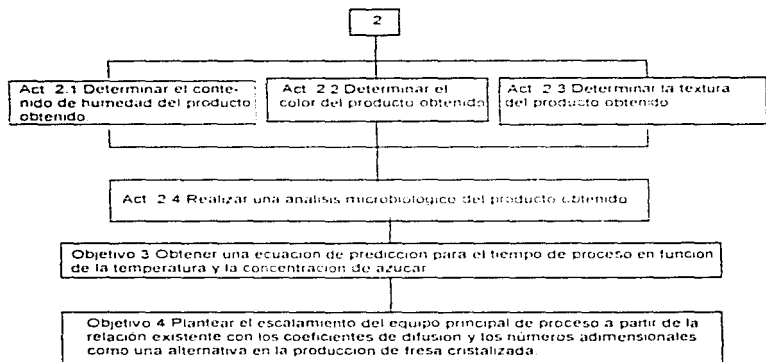
CAPITULO 2

METODOLOGIA

2.1. CUADRO METODOLOGICO







2.2. DIAGRAMA DE PROCESO



DESCRIPCION DEL DIAGRAMA DE BLOQUES

En el proceso de cristalización se emplean diferentes etapas, estas se inician con la recepción de la materia prima en este caso se debe considerar que la fresa tenga un estado de madurez específica (5-7 °Bx) ya que este producto presenta un tiempo de alteración muy corto, en cuanto a color y apariencia deben ser satisfactorios

Inmediatamente después a su recepción se lava perfectamente con el fin de eliminar toda materia extraña y ajena que pudiera estar añadida a la superficie del fruto y se le quita el pedúnculo y el cáliz.

El escaldado se realiza a una temperatura de 80°C por 2 minutos, controlando la temperatura para evitar que el fruto pierda su estructura original.

El tratamiento osmótico o cristalizado como comúnmente se le conoce se lleva a cabo a partir de la mezcla de una solución de sacarosa en un 70% y de glucosa en un 20%, donde esta será sometida a un calentamiento previo a 40°C para sumergir las fresas hasta quedar cubiertas completamente, reposando en un tiempo aproximado de 12 hrs para que absorban el jarabe, dándose así la primera etapa de la deshidratación osmótica

Como punto final se escurren las fresas y se someten a un secado a 50°C por aproximadamente 4 hrs como segunda etapa en fase final del cristalizado, obteniéndose así un producto con características semejantes a las del producto comercial

2.3. VARIABLES

Las variables que se estudiaron durante la deshidratación osmótica de la fresa y que intervienen directamente con el tiempo de elaboración, se citan a continuación:

- Temperatura del jarabe
- Concentración de la solución osmótica
- Composición de la solución osmótica
- Tamaño de partícula de la fresa

Además de las variables anteriormente mencionadas, cabe agregar que también existen variables de calidad, tales como el color y la textura que son determinantes para que el producto obtenido sea comparable con el producto comercial. Así mismo se realizó un análisis microbiológico para verificar que se encuentre dentro de la norma

2.4. DESARROLLO EXPERIMENTAL

De acuerdo con el cuadro metodológico planteado, se realizaron tres etapas, donde hubo primeramente una revisión bibliográfica con todo lo relacionado a la deshidratación osmótica. En las tres etapas se realizaron diferentes actividades de acuerdo con los objetivos a cubrir en ellos. A continuación se hará mención de como están constituidas cada una de ellas.

En la etapa 1, se cubrieron actividades consideradas como preliminares, las cuales permitieron primeramente conocer que porcentaje o presencia de sólidos solubles tiene el producto comercial para el producto que se desea obtener. Esta determinación se hizo por medio del refractómetro Abbe. Se verificó el contenido de humedad del fruto antes y después del proceso con el empleo de la termobalanza. Luego se eligió un proceso de elaboración de los dos que se encontraron reportados, encontrando el más conveniente para la fresa así como el o los azúcares que permiten conservar una apariencia agradable.

La etapa 2, sirvió para conocer más detalladamente el proceso de elaboración y ver cuales son los parámetros que intervienen más directamente sobre el tiempo de elaboración y calidad del producto a obtener.

La etapa 3, permitió evaluar las variables involucradas a través de curvas de absorción de azúcar y curvas de secado, ambas deberán presentar un comportamiento similar en la tendencia que se espera, esta tendencia se describe en forma de curva ascendente. Dicho comportamiento evaluará la rapidez de absorción de azúcar por medio de los coeficientes de difusión.

Conociendo el tiempo mínimo de elaboración del producto con los parámetros de temperatura del jarabe y concentración de sólidos solubles en el

fruto así como de tamaño del producto, este fué sometido a pruebas de calidad como son color, textura y un análisis microbiológico para ver que tan comparable resultó con respecto al producto comercial, para ello a este último también se le habrá sometido a ambas pruebas.

Conociendo los parámetros directamente involucrados en la deshidratación osmótica de la fresa nos permitieron a través de gráficos, establecer una ecuación de predicción del tiempo mínimo de elaboración de la misma, que permitirá que en el futuro pueda ser utilizada para disminuir los costos de producción y hacer crecer la demanda del producto. Ello también involucra el equipo a utilizar para tal caso, es por ello que se propone el diseño del equipo de cristalizado.

2.5. DISEÑO EXPERIMENTAL

ETAPA 1

Actividad Preliminar	Equipo	Método
1. Determinación de sólidos solubles producto comercial	Refractómetro Abbe	Refractometría
2. Determinación del contenido de humedad en fresa natural y comercial	Termobalanza	Lectura directa

Las fresas naturales deben estar enteras, maduras, color rojo brillante y atractivo, sin ningún golpe o raspón. Mientras que el producto final debe ser aceptable y atractivo para el consumidor.

Actividad preliminar 3. Selección del tipo de azúcar a emplear, y la relación en la que se utilizó

La cantidad de azúcar que precisa cada fruta para confitarla varía en función de su estado de maduración y sobre todo de la consistencia más o menos fibrosa y acuosa de sus tejidos (Azea, 1988).

Los azúcares que van a intervenir para la confitación deben de cubrir las siguientes características: bajo peso molecular, alta solubilidad en agua, ausencia de toxicidad en el hombre, compatibilidad con las características fisicoquímicas del alimento y con las características sensoriales, y de bajo costo (Anónimo, 1988).

De acuerdo al estudio realizado por Charlie J. Et al. en 1980 se seleccionó una concentración de jarabe en la cual un porcentaje fue de sacarosa y otro de glucosa, debido a que la primera es más fácil de absorber, mientras que la glucosa de mayor sabor y apariencia al producto final.

Concentración	Variación
1	40% Glucosa - 50% Sacarosa
2	30% Glucosa - 60% Sacarosa
3	20% Glucosa - 70% Sacarosa

Cuadro 4. Concentración de jarabe seleccionadas

Actividad preliminar 4. Estudiar el proceso de deshidratación osmótica de fresa y sus alternativas.

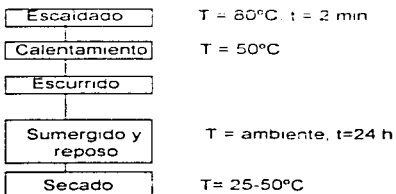
El estudio de dicho proceso se basó en información bibliográfica de libro y artículos relacionados sobre este tema, así pues se encontrará información en el capítulo 2 en el inciso 2.1. Proceso de deshidratación osmótica.

Actividad preliminar 4.1. Selección del Proceso de Elaboración de fresa cristalizada

Bibliográficamente, se encontraron dos tipos de proceso para la elaboración de frutas cristalizadas dependiendo de la naturaleza del fruto es el tipo de proceso a seguir. Debido a que para la fresa no existe un proceso definido por ser un producto muy delicado y en la mayoría de las ocasiones se destina para productos en los cuales no se requiere al fruto como tal sino más bien en trozos como en el caso de las mermeladas, fruta para yogurth y jaleas, se sometió a la fresa a ambos procesos para seleccionar el más adecuado que permita por lo menos en un 90% conservar las características que la definen.

Los procesos considerados son los que se citan a continuación:

*PROCESO A



- 1 Someter la fresa a escaldado por 2 min. a 80°C
- 2 Calentar la solución osmótica a una temperatura de 50°C
- 3 Ecurrir las fresas del agua de escalde.
- 4 Sumergir las fresas completamente en la solución, dejando reposarlas dentro de esta por 24 h
5. Ecurrirlas nuevamente para retirar el exceso de solución y someter a secado a una temperatura de 25°C a 50°C.

*PROCESO B

Escaldado	$T = 80^{\circ}\text{C}$. $t = 2 \text{ min}$
Calentamiento	$T = 50^{\circ}\text{C}$
Escurrido	
Sumergido y reposo	$T = 50^{\circ}\text{C}$. $t = 24 \text{ h}$
Sumergido y reposo	$T = 50^{\circ}\text{C}$. $t = 24 \text{ h}$
Secado	$T = 25\text{-}50^{\circ}\text{C}$

1. Someter las fresa a escaldado por 2 min a 80°C
2. Calentar la solución osmótica a una temperatura de 50°C
3. Escurrir las fresas del agua de escalde.
4. Sumergirlas fresas completamente en la solución manteniendo la temperatura de 50°C Bajo estas condiciones dejar reposar a las fresas por 30 min
5. Repetir la operación anterior hasta cubrir 4 h, cambiando el jarabe.
6. Dejarlas reposar dentro del jarabe a ambiente por 20 h
7. Escurrir las fresas y someterlas a secado a temperaturas de entre 25°C a 50°C

ETAPA 2

Objetivo 1. Estudiar las variables involucradas en la deshidratación osmótica de fresa para determinar las condiciones de operación con las cuales se requiere menor tiempo de proceso.

Actividad 1. Condiciones de deshidratación osmótica

Una vez seleccionados los parámetros directamente involucrados se llevó a cabo la experimentación siguiente para ver el papel que cada variable representa en la deshidratación osmótica y establecer así cuales de ellas con las más apropiadas para reducir el tiempo de elaboración.

Las fresas deben presentar una madurez de 5-7 °Bx y con las características de calidad mencionadas en la etapa 2

Actividad	Variables	Niv.Variación
1.1.Determinar la temperatura adecuada	$V R = T, V D = t, cte=[j]$	40, 50 y 60°C
1.2.Determinar la concentración de jarabe adecuada	$V I = [j], V D = t, cte=T$	50, 60 y 70% de sacarosa
1.3.tiempo de elaboración		
1.4.Determinar el tamaño de partícula	$V I = Dp, V D = t, cte=[j]$ y T	1 cm ³ y fresa entera

Nota por cada actividad se realizaron tres eventos y tres repeticiones de cada una

Debido a la cantidad de datos obtenidos para cada actividad, se realizó un análisis estadístico (medidas de tendencia central y análisis de varianza), el cual

nos permitió ver la relación que existe entre la temperatura, concentración de jarabe y tamaño de partícula con respecto al tiempo para establecer el tiempo de elaboración

ETAPA 3

Objetivo 2. Calcular los coeficientes de difusión a partir de las cinéticas de absorción de azúcares y de secado aplicando la 2ª ley de Fick, para determinar el tiempo requerido para alcanzar el equilibrio en el proceso.

Una vez realizada la experimentación anterior se evaluaron las siguientes variables:

Evaluación	Equipo	Metodo	Resultado
a.Cinética de Absorción	Refractometro Abb	Refractometria	Curva de $^{\circ}B_x$ vs t
b.Cinética de secado	Termobalanza	Lectura directa	Curva de pf/pi vs t a T =cte
c.Coeficiente de Difusión		2ª Ley de Fick para esfera	Coeficiente de difusión

pf/pi = peso final / peso inicial de la fresa

**Cálculo del Coeficiente de Difusión para Esfera

Debido a que es necesario el cálculo de los coeficientes de difusión para la deshidratación osmótica de la fresa y considerando que este fruto tiene un forma compleja, se decidió que para obtener tales coeficientes el cálculo se hizo considerándola como esfera.

Para el caso en que no existe convección y en ausencia de reacción química puede utilizarse la 2ª Ley de Fick:

$$\frac{\partial CA}{\partial t} = DAB \left(\frac{\partial^2 CA}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 CA}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 CA}{\partial z^2} \right)$$

para resolver problemas de difusión en estado no estacionario mediante integración con las condiciones de frontera apropiadas se puede utilizar la ecuación anterior

Para algunos casos sencillos, Newman ha resuelto en forma por demás conveniente para el caso de una esfera de radio a

$$E = f \left(\frac{D t}{a^2} \right) = ES$$

que es mostrada en la gráfica de Treybal (Ver grafica 3 Anexo IV)

Metodología seguida para este caso:

1) Primeramente hubo que obtener el valor de E, que es la cantidad de soluto ganado en el fruto, por medio de la siguiente ecuación:

$$E = \frac{C_t - C_i}{C_i - C_i^*}$$

donde: C_t = es la concentración de soluto a un tiempo t (mol/m³)

C_i = es la concentración de soluto inicial en la fresa (mol/m³)

C_i^* = es la concentración de soluto en equilibrio (mol/m³)

2) En la gráfica de Difusión en estado estacionario para esfera, se obtuvo el Factor de Fourier (F) (Treybal, 1988). Este se sustituyó en la siguiente ecuación:

$$F = \frac{Dt}{a^2}$$

donde: F = factor obtenido del gráfico
 D = coeficiente de difusión expresado en m²/s
 t = tiempo t de la concentración de soluto alcanzada en segundos
 a = el diametro de la esfera en metros

obteniendo los coeficientes de difusión que permitieron ver que tan rápida se llevó a cabo la ósmosis entre el fruto y la solución azucarada (Treybal, 1988).

****Cálculo del Coeficiente de difusión para Cubo**

Se utiliza en procedimiento anterior, existiendo una variante en la ecuación.

$$E = f \left(\frac{D_0}{4a^2} \right) = ES$$

o se extrae la abscisa de la gráfica de Treybal, donde $\left(\frac{D_0}{4a^2} \right)$ para la difusión de una sola cara expuesta.

Es importante observar que las ecuaciones y la figura suponen una difusividad constante, concentración uniforme inicialmente dentro del sólido y concentración constante a los lados.

Esto último significa suponer:

1. Que no hay resistencia a la difusión en el fluido que rodea el sólido.
2. Que la cantidad de dicho fluido es lo suficientemente grande para que su concentración no cambie con el tiempo.
3. Que el fluido se está reemplazando continuamente.

Actividad 2. Determinar las características de calidad del producto para compararlo con el producto comercial.

Característica	Equipo	Método	Resultado
2.1. Contenido de humedad	Termobalanza	Lectura directa	Porcentaje de Humedad
2.2. Color	Colorímetro Minolta CR-300	Colorimetría	Luminosidad (%)
2.3. Textura	Penetrometro	Penetrabilidad	Dureza (din/cm ²)

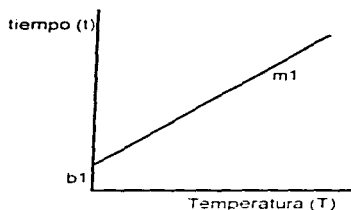
2.4. Microbiología

Determinación	Método	Incubación
Coliformes	Placa Rojo violeta bilis agar	37°C, 24 hrs.
Cuenta total	Placa Agar para conteo estandar	32°C, 48 hrs
Hongos y Levaduras	Placa Agar papa dextrosa	23°C, 5 días

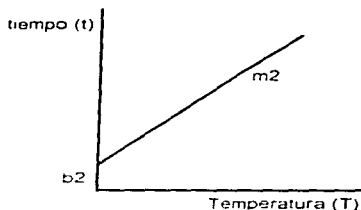
Objetivo 3. Obtención de la ecuación de predicción para el tiempo de proceso en función de la temperatura y la concentración de azúcar.

Para llegar a la ecuación de predicción se utilizaron las regresiones lineales de la fase experimental que involucraban tiempos, temperaturas y concentraciones de sacarosa y la relación existente entre ellos hasta obtener una ecuación final

1.1. Obtención de la regresión lineal de t vs. T a diferentes concentraciones de sacarosa.



a) Concentración S1



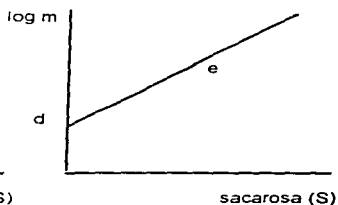
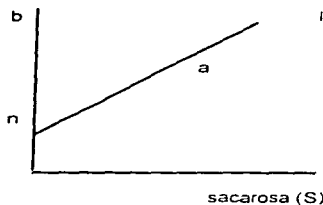
b) Concentración S2

1.2. Relación con ecuación de la recta

$$y = mx + b$$

$$t = mT + b$$

2.1. Con los datos obtenidos en el punto anterior se obtuvo la regresión lineal de ordenadas al origen y pendientes vs. Concentración de sacarosa.



2.2. Relación de datos obtenidos con ecuación de la recta.

$$Y = mx + b$$

$$m = e (\text{sacarosa}) + d$$

2.3. Obtención de la ecuación

$$t = (e S + d) T + (a S + n)$$

Esta ecuación sólo es aplicable para fresa entera en un proceso a presión atmosférica y un jarabe constituido por sacarosa- glucosa y presentó un grado de erros de 3 54%

Objetivo 4. Plantear el escalamiento del equipo principal de proceso a partir de la relación existente con el coeficiente de difusión y los números adimensionales como una alternativa en la producción de fresa cristalizada.

Este se obtuvo apegado al código ASME con sus respectivas limitaciones calculando.

- forma del tanque
- tamaño del mismo
- espesor de las paredes
- material del tanque
- calor requerido

Su fin es de mejorar las condiciones de cristalización para obtener un producto de mejor calidad y que a su vez de disminuyan los costos de operación.

CAPITULO 3

RESULTADOS

ACTIVIDADES PRELIMINARES

ETAPA 1

1. Sólidos solubles en la fresa natural y comercial

En esta determinación se puede observar que en el centro es donde se encuentra el valor intermedio de la cantidad de sólidos solubles como se muestra en el cuadro 5. Realizándose 20 repeticiones de dicho evento.

FRESA	SUPERIOR	CENTRO	PUNTA
variedad Tioga	4.6	5.0	6.3

Cuadro 5. Contenido de sólidos solubles en fresa natural

Este parámetro sirvió para establecer el grado de madurez que requerían las fresas para poder procesarlas, así como el punto inicial de cristalización.

Los sólidos solubles en la fresa comercial fueron el parámetro de comparación de las fresas experimentales, ya que este se deberá obtener como valor mínimo. El valor obtenido para tal producto fue de 82.6 °Bx.

2. Contenido de humedad en fresa natural y comercial

El contenido de humedad en la fresa natural es de 78.2% en peso, lo que representa la cantidad aproximada de intercambio que habrá con respecto al jarabe.

La fresa comercial presentó un contenido de humedad de 5.0% que sirvió como parámetro de comparación con respecto al producto a obtener.

3. Selección del tipo de azúcar a emplear, y relación en la que se utilizó

Se seleccionó un jarabe con un porcentaje mayor de sacarosa al de glucosa, debido a que esta se absorbe con mayor facilidad y a su vez esta facilita la difusión del soluto hacia el fruto

4. Estudio del proceso de deshidratación osmótica de fresa y sus alternativas.

4.1. Selección del Proceso de elaboración de fresa cristalizada

Se seleccionó el proceso A (mencionado en la actividad preliminar 3 del capítulo anterior) ya que el contenido de sólidos solubles en la fruta fue de 85°Bx en 12 hrs aproximadamente, con una apariencia agradable a la vista y comparable con la comercial, mientras que en el procedimiento B las fresas sufren desnaturalización de sus tejidos adquiriendo una consistencia de mermelada

ETAPA 2

Objetivo 1. Estudio de las variables involucradas en la deshidratación osmótica de la fresa con las cuales se requiere menor tiempo de proceso.

Actividad 1. Determinación de las condiciones de deshidratación osmótica

Las temperaturas seleccionadas para el jarabe fueron 40, 50 y 60°C debido a que a temperaturas menores se dificulta el intercambio de soluto hacia las fresas y a temperaturas mayores a 60°C hay una desnaturalización de la membrana lo cual la destruye.

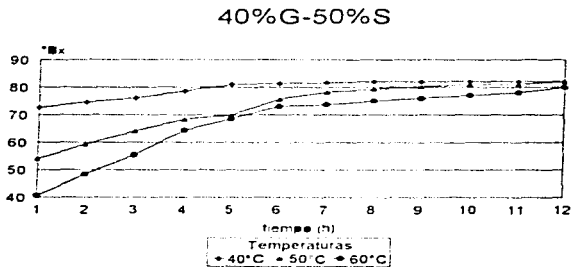
La concentración de jarabe seleccionada, fue establecida en la actividad preliminar 3 donde también se menciona la composición y relación de azúcares a emplear para dicho jarabe. Así como se eligió trabajar con cubos de fresa de 1 cm³ con el fin de facilitar el tratamiento de los datos y una vez elegidas las concentraciones de jarabe, la temperatura y por lo tanto el tiempo de cristalizado se realizó para una fresa entera.

ETAPA 3

Objetivo 2. Calcular los coeficientes de difusión a partir de las cinéticas de absorción de azúcares y de secado aplicando la segunda ley de Fick, para determinar el tiempo requerido para alcanzar el equilibrio en el proceso.

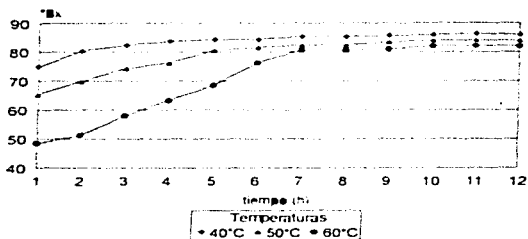
a. Absorción de azúcar

Los resultados se pueden observar en las gráficas 2.1., 2.2 y 2.3 donde se aprecia que a menor temperatura se alcanza la concentración deseada en un menor tiempo así como a mayor concentración de sacarosa.



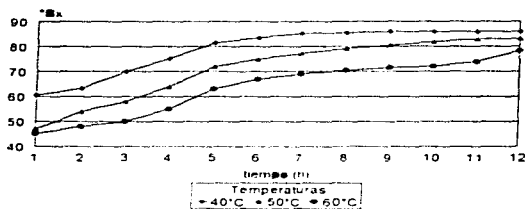
Gráfica 2.1. Comportamiento de la concentración 40%Glucosa-50%Sacarosa a diferentes temperaturas

30%G-60%S



Gráfica 2.2. Comportamiento de la concentración 30%Glucosa-60%Sacarosa a diferentes temperaturas

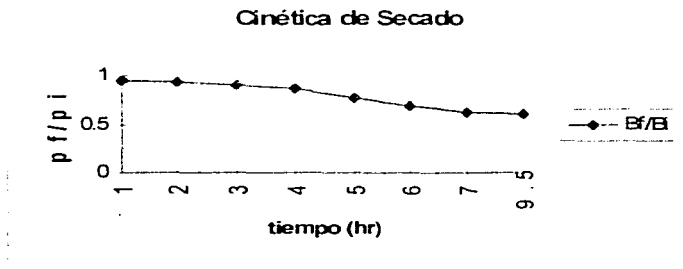
20%G-70%S



Gráfica 2.3. Comportamiento de la concentración 20%Glucosa-70%Sacarosa a diferentes temperaturas

b. Secado osmótico

A partir de los resultados obtenidos se puede establecer que por medio de la diferencia de peso del producto es otra forma de obtener los parámetros de eliminación del agua en un proceso de deshidratación osmótica sin calcular los sólidos solubles presentes considerando la cinética de deshidratación. En la gráfica 2.4 se puede observar que a 0.600 gramos y en tiempo de 10 hrs se alcanza el equilibrio en cuanto a pérdida de humedad.



Gráfica 2.4. Cinética de Secado

c. Determinación de coeficientes de difusión para la absorción de azúcar

Una vez obtenidas las cinéticas de absorción de azúcar variando las diferentes temperaturas (40, 50 y 60°C) y las concentraciones de azúcar (40G-50S, 30G-60S, 20G-70S) y con ayuda de los gráficos de difusión en estado no estacionario para una esfera y cubo (ver anexo 3), los cuales suponen una difusividad constante, concentración uniforme inicial dentro del sólido y

concentración constante a los lados se determinaron los valores que se muestran en los cuadros 7 1 y 7 2

tamaño 1 (fresa en cubos)

temperatura	40G-50S		30G-60S		20G-70S	
°C	°Bx (hr)	$D \times 10^9 (m^2/s)$	°Bx (hr)	$D \times 10^9 (m^2/s)$	°Bx (hr)	$D \times 10^9 (m^2/s)$
40	83, 12	1 0	86, 8	1 643	86, 3	4 381
50	86, 9	1 460	83, 12	2 0	83, 14	2 0
60	86, 11	1 194	86, 10	1 314	69, 13	1 253

Cuadro 6 1. Difusividades de fresa a diferentes temperaturas y concentraciones para un tamaño de 1 cm³

tamaño 2 (fresa entera)

temperatura	40G-50S		30G-60S		20G-70S	
°C	°Bx (hr)	$D \times 10^9 (m^2/s)$	°Bx (hr)	$D \times 10^9 (m^2/s)$	°Bx (hr)	$D \times 10^9 (m^2/s)$
40	80, 12	2 001	82, 12	2 280	85, 12	7 511

Cuadro 6 2. Difusividades de fresa a diferentes temperaturas y concentraciones para una fresa entera

De los cuadros anteriores se puede establecer que a una temperatura de 40°C y una concentración de 20%Glucosa-70%Sacarosa se obtienen difusividades más altas. Por ello consideramos que estas son las mejores condiciones de operación.

Actividad 2. Determinar las características de calidad del producto para compararlo con el producto comercial.

2.1. Humedad

En el cuadro 7.3 se puede observar una diferencia considerable en el contenido de humedad, pero esto puede ser causado por el escarchamiento con azúcar presente en la fresa comercial. De cualquier forma el 13% obtenido está dentro de lo esperado, para prevenir un ataque por microorganismos.

FRESA	HUMEDAD (%)
Experimental	13.0 s/azúcar
Comercial	5.0 c/azúcar

Cuadro 6.3. Contenido de humedad

2.2. Color

Una vez obtenido el producto final se determinó la luminosidad de las fresas donde se observa que es prácticamente el mismo valor para la comercial y para la experimental por lo cual la luminosidad del color es satisfactoria. Ver cuadro 7.4.

FRESA	LUMINOSIDAD (%)
Experimental	8.23
Comercial	8.07

Cuadro 6.4. Determinación de la luminosidad en fresa

2.3. Textura

La textura determinada por la penetrabilidad nos representa que la fresa experimental es más suave que la comercial, lo cual tendrá una mayor aceptación para los posibles consumidores (Cuadro 7.5)

FRESA	DUREZA (dinas/cm ²)
Experimental	14 058
Comercial	15 890

Cuadro 6.5 Penetrabilidad en fresas

2.4. Microbiología

Se realizó un análisis microbiológico para ver si cumple con los estándares establecidos por la Norma Oficial Mexicana NOM-131-1982 para mermelada de fresa; debido a que no se encontró alguna referente a fruta cristalizada. Se obtuvieron los siguientes resultados (cuadro 7.6)

FRESA EXPERIMENTAL		MERMELADA
coliformes	0 UFC/gr	10 UFC/gr
cuenta total	600 UFC/gr	-----
Hongos y Levaduras	menos 10 UFC/gr	20 UFC/gr

Cuadro 6.6 Comparación del análisis microbiológico entre la fresa cristalizada y la mermelada de fresa

Estos resultados son satisfactorios, por lo cual se puede decir que cumple con la calidad de color, textura, humedad e higiene necesarias para ser comparado con el producto comercial.

Objetivo 3. Determinación de una ecuación de predicción del tiempo de Deshidratación Osmótica

A partir de los resultados anteriormente obtenidos y mediante la alineación de los datos de temperatura y concentración de azúcar se obtuvo una ecuación que predice el tiempo de proceso para cualquier temperatura y concentración de jarabe

$$t = 2.26 (0.02 S - 4.73) T + (211.056 - 0.859 S)$$

donde: S = concentración de sacarosa-glucosa (g/mol)
T = temperatura del jarabe (°C)
t = tiempo de elaboración (h)

Para cubrir el objetivo 4 sobre el planteamiento del diseño del equipo principal de proceso (tanque de cristalización), ver el capítulo 4 Escalamiento del tanque de cristalización de fresa.

CAPITULO 4

ESCALAMIENTO DEL TANQUE DE DESHIDRATACION OSMOTICA DE FRESA.

Una vez conociendo las especificaciones que deben de tener los equipos de proceso (referidos en el capitulo 1) y sus limitaciones se procedió a dimensionar el tanque de cristalización con las limitaciones sugeridas por el Código ASME obteniendose los siguientes resultados

4.1. Elección de la base de cálculo

La base de cálculo propuesta fue de 1000 kg de fresa por día y ésta influirá directamente en el tamaño del equipo, como el tiempo de proceso consta de 12 horas de cristalizado y 4 horas de secado se establecieron 16 de proceso que corresponderán a 2 turnos por día

4.2. Dimensionamiento del tanque de deshidratación osmótica

Tomando como base los 1000 kg de fresa y mediante un análisis de diámetro de partícula con intervalos de confianza del mismo, se puede establecer que las fresas a deshidratar tendrán un tamaño entre 1.8 y 3.0 cm por espesor, por lo que el volumen a ocupar con el tamaño máximo será de 14.13 cm^3 por fresa (siendo considerada como esfera) y conociendo que 1 kg tiene como máximo 40 fresas de estas dimensiones el volumen total será de 0.565 m^3 .

La forma seleccionada del equipo fue de fondo plano como lo muestra la figura 7 y después se diseñó la parte del drenaje que solo contiene jarabe.

Utilizando la ecuación del volumen para un cilindro (4.1) se encontró que:

$$v = \frac{\pi}{4} d^2 h \quad (4.1)$$

donde h = altura del tanque
 d = diámetro del tanque

Tomando como base una altura de 0.06 m que es la altura del doble de una fresa debido a que puede existir que las fresas queden una encima de la otra, y un diámetro de 5 m se obtuvo un volumen de 1.178 m³ del cual sólo 0.565 m³ corresponden a la fresa y el resto es el jarabe que las cubre.

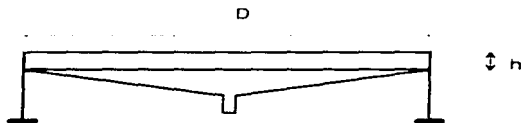


Figura 6. Forma seleccionada del tanque de deshidratación osmótica

La parte del drenaje se calculó por medio de la ecuación (4.2) que es el volumen para un cono trunco.

$$r = \frac{11}{12} h (D^2 + Dd + d^2) \text{ ----- (4 2)}$$

y utilizando una altura de 0.025 m y un diámetro inferior (d) de 0.05 m se obtuvo un volumen de 0.149 m³ que serán ocupados también por el jarabe

4.3. Determinación del espesor del cuerpo.

$$E_s = \frac{P (D_i)}{2(S_t E - 0.1 P)} \text{ ----- (4 3)}$$

Donde. P = Presión de diseño (lb/pulg²)
 D_i = Diámetro interno (m)
 S_t = Esfuerzo de trabajo (lb/pulg²)
 E = Eficiencia de la soldadura
 E_s = Espesor (pulg)

Datos: Esfuerzo a temperatura atmosférica = 13800 Psig (920 atm)
 Presión de diseño = P_o + 30 Psig = 45.06 Psig (3 atm)
 Eficiencia de la soldadura = 0.85
 D_i = 1.048 m = 41.26 Pulgadas

Referencia: Código ASME

Por lo tanto: $E_s = \frac{45 (41.26)}{13800 (0.85) - 0.1 (45)} = 0.158 \text{ Pulg}$

$$0.158 < 0.200" (1/5")$$

4.3.1. Determinación del calor requerido para la deshidratación osmótica de fresas

Para llevar a cabo la deshidratación osmótica es necesario cierta energía debido a que esta se realiza a 40°C y esta temperatura debe ser constante. Se calculó la masa de vapor requerida con el fin de conocer como repercutirá en los costos de producción.

A continuación se calculó el calor necesario para llevar el jarabe desde la temperatura ambiente a 40°C y mantenerlo a esta temperatura.

$$a) \quad Q = m C_p \Delta T \text{ ----- (4.5)}$$

Donde: m = Masa de jarabe (kg)

C_p = Capacidad calorífica del jarabe (kcal/kg °C)

ΔT = Diferencia de temperaturas (°C)

La cantidad de jarabe a emplear para una tonelada de fresas es de 708.64 kg.

$$\text{Por lo tanto } Q = 200,657.22 \text{ kcal}$$

b) El calor requerido para llevar las fresas de la temperatura ambiente a la de cristalización será: (Utilizando la ecuación 4.5)

$$Q = 283,158.19 \text{ kcal}$$

c) Para calcular el calor transmitido durante la cristalización se aplica la ecuación 4.6

$$Q = UA \Delta T \text{ ----- (4.6)}$$

Donde: U = Coeficiente global de transferencia de calor (kcal/hr m²C)
 A = Area de transferencia de calor (m²)
 ΔT = Diferencia de temperaturas del jarabe y la fresa (°C)

Utilizando una $U = 400$ kcal /hr m²C reportada por Kern como típico para vapor en la chaqueta usando como material acero inoxidable y determinando el Área que ocupa la chaqueta con la ecuación 4.7

$$A = A_{uc} + A_e \text{ ----- (4.7)}$$

Donde: A_{uc} = Area útil del cuerpo
 A_e = Area del cilindro

$$A = 2\pi rh$$

$$A = 0.9817 \text{ m}^2$$

Se obtiene que: $Q = 5890.48 \text{ kcal / h}$

Y considerando que el tiempo de cristalización será de 12 horas Q será igual a 70685.854 Kcal/día.

Una vez realizados los cálculos anteriores, se obtuvo que el tanque de cristalizado para este caso, tiene las siguientes especificaciones:

masa	1. 000 kg
volumen fresa	0 565 m ³
volumen de jarabe	0 75209 m ³
radio	2 5 m
altura	0 0625 m
espesor	1/5"
calor total	554.501 17 kcal

Cuadro 7. Especificaciones del equipo de deshidratación osmótica de fresa

CONCLUSIONES

Con la concentración 20 glucosa-70 sacarosa y la temperatura de 40°C se obtuvo un tiempo de proceso de 12 horas, disminuyendo el tiempo de elaboración del producto comercial 8 horas del que se tiene originalmente.

Las características del producto obtenido son semejantes a las del producto comercial de acuerdo con las pruebas de calidad realizadas, por lo que el producto puede competir en el mercado, además de que cumple con los estándares microbiológicos de acuerdo con la Norma Mexicana NOM-F-131-1982.

De la ecuación obtenida diremos que, podemos obtener el tiempo de proceso que la fresa deshidratada a partir de la concentración de jarabe que se desee y de la temperatura emplear, lo que es bastante útil para el productor ya que se verá beneficiado en costos y tiempo. Y a su vez si el tiempo está ya establecido bien se podrá obtener ya sea la temperatura o concentración de jarabe necesarios para un buen procesamiento de la fresa.

El recipiente diseñado permitirá obtener un mejor producto en menor tiempo y con características de calidad competitivas con el producto comercial.

Considerando los resultados obtenidos, concluimos que se disminuyó no sólo el tiempo de operación sino los costos de proceso y que se obtiene un producto semejante al comercial, por lo cual el producto cumple con las expectativas iniciales.

BIBLIOGRAFIA

1. Acea P E. *Tecnología de las conservas de frutas y vegetales*. Editorial Pueblo y Educación, 1988, 31-47
2. Alzamora S M., Tapia M S., Argaiiz A., Welli J. *Application of combined methods technology in minimally processed fruits*. Food Research International, 26, 1993, 125-130
3. Ander Paul. *Principios de Química*. Editorial Limusa
4. Anónimo. INEGI. *Anuario Estadístico de los Estados Unidos Mexicanos*. 1994
5. Anónimo. Confederación Nacional de Productos de Hortalizas. *Exportación de Hortalizas y frutas frescas controladas, por productos de temporada*. 1979-1982
6. Anónimo. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos-Banco de comercio exterior. *Competitividad internacional y sensibilidad comercial. Fresa*. Diciembre, 1990
7. Anónimo. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. *NOM-FF-62-1987. Fruta fresca-Fresa (Fragaria vesca)-Especificaciones*. 1987
8. Azuara E., Garcia H S., Berstain C I. *Effect of the centrifugal force on osmotic dehydration of potatoes and apples*. Food Research International, 29, 2, 1996, 195-199.
9. Badui, D S. *Diccionario de tecnología de los alimentos*. Editorial Alambra, México, 1988
10. Baquero. *Equipo para la Industria Química y Alimentaria*. 1985, 187-255.
11. Billmeyer W F., Saltzma M. *Principles of color technology*. Interscience Publishers
12. Braverman J B.S. *Bioquímica de los Alimentos*. Editorial El Manual Moderno, México, 1980 88-91.
13. Brennan J G. *Las Operaciones de la Ingeniería de los Alimentos*. Editorial Acribia, España, 1980.

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

- 14 Brownell L I E , Edwing H Y *Process Equipment Desing* Editorial John Wiles and sons, New York, 1979
- 15 Carballo G B M , Gaytán M L E *Elaboración de mermeladas* Editorial Alimentaria, SEP, 1988, 19-22
- 16 Carrera Rivapalacios Patricia *Estudio del transporte simultaneo de calor y masa en el secado por asperción*, 1994
- 17 Contreras J M and Smyrl T C *An evaluation of osmotic concentration of apple ring using corn syrup solid solution*, Cant Inst Food Sci Tech., 14, 310, 1981
- 18 Dixon G M and Jen J J *Changes of sugar and acid of osmovac dried apples slices*, J Food Sci., 42, 1977, 1126-1131
- 19 Domínguez J A *Química Orgánica* Editorial Limusa, 2ª edición, México, 1987, 336-333
- 20 Genakoplis C *Procesos de transporte y operaciones unitarias* Editorial CECSA, México, 1991
- 21 González A M , Barbosa-cánovas G V , Cavareli R P *Mass transfer and textural changes during processing of apples by combined methods*, J Food Sci., 58, 5, 1993, 255-256
- 22 Gross Jeana *Pigments in fruits*, Academic Press, London, 1987
- 23 Hawkes J., Flink J M *Osmotic concentration of fruits slices prior to freeze dehydration*, Journal of Food Processing Preservation 2, 1978, 265-284.
- 24 Hayes, *Food engineering data handbook*, USA, 1987.
- 25 Hulme, *The biochemistry of fruits and their products*, Academic Press, London, vol.2, 2ª edición, 1974, 378-403
- 26 Lancerca A *Industrialización casera de frutas y hortalizas* Editorial Albatros, Argentina, 1978.
- 27 Lenz del Río A *Química Orgánica* Editorial Patria, México, 1985, 297-301, 306-309
- 28 Lerichi C R., Pinnavaia G , Dallarosa M , Bartolucci L *Osmotic dehydration of fruit: influence of osmotic agents on drying behavior and product quality*, J. Food Sci., 50, 1985, 1217-1219.

- 29 Lewis M J *Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas de procesado* Editorial Acribia España, 1993
- 30 Lunderman V A y Moore J L *Inheritance of ascorbic acid content and color intensity in fruits of strawberry* J Am Soc Hort Sci. 100, 1975, 633-636
- 31 McCabe *Operaciones básicas de Ingeniería Química* Editorial Reverte España, 1981
- 32 Muller H G *Introducción a la tecnología de los alimentos* Editorial Acribia España 1977
- 33 Nanjundaswamy A M Radhakrishnaiahsetty G Balachandran C Saroja S . Maurthyreddy K B S *Studies of development of new categories of dehydrated product from indigenous fruits* Indian Food Packer 22, 1978, 91-93
- 34 Norma Oficial Mexicana NOM-F-131-1982 *Alimentos para humanos-Frutas y Derivados-Mermelada de fresa* Secretaria de Patrimonio y Fomento Industrial
- 35 Norma Oficial Mexicana de Hornos (D G N -X-339-1972)
- 36 Palou E., López Malo A., Argáiz A., Welti J *Osmotic dehydration of papaya. Effect of syrup concentration* Rev Es Cienc Tecnol Aliment. 33, 6, 1993
- 37 Perry *Manual del Ingeniero Químico* Editorial McGraw-Hill, México, 1993
- 38 Pomeroy and Meloan *Food analysis theory and practice* Editorial AVI, 2ª edición, 1987, 19-22.
- 39 Ponting J. D. *Osmotic dehydration of fruits recent modification and applications.* Process of Biochemistry, 8, 12, 1973, 18-20
- 40 Ramírez Ortiz María Eugenia. *Manual de elaboración del colorímetro Minolta CR-300.* FES-C, UNAM, Mayo 1996
- 41 Rastogi N.K and Raghavarao K S M S *Kinetic of osmotic dehydration of coconut.* Journal of Food Process Engineering, 18, 1995, 187-197.
- 42 Remi S., Raoult-Wack A., et al *Mass transfer phenomena during osmotic dehydration of apple II. Frozen plant tissue.* International Journal of Food Science and Technology, 29, 1994, 543-550.
- 43 Ryall and Pentzer *Handling, transportation and storage of fruits and vegetables.* Editorial AVI, 2ª edición, vol 2, USA, 1982.

- 44 Scott D H., Lawrence F S., and Darrow G M. *Varietades de la fresa*. Depto. de agricultura de EUN. Centro regional de ayuda técnica. Agencia para el desarrollo internacional, México. Buenos Aires. 1974
- 45 SEP. *Manuales para educación agropecuaria*. Editorial Trillas, México. 1983 9-16
- 46 Chewfelt R L. and Stanley P C. *Postharvest handling*. Interscience Publisher New York, 1968
- 47 Sistrunk W A. and Moore J N. *Assessment of strawberries quality-fresh and frozen*. Food Technology 21, 1967 449-453
- 48 Sistrunk W A. and Moore J N. *Evaluation of new strawberries selection and cultivars for processing*. Bull-Arkansas Agric Exp Stn., Bull. 701, 1971
- 49 Sistrunk W A. and Moore J N. *Strawberries quality studies in relation to new variety development*. Arkansas Farm Res., 1979 21(1):7
- 50 Treybal R C. *Operaciones de Transferencia de Masa*. Editorial McGraw-Hill, México, 1980, 101-110
51. Torregiani Danila. *Osmotic dehydration in fruits and vegetables processing*. Food Research International, 26, 1993, 59-68
52. Yahia, et al. *Fisiología y Tecnología postcosecha de productos hortícolas*. Editorial Limusa, México, 1992.
53. Zazueta M.J.J., Quintero R.A., Silveira G.M., Yahia E.H. *Deshidratación osmótica de hojuelas de mango como pretratamiento al deshidratado con aire caliente*. Tecnología Alimentaria, 29, 5-6, 1994, 27-33.

ANEXOS

ANEXO I. EQUIPO DE MEDICION DE COLOR

En la prueba de color se utilizó un Colorímetro Minolta CR-300 como el que se muestra en la figura. La medición se realizó directamente sobre el tejido de la fresa en la parte central de la misma principalmente.

El colorímetro fue calibrado con la placa CR-A43, que tiene los valores de $Y=97.7$, $x=0.3136$, $y=0.3201$, la medición que se obtuvo fue Luminosidad (%).

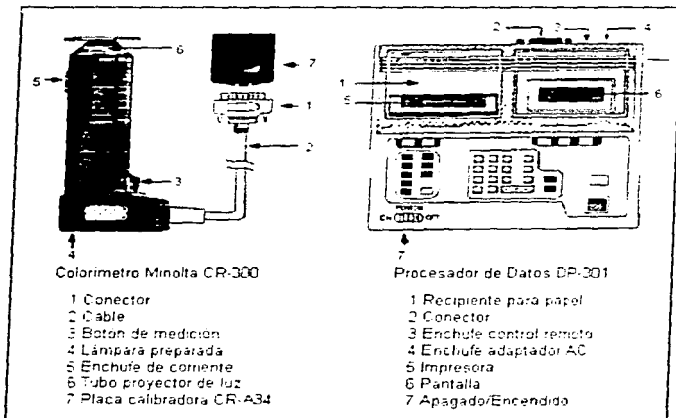


Figura 7. Colorímetro y procesador de datos Minolta

ANEXO II. EQUIPO DE MEDICION DE TEXTURA

La textura de los frutos individuales se midió mediante la prueba de penetración, para ello se empleó un penetrometro Norridge 60655, marca Humboldt MFG Co (Figura 10), con una vaina cilíndrica de acero inoxidable de 3.2 mm de diámetro, la deformación se midió con un indicador Mitutoyo 7052F y una base magnética 70115 (figura 9)

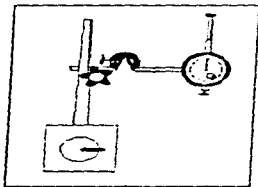


Figura 8. Indicador de un diamante Mitutoyo No 2052F con base magnética

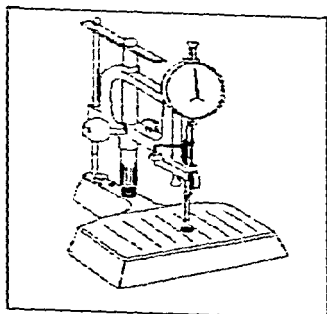


Figura 9 Penetrometro Humboldt

ANEXO III. PROPIEDADES DE LOS JARABES

DENSIDADES

Concentración de Jarabe (°Bx)	Densidad (g/mL)
20 Glucosa - 70 Sacarosa	1 0919
30 Glucosa - 60 Sacarosa	1 1076
40 Glucosa - 50 Sacarosa	1 1090

PESOS MOLECULARES

Azúcar	Peso Molecular	20G - 70S	30G - 60S	40G - 50S
Glucosa	180	-----	-----	-----
Sacarosa	342	-----	-----	-----
G - S	261	275 4	259 2	251 64

CONCENTRACIONES DEL JARABE

(g/mol)

SACAROSA	GLUCOSA	g/mol
70	20	279 4
60	30	259 2
50	40	243 0

CAPACIDADES CALORIFICAS

jarabe	0 987 kcal / kg °C
fresa	3 978 kcal / kg °C

Referencia: Hayes, 1987

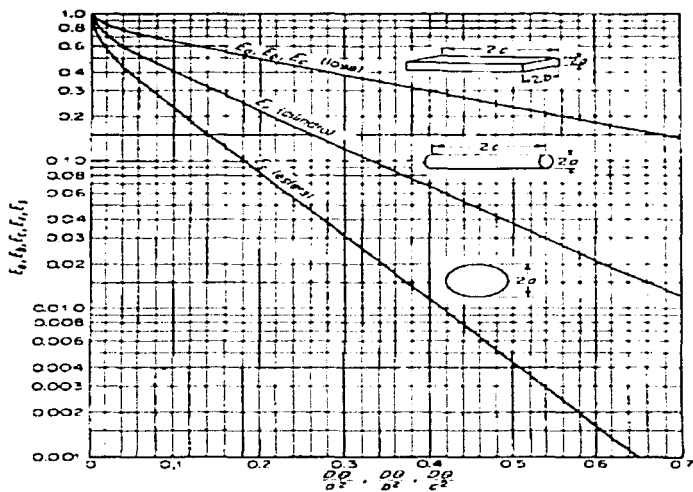
ANEXO IV. OBTENCION DEL COEFICIENTE DE DIFUSION

Para la obtención de los coeficientes de difusión se utilizó el gráfico de difusión en estado no estacionario (Treybal 1988), a partir de los valores de cantidad de soluto no eliminada (E) y tomando en cuenta a la fresa como una esfera, se obtuvieron los coeficientes de difusión como se muestra en el siguiente ejemplo

1 De datos experimentales se obtuvo el valor de $E = 0.005$. Utilizando la gráfica siguiente, se obtiene

$$\frac{D(t)}{a^2} = 0.92 \text{ en donde } D \text{ es la difusividad}$$

$$D = \frac{0.45 (1.69 \times 10^{-4})}{36000 \text{ S}} = 2.29 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$$



Gráfica 3. Difusión en estado no estacionario para cilindro, placa y esfera

ANEXO V. NOMENCLATURA

ΔT = Diferencia de temperaturas ($^{\circ}\text{C}$)

A = Área de transferencia de calor (m^2)

a = diámetro de la esfera (m)

Ae = Área de la elipse

Auc = Área útil del cuerpo

C = concentración total de A y B (mol Kg A+B/m³)

C* = concentración de soluto en equilibrio (mol/m³)

C_i = concentración de soluto inicial en la fresa (mol/m³)

C_t = concentración de soluto a un tiempo t (mol/m³)

C_p = Capacidad calorífica del jarabe (kcal/kg $^{\circ}\text{C}$)

D = coeficiente de difusión (m^2/s)

D_i = Diámetro interno (m)

E = Eficiencia de la soldadura

E_s = Espesor (pulg)

F = factor del gráfico de difusión para esfera

G = concentración de glucosa

$^{\circ}\text{Bx}$ = grados Brix

h = altura del tanque (m)

m = Masa de jarabe (kg)

P = Presión de diseño (lb/pulg)

P_o = presión de operación

r = radio del tanque (m)

r_c = radio interno

S = concentración de sacarosa

St = Esfuerzo de trabajo (lb/pulg²)

T = temperatura del jarabe (°C)

t = tiempo de la concentración de soluto alcanzada (s)

t = tiempo de elaboración (s)

t_h = altura

U = Coeficiente global de transferencia de calor (kcal/hr m²°C)

x_A = fracción mol de A en la mezcla A y B

z = dirección normal al flujo