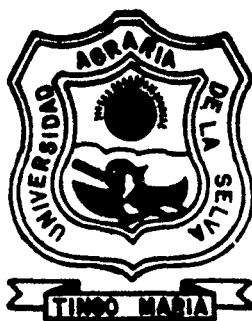


UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Facultad de Industrias Alimentarias
Departamento Académico de Ciencia, Tecnología e
Ingeniería de Alimentos



Simulación Computarizada de la Estabilidad en
Almacenamiento de papaya (Carica papaya L.)
osmodeshidratada

Tesis para optar el Título de
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Luis Alberto Condezo Hoyos

Tingo María - Perú

1995



Universidad Nacional Agraria de la Selva

TINGO MARIA

FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

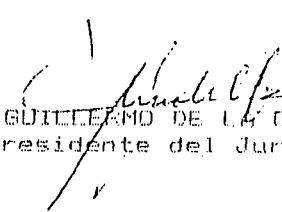
ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

Los miembros de jurado que suscriben, reunidos en acto público el día viernes 15 de setiembre de 1975, a horas 6:35 p.m. en la Sala de Grados de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, ubicada en Tingo María, Provincia de Leoncio Prado, Departamento de Huánuco, para calificar la tesis presentada por el Bachiller en Ciencias Industrias Alimentarias: Luis Alberto CONDEZO HOYOS, con el título:

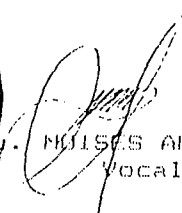
"SIMULACION COMPUTARIZADA DE LA ESTABILIDAD EN
ALMACENAMIENTO DE PAPAYA (Carica papaya L.)
OSMODESHIDRATADA"

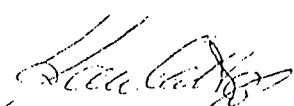
Después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las preguntas formuladas, la declaran aprobada con el calificativo de MUY BUENO. En consecuencia, el Bachiller Luis Alberto CONDEZO HOYOS, queda apto para recibir el título de INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS, del Consejo Universitario, de conformidad con el art. 22 de la Ley Orgánica de la Universidad Peruana 23733; con los arts. 43 y 45 del Estatuto de la Universidad Nacional Agraria de la Selva; con los arts. 95 y 96 del Reglamento General de la UNAS.

Tingo María, 19 de setiembre de 1975.


Ing. GUILLERMO DE LA CRUZ C.
Presidente del Jurado




Ing. MILIS ARMAS INGA
Vocal


Ing. LAURIANO ZAVALETA DE LA CRUZ
Patrocinador

DEDICATORIA

Con cariño y amor
A MIS PADRES :
WENCESLAO Y OFELIA

A MIS ABUELOS :
GRACIELA Y FRANCISCO.

A LA MEMORIA DE
MIS QUERIDOS ABUELOS :
JULIO Y LUISA

A MIS HERMANOS :
GRACIELA, YORSY,
MARIBEL, OLENKA,
SALVIT, WENCESLAO,
HUGO, PATRICIA Y
JULIO.

A MIRIAM
Con mucho
aprecio y respeto.

A MIS TIOS :
ARTURO, SEGUNDO.
FLOR, DONY, NEITH.
RENE, ROBERTO, JORGE.

AGRADECIMIENTO

Al Ing.Qco. LAUREANO ZAVALA DE LA CRUZ, patrocinador del presente trabajo de investigación.

A la Blga.MSc. MARGARITA ALCEDO ROMERO, por su amistad, consejos y apoyo desinteresado en el desarrollo del presente trabajo de investigación.

A los Ing. WILLIAMS ROLDAN CARBAJAL y WALTER BERNUY BLANCO, por sus consejos, apoyo, y enseñanzas durante mi formación profesional.

Al Ing. PEDRO PELAEZ SANCHEZ, por su apoyo intelectual al inicio de la ejecución del trabajo de investigación.

Al Ing. DAMIAN MANAYAY, por haber despertado en mi un espíritu batallador y por sus grandes enseñanzas.

Al CONCYTEC, por su apoyo económico para la realización del presente trabajo de investigación.

A la familia CAJAHUANCA ROSALES, a DARIO, EMILIANA, YANETH, OLINDO y ZORAIMA, por su invaluable apoyo en los momentos difíciles de mi formación.

A la familia POTOVAR. por el apoyo brindado en la obtención de la materia prima, usada en el trabajo de investigación.

A mi amiga Bach. FELICITAS PAJUELO TICERAN, por su apoyo desinteresado en la impresión de los volúmenes.

A todos mis colegas, amigos y amigas que día a día luchan por un futuro mejor.

INDICE GENERAL

	<u>Pag</u>
I. INTRODUCCION	1
II. REVISION DE LITERATURA	3
A. De la materia prima : Papaya	3
1. Clasificación y Características Botánica	3
2. Zonas de Producción	4
3. Composición Química	5
B. Deshidratación Osmótica de Frutas	6
C. Aspectos Generales sobre Carotenoides	8
1. Estructura Química y Nomenclatura	8
2. Clasificación	10
a. Carotenos	11
b. Xantófilas	11
3. Propiedades Físicas, Químicas y Nutricionales	12
a. Propiedades Físicas	12
b. Propiedades Químicas	13
c. Propiedades Nutricionales	13
4. Composición de Carotenoides en Frutas	14
a. Niveles insignificantes de carotenoides	15
b. Cantidades pequeñas principalmente de carotenoides cloroplastos	15
c. Cantidades considerables de licopeno y sus precursores	15
d. Predominancia de β -caroteno y sus derivados hidroxi	16
e. Grandes cantidades de epóxidos	16
f. Preponderancia de carotenoides no comunes o especies específicas	16

	<u>Pag.</u>
g. Cantidades sustanciales de carotenoides poli-cis	17
h. Niveles significativos de apocarotenoides	17
5. Factores que influyen en la Composición de Carotenoides	18
a. Diferencias de Cultivos y Variedades	18
b. Estado de madurez	18
c. Efectos Climáticos y Geográficos	19
d. Efecto de Agroquímicos	20
6. Mecanismo de Degradación de Carotenoides	20
7. Estabilidad de los Carotenoides durante el almacenamiento de Alimentos	22
a. Factores que afectan la degradación de Carotenoides	22
1. Naturaleza del Sistema	22
2. Oxígeno	22
3. Contenido de humedad/Actividad de agua	23
4. Luz	25
5. Temperatura	26
6. Antioxidantes y Prooxidantes	26
7. Sulfitos	27
8. Otros factores	28
D. Construcción de Modelos Matemáticos de Cinética	29
E. Simulación de la pérdida de Nutrientes en los Alimentos	32
F. Isotermas de Sorción de Agua en Alimentos	35
1. Isotermas de Sorción	35
2. Zonas en las Isotermas	36
a. Zona I	36

	Pag
b. Zona II	36
c. Zona III	37
3. Tipos de Isotermas en Alimentos	37
4. Influencia de la Temperatura en las Isotermas de Sorción	38
5. Modelos Matemáticos de Sorción	40
a. Modelo de Guggenheim, Anderson y de Boer (G.A.B)	40
b. Modelo de Iglesias y Chirife	41
c. Modelo de Henderson	42
d. Modelo de Henderson y Thompson	42
e. Modelo de Halsey Modificado	43
f. Modelo de Chung y Pfof	43
g. Modelo de Chen y Clayton	44
6. Alimentos de Humedad Intermedia	45
III. MATERIALES Y METODOS	46
A. Lugares de Ejecución	46
B. Materiales y Equipos	46
1. Materia Prima	46
2. Insumos	46
3. Reactivos	47
4. Equipos	47
C. Métodos de Análisis	49
1. Análisis Químico	49
a. Análisis químico proximal	49
b. Determinación de Vitamina C	49
c. Determinación de Componentes Minerales	49
d. Determinación de la Actividad peroxidásica	49

	<u>Pag.</u>
e. Determinación de Azúcares reductores y Totales	50
f. Determinación del Contenido de Carotenoides Totales.	50
2. Análisis fisicoquímico	51
a. Determinación de pH, sólidos solubles y acidez titulable	51
b. Determinación de las Isotermas de Adsorción	51
3. Análisis físicos	53
a. Determinación de las medidas biométricas	53
b. Determinación de la viscosidad relativa	53
D. Procedimiento para la obtención de papaya osmodeshidratada	53
1. Selección	55
2. Lavado	55
3. Pelado, Cortado y Despepitado	55
4. Trozado	55
5. Blanqueado	56
6. Proceso Osmótico	56
7. Enjuagado y escurrido	56
8. Tratamiento con preservante Químico	56
9. Deshidratado	57
10. Envasado	57
11. Almacenamiento	57

	<u>Pag</u>
E. Adecuación del Método espectrofotométrico de determinación del contenido de carotenoides totales en papaya osmodeshidratada	58
1. Determinación del Solvente y la Longitud de Onda de Máxima absorbancia	58
2. Determinación del tiempo de lixiviación de Carotenoides de muestras de papaya Osmodeshidratada	58
3. Determinación de la Interferencia causada por los azúcares reductores presentes en el extracto de carotenoides	58
F. Metodología para obtener el Modelo de Simulación de Degradación de Carotenoides en papaya Osmodeshidratada	60
1. Determinación de la Actividad de agua	61
2. Determinación de la variación y de la constante de Degradación de Carotenoides (KDC)	61
3. Determinación del contenido crítico de Carotenoides	62
4. Determinación del Modelo Matemático de Cinética de degradación de Carotenoides en Papaya Osmodeshidratada	63
a. Análisis de Varianza	64
b. Coeficiente de Determinación	65
c. Determinación del porcentaje de error medio relativo (%EMR)	65
5. Simulación	66
6. Validación	70

	<u>Paq.</u>
IV. RESULTADOS Y DISCUSION	71
A. Obtención de la papaya Osmodeshidratada	71
1. Caracterización Química, Fisicoquímica y Física y de la materia prima	71
2. Blanqueado	73
3. Proceso Osmótico	75
a. Pruebas Preliminares	75
b. Proceso Osmótico definitivo	81
4. Deshidratación	83
B. Adecuación del Método espectrofotométrico de determinación del contenido de carotenoides totales en papaya osmodeshidratada	94
1. Determinación del Solvente y la Longitud de Onda de Máxima Absorbancia	94
2. Determinación del tiempo de lixiviación de Carotenoides totales de muestras de papaya Osmodeshidratada	101
3. Determinación de la interferencia de azúcares reductores en el extracto etanólico de Carotenoides	106
C. Obtención del Modelo de Simulación de Degradación de Carotenoides en papaya Osmodeshidratada	108
1. Determinación de las Isotermas de Adsorción-Actividad de agua	108
2. Determinación de la variación y de la constante de Degradación de Carotenoides (KDC)	127
3. Determinación del contenido crítico de Carotenoides	133

	<u>Pag.</u>
4. Determinación del Modelo Matemático de Cinética de Degradación de Carotenoides en Papaya Osmodeshidratada	136
5. Simulación	139
6. Validación	140
a. Control de peso	140
b. Control experimental del Contenido de carotenoides	140
c. Cálculo de porcentaje de error	141
V. CONCLUSIONES	142
VI. RECOMENDACIONES	144
VII. RESUMEN	145
VIII. BIBLIOGRAFIA	147
IX. ANEXOS	156

I N T R O D U C C I O N

En los últimos años, el desarrollo de alimentos de humedad intermedia ha aumentado, siendo importante su consumo en lugares donde las posibilidades de refrigeración y tratamiento térmico son inadecuadas.

Un aspecto de extremada importancia de los alimentos de humedad intermedia es su estabilidad en almacenamiento, que puede definirse en función de sus características organolépticas, fisicoquímicas, químicas o microbiológicas; tales como la retención de sabor, color, vitaminas u otro nutriente o el aumento de productos de descomposición.

La papaya (Carica papaya L.) osmodeshidratada por sus características de actividad de agua, representa un alimento de humedad intermedia y como tal es importante conocer su cinética de pérdida de calidad, durante el almacenamiento, que permita predecir su vida útil.

Debido a las diversas funciones de los carotenoides: como la de contribuir en la calidad organoléptica, la actividad provitamina A de algunos de ellos y sus propiedades antioxidantes; hace que sea considerado como indicador de calidad y su degradación, como tiempo de vida útil de los alimentos.

La estabilidad de los carotenoides presentes en alimentos depende de varios factores, tales como: la actividad de agua del producto y la temperatura de almacenamiento.

Los aspectos antes mencionados obligó a establecer los siguientes objetivos materia de la presente investigación:

- Generar un Modelo Matemático de Cinética que describa la degradación de carotenoides en papaya osmodeshidratada almacenadas en bolsas de polietileno; en función de la temperatura de almacenamiento y de la actividad de agua del producto.

- Diseñar y validar un Modelo de Simulación computarizado de degradación de carotenoides que permita predecir la estabilidad y la vida útil de la papaya osmodeshidratada, bajo diferentes condiciones estáticas de almacenamiento.

II. REVISIÓN DE LITERATURA.

A. De la materia prima : Papaya

1. Clasificación y Características Botánica.

Según CALZADA (9), el papayo cuyo nombre científico es Carica papaya L. tiene la siguiente clasificación Taxonómica:

Clase : Dicotiledónea.
Sub-clase : Arquiclaroidea.
Género : Carica.
Especie : papaya.

LEON (26), menciona que el papayo es una hierba gigantesca, que alcanza de 8 a 10 metros de altura, y se forma de un eje central o vástago que lleva al final un penacho de hojas grandes. Por lo general el tronco no se ramifica y su punto apical crece continuamente, alargando el tallo y formando nuevas hojas.

El fruto varía, en forma, desde completamente esférico hasta casi cilíndrico, y en peso desde 1/2 Kg hasta 5 Kg. Consta de la siguientes partes:

- Pericarpo.- Rodea la cavidad en que están contenidas las semillas.

- La epidermis.- Constituido por una capa de células isodiamétricas transparentes y de paredes fuertes, con muchos estomas.
- Parénquima.- Contiene los cloroplastos, que en la madurez se tornan amarillo claro.

2. Zonas de Producción.

En el cuadro 1, se muestran las zonas de producción (por distrito) de papaya en el Alto Huallaga; indicándose además la producción Nacional.

Cuadro 1. Producción de papaya por Distritos Ambito PEAH y Total Nacional.

Distritos	Producción (Toneladas Métricas)
Rupa Rupa	1 506
Daniel A. Robles	215
Hermilio Valdizán	158
J. Crespo y Castillo	643
Padre Felipe Luyando	652
M. Dámaso Beraún	407
Monzón	124
Cholón (Morada)	57
Tocache	82
Nuevo Progreso	180
Pólvora	41
Shunté	17
Uchiza	40
Campanilla	31
TOTAL Ambito PEAH.	4 513
TOTAL Nacional	65 200

Fuente: Compendio Estadístico Agropecuario del Alto Huallaga. Ministerio de Agricultura. Oficina de Información Agraria. 1992.

3. Composición Química.

La composición química de la parte comestible del fruto puede observarse en el cuadro 2.

Cuadro 2. Composición Química de 100 gr de parte comestible de papaya.

COMPONENTES MAYORES :	gr
- Calorías	32,00
- Agua	90,80
- Proteínas	0,40
- Carbohidratos	8,20
MINERALES :	mg
- Calcio	23,00
- Fósforo	14,00
- Hierro	0,30
VITAMINAS :	mg
- Tiamina	0,03
- Riboflavina	0,07
- Niacina	0,41
- Acido ascórbico reducido	47,70

Fuente: Fundamentos Bioquímicos, Fisiológicos y Clínicos.

Ministerio de Salud. Instituto de Nutrición.

En el cuadro 3, se observa la composición media en carotenoides de papaya madura.

Cuadro 3. Composición en carotenoides de papaya madura, porción comestible.

Componentes	Composición media de carotenoides (µg/gr)
β-caroteno	1,2
γ-caroteno	0,8
β-zeacaroteno	0,1
β-criptoxantina-5,6-epoxido	2,0
β-criptoxantina	8,1
Criptoflavina	0,8

Fuente: Curso Latinoamericano de Carotenoides en Alimentos UNICAMP. Brasil (1993)

B. Deshidratación Osmótica de Frutas.

Según LERICE et al. (27), la deshidratación osmótica es un proceso de remoción de agua que consiste en colocar alimentos, tales como piezas de frutas, en una solución hipertónica. Debido a que esta solución tiene alta presión osmótica y baja actividad de agua (A_w), la fuerza de remoción de agua aumenta entre la solución y el alimento, actuando la pared celular como una membrana "semipermeable".

BOLIN et. al (7), mencionan que uno de los medios más eficientes de energía para remover humedad de piezas de

alimentos es por ósmosis. Algunas otras ventajas de la ósmosis directa, en comparación con otros procesos de secado; incluyen la minimización del daño del color y del flavor por efectos del calor y la poca alteración de la fruta por pardeamiento enzimático oxidativo excluyendo el uso de dióxido de azufre, LERICE et. al (27).

En el mismo estudio LERICE et. al. (27), observaron que la disminución de peso en frutas osmodeshidratadas se incrementa con la concentración de soluto en la solución osmótica, tiempo de inmersión, temperatura, razón solución/alimento, área superficial específica del alimento y por el uso de sistema bajo presión. La dimensión molecular del monosacárido empleando en la solución osmótica influye en la difusividad, siendo mayor cuando menor es el tamaño molecular BOLIN et. al. (7) y CHANDRA-SEKARAN y KING citado por LERICE et. al. (27).

Según BOLIN et. al (7), los productos de humedad intermedia han sido producidos por inmersión de la fruta en una solución de sacarosa de 70°Bx para reducir su peso a un 50%.

SANCHEZ citado por FERNANDEZ (14), indica que para una adecuada deshidratación por ósmosis, los trozos de fruta blanqueados, deben ser inmersos en una solución azucarada con concentraciones superiores a 50° Brix, al terminar el proceso de deshidratación los trozos de fruta

se lavan por inmersión en agua fría durante 25-30 segundos con la finalidad de eliminar la película residual de jarabe.

SCHWARTZBERG citado por FERNANDEZ (14), recomienda que para evitar el encogimiento, debido a la ósmosis, se debe realizar un aumento progresivo de la concentración del jarabe, dejando la fruta en la solución azucarada por un tiempo suficiente que permita alcanzar el equilibrio

C. Aspectos Generales sobre Carotenoides.

1. Estructura Química y Nomenclatura

Según RODRIGUEZ-AMAYA (41), los carotenoides son generalmente tetraterpenoides C_{40} , que consiste de 8 unidades de isoprenoide C_5 , unidos de tal manera que el plano de simetría es reversible en el centro, y los grupos metil laterales cercanas al centro están separados por seis y cinco átomos de carbono. En algunos casos, los grupos terminales están modificados en el sexto y quinto miembro de uno o ambos anillos; dando carotenoides monocíclicos y dicíclicos respectivamente; BRITTON (8).

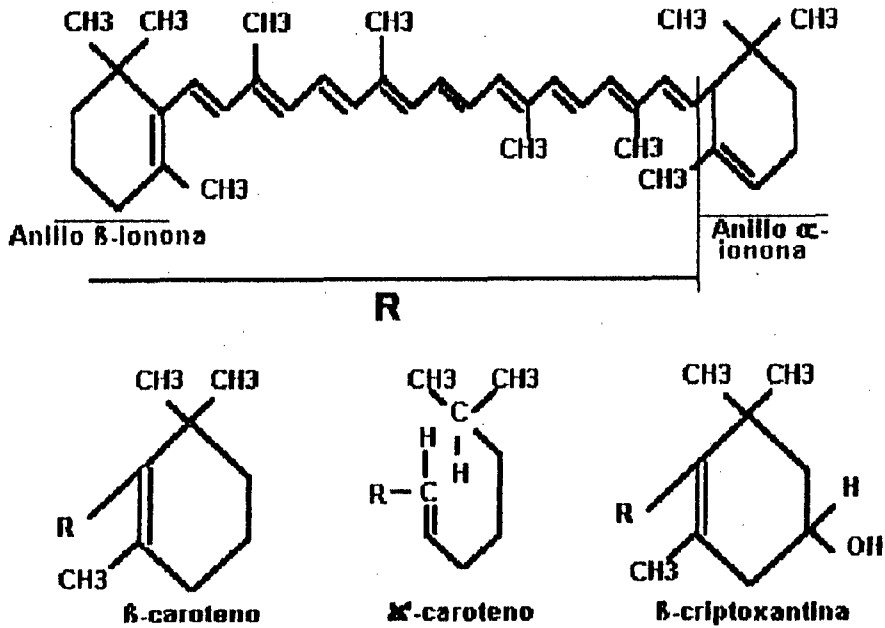


Figura 1. Estructura General de los Carotenoides.

Según RODRIGUEZ-AMAYA (41), la estructura básica puede ser modificada en muchas rutas, tales como ciclización, migración del doble enlace, introducción de grupos sustituyentes, hidrogenación parcial, deshidrogenación, recorte o extensión de la cadena, reubicación, isomerización o combinación de estos, resultando en innumerables estructuras químicas.

Según BRITTON (8) y RODRIGUEZ-AMAYA (41), las reglas para la nomenclatura de los carotenoides fueron publica-

dos por la IUPAC, pero estas reglas dan lugar a nombres largos e incómodos; además la información estructural que ellos proporcionan es difícil de interpretar. A fin de superar esta dificultad inherente a las reglas de la IUPAC, la Comisión de Nomenclatura Bioquímica ha ideado un esquema semi-sistemático, que permita que cualquier carotenoide sea nombrado sin ambigüedad y que la elucidación de su estructura sea factible a partir del nombre.

El carotenoide es nombrado como un derivado del caroteno raíz y la molécula es considerada en dos mitades. Las letras griegas describen los grupos terminales: convencionalmente prefijos y sufijos indican cambios de hidrogenación y la presencia de grupos sustituyentes. La raíz del nombre del caroteno implica una configuración trans para todos los dobles enlaces, los isómeros cis son indicados por citación del doble enlace que tiene esa configuración.

2. Clasificación.

BADUI (3) y RODRIGUEZ-AMAYA (41), indican que los carotenoides se pueden dividir en dos grandes grupos de acuerdo con su estructura química: carotenos y xantofilas; llamados por algunos autores oxicarotenoides y que son derivados oxigenados de los carotenos.

a. Carotenos.

Según RODRIGUEZ-AMAYA (41), de los carotenos acíclicos el licopeno y el α -caroteno son los más comunes. el primero es el pigmento principal de muchas de pulpa roja; en tanto que el segundo, es encontrado en cantidades significativas en carambola. De los carotenos bicíclicos, el β -caroteno, es el más difundido en alimentos.

b. Xantófilas.

BADUI (3), menciona que las xantófilas normalmente se encuentran asociadas con los carotenos y sus estructuras son muy parecidas a la del β -caroteno, con la única diferencia de que tiene un hidroxilo en el segundo anillo que puede esterificarse con varios ácidos grasos. La criptoxantina es tal vez una de las xantófilas más conocidas, y se encuentra principalmente en la naranja, maíz y la papaya.

Según RODRIGUEZ-AMAYA (41), el α -criptoxantina y la zeaxantina, son las xantófilas más encontradas, en contraste con la β -criptoxantina, que constituye con mayor frecuencia un pigmento secundario, excepto en frutas de pulpa anaranjada, donde es el pigmento principal.

3. Propiedades Físicas, Químicas y Nutricionales.

a. Propiedades Físicas.

Según BELITZ (4), los carotenoides son solubles en disolventes apolares y en las grasas e insolubles en el agua.

BRITTON (8) y BELITZ (4), mencionan que el espectro de absorción de carotenoides apolares son determinados con éter de petróleo, éter etílico o hexano; aquellas de más polaridad, como las xántofilas en etanol.

Según BELITZ (4), el espectro de absorción de muchos carotenoides exhiben tres máximos, cuyas longitudes de onda depende del número de dobles enlaces conjugados.

Según BRITTON (8), la absorción de luz de los carotenoides se debe a la presencia de un cromóforo en la molécula, que consiste principalmente de un sistema de dobles enlaces conjugados, en la cadena polieno. En algunos carotenoides la cadena polieno puede ser modificado por la presencia de grupos acetilénicos ($C \equiv C$) o alénico ($C=C=C$) y en otro, los anillos pueden ser modificados en estructuras aromáticas que son parte del cromóforo.

En cualquier solvente dado, los valores de longitud de onda máxima se incrementa con la longitud del cromóforo. Entre los factores que extienden la longitud del cromóforo tenemos la presencia de grupos carbonilos y ceto, BRITTON (8).

b. Propiedades Químicas.

BELITZ (4) y SAENZ (42), menciona que los carotenoides son muy sensibles al oxígeno y a la luz y que en ausencia de estos factores, son estables hasta temperaturas elevadas.

La degradación de los carotenoides se acelera por los radicales libres que se forman por oxidación lipídica, siendo el de mayor interés el fenómeno de co-oxidación por determinadas lipoxigenasas, que dan origen a compuestos incoloros. BELITZ (4), menciona que por degradación oxidativa de los carotenoides se forman sustancias aromáticas, así en zanahorias desecadas las concentraciones elevadas de β -ionona son la causa del aroma a violetas.

c. Propiedades Nutricionales.

Desde el punto de vista nutricional, los carotenoides son clasificados como provitaminas y carotenoides inactivos.

En el cuadro 4, se muestra la actividad provitamina A de algunos carotenoides comunes en alimentos vegetales

Cuadro 4. Actividad provitamina A de algunos carotenoides comunes en alimentos vegetales.

Nombre Común	Actividad ProvitaminaA (%)
β -caroteno	100
α -caroteno	50-54
γ -caroteno	inactivo
δ -caroteno	inactivo
τ -caroteno	42-50
β -zeacaroteno	20-40
β -criptoxantina	50-60
Licopeno	inactivo
zeaxantina	inactivo
Violaxantina	inactivo.

Fuente : Curso Latinoamericano de Carotenoides en Alimentos. UNICAMP. Brasil (1993).

A fin de tener actividad vitamina A, un carotenoide debe tener al menos la mitad de la molécula de β -caroteno; esto es, un anillo de β -ionona no sustituido, teniendo un carbono 11 en la cadena polieno.

4. Composición de Carotenoides en Frutas.

RODRIGUEZ-AMAYA (41), menciona que las frutas pueden ser agrupadas en base a su composición en carotenoides, en aquellos que tienen :

a. Niveles insignificantes de carotenoides.

A este grupo corresponden el plátano, limón, piña y el pomelo blanco con contenido en carotenoides totales de 1,0; 0,6-2,4; 1,0-1,4 y 0,2 $\mu\text{gr}/\text{gr}$, respectivamente.

b. Cantidades pequeñas principalmente de carotenoides cloroplastos.

A este grupo corresponden las frutas, cuyo color es impartido por antocianinas, tales como zarzamora, arándano, cranberry, grosella roja, uvas y cultivos de ciruela Maribela. Las frutas que retienen el color verde cuando maduran, tales como el aguacate, cultivos de grosella verde, achines verdes y kiwi, también se ubican en este grupo.

c. Cantidades considerables de licopeno y sus precursores.

Corresponden a este grupo las guaba de pulpa rosada, papaya de pulpa roja, variedades de melón de agua y pomelo rojo con 53,4; 21,0-40,0; 12,5-52,4 y 11,9 $\mu\text{gr}/\text{gr}$ de licopeno respectivamente, como pigmento principal. Los pomelos blancos con pitoflueno (3,4 $\mu\text{gr}/\text{gr}$) como el principal carotenoide también pertenecen a este grupo.

d. Predominancia de β -caroteno y sus derivados hidroxilados.

Este grupo comúnmente es encontrado en albaricoques, manzana roja, níspero, mango, pulpa naranja de muskmelon y ciruela King Golden que contienen 1,7 a 74,4 $\mu\text{gr}/\text{gr}$ de β -caroteno. En naranja y pulpa amarilla de papaya caqui y spondias lutea, la β -criptoxantina se encuentra entre 6,6 a 32,4 $\mu\text{gr}/\text{gr}$.

e. Grandes cantidades de epóxidos.

A este grupo pertenecen la carambola, Kumquat, naranjas, melocotón, cultivos de ciruela Saghiv y manzana, siendo la criptoflavina el pigmento principal en carambola, y la violaxantina en Kumquat, melocotón y ciruelo.

f. Preponderancia de carotenoides no comunes o especies específicas.

En este grupo se hallan la pimienta roja, donde la capsantina y la capsorubina constituyen los pigmentos principales. Otro ejemplo clásico, lo constituye el achiote donde es posible encontrar la bixina, la crocetina y el ácido bicarboxílico norbixina como pigmentos principales.

g. Cantidades sustanciales de carotenoides poli-cis.

En este grupo se pueden encontrar al achiote con su pigmento principal, la bixina y a tomates, con el proli-copeno como pigmento predominante.

h. Niveles significativos de apocarotenoides.

Estos han sido encontrados en frutas cítricas. La mandarina Clementina, tiene como pigmento principal un apocarotenoide; la β -citraurina, que constituye alrededor del 32,5% del contenido total de carotenoide. En melocotones ha sido encontrado un apocarotenal-epoxi, la persicaxantina.

Algunas mezclas de los grupos, ha sido encontrado en algunas frutas. Así por ejemplo, la cereza amarilla tiene 16,8% de luteina, 14,7% de cis-violaxantina, 11,2% de β -caroteno, 10,6% de trans-violaxantina y varios otros epóxidos fijándose en la forma b y e.

En melocotones los ésteres predominantes de β -criptoxantina son: el miristato y palmitato y los ésteres de luteina y zeaxantina el dimiristato, miristato-palmitato y dipalmitato.

El laurato de criptoxantina y laurato de criptoxantina 5,6-epoxido son los ésteres principales de la papaya.

Otros ésteres encontrados son: el dicaprato, caprato-laurato, laurato-miristato de anteraxantina y caprilato, caprato, miristato y palmitato de criptoxantina 5,6-epoxido y de criptoxantina.

5. Factores que influyen en la Composición de Carotenoides.

Según RODRIGUEZ-AMAYA (41), los factores que afectan la composición de Carotenoides son:

a. Diferencias de Cultivos y Variedades.

La diferencia puede ser esencialmente cuantitativa como en el caso de zanahorias, mangos Brazilian, papayas Brazilian de pulpa roja, uvas y tomates rojos. Sin embargo pronunciadas variaciones cualitativas y cuantitativas pueden ser observados, en calabazas, zapallos, mangos India, papayas de pulpa roja y anaranjada, pimientas, mandarinas y ciruelas.

b. Estado de madurez.

El estado de madurez es un factor simple, que afecta decisivamente la composición de carotenoides en plantas alimenticias. En muchas frutas la maduración es acompañado por cambios carotenogénicos, como la descomposición de

la clorofila de los cloroplastos a cromoplastos.

En siete cultivos de cítricos muestreados en ocho intervalos durante la maduración, se observó un incremento general en todos los carotenoides, incluyendo la luteína.

En algunas frutas, el contenido de carotenoides disminuye en la estación media, y aumenta en cantidad y diversidad después.

En frutas tales como cerezas amarillas, grosella roja, fresa y olivo donde el color en el estado de madurez es debido a las antocianinas, y en aquellas que retienen el color verde, la concentración de carotenoides disminuye con la maduración.

c. Efectos Climáticos y Geográficos.

Los efectos geográficos son generalmente fuertes para enjuiciar algunas diferencias de cultivos, estos fueron notados en papayas Formosa producidas en dos Estados Brasileños de diferentes climas. Las papayas del estado caliente de Bahía presentaron el más alto contenido de β -caroteno respecto a las muestras de Sao Paulo (1,4 vs 6,1 $\mu\text{g/g}$), β -criptoxantina (5,3 vs 8,6 $\mu\text{g/g}$) y licopeno (19,1 vs 26,5 $\mu\text{g/g}$).

d. Efecto de Agroquímicos.

En los pocos estudios sobre el efecto de herbicidas y fungicidas sobre el contenido en carotenoides, no se estableció una relación definida, algunas veces el contenido se incrementa, otras veces disminuye y a veces no varía.

6. Mecanismo de Degradación de Carotenoides.

Según RODRIGUEZ-AMAYA (41), el discernimiento del mecanismo y factores que influyen en la descomposición de carotenoides ha sido derivado de sistemas modelos más fácilmente controlados. Sin embargo, la extrapolación de los componentes múltiples de los alimentos no está avanzado.

FENNEMA (13), menciona que la destrucción de las provitaminas A en los alimentos manipulados y almacenados ocurre por diferentes caminos, según las condiciones de la reacción. Si hay oxígeno, se producen pérdidas considerables de carotenoides, estimulados por la luz, enzimas y por cooxidación con hidroperóxidos; en tanto que en ausencia, son posibles transformaciones térmicas de isomerización trans-cis, variando las pérdidas entre 5 y 40%, según la temperatura, tiempo y naturaleza de los carotenoides. La isomerización trans-cis es de interés

porque los isómeros cis tienen baja intensidad de color y porque pierden su potencial biológico como Provitamina A. Según RODRIGUEZ-AMAYA (41), la información sobre la isomerización durante el almacenamiento es escasa.

RODRIGUEZ-AMAYA (41), indica que la oxidación de carotenoides es considerado un proceso de radicales libres.

GOLDMAN et al. (17), investigaron la decoloración del β -caroteno en un sistema de celulosa a condiciones de oxígeno y A_w baja; encontrando que la curva de retención de β -caroteno fue sigmoideal con tres regiones definidas: un período de inducción, un período principal fijo y finalmente un período de retardo; típico de una reacción catalizada por radicales.

Según RODRIGUEZ-AMAYA (41), el modo de decoloración del β -caroteno y otros carotenoides usualmente medida por la disminución en la absorbancia a 450-470 nm, es de primer orden o pseudo primer orden, tanto en sistemas modelos como en alimentos almacenados.

7. Degradación de los Carotenoides durante el almacenamiento de Alimentos.

a. Factores que afectan la degradación de Carotenoides.

1. Naturaleza del Sistema.

RAMAKRISHNAN y FRANCIS citado por RODRIGUEZ - AMAYA (41), investigaron la estabilidad de carotenoides en sistemas acuosos, encontrando que la descomposición depende de la naturaleza del sistema.

En sistemas de celulosa en estado seco, la tasa de decoloración del β -caroteno es alta. Los carotenoides absorbidos en almidón, son relativamente más estables, que los absorbidos en sistemas de celulosa.

2. Oxígeno.

BADUI (3) y RAMAKRISHNAN y FRANCIS citado por RODRIGUEZ-AMAYA (41), mencionan que la pérdida de carotenoides se debe fundamentalmente a reacciones de oxidación, por acción del oxígeno o enzimas como la lipoxigenasa, y sucede generalmente durante el secado de frutas y hortalizas.

TEXEIRA et al. (52), encontró que los carotenoides son vulnerables a la oxidación en alimentos secos y

pulverizados, esto fue demostrado en leche en polvo descremado y microcristales de celulosa; debido a la alta superficie específica y en productos liofilizados a causa de su estructura porosa.

Asimismo GOLDMAN et. al. (17) y TEXEIRA et.al (52), determinaron que la presencia de oxígeno en los espacios libres de un sistema alimenticio modelo empacado, influye en la degradación del β -caroteno, necesitando 8 moles de oxígeno por mol de β -caroteno. La vida útil definido por el tiempo de degradación del 50% de β -caroteno, fue de 37, 25, 10, 7 y 5 días a 1, 2, 10, 15 y 20% de oxígeno respectivamente. Cuando el oxígeno fue excluido de los espacios libres, el deterioro fue solamente del 12% después de 60 días de almacenamiento.

3. Contenido de humedad-Actividad de agua.

CHOU y BREENE (10), observaron que la humedad absorbida extiende el periodo de inducción y reduce con ello la tasa de decoloración oxidativa.

RAMAKRISHNAN y FRANCIS citado por RODRIGUEZ-AMAYA (41), encontraron que el contenido de humedad reduce la tasa de pérdida de color en tres pigmentos estudiados (β -caroteno, β -apo-8' carotenal, cantaxantina); tanto a valores superiores como inferiores al de monocapa.

GOLDMAN et. al. (17), determinaron que la retención del 50% de β -caroteno almacenado a actividad de agua de 0,84, 0,32 y bajo condiciones secas fue de 42, 35 y 25 días a 35°C. La influencia protectora de la actividad de agua (0,37 - 1,00), fue también demostrado a elevadas temperaturas (65°C).

ARYA et. al. citado por RODRIGUEZ-AMAYA (41), determinaron que los carotenoides en zanahorias son relativamente más estables a A_w de 0,32 - 0,57; encontrando la máxima estabilidad a 0,43 de A_w ; para valores superiores e inferiores a este nivel, la tasa de destrucción de carotenoides se incrementa significativamente. Asimismo determinaron que los carotenoides de la papaya liofilizada fueron más estables a 0,33 de A_w , valores superiores e inferiores a este nivel, incrementa significativamente la tasa de deterioro.

En otro estudio BADUI (3), determinó que en sistemas modelo de pimientos deshidratados la estabilidad de los carotenoides depende de la actividad de agua; debido a que al reducirse la humedad del alimento, el ácido ascórbico y sales de cobre se solubilizan y se concentran formando un sistema antioxidante que protege a los carotenoides.

4. Luz.

NAJAR et. al. citado por RODRIGUEZ-AMAYA (41), estudiaron el efecto de la luz, aire, N_2 , peróxido benzoil y ascorbil palmitato sobre un sistema modelo conteniendo 0,25 a 0,26 mg/ml de bixina. La luz fue el agente más destructivo, encontrando que el 23,8% de bixina fue pérdida después de 12 días a 1380/lu de luz. La responsabilidad del aire fue débil, y solamente 1,8% de bixina fue perdido después de 12 días de almacenamiento en la oscuridad. De la influencia combinada del aire y la luz, solamente un 3,1% de pérdida de bixina, puede ser atribuido al oxígeno.

PESEK y WARTHESEN citado por RODRIGUEZ-AMAYA (41), estudiaron la cinética de fotodegradación de carotenoides en jugos de tomate y zanahoria, conteniendo 3 $\mu\text{g/g}$ de α -caroteno, 8,2 $\mu\text{g/g}$ de β -caroteno, 62,9 $\mu\text{g/g}$ de licopeno y pequeña cantidad de otros carotenoides; los cuales fueron sometidos a 230 ft-c de luz a 40°C. Después de 4 días de exposición a la luz, solamente 25% de la cantidad inicial de α , β -caroteno se conservó, mientras que el 75% de licopeno permaneció inalterable. Finalmente las reacciones de degradación se ajustaron a un Modelo cinético de primer orden.

5. Temperatura.

BADUI (3), menciona que las temperaturas elevadas pueden fragmentar la molécula de caroteno en los puntos de unión de los anillos de ionona. Asimismo, menciona que los carotenoides se puede transformar a la forma cis durante el tratamiento térmico de productos enlatados, en ausencia de oxígeno; con lo que pierden parte de su poder vitamínico.

CHOU y BREENE (10), demostraron que en sistemas modelo de celulosa a 5, 20 y 35°C la destrucción del β -caroteno se incrementa con la temperatura de almacenamiento. Los valores de k (tasa de degradación días⁻¹) fueron $2,87 \times 10^{-2}$, $10,5 \times 10^{-2}$ y 21×10^{-2} respectivamente.

ARYA citado por RODRIGUEZ-AMAYA (41), determinaron que en papayas frescas liofilizadas la estabilidad de los carotenoides decrece sustancialmente durante el almacenamiento, la extensión depende de la temperatura. La retención de carotenoides fue de 80% después de 36 semanas a 0°C comparado a 22,5 y 12,4% en un cuarto temperado y a 37°C, respectivamente.

6. Antioxidantes y Prooxidantes.

Según RODRIGUEZ-AMAYA (41), la adición de antioxidantes es generalmente el medio más práctico de prolongar la

vida útil. La eficiencia depende del antioxidante usado, su concentración y el sistema.

CHOU y BREENE (10), encontraron que en sistemas de celulosa, el butil hidroxitolueno (BHT) en 50 ppm disminuye la tasa de degradación del β -caroteno.

En otro estudio realizado por NAZAR et al. citado por RODRIGUEZ - AMAYA (41), el butil hidroxianisol (BHA) y el propil galato (PG) empleado en sistemas de celulosa, disminuyeron significativamente la tasa de degradación del β -caroteno, siendo el BHA más efectivo en los sistemas secos y el PG para contenidos de agua superiores al valor de monocapa.

BERSET et al. citado por RODRIGUEZ - AMAYA (41), determinaron que antioxidantes naturales, como las oleoresinas de romero y el α -tocoferol tienen un efecto protector sobre el β -caroteno contenido en almidón de maiz.

7. Sulfitos.

Según RODRIGUEZ-AMAYA (41), el efecto de Sulfitos (SO_2 , SO_3^- , HSO_3^-) no está bien definido. Algunos investigadores han reportado la acción beneficiosa de los sulfitos en sistemas modelo y alimentos, otros no encontraron una disminución significativa de la tasa de

destrucción de carotenoides en muestras tratadas con sulfito.

BALOCH et al. citado por RODRIGUEZ - AMAYA (41), encontraron en un sistema modelo de celulosa, que el dióxido de azufre no solamente incrementó el periodo de inducción para la oxidación del β -caroteno, sino que también redujo considerablemente la tasa de destrucción; asimismo determinaron que el sulfitado tuvo un marcado efecto sobre la estabilidad de carotenoides en muestras de zanahorias blanqueadas y no blanqueadas durante la deshidratación y almacenamiento a 37°C.

B. Otros factores.

RODRIGUEZ-AMAYA (41), menciona que el NaCl tiene un efecto protector sobre el color de zanahorias deshidratadas.

SPECK et al. citado por RODRIGUEZ-AMAYA (41), sostuvieron que el tratamiento con sal antes del secado con aire mejora apreciablemente el color, la textura, el flavor y la estabilidad de carotenoides.

Por otro lado RODRIGUEZ-AMAYA (41), menciona que los carotenoides son relativamente estables sobre el rango de pH ácido y neutro de alimentos, sin embargo la isomerización puede ocurrir a pH bajo. GORTNER y SINGLETON citado

por RODRIGUEZ-AMAYA (41), determinaron en piñas que el ácido de la fruta causa el incremento de isómeros cis.

En otro estudio RODRIGUEZ-AMAYA (41), determinó que en zanahoria liofilizadas que han sufrido un tratamiento previo de blanqueado, la pérdida de pigmento es mucho mayor que en zanahorias liofilizadas no blanqueadas; debido a la degradación o expulsión de sustancias solubles en agua tales como el ácido ascórbico, aminoácidos y otros compuestos polifenólicos que estabilizan a los carotenoides. Sin embargo el blanqueado ejerce algunas veces un efecto protector, generalmente debido a la inactivación de la peroxidasa y lipoxigenasa.

D. Construcción de Modelos Matemáticos de Cinética.

SAGUY et.al (44), mencionan que no existe un esquema general para producir Modelos Matemáticos de Cinética; sin embargo, pasos generales requeridos para su estructuración puede ser observado en la figura 2.

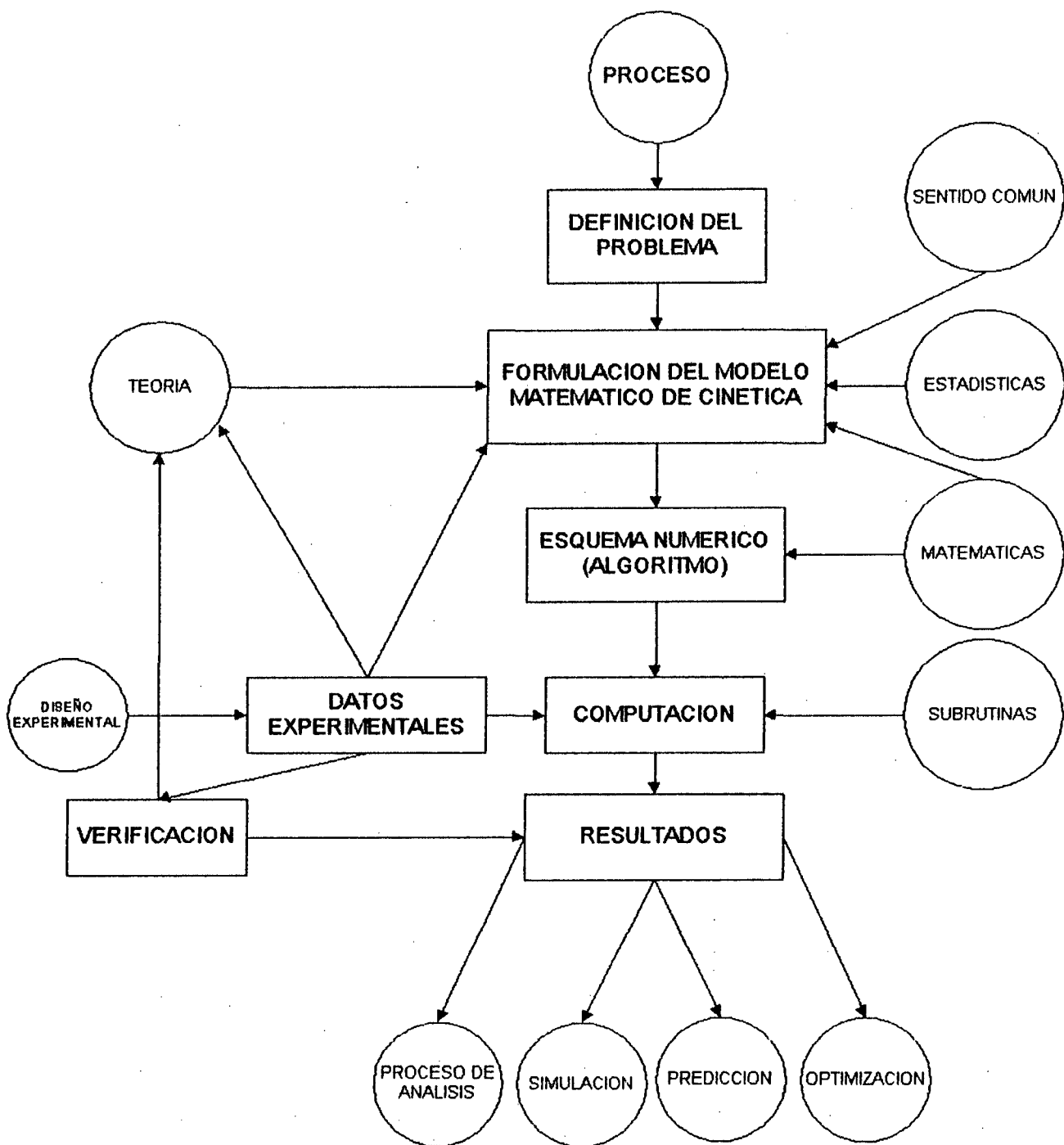


Figura 2. Procedimiento para la determinación de Modelos Matemáticos de Cinética.

A continuación se describe las principales etapas para la formulación de Modelos Matemáticos, mostrados en la figura 2:

1. Definición del problema, hace posible el establecimiento de un objetivo definido para el análisis y permite el diseño del camino para la solución del problema.
2. Aplicación de la teoría que gobierna el fenómeno; si tales teorías no están disponibles, se puede postular pruebas y validarlas durante la verificación.
3. Simbolización de la teoría, en muchos casos se fijan ecuaciones algebraicas y/o diferenciales. La relación exacta entre ciertas variables es determinado por correlación.

La selección de la relación propuesta que mejor se acerque con la realidad está basado en la teoría, datos experimentales, y en el análisis estadístico; éste último se emplea como criterio de evaluación del ajuste de Modelos de Cinética alternativos obtenidos a partir de los datos de pérdida de calidad alimenticia; siendo éstos modelos empíricos sustitutos apropiados para sistemas complejos.

Para desarrollar un Modelo Empírico particular, los datos experimentales son examinados y las conclusiones tentativas son graficados. Luego el modelo puede ser determinado por técnicas de ajuste a curvas simples. La determinación de los coeficientes del modelo requiere de un apropiado diseño experimental y de técnicas de ajuste elaborados.

4. Elaboración del algoritmo o esquema numérico a emplear en la etapa de computación.

5. Verificación, se evalúa varias condiciones incluyendo valores extremos y condiciones linderas. La validez de la teoría y el Modelo puede ser verificado comparando los resultados con los datos experimentales actuales.

E. Simulación de la pérdida de Nutriente en los Alimentos.

Según KWOLEK y BOOKWALTER (23), la estabilidad del producto puede ser expresado matemáticamente en función de tres variables:

Y = una medida de la calidad del producto, como la puntuación de gusto, una propiedad física, o el resultado de una prueba química o microbiológica o un ensayo alimenticio.

t = el número de días almacenados.

T = La temperatura de almacenamiento, el cual puede estar expresado en grados absolutos, Centígrados o Fahrenheit.

El manejo cuidadoso de las evaluaciones de pérdida de nutrientes y el uso adecuado de estas relaciones nos permitirán predecir satisfactoriamente la estabilidad de los alimentos en el almacenaje.

SING et. al. (49), desarrollaron un modelo de simulación para predecir la estabilidad en almacenaje de manzanas de humedad intermedia empaquetadas. El modelo de simulación incluyó:

- a. Ecuaciones de transferencia de calor y de masa unidimensional con condiciones límites apropiados.
- b. Modelos para reacciones químicas.
- c. Regiones para verificar el crecimiento o el no crecimiento de E. amstelodami.

Los Modelos Matemáticos establecidos por SING et al. (50), fueron empleados en la simulación:

$$K_B = 2,37 \exp 5,0(a_w - 0,8) - 11900 - 2500(a_w - 0,8)(1/T - 1/313)$$
para el pardeamiento no enzimático; y

$$K_C = 0,22 \exp 5,7(a_w - 0,8) - 7500 - 4100(a_w - 0,8)(1/T - 1/313)$$
para la degradación de la Vitamina C.

Donde:

K_B = Constante de pardeamiento no enzimático.

K_C = Constante de degradación de la Vitamina C.

La simulación computarizada fue realizada en condiciones de almacenamiento con temperatura y humedad relativa variable. Los resultados experimentales y los predichos por la computadora mostraron una buena concordancia.

RODRIGUEZ-AMAYA (41), menciona que el β -caroteno es altamente inestable, y por lo tanto puede ser considerado como un buen indicador de deterioro en alimentos.

HARALAMPU y KAREL (18), presentaron un modelo matemático de cinética que describía el efecto de la a_w sobre la tasa de pérdida de β -caroteno y ácido ascórbico en un sistema deshidratado de camote almacenado bajo condiciones isotérmicas a 40°C. Los Modelos que mejor describieron el comportamiento fueron:

$K_{asc} = b_1 \exp(b_2 a)$ para el ácido ascórbico.

$K_{car} = b_1/a + b_2$ para el β -caroteno.

F. Isotermas de Sorción de Agua en Alimentos.

1. Isotermas de Sorción

FENNEMA (13). menciona que las isotermas de sorción son representaciones que interrelacionan el contenido de agua en el equilibrio de un material (expresado en masa de agua por unidad de materia seca) con su actividad de agua, a temperatura constante.

Las curvas de isotermas de sorción pueden ser obtenidas por adición de agua (adsorción o resorción) a una muestra seca y por pérdida de agua (desorción).

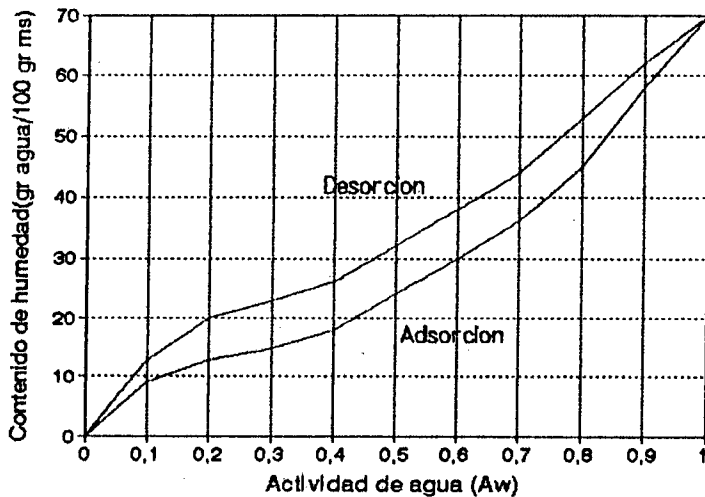


Figura 3. Curva de Isoterma de Sorción

La información que puede derivarse de dicha representación es útil en: los procesos de concentración y deshidratación y para evaluar la estabilidad de los alimentos.

2. Zonas en las Isotermas.

Según FENNEMA (13), las propiedades del agua varía según la zona de la isoterma.

a. Zona I.

Corresponde a valores de 0 a 0,25 unidades de aw. En esta región de la isoterma el agua está fuertemente absorbida a sitios polares NH_2^+ y COO^- de las proteínas y a los grupos OH^- de los almidones, mediante interacción agua-ion o agua-dipolo. La mayor humedad de la zona I, corresponde al valor de "monocapa" del alimento. LABUZA et.al citado por LIENDO (29), estima que el valor de monocapa para alimentos es menor de 10gr agua/100 gr de materia seca.

b. Zona II.

ROCKLAND y NISHI citado por LIENDO (29), indica que esta región abarca el rango de actividad de agua de 0,25 a 0,75 unidades. MATOS (32), menciona que es en ésta zona, el agua es adsorbida en multicapas sobre la capa monomolecular, predominando enlaces puentes de hidrógeno, agua-soluto, agua-agua.

c. Zona III.

Según FENNEMA (13), en esta región el agua de los alimentos está menos ligada y más móvil molecularmente. El agua menos ligada asciende al 95% del total del producto alimenticio y es la que gobierna su estabilidad.

3. Tipos de Isothermas en Alimentos

TORRES (53), clasifica las isothermas de humedad en tres tipos : I, II y III; las cuales se aprecian en la figura 4.

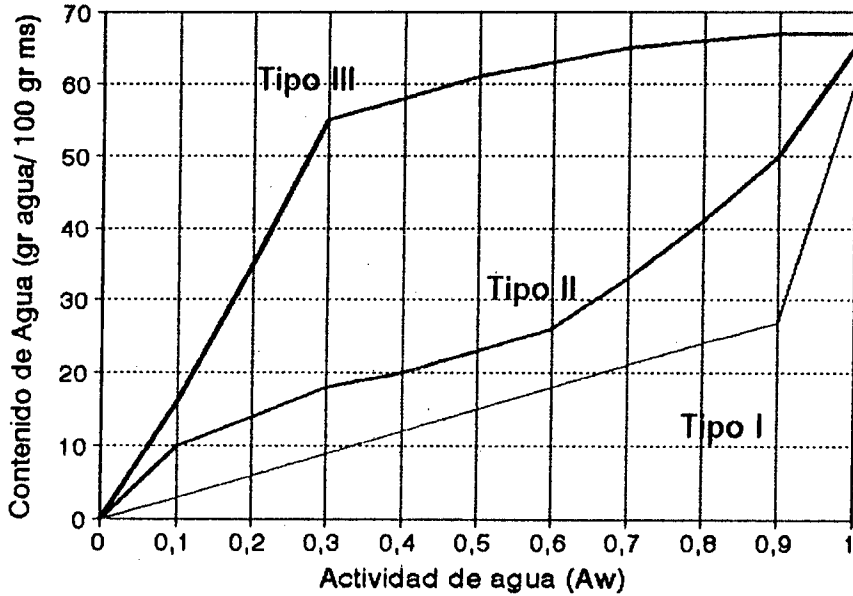


Figura 4. Tipos de Isothermas de Adsorción.

La tipo I, corresponde a sustancias cristalinas tales como azúcares, en este caso los sitios activos potenciales no interactúan fácilmente con el agua, pero a medida que la actividad de agua aumenta, comienza a ocurrir la disolución de la estructura cristalina, permitiendo una mayor interacción con las moléculas de agua y eventualmente la formación de una solución.

Los del tipo II, corresponden a la gran mayoría de los alimentos, donde la complejidad de los alimentos y los distintos tipos de moléculas explican la forma de la curva.

La tipo III, corresponde a los aditivos, este tipo de compuestos tiene gran afinidad por la molécula de agua, es decir, poseen un gran número de sitios activos donde puede ser adsorbida el agua, sin aumentar apreciablemente la actividad de agua.

4. Influencia de la Temperatura en las Isotermas de Sorción.

Según FENNEMA (13), las isotermas de sorción de humedad dependen de la temperatura, debido a que la actividad de agua varía con la temperatura. VIDAL et.al citado por LIENDO (29), menciona que la humedad de equilibrio de los alimentos, disminuye con el aumento de la temperatura. La figura 5, muestra este comportamiento.

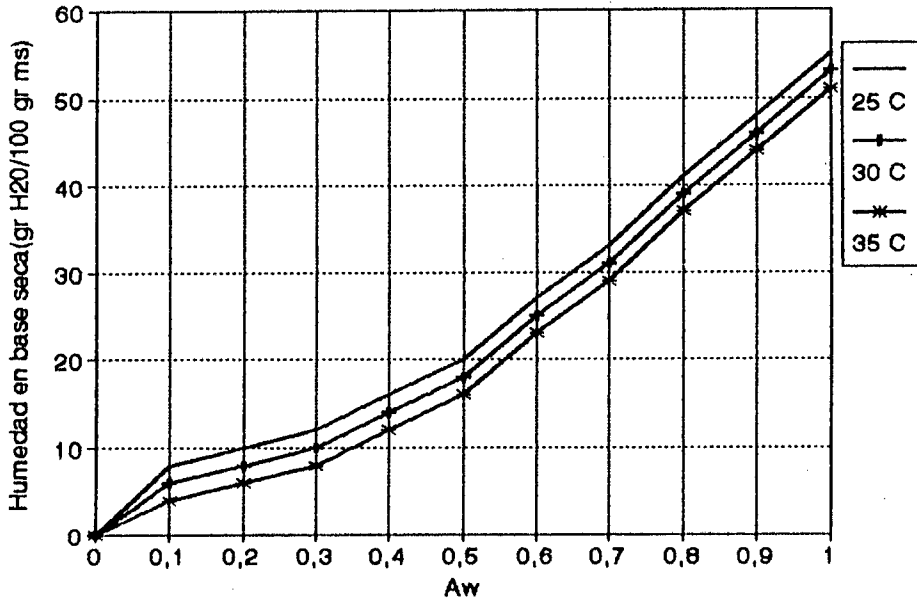


Figura 5. Isothermas de adsorcion a diferentes temperaturas.

TREYBAL citado por MATOS (32), atribuye este fenómeno a la tendencia exotérmica de la adsorción; esto es la adición de energía rompe las ligaduras agua-sólido, disminuyendo así la cantidad de agua adsorbida.

LABUZA, LONCIN y IGLESIAS y CHERIFE citado por LABUZA et.al (24), demostraron que la ecuación de Clausius Clapeyron puede ser aplicado para predecir los valores de actividad de agua en una isoterma a cualquier temperatura, si el correspondiente valor de calor de adsorción es conocido a un contenido de humedad constante. La ecuación es:

$$\ln(a_2/a_1) = Q_s/R(1/T_1 - 1/T_2)$$

Donde :

a1, a2: son actividades de agua a las temperaturas T1 y T2 (°K).

R : constante de gases (1,987 cal/mol°K).

Qs : calor de adsorción.

5. Modelos Matemáticos de Sorción.

Diversos modelos de matemáticos han sido propuestos para la fijación de los datos de equilibrio de sorción de una isoterma. Entre los modelos más conocidos tenemos:

a. Modelo de Guggenheim, Anderson y de Boer (G.A.B)

La ecuación de Guggenheim, Anderson y de Boer es escrita de la siguiente forma:

$$\frac{X}{X_m} = \frac{(C-1) \cdot K \cdot A_w}{1 + (C-1)K A_w} + \frac{K \cdot A_w}{1 - K A_w}$$

Donde:

X : % de Humedad de equilibrio en base seca.

Xm : Contenido de humedad de monocapa.

Aw : Actividad de agua (tanto por uno).

C : Constante de Guggenheim, $C = C_0 \exp[(H_1 - H_m)/RT]$

K : Factor de corrección de las propiedades de las moléculas en las multicapas, $K = K_0 \text{EXP}[(H_1 - H_q)/RT]$

H₁ : Calor de condensación de vapor de agua pura.

H_q : Calor de sorción total de las multicapas de agua.

H_m : Calor de Sorción de la monocapa.

R : Constante Universal de los gases.

T : Temperatura absoluta (°K).

Este modelo se ajusta a un amplio rango de actividad de agua (0,0 - 0,9) y presenta una mejor evaluación para la cantidad de agua fuertemente ligada a sitios primarios de adsorción.

b. Modelo de Iglesias y Chirife.

IGLESIAS y CHIRIFE, citado por MATOS (32) presentan la forma de este modelo empírico, como:

$$X = B(1) [Aw/(1-Aw)] + B(2)$$

Donde :

B(1), B(2) : Parámetros.

X : % de Humedad de equilibrio en base seca.

Aw : Actividad de agua en tanto por uno.

Esta ecuación ha demostrado tener buena capacidad de ajuste entre 0,1 a 0,8 de actividad de agua; su aplicación es fundamentalmente en alimentos con alto contenido de azúcares.

c. Modelo de Henderson.

AJIBOLA (1), cita este modelo de la siguiente forma:

$$X = (\text{Ln } (1-\text{RH}) / -aT)^{1/b}$$

Donde :

a, b : Parámetros.

X : % de humedad de equilibrio en base seca.

RH : Humedad relativa, fracción decimal.

T : Temperatura absoluta (°K).

d. Modelo de Henderson y Thompson

AJIBOLA (1), cita el siguiente modelo para predecir el contenido de humedad de equilibrio:

$$X = [\text{Ln} ((1-\text{RH}) / -a(t+b))]^{1/c}$$

Donde :

a,b,c : Parámetros.

X : Humedad de equilibrio en base seca.

RH : Humedad relativa de equilibrio en fracción decimal.

t : Temperatura (°C).

Este modelo es el que mejor fija el contenido de humedad de equilibrio en función de la actividad de agua en granos.

e. Modelo de Halsey Modificado.

AJIBOLA (1), cita el modelo de Halsey modificado por Iglesias y Chirife, que tiene la siguiente forma:

$$X = (\text{EXP}(a-bT)/-\text{Ln}(\text{RH}))^{1/c}$$

Donde :

a,b,c : Parámetros.

X : % de Humedad de equilibrio en base seca.

RH : Humedad relativa en fracción decimal.

T : Temperatura absoluta (°K).

Este modelo ajusta mejor los datos de humedad de equilibrio para plátanos verdes y maduros, obteniendo un error estándar de 1,9%.

f. Modelo de Chung y Pfof.

AJIBOLA (1), cita este modelo de la siguiente forma:

$$X = -1/b \text{ Ln}((T \text{LnRH})/ -a)$$

Donde :

a, b : Parámetros.

X : % de humedad de equilibrio en base seca.

RH : Humedad relativa, fracción decimal.

T : Temperatura absoluta (°K).

Este Modelo ajusta muy bien los datos de humedad de equilibrio para granos, especialmente para maiz y trigo.

g. Modelo de Chen y Clayton.

AJIBOLA (1), cita el modelo de la siguiente forma:

$$X = \frac{-1}{cT^d} \text{Ln}((\text{LnRH})/(-aT))$$

Donde :

a, b, c, d : Parámetros.

X : % de Humedad de equilibrio en base seca.

RH : Humedad relativa en fracción decimal.

T : Temperatura absoluta (°K).

CHEN y CLAYTON citado por MATOS (32), mencionan que este modelo describe adecuadamente la dependencia de la temperatura en las isotermas de maiz entre 4,4° y 60°C y tiene una amplitud de reproducción entre 0,0 a 1,0 de actividad de agua.

6. Alimentos de Humedad Intermedia.

Según TORRES (53), los alimentos de humedad intermedia pueden ser definidos como productos microbiológicamente estables a temperatura ambiente y de suficiente plasticidad como para que puede ser consumido sin necesidad de rehidratación. En general los alimentos de humedad intermedia poseen una actividad de agua entre 0,65 y 0,85 y contiene entre 15 y 30% de humedad.

La formulación de un alimento de humedad intermedia involucra la conjugación de las barreras microbiológicas, la estabilidad microbiológica y la aceptabilidad organoléptica del producto. Las barrera microbiológicas empleadas son el pH del alimento, la temperatura de almacenamiento, el termoprocesado de los ingredientes y del producto final, la concentración de preservantes.

Asimismo, menciona que cuando nos enfrentamos a la labor de formular un alimento es necesario tener muy en claro cual es la vida útil que esperamos del producto y cual es la calidad mínima que el consumidor puede aceptar.

III. MATERIALES Y METODOS.

A. Lugares de Ejecución.

El presente trabajo de investigación se realizó en la Universidad Nacional Agraria de la Selva - Tingo María - Huánuco - Perú, en los meses de Julio a Diciembre de 1994 y de Enero a Mayo de 1995, con el apoyo de los Laboratorios de Análisis de Alimentos, Química, Microbiología de los Alimentos, Control de Calidad y Análisis Sensorial de la Facultad de Industrias Alimentarias, y en el laboratorio de Nutrición Animal de la Facultad de Zootecnia.

B. Materiales y Equipos.

1. Materia Prima.

En el presente trabajo se utilizó como materia prima la papaya (Carica papaya L.) variedad criolla, procedente del pueblo joven La Libertad, Tingo María - Huánuco.

2. Insumos.

Como insumos se utilizaron:

- Azúcar blanca Industrial.
- Acido cítrico comercial.
- Bisulfito de sodio grado reactivo.
- Sorbato de potasio grado reactivo.

3. Reactivos.

Se utilizaron los siguientes reactivos:

- Etanol absoluto.
- Hexano grado reactivo.
- Cloruro de Litio.
- Nitrito de sodio.
- Sulfato de Amonio.
- Cromato de Potasio.
- Sulfato de Potasio.

4. Equipos.

Los equipos utilizados fueron:

- Estufa Bacteriológica con termostato para temperatura regulable de 0 - 300 °C, marca Lab-line Instruments Inc. Melrose Park, Ill.
- Estufa de secado al vacío, marca Labor Muszeripari Művek - Hungría, rango de vacío de 0,0 a 1 Kp/cm².
- Balanza analítica, marca Sartorius. sensibilidad 0.0001 g. EE.UU.

- Balanza analítica, marca Sartorius, sensibilidad 0.1 gr. EE.UU.
- Refractómetro de mesa, con rango de lectura de 0 - 80% de sólidos solubles, Carl Zeiss.
- Potenciómetro, marca Orion, modelo 301, rango de pH 0-14.
- Centrífuga Budapesti-Hungria, rpm 80, Kw 0,2.
- Espectrofotómetro Molecular Espectronic 20, marca Bausch & Lomb, rango de longitud de onda de 340 - 960 nm.
- Estabilizador de corriente de 600 W.
- Espectrofotómetro de Absorción Atómica.
- Microcomputador PC AT 386DX marca AMI, EE.UU.

C. Métodos de Análisis.

1. Análisis Químico.

a. Análisis químico proximal.

Los Análisis de humedad, proteínas, Carbohidratos, grasa, fibra y cenizas de la materia prima se efectuaron de acuerdo a los métodos citados por HART y FISHER (19).

b. Determinación de Vitamina C.

La determinación cuantitativa de vitamina C de la materia prima se efectuó por el método espectrofotométrico de absorción molecular, citado por PEARSON (39).

c. Determinación de Componentes Minerales.

El análisis cuantitativo de minerales se efectuó sobre la materia prima y las muestras de papaya osmodeshidratada, siguiendo el método espectrofotométrico de absorción atómica citado por SANDOVAL (45).

d. Determinación de la Actividad peroxidásica.

La actividad peroxidásica de las muestras sometida a blanqueado se evaluó por el método citado por LEES (25).

e. Determinación de Azúcares reductores y Totales.

El análisis de azúcares reductores y totales del jarabe empleado como agente osmótico, se efectuó por el método espectrofotométrico citado por MAIER (31).

f. Determinación del Contenido de Carotenoides Totales.

Para el cálculo del contenido de carotenoides totales en la papaya en estado fresco y osmodeshidratada, se empleó el método espectrofotométrico citado por BRITTON (8) y RODRIGUEZ-AMAYA (41) y la siguiente ecuación:

$$X = \frac{A \cdot Y}{1\% \cdot A \cdot 1\text{cm}} \times 100$$

Donde :

X : Cantidad de carotenoides (gr)

Y : Volumen de la solución (ml)

A : Medida de la absorbancia

1%
A : Coeficiente de absorbancia específica, cuyo valor es de
1cm
2 500 para carotenoides totales.

2. Análisis fisicoquímico.

a. Determinación de pH, sólidos solubles y acidez titulable.

Los análisis de pH, sólidos solubles y acidez titulable se efectuaron sobre la materia prima y el jarabe de azúcar invertido de acuerdo a los métodos citados por HART y FISHER (19).

b. Determinación de las Isotermas de Adsorción.

Las isotermas de adsorción se determinaron a 25, 30, 35 y 40°C de temperatura, en promedio, por el método gravimétrico estático de soluciones de sales saturadas, citado por SARAVACOS et.al. (47) y AJIBOLA (1).

El esquema empleado en la determinación de las Isotermas de adsorción a diferentes temperaturas se muestra en la figura 6.

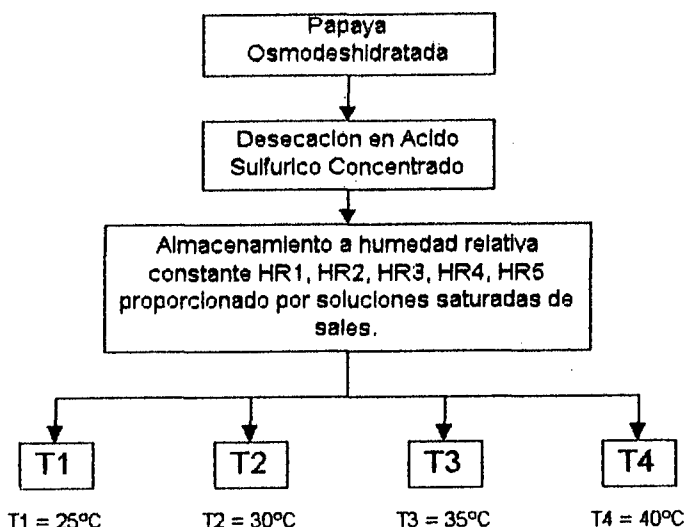


Figura 6. Esquema experimental para la Obtencion de Isotermas de adsorción de papaya osmodeshidratada, a diferentes temperaturas.

Para la determinación de las Isotermas de Adsorción las muestra de papaya osmodeshidratada fueron previamente sumergidas en una solución al 1% de sorbato de potasio y desecadas en un ambiente conteniendo ácido Sulfúrico concentrado, hasta niveles de humedad en base seca de 13,081% en promedio. Luego fueron colocadas por duplicado en envases de plástico adaptados (con dimensiones proporcionales a un desecador normal, razón de proporción = 1/2.49 y selladas en la boca con cinta aislante), conteniendo cada una soluciones de sales saturadas con diferentes humedades relativas. Los valores de humedad relativa que se obtienen se muestran en el anexo 1.

Las evaluaciones del peso se realizaron durante 15 días, con intervalos de 5 días cada una; considerando que sólo es de interés el equilibrio higroscópico.

3. Análisis físicos.

a. Determinación de las medidas biométricas.

Se evaluó el peso y las dimensiones geométricos de la papaya en estado fresco, empleando para ello balanza y vernier, respectivamente.

b. Determinación de la viscosidad relativa.

Se evaluó sobre el jarabe de azúcar invertido usado como agente osmótico, siguiendo el Método de Ostwald citado por LEWIS (28).

D. Procedimiento para la obtención de papaya osmodeshidratada.

Para la obtención de la papaya osmodeshidratada se siguió el diagrama de flujo mostrado en la figura 7.

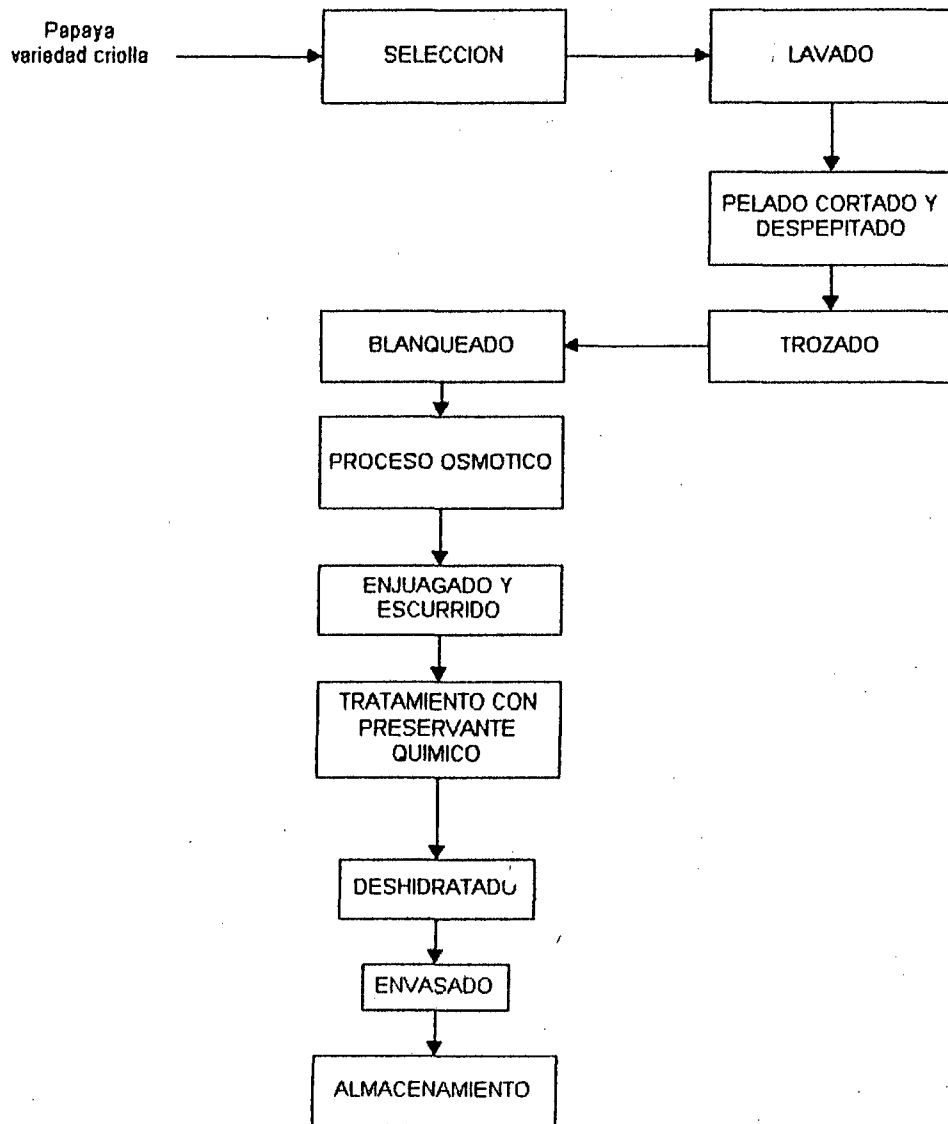


Figura 7. Diagrama de bloques para la obtención de papaya Osmodeshidratada.

1. Selección.

Se seleccionaron las papayas de tamaño uniforme, de cáscara verde con pequeñas zonas amarillas; con la finalidad de tener muestras donde se establezca un equilibrio entre textura y color, indispensable para la buena calidad del producto final.

2. Lavado.

Se realizó manualmente, sumergiendo la fruta en una solución de hipoclorito de sodio de concentración 100 p.p.m de cloro, con la finalidad de eliminar microorganismos., BLEINROTH et. al. (5)

3. Pelado, Cortado y Despepitado.

La papaya fue pelada y cortada con cuchillos de acero inoxidable y despepitada manualmente.

4. Trozado.

El trozado se realizó con cuchillo de acero inoxidable en bloque de 2x2x1 cm., BOLIN et.al (7).

5. Blanqueado.

Se realizó con la finalidad de inactivar las enzimas presentes en la fruta, sumergiendo los trozos en agua caliente a 97°C x 1,0, 1,5, 2,0 y 3,0 minutos. La elección del tiempo de blanqueado se hizo en función de la textura de los trozos de fruta y de la prueba enzimática cualitativa de presencia de peroxidasa.

6. Proceso Osmótico.

Se realizó sumergiendo los trozos en jarabe de azúcar invertido conteniendo 200 p.p.m de bisulfito de sodio, que bloqueará los grupos carbonilos de los azúcares reductores e impedirá la reacción de Maillard., SAPERS (46).

7. Enjuagado y escurrido.

Se realizó por inmersión en agua fría (10-12°C) por 30 segundos, a fin de eliminar la película de jarabe formada. Posteriormente los trozos de papaya osmodeshidratada fueron escurridos sobre tamices durante 30 minutos, para luego ser pesados.

8. Tratamiento con preservante Químico.

Para evitar el desarrollo microbiano que pudiera interferir en el estudio de la degradación de carotenoides, las

muestras fueron sumergidas en una solución de sorbato de potasio al 0.1% durante 30 segundos.

9. Deshidratado.

Se realizó en ambientes de humedad relativa reducida, obtenidas mediante ácido Sulfúrico concentrado en relación 1:1 ácido-fruta y a temperatura ambiente (26°C en promedio). Las muestras se deshidrataron hasta niveles de humedad en base seca de 24, 26, 28, 30% , a fin de obtener actividades de agua en el rango de 0,65 a 0,85, correspondiente a alimentos de humedad intermedia., TORRES (53).

10. Envasado.

Las muestras osmodeshidratadas, enfriados hasta temperatura ambiente, fueron envasados en bolsas de polietileno de alta densidad cuyas características son mostradas en el anexo 2.

11. Almacenamiento.

Las muestras fueron almacenadas a 25, 30, 35°C durante 14 días para evaluar la velocidad de degradación de los carotenoides en papaya osmodeshidratada, y a 28 y 32°C por 4 días para la Simulación.

E. Adecuación del Método espectrofotométrico de determinación del contenido de carotenoides totales en papaya osmodeshidratada.

**1. Determinación del Solvente y la Longitud de Onda de Máxima absorban-
cia.**

Se construyó varias curvas de espectro de absorción de los carotenoides de papaya con dos solventes orgánicos: Hexano, etanol y mezclas de los mismos para determinar el solvente adecuado y la longitud de onda de máxima absorban-
cia.

2. Determinación del tiempo de lixiviación de Carotenoides de muestras de papaya Osmodeshidratada.

A fin de determinar el tiempo de lixiviación necesario, se evaluó espectrofotométricamente la variación del contenido de carotenoides respecto al tiempo de lixiviación.

3. Determinación de la Interferencia causada por los azúcares reductores presentes en el extracto de carotenoides.

El extracto de carotenoides de papaya osmodeshidratada, fue centrifugado durante 5, 10, 15 y 20 minutos, a fin de precipitar los azúcares reductores presentes, luego se evaluo

espectrofotométricamente en cada uno de los centrifugados y en la muestra sin centrifugar el contenido de azúcares reductores y carotenoides totales, tal como se muestra en la figura 8.

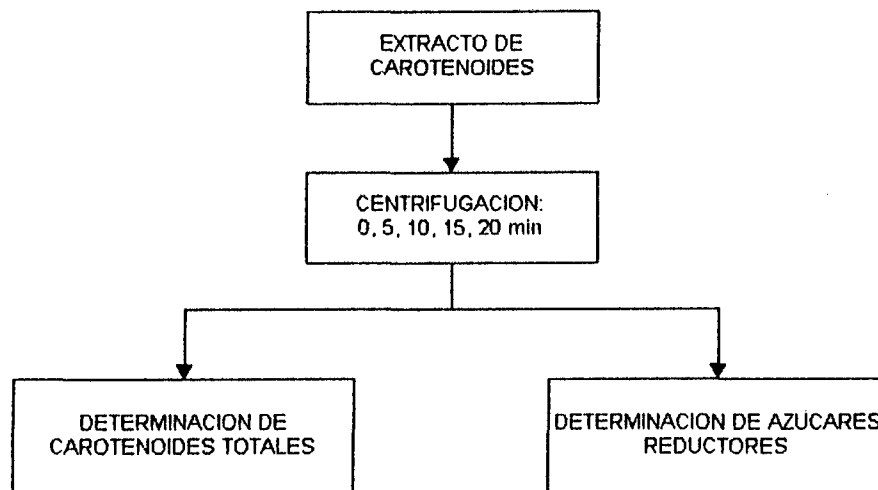


Figura 8. Esquema experimental para la evaluación de la interferencia de los azúcares reductores, en la determinación espectrofotométrica de Carotenoides de papaya osmodeshidratada.

Los datos fueron analizados estadísticamente empleando Análisis de regresión, el mismo que fue ejecutado en el Software STATGRAPHICS Versión 4.0.

F. Metodología para obtener el Modelo de Simulación de Degradación de Carotenoides en papaya Osmodeshidratada.

El esquema experimental usado para obtener el modelo de simulación, se muestra en la figura 9.

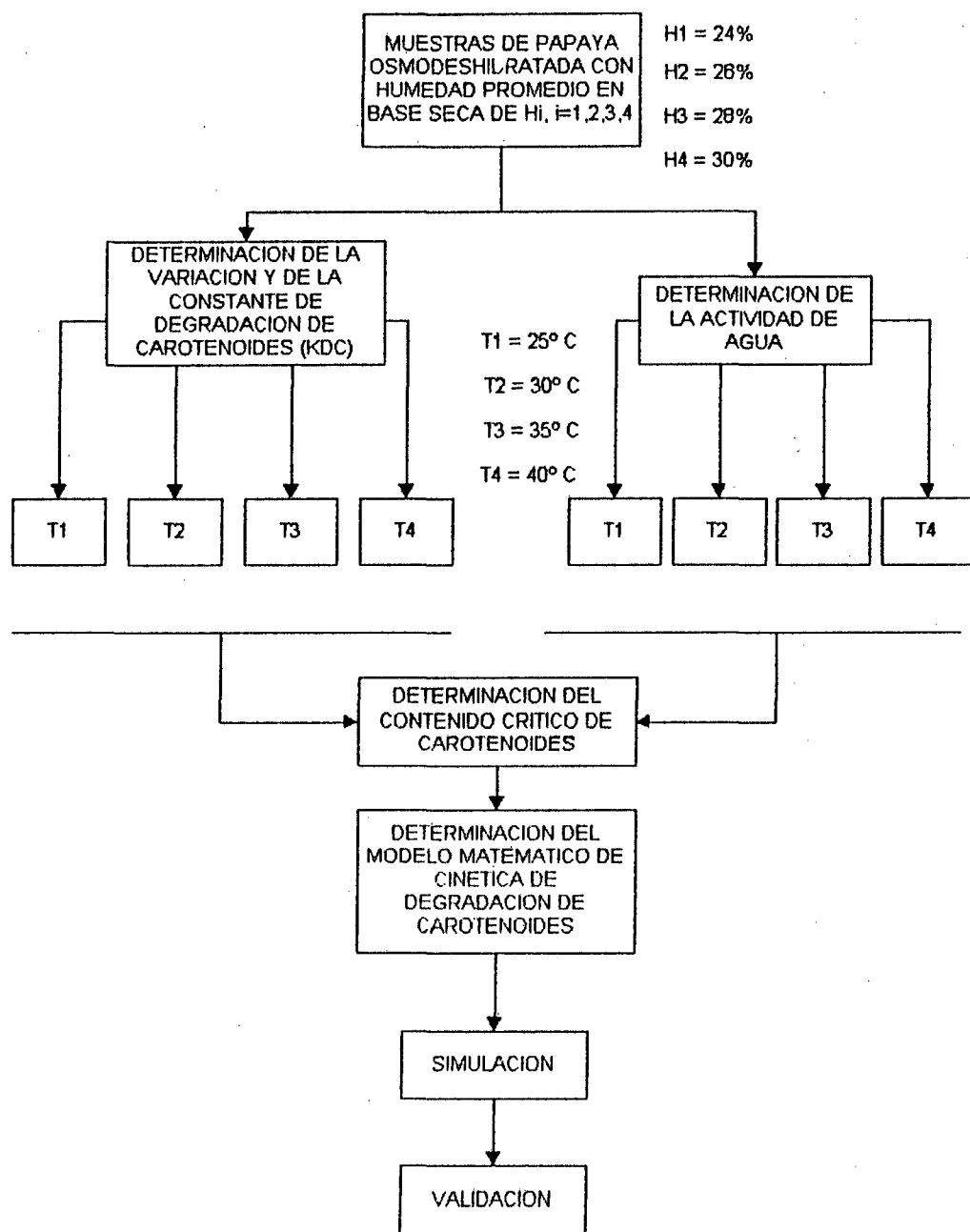


Figura 9. Esquema Experimental para la obtención del Modelo de Simulación.

1. Determinación de la Actividad de agua.

Los valores de humedad de equilibrio obtenidos en la etapa de determinación de isotermas de adsorción, fueron ajustados a siete Modelos Matemáticos de Isotermas de Sorción: Henderson, Chung-Pfost, Halsey Modificado, Chen-Clayton, Henderson-Thompson, G.A.B e Iglesias-Chirife; empleando para ello, el procedimiento de Regresión no Lineal del SPSS para Windows y el STATGRAPHICS.

La bondad de ajuste de los Modelos de Sorción, se determinó mediante el Análisis de varianza, el Coeficiente de correlación y el porcentaje de error medio relativo.

A partir del Modelo obtenido se determinó los valores de A_w para muestras con contenido de agua de 24, 26, 28 y 30% en base seca, a las temperaturas de 25, 30, 35 y 40°C.

2. Determinación de la variación y de la constante de Degradación de Carotenoides (KDC).

Se determinó experimentalmente la variación del contenido en carotenoides en muestras de 24, 26, 28 y 30% de humedad promedio en base seca, almacenadas en bolsas de polietileno de alta densidad a 25, 30, 35 y 40°C; estas determinaciones se realizaron durante 14 días.

Los valores de KDC fueron calculados empleando el Análisis de Regresión lineal utilizando los datos de variación del contenido de carotenoides y considerando que la degradación de estos sigue una cinética de orden uno, esto es:

$$\ln (C/C_0) = -KDC * t$$

Donde :

C = Concentración de carotenoides en la papaya osmodeshidratada al tiempo t.

C₀ = Concentración inicial de carotenoides en la papaya osmodeshidratada.

KDC = Constante de degradación de carotenoides en la papaya osmodeshidratada; depende de la temperatura y de la actividad de agua.

t = Tiempo de almacenamiento.

3. Determinación del contenido crítico de Carotenoides.

El contenido crítico de carotenoides, considerado como la cantidad mínima aceptable por los consumidores, fue evaluado mediante Análisis Sensorial con panelistas semientrenados.

La evaluación sensorial se realizó sobre trozos de papaya osmodeshidratada de diferentes estados de madurez, que permitía tener diferentes tonalidades de color amarillo.

La muestra reportada como el ligeramente aceptable después del análisis estadístico, fue la que definió el contenido crítico de carotenoides; el mismo que fue evaluado espectrofotométricamente a la longitud de onda de máxima absorbancia.

4. Determinación del Modelo Matemático de Cinética de degradación de Carotenoides en Papaya Osmodeshidratada.

Para la determinación del Modelo Matemático, se procedió a graficar el valor de la KDC en función de la temperatura de almacenamiento y la actividad de agua de la papaya Osmodeshidratada; a fin de aproximar dicho comportamiento a funciones matemáticas conocidas.

Luego empleando el procedimiento de Regresión Múltiple del STATGRAPHICS, se procedió a calcular los estimadores de Modelo anteriormente planteado.

La bondad de ajuste del Modelo fue evaluado en función a tres pruebas estadísticas:

a. Análisis de Varianza.

Con el fin de probar la validez del Modelo se realizó el Análisis de Varianza, tal como se muestra en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Análisis de Varianza para la significancia de la Regresión Múltiple.

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fo
Regresión	SS_R	k	MS_R	CM_R/CM_E
Error o residuo	$\sum_1^n (y_j - y_{ej})^2$	n-k-1	$\sum_1^n (y_j - y_{ej})^2 / n-k-1$	
Total	S_{YY}	n-1		

Fuente : MONTGOMERY (34).

Donde:

k : es el número variables independientes del Modelo de Regresión.

n : es el número de observaciones del experimento.

y_{ej} : es el valor estimado por el modelo para la unidad experimental j.

y_j : es el valor observado en la unidad experimental j y en la repetición j.

La relación de las varianzas S^2_1/S^2_2 tiene una distribución F con v_1 y v_2 grados de libertad. Esta relación debe ser comparada con el F tabular para probar la hipótesis que los puntos experimentales son adecuadamente representados por el modelo. Para aceptar la hipótesis planteada, debe cumplirse lo siguiente:

$$MS_R / MS_E > F(0.95) (k, n-k-1)$$

b. Coeficiente de Determinación.

El valor de coeficiente de determinación fue calculado empleado la siguiente relación:

$$R^2 = \frac{\text{Suma de cuadrados de la Regresión}}{\text{Suma de Cuadrados totales.}}$$

c. Determinación del porcentaje de error medio relativo (ZEMR).

El porcentaje de error medio relativo según SARAVACOS et. al. (47), esta dado por:

$$ZEMR = 100 \frac{\sum |Y_{\text{calculado}} - Y_{\text{experimental}}|}{n \cdot Y_{\text{experimental}}}$$

5. Simulación.

La simulación de la degradación de carotenoides en papaya osmodeshidratada mediante el Modelo Matemático de Cinética determinado, se realizó sobre la base de muestras 2x2x1 cm, con diferentes contenidos de humedad y almacenados a diferentes temperaturas, para lo cual se asumió lo siguiente:

- La humedad del alimento y la temperatura de almacenamiento permanecen constantes y uniforme en todo el producto, durante el período de almacenamiento.

A fin de realizar esta Simulación se elaboró un programa en el FOXPRO versión 2.6, cuyo algoritmo general es el siguiente:

1. Leer la opción elegida:

Opción 1: Vida en anaquel.

Opción 2: Simulación de la degradación de carotenoides.

2. Si la opción elegida es 1:

a) Leer datos de temperatura, humedad en base seca y concentración inicial de carotenoides.

b) Calcular la actividad de agua del producto empleando uno de los siguientes modelos, según el análisis de varianza, el coeficiente de determinación y el porcentaje de error medio relativo.

MODELOS:

- Henderson : $1-A_w = \exp(-aTM)$
Chung-Pfost : $A_w = \exp[-a/T \exp(-bM)]$
Halsey modificado : $A_w = \exp[-\exp(a-bT)M^c]$
Chen-Clayton : $A_w = \exp[-aT^b \exp(-cTM)]$
Henderson-Thompson : $1-A_w = \exp[-a(t+b)M]$

Donde :

A_w = actividad de agua. M = % de humedad en base seca.

T = Temperatura en °K. t = Temperatura en °C.

a, b, c, d = parámetros.

c) Calcular la constante de degradación de carotenoides (KDC) del alimento utilizando para ello el Modelo Matemático de Cinética previamente determinado.

d) Calcular el tiempo de vida útil, empleando la siguiente ecuación:

$$t_u = \ln(C_c/C_o)/KDC$$

Donde:

t_u = Tiempo necesario para alcanzar el cantidad crítica de carotenoides.

C_c = Cantidad crítica de carotenoides, determinado por análisis sensorial.

C_o = Cantidad inicial de carotenoides.

KDC = Constante de degradación de carotenoides.

e) Escribir el tiempo de vida útil del producto.

f) Fin

3. Si la opción es 2:

a) Leer los datos de temperatura, humedad en base seca, concentración inicial de carotenoides y tiempo de almacenamiento.

b) Calcular la actividad de agua del producto empleando uno de los siguientes modelos, según el análisis de varianza, el coeficiente de determinación y el porcentaje de error medio relativo.

MODELOS:

Henderson : $1-A_w = \exp(-aTM)$

Chung-Pfost : $A_w = \exp[-a/T \exp(-bM)]$

Halsey modificado : $A_w = \exp[-\exp(a-bT)M^c]$

Chen-Clayton : $A_w = \exp[-aT^b \exp(-cTM)]$

Henderson-Thompson : $1-A_w = \exp[-a(t+b)M]$

Donde :

A_w = actividad de agua M = % de humedad en base seca.

T = Temperatura en °K t = Temperatura en °C.

a, b, c, d = parámetros.

c) Calcular la constante de degradación de carotenoides (KDC) del alimento utilizando el Modelo Matemático de Cinética previamente determinado.

- d) Inicializar el tiempo de almacenamiento a cero.
e) Calcular la cantidad de carotenoides empleando la siguiente ecuación:

$$C = C_0 * e^{-KDCt}$$

Donde:

C = Cantidad de carotenoides al tiempo t de almacenamiento.

C₀ = Cantidad inicial de carotenoides.

KDC = Constante de degradación de carotenoides.

t = Tiempo de almacenamiento.

- f) Escribir tiempo de almacenamiento t y cantidad de carotenoides C.

- g) Incrementar t en 1.

* Si t es menor o igual que el tiempo ingresado

- Calcular la cantidad de carotenoides C e incrementar t en 1.

* Si t es mayor que el tiempo ingresado.

- fin.

6. Validación.

Para validar los valores del contenido de carotenoides en la fruta osmodeshidratada obtenidos por medio del Programa de Simulación, se almacenaron 5 unidades de papaya osmodeshidratada de 2 x 2 x 1 cm de 19 y 22% de humedad promedio en base seca, selladas en bolsas de polietileno de alta densidad a las temperaturas constantes de 28 y 32°C.

Los controles del contenido de carotenoides en la fruta osmodeshidratada fueron realizados al inicio y cada 48 horas por un período de 4 días; paralelamente se realizó el control de peso, a fin de verificar la variación del contenido de humedad en el alimento.

IV. R E S U L T A D O S Y D I S C U S I O N

A. Obtención de la papaya Osmodeshidratada.

1. Caracterización Química, Fisicoquímica y Física de la materia prima.

En los cuadros 6 y 7 se muestran los resultados de los análisis químico proximal, fisicoquímicos y físicos de la papaya variedad criolla empleada en el proceso osmótico.

Cuadro 6. Resultado del análisis químico proximal de papaya variedad criolla procedente del pueblo joven Libertad-Tingo María, en base a 100 gramos de parte comestible.

COMPONENTES MAYORES	(g)
Humedad	91,0044
Proteína	0,6425
Carbohidratos	7,4772
Grasa	0,1639
Fibra	0,4265
Ceniza	0,2856
MINERALES :	(mg)
Magnesio	23,8000
calcio	40,0000
VITAMINA :	(mg)
Vitamina C	46,0000

Cuadro 7. Resultado promedio de los análisis físicos y fisicoquímicos de la papaya variedad criolla procedente del Pueblo Joven Libertad-Tingo Maria.

Características Físicas y
Fisicoquímicas

- Color de la cáscara	verde con pequeñas zonas amarillas
- Longitud del fruto	20,167 ± 1.3120 cm
- Longitud de la circunferencia menor	23 ± 1 cm
- Longitud de la circunferencia mayor	41 ± 0.7070 cm
- Peso	1071,5 ± 78,5 g
- Contenido de sólidos soluble	9,33 ± 0.0943 %
- pH (a 26°C)	5.60
- % de Acidez titulable en ácido cítrico	0,02977%
- Contenido de carotenoides (tiempo de extracción de 1 hora).	2,8397 ± 0.2097µg/g

En cuanto a los componentes mayores del análisis químico proximal de la papaya variedad criolla (Cuadro 6), estos difieren de los citados en el cuadro 2.; siendo mayor los valores de humedad y proteína, contrario a lo que ocurre con los Carbohidratos donde el valor encontrado es ligeramente inferior; estas variaciones se debe a la diferencia en cuanto al estado de madurez de las muestras, tipo de suelo, condiciones climatológicas, WILLIS (55).

De los valores obtenidos en el análisis físico y fisicoquímico, se puede observar que la desviación estándar de los resultados referidas a la media como medida de tendencia central, son bajos. La desviación estándar de los sólidos solubles y contenido de carotenoides fueron de 0,0943 y 0,209729619 respectivamente Cuadro 7, con lo que se garantiza la homogeneidad de las muestras empleadas en el proceso osmótico, STEEL y TORRIE (51) y MONTGOMERY (34).

2. Blanqueado.

Los resultados de la prueba de la presencia de peroxidasa realizadas a las muestras sometidas al blanqueado, se presentan en el cuadro 8.

Cuadro 8. Evaluación Cualitativa de la presencia de peroxidasa en trozos de papaya variedad criolla sometidas a 97°C .

Tiempo (minutos)	Actividad peroxidásica	Textura
1,0	+	Buena
1,5	-	Buena
2,0	-	Buena
3,0	-	Buena

En el cuadro 8, se observa que es necesario un tratamiento de 97°C por 1,5 minutos para inactivar la peroxidasa en las muestras de papaya variedad criolla en estado de madurez semipintón, manteniendo buena la textura (factor importante para evitar la deformación de los trozos de papaya durante el proceso osmótico). Este valor contradice a lo determinado por ALFARO (2), que fue de 100°C por 2 minutos; debido a la diferencia en el estado de madurez y la composición química de las muestras, lo que implica diferencias en la velocidad de transferencia de calor (valor de difusividad térmica) y por ende en la velocidad de inactivación enzimática., LUNA et. al. (30).

3. Proceso Osmótico.

a. Pruebas Preliminares.

En los cuadros 9, 10, 11 y 12, se muestran los resultados de las pruebas preliminares del proceso osmótico de papaya empleando jarabe de azúcar invertido con niveles de pH de 2,5 y 3,0 a 26°C de temperatura en promedio y con relación pulpa/jarabe de 1:5.

Cuadro 9. Resultados de la variación de sólidos solubles del jarabe de azúcar invertido de pH 2,5, durante el proceso osmótico de papaya variedad criolla.

Concentración Inicial del Jarabe en °Brix	Tiempo (horas)						
	0	1	2	3	4	5	8
37,0	37,0	35,4	35,2	34,3	34,2	34,1	34,0
45,0	45,0	45,0	45,0	44,8	44,5	44,2	44,2
54,5	54,5	54,4	54,3	54,2	54,2	54,1	54,0
64,3	64,3	64,0	63,7	63,5	63,2	63,0	62,9

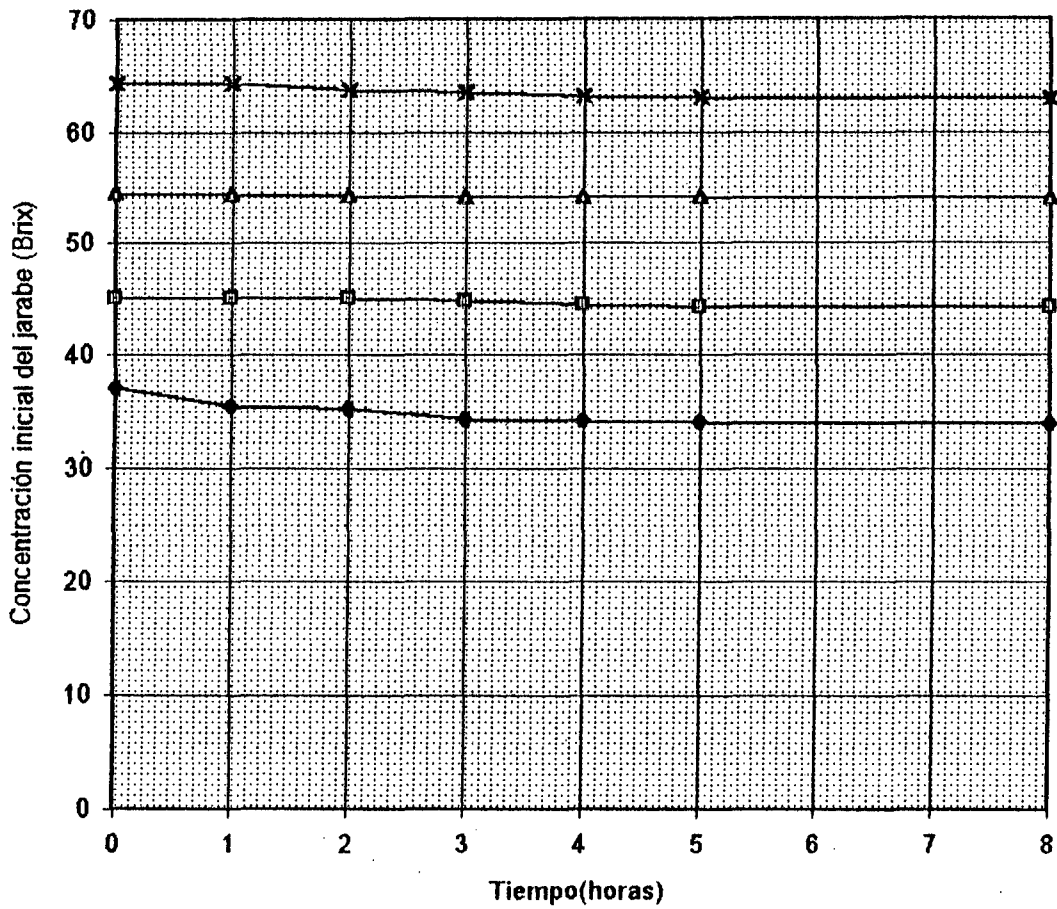


Figura 10. Variación de sólidos solubles del jarabe de azúcar invertido de pH 2,5 durante el proceso osmótico de papaya variedad criolla.

Cuadro 10. Resultados de la evaluación de las características organolépticas de la papaya osmodeshidratada en jarabe de azúcar invertido de pH 2,5.

Características Organolépticas	
Sabor	Demasiado ácido
Color	amarillo con zonas decoloradas
Forma	Encogida

Del cuadro 9, se observa que la variación de los sólidos solubles en el jarabe (como forma de medida de la velocidad de transferencia de masa) disminuye porcentualmente de 8.108% (para el jarabe de 37°Brix) a 2,1773% (para el jarabe de 64,3°Brix); esto debido a dos factores:

1) Disminución del gradiente de concentración de sólidos solubles entre el jarabe y los trozos de papaya de 27,67 a 10,3°Brix, respectivamente.

2) Formación de una película superficial, producido por la elevada diferencia inicial entre la concentración de sólidos solubles del jarabe y la fruta (27,67°Brix): que impide el fenómeno de transporte de masa (Cuadro 7 y 9). Este segundo

factor adicionalmente coadyuvó a la pérdida de calidad organoléptica de los trozos de papaya; debido al encogimiento que originó.

Además se observó que los trozos de papaya sometidas a proceso osmótico con jarabe de pH 2,5, se decoloran (cuadro. 10); esto probablemente a causa de la elevada acidez que hace que los carotenoides presentes sufran un proceso de isomerización tal como lo indica RODRIGUEZ-AMAYA (41) y GORTNER y SINGLETON citado por RODRIGUEZ-AMAYA (41), que además implica la disminución del valor biológico como provitaminas A de los carotenoides presente en la papaya.

Cuadro 11. Resultados de la variación de sólidos solubles del jarabe de azúcar invertido de pH 3,0, durante el proceso osmótico de papaya variedad criolla.

Concentración inicial	Tiempo (horas)							
	0	1	2	3	4	5	8	
del jarabe en °Brix								
34,2	34,2	33,0	32,7	32,4	32,2	32,1	32,0	
45,0	45,0	45,0	45,0	44,7	44,5	44,3	44,2	
54,6	54,6	54,4	54,2	54,0	53,8	53,6	53,5	
64,6	64,6	64,3	63,9	63,7	63,5	63,3	63,2	

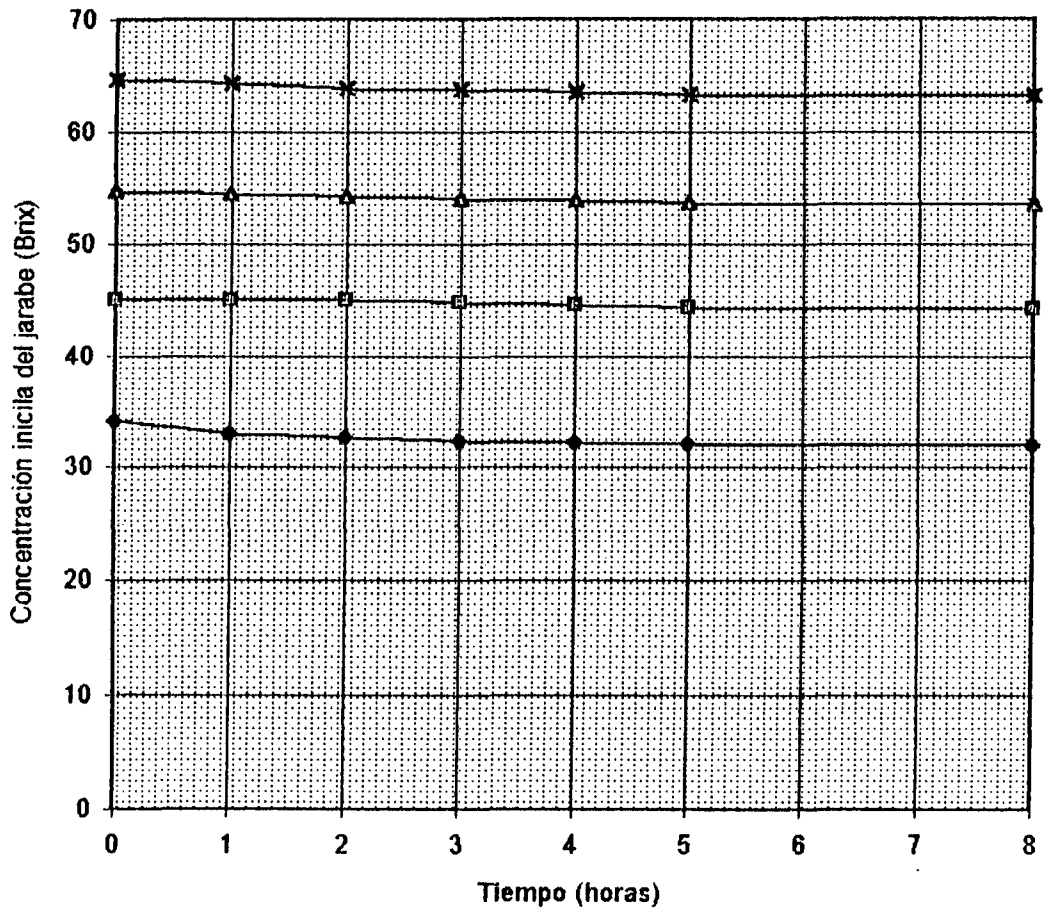


Figura 11. Variación de sólidos solubles del jarabe de azúcar invertido de pH 3,0 , durante el proceso osmótico de la papaya variedad criolla.

Cuadro 12. Resultados de la evaluación de las características organolépticas de la papaya osmodeshidratada en jarabe de azúcar invertido de pH 3,0 y manteniendo la relación fruta/jarabe de 1:5.

Características Organolépticas

Sabor	Normal (no ácido)
Color	Amarillo
Forma	Encogida

Al igual que en el proceso osmótico a pH 2,5 la variación de los sólidos solubles en el jarabe disminuyó porcentualmente de 5,848% (para 34,2°Brix) a 2,16718% para el jarabe de 64,6°Brix (Cuadro. 11); debido al mayor gradiente inicial de concentración de sólidos solubles entre el jarabe y los trozos de papaya, que aproximadamente fue de 23,2°Brix; también se observó que los trozos de papaya tienden a encogerse, lo que implica que la gradiente de concentración inicial sigue siendo elevada, SCHWARTZBERG citado por FERNANDEZ (14). No se observó decoloración; debido a que el pH de 3,0 no es muy bajo y por lo tanto no se produjo isomerización RODRIGUEZ-AMAYA (41).

b. Proceso Osmótico definitivo.

En función a los resultados preliminares, el proceso osmótico fue realizado con un jarabe de azúcar invertido cuyas características físicas y fisicoquímicas se muestran en el anexo 3. y con razón de pulpa/jarabe 1:5, temperatura de 25°C y concentración inicial de sólidos solubles del jarabe de 25°Brix. Las evaluaciones de la variación del peso y sólidos solubles del jarabe para el proceso osmótico definitivo efectuadas cada 8 horas, se muestran en el cuadro 13.

Cuadro 13. Variación del peso de los trozos de papaya, sólidos solubles y pH del jarabe de azúcar invertido durante el proceso osmótico definitivo de trozos de papaya variedad criolla; promedio de cuatro evaluaciones.

Inicio			Final		
°Brix	Peso	pH	°Brix	Peso	pH
25,25	500,00	3,10	24,01	477,36	3,43
35,00	477,36	3,00	33,20	468,22	3,30
45,20	468,22	2,93	43,25	457,65	3,20
55,48	457,65	2,80	53,63	432,42	3,03
64,88	432,42	2,70	62,00	363,49	2,93

El cálculo de la cantidad de jarabe preparado a adicionar necesario para alcanzar los niveles de concentración de sólidos solubles de 25, 35, 45, 55 y 65°Brix, manteniendo la relación pulpa/jarabe de 1:5, se efectuaron con las siguientes ecuaciones:

$$W_{ja} = 5W_f * \left[\frac{B_{xa} - B_{xjp}}{B_{xja} - B_{xjp}} \right] \dots (1)$$

$$W_{jp} = 5W_f - W_{ja} \dots (2)$$

Donde :

W_{ja} : Peso del jarabe preparado a adicionar en gramos.

W_f : peso de la fruta en gramos

B_{xa} : °Brix a alcanzar.

B_{xja} : °Brix del jarabe a adicionar.

B_{xjp} : °Brix del jarabe en proceso.

El detalle de las operaciones matemáticas realizadas para obtener estas ecuaciones se muestra en el anexo 4.

4. Deshidratación.

Los resultados obtenidos en los ensayos de deshidratación se muestra en los cuadros del 14 al 17.

Cuadro 14. Variación del peso y la humedad en base seca de la papaya osmodeshidratada a almacenar a 25°C, durante la deshidratación en ambiente de humedad relativa reducida.

Tiempo (minutos)	Peso	% Humedad en base seca
0	7,9905	40,59036
30	7,9004	39,00508
60	7,8401	37,94412
90	7,7868	37,00633
120	7,7124	35,69728

Cuadro 15. Variación del peso y la humedad en base seca de la papaya osmodeshidratada a almacenar a 30°C, durante la deshidratación en ambiente de humedad relativa reducida.

Tiempo (minutos)	Peso	% Humedad en base seca
0	7,4263	41,73473
30	7,3578	40,42737
60	7,2969	39,26506
90	7,2451	38,27643
120	7,1871	37,16847

Cuadro 16. Variación del peso y la humedad en base seca de la papaya osmodeshidratada a almacenar a 35°C, durante la deshidratación en ambiente de humedad relativa reducida.

Tiempo (minutos)	Peso	% Humedad en base seca
0	7,6901	40,55599
30	7,6133	39,15229
60	7,5290	37,61149
90	7,4580	36,31379
120	7,3836	34,95394

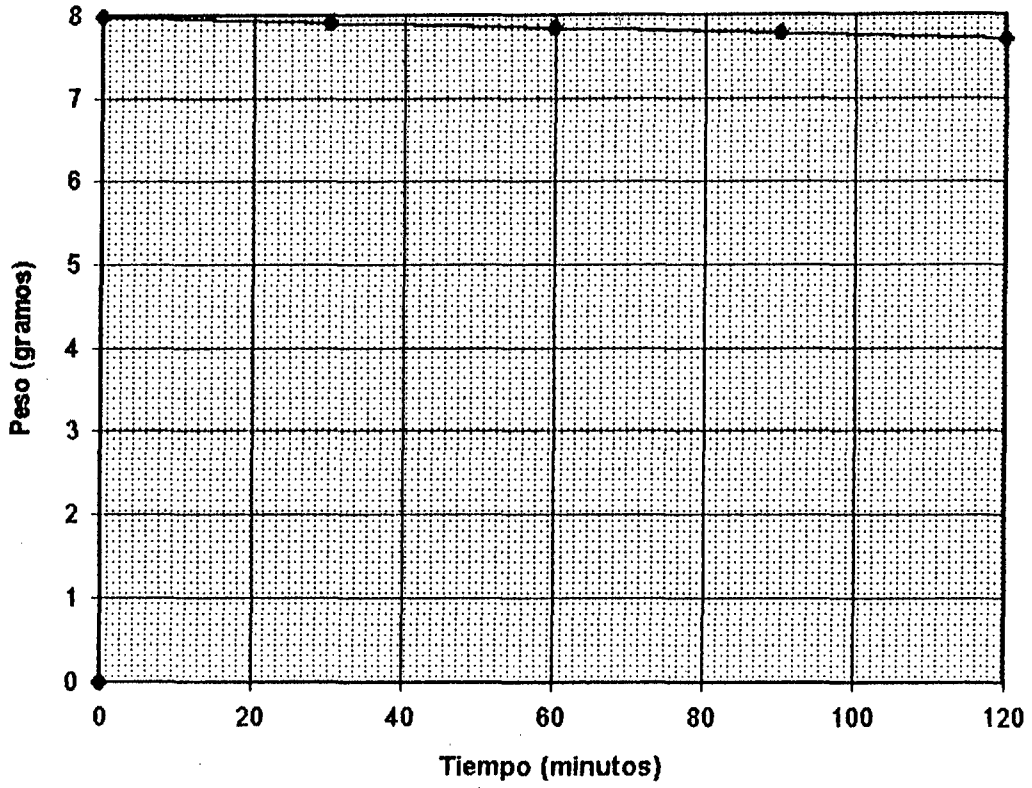


Figura 12. Variación del peso de la papaya osmodeshidratada a almacenar a 25°C, durante la deshidratación en ambiente de humedad relativa reducida.

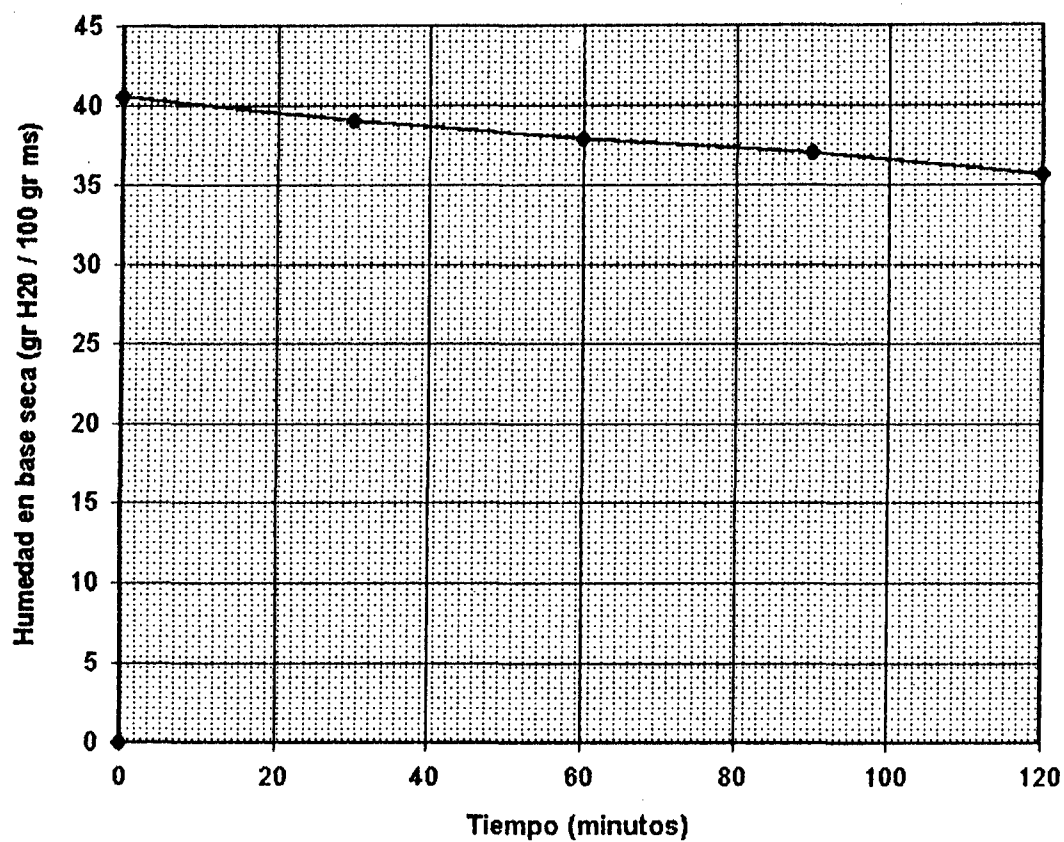


Figura 13. Variación de la humedad en base seca de la papaya osmodeshidratada a almacenar a 25°C, durante la deshidratación en ambiente humedad relativa reducida.

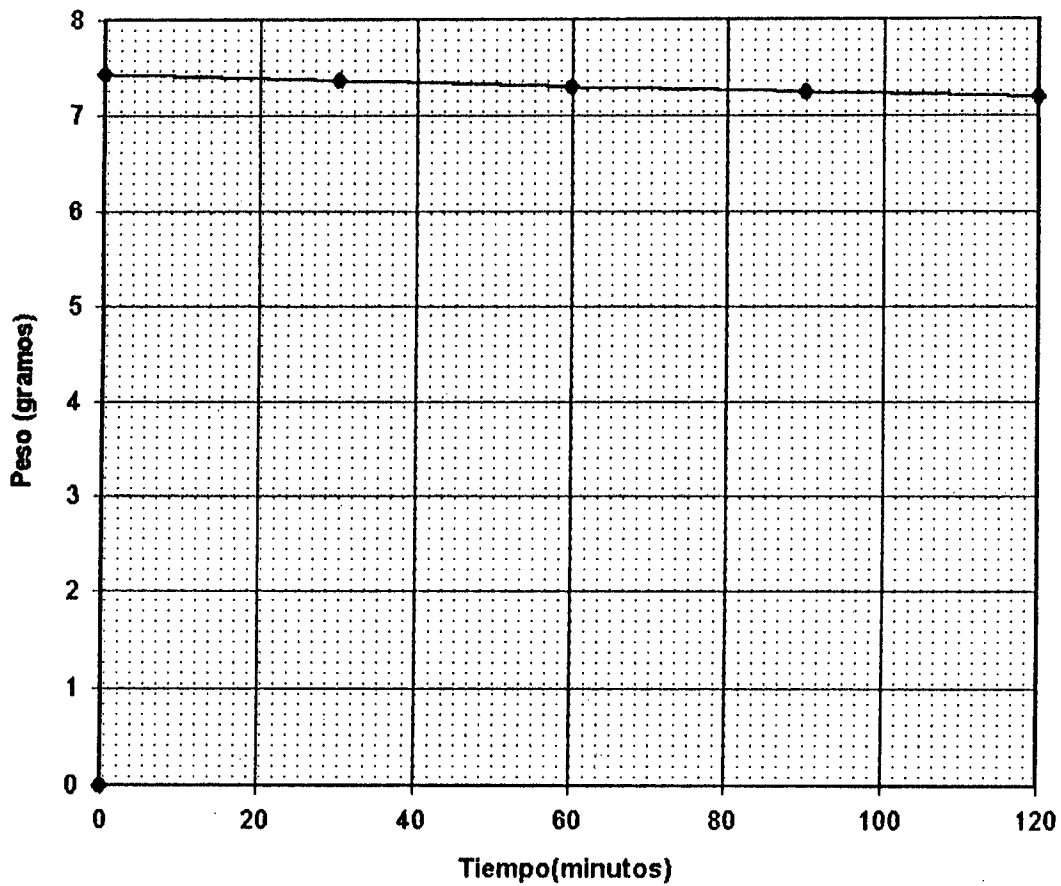


Figura 14. Variación del peso de la papaya osmodeshidratada a almacenar a 30°C, durante la deshidratación en ambiente de humedad relativa reducida.

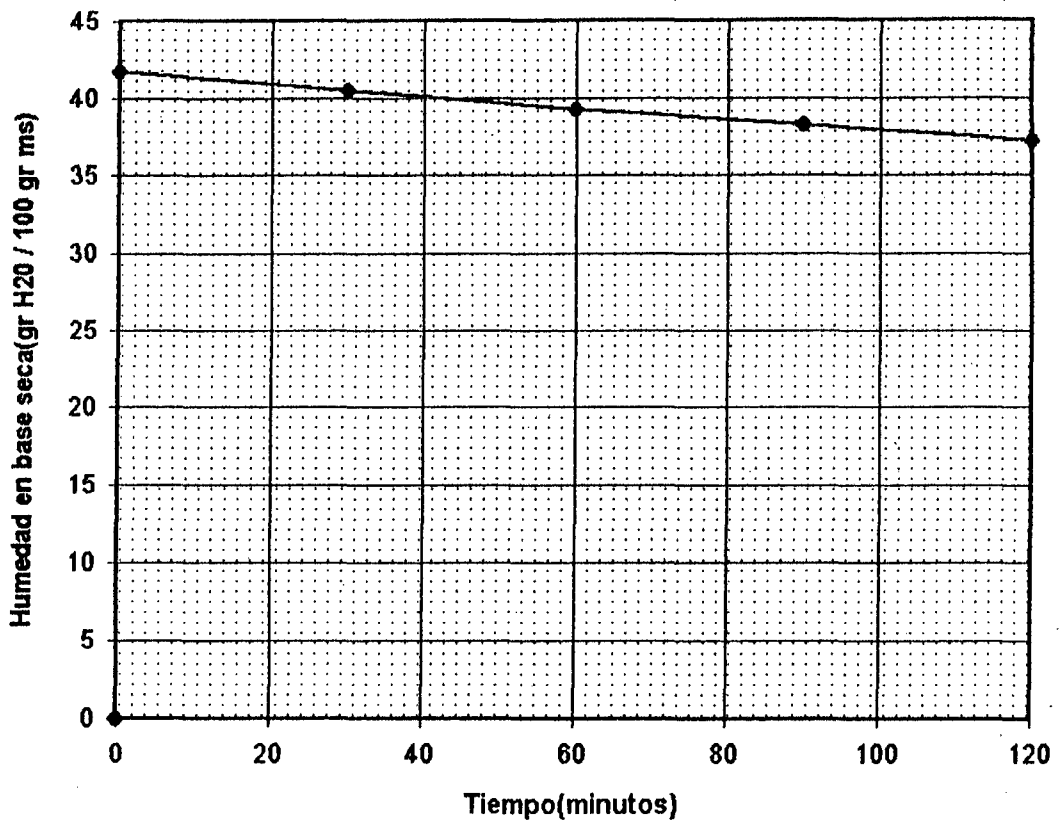


Figura 15. Variación de la humedad en base seca de la papaya osmodeshidratada a almacenar a 30°C , durante la deshidratación en ambiente de humedad relativa reducida.

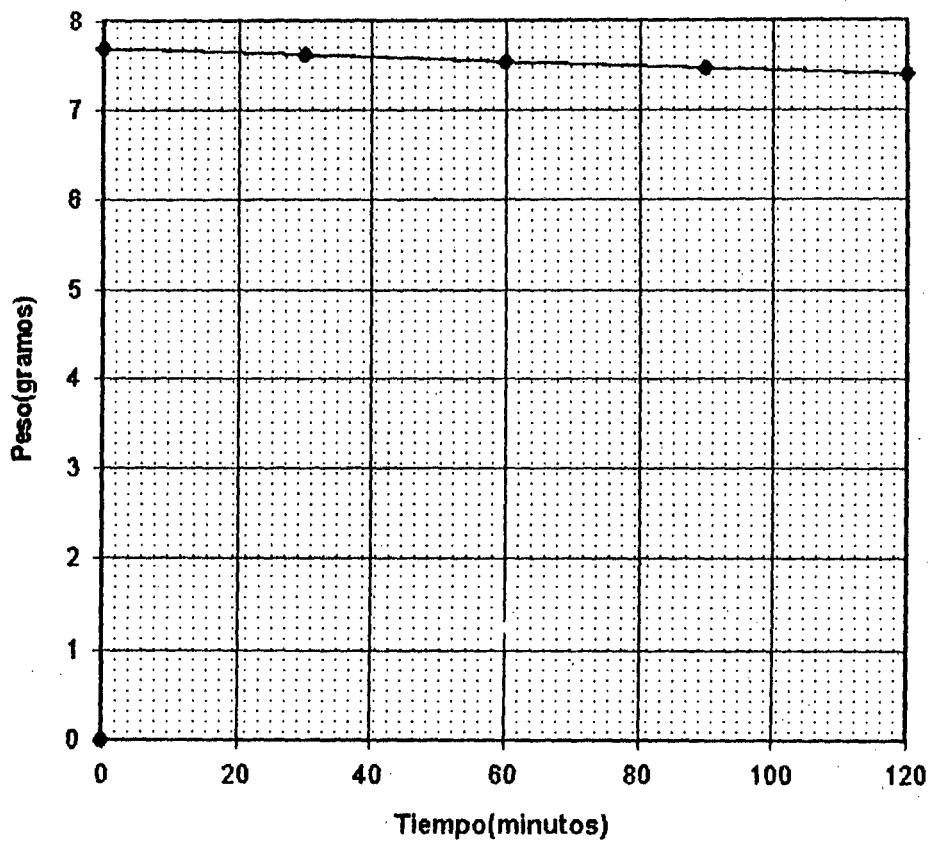


Figura 16. Variación del peso de la papaya osmodeshidratada a almacenar a 35°C, durante la deshidratación en ambiente de humedad relativa reducida.

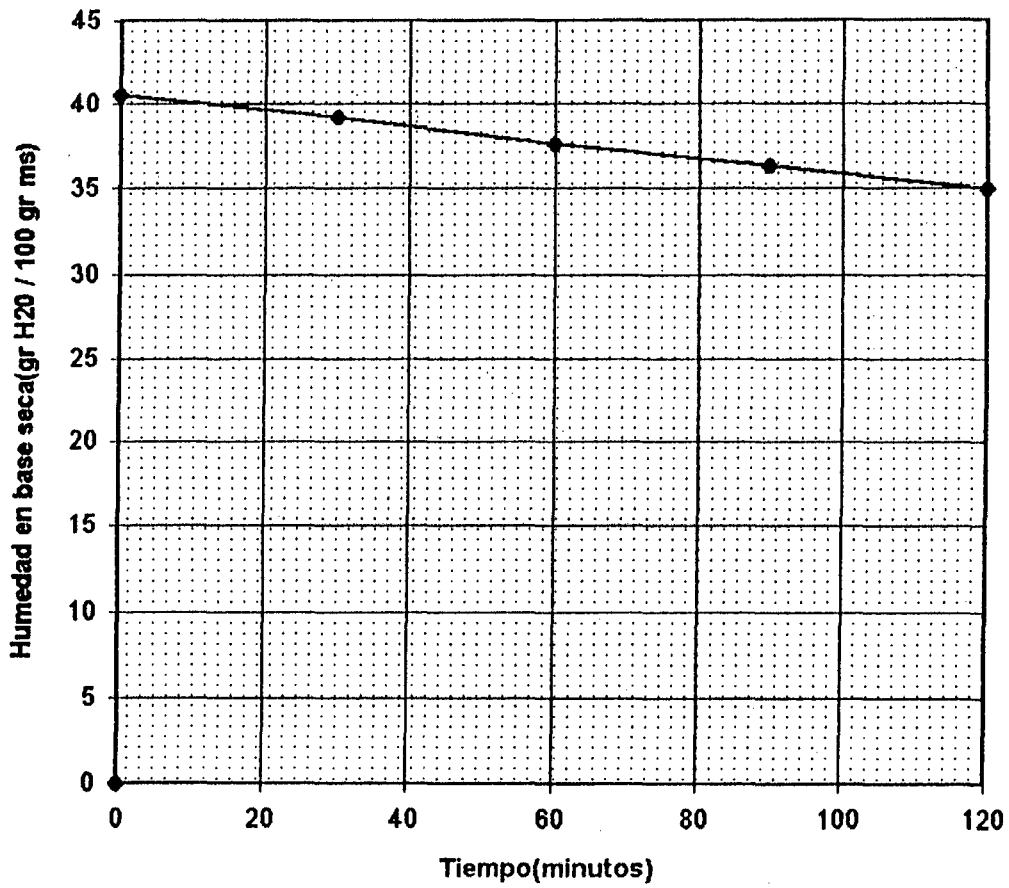


Figura 17. Variación de la humedad en base seca de la papaya osmodeshidratada a almacenar a 35°C, durante la deshidratación en ambiente de humedad relativa reducida.

De los gráficos del 12 al 17, se observa que las curvas de deshidratación en ambiente de humedad relativa reducida, tiene un comportamiento lineal, contrario al deshidratado con aire caliente a condiciones constante que presenta un comportamiento hiperbólico GEANKOPLIS (15); esto debido a que durante las operaciones de lavado e inmersión en la solución de sorbato de potasio al 0,1% las muestras ganaron agua, el mismo que fue ligado a nivel superficial, lo que hizo que la velocidad de deshidratación sea constante., GEANKOPLIS (15), OCON y TOJO (37) y McCABE y SMITH (33).

En el cuadro 17 se muestra el contenido de humedad de las muestras antes y después del lavado e inmersión en sorbato de potasio al 0,1%.

Cuadro 17. Contenido de humedad en base húmeda de muestras de papaya osmodeshidratada antes y después del lavado e inmersión en solución de sorbato de potasio al 0,1%.

Muestra a almacenar a:	% de Humedad en base	humedad
	Antes	Después
25°C	27,3477	28,87070
30°C	21,8987	29,37405
35°C	21,3650	28,85398

En función a la tendencia de la curvas de deshidratación, se aplicó el análisis de regresión lineal simple para obtener las ecuaciones que permitan determinar el tiempo de secado para alcanzar los niveles de humedad de 24, 26, 28 y 30% en base seca. El análisis de Variancia y las ecuaciones respectivas se muestran en los cuadros del 18 al 20.

Cuadro 18. Análisis de Varianza de Modelo lineal para la Curva de deshidratación de papaya osmodeshidratada a almacenar a 25°C.

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fc	Significancia
Modelo	1	13,8884	13,8884	368,9276	a
Error	3	0,1129	0,0376		
TOTAL	4	14,0013			

R-cuadrado = 99.19% Coeficiente de correlación = -0.995959

Ecuación : Humedad en base seca = 40,4056 - 0,0393xTiempo

Cuadro 19. Análisis de Varianza de Modelo lineal para la Curva de deshidratación de la papaya osmodeshidratada a almacenar a 30°C.

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fc	Significancia
Modelo	1	12,7271	12,7271	1193,9530	a
Error	3	0,0320	0,0107		
TOTAL	4	12,7591			

R-cuadrado = 99,75% Coeficiente de correlación = -0.998746

Ecuación : Humedad base seca = 41,6309 - 0,0376xTiempo

Cuadro 20. Análisis de Varianza de Modelo lineal para la Curva de deshidratación de la papaya osmodeshidratada a almacenar a 35°C.

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fc	Significancia
Modelo	1	19,7195	19,7195	3920,3430	a
Error	3	0,0151	0,0050		
TOTAL	4	19,7346			

R-cuadrado = 99,92% Coeficiente de correlación = -0,999618

Ecuación : Humedad en base seca = 40,5260 - 0,0468xTiempo

* : significativo a nivel de 1%.

B. Adecuación del Método espectrofotométrico de determinación del contenido de carotenoides totales en papaya osmodeshidratada.

1. Determinación del Solvente y la Longitud de Onda de Máxima Absorbancia.

En el cuadro. 21, se muestran los espectros de absorción del extracto de carotenoides de pulpa de papaya en estado fresco en etanol y mezclas de etanol-hexano en las proporciones 1:1, 2:1 y 3:1. Se observa que para todos los solventes, la longitud de onda donde se verifica la máxima absorbancia es 440 nm, estando este valor en el rango de longitud de onda de los carotenoides presentes en la papaya, tal como se puede observar en el anexo 5., BRITTON (8). El valor de absorbancia es mayor cuando el etanol esta presente en mayor proporción, así para el etanol puro este valor es de 0,49485, en tanto que para las mezclas etanol-hexano en las proporciones de 1:1, 2:1 y 3:1 son 0,048177, 0,29243 y 0,414539 respectivamente (figura 18); esto posiblemente debido a que los carotenoides presentes en la papaya son fundamentalmente xantófilas (81%), los cuales son moléculas altamente polares y por lo tanto necesitan de un solvente de alta polaridad como el etanol para ser disueltos BRITTON (8).

Cuadro 21. Espectro de absorción del carotenoides de pulpa de papaya en estado fresco lixiviado durante 1 hora con etanol, hexano* y mezcla de etanol-hexano en las proporciones de 1:1, 2:1 y 3:1 con relación pulpa/solvente de 5:24 en p/v.

Longitud de onda (nm)	Absorbancia			
	A11	A21	A31	Aep
365	0,0110	0,1838	0,3420	0,2636
370	0,0177	0,1871	0,3420	0,2596
375	0,0246	0,1938	0,3468	0,2636
380	0,0223	0,2007	0,3516	0,2676
385	0,0223	0,1938	0,3468	0,2757
390	0,0223	0,2041	0,3516	0,2882
395	0,0292	0,2111	0,3565	0,3188
400	0,0339	0,2255	0,3665	0,3325
405	0,0386	0,2328	0,3716	0,3565
410	0,0386	0,2441	0,3820	0,3716
415	0,0386	0,2518	0,3872	0,3979
420	0,0386	0,2518	0,3925	0,4202
425	0,0410	0,2557	0,3979	0,4377
430	0,0410	0,2757	0,4034	0,4559
435	0,0482	0,2924	0,4145	0,4815
440	0,0482	0,2924	0,4145	0,4949
445	0,0434	0,2840	0,4089	0,4949
450	0,0434	0,2882	0,4089	0,4949
455	0,0410	0,2798	0,3979	0,4949
460	0,0410	0,2798	0,3958	0,4881
465	0,0386	0,2741	0,3872	0,4685
470	0,0436	0,2741	0,3872	0,4559
475	0,0362	0,2518	0,3665	0,4318
480	0,0246	0,2366	0,3468	0,3872
485	0,0200	0,2132	0,3279	0,3279
490	0,0177	0,1938	0,3125	0,2757
495	0,0088	0,1707	0,2839	0,2218
500	0,0066	0,1487	0,2676	0,1643
505	0,0044	0,1337	0,2518	0,1192
510	0,0044	0,1221	0,2441	0,0888

Leyenda: A11: Proporción etanol-hexano 1:1 en volumen.
A21: Proporción etanol-hexano 2:1 en volumen.
A31: Proporción etanol-hexano 3:1 en volumen.
Aep: Etanol absoluto.

* Después de 4 horas de lixiviación la lectura de absorbancia fue cero, por lo que no se realizó la curva de espectro de absorción.

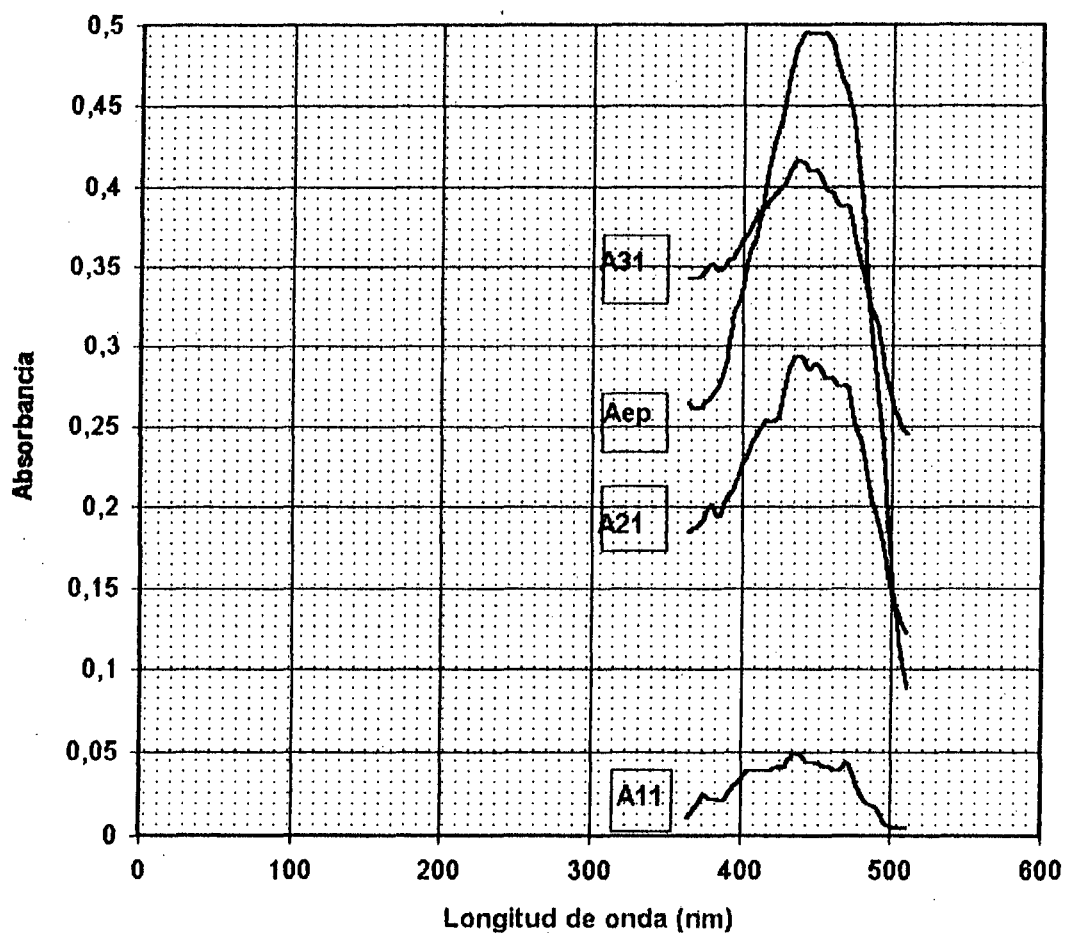


Figura 18. Curvas de espectro de absorción de carotenoides de papaya en estado fresco, fixiviado en cuatro solventes diferentes.

En esta parte del trabajo experimental, se evaluó los extractos de carotenoides en diferentes solventes; observándose que en las mezclas de etanol-hexano se forman dos fases, una coloreada conteniendo los carotenoides y hexano, y otra incolora conteniendo etanol; este fenómeno se produjo por la diferencia de densidades entre el hexano y el etanol, cuyos valores son de 0,66 y 0,79 gr/ml respectivamente, FARMACOPEAS (12) y por la diferencia de polaridades., MORRISON y BOID (35) y RAKOFF y ROSE (40).

El fenómeno antes mencionado y los valores registrados en el cuadro 21, permitió elegir al etanol como el solvente más adecuado para la extracción de carotenoides de papaya, hecho confirmado por BRITTON (8) y BELITZ (4), que recomienda usar etanol para extraer xantófilas, grupo de pigmentos predominante en la papaya (alrededor del 81%)., BRITTON (8).

Con la finalidad de verificar cambios en la longitud de ondas de máxima absorbanza por efecto del proceso osmótico de la papaya, se construyó la curva de espectro de absorción de carotenoides de papaya osmodeshidratada en etanol (figura 19), cuyos resultados se muestran en el cuadro 22.

Cuadro 22. Espectro de absorción de carotenoides de papaya osmodeshidratada lixiviados con etanol (relación fruta/solvente de 5:24 en p/v) durante 1 hora.

Longitud de onda (nm)	Absorbancia
360	0,0605
365	0,0655
370	0,0655
375	0,0706
380	0,0757
385	0,0809
390	0,0915
395	0,0915
400	0,0969
405	0,1051
410	0,1135
415	0,1192
420	0,1278
425	0,1308
430	0,1337
435	0,1367
440	0,1397
445	0,1397
450	0,1397
455	0,1337
460	0,1308
465	0,1278
470	0,1192
475	0,1107
480	0,1024
485	0,0915
490	0,0783
495	0,0630
500	0,0434
505	0,0362
510	0,0223

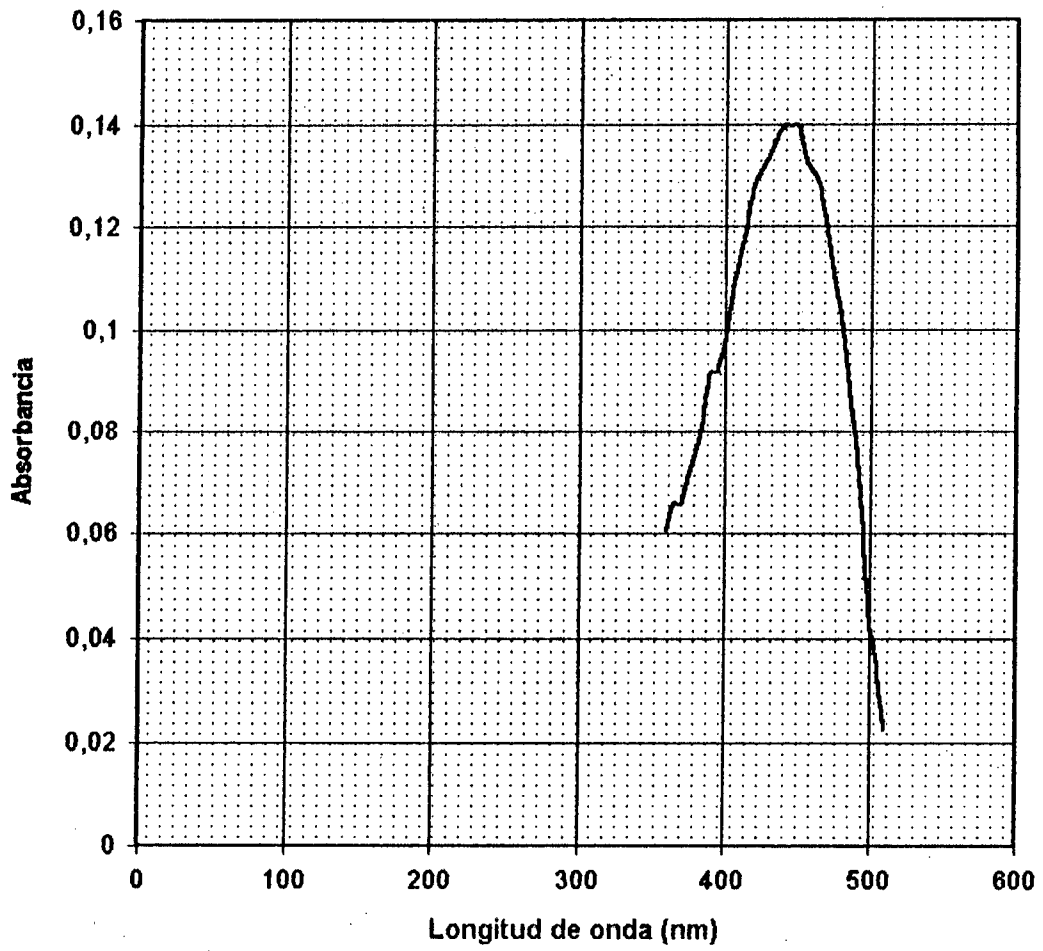


Figura 19. Curva de espectro de absorción de carotenoides de papaya osmodeshidratada lixiviados en etanol.

La longitud de onda de máxima absorbancia de los carotenoides de papaya no varia por efecto del proceso osmótico; debido a la estabilidad de los isómeros trans a pH 3,0, RODRIGUEZ-AMAYA (41). (Cuadro 21 y 22).

En la figura 19. se observa que la longitud de onda de máxima absorbancia es 440 nm; sin embargo la cantidad de carotenoides extraído disminuye en comparación con el obtenido de papayas en estado fresco (cuadro 21 y 22); debido a la reducción de la velocidad de difusión de los carotenoides a través de la muestra, por presencia de azúcares en los espacios intercelulares, GEANKOPLIS (15) y BOLIN et.al. (7). Este fenómeno obligó a realizar pruebas tendientes a obtener el tiempo de lixiviación adecuado.

2. Determinación del tiempo de lixiviación de Carotenoides totales de muestras de papaya Osmodeshidratada.

Las muestras fueron lixiviadas en tres etapas obteniéndose el 80,7438, 16,7628 y 2,4934% del total de carotenoides en cada uno respectivamente.

Los datos de las evaluaciones de la absorbancia del extracto de carotenoides en función al tiempo de lixiviación obtenidos en la primera lixiviación se muestran en el cuadro 23.

Cuadro 23. Variación de la absorbancia del extracto etanólico de muestras de papaya osmodeshidratada, en función del tiempo de lixiviación, primera lixiviación.

Tiempo de lixiviación (hr)	Absorbancia (&)
0	0,0000
1	0,1588
2	0,2914
3	0,3599
4	0,4054
5	0,4280
6	0,4581
15	0,5850
16	0,5741

(&) : promedio de tres evaluaciones

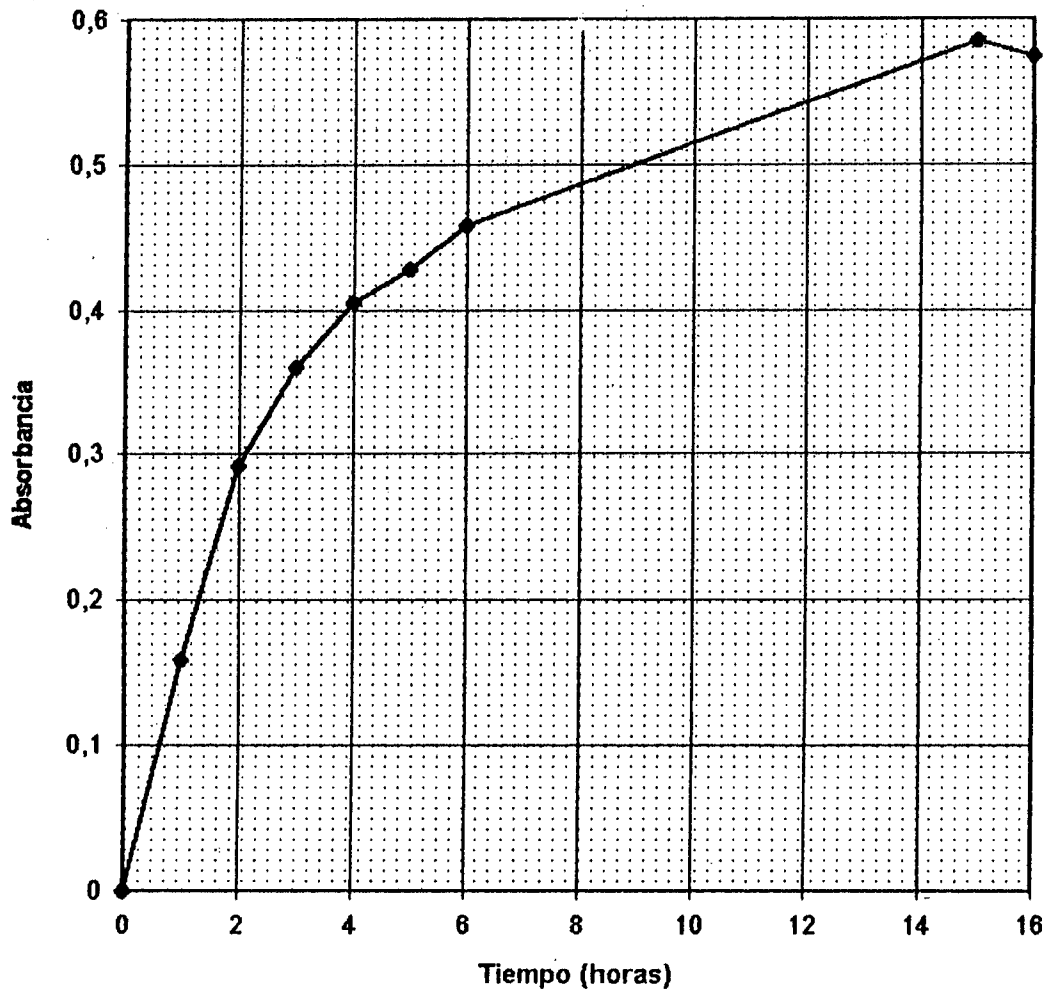


Figura 20. Variación de la absorbancia del extracto etanólico de muestras de papaya osmodeshidratada, en función al tiempo de lixiviación.

Del cuadro 23, se observa que el valor de absorbancia aumenta hasta las 15 horas de lixiviación a razón decreciente (describiendo un comportamiento matemático exponencial, GEANKOPLIS (15) y BRENNAN (6).), para luego disminuir (figura 19); esto debido a saturación de la solución y a la degradación de los carotenoides, ya que en estado libre, sin la presencia de componentes protectores y el efecto de la permeabilidad celular, se tornan más inestable., BRENNAN (6) y FENNEMA (13).

A fin de obtener un modelo que describa el fenómeno de lixiviación mostrado en la figura 20., los resultados del cuadro 23 fueron sometidos al análisis estadístico regresión polinomial, el mismo que fue realizado en el Sistema de Análisis Estadístico S.A.S (los programas efectuados se muestra en el anexo 6.). Los Resultados de estos análisis se observan en los cuadros 24, 25 y 26.

Cuadro 24. Análisis de Varianza del Modelo Polinomial de Orden 2.

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fc	Significancia
Modelo	2	0,2768	0,1384	77,7624	a
Error	6	0,0107	0,0018		
TOTAL	8	0,2875	0,0359		

R-cuadrado = 0.9629

R-cuadrado corregido = 0.9505

^a Significativo al 1%.

Cuadro 25. Análisis de Varianza del Modelo Polinomial de Orden 3.

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fc	Significancia
Modelo	3	0,2836	0,0945	120,2108	a
Error	5	0,0039	0,0008		
TOTAL	8	0,2875	0,0359		

R-cuadrado = 0.9863

R-cuadrado corregido = 0.9781

^a Significativo al nivel de 1%.

Cuadro 26. Análisis de Varianza del Modelo Polinomial de Orden 4.

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fc	Significancia
Modelo	4	0,2873	0,0718	1184,5680	a
Error	4	0,0002	0,0001		
TOTAL	8	0,2875	0,0359		

R-cuadrado = 0.9992

R-cuadrado corregido = 0.9983

^a Significativo al nivel de 1%.

En función a los resultados de los estadísticos F y R-cuadrado de los cuadros 24, 25 y 26, indicadores de la bondad de ajuste de modelos, se optó por el Modelo de orden 4: siendo su forma la siguiente:

$$A = -0,0016 + 0,1981*t - 0,0326*t^2 + 0,0024*t^3 - 0,00006*t^4$$

Donde:

A : Absorbancia.

t : Tiempo de lixiviación.

El tiempo adecuado de lixiviación se obtuvo igualando la primera derivada de la función de Absorbancia respecto del tiempo y resolviendo la ecuación obtenida, el mismo que resultó ser igual a 15 horas.

El estudio de la degradación de carotenoides en papaya osmodeshidratada se hizo sobre la base del 80,7438% del total; considerando que se requiere 39 horas para lixiviar el 97,5066% y de 101 horas para extraer aproximadamente el 100% de carotenoides y debido a la inestabilidad de los carotenoides en forma libre., BRITTON (8) y RODRIGUEZ-AMAYA (41).

3. Determinación de la interferencia de azúcares reductores en el extracto etanólico de Carotenoides.

Las evaluaciones espectrofotométricas de los azúcares reductores y los carotenoides totales a diferentes tiempos de centrifugación se muestran en el cuadro 27.

Cuadro 27. Variación de los azúcares reductores y carotenoides totales en el extracto etanólico de muestras de papaya osmodeshidratada, en función al tiempo de centrifugación.

Tiempo de Centrifugación (minutos)	% TRANSMITANCIA			
	Muestra 1		Muestra 2	
	Az.Red	Car	Az.Red.	Car
0	21,5	35,0	18,5	31,5
5	32,5	34,5	26,5	31,5
10	45,5	34,0	44,5	30,5
15	53,5	35,0	49,0	30,5
20	55,0	35,0	49,0	30,5

Leyenda:

Az.Red : Azúcares reductores.

Car : Carotenoides.

A fin de demostrar estadísticamente si los azúcares reductores interfieren en la determinación espectrofotométrica de carotenoides de papaya osmodeshidratada, se planteó las siguientes hipótesis para el Modelo de Regresión lineal:

H₀: pendiente = $\beta_1 = 0$ (no existe interferencia).

H₁: pendiente = $\beta_1 \neq 0$ (existe interferencia).

Los resultados del análisis de varianza se muestra en el cuadro 28, de donde se establece que la presencia de azúcares reductores (glucosa y fructosa) en el extracto etanólico de carotenoides de papaya osmodeshidratada no afecta la determinación espectrofotométrica de los carotenoides; debido a que los azúcares reductores absorben luz en presencia de un cromóforo (2,4 dinitrofenol) y a 620 nm de longitud de onda tal como menciona, MAIER (31).

Cuadro 28. Análisis de Varianza del efecto de los azúcares reductores en la determinación espectrofotométrica de Carotenoides de papaya Osmodeshidratada.

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fc	Significancia
Modelo	1	0,0005	0,0005	0,0019	b
Error	3	0,7995	0,2665		
TOTAL	4	0,8000			

^b No significativo al nivel de 25%

C. Obtención del Modelo de Simulación de Degradación de Carotenoides en papaya Osmodeshidratada.

1. Determinación de las Isotermas de Adsorción - Actividad de agua.

Los valores de humedad de equilibrio de la muestra de papaya osmodeshidratada a 25, 30, 35 y 40°C se muestra en los cuadros 29, 30, 31 y 32.

Cuadro 29. Humedad de equilibrio de la papaya osmodeshidratada a 25°C.

Actividad de agua	% humedad en base seca
0,114296	11,33298
0,658990	32,10990
0,803000	42,79085
0,870000	58,55318
0,969000	256,24390

Cuadro 30. Humedad de equilibrio de la papaya osmodeshidratada a 30°C.

Actividad de agua	% humedad en base seca
0,111169	8,942479
0,643272	28,339030
0,800000	37,283670
0,860000	45,133060
0,966000	199,584200

Cuadro 31. Humedad de equilibrio de la papaya osmodeshidratada a 35°C.

Actividad de agua	% humedad en base seca
0,108225	6,365992
0,628421	21,034600
0,797000	38,600210
0,850000	54,409000
0,963000	252,445800

Cuadro 32. Humedad de equilibrio de la papaya osmodeshidratada a 40°C.

Actividad de agua	% humedad en base seca
0,105450	4,651912
0,614371	15,666500
0,794000	39,019160
0,840000	52,544190
0,960000	222,420000

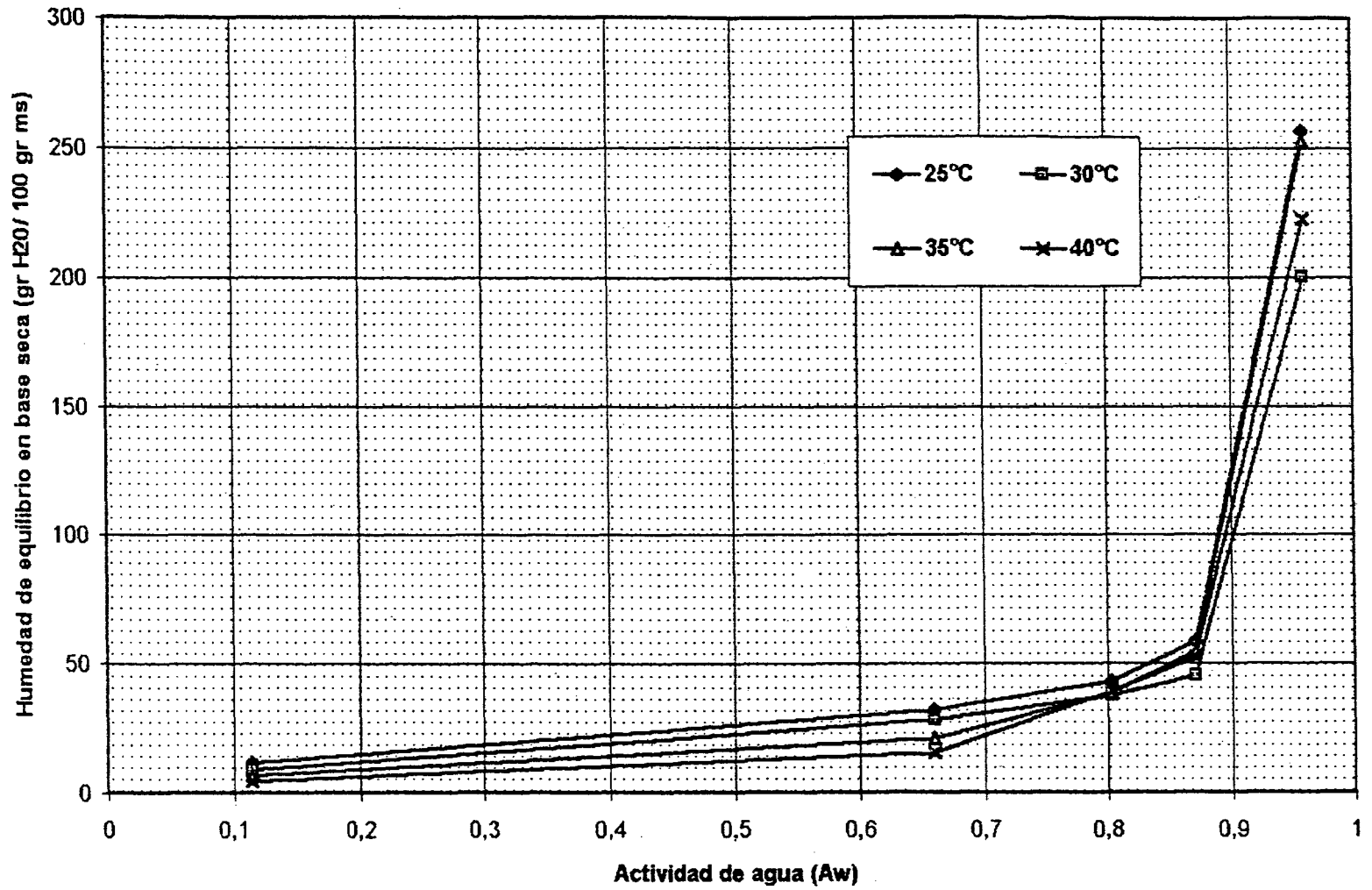


Figura 21. Isothermas de Adsorción de papaya Osmodeshidratada a diferentes temperaturas.

De los cuadros 29 al 32 cuyas representaciones gráficas se muestran en la figura 21., se observa que hasta actividades de agua cercanas a 0,78 aproximadamente, la temperatura afecta de modo inverso sobre la humedad de equilibrio; debido a que la adición de energía produce la ruptura de las ligaduras agua-sólido, disminuyendo con ello la cantidad de agua absorbida., VIDAL et.al y TREYBAL citado por MATOS (32), LABUZA et.al (24) y GOIS y VIDAL (16).

Para actividades de agua mayores a 0,78 el efecto de la temperatura sobre la humedad de equilibrio, para el nivel de 30°C, se invierte; esto es, se obtiene valores de humedad de equilibrio inferiores a 35°C y 40°C; debido al incremento de la solubilidad del azúcar a altas temperaturas, lo que produce una mayor capacidad de absorción de aquí la papaya osmodeshidratada. Este fenómeno ha sido reportado por SARAVACDS et. al (47), MAZZA y ARANCI citado por MATOS (32).

Los resultados de humedad de equilibrio fueron ajustado a ocho Modelos Matemáticos de Sorción, empleando para ello el Software Estadístico SPSS para Windows. Los análisis estadísticos de la bondad de ajuste de estos Modelos se muestra en los cuadro del 33 al 45.

Cuadro 33. Análisis de Varianza del Modelo de Henderson.

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fc	Significancia
Modelo	2	10,749040	5,3745200	835,5258	a
Error	18	0,115790	0,0064325		
TOTAL SIN CORREGIR	20	10,864830			
TOTAL CORREGIDO	19	1,811370			

^a Significativo al nivel 1%.

R-CUADRADO = 0,93608

PORCENTAJE DE ERROR MEDIO RELATIVO (%EMR) = 11,772610

MODELO : $A_w = 1 - \text{EXP} (-0.000055174 \times T \times \chi^{1,234717189})$

Cuadro 34. Análisis de Varianza del Modelo Chung y Pfast.

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fc	Significancia
Modelo	2	10,732450	5,3662300	729,6923	a
Error	18	0,132370	0,0073541		
TOTAL SIN CORREGIR	20	10,864830			
TOTAL CORREGIDO	19	1,811370			

^a Significativo al nivel de 1%.

R-CUADRADO = 0,92692

PORCENTAJE DE ERROR MEDIO RELATIVO (%EMR) = 9,6269930

MODELO : $A_w = \text{EXP} [(-850,51216538/T) \times \text{EXP} (-0,065065129 \times X)]$

Cuadro 35. Análisis de Varianza del Modelo Halsey Modificado.

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fc	Significancia
Modelo	3	10,837430	3,6124800	2241,8270	a
Error	17	0,027390	0,0016114		
TOTAL SIN CORREGIR	20	10,864830			
TOTAL CORREGIDO	19	1,817370			

^a Significativo al nivel de 1%.

R-CUADRADO = 0,98488

PORCENTAJE DE ERROR MEDIO RELATIVO (%EMR) = 7,8310330

MODELO : $A_w = \text{EXP} [- \text{EXP} (18,937754086 - 0,050280877 \times T) \times X^{-1,386558005}]$

Cuadro 36. Análisis de Varianza del Modelo de Chen y Clayton.

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fc	Significancia
Modelo	4	10,751790	2,6879500	380,4923	a
Error	16	0,113030	0,0070644		
TOTAL SIN CORREGIR	20	10,864830			
TOTAL CORREGIDO	19	1,811370			

^a Significativo al nivel de 1%.

R-CUADRADO = 0,93760

PORCENTAJE DE ERROR MEDIO RELATIVO (%EMR) = 8,3970210

MODELO :

$$Aw = \text{EXP} [-53614,844501 \times T^{-1,718652924} \times \text{EXP} (-4,11350 \times 10^{-7} \times T^{2,096571024} \times X)]$$

Cuadro 37. Análisis de Varianza del Modelo Henderson y Thompson.

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fc	Significancia
Modelo	3	10,777450	3,5924800	698,9805	a
Error	17	0,087370	0,0051396		
TOTAL SIN CORREGIR	20	10,864830			
TOTAL CORREGIDO	19	1,811370			

^a Significativo al nivel de 1%.

R-CUADRADO = 0,95176

PORCENTAJE DE ERROR MEDIO RELATIVO (%EMR) = 10,449810

MODELO : $A_w = 1 - \text{EXP} [-0,000485455 \times (t - 2,443381747) \times X^{1,296183358}]$

Cuadro 38. Análisis de Varianza del Modelo de Iglesias y Chirife a 25°C.

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fc	Significancia
Modelo	2	72020,40309	36010,20154	1813,9451	a
Error	3	59,55556	19,85187		
TOTAL SIN CORREGIR	5	72079,95869			
TOTAL CORREGIDO	4	39914,8005			

^a Significativo al nivel de 1%.

R-CUADRADO = 0,99851

PORCENTAJE DE ERROR MEDIO RELATIVO (%EMR) = 0,4685100

MODELO : $X = 7,809627382 (A_w / (1 - A_w)) + 11,343972533$

Cuadro 39. Análisis de Varianza del Modelo de Iglesias y Chirife a 30°C.

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fc	Significancia
Modelo	2	44066,58252	22033,29126	853,9585	a
Error	3	77,40407	25,80136		
TOTAL SIN CORREGIR	5	44143,98660			
TOTAL CORREGIDO	4	23755,73142			

^a Significativo al nivel de 1%.

R-CUADRADO = 0,99674

PORCENTAJE DE ERROR MEDIO RELATIVO (%EMR) = 1,135627

MODELO : $X = 6,643672633 (A_w / (1 - A_w)) + 10,065392571$

Cuadro 40. Análisis de Varianza del Modelo de Iglesias y Chirife a 35°C.

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fc	Significancia
Modelo	2	68642,08254	34321,04127	5123,7824	a
Error	3	20,09514	6,69838		
TOTAL SIN CORREGIR	5	68662,17768			
TOTAL CORREGIDO	4	40857,91769			

^a Significativo al nivel de 1%.

R-CUADRADO = 0,99951

PORCENTAJE DE ERROR MEDIO RELATIVO (%EMR) = 1,884382

MODELO : $X = 9,552143604 (A_w / (1 - A_w)) + 3,059228601$

Cuadro 41. Análisis de Varianza del Modelo de Iglesias y Chirife a 40°C.

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fc	Significancia
Modelo	2	54014,39153	27007,19577	12036,8478	a
Error	3	6,73113	2,24371		
TOTAL SIN CORREGIR	5	54021,12266			
TOTAL CORREGIDO	4	31669,58904			

^a Significativo al nivel de 1%.

R-CUADRADO = 0,99979

PORCENTAJE DE ERROR MEDIO RELATIVO (%EMR) = 2,564729

MODELO : $X = 9,145648766 (A_w / (1 - A_w)) + 3,178440253$

Cuadro 42. Análisis de Varianza del Modelo de de G.A.B. a 25°C

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fc	Significancia
Modelo	3	71991,93688	23997,31229	545,2584	a
Error	2	88,02181	44,01090		
TOTAL SIN CORREGIR	5	72079,95869			
TOTAL CORREGIDO	4	39914,80054			

^a Significativo al nivel de 1%.

R-CUADRADO = 0,99779

PORCENTAJE DE ERROR MEDIO RELATIVO (%EMR) = 0,965566

MODELO:

$$X/B,298296334 = [(545215773683-1) \cdot 0,998546964 \cdot Aw] / [1 + (545215773683-1) \cdot 0,998546964 \cdot Aw] + (0,998546964 \cdot Aw) / (1 - 0,998546964 \cdot Aw)$$

Cuadro 43. Análisis de Varianza del Modelo de de G.A.B. a 30°C.

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fc	Significancia
Modelo	3	44041,39122	14680,46541	286,1958	a
Error	2	102,59038	51,29519		
TOTAL SIN CORREGIR	5	44143,98660			
TOTAL CORREGIDO	4	23755,73142			

^a Significativo al nivel de 1%.

R-CUADRADO = 0,99568

PORCENTAJE DE ERROR MEDIO RELATIVO (%EMR) = 1,122189

MODELO:

$$X/7,1730608666 = [(282311441085-1) * 0,997952060 * Aw] / [1 + (282311441085-1) * 0,997952060 * Aw] + (0,997952060 * Aw) / (1 - 0,997952060 * Aw)$$

Cuadro 44. Análisis de Varianza del Modelo de G.A.B. a 35°C.

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fc	Significancia
Modelo	3	68655,85166	22885,28389	7235,2866	a
Error	2	6,32603	3,16301		
TOTAL SIN CORREGIR	5	68662,17768			
TOTAL CORREGIDO	4	40857,91769			

^a Significativo al nivel de 1%.

R-CUADRADO = 0,99985

PORCENTAJE DE ERROR MEDIO RELATIVO (%EMR) = 0,459265

MODELO:

$$X/7,7315065230 = [(307091834594-1) \cdot 1,006621465 \cdot A_n] / [1 + (307091834594-1) \cdot 1,006621465 \cdot A_n] + (1,006621465 \cdot A_n) / (1 - 1,006621465 \cdot A_n)$$

Cuadro 45. Análisis de Varianza del Modelo de G.A.B. a 40°C.

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fc	Significancia
Modelo	3	53976,14902	17992,04967	800,1153	a
Error	2	44,97363	22,48682		
TOTAL SIN CORREGIR	5	54021,12266			
TOTAL CORREGIDO	4	31669,58904			

^a Significativo al nivel de 1%.

R-CUADRADO = 0,99858

PORCENTAJE DE ERROR MEDIO RELATIVO (%EMR) = 0,583307

MODELO:

$$X/7,7628845880 = [(-7,000174 \times 10^{11} - 1) \cdot 1,005327477 \cdot A_w] / [1 + (-7,000174 \times 10^{11} - 1) \cdot 1,005327477 \cdot A_w] + (1,005327477 \cdot A_w) / (1 - 1,005327477 \cdot A_w)$$

En función a los Análisis de Varianza de los cuadros del 33 al 45 y a las pruebas estadísticas complementarias de bondad de ajuste de los modelos (coeficiente de determinación y porcentaje de error medio relativo), se puede establecer que el Modelo a emplear en la estimación de la actividad de agua de la papaya osmodeshidratada, es el Modelo de Guggenheim, Anderson y de Boer (G.A.B).

En el cuadro 46 se muestra los valores de actividad de agua de las muestras de papaya osmodeshidratada a diferentes temperaturas y contenidos de humedad en base seca estimados por el Modelo de Guggenheim, Anderson y de Boer (G.A.B).

Cuadro 46. Valores de actividad de agua de las muestras de papaya osmodeshidratada a diferentes temperaturas y contenidos de humedad en base seca, estimados por el Modelo de Guggenheim, Anderson y de Boer (G.A.B).

Temperatura (°C)	Actividad de agua			
	Porcentaje de humedad en base seca			
	24	26	28	30
25	0,6552	0,6818	0,7047	0,7244
30	0,7026	0,7256	0,7453	0,7625
35	0,6734	0,6980	0,7191	0,7374

El Modelo de Sorción que mejor ajustó los valores experimentales de las humedades de equilibrio y que considera el efecto de temperatura, fue el Modelo de Halsey Modificado; esto de acuerdo a lo mencionado por SARAVACOS et.al (47).

2. Determinación de la variación y de la constante de Degradación de Carotenoides (KDC).

En el cuadro 47 se observa la variación del contenido de carotenoides en papaya osmodeshidratada con cuatro humedades de 24, 26, 28 y 30% en base seca, durante el almacenamiento a diferentes temperaturas.

Cuadro 47. Variación del contenido de carotenoides en papaya osmodeshidratada a diferentes temperaturas (mg/100gr de muestra).

Temperatura (°C)	Tiempo de almacenamiento (días)					
	Aw	0	2	7	10	14
25	0,6552	0,4310	0,3835	0,3725	0,3519	0,3404
	0,6818	0,4298	0,3905	0,3836	0,3671	0,3620
	0,7047	0,4242	0,4013	0,3882	0,3792	0,3742
	0,7244	0,4236	0,4016	0,3899	0,3846	0,3770
30	0,7026	0,4673	0,4658	0,4288	0,4013	0,3623
	0,7256	0,4829	0,4551	0,4187	0,3945	0,3569
	0,7453	0,4676	0,4381	0,4061	0,3849	0,3518
	0,7625	0,4610	0,4301	0,3942	0,3778	0,3463
35	0,6734	0,3667	0,3358	0,3020	0,2648	0,2474
	0,6980	0,3617	0,3459	0,3115	0,2837	0,2561
	0,7191	0,3626	0,3514	0,3317	0,3026	0,2694
	0,7374	0,3630	0,3568	0,3366	0,3061	0,2834

(&) Calculado por el Modelo de G.A.B

De los datos del cuadro 47., se observa que la degradación de carotenoides en papaya osmodeshidratada aumenta a medida que la temperatura lo hace y disminuye con el aumento de la actividad de agua. El primer fenómeno debido al incremento de la isomerización causada por la temperatura., BRITTON (8) y RODRIGUEZ-AMAYA (41) y el segundo fenómeno debido posiblemente a que las sustancias minerales que actúan como aceleradores de la degradación de carotenoides se diluyen al aumentar el contenido de agua., GOLDMAN et. al (17) y HARALAMPU y KAREL (18).

Empleando los datos del cuadro 47. y la ecuación de cinética que considera que la degradación de carotenoides sigue una reacción de orden uno, se obtuvo los valores de la constante de degradación de carotenoides en papaya osmodeshidratada (KDC) a diferentes temperaturas y actividades de agua, los mismos que se muestran en el cuadro 48.

Cuadro 48. Valores de la Constante de Degradación de Carotenoides en papaya osmodeshidratada, en función a la temperatura y la actividad de agua del producto.

Temperatura (°C)	Aw	KDC (días ⁻¹)	R ²
25	0,6552	0,01041	0,954589
	0,6818	0,00874	0,922492
	0,7047	0,00598	0,976780
	0,7244	0,00525	0,996792
30	0,7026	0,02088	0,987661
	0,7256	0,02012	0,989790
	0,7453	0,01815	0,989645
	0,7625	0,01770	0,994096
35	0,6734	0,02658	0,973798
	0,6980	0,02533	0,994270
	0,7191	0,02237	0,952006
	0,7374	0,01979	0,966655

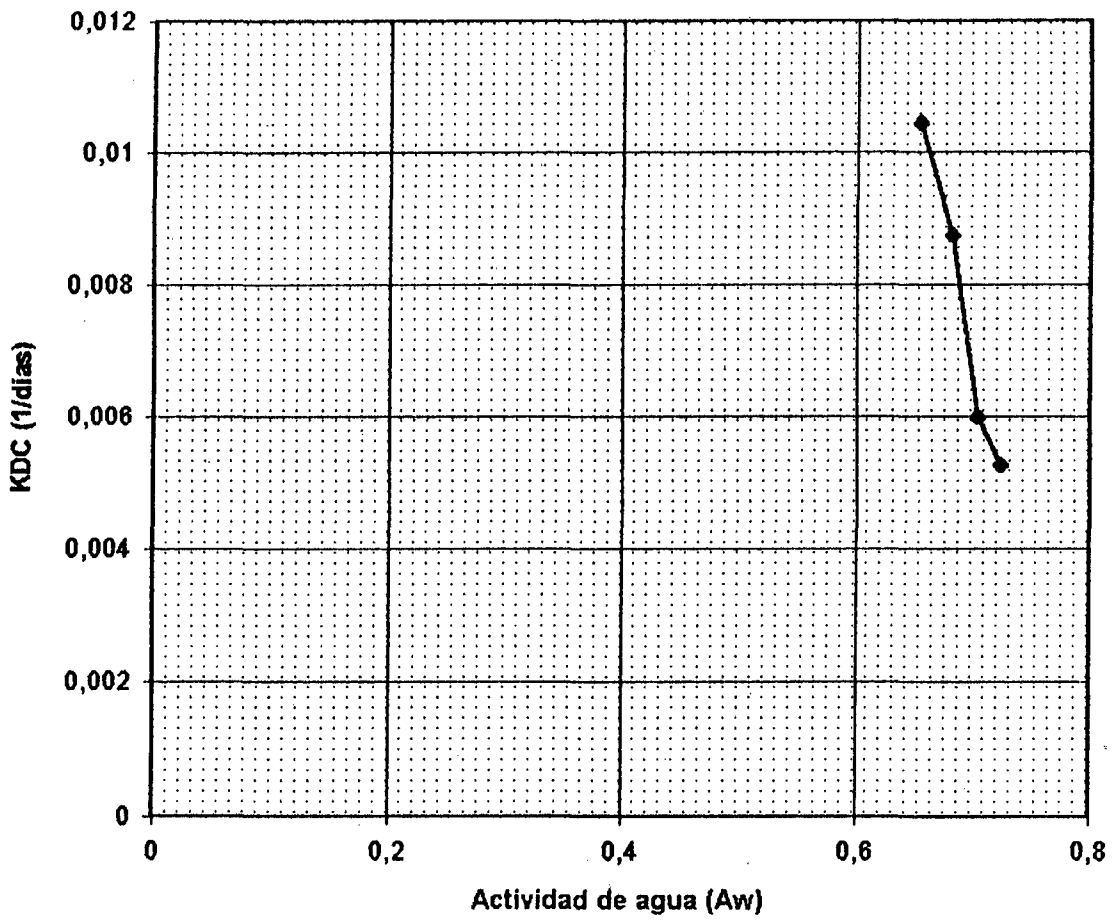


Figura 22. Variación de la Constante de Degradación de Carotenoides en papaya osmodeshidratada, en función a la actividad de agua a 25°C.

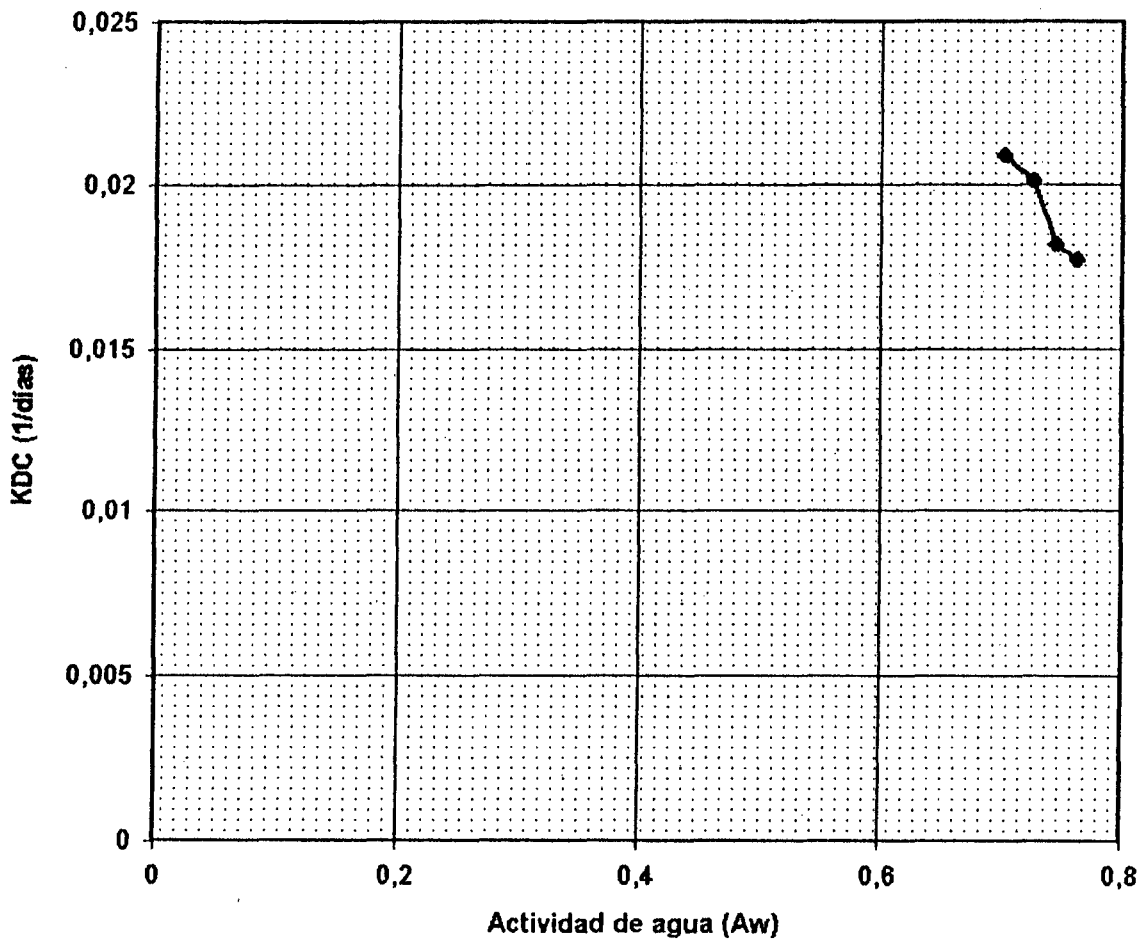


Figura 23. Variación de la Constante de Degradación de Carotenoides en papaya osmodeshidratada, en función a la actividad de agua a 30°C

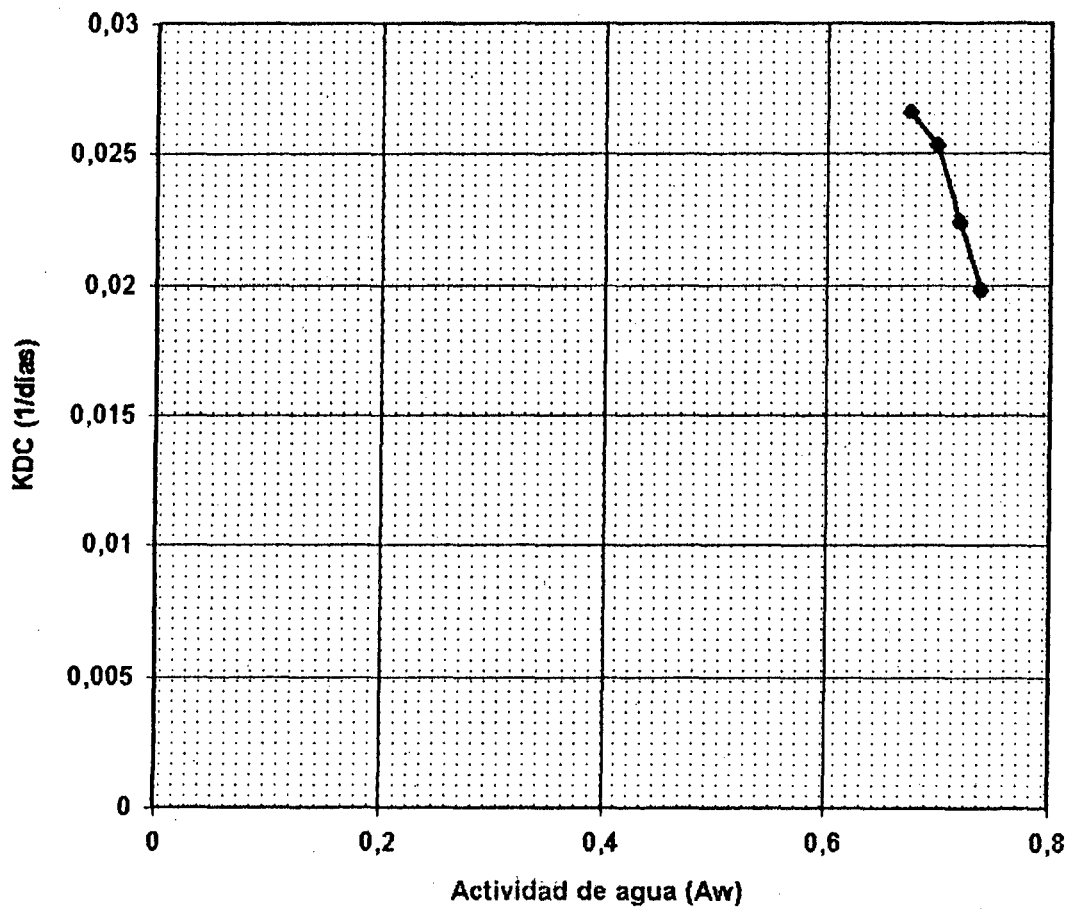


Figura 24. Variación de la Constante de Degradación de Carotenoides en papaya osmodeshidratada, en función a la actividad de agua a 35°C.

Del cuadro 48., se puede observar que la Constante de degradación de carotenoides (KDC) se incrementa con la temperatura, esto de acuerdo con la ecuación de Arrhenius citado por NUÑEZ y CHUMBIRAY (36); además se observa que la KDC, disminuye con la actividad de agua del producto; esto debido a la reducción de la concentración de las sustancias minerales, que actúan como aceleradores de la degradación de carotenoides. Este mismo fenómeno ha sido reportado por HARALAMPU y KAREL (18).

3. Determinación del contenido crítico de Carotenoides.

En el anexo 7, se muestra la ficha de evaluación sensorial empleada, la misma que consta de 5 puntos y donde la característica de "ligeramente aceptable", es la que determina el contenido de carotenoides mínimo aceptable.

En el cuadro 49., se muestran los resultados del análisis sensorial del color de muestras de papaya osmodeshidratada, obtenidas a partir de materia prima de diferentes estados de madurez.

Cuadro 49. Resultados de la evaluación sensorial del color de muestras de papaya osmodeshidratada, obtenidas de papayas de diferentes estados de madurez.

Panelistas	TRATAMIENTOS									
	T1 301	T2 625	T3 457	T4 725	T5 525	T6 819	T7 289	T8 170	T9 510	T10 420
1	3	3	2	4	3	4	2	5	2	2
2	3	2	4	4	3	3	3	5	3	3
3	4	3	3	4	3	3	2	5	2	2
4	2	2	3	4	3	3	2	5	2	2
5	4	3	4	4	3	4	3	5	3	3
6	3	3	3	4	3	4	3	5	3	2
7	4	3	4	5	3	4	3	5	3	2
8	3	3	2	4	3	4	2	5	3	2
9	4	4	2	4	3	3	2	5	2	2
10	3	4	2	5	4	4	3	5	3	3
11	3	3	3	5	4	4	2	5	2	3
12	3	2	2	5	3	4	3	5	3	4
13	2	4	2	4	3	3	2	5	3	2
14	3	3	3	4	4	4	3	5	3	3
15	3	3	2	4	3	4	2	5	2	2
16	3	3	2	4	3	4	2	5	2	2
17	3	3	2	4	4	3	2	5	3	2
18	3	3	2	4	3	4	2	5	3	2

Los resultados del cuadro 49 fueron analizados estadísticamente mediante el Diseño en bloque completamente al azar, cuyo resultados se muestran en el cuadro 50.

Cuadro 50. Análisis de Varianza de los resultados de la evaluación sensorial del color de papaya osmodeshidratada.

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	Significancia
Bloques	17	7,3111	0,4301	1,9700	b
Tratamientos	9	119,6444	13,2938	60,9800	a
Error	153	33,3556	0,2180		
Total corregido	179	160,3111			

a: significativo al nivel de 1,0%

b: significativo al nivel de 2,5%

De acuerdo al análisis estadístico mostrado en el cuadro 50, se observa que no existe diferencias significativa entre bloques, pero si, existe una diferencia altamente significativa entre tratamientos; por lo que se efectuó la prueba de comparación múltiple de Duncan, el mismo que se muestra en el cuadro 51.

Cuadro 51. Resultados del análisis de Comparación. Múltiple efectuado mediante la prueba de Duncan.

Tratamientos	Medias	
170	5,000	a
725	4,056	b
819	3,667	c
525	3,222	d
301	3,111	d
625	3,000	d
510	2,611	e
420	2,389	e
289	2,389	e
457	2,333	e

Del cuadro 51, se observa que la muestra codificada con el número 819, fue la que resultó como ligeramente aceptable, la misma que fue sometida a análisis instrumental, con la finalidad de determinar su contenido de carotenoides. El Contenido crítico de carotenoides que define el fin de la vida en anaquel de la papaya osmodeshidratada, en función al color, fue de 0,222624 mgr/100 gr muestra.

4. Determinación del Modelo Matemático de Cinética de Degradación de Carotenoides en Papaya Osmodeshidratada.

En la figura 23, se muestra la variación de la Constante de Degradación de carotenoides en papaya osmodeshidratada a diferentes actividades de agua y temperaturas de almacenamiento.

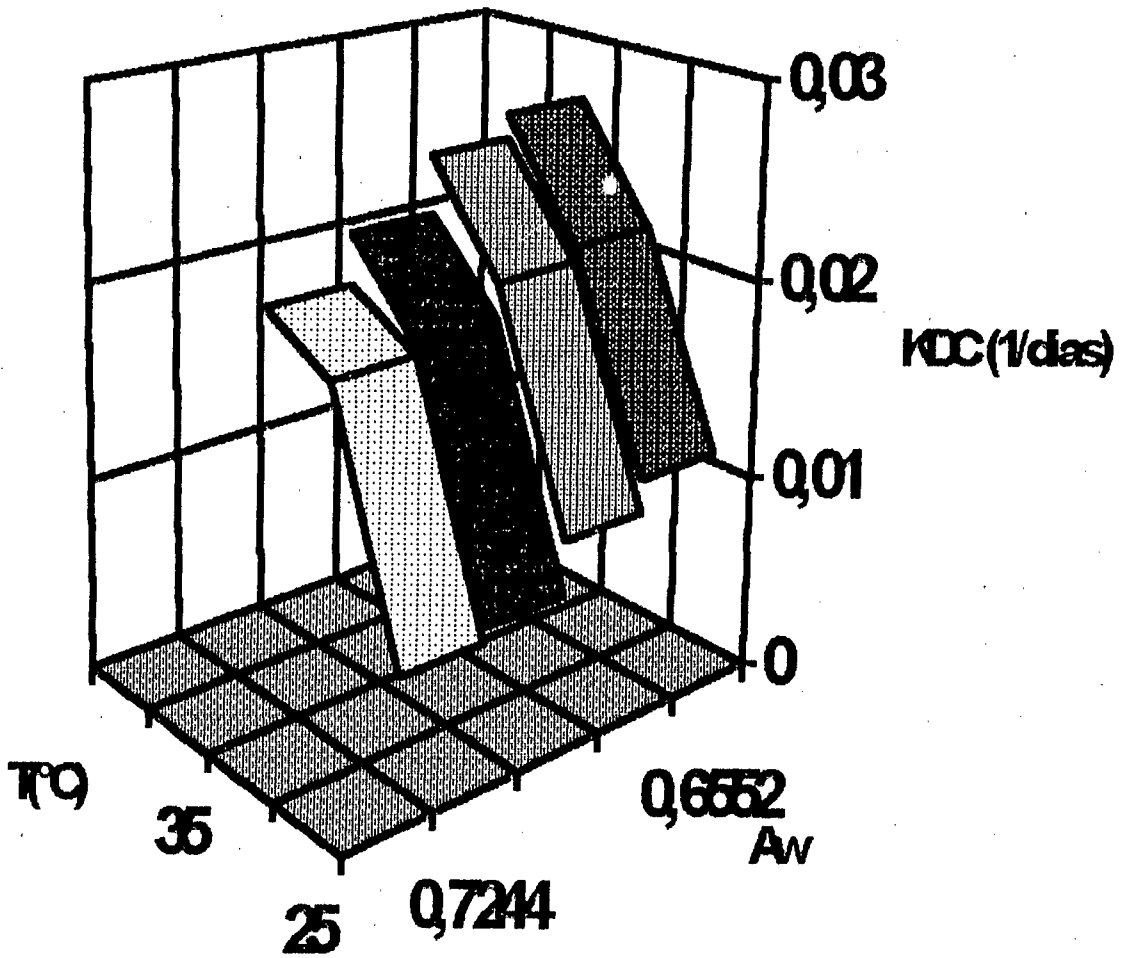


Figura 25. Variación de la Constante de Degradación de Carotenoides (KDC) en papaya osmodeshidratada, en función a la temperatura de almacenamiento y actividad de agua del producto.

En función a la tendencia observada en la figura 25 y a lo mencionado por KING y ONUORA (22) y ZONDAGH et. al. (56), se plantea el siguiente Modelo Matemático teórico, de ajuste de los puntos experimentales:

$$KDC = \beta + \beta_1 \times Aw + \beta_2 \times T + \beta_3 \times Aw \times T + \beta_4 Aw^2 + \beta_5 \times T^2$$

En el cuadro 52 se muestra el análisis de varianza del Modelo Matemático planteado, así como el Modelo obtenido y las pruebas estadísticas de bondad de ajuste del Modelo Matemático complementarias, como el coeficiente de determinación y el porcentaje de error medio relativo.

Cuadro 52. Análisis de Varianza del Modelo Matemático de Degradación de Carotenoides en papaya osmodeshidratada.

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fc	Significancia
Modelo	5	0,0005918	0,0001184	215,107	a
Error	6	0,0000033	0,0000006		
TOTAL CORREGIDO	11				

^a Significativo al nivel de 1%.

COEFICIENTE DE DETERMINACION = 0,989829

PORCENTAJE DE ERROR MEDIO RELATIVO (%EMR) = 4,7922

MODELO :

$$KDC = -0,127521 + -0,391676 \times Aw + 0,019399 \times T + -0,003725 \times Aw \times T + 0,297161 \times Aw^2 + -0,000251 \times T^2$$

5. Simulación.

En la figura 24, se muestra el algoritmo utilizado en la elaboración del programa de simulación, el mismo que es mostrado en el anexo 8.

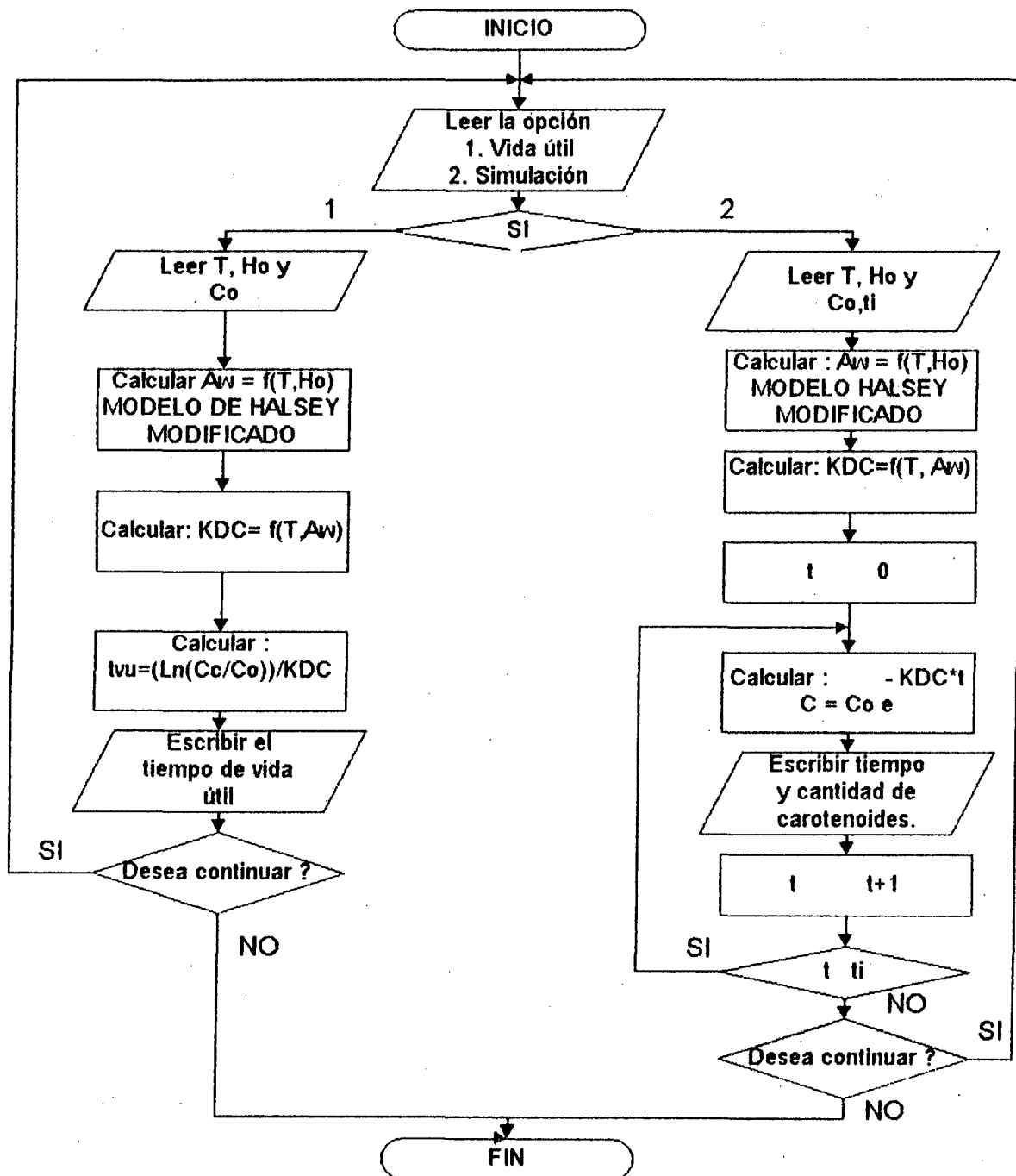


Figura 26. Diagrama de Flujo del Algoritmo del Programa de Simulación

6. Validación.

a. Control de peso.

Cuadro 53. Variación del peso de papaya osmodeshidratada durante el almacenamiento.

Temperatura (°C)	Peso (gr)		
	Tiempo de almacenamiento (días)		
	0	2	4
28	18,0942	18,0900	18,0850
32	15,8452	15,8303	15,8161

b. Control experimental del Contenido de carotenoides.

Cuadro 54. Contenido de carotenoides experimentales y simulados en papaya osmodeshidratada a diferentes temperaturas y humedades.

Temperatura		Tiempo de almacenamiento					
		0		2		4	
%humedad en base húmeda		Exp.	Sim.	Exp.	Sim.	Exp.	Sim.
	28	19	0,2099	0,2099	0,1821	0,1965	0,1745
22		0,2058	0,2058	0,1981	0,1967	0,1859	0,1881
32	19	0,2141	0,2141	0,1889	0,2007	0,1742	0,1882
	22	0,2092	0,2092	0,1973	0,1993	0,1745	0,1898

Exp.: Contenido de carotenoides experimentales (mgr/100gr)
 Sim.: Contenido de carotenoides simulados (mgr/100gr)

c. Cálculo de porcentaje de error.

Cuadro 55. Porcentaje de error medio relativo entre los datos simulados y experimentales de retención de Carotenoides en papaya osmodeshidratada.

% Humedad del alimento en base húmeda	Porcentaje de error	
	temperatura de almacenamiento (°C)	
	28	32
19	5,5360	5,8855
22	1,3570	4,5089

Del cuadro 55., se observa que el porcentaje de error medio relativo entre los datos experimentales y simulados de contenido de carotenoides, se incrementa a medida que aumenta la temperatura; esto debido a que ocurre mayor pérdida de peso en las muestras cuando la temperatura es mayor (Cuadro 53), que hace que la actividad de agua del producto, estimado por el Modelo de Halsey Modificado, difiera aún más del valor experimental. Otro factor que hace que exista error entre los valores experimentales y simulados, es la diferencia de la composición química entre muestras, especialmente en cuanto a sustancias que actúan como protectores o aceleradores de la degradación de carotenoides (minerales y vitamina C)., HARALAMPU y KAREL (18).

V. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos, podemos establecer las siguientes conclusiones:

1. El solvente adecuado para la lixiviación de carotenoides de papaya osmodeshidratada, es el etanol; debiéndose evaluar a 440 nm.
2. El Modelo Matemático de Sorción que considera el efecto de la temperatura y que mejor ajusta los valores experimentales de humedad de equilibrio en papaya osmodeshidratada, es el Modelo de Halsey Modificado.
3. La Degradación de Carotenoides en papaya osmodeshidratada sigue una cinética de primer orden; esto es:

$$dC/C = -KDC * t$$

4. Es posible generar un Modelo Matemático de degradación de carotenoides en papaya variedad criolla osmodeshidratada para condiciones estáticas de almacenamiento, en función de la actividad de agua del producto y la temperatura de almacenamiento: siendo su forma la siguiente:

$$KDC = -0,127521 + -0,391676xAw + 0,019399xT + -0,003725x AwxT + 0,297161 x Aw^2 + -0,000251 x T^2$$

5. Los valores simulados del contenido de carotenoides, estimados por el Programa de Simulación en Microcomputadora presentaron un error medio relativo máximo de 5,536, respecto de los valores experimentales.

6. El contenido crítico de carotenoides en papaya osmodehidratada, que define el final de la vida en anaquel, es de 0,222624 mgr/100 gr muestra.

VI. RECOMENDACIONES

Al final del presente trabajo de investigación, podemos recomendar lo siguiente:

1. Realizar estudios de Degradación de Carotenoides en muestras de papaya osmodeshidratada de diferentes variedades, bajo condiciones dinámicas de almacenamiento; esto es, considerando fluctuaciones de temperatura y actividad de agua.
2. Realizar estudios de cinética de pardeamiento no enzimático y crecimiento microbiano en papaya osmodeshidratada, en función a la temperatura de almacenamiento y actividad de agua del producto.
3. Implementar estudios de vida en anaquel en condiciones aceleradas, mediante la modelación de los fenómenos fisicoquímicos, químicos y microbiológicos.

VII. RESUMEN

El presente trabajo de investigación, se realizó en los laboratorios de Análisis de Alimentos, Química, Microbiología de los Alimentos, Control de calidad y análisis sensorial y el laboratorio de Nutrición Animal, de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, empleando como materia prima papaya (Carica papaya L.) variedad criolla, procedente del Pueblo joven La Libertad. Los objetivos planteados fueron: elaborar un modelo matemático de cinética, que describa la degradación de carotenoides en papaya osmodeshidratada, en función a la temperatura y actividad de agua y diseñar y validar un modelo de simulación computarizado, que permita predecir, la estabilidad de la papaya osmodeshidratada, en términos de la degradación de carotenoides.

La papaya osmodeshidratada fue elaborado siguiendo el método osmótico lento, empleando jarabe de azúcar invertido de 25, 35, 45, 55 y 65°Brix y de pH 3,0.

El estudio de la degradación de carotenoides, se efectuó sobre muestras de 24, 26, 28 y 30% de humedad en base seca (los mismos que fueron conseguidos en ambientes de humedad relativa reducida con ácido sulfúrico concentrado) y almacenadas a 25, 30 y 35°C. El contenido de carotenoides se evaluó espectrofotométricamente a 440 nm, sobre un extracto etanólico, durante 14 días.

El cálculo de la actividad de agua correspondiente a los niveles de humedad de las muestras empleadas en el estudio de degradación de carotenoides, se efectuó empleando el modelo matemático de sorción de G.A.B.

El Modelo matemático que mejor ajustó los valores de la constante de degradación de carotenoides (KDC), en función a la temperatura y actividad de agua fue:

$$KDC = -0,127521 + -0,391676 \times A_w + 0,019399 \times T + -0,003725 \times A_w \times T \\ + 0,297161 \times A_w^2 + -0,000251 \times T^2$$

La validación del modelo matemático de degradación de carotenoides, se realizó con un programa de computación, elaborado en el FOXPRO, donde la actividad de agua fue estimado con el modelo de sorción de Halsey modificado. Las muestras empleadas contenían 19 y 22% de humedad en base seca, las mismas que fueron almacenadas a 28 y 32°C durante 4 días. Las evaluaciones de la variación del contenido de carotenoides y el peso, se efectuó cada 48 horas. El porcentaje de error medio relativo máximo, entre las determinaciones experimentales del contenido de carotenoides y las estimaciones efectuadas con el modelo matemático fue de 5,5360%. El tiempo de vida en anaquel, en términos del contenido de carotenoides, se estimó con el programa de computación, sobre la base de 0,2226 mgr de carotenoides /100 gr muestra., que resulto ser el ligeramente aceptable, en la evaluación sensorial, realizado por un panel semientrenado.

VIII. BIBLIOGRAFIA.

1. AJIBOLA, O.O. 1986. Desorption Isotherms for Plantain at Several Temperatures. J. Food Sci. Vol. 51.
2. ALFARO, J. P. 1987. Conservación de papaya verde (Carica papaya) Salmuerizada en trozos para fruta confitada. Tesis para optar el título de Ing. Ind. Alimen. UNAS. Tingo María. 118 pp.
3. BADUI, D. 1994. Química de los Alimentos. 3era ed. Ed. Alhambra. México. 639 pp.
4. BELITZ, H.D., GROSCH, W. 1988. Química de los Alimentos. Ed. Acribia. Zaragoza. España.
5. BLEINROTH, E. W., MONTEIRO, J. M., GAZETA, E. F., VIDIGAL, J., SPAGNO, N. y NEVES, L. C. 1993. Curso Internacional de Poscosecha de Frutas y Hortalizas. UNAS. Tingo María- Perú.
6. BRENNAN, J. G. 1980. Las operaciones de la Ingeniería de los Alimentos. 2da ed. Ed. Acribia. Zaragoza. España. 540 pp.
7. BOLIN, H.R., HUXSOLL, C.C., JACKSON, R. y NG, K.C. 1983. Effect of Osmotic Agents and Concentration on Fruit Quality. J. Food Sci. Vol. 48.

8. BRITTON, G. 1993. Curso Latinoamericano de Carotenoides em Alimentos. UNICAMP-CAMPINAS. Brasil.
9. CALZADA, B.J. 1980. 143 Frutales Nativos. Lima-Perú. 134 pp.
10. CHOU, H. y BREENE, W.M. 1972. Oxidative decoloration of β -carotene in low-moisture model systems. J. Food Sci. Vol. 37.
11. CONDE, V. V. 1993. Manual del Foxpro 2,0. Ed. Servicios Gráficos VCV. Lima-Perú. 786 pp.
12. FARMACOPEAS. 1971. Productos Químicos para Laboratorio. Alemania. 364 pp.
13. FENNEMA, O. R. 1994. Química de los alimentos. Ed. Acribia. Zaragoza. España. 1055 pp.
14. FERNANDEZ, D. A. 1992. Determinación de la Difusividad efectiva de la Sacarosa en la papaya (Carica papaya L.) durante su inmersión en soluciones azucaradas. Tesis para optar el Título de Ing. Ind. Aliment. UNA. La Molina. Lima-Perú. 78 pp.
15. GEANKOPLIS, C. J. 1982. Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias. Ed. Continental. México. 759 pp.

16. GOIS, V. A. y VIDAL, J. C. 1989. Termodinamica da Sorcao e Dessorcao da agua do mamao liofilizado em po e em granulos. Rev. Bras. Armaz. Vicoso. Brasil. 33-38 pp.
17. GOLDMAN, M., HOREV, B. y SAGUY, I. 1983. Decolorization of β -carotene in Model Systems Simulating Dehydrated Foods. Mechanism and Kinetic principles. J. Food Sci. Vol. 48.
18. HARALAMPU, S. G. y KAREL, M. 1983. Kinetic Models for Moisture Dependence of Ascorbic Acid and β -carotene Degradation in Dehydrated Sweet Potato. J. Food Sci. Vol. 48.
19. HART, F. y FISHER, H. J. 1977. Análisis MODerno de los Alimentos. Ed. Acribia. Zaragoza. España. 619 pp.
20. INTEC-CHILE. 1990. Obtención de fruta Deshidratada sin anhídrido sulfuroso. Chile. 80 pp.
21. JOYANES, A.L. 1988. Fundamentos de Programación. Algoritmos y Estructura de datos. Ed. Mc Graw-Hill. España. 702 pp.
22. KING, R. D. y ONUORA, J. O. 1984. Effect of Processing Factors on Some Properties of Melon Seed Flour. J. Food Sci. Vol. 49.

23. KWOLEK, W. F., BOOKWALTER, G. N. 1971. Predicting Storage Stability from time-temperature data. Food Technology. Vol 25.

24. LABUZA, T. P., KANANNE, A. y CHEN, J.Y. 1985. Effect of Temperature on the Moisture Sorption Isotherms and Water Activity Shift of two Dehydrated Foods. J. Food Sci. Vol. 50.

25. LEES, L. 1982. Análisis de los Alimentos. Métodos Analíticos y Control de Calidad. 2da ed. Ed. Acribia. Zaragoza. España. 288 pp.

26. LEON, J. 1987. Botánica de los Cultivos Tropicales. 2da. ed. Ed. IICA. San José de Costa Rica. 445 pp.

27. LERICE, C. R., PINNAVAIA, G., DALLA, M. y BARTOLUCCI, L. 1985. Osmotic Dehydration of Fruit: Influence of Osmotic Agents on Drying Behavior and Product Quality. J. Food Sci. Vol. 50.

28. LEWIS, M. J. 1993. Propiedades Físicas de los Alimentos y de Sistemas Procesados. Ed. Acribia. Zaragoza. España. 489 pp.

29. LIENDO, M. C. 1993. Ajuste de Isotermas de Adsorción de puré de papa y puré de camote en Hojuelas mediante la utilización de Modelos de Sorción. Tesis Ing. Ind. Alimentarias. UNA. La Molina. 106 pp.
30. LUNA, J. A., GARROTE, R. L. y BRESSAN, J. A. 1986. Thermo-Kinetic Modeling of Peroxidase inactivation during blanching-cooling of Corn on the Cob. J. Food Sci. Vol 51.
31. MAIER, H. G. 1981. Métodos Modernos de Análisis de Alimentos. Métodos Ópticos. 2da ed. Ed. Acribia. 106 pp.
32. MATOS, C. R. 1992. Evaluación de Modelos Matemáticos de Isotermas de Sorción en Oca (Oxalis tuberosa mol.), Olluco (Ullucus tuberosus loz.) algunos derivados. Tesis para optar el Grado de Magister Scientiae. UNA. La Molina.
33. McCABE, W. L. y SMITH, J. C. 1981. Operaciones Básicas de Ingeniería Química. Ed. Reverté. España. Vol. 2. 503-1033 pp.
34. MONTGOMERY, D.C. 1991. Diseño y Análisis de Experimentos. Ed. Grupo Iberoamérica. México. 589 pp.

35. MORRISON, R. T. y BOID, R. N. 1990. Química Orgánica. 5ta ed. Ed. Addison-Wesley Iberoamericana. España. 1413 pp.
36. NUÑEZ, S. C. y CHUMBIRAY, Q. M. 1991. Determinación de Vida en Anaquel de Productos Alimenticios Procesados Mediante Pruebas Aceleradas (ASLT). Universidad de Lima. Facultad de Ingeniería Industrial. Lima-Perú. 47 pp.
37. OCON, T. y TOJO, G. 1986. Problemas de Ingeniería. Operaciones Básicas. Tercera ed. Ed. Aguilar.
38. PAREDES, C. C. 1993. Nutrición, Fundamentos Bioquímicos, Fisiología y Clínicos. CONCYTEC. Lima-Perú. 524 pp.
39. PEARSON, D. 1976. Técnicas de Laboratorio para el Análisis de Alimentos. Ed. Acribia. Zaragoza. España. 323 pp.
40. RAKKOF, H. y ROSE, N. C. 1982. Química Orgánica Fundamental. Tercera ed. Ed. Limusa. S.A. México. 890 pp.
41. RODRIGUEZ-AMAYA, A. D. 1993. Curso Latinoamericano de Carotenoides en Alimentos. UNICAMP-CAMPINAS. Brasil.

42. SAENZ, H. 1989. El Color en Alimentos. Medidas Instrumentales. Importancia de las medidas de color en Alimentos. Universidad de Chile. Departamento de Agroindustria y Tecnología de Alimentos. Santiago de Chile.
43. SAGUY, I., GOLDMAN, M. y KAREL, M. 1985. Prediction of Beta-carotene Decolorization in Model System under Static and Dinamic Conditions of Oxygen Enviroment. J. Food Sci. Vol. 50.
44. SAGUY, I. y KAREL, M. 1980. Modeling of Quality deterioration during Food Processing and storage. J. Food Technology. 78-84 pp.
45. SANDOVAL, M. 1994. Aplicaciones de la Espectrofotometría de Absorción/Emisión Atómica en Programas de Investigación en Agricultura, Biología y Medicina. UNAS. Tingo María-Perú. 31 pp.
46. SAPERS, G. M. 1993. Browning of Foods: Control by Sulfites, antioxidants, and other means. Scientific Status Summary. Food Technology. pp 75-81.
47. SARAVALUS, G. D., ISIDOURVAS, D. A. y ISAMI, E. 1986. Effect of Temperature on the Water Adsorption Isotherms of Sultana Raisins. J. Food Sci. Vol. 51.

48. SCHLOTZHAUER, S. D. y LITTELL, R. C. 1987. SAS System for Elementary Statistical Analysis. Ed. SAS Institute Inc. USA. 399 pp.
49. SING, R.K., LUND, D.B. y BUELOW, F.H. 1984. Computer Simulation of Storage Stability in Intermediate Moisture Apples. J. Food Sci. Vol. 49.
50. 1983. Storage Stability of Intermediate Moisture Apples: Kinetics of Quality Change. J. Food Sci. Vol. 48.
51. STEEL, R. G. y TORRIE, J. H. 1995. Bioestadística: Principios y Procedimientos. 2da. ed. Ed. McGraw Hill. México. 622 pp.
52. TEXEIRA NETO, R.O., KAREL, M., SAGUY, I. y MIZRAHI, S. 1981. Oxygen Uptaken and β -carotene Decoloration in a Dehydrated Food Model. J. Food Sci. Vol. 46.
53. TORRES, J. A. 1993. Conceptos Modernos de preservación de Alimentos en el Mercado Norteamericano. Editado por los Ingos. Abel Sifuentes V. y Francisco Salas Facultad de Industrias Alimentarias. UNA. La Molina. Lima-Peru. 121 pp.

54. VIDAL, T. H. 1994. Coservación de plátano var. Guayabo (Musa balbisian) y var. seda (Musa acuminata) por Conservadores Químicos. Tesis para optar el título de Ingo. Ind. Aliment. UNAS. Tingo María. 123 pp.
55. WILLS, R. 1984. Fisiología y Manipulación de Frutas y Hortalizas post-recolección. Ed. Acribia. Zaragoza: España. 195 pp.
56. ZONDAGH, I. B., HOLMES, Z. A., ROWE, K. y SCRUMPF, D. E. 1986. Prediction of Pork and Lamb Meat Quality Characteristics. J. Food Sci. Vol. 51.
57. ----- . 1992. Compendio Estadístico Agropecuario del Alto Huallaga. 148 pp.
58. ----- . sf. STATGRAPHICS. Statistical Graphics System by Statistical Graphics Corporation. Versión 4.0. 600 pp.

IX. ANEXOS

ANEXO 1

Cuadro 56. Actividad de agua de soluciones saturadas de sales a diferentes Temperaturas.

Soluciones Saturadas	Actividad de agua			
	25°C	30°C	35°C	40°C
Cloruro de Litio	0,114296	0,111169	0,108225	0,105450
Nitrito de Sodio	0,658990	0,643272	0,628421	0,614371
Sulfato de Amonio	0,803000	0,800000	0,797000	0,794000
Cromato de Potasio	0,870000	0,860000	0,850000	0,840000
Sulfato de Potasio	0,969000	0,966000	0,963000	0,960000

Fuente : LABUZA et. al (1986,1976)

ANEXO 2

Cuadro 57. Algunas características de la bolsa de Polietileno de alta densidad.

Características

Densidad	0,9644 gr/cm ³
Espesor	200 μ
Permeabilidad al vapor de agua	5 gr/m ² / 24 h a 25°C

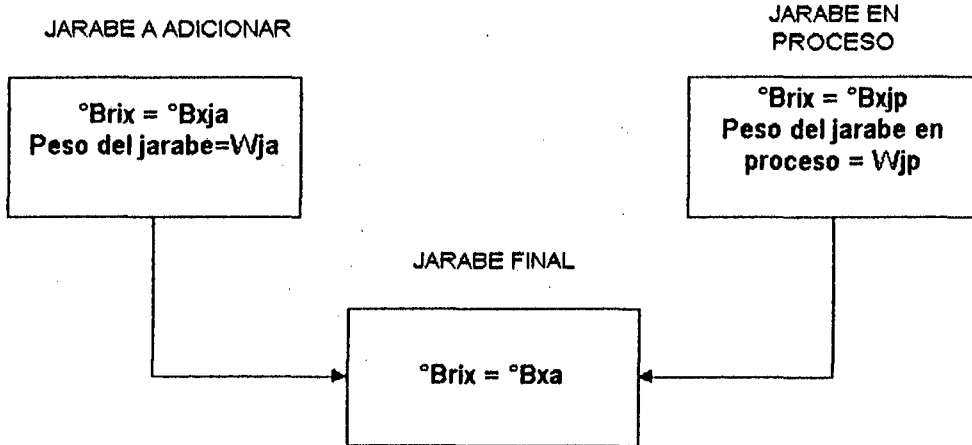
ANEXO 3

Cuadro 58. Características Físicas y Fisicoquímicas del Jarabe de Azúcar Invertido a 26°C.

Características

°Brix	69,0
pH	3,0
Azúcares reductores	47,755 gr/100 gr
Azúcares totales	79,980 gr/100 gr
Densidad	1,314 gr/ml
Viscosidad	11,215 cp

ANEXO 4.



Considerando los °Brix como porcentaje en peso/peso tenemos:

$$°Bxa = \frac{[(°Bxja \times Wja) / 100 + (°Bxjp \times Wjp) / 100]}{Wjp + Wja} \times 100$$

$$°Bxa = \frac{[(°Bxja \times Wja) + (°Bxjp \times Wjp)]}{Wjp + Wja}$$

Donde : $Wjp + Wja = 5 Wf$

Luego mediante artificios algebraicos se obtiene:

$$Wja = 5Wf \frac{[Bxa - Bxjp]}{[Bxja - Bxjp]} \quad y$$

$$Wjp = 5Wf - Wja$$

ANEXO 5

Cuadro 59. Longitudes de onda de máxima absorbancia de los principales carotenoides de la papaya lixiviados en etanol.

Carotenoides	Longitudes de onda (nm)		
β -caroteno	-	450	476
τ -caroteno	440	460	489
β -criptoxantina	428	450	478
β -criptoxantina 5-6 epóxido	424	447	476
β -zeacaroteno	405	428	455

Fuente: Curso Latinoamericano de Carotenoides de Alimentos.
UNICAMP-CAMPINAS. Brasil.

ANEXO 6

MODELO POLINOMIAL DE ORDEN 2.

```
DATA P2;
OPTIONS LS=80 PS=60 NODATE NONUMBER;
INPUT Y 1-9 X 11-12;
A = X*X;
CARDS:
0.0000000 0
0.1587633 1
0.2914400 2
0.3598933 3
0.4053866 4
0.4279666 5
0.4580733 6
0.5850300 15
0.5741033 16
PROC REG;
MODEL Y=X A;
RUN;
```

MODELO POLINOMIAL DE ORDEN 3.

```
DATA P3;
OPTIONS LS=80 PS=60 NODATE NONUMBER;
INPUT Y 1-9 X 11-12;
A = X*X;
B = X*X*X;
CARDS:
0.0000000 0
0.1587633 1
0.2914400 2
0.3598933 3
0.4053866 4
0.4279666 5
0.4580733 6
0.5850300 15
0.5741033 16
PROC REG;
MODEL Y=X A B;
RUN;
```

MODELO POLINOMIAL DE ORDEN 4.

```
DATA P4;
OPTIONS LS=80 PS=60 NODATE NONUMBER;
INPUT Y 1-9 X 11-12;
A = X**X;
B = X**X**X;
C = X**X**X**X;
CARDS;
0.0000000 0
0.1587633 1
0.2914400 2
0.3598933 3
0.4053866 4
0.4279666 5
0.4580733 6
0.5850300 15
0.5741033 16
PROC REG;
MODEL Y=X A B C;
RUN;
```


ANEXO 8

```
#####
*:
*:
*: Sistema: SIMULADOR DE DEGRADACION DE CAROTENOIDES EN PAPAYA OSMODESHIDRATADA
*: Autor: CONDEZO HOYOS, LUIS ALBERTO
*: Copyright (c) 1995, T.M
*:
*: Procedimientos: SALIDA
*: : SDCP
*: : SIMUL
*: : PROC1
*: : WIN1
*: : VID
*: : WIN
*: : INF
*:
*: Calls : SALIDA (procedure in MENU.PRG)
*: : SDCP (procedure in MENU.PRG)
*: : SIMUL (procedure in MENU.PRG)
*: : VID (procedure in MENU.PRG)
*: : INF (procedure in MENU.PRG)
*:
*: Documentado 13/08/95 a las 00:50
#####
```

```
SET TALK OFF
SET ECHO OFF
SET SYSMENU SAVE
SET SYSMENU TO
```

```
#####
# DEFINE MENU #
#####
```

```
CLEAR
DEFINE MENU simul BAR AT LINE 1 COLOR SCHEME 4
DEFINE PAD b1 OF simul PROMPT '\<Simulación ' COLOR SCHEME 3 ;
KEY alt+S; ''
DEFINE PAD b2 OF simul PROMPT '\<Vida en Anaquel ' COLOR SCHEME 3 ;
KEY alt+V. ''
DEFINE PAD ayd OF simul PROMPT '\<Información del S.D.C.P 'COLOR SCHEME 3 ;
KEY alt+I. ''
DEFINE PAD agr OF simul PROMPT'\<Agradecimiento 'COLOR SCHEME 3;
KEY alt+A, ''

ON PAD b1 OF simul ACTIVATE POPUP simulacion
ON PAD b2 OF simul ACTIVATE POPUP vidan
ON PAD ayd OF simul ACTIVATE POPUP infsdcp
ON PAD agr OF simul ACTIVATE POPUP agrd
```

```
#####  
#           DEFINE POPUP Simulacion           #  
#####
```

```
DEFINE POPUP simulacion SHADOW COLOR SCHEME 9 MESSAGE 'Realiza la Simulación de la Degradación de  
Carotenoides LACH-Soft'  
DEFINE BAR 1 OF simulacion PROMPT '\<Ingresar datos' MESSAGE 'Ingrese los datos de Humedad, Aw, T y  
Carotenoides LACH-Soft'  
DEFINE BAR 2 OF simulacion PROMPT '\<Ver ayuda' MESSAGE 'Proporciona ayuda para realizar la  
simulación LACH-Soft'  
DEFINE BAR 3 OF simulacion PROMPT '\-'  
DEFINE BAR 4 OF simulacion PROMPT '\<Salir del SDCP' MESSAGE 'Sale del sistema SDCP  
LACH-Soft';  
KEY ctrl+s, 'CTRL+S'
```

```
#####  
#           DEFINE POPUP Vidan           #  
#####
```

```
DEFINE POPUP vidan MARGIN RELATIVE SHADOW COLOR SCHEME 9 MESSAGE 'Determina la Vida en anaquel,  
función de la degradación de Carotenoides LACH-Soft'  
DEFINE BAR 1 OF vidan PROMPT '\<Ingresar datos' MESSAGE 'Ingrese la Humedad, Temperatura y  
Carotenoides LACH-Soft'  
DEFINE BAR 2 OF vidan PROMPT '\-'  
DEFINE BAR 3 OF vidan PROMPT 'Ver \<Ayuda' MESSAGE 'Proporciona ayuda para determinar la Vida Util  
LACH-Soft'
```

```
#####  
#           DEFINE POPUP Infsdcp           #  
#####
```

```
DEFINE POPUP infsdcp MARGIN RELATIVE SHADOW COLOR SCHEME 9 MESSAGE 'Modelos usados en el SDCP  
LACH-Soft'  
DEFINE BAR 1 OF infsdcp PROMPT '\<Modelo de Isoterma'  
DEFINE BAR 2 OF infsdcp PROMPT 'Modelo de \<Carotenoides'  
DEFINE BAR 3 OF infsdcp PROMPT '\-'  
DEFINE BAR 4 OF infsdcp PROMPT 'C\<Contenido critico de Carotenoides'
```

```
#####  
#           DEFINE POPUP agrd           #  
#####
```

```
DEFINE POPUP agrd MARGIN SHADOW COLOR SCHEME 8 MESSAGE '  
LACH-Soft'  
DEFINE BAR 1 OF agrd PROMPT '\<Al Ing. Qco. Lauriano Zavaleta De la Cruz'  
DEFINE BAR 2 OF agrd PROMPT '\<Patrocinador del trabajo de Tesis'
```

```
*****  
# ACTIVACION DE MENU,POPUP,ENTORNO #  
*****
```

```
DO salida  
DO sdcop  
ON SELECTION POPUP simulacion DO simul IN MENU WITH BAR()  
ON SELECTION POPUP vidan DO vid IN MENU WITH BAR()  
ON SELECTION POPUP infsdcp DO inf IN MENU WITH BAR()  
A=DTOC(DATE())  
@ 23,0 SAY 'FECHA:'+A COLOR SCHEME 5  
@ 23,63 SAY'HORA:'  
SET CLOCK ON  
SET CLOCK TO 23,69  
ACTIVATE MENU simul  
ACTIVATE POPUP simulacion  
ACTIVATE POPUP vidan  
ACTIVATE POPUP infsdcp
```

```
!*****!  
#!  
#! Procedure: SDCP #  
#!  
#! Called by: MENU.PRG #  
#!  
!*****!
```

```
PROCEDURE sdcop  
CLEAR  
@ 6,20 TO 13,59 PANEL COLOR 2  
@ 3,15 SAY 'SIMULADOR DE DEGRADACION DE CAROTENOIDES DE PAPAAYA'COLOR 6  
@ 4,32 SAY'OSMODESHIDRATADA'COLOR 6  
@ 7,21 PROMPT'  
@ 8,21 PROMPT'  
@ 9,21 PROMPT'  
@10,21 PROMPT'  
@11,21 PROMPT'  
@12,21 PROMPT'  
@ 15,16 SAY' Este programa fue desarrollado por el Bachiller 'COLOR 3  
@ 16,16 SAY' Luis A. Condezo H. como parte del trabajo de 'COLOR 3  
@ 17,16 SAY' Tesis Titulado "Simulación Computarizada de la 'COLOR 3  
@ 18,16 SAY' Estabilidad en Almacenamiento de papaya Osmodes-'COLOR 3  
@ 19,16 SAY' hidratada". 'COLOR 3  
@ 21,29 SAY' U.N.A.S - Tingo María 'COLOR 4  
@ 23,30 SAY' Copyright 1995, TM 'COLOR 4  
RETURN
```



```
#####
#!                               Procedure: SIMUL                               #!
#!
#!      Called by: MENU.PR#G      #!
#!
#!      Calls: PROC1              (procedure in MENU.PR#G)                    #!
#!#####
PROCEDURE simul
PARAMETER number
DO CASE
CASE number=1
  DEFINE WINDOW cdex FROM 5,10 TO 18,69 SHADOW;
  FLOAT DOUBLE COLOR SCHEME 8
  ACTIVATE WINDOW cdex
  STORE 0 TO hum,t1,t,co,hbs,tk,kdc,aw,C,TOTAL
  @ 3,4 SAY 'Ingreso humedad en base humeda:' GET hum PICTURE '99.9999' RANGE 18,34
  @ 5,4 SAY 'Ingreso la temperatura 'C: GET t1 PICTURE'99.9999' RANGE 25,35
  @ 7,4 SAY 'Ingreso carotenoides (gr/100gr):' GET co PICTURE '99.9999'
  @ 9,4 SAY 'Ingreso el tiempo que desear simular:' GET t PICTURE'99'
  @ 0,2 TO 10,60
  @ 0,20 SAY UPPER(' Ingrese datos ')
  @ 1,44 TO 5,56 DOUBLE
  @ 2,46 GET aceptarcancelar PICTURE '@!VT !\Calcula;!\Cancela';
  SIZE 1, 5, 1 DEFAULT 0
  READ CYCLE
  IF aceptarcancelar=1
    WAIT WINDOW 'Calculando..' TIMEOUT 1
    @ 11,23 GET bbb PICTURE '@!VT \REPORTE';
    SIZE 1, 2, 1 DEFAULT 0
    READ CYCLE
    IF bbb=1
      DEFINE POPUP salida FROM 10,16 TO 14,36 MARGIN RELATIVE SHADOW
      DEFINE BAR 1 OF salida PROMPT'\<Pantalla'
      DEFINE BAR 2 OF salida PROMPT'\-'
      DEFINE BAR 3 OF salida PROMPT'\<Impresora'
      ON SELECTION POPUP salida DO proci IN MENU WITH BAR()
      ACTIVATE POPUP salida
      ACTIVATE POPUP Simulacion
      IF LASTKEY()=27
        DEACTIVATE POPUP salida
        CLEAR WINDOW cdex
        ACTIVATE POPUP simulacion
      ENDIF
    ENDIF
  ELSE
    CLEAR WINDOW cdex
    ACTIVATE POPUP simulacion
  ENDIF
CASE number=2
  DEFINE WINDOW vera FROM 5,15 TO 10,63 SHADOW COLOR SCHEME 8
  ACTIVATE WINDOW vera
  @ 0,1 SAY 'En esta parte debe ingresar la Humedad inicial'
  @ 1,1 SAY 'en base humeda del producto, la temperatura de'
  @ 2,1 SAY 'almacenamiento, el contenido inicial de caro-'
  @ 3,1 SAY 'tenoides y el tiempo que desee Simular.'
  READ
```



```
      ?      ',i,'      ',ROUND(C,4)
ENDFOR
WAIT 'Imprimiendo' TIMEOUT 3 WINDOW
CLEAR WINDOW win1
DEACTIVATE POPUP salida
RETURN
ENDCASE
```

```
#####
#!
#!          Procedure: WIN1          #
#!
#!      Called by: PROC1          (procedure in MENU.PRG) #
#!
#!#####
```

```
PROCEDURE win1
DEFINE WINDOW CALC FROM 3,4 TO 20,75 TITLE ' Reporte de la Simulacion ' SHADOW;
  FLOAT DOUBLE COLOR SCHEME 8
ACTIVATE WINDOW CALC
```

```
#####
#!
#!          Procedure: VID          #
#!
#!      Called by: MENU.PRG        #
#!
#!      Calls: WIN          (procedure in MENU.PRG) #
#!
#!#####
```

```
PROCEDURE vid
PARAMETER number
DO CASE
CASE number=1
  DO win
  STORE 0 TO hum,t1,co,i
  @ 2,2 SAY 'Ingreso humedad:' GET hum PICTURE '99.9999' RANGE 24,30
  @ 4,2 SAY 'Ingreso la temperatura 'C:' GET t1 PICTURE'99.9999' RANGE 25,35
  @ 6,2 SAY 'Ingreso carotenoides (gr/100gr):' GET co PICTURE '9.9999'
  @ 0,0 TO 8,60
  @ 0,20 SAY UPPER(' Ingreso de datos')
  @ 1,38 TO 5,52 DOUBLE
  @ 2,40 GET aceptarcancelar PICTURE '@#VT \!Calcular;\!Cancelar';
  SIZE 1,10, 1 DEFAULT 0
  READ
  IF aceptarcancelar=1
    WAIT WINDOW 'Calculando..' TIMEOUT 1
    hbs = (hum#100)/(100-hum)
    tk = 273 + t1
    aw = EXP(-EXP(18.937754086-0.050280877*tk)#hbs^-1.386558005)
    kdc = (-0.127521-0.391676*aw+0.019399*t1-0.003725*aw*t1+0.297161*aw^2-0.000251*t1^2)
    i = (LOG(0.222624/co))/(-kdc)
    @ 11,6 SAY'La vida útil es:'
    @ 11,23 SAY STR(ROUND(i,4))
    @ 11,36 SAY'Dias'
  READ
  CLEAR WINDOW win
  ACTIVATE POPUP vidan
```

```
ELSE
  CLEAR WINDOW win
  ACTIVATE POPUP vidan
ENDIF
RETURN
CASE numbar=3
  DEFINE WINDOW veray FROM 5,15 TO 11,63 SHADOW COLOR SCHEME 8
  ACTIVATE WINDOW veray
  @ 0,1 SAY'En esta parte debe ingresar la humedad inicial '
  @ 1,1 SAY'en base humeda del producto, la temperatura de'
  @ 2,1 SAY'almacenamiento, el contenido inicial de caro-'
  @ 3,1 SAY'tenoides y el sistema calculará la Vida Util.'
  READ
  IF LASTKEY()=27
    CLEAR WINDOW veray
    ACTIVATE POPUP vidan
  ELSE LASTKEY()=13
    CLEAR WINDOW veray
    ACTIVATE POPUP vidan
  ENDIF
ENDCASE
```

```
!!
!!
!! Procedure: WIN
!!
!! Called by: VID (procedure in MENU.PRG)
!!
!!
```

```
PROCEDURE win
DEFINE WINDOW cdex FROM 5,10 TO 18,65 SHADOW;
  FLOAT DOUBLE COLOR SCHEME 8
ACTIVATE WINDOW cdex
```

```
!!
!! Procedure: SALIDA
!!
!! Called by: MENU.PRG
!!
!!
```

```
PROCEDURE salida
CLEAR
DEFINE WIND ha FROM 10,17 TO 14,58 COLOR SCHEME 5 SHADOW DOUBLE
ACTIVATE WIND ha
@ 2,1,2,32 BOX '█'
@ 0,10 PROMPT 'Cargando el SDCP'
@ 2,38 SAY'%COLOR SCHEME 5
C=0
FOR i=1 TO 32
  @ 2,0+i SAY'█COLOR 8
```



```
IF LASTKEY()=27
CLEAR WINDOW ay
ACTIVATE POPUP infsdcp
ELSE LASTKEY()=13
CLEAR WINDOW ay
ACTIVATE POPUP infsdcp
ENDIF
ENDCASE
```