

T
664.07
COR
0-2



Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción



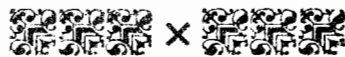
“Modelación Matemática de la Cinética de Deshidratación Osmótica de la Carica Papaya”

TESIS DE GRADO

Previa a la Obtención del Título de:
INGENIERA DE ALIMENTOS

Presentada por:

Fabiola Marcela Cornejo Zúñiga



Guayaquil - Ecuador

Año - 2000



D-20196

AGRADECIMIENTO

A todas las personas que de uno u otro modo colaboraron en la realización de este trabajo, al programa de Tecnología en Alimentos y al Ing. Daniel Nuñez, Director de Tesis.

DEDICATORIA



A DIOS

A MIS PADRES

A MI ABUELITA

A MIS HERMANOS

A MI NOVIO

TRIBUNAL DE GRADUACION



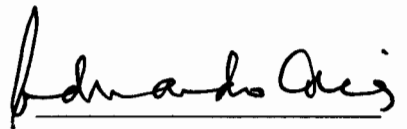
Ing. Eduardo Rivadeneira P.
DECANO DE LA FIMCP



Ing. Daniel Núñez T.
DIRECTOR DE TESIS



Dr. Alfredo Barriga R.
VOCAL




Ing. Eduardo Orcés P.
VOCAL

DECLARACION EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)



Fabiola Cornejo Z.

RESUMEN

La tesis se basó en realizar tres modelos matemáticos que describan las variaciones de pérdida de peso, pérdidas de agua y ganancia de sólidos durante la cinética de deshidratación osmótica de una fruta, en relación con la temperatura, concentración de agente osmótico y tiempo de operación.

La fruta escogida es la papaya debido que hay disponibilidad durante todo el año, pudiendo realizarse el mismo estudio con otro tipo de frutas como el mango piña, banano.

Para la ejecución de la tesis se realizó un diseño de experimentos factorial a fin de obtener los modelos matemáticos. En cada prueba experimental, las frutas en estado semi-maduro, es decir, textura muy firme; fueron peladas, cortadas e introducidas a la solución de sacarosa. Además se determinó la variación de peso, humedad y sólidos totales a través del tiempo a temperatura constante. Además, se realizó una evaluación sensorial en pruebas seleccionadas. Finalmente, se procesaron e interpretaron los resultados obtenidos.

INDICE GENERAL

	Pag.
RESUMEN	II
INDICE GENERAL.....	III
INDICE DE TABLAS.....	IV
INDICE DE GRAFICOS.....	V
INDICE DE FIGURAS.....	VI
INTRODUCCION.....	1
I. GENERALIDADES.....	3
1.1. Osmosis.....	3
1.1.1. Definición.....	3
1.1.2. Efecto osmótico en la membrana celular.....	5
1.1.3. Actividad de agua.....	8
1.1.4. Deshidratación osmótica.....	12
1.2. Papaya.....	19
1.2.1. Variedad y Cultivo	20
1.2.2. Exportación	21

II. DISEÑO Y REALIZACIÓN DE EXPERIMENTOS.....	23
2.1. Determinación de Parámetros.....	23
2.2. Diseño de experimento.....	28
2.3. Materiales.....	31
2.4. Métodos.....	32
III MODELACION MATEMATICA.....	36
3.1. Modelo matemático de la pérdida de peso.....	36
3.1.1. Resultados experimentales.....	37
3.1.2. Planteamiento del modelo.....	40
3.1.3. Ajuste del modelo.....	44
3.2. Modelo matemático de la pérdida de agua.....	46
3.2.1. Resultados experimentales.....	48
3.2.2. Planteamiento del modelo.....	51
3.2.3. Ajuste del modelo.....	53
3.3. Modelo matemático de la ganancia de sólidos.....	54
3.3.1. Resultados experimentales.....	56
3.3.2. Planteamiento del modelo.....	59
3.3.3. Ajuste del modelo.....	61
VI. EVALUACIÓN SENSORIAL DE LAS PRUEBAS OBTENIDAS.....	63

4.1. Selección de muestras a evaluar.....	63
4.2. Panel de Consumidor.....	64
4.3. Prueba de Aceptabilidad.....	65
4.4. Evaluación de Resultados.....	66

V. ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS.....	67
--	----

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

APENDICES

BIBLIOGRAFIA



INDICE DE TABLAS

	Pag.
Tabla I	Exportaciones de Papaya en el Ecuador..... 22
Tabla II	Niveles Asignados para cada Parámetro.....29
Tabla III	Matriz Base de las Corridas Experimentales Realizadas 30
Tabla IV	Resultados Experimentales de Pérdida de Peso a 50°Brix y 40°C a través del Tiempo..... 37
Tabla V	Resultados Experimentales de Pérdida de Peso a 60°Brix y 40°C a través del Tiempo..... 36
Tabla VI	P Resultados Experimentales de Pérdida de Peso a 70°Brix y 40°C a través del Tiempo..... 38
Tabla VII	Resultados Experimentales de Pérdida de Peso a 50°Brix y 50°C a través del Tiempo..... 38
Tabla VIII	Resultados Experimentales de Pérdida de Peso a 60°Brix y 50°C a través del Tiempo..... 39
Tabla IX	Resultados Experimentales de Pérdida de Peso a 70°Brix y 50°C a través del Tiempo..... 39
Tabla X	Resultados Experimentales de Pérdida de Peso a 50°Brix y 60°C a través del Tiempo..... 39
Tabla XI	Resultados Experimentales de Pérdida de Peso a 60°Brix y 60°C a través del Tiempo..... 40
Tabla XII	Resultados Experimentales de Pérdida de Peso a 70°Brix y 60°C a través del Tiempo..... 40
Tabla XIII	Coefficientes Obtenidos para la Pérdida de Peso.....43
Tabla XIV	Análisis de Varianza..... 45

Tabla XV	Resultados del Análisis de Varianza de la Pérdida de Peso.....	46
Tabla XVI	Resultados Experimentales de Pérdida de Agua a 50°Brix y 40°C a través del Tiempo.....	48
Tabla XVII	Resultados Experimentales de Pérdida de Agua a 60°Brix y 40°C a través del Tiempo.....	48
Tabla XVIII	Resultados Experimentales de Pérdida de Agua a 70°Brix y 40°C a través del Tiempo.....	49
Tabla IXX	Resultados Experimentales de Pérdida de Agua a 50°Brix y 50°C a través del Tiempo.....	49
Tabla XX	Resultados Experimentales de Pérdida de Agua a 60°Brix y 50°C a través del Tiempo.....	49
Tabla XXI	Resultados Experimentales de Pérdida de Agua a 70°Brix y 50°C a través del Tiempo.....	50
Tabla XXII	Resultados Experimentales de Pérdida de Agua a 50°Brix y 60°C a través del Tiempo.....	50
Tabla XXIII	Resultados Experimentales de Pérdida de Agua a 60°Brix y 60°C a través del Tiempo.....	50
Tabla XXIV	Resultados Experimentales de Pérdida de Agua a 70°Brix y 60°C a través del Tiempo.....	51
Tabla XXV	Coefficientes Obtenidos para la Pérdida de Agua.....	52
Tabla XXVI	Resultados del Análisis de Varianza de la Pérdida de Agua.....	54
Tabla XXVII	Resultados Experimentales de Ganancia de Sólidos a 50°Brix y 40°C a través del Tiempo.....	56
Tabla XXVIII	Resultados Experimentales de Ganancia de Sólidos a 60°Brix y 40°C a través del Tiempo.....	56
Tabla IXXX	Resultados Experimentales de Ganancia de Sólidos a 70°Brix y 40°C a través del Tiempo.....	57
Tabla XXX	Resultados Experimentales de Ganancia de Sólidos a 50°Brix y 50°C a través del Tiempo.....	57

Tabla XXXI	Resultados Experimentales de Ganancia de Sólidos a 60°Brix y 50°C a través del Tiempo.....	57
Tabla XXXII	Resultados Experimentales de Ganancia de Sólidos a 70°Brix y 50°C a través del Tiempo.....	58
Tabla XXXIII	Resultados Experimentales de Ganancia de Sólidos a 50°Brix y 60°C a través del Tiempo.....	58
Tabla XXXIV	Resultados Experimentales de Ganancia de Sólidos a 60°Brix y 60°C a través del Tiempo.....	58
Tabla XXXV	Resultados Experimentales de Ganancia de Sólidos a 70°Brix y 60°C a través del Tiempo.....	59
Tabla XXXVI	Coefficientes Obtenidos para la Ganancia de Sólidos....	60
Tabla XXXVII	Resultados del Análisis de Varianza de la Ganancia de Sólidos.....	61
Tabla XXXVIII	Muestras a Evaluar Sensorialmente.....	64

INDICE DE GRAFICOS

	Pag.
Gráfico 5.1. Resultados Experimentales y del Modelo Matemático de Pérdida de Peso a 40°C.....	70
Gráfico 5.2. Resultados Experimentales y del Modelo Matemático de Pérdida de Peso a 50°C.....	71
Gráfico 5.3. Resultados Experimentales y del Modelo Matemático de Pérdida de Peso a 60°C.....	72
Gráfico 5.4. Resultados Experimentales y del Modelo Matemático de Pérdida de Peso a 50°Brix.....	73
Gráfico 5.5. Resultados Experimentales y del Modelo Matemático de Pérdida de Peso a 60°Brix.....	74
Gráfico 5.6. Resultados Experimentales y del Modelo Matemático de Pérdida de Peso a 70°Brix.....	75
Gráfico 5.7. Variación de Pérdida de Peso con respecto al tiempo a 40°C.....	76
Gráfico 5.8. Variación de Pérdida de Peso con respecto al tiempo a 50°C.....	76
Gráfico 5.9. Variación de Pérdida de Peso con respecto al tiempo a 60°C.....	77
Gráfico 5.10. Resultados Experimentales y del Modelo Matemático de Pérdida de Agua a 40°C.....	80
Gráfico 5.11. Resultados Experimentales y del Modelo Matemático de Pérdida de Agua a 50°C.....	81
Gráfico 5.12. Resultados Experimentales y del Modelo Matemático de Pérdida de Agua a 60°C.....	82
Gráfico 5.13. Resultados Experimentales y del Modelo Matemático de Pérdida de Agua a 50°Brix.....	83

Gráfico 5.14.	Resultados Experimentales y del Modelo Matemático de Pérdida de Agua a 60°Brix.....	84
Gráfico 5.15.	Resultados Experimentales y del Modelo Matemático de Pérdida de Agua a 70°Brix.....	85
Gráfico 5.16.	Variación de Pérdida de Agua con respecto al tiempo a 40°C.....	86
Gráfico 5.17.	Variación de Pérdida de Agua con respecto al tiempo a 50°C.....	86
Gráfico 5.18.	Variación de Pérdida de Agua con respecto al tiempo a 60°C.....	87
Gráfico 5.19.	Resultados Experimentales y del Modelo Matemático de Ganancia de Sólido a 40°C.....	90
Gráfico 5.20.	Resultados Experimentales y del Modelo Matemático de Ganancia de Sólidos a 50°C.....	91
Gráfico 5.21.	Resultados Experimentales y del Modelo Matemático de Ganancia de Sólidos a 60°C.....	92
Gráfico 5.22.	Resultados Experimentales y del Modelo Matemático de Ganancia de Sólidos a 50°Brix.....	93
Gráfico 5.23.	Resultados Experimentales y del Modelo Matemático de Ganancia de Sólido a 60°Brix.....	94
Gráfico 5.24.	Resultados Experimentales y del Modelo Matemático de Ganancia de Sólido a 70°Brix.....	95
Gráfico 5.25.	Variación de Ganancia de Sólido con respecto al tiempo a 40°C.....	96
Gráfico 5.26.	Variación de Ganancia de Sólidos con respecto al tiempo a 50°C.....	96
Gráfico 5.27.	Variación de Ganancia de Sólidos con respecto al tiempo a 60°C.....	97
Gráfico 5.28.	Contenido de Agua y Sólidos durante el Proceso de Deshidratación Osmótica a 40°C y 50°Brix.....	99

Gráfico 5.29.	Contenido de Agua y Sólidos durante el Proceso de Deshidratación Osmótica a 40°C y 60°Brix.....	99
Gráfico 5.30.	Contenido de Agua y Sólidos durante el Proceso de Deshidratación Osmótica a 40°C y 70°Brix.	100
Gráfico 5.31.	Contenido de Agua y Sólidos durante el Proceso de Deshidratación Osmótica a 50°C y 50°Brix.....	100
Gráfico 5.32.	Contenido de Agua y Sólidos durante el Proceso de Deshidratación Osmótica a 50°C y 60°Brix.....	101
Gráfico 5.33.	Contenido de Agua y Sólidos durante el Proceso de Deshidratación Osmótica a 50°C y 70°Brix.....	101
Gráfico 5.34.	Contenido de Agua y Sólidos durante el Proceso de Deshidratación Osmótica a 60°C y 50°Brix.....	102
Gráfico 5.35.	Contenido de Agua y Sólidos durante el Proceso de Deshidratación Osmótica a 60°C y 60°Brix.....	102
Gráfico 5.36.	Contenido de Agua y Sólidos durante el Proceso de Deshidratación Osmótica a 60°C y 70°Brix.....	103

INDICE DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1.1. Relación entre la Actividad de Agua y las Reacciones Deterioradoras de los Alimentos	10

INTRODUCCION

El proceso de deshidratación osmótica es basado, en un fenómeno natural y no destructivo a través de la membrana celular de las frutas y vegetales. La deshidratación osmótica es muy útil como pretratamiento, debido a la modificación de la composición química de la fruta o vegetal que ocurre con la pérdida de agua y ganancia de sólidos. Una de las características de esta transformación, antes de aplicar otro método de preservación, es el mejoramiento de algunas propiedades sensoriales, nutricionales y funcionales, así como la estabilidad en el almacenamiento.

La deshidratación osmótica es una nueva alternativa de conservación de los frutos. Esta puede incrementar la exportación de varios tipos de frutas cultivadas en nuestro país y de excedentes de exportación; como el mango, banano, piña, papaya, etc.

La tesis contribuirá con el desarrollo industrial del país, aportando con una nueva tecnología para procesar frutos cultivados en el Ecuador. Además, colaborará con el conocimiento de una nueva opción de conservación de alimentos.

El objetivo principal de esta tesis es obtener modelos matemáticos para la pérdida de peso, pérdida de agua y ganancia de sólidos en la deshidratación osmótica de pedazos de papaya.

Los objetivos específicos de la tesis son el estudiar el efecto de la temperatura, concentración del agente osmótico a través del tiempo, sobre la velocidad de pérdida de peso, pérdida de agua y ganancia de sólidos. Además, de evaluar sensorialmente el efecto de las concentraciones.

Capítulo 1

1. GENERALIDADES

1.1. Osmosis

1.1.1 Definición

La osmosis es un fenómeno que consiste en el paso de disolvente a través de una membrana semipermeable que separa dos soluciones de diferente concentración. Las moléculas del disolvente atraviesan espontáneamente la membrana pasando de la zona de baja concentración a la zona de alta concentración(6).

La fuerza requerida, para el flujo de las moléculas que constituyen el disolvente, es la diferencia del potencial químico (μ) a ambos lados de la membrana, del agua de la fruta y del medio que la rodea. El potencial químico está a su vez

relacionado con la actividad de agua y la presión osmótica a través de las siguientes expresiones:

$$\mu = \mu^0 + R T \ln A_w$$

$$\pi = \frac{RT}{\bar{V}} \ln \frac{1}{A_w}$$

Donde:

A_w : Actividad de agua

μ : Potencial químico

μ^0 : Potencial químico a la temperatura de referencia

π : Presión osmótica

R : Constante universal de los gases

T : Temperatura absoluta

\bar{V} : Volumen molar parcial del agua.

El flujo del agua continuará hasta cumplir con el requerimiento termodinámico de que el potencial químico o la actividad de agua sea igual a ambos lados de la membrana semipermeable. En realidad, cuando menor sea la actividad de la solución circundante, mayor será la transferencia de agua que se produce desde la fruta a la solución (7).

1.1.2. Efecto osmótico en la membrana celular

En la célula viva las sustancias se mueven selectivamente a través de las membranas. Si la célula está muerta o su membrana citoplásmica se daña irreparablemente las moléculas se moverán con libertad a través de la membrana pudiendo alcanzar el equilibrio. Ya que el equilibrio rara vez se alcanza en los sistemas vivos, se piensa que la membrana viva sirve como una barrera dinámica, reguladora de la entrada y salida de las moléculas y partículas.

El tipo de célula más común en los tejidos vegetales es la célula paraquimatosa, que constituye el 80% del complemento total de células. Estas son el tipo dominante en la mayoría de las raíces, tallos, hojas y frutos que son de mayor utilidad en los procesos. Una célula paraquimitosa consiste en una delgada y porosa pared celular; un citoplasma delimitado por la membrana y una gran vacuola central. La pared celular rodea el citoplasma y el citoplasma encierra la vacuola.

La pared celular esta compuesta de celulosa y otros polisacaridos que están entretnejidos formando muchos grandes espacios. Estos polímeros ayudan a proveer la rigidez de las células.

La permeabilidad de la membrana varía de acuerdo al soluto, regulando así que entra y que sale de la célula. Otra membrana llamada tonoplasto separa el citoplasma y la vacuola central. La vacuola es una solución acuosa de iones inorgánicos, ácidos orgánicos y azúcar y puede ocupar el 90% del volumen de una célula madura.

La membrana celular permite que las moléculas del solvente pasen, pero también, en menor grado algunas de las moléculas del soluto; por eso antes de llamar a la membrana celular semipermeable, se pudiera llamar membrana diferenciable.

A diferencia de otros materiales celulares, el tejido celular de las plantas desarrolla una presión hidrostática (presión mayor a la presión atmosférica) dentro de la membrana debido al flujo de agua dentro de la célula. La propiedad elástica de la pared celular permite que el volumen intracelular se comporte como un globo (2).

La pared celular mantiene un balance entre la presión osmótica celular y la tendencia del agua a penetrar en la célula. Si la célula vegetal se coloca en una solución cuya presión osmótica

es semejante a la del medio extracelular el citoplasma se mantiene adherido a la pared. Cuando la solución es más concentrada la célula pierde agua y el citoplasma se retrae. En un medio menos concentrado (hiposmótico) la célula se hincha y eventualmente estalla (14).

La estructura de la célula paraquimatosa puede considerarse que está constituida de tres partes: un volumen intracelular, uno extracelular y la membrana celular, localizada entre los dos volúmenes. El volumen intracelular incluye la vacuola y el citoplasma. El volumen extracelular contiene la pared celular y un espacio libre entre la célula. La membrana celular es la de menor volumen, pero combina las resistencias del tonoplasto, plasmalema y el citoplasma, formando la resistencia de la membrana celular.

Existen tres formas en que se transfiere la masa a través del tejido celular. El primer transporte es del exterior a la membrana celular y es interpretado como el movimiento del material dentro del volumen externo. El segundo transporte es del interior a la membrana celular y se define como el transporte del material entre dos células vecinas a través de pequeños canales (2). Estos canales se llaman plasmodesmos, son puentes de material

citoplasmático que establecen una continuidad entre las células adyacente. Permiten la libre circulación de líquidos para mantener la tonicidad de la célula vegetal y posiblemente el paso de sólidos y macromoléculas (14). El tercer transporte es el flujo de masa a través de la membrana celular.

Durante el proceso osmótico en un tejido intacto, el soluto se difunde al volumen extracelular. Dependiendo de las características del soluto, el soluto podría o no pasar a través de la membrana celular hacia el volumen intracelular. Este soluto crea una diferencia de potencial químico a través de la membrana celular, quien dirige al agua del volumen intracelular al volumen extracelular. Luego el agua fluye hacia la solución osmótica a lo largo del espacio extracelular. Por lo tanto, en los procesos osmóticos existen dos corrientes de flujo simultaneas; el soluto fluyendo hacia el tejido y el agua fluyendo hacia fuera(2).

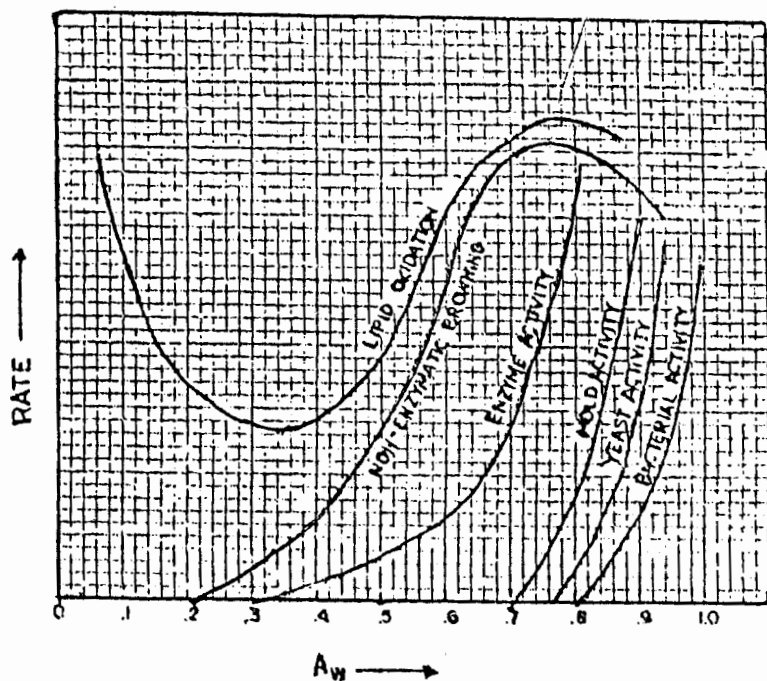
1.1.3. Actividad de agua:

Los alimentos deshidratados se conservan debido a que la actividad de agua se reduce a un nivel donde casi ninguna acción microbiana puede ocurrir, además, existe una reducción casi total de las reacciones químicas y bioquímicas.

La actividad de agua (a_w) se mide como la humedad relativa de equilibrio, es decir, el porcentaje de humedad relativa de una atmósfera en contacto con el producto donde no puede ocurrir ninguna absorción o eliminación de agua. También puede expresarse como la relación entre la presión parcial del agua presente en el espacio de cabeza de un producto (P) y la presión de vapor de agua pura (P_0) a la misma temperatura.

$$a_w = HRE = P / P_0$$

La relación existente entre y la tasa de reacciones deterioradoras en los alimentos se muestra en la figura 1. La reducción de la a_w a niveles inferiores a 0.7 prevendría el daño microbiológico. Sin embargo, aunque el alimento a una actividad de agua de 0.7 no es destruido por microorganismos, podría ocurrir algunas reacciones químicas y biológicas. Para conservar un producto alimenticio deshidratado, la actividad de agua debe bajar a un rango donde la tasa de las reacciones deterioradoras sea mínima



From Labuza et al. 1972 *Stability of intermediate moisture foods*, J. Food Science 37:131-159.

FIGURA 1.1. RELACION ENTRE LA ACTIVIDAD DE AGUA Y LAS REACCIONES DETERIORADORAS DE LOS ALIMENTOS.

En productos alimenticios de alto contenido de humedad, como las frutas, la reducción de la presión de vapor del agua por los sólidos solubles presentes en el material, es similar a la reducción de la presión de vapor en una solución, causada por la presencia de los solutos. La presencia de los sólidos insolubles es ignorada y el resto de componentes se consideran como la fase de la solución que determina la actividad de agua del material.

Para soluciones ideales la actividad de agua es igual a la fracción molar del agua X_w . Lo que se denomina la ley de Raoult.

$$a_w = X_w$$

En realidad, las soluciones en los productos azucarados no se comportan como soluciones ideales y, por lo tanto, hay desviaciones de la Ley de Raoult. Esta desviación es debida a que no toda el agua es disponible como solvente, no todos los productos son disponibles y existen interacciones entre los componentes del producto. Para soluciones no ideales se usa un factor denominado el coeficiente de actividad (γ), para corregir las desviaciones de la no-idealidad.

$$a_w = \gamma X_w$$

La fracción molar de agua (X_w), puede ser expresada en términos de los porcentajes de peso del agua (X'_w) y el soluto (X'_s) de la siguiente manera: (18).

$$X_w = \frac{\text{moles de agua}}{\text{Moles de agua} + \text{moles de soluto}}$$

1.1.4. Deshidratación osmótica:

La deshidratación osmótica es la eliminación de agua de los alimentos a través de la membrana semipermeable, por inmersión en líquidos con una actividad de agua menor a la del alimento. Cuanto menor sea la actividad acuosa de la solución circundante, mayor será la transferencia de agua que se produce desde la fruta a la solución. Generalmente, se utilizan soluciones de azúcar o de sal, las cuales producen, un rápido y simultáneo flujo de dos corrientes: una del soluto que se difunde desde la solución al alimento; y otro del agua que se difunde del alimento a la solución. Desdichadamente, el proceso es complejo y no existe correlación entre una difusividad efectiva y las condiciones del proceso. La mayoría de las investigaciones reporta solo la penetración en condiciones específicas (8).

En la deshidratación osmótica de pedazos de frutas inmersos en una solución concentrada de azúcar ocurre una interesante transferencia de masa. La difusividad de azúcar es mucho menor que la difusividad de agua, haciendo posible diseñar un proceso, en el cual resulta la remoción de una gran cantidad de agua con solo una mínima absorción de azúcar. Por el contrario, en los procesos lentos se producen un equilibrio entre

el azúcar y el agua, resultando la producción de una fruta azucarada (19).

La transferencia de masa en la deshidratación osmótica de las células vegetales de los alimentos envuelve algunos aspectos físicos. Estos efectos son conocidos como osmosis, difusión y mecanismo hidrodinámico de penetración. (Fito 1994) (16).

Según lo estudiado por el autor la deshidratación osmótica se realiza en tres procesos simultáneos. En el primero se produce un mecanismo hidrodinámico de penetración, el cual es debido a los gradientes de presión en los poros del producto. La solución osmótica penetra por los poros del tejido vegetal, incrementado la interfase sólido – líquido. El segundo proceso es la osmosis, la cual es generada en el momento en que la solución osmótica pasa a través de la pared celular y forma parte del volumen extracelular. La solución osmótica genera una diferencia de potencial químico a través de la membrana. El potencial químico se relaciona con la actividad de agua y esta con la presión osmótica por lo tanto, se produce una transferencia de agua fuera de la membrana celular. El tercer proceso es la difusión tanto del agua y del sólido a través de la célula vegetal siguiendo la ley de Fick. En general, el flujo de agua se genera por la diferencia de actividad de agua a ambos lados de la

membrana y el flujo de sólidos se debe a la diferencia de concentración a través de la membrana. Ver apéndices A y B.

En el proceso de deshidratación osmótica, la fruta debe estar inmersa en una solución con una alta presión osmótica. La alta presión osmótica se obtiene con una alta concentración de jarabe y por lo tanto una baja actividad de agua. A través del tiempo la presión osmótica del jarabe disminuye y de la fruta aumenta.

A diferencia del secado convencional la deshidratación osmótica se produce sin que exista un cambio de fase. (3) Además, la osmosis se produce en la célula vegetal.

La eliminación de agua por osmosis de un material biológico ha incrementado, como una operación complementaria de los procesos convencionales, debido a que no es un proceso de preservación por sí solo. Por lo general en la deshidratación osmótica se llega hasta un 50% de la pérdida de peso debido al decrecimiento de la velocidad del fenómeno osmótico a través del tiempo. El motivo más importante por lo cual se utiliza la deshidratación osmótica como un pretratamiento para posteriores procesos, es el cambio que se produce en la composición química de la fruta o vegetal con la pérdida de agua y la

ganancia de sólidos. Las frutas y vegetales se convierten entonces en alimentos con diferentes relaciones entre los sólidos solubles y agua, entre los sólidos solubles e insolubles, entre los tipos de azúcares, entre azúcares y sales, y entre azúcares y ácidos.

La ventaja de la transformación de la formulación del alimento antes de aplicar otro tratamiento convencional como la congelación, refrigeración, secado, liofilización, esterilización, etc. se debe a que está basado en un fenómeno natural y no destructivo como es la osmosis. Con este pretratamiento, se mejora las propiedades nutricionales, sensoriales y funcionales del alimento, así como una mejor estabilidad en el almacenamiento.

La deshidratación osmótica a diferencia de otro proceso de secado, produce un mínimo daño de la fruta debido al calor, una menor decoloración, un incremento de la retención de volátiles y pigmentos, una mejor textura del producto al rehidratarse, y es económico. Lo más importante es que en la deshidratación osmótica se llega al mismo contenido de agua con una menor energía. El mayor consumo de energía se produce en la reconstitución de la solución osmótica diluida; la cual puede ser

concentrada con un evaporador de simple efecto o la adición de azúcares. En el primer caso, solo el 25% de energía es requerido para remover el agua, comparado con un proceso convencional de secado con aire caliente. En el segundo caso, el costo es recobrado con la ganancia de sólido en el producto final.

Al utilizar la deshidratación osmótica antes de un secado convencional, se limita o elimina el uso de dióxido de azufre, debido a la acción protectora de los sacaridos, al ganar sólidos. Además, se incrementa la estabilidad de los pigmentos durante el proceso de secado y el almacenamiento. Las características organolépticas en el producto final se mejora a medida de que algunos ácidos son eliminados durante el baño osmótico, obteniendo un producto más blando y dulce que en procesos ordinarios de secado. Con respecto al peso y la reducción de volumen del producto deshidratado se incrementa de dos a tres veces, debido a la ganancia de sólidos.

La deshidratación osmótica como pretratamiento puede ser muy útil en procesos de deshidratación en camas fluidizadas a altas temperaturas y de secado al vacío; debido a que se obtiene una

fruta sin restos de dióxido de azufre, con una textura crujiente y con un costo menor comparándola con la liofilización.

Ventajas como el incremento de producción y la buena retención de volátiles se ha comprobado con la combinación de la deshidratación osmótica con el secado en frío.

La congelación de las frutas y vegetales poseen un alto costo debido a la gran cantidad de agua en el producto fresco. Además, la congelación causa severos cambios en la calidad organoléptica del alimento como la degradación de la textura y la eliminación del agua durante la descongelación. La eliminación parcial del agua antes de la congelación produce una concentración de los componentes citoplasmáticos dentro de las células, la reducción del contenido de agua libre, la disminución del punto de congelación. Por lo tanto, existe una reducción del calor latente, se requiere de menor energía, un incremento de producción de microcristales y una reducción de las modificaciones de sensoriales y estructurales debido a la menor fracción de masa en los cristales de hielo.

La deshidratación osmótica se puede utilizar en lugar de la deshidratación convencional para obtener un ahorro de energía,

la eliminación del blanqueado, del dióxido de azufre, una mejor calidad organoléptica en alimentos sensibles al calor.

En estudios realizados se ha comprobado que el enriquecimiento de ciertos sólidos durante la deshidratación osmótica, puede tener un rol muy importante en la estabilidad durante el almacenamiento de los productos congelados. La baja temperatura y la gran reducción del agua libre en los alimentos hacen que los productos congelados tengan una larga vida en percha.

En la actualidad se está combinando métodos tecnológicos de conservación con la finalidad de obtener productos mínimamente procesados y controlando el crecimiento microbiano. Estos procesos requieren de poca energía, lo cual es suficiente y satisfactorio para preservar la fruta in situ, abriendo nuevas posibilidades la mejor utilización de frutas tropicales y subtropicales en países en desarrollo.

Según Torreggiani, la deshidratación osmótica tiene un rol predominante en los procesos combinados, debido a que produce una nueva combinación de ingredientes al reducir la actividad de agua (0.7 – 0.8), y combinarlo con la congelación.

Este proceso se denomina frutas congeladas de humedad intermedia. En este caso el rol específico de la osmosis es el enriquecimiento de los sólidos solubles antes que la remoción de agua.

La deshidratación osmótica ha sido propuesta antes de una extracción de jugo, para modificar el mosto del vino, en el cultivo iniciador y para mejorar la calidad de las frutas preservadas en latas (2).

1.2. Papaya

La papaya, *Carica papaya* L., es miembro de una pequeña familia de los Caiceae. La planta es una larga hierba que llega a medir con facilidad una altura de 8 metros. El tronco es sencillo y presenta sólo un elegante penacho de grandes hojas cerca de su extremo, al igual que una palma.

Los papayos son originarios de México y de la América Central, pero se propagan tan fácilmente de la semilla que se han distribuido por todos los países tropicales, incluyendo el nuestro.

Las papayas son grandes frutos esféricos cilíndricos, pueden llegar a pesar 8 kg. Aparecen aglomeradas en la parte terminal del tallo.

Cuando la papaya madura su piel es lisa y verde se pone anaranjada. Dentro se encuentra una cavidad rodeada por una gruesa capa de carne semejante al de los melones, de color amarillo o anaranjado o, en ciertas variedades, rojo salmón. Sobre la carne succulenta se hallan las semillas negras y rugosas. Lo mismo que el cocotero la papaya da fruto durante todo el año. Estas matas gigantes producen gran cantidad de frutas en su relativa corta vida.

El papayo tiene en todas sus partes canales productores de látex. Dicho latex es importante, pues es la fuente de un fermento digestivo llamado papaína, que al igual que la pepsina animal, puede digerir proteínas. Por esta razón se emplea muchos en preparados comerciales utilizados para ablandar la carne.

La papaya es reconocida como fuente de hierro y calcio; como buena fuente de vitaminas A, B y una excelente fuente de vitamina C. En el apéndice C representa contenido nutricional de la papaya (10).

1.2.1.Variedad y Cultivo

Las papayas varían en tamaño, forma, color, etc. En el Ecuador existen dos variedades de papaya, la amarilla y la roja, las cuales poseen un peso aproximado de 2,3 kilogramos. Son generalmente

frutas alargadas, con relaciones de longitud a diámetro de 2,8, aunque aparecen también elipsoidales y a veces piriformes (forma de pera).

El cultivo de la papaya requiere de climas tropicales. Las bajas temperaturas atrasan su desarrollo y disminuyen su producción. En clima caliente lluvioso la producción es continua a lo largo del año.

Algunos papayos son masculinos y dan solo flores productoras de polen, mientras que otros son femeninos. En toda plantación debe haber de ambos tipos de papayos para asegurar la polinización y la consiguiente producción de frutos.

La primera cosecha se inicia aproximadamente a los 9 meses a partir de la siembra. Una planta bien mantenida, con la fertilización y riego adecuado, puede producir entre uno y dos frutos semanales (20).

1.2.2. Exportación

El Ecuador no es un gran exportador de papaya, en general la producción de papaya es distribuida en el mercado local. El Ecuador exporta papaya en estado fresco a Colombia y Canada. Según las

fuentes del Banco Central el Mayor exportador es FRUTIERREZ DEL ECUADOR S.A.

TABLA I

EXPORTACIONES DE PAPAYA
del 99/01 al 99/06
 (Toneladas y miles de dólares)

Código	Descripción	País	Toneladas	F.O.B.
0807200000	PAPAYAS	CANADA	0.1	0.11
		COLOMBIA	0.35	0.38
Total			0.45	0.49
Total general			0.45	0.49

Capítulo 2

2. DISEÑO DE EXPERIMENTOS

2.1. Determinación de parámetros

En la deshidratación osmótica, la transferencia de masa, la efectividad en la eliminación de agua y la ganancia de sólidos depende de factores; entre los cuales tenemos: la naturaleza del tejido vegetal, el tipo de solución osmótica, la concentración de la solución osmótica, la temperatura, tamaño, presión, etc.

El factor más importante es la naturaleza del tejido vegetal, que generalmente es influenciado por los pretratamientos. La variabilidad se basa principalmente en las diferencias en las estructuras, compactibilidad del tejido, el contenido de sólidos solubles, los espacios intracelulares, etc. Además, cuando tejido vegetal es más fresco se produce una mayor eliminación de agua con la menor impregnación de sólidos. El tejido vegetal durante

cierto rango de temperatura está vivo teniendo un comportamiento específico que cuando muere. (2)

Otro importante factor en el proceso de deshidratación osmótica es el tipo de solución. El tipo de azúcar o de sal utilizado afecta en gran medida el cambio en el contenido de agua del material en el inicio del proceso. Existen muchas numerosas combinaciones de solutos en la solución osmótica, tratando de buscar una optimización en términos de la máxima remoción de agua, máxima propiedades sensoriales, la ganancia deseada de sólidos y el mínimo costo de soluto. Con un incremento de la masa molar del soluto, se obtiene una disminución en la ganancia de sólidos y un incremento en la pérdida de agua, favoreciendo la pérdida de peso y la deshidratación. Los sacaridos de baja masa molar como la glucosa, sorbitol, fructosa, etc., favorece la ganancia de sólidos debido a la alta velocidad de penetración de las moléculas, por lo tanto se produce un enriquecimiento de sólidos en vez de una deshidratación. La velocidad de flujo de agua y de soluto esta relacionada con el producto y el agente osmótico. La elección del agente osmótico, además de otros factores, va ha depender del grado en el cual la ganancia de sólidos y la pérdida de agua ayuda en la conservación del alimento. (3)

La concentración de la solución osmótica es un factor que influye en gran medida en el proceso de deshidratación osmótica. La transferencia de masa es favorecida por el uso de soluciones con altas concentraciones. A medida que aumenta la concentración del agente osmótico se produce un mayor incremento en la pérdida de agua que en la ganancia de sólidos. En bajas concentraciones, ocurre lo contrario, produciéndose una impregnación del sólido. Por lo general se utiliza comúnmente soluciones concentradas de sacarosa entre 50 y 70 ° BRIX (8).

La velocidad de transferencia de masa se incrementa a medida que incrementa la temperatura, pero a temperaturas superiores a los 45°C empieza a producirse un oscurecimiento enzimático y un deterioro del sabor. A temperaturas mayores a 60°C, se modifica las características del tejido; favoreciendo de esta manera al fenómeno de impregnación y así la ganancia de sólidos. Los tratamientos de altas temperaturas cortos tiempos, a 80 – 85°C por 1-3 minutos, combina el efecto osmótico y la inactivación enzimática debido al blanqueo. Un incremento de la temperatura produce un incremento de la pérdida de agua, sin modificar la ganancia de sólidos. (1)

Otros factores que influyen en la transferencia de masa son: el uso de soluciones altamente concentradas o de otras condiciones de proceso que favorecen la salida del flujo de agua, reduce la salida de los componentes solubles de la fruta como el ácido ascórbico; probablemente debido a la barrera de azúcar. Si la pérdida de los componentes solubles no es deseada, es posible prevenir estos efectos salando o acidificando la solución osmótica. (2)

La velocidad de pérdida de agua es incrementada, realizando el proceso de deshidratación osmótica en una presión de vacío. Este proceso no modifica la ganancia de sólidos. La deshidratación osmótica presenta una mayor transferencia de masa y una mejor calidad del producto final comparado con la deshidratación osmótica a presión atmosférica (11).

Otro procedimiento que se han efectuado es realizar la deshidratación osmótica en dos fases. Este método hace que exista un mayor control del proceso, separando la deshidratación con la impregnación. Primero se coloca el alimento en una solución con alto peso molecular, lo cual favorece la pérdida de agua. Luego se produce la impregnación del soluto deseamos incorporar.

Existen procedimientos que modifican la permeabilidad de los tejidos como maduraciones, pretratamientos con químicos como el dióxido de azufre, escaldados o congelación; favoreciendo la ganancia de sólidos comparado con la pérdida de agua debido a que el fenómeno de impregnación es estimulado. Por ejemplo el escaldado de la papaya que produce un incremento de la ganancia de sólidos, reduce en un 35 – 50% el tiempo necesario para llegar al contenido de agua deseado. La desnaturalización de la membrana pectocelulósica, incrementa la permeabilidad y reduce la selectividad.

Otro factor que puede modificar el intercambio de sólido y agua es el pH del jarabe, la transferencia de masa es estimulado cuando el pH del agente osmótico disminuye por la adición de acidificantes. El mejor pH depende de la fruta o vegetal que va ha ser procesado(2).

El tamaño y la geometría del producto tienen una gran incidencia en la transferencia de masa durante la deshidratación osmótica. En un estudio realizado por Leric (1985), con distintas formas y pedazos de manzanas comprobó que la ganancia de sólidos aumentaba a medida que aumentaba la superficie de contacto. Por el contrario, la pérdida de agua aumentaba y luego disminuía a medida que

aumentaba la superficie de contacto. La menor pérdida de agua correspondía a la mayor superficie de contacto debido a la reducción del coeficiente de difusión causado por la alta ganancia de sólidos. Es interesante observar que dentro de las mismas condiciones, los distintos tamaños de muestra frescas pueden dar productos con muy distintas características. (8)

La pérdida de agua y la ganancia de sólidos depende de la relación entre fruta – jarabe.

Estudiando los parámetros que inciden en el proceso de deshidratación osmótica y analizando las posibilidades que brinda el laboratorio en el cual se realizó los experimentos; se estudió la incidencia de tres parámetros como son: la temperatura, el tiempo y la concentración del agente osmótico. Se mantuvo constante la presión (atmosférica), la relación fruta jarabe(1:10), el tamaño del producto (2*2*1.8 cm.), la madurez de la fruta (8-10°Brix) y la variedad de papaya (amarilla).

2.2. Diseño de experimentos

En el estudio de la cinética de deshidratación osmótica de la papaya se tomó en cuenta el efecto de la temperatura (T), concentración del agente osmótico ([]) y el tiempo de proceso (θ). Para la realización

de: mismo, se aplicó un diseño de experimentos factorial de 3^3 , en los que se le asignaron tres niveles a cada uno de los factores mencionados, cada experimento se realizó con replica. Los valores empleados para cada una de estas variables se muestran en la siguiente tabla.

TABLA II

NIVELES ASIGNADOS PARA CADA PARÁMETRO ESTUDIADO EN LA CINÉTICA DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE LA PAPAYA

TEMPERATURA (°C)	CONCENTRACION DE AGENTE OSMOTICO (°BRIX)	TIEMPO (H)
40	50	1
50	60	3
60	70	5

Para la obtención del modelo matemático se realizó un análisis de regresión lineal con enfoque matricial. Por la tanto, se realizó una codificación de variables para facilitar la manipulación y procesamiento de los datos experimentales. Con la siguiente formula:

$$X \text{ codificada} = \frac{\overline{X} - X}{\Delta X}$$

Entonces, la variable codificada a una temperatura de 40°C sería:

Temperatura: 40 – 60°C

X : 50°C; $\Delta X = 10$ (espaciado)

T codificada = $40 - 50 / 10 = -1$

La matriz base en la cual se basó las corridas experimentales realizadas se muestran en la siguiente tabla.

TABLA III

MATRIZ BASE DE CORRIDAS EXPERIMENTALES REALIZADAS

No. de corrida	Temperatura X_1	Concentración X_2	Tiempo X_3
1	-1	-1	-1
2	0	-1	-1
3	1	-1	-1
4	-1	0	-1
5	0	0	-1
6	1	0	-1
7	-1	1	-1
8	0	1	-1
9	1	1	-1
10	-1	-1	0
11	0	-1	0
12	1	-1	0
13	-1	0	0
14	0	0	0
15	1	0	0
16	-1	1	0
17	0	1	0
18	1	1	0
19	-1	-1	1
20	0	-1	1

No. de corrida	Temperatura X_1	Concentración X_2	Tiempo X_3
21	1	-1	1
22	-1	0	1
23	0	0	1
24	1	0	1
25	-1	1	1
26	0	1	1
27	1	1	1

Como resultados experimentales se consideraron las siguientes variables: pérdida de peso (M), pérdida de agua (Mw) y ganancia de sólidos (Ms) de la fruta

2.3. Materiales

Los materiales utilizados durante la fase experimental, fueron:

Equipos:

- Balanza analítica; marca: METTLER; modelo: H31AR.
Capacidad máxima 160 gramos, $d = 0.1\text{mg}$
- Balanza gramera automática; marca: MOBBA; modelo: 105 PS.
Capacidad máxima 10 Kg, $d = 5\text{g}$
- Balanza gramera; marca: OHAUS. Capacidad máxima: 2610 g., $d = 0.1\text{g}$.
- Estufa; marca: MEMMERT B30, rango 25 – 120°C.
- Desecador

- Refractómetros manuales de escalas: 0 – 32 marca RHB-32, 28– 62 ANTAGO N°2, 58 – 90 ANTAGO N°3E. $d = \pm 2^\circ\text{Brix}$.
- Termómetro de mercurio, rango: $-10 - 110^\circ\text{C}$ ($\pm 1^\circ\text{C}$)
- Calibrador de Vernier
- Cronómetro
- Cocinas Industriales
- Beakers de vidrio de 100 ml.
- Pipetas de 5 y 10 ml.
- Probetas de 1000 ml. de plástico
- Mallas plásticas

2.4. Métodos

El método experimental se lo realizó de la siguiente manera:

En cada prueba experimental, se trabajó con papayas de la variedad amarilla que se encontraban en estado semi – maduro, es decir, papayas que tengan una coloración verdosa y una textura muy firme. La fruta luego de ser lavada, fue cortada siguiendo la sección de menor diámetro, adquiriendo de esa manera una corona de cuatro centímetros aproximadamente. La corona fue cortada en cuatro partes aproximadamente iguales y luego se eliminaba la cascara y las pepas con su membrana superficial. De cada parte, se obtuvieron pedazo cuyas dimensiones aproximadas eran: 2 cm. de alto, 2 cm. de ancho y 0.8 cm. de espesor y poseían un peso

aproximado de 3,5 gramos. El alto de los pedazos obtenidos, era cortado de tal manera que incluían la parte interna y externa de la papaya. Para asegurar la exactitud de los cortes se utilizaron moldes de cartón.

Se escogía seis pedazos de cada papaya para realizar el análisis de humedad y sólidos solubles. De todas las papayas utilizadas, la humedad oscilaba entre 87-90 % y los sólidos solubles entre 8 y 10°Brix.

Se utilizó como agente osmótico jarabe de sacarosa con tres concentraciones 50, 60 y 70°Brix. Los jarabes fueron preparados con azúcar comercial y agua potable. El jarabe fue pasteurizado, filtrado y una vez enfriado se realizó la corrección del jarabe, por medio de balance de materiales.

El proceso de deshidratación osmótica se elaboró en una estufa donde se realizaron calibraciones de temperaturas previas. En la estufa, primero se colocaba 35 gramos aproximadamente de jarabe en cada beaker de 100 ml. previamente codificado, hasta que el jarabe alcance la temperatura de proceso. Aparte se pesó cada pedazo de papaya y se codificaba. Luego una vez que el jarabe llegara a la temperatura deseada, se colocó un pedazo de papaya

en el beaker que le correspondía. Para que los pedazos de la fruta no floten se diseñó unas rejillas de plástico que lo mantenían sumergido. Se dejaba el sistema en la estufa controlando cada 15 minutos la temperatura. Se produjeron variaciones de $\pm 3^{\circ}\text{C}$ de temperatura.

Para cada corrida experimental se utilizó 10 muestras. A dos muestras se determinó los cambios de peso a diferentes periodos de tiempo (1, 2, 3, 4, y 5 horas). A cada hora se sacaba dos muestras para realizar los análisis de humedad y sólidos. Cabe recalcar que a cada media hora se agitaban los beaker.

Las muestras que se sacaban, eran secadas con un papel toalla para eliminar la capa superior de jarabe y eran colocadas en el desecador por unos 2 minutos hasta que llegue a la temperatura ambiente.

Entre los análisis que se realizaron a las muestras fueron:

- Humedad por el método de la estufa, según Normas INEN 540.
- Sólidos solubles, según Normas INEN 380.

Capítulo 3

3. MODELACION MATEMATICA.

3.1. Modelo matemático de la pérdida de peso.

La pérdida de peso a través de varios intervalos es calculada con la siguiente ecuación: (15)

$$M_t = \frac{P_0 - P_t}{P_0} \times 100$$

Donde:

M_t = Porcentaje de pérdida de peso en el tiempo t .

t = Tiempo en horas

P_0 = Peso en gramos de la muestra en el tiempo 0

P_t = Peso en gramos de la muestra en el tiempo t

De esta manera la pérdida de peso a 50°Brix, 40°C y 1 hora de la primera prueba sería:

$$M_t = \frac{3.55633 - 2.9088}{3.55633} \times 100$$

$$M_t = 18.21\%$$

Esto nos indica que luego de haber transcurrido 1 hora de deshidratación osmótica, los pedazos de papaya perdieron el 18.21% de su peso. En otras palabras, por cada 100 gramos de fruta inicial, al transcurrir una hora el peso sería de 81.79 gramos. Este valor de pérdida de peso fue promediado con el valor de la segunda réplica, los cuales son reportados en la Tabla IV – XII.

3.1.1. Resultados experimentales

Los valores calculados de pérdida de peso promediados con sus réplicas, se reportan en las tablas de IV – XII.

TABLA IV

RESULTADOS EXPERIMENTALES DE PERDIDA DE PESO A 50 °BRIX Y
40°C A TRAVES DEL TIEMPO

	Po	1H	2H	3H	4H	5H
PRUEBA 1	3.5563	2.9088	2.7134	2.5566	2.4455	2.3519
PERDIDA DE PESO		18.21	23.70	28.11	31.24	33.87
PRUEBA 2	3.5377	2.9287	2.7482	2.5719	2.4812	2.3934
PERDIDA DE PESO		17.21	22.32	27.30	29.86	32.35
PROMEDIO		17.71	23.01	27.71	30.55	33.11

TABLA V

RESULTADOS EXPERIMENTALES DE PERDIDA DE PESO A 60 °BRIX Y
40°C A TRAVES DEL TIEMPO

	Po	1H	2H	3H	4H	5H
PRUEBA 1	3.5471	2.7016	2.3354	2.1037	1.8875	1.732
PERDIDA DE PESO		23.84	34.16	40.69	46.79	51.17
PRUEBA 2	3.5099	2.6665	2.3274	2.0619	1.8482	1.7178
PERDIDA DE PESO		24.03	33.69	41.26	47.34	51.06
PROMEDIO	0.00	23.93	33.93	40.97	47.07	51.11

TABLA VI

RESULTADOS EXPERIMENTALES DE PERDIDA DE PESO A 70 °BRIX Y
40°C A TRAVES DEL TIEMPO

	Po	1H	2H	3H	4H	5H
PRUEBA 1	3.6643	2.6812	2.1291	1.7183	1.4289	1.2365
PERDIDA DE PESO		26.83	41.89	53.11	61.00	66.26
PRUEBA 2	3.7823	2.7785	2.2105	1.8173	1.5244	1.298
PERDIDA DE PESO		26.54	41.56	51.95	59.69	65.68
PROMEDIO	0	26.68	41.73	52.53	60.35	65.97

TABLA VII

RESULTADOS EXPERIMENTALES DE PERDIDA DE PESO A 50 °BRIX Y
50°C A TRAVES DEL TIEMPO

	Po	1H	2H	3H	4H	5H
PRUEBA 1	3.5504	2.7066	2.3751	2.1479	1.9637	1.8523
PERDIDA DE PESO		23.77	33.10	39.50	44.69	47.83
PRUEBA 2	3.521	2.627	2.3032	2.0908	1.8986	1.7988
PERDIDA DE PESO		25.39	34.59	40.62	46.08	48.91
PROMEDIO	0	24.58	33.85	40.06	45.38	48.37

TABLA VIII

RESULTADOS EXPERIMENTALES DE PERDIDA DE PESO A 60 °BRIX Y
50°C A TRAVES DEL TIEMPO

	Po	1H	2H	3H	4H	5H
PRUEBA 1	3.6275	2.5568	2.0447	1.706	1.4912	1.3686
PERDIDA DE PESO		29.52	43.63	52.97	58.89	62.27
PRUEBA 2	3.6337	2.6583	2.2024	1.8519	1.5907	1.4023
PERDIDA DE PESO		26.84	39.39	49.04	56.22	61.41
PROMEDIO	0	28.18	41.51	51.00	57.56	61.84

TABLA IX

RESULTADOS EXPERIMENTALES DE PERDIDA DE PESO A 70 °BRIX Y
50°C A TRAVES DEL TIEMPO

	Po	1H	2H	3H	4H	5H
PRUEBA 1	3.7187	2.4515	1.77	1.3658	1.1062	1.0026
PERDIDA DE PESO		34.08	52.40	63.27	70.25	73.04
PRUEBA 2	3.7038	2.4007	1.7125	1.3244	1.083	0.9634
PERDIDA DE PESO		35.18	53.76	64.24	70.76	73.99
PROMEDIO	0	34.63	53.08	63.76	70.51	73.51

TABLA X

RESULTADOS EXPERIMENTALES DE PERDIDA DE PESO A 50 °BRIX Y
60°C A TRAVES DEL TIEMPO

	Po	1H	2H	3H	4H	5H
PRUEBA 1	3.3224	2.31	1.9782	1.7921	1.7346	1.6344
PERDIDA DE PESO		30.47	40.46	46.06	47.79	50.81
PRUEBA 2	3.0909	2.0967	1.8004	1.6132	1.5649	1.4671
PERDIDA DE PESO		32.17	41.75	47.81	49.37	52.53
PROMEDIO	0	31.32	41.11	46.93	48.58	51.67

TABLA XI

RESULTADOS EXPERIMENTALES DE PERDIDA DE PESO A 60 °BRIX Y
60°C A TRAVES DEL TIEMPO

	Po	1H	2H	3H	4H	5H
PRUEBA 1	3.3585	2.3583	1.8908	1.6153	1.4884	1.4184
PERDIDA DE PESO		29.78	43.70	51.90	55.68	57.77
PRUEBA 2	3.2294	1.9634	1.4625	1.2344	1.1213	1.0509
PERDIDA DE PESO		39.20	54.71	61.78	65.28	67.46
PROMEDIO	0	34.49	49.21	56.84	60.48	62.61

TABLA XII

RESULTADOS EXPERIMENTALES DE PERDIDA DE PESO A 70 °BRIX Y
60°C A TRAVES DEL TIEMPO

	Po	1H	2H	3H	4H	5H
PRUEBA 1	3.38	1.9941	1.348	1.1031	0.9747	0.9303
PERDIDA DE PESO		41.00	60.12	67.36	71.16	72.48
PRUEBA 2	3.3392	1.9485	1.298	1.0173	0.8939	0.8428
PERDIDA DE PESO		41.65	61.13	69.53	73.23	74.76
PROMEDIO	0	41.33	60.62	68.45	72.20	73.62

3.1.2. Planteamiento del modelo

Para obtener el modelo matemático que describiera la pérdida de peso en la cinética de deshidratación osmótica de la papaya, se realizaron los siguientes pasos (9):

1. Se planteó un modelo base:

$$\begin{aligned}
 Y = & B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + B_3 X_3 + B_4 X_1 X_2 + B_5 X_1 X_3 + B_6 X_2 X_3 + B_7 X_1 \\
 & X_2 X_3 + B_8 X_1^2 X_2 + B_9 X_1^2 X_3 + B_{10} X_2^2 X_1 + B_{11} X_2^2 X_3 + B_{12} X_3^2 X_1 + B_{13} \\
 & X_3^2 X_2 + B_{14} X_1^2 X_2^2 + B_{15} X_1^2 X_3^2 + B_{16} X_3^2 X_2^2 + B_{17} X_1^2 X_2^2 X_3^2 + B_{18} \\
 & X_1^2 X_2 X_3 + B_{19} X_2^2 X_3 X_1 + B_{20} X_3^2 X_1 X_2 + B_{21} X_1^2 + B_{22} X_2^2 + B_{23} X_3^2 + B_{24} \\
 & X_1^2 X_2^2 X_3 + B_{25} X_1 X_2^2 X_3^2 + B_{26} X_1^2 X_3^2 X_2
 \end{aligned}$$

donde las variables X están codificadas y son:

X_1 : Esta en función de la Temperatura

X_2 : Esta en función de la Concentración

X_3 : Esta en función de la Tiempo

2. Se obtuvieron los coeficientes del modelo, utilizando la regresión múltiple por el método matricial.

$$B = (X' \cdot X)^{-1} \cdot X' \cdot Y$$

3. Se realizó la validez de los parámetros de la siguiente manera:

Se obtiene la varianza de cada coeficiente:

$$V(\mathbf{b}_k) = (\mathbf{X}' \cdot \mathbf{X})^{-1} \cdot \sigma_{EE}^2$$

y: Matriz de respuestas experimentales

b: Matriz de coeficientes obtenidos en el modelo.

x: Matriz de variables del modelo.

σ_{EE}^2 : Varianza de error experimental ($\Sigma(Y_{\text{exp}} - Y_{\text{med}})^2$)

Para cada coeficiente se utiliza la distribución t de Student con un $\alpha=0.05$, se puede observar en el apéndice D.

$$b_k = \bar{b}_k \pm t(\gamma_{EE}) \sqrt{v(b_k)}$$

donde,

b_k : Coeficiente calculado

t : Valor de la tabla t de Student.

$V(b_k)$: Varianza del parámetro k

El parámetro se considero significativo cuando en el intervalo no se encontraba el valor 0. Si algún coeficiente no era significativo, el termino se eliminaba de la ecuación inicial y se volvió al segundo paso hasta que todos los coeficientes salgan significativos. Los coeficientes obtenidos se muestran en la siguiente tabla.

TABLA XIII
COEFICIENTES OBTENIDOS PARA LA PERDIDA DE PESO

COEFICIENTE	B ₀	B ₁	B ₂	B ₃	B ₆	B ₇	B ₉	B ₁₃	B ₂₀	B ₂₁	B ₂₃
VALOR	51.28	6.95	11.67	16.06	4.24	-1.49	-2.50	-2.59	-1.24	-2.63	-5.94

4. Finalmente se descodificó la ecuación final para obtener el modelo deseada.

El modelo codificado obtenido fue:

$$Y = 51.28 + 6.95 X_1 + 11.67 X_2 + 16.06 X_3 + 4.24 X_2 X_3 - 1.49 X_1 X_2 X_3 - 2.50 X_1^2 X_3 - 2.59 X_2 X_3^2 - 2.63 X_1^2 - 5.94 X_3^2 - 1.24 X_3^2 X_1 X_2$$

donde,

$$\begin{aligned}
 Y = & 51.28 + 6.95 ((T-50)/10) + 11.67 (([] - 60) /10) + 16.06 ((\theta - 3)/2) + \\
 & 4.24 (([] - 60) /10) ((\theta - 3)/2) - 1.49 ((T-50)/10) (([] - 60) /10) ((\theta - 3)/2) - \\
 & 2.50 ((T - 50) /10)^2 ((\theta - 3)/2) - 2.59 (([] - 60) /10) ((\theta - 3)/2)^2 - 2.63 ((T \\
 & - 50) /10)^2 - 5.94 ((\theta - 3)/2)^2 - 1.24 ((\theta - 3)/2)^2 ((T-50)/10) (([] - 60) /10)
 \end{aligned}$$

El modelo obtenido para la pérdida de peso es:

$$\begin{aligned}
 Y = & - 6.43 - 0.095 T + 0.224 [] - 16.92 \theta + 0.0445 \theta [] + 0.0112 \theta T [] \\
 & - 5.9 \cdot 10^{-3} T [] + 0.581 T \theta - 0.0125 \theta T^2 + 0.0112 T^2 - 6.9 \theta^2 + 0.09 [] \theta^2 \\
 & - 3.1 \cdot 10^{-3} \theta^2 T [] + 0.186 T \theta^2
 \end{aligned}$$

3.1.3. Ajuste del modelo

Al modelo obtenido se realizó un análisis de varianza, con el cual se determinó el grado de ajuste del modelo a los datos experimentales. La prueba de calidad y ajuste se realizó de la siguiente manera:

TABLA XIV
ANALISIS DE VARIANZA

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD
TOTAL	$SCT = Y' \cdot Y$	$\gamma_{SCT} = n$
MODELO	$SCM = B' \cdot X' \cdot Y$	$\gamma_{SCM} = p$
RESIDUOS	$SCR = SCT - SCM$	$\gamma_{SCR} = n - p$
ERROR EXPERIMENTAL	$SCEE = \sigma_{EE}^2 \cdot \gamma_{EE}$	$\gamma_{EE} = n - c$
PERDIDA DE AJUSTE	$SCPA = SCR - SCEE$	$\gamma_{PA} = \gamma_{SCR} - \gamma_{EE}$

Donde:

n : Número total de datos obtenidos.

p : Número de coeficientes que aparecen en el modelo matemático obtenido.

c : Número de corridas experimentales

y : Matriz de respuestas experimentales

b : Matriz de coeficientes obtenidos en el modelo.

x : Matriz de variables del modelo.

σ_{EE}^2 : Varianza de error experimental ($\sum(Y_{exp} - Y_{med})^2$)

Posteriormente se utilizó la distribución F de Fisher, siendo la hipótesis nula la igualdad entre los resultados experimentales y los resultados del modelo obtenido. La distribución F se la aplico de dos maneras:

- I. $F_{exp} = \sigma^2_{SCPA} / \sigma^2_{EE}$, de tal manera $F_{exp} < F_{crit}$, el ajuste es satisfactorio.
- II. $F_{exp} = \sigma^2_{SCM} / \sigma^2_{SCR}$, de tal manera $F_{exp} > F_{crit}$, el ajuste es satisfactorio

Donde F critico con las coordenadas $(\gamma_{PA}, \gamma_{PA})$ es tomado del apéndice E, con una probabilidad del 95%. De esta manera, para el modelo de pérdida de peso, obtenemos:

TABLA XV

RESULTADOS DEL ANALISIS DE VARIANZA DE LA PERDIDA DE PESO

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD
TOTAL	126200.56	54
MODELO	126001.88	11
RESIDUOS	198.68	43
ERROR EXPERIMENTAL	131.91	27
PERDIDA DE AJUSTE	66.77	16

$$F_{exp} = \sigma^2_{SCPA} / \sigma^2_{EE}$$

$$F_{exp} = 4.173 / 4.89 = 0.85$$

$$F_{crit} (\gamma_{PA}, \gamma_{PA}) = F_{crit} (16,27) = 2.042$$

$F_{exp} < F_{crit}$, el ajuste es satisfactorio

3.2. Modelo matemático de la pérdida de agua

La pérdida de agua a través de varios intervalos es calculada con la siguiente ecuación: (15).

$$Mw_t = \frac{P_0 (H_0) - P_t (H_t)}{P_0} \times 100$$

Donde:

Mw_t = Porcentaje de pérdida de agua en el tiempo t.

t = Tiempo en horas

P_0 = Peso en gramos de la muestra en el tiempo 0.

H_0 = Humedad, en base húmeda, en el tiempo 0

P_t = Peso en gramos de la muestra en el tiempo t.

H_t = Humedad, en base húmeda, en el tiempo t.

De esta manera la pérdida de agua a 50 ° Brix, 40°C y 1 hora de la primera prueba sería:

$$M_t = \frac{3.55633 (0.878) - 2.9088 (0.758)}{3.55633} \times 100$$

$$M_t = 25.82 \%$$

Esto nos indica que luego de haber transcurrido 1 hora de deshidratación osmótica, los pedazos de papaya perdieron el 25.82% de agua. En otras palabras, por cada 100 gramos de agua contenido en la fruta inicial, al transcurrir una hora el peso del agua sería de 74.18 gramos. Este valor de pérdida de agua fue promediado con el valor de la segunda réplica, los cuales son reportados en la Tabla XIII - XXI.

3.2.1. Resultados experimentales

Los valores calculados de pérdida de agua promediados con sus réplicas, se reportan en las tablas de XVI - XXIV.

TABLA XVI

RESULTADOS EXPERIMENTALES DE PERDIDA DE AGUA A 50 °BRIX Y 40°C A TRAVES DEL TIEMPO

	Po	1H	2H	3H	4H	5H
PRUEBA 1	3.5563	2.9088	2.7134	2.5566	2.4455	2.3519
PRUEBA 2	3.5377	2.9287	2.7482	2.5719	2.4812	2.3934
HUMEDAD	87.81	75.79	69.18	61.71	58.65	55.1
% HUMEDAD	0.8781	0.7579	0.6918	0.6171	0.5865	0.551
PERDIDA DE AGUA 1		25.82	35.03	43.45	47.48	51.37
PERDIDA DE AGUA 2		25.07	34.07	42.95	46.68	50.53
PROMEDIO		25.44	34.55	43.20	47.08	50.95

TABLA XVII

**RESULTADOS EXPERIMENTALES DE PERDIDA DE AGUA A 60 °BRIX Y
40°C A TRAVES DEL TIEMPO**

	Po	1H	2H	3H	4H	5H
PRUEBA 1	3.5471	2.7016	2.3354	2.1037	1.8875	1.732
PRUEBA 2	3.5129	2.6666	2.3246	2.0563	1.8485	1.7178
HUMEDAD %	87.81	73.71	68.6	63.06	55.64	50.71
PERDIDA DE AGUA 1		31.67	42.64	50.41	58.20	63.05
PERDIDA DE AGUA 2		31.86	42.42	50.90	58.53	63.01
PROMEDIO		31.76	42.53	50.65	58.37	63.03

TABLA XVIII

**RESULTADOS EXPERIMENTALES DE PERDIDA DE AGUA A 70 °BRIX Y
40°C A TRAVES DEL TIEMPO**

	Po	1H	2H	3H	4H	5H
PRUEBA 1	3.6643	2.6812	2.1291	1.7183	1.4289	1.2365
PRUEBA 2	3.7823	2.4812	2.2105	1.8173	1.5244	1.298
HUMEDAD %	87.81	72.69	67.69	59.43	50.9	39.01
PERDIDA DE AGUA 1		34.62	48.48	59.94	67.96	74.65
PERDIDA DE AGUA 2		40.13	48.25	59.26	67.30	74.42
PROMEDIO		37.37	48.36	59.60	67.63	74.53

TABLA IXX

**RESULTADOS EXPERIMENTALES DE PERDIDA DE AGUA A 50 °BRIX Y
50°C A TRAVES DEL TIEMPO**

	Po	1H	2H	3H	4H	5H
PRUEBA 1	3.5504	2.7066	2.3751	2.1479	1.9637	1.8523
PRUEBA 2	3.521	2.627	2.3032	2.0908	1.8986	1.7988
HUMEDAD %	89.59	74.33	66.92	60.27	55.95	49.78
PERDIDA DE AGUA 1		32.93	44.82	53.13	58.64	63.62
PERDIDA DE AGUA 2		34.13	45.82	53.80	59.42	64.16
PROMEDIO		33.53	45.32	53.46	59.03	63.89

TABLA XX

**RESULTADOS EXPERIMENTALES DE PERDIDA DE AGUA A 60 °BRIX Y
50°C A TRAVES DEL TIEMPO**

	Po	1H	2H	3H	4H	5H
PRUEBA 1	3.6275	2.5568	2.0447	1.706	1.4912	1.3686
PRUEBA 2	3.6337	2.6583	2.2024	1.8519	1.5907	1.4023
HUMEDAD %	89.59	77.69	66.96	58.57	49.72	43.13
PERDIDA DE AGUA 1		34.83	51.85	62.04	69.15	73.32
PERDIDA DE AGUA 2		32.75	49.01	59.74	67.82	72.95
PROMEDIO		33.79	50.43	60.89	68.49	73.13

TABLA XXI

**RESULTADOS EXPERIMENTALES DE PERDIDA DE AGUA A 70 °BRIX Y
50°C A TRAVES DEL TIEMPO**

	Po	1H	2H	3H	4H	5H
PRUEBA 1	3.7187	2.4515	1.77	1.3658	1.1062	1.0026
PRUEBA 2	3.7038	2.4007	1.7125	1.3244	1.083	0.9634
HUMEDAD %	89.59	76.14	64.21	52.69	38.58	30.29
PERDIDA DE AGUA 1		39.40	59.03	70.24	78.11	81.42
PERDIDA DE AGUA 2		40.24	59.90	70.75	78.31	81.71
PROMEDIO		39.82	59.46	70.49	78.21	81.57

TABLA XXII

**RESULTADOS EXPERIMENTALES DE PERDIDA DE AGUA A 50 °BRIX Y
60°C A TRAVES DEL TIEMPO**

	Po	1H	2H	3H	4H	5H
PRUEBA 1	3.3224	2.31	1.9782	1.7921	1.7346	1.6344
PRUEBA 2	3.0909	2.0967	1.8004	1.6132	1.5649	1.4671
HUMEDAD %	88.93	65.92	59.28	50.01	47.42	41.49
PERDIDA DE AGUA 1		43.10	53.63	61.95	64.17	68.52
PERDIDA DE AGUA 2		44.21	54.40	62.83	64.92	69.24
PROMEDIO		43.66	54.02	62.39	64.55	68.88

TABLA XXII

RESULTADOS EXPERIMENTALES DE PERDIDA DE AGUA A 60 °BRIX Y
60°C A TRAVES DEL TIEMPO

	Po	1H	2H	3H	4H	5H
PRUEBA 1	3.3585	2.3583	1.8908	1.6153	1.4884	1.4184
PRUEBA 2	3.2294	1.9634	1.4625	1.2344	1.1213	1.0509
HUMEDAD%	88.93	66.43	55.82	46.22	41.47	35.71
PERDIDA DE AGUA 1		42.28	57.50	66.70	70.55	73.85
PERDIDA DE AGUA 2		48.54	63.65	71.26	74.53	77.31
PROMEDIO		45.41	60.58	68.98	72.54	75.58

TABLA XXIV

RESULTADOS EXPERIMENTALES DE PERDIDA DE AGUA A 70 °BRIX Y
60°C A TRAVES DEL TIEMPO

	Po	1H	2H	3H	4H	5H
PRUEBA 1	3.38	1.9941	1.348	1.1031	0.9747	0.9303
PRUEBA 2	3.3392	1.9485	1.298	1.0173	0.8939	0.8428
HUMEDAD %	88.93	66.97	49.72	34.24	25.52	21.03
PERDIDA DE AGUA 1		49.42	69.10	77.76	81.57	83.14
PERDIDA DE AGUA 2		49.85	69.60	78.50	82.10	83.62
PROMEDIO		49.64	69.35	78.13	81.83	83.38

3.2.2. Planteamiento del modelo

Se realizaron los mismos pasos de la pérdida de peso para obtener el modelo matemático que describiera la pérdida de agua en la cinética de deshidratación osmótica de la papaya.

1. Se planteó un modelo base:

$$\begin{aligned}
 Y = & B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + B_3 X_3 + B_4 X_1 X_2 + B_5 X_1 X_3 + B_6 X_2 X_3 + B_7 X_1 \\
 & X_2 X_3 + B_8 X_1^2 X_2 + B_9 X_1^2 X_3 + B_{10} X_2^2 X_1 + B_{11} X_2^2 X_3 + B_{12} X_3^2 X_1 + B_{13} \\
 & X_3^2 X_2 + B_{14} X_1^2 X_2^2 + B_{15} X_1^2 X_3^2 + B_{16} X_3^2 X_2^2 + B_{17} X_1^2 X_2^2 X_3^2 + B_{18} \\
 & X_1^2 X_2 X_3 + B_{19} X_2^2 X_3 X_1 + B_{20} X_3^2 X_1 X_2 + B_{21} X_1^2 + B_{22} X_2^2 + B_{23} X_3^2 + B_{24} \\
 & X_1^2 X_2^2 X_3 + B_{25} X_1 X_2^2 X_3^2 + B_{26} X_1^2 X_3^2 X_2
 \end{aligned}$$

donde las variables X están codificadas y son:

X_1 : Esta en función de la Temperatura

X_2 : Esta en función de la Concentración

X_3 : Esta en función de la Tiempo

2. Se obtuvieron los coeficientes del modelo, utilizando la regresión múltiple por el método matricial.

3. Se realizó la validez de los parámetros. Los coeficientes que se obtuvieron se encuentran representados en la tabla XXII.

TABLA XXV
COEFICIENTES OBTENIDOS PARA LA GANANCIA DE SOLIDOS

COEFICIENTE	B ₀	B ₁	B ₂	B ₃	B ₆	B ₉	B ₁₂	B ₁₃	B ₂₀	B ₂₃
VALOR	60.87	9.34	8.20	18.58	2.63	-3.32	-2.39	-1.53	-1.88	-6.68

4. Finalmente se descodificó la ecuación final para obtener el modelo deseada.

El modelo codificado obtenido fue:

$$Y = 60,87 + 9,34 X_1 + 8,20 X_2 + 18,58 X_3 + 2,63 X_2 X_3 - 3,32 X_1^2 X_3 - 2,39 X_2 X_3^2 - 1,53 X_3^2 X_2 - 1,88 X_3^2 X_1 X_2 - 6,68 X_3^2$$

donde,

$$Y = 60,87 + 9,34 ((T-50)/10) + 8,20 ((([] - 60) / 10) + 18,58 ((\theta - 3)/2) + 2,63 ((([] - 60) / 10) ((\theta - 3)/2) - 3,32 ((T-50)/10)^2 ((\theta - 3)/2) - 2,39 ((T - 50) / 10) ((\theta - 3)/2)^2 - 1,53 ((([] - 60) / 10) ((\theta - 3)/2)^2 - 6,68 ((\theta - 3)/2)^2 - 1,88 ((\theta - 3)/2)^2 ((T-50)/10) ((([] - 60) / 10)$$

El modelo obtenido para la pérdida de agua es:

$$Y = - 8.93 - 2.07 T + 2.23 [] + 21.72 \theta - 1.08 \theta [] - 10.47 \theta^2 - 0.017 \theta T^2 + 0.38 T \theta + 0.22 T \theta^2 + 0.202 [] \theta^2 - 4.7 \cdot 10^{-3} \theta^2 T [] + 0.028 \theta T [] - 0.042 T [] + 0.0498 T^2$$

3.2.3. Ajuste del modelo.

Al modelo obtenido se realizó un análisis de varianza, con el cual se determinó el grado de ajuste del modelo a los datos experimentales. En la prueba de calidad y ajuste se obtuvieron los siguientes resultados:

TABLA XXVI

RESULTADOS DEL ANALISIS DE VARIANZA DE LA PERDIDA DE AGUA

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD
TOTAL	186516.88	54
MODELO	186419.46	10
RESIDUOS	97.42	44
ERROR EXPERIMENTAL	60.55	27
PERDIDA DE AJUSTE	36.87	17

$$F_{\text{exp}} = \sigma^2_{\text{SCPA}} / \sigma^2_{\text{EE}}$$

$$F_{\text{exp}} = 2.17 / 2.243 = 0.97$$

$F_{\text{cri}} (\gamma_{\text{PA}}, \gamma_{\text{PA}})$

$$F_{\text{crit}} (16,27) = 2.024$$

$F_{\text{exp}} < F_{\text{crit}}$, el ajuste es satisfactorio

3.3. Modelo matemático de ganancia de sólidos

La ganancia de sólidos a través de varios intervalos es calculada con la siguiente ecuación: (15)

$$Ms_t = \frac{P_t(1 - H_t) - P_0(1 - H_0)}{P_0} \times 100$$

Donde:

Ms_t = Porcentaje de ganancia de sólidos en el tiempo t.

t = Tiempo en horas

P_0 = Peso en gramos de la muestra en el tiempo 0.

H_0 = Humedad, en base húmeda, en el tiempo 0

P_t = Peso en gramos de la muestra en el tiempo t.

H_t = Humedad, en base húmeda, en el tiempo t.

De esta manera la ganancia de sólidos a 50°Brix, 40°C y 1 hora de la primera prueba sería:

$$M_t = \frac{2.9088 (0.242) - 3.55633 (0.122)}{3.55633} \times 100$$

$$M_t = 7.61 \%$$

Esto nos indica que luego de haber transcurrido 1 hora de deshidratación osmótica, los pedazos de papaya ganaron el 7.61% de sólidos. En otras palabras, por cada 100 gramos de sólidos contenido en la fruta inicial, al transcurrir una hora, estos aumentaron 7.61 gramos. Este valor de la ganancia de sólidos fue promediado con el valor de la segunda réplica, los cuales son reportados en la Tabla XXVI - XXXIV.

3.3.1. Resultados experimentales

Los valores calculados de ganancia de sólidos promediados con sus réplicas, se reportan en las tablas de XXVII - XXXIV.

TABLA XXVII

**RESULTADOS EXPERIMENTALES DE GANANCIA DE SOLIDOS A
50°BRIX Y 40°C A TRAVES DEL TIEMPO**

	Po	1H	2H	3H	4H	5H
PRUEBA 1	3.5563	2.9088	2.7134	2.5566	2.4455	2.3519
PRUEBA 2	3.5377	2.9287	2.7482	2.5719	2.4812	2.3934
SOLIDOS TOTALES	0.1219	0.2421	0.3082	0.3829	0.4135	0.449
GANANCIA SOLIDO 1		7.61	11.33	15.34	16.24	17.50
GANANCIA SOLIDO 2		7.85	11.75	15.65	16.81	18.19
PROMEDIO		7.73	11.54	15.49	16.53	17.85

TABLA XXVIII

**RESULTADOS EXPERIMENTALES DE GANANCIA DE SOLIDOS A
60°BRIX Y 40°C A TRAVES DEL TIEMPO**

	Po	1H	2H	3H	4H	5H
PRUEBA 1	3.5471	2.7016	2.3354	2.1037	1.8875	1.732
PRUEBA 2	3.5129	2.6666	2.3246	2.0563	1.8485	1.7178
SOLIDOS TOTALES	0.1219	0.2629	0.314	0.3694	0.4436	0.4929
GANANCIA SOLIDOS 1		7.83	8.48	9.72	11.42	11.88
GANANCIA SOLIDO 2		7.77	8.59	9.43	11.15	11.91
PROMEDIO		7.80	8.54	9.58	11.28	11.90

TABLA IXXX

**RESULTADOS EXPERIMENTALES DE GANANCIA DE SOLIDOS A
70°BRIX Y 40°C A TRAVES DEL TIEMPO**

	Po	1H	2H	3H	4H	5H
PRUEBA 1	3.6643	2.6812	2.1291	1.7183	1.4289	1.2365
PRUEBA 2	3.7823	2.4812	2.2105	1.8173	1.5244	1.298
SOLIDOS TOTALES	0.1219	0.2731	0.3231	0.4057	0.491	0.6099
GANANCIA SOLIDO 1		7.79	6.58	6.83	6.96	8.39
GANANCIA SOLIDO 2		5.73	6.69	7.30	7.60	8.74
PROMEDIO		6.76	6.64	7.07	7.28	8.57

TABLA XXX

**RESULTADOS EXPERIMENTALES DE GANANCIA DE SOLIDOS A
50°BRIX Y 50°C A TRAVES DEL TIEMPO**

	Po	1H	2H	3H	4H	5H
PRUEBA 1	3.5504	2.7066	2.3751	2.1479	1.9637	1.8523
PRUEBA 2	3.521	2.627	2.3032	2.0908	1.8986	1.7988
SOLIDOS TOTALES	0.1041	0.2567	0.3308	0.3973	0.4405	0.5022
GANANCIA DE SOLIDO 1		9.16	11.72	13.63	13.95	15.79
GANANCIA DE SOLIDO 2		8.74	11.23	13.18	13.34	15.25
PROMEDIO		8.95	11.47	13.40	13.65	15.52

TABLA XXXI

RESULTADOS EXPERIMENTALES DE GANANCIA DE SOLIDOS A

60°BRIX Y 50°C A TRAVES DEL TIEMPO

	Po	1H	2H	3H	4H	5H
PRUEBA 1	3.6275	2.5568	2.0447	1.706	1.4912	1.3686
PRUEBA 2	3.6337	2.6583	2.2024	1.8519	1.5907	1.4023
SOLIDOS TOTALES	0.1041	0.2231	0.3304	0.4143	0.5028	0.5687
GANANCIA DE SOLIDO 1		5.31	8.21	9.07	10.26	11.05
GANANCIA DE SOLIDO 2		5.91	9.62	10.70	11.60	11.54
PROMEDIO		5.61	8.91	9.89	10.93	11.29

TABLA XXXII

RESULTADOS EXPERIMENTALES DE GANANCIA DE SOLIDOS A

70°BRIX Y 50°C A TRAVES DEL TIEMPO

	Po	1H	2H	3H	4H	5H
PRUEBA 1	3.7187	2.4515	1.77	1.3658	1.1062	1.0026
PRUEBA 2	3.7038	2.4007	1.7125	1.3244	1.083	0.9634
SOLIDOS TOTALES	0.1041	0.2386	0.3579	0.4731	0.6142	0.6971
GANANCIA DE SOLIDO 1		5.32	6.63	6.97	7.86	8.38
GANANCIA DE SOLIDO 2		5.06	6.14	6.51	7.55	7.72
PROMEDIO		5.19	6.38	6.74	7.70	8.05

TABLA XXXIII

RESULTADOS EXPERIMENTALES DE GANANCIA DE SOLIDOS A

50°BRIX Y 60°C A TRAVES DEL TIEMPO

	Po	1H	2H	3H	4H	5H
PRUEBA 1	3.3224	2.31	1.9782	1.7921	1.7346	1.6344
PRUEBA 2	3.0909	2.0967	1.8004	1.6132	1.5649	1.4671
SOLIDOS TOTALES	0.1107	0.3408	0.4072	0.4999	0.5258	0.5851
GANANCIA DE SOLIDO 1		12.63	13.18	15.89	16.38	17.71
GANANCIA DE SOLIDO 2		12.05	12.65	15.02	15.55	16.70
PROMEDIO		12.34	12.91	15.46	15.97	17.21

TABLA XXXIV

RESULTADOS EXPERIMENTALES DE GANANCIA DE SOLIDOS A

60°BRIX Y 60°C A TRAVES DEL TIEMPO

	Po	1H	2H	3H	4H	5H
PRUEBA 1	3.3585	2.3583	1.8908	1.6153	1.4884	1.4184
PRUEBA 2	3.2294	1.9634	1.4625	1.2344	1.1213	1.0509
% SOLIDOS TOTALES	0.1107	0.3357	0.4418	0.5378	0.5853	0.6429
GANANCIA DE SOLIDO 1		12.50	13.80	14.80	14.87	16.08
GANANCIA DE SOLIDO 2		9.34	8.94	9.49	9.25	9.85
PROMEDIO		10.92	11.37	12.14	12.06	12.97

TABLA XXXV

RESULTADOS EXPERIMENTALES DE GANANCIA DE SOLIDOS A

70°BRIX Y 60°C A TRAVES DEL TIEMPO

	Po	1H	2H	3H	4H	5H
PRUEBA 1	3.38	1.9941	1.348	1.1031	0.9747	0.9303
PRUEBA 2	3.3392	1.9485	1.298	1.0173	0.8939	0.8428
HUMEDAD	88.93	66.97	49.72	34.24	25.52	21.03
% SOLIDOS TOTALES	0.1107	0.3303	0.5028	0.6576	0.7448	0.7897
GANANCIA DE SOLIDO 1		8.42	8.98	10.39	10.41	10.67
GANANCIA DE SOLIDO 2		8.20	8.47	8.96	8.87	8.86
PROMEDIO		8.31	8.73	9.68	9.64	9.76

3.3.2. Planteamiento del modelo

Para obtener el modelo matemático que describiera la ganancia de sólidos en la cinética de deshidratación osmótica de la papaya, se realizaron los siguientes pasos:

1. Se planteó un modelo base (9):

$$\begin{aligned}
 Y = & B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + B_3 X_3 + B_4 X_1 X_2 + B_5 X_1 X_3 + B_6 X_2 X_3 + B_7 X_1 \\
 & X_2 X_3 + B_8 X_1^2 X_2 + B_9 X_1^2 X_3 + B_{10} X_2^2 X_1 + B_{11} X_2^2 X_3 + B_{12} X_3^2 X_1 + B_{13} \\
 & X_3^2 X_2 + B_{14} X_1^2 X_2^2 + B_{15} X_1^2 X_3^2 + B_{16} X_3^2 X_2^2 + B_{17} X_1^2 X_2^2 X_3^2 + B_{18} \\
 & X_1^2 X_2 X_3 + B_{19} X_2^2 X_3 X_1 + B_{20} X_3^2 X_1 X_2 + B_{21} X_1^2 + B_{22} X_2^2 + B_{23} X_3^2 + B_{24} \\
 & X_1^2 X_2^2 X_3 + B_{25} X_1 X_2^2 X_3^2 + B_{26} X_1^2 X_3^2 X_2
 \end{aligned}$$

donde las variables X están codificadas y son:

- X_1 : Esta en función de la Temperatura.
 X_2 : Esta en función de la Concentración.
 X_3 : Esta en función de la Tiempo.

2. Se obtuvieron los coeficientes del modelo, utilizando la regresión múltiple por el método matricial.

3. Se realizó la validez de los parámetros. Obteniéndose los siguientes coeficientes.

TABLA XXXVI

COEFICIENTES OBTENIDOS EN LA GANANCIA DE SÓLIDOS

COEFICIENTE	B ₀	B ₁	B ₂	B ₃	B ₆	B ₇
VALOR	10.60	0.89	-2.99	2.20	-1.29	0.62

4. Finalmente se descodificó la ecuación final para obtener el modelo deseada.

El modelo codificado obtenido fue:

$$Y = 10.60 + 0.89 X_1 - 2.99 X_2 + 2.20 X_3 - 1.29 X_2 X_3 + 0.62 X_1 X_2 X_3^2$$

donde,

$$Y = 10,60 + 0.89 ((T-50)/10) - 2.99 ((([] - 60) / 10) + 2.20 ((\theta - 3)/2) - 1.29 ((([] - 60) / 10) ((\theta - 3)/2) + 0.62 ((T-50)/10) ((\theta - 3)/2) ((([] - 60) / 10)$$

El modelo obtenido para la ganancia de sólidos es:

$$Y = -19.62 + 0.65 T + 0.37 [] + 14.57 \theta - 0.225 \theta [] + 3.1 \cdot 10^{-3} \theta T [] - 9.43 \cdot 10^{-3} T [] - 0.19 T \theta$$

3.3.3. Ajuste del modelo

Al modelo obtenido se realizó un análisis de varianza, con el cual se determinó el grado de ajuste del modelo a los datos experimentales. En la prueba de calidad y ajuste se obtuvieron los siguientes resultados:

TABLA XXXVII
RESULTADOS DEL ANALISIS DE VARIANZA DE LA GANANCIA DE
SOLIDOS

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD
TOTAL	6758.33	54
MODELO	6634,37	6
RESIDUOS	123,96	48
ERROR EXPERIMENTAL	47,204	27
PERDIDA DE AJUSTE	76,76	21

$$F_{\text{exp}} = \sigma^2_{\text{SCPA}} / \sigma^2_{\text{EE}}$$

$$F_{\text{exp}} = 3,66 / 1,75 = 2,093$$

$$F_{\text{cri}} (\gamma_{\text{PA}}, \gamma_{\text{PA}})$$

$$F_{\text{crit}} (21,27) = 1,95$$

$F_{\text{CRIT}} < F_{\text{EXP}}$ En este caso el ajuste no es satisfactorio, aunque la diferencia no es tan marcada.

Capítulo 4

4. Evaluación sensorial

El propósito de esta evaluación sensorial tiene como objetivo analizar los efectos de la deshidratación osmótica en las características organolépticas de la fruta. Para el efecto se comparó muestras deshidratadas osmóticamente en diferentes concentraciones.

4.1. Selección de muestras a evaluar

Las muestras elegidas para la evaluación sensorial con respecto a la temperatura fueron aquellas que cumplan con el objetivo de la deshidratación osmótica, es decir, que hallan tenido la mayor pérdida de agua y menor ganancia de sólidos. Para ver la incidencia de la concentración de sólidos en la solución osmótica se eligió una muestra de cada concentración. Con esta metodología se estudió las siguientes muestras.

TABLA XXXVIII

MUESTRAS A EVALUAR SENSORIALMENTE

CONCENTRACION (BRIX)	TEMPERATURA (C)	TIEMPO (HORAS)
50	50	5
60	50	4
70	50	3

En necesario aclarar que se eligió el tiempo en el cual finaliza la deshidratación de agua y comienza la impregnación de sólidos.

Las muestras previo al análisis sensorial fueron empacadas al vacío y congeladas debido a que el proceso de deshidratación es largo.

4.2. Panel de consumidores:

El personal que trabajará en los paneles de consumidores fueron alumnos de nivel 200 del Programa de Tecnología en Alimentos. Además, se incluyeron Tecnólogos en Alimentos que trabajan en el Programa. En consecuencia, los panelistas fueron semi-entrenados es decir, poseen habilidad innata, aptitud, interés y deseo de cooperar. Se eligió los jueces que no poseían aversión o rechazo por la papaya, que no sean fumadores, ni bebedores. El número total de panelistas en las pruebas realizadas fue de 10 personas.

4.3. Pruebas de aceptabilidad

El objetivo de los paneles de degustación fue medir las diferencias existentes, en las características organolépticas, entre las muestras deshidratadas osmóticamente a distintas concentraciones. La prueba que se utilizó para cumplir con el objetivo propuesto fue: la prueba Triangular.

La prueba triangular permite medir las propiedades sensoriales de los alimentos, en general es muy útil para determinar pequeñas diferencias.

Al degustador se le presentan tres muestras simultáneamente: dos de ellas son iguales una diferente. Se le pide señalar la diferente. Además, se le pide comentar acerca de la diferencia. El modelo de la ficha se encuentra representado en el apéndice F.

La prueba Triangular se realizó en el laboratorio de análisis del Programa de Tecnología en Alimentos. Para la prueba se utilizó platos de color blanco, y agua como acompañante.

4.5. Evaluación de Resultados

En las pruebas de degustación que se realizaron, se compararon las diferentes concentraciones de jarabe entre sí. Por lo tanto cada juez debía comparar la muestra de 50° Brix con la de 60°Brix, las de 50°Brix

con la de 70°Brix y 60°Brix con la de 70°Brix. De esta manera se obtuvieron los siguientes resultados.

COMBINACION	JUCIOS CORRECTOS
50°BRIX - 60°BRIX	6
50°BRIX - 70°BRIX	4
60°BRIX - 70°BRIX	6

Para analizar si las muestras son diferentes significativamente se comparó con la tabla del apéndice G. La tabla nos muestra que para un nivel de significación del 95% debería existir por lo menos 7 juicios correctos. Por lo tanto no existe diferencia significativa entre las muestras. Adicionalmente, los panelistas indicaron la diferencia que encontraron en las muestras, las cuales estaban relacionadas con la textura y el sabor.

CAPITULO 5

5. ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS:

El análisis y discusión de los resultados obtenidos se realizó en función de la pérdida de peso, pérdida de agua, ganancia de sólidos y del proceso de deshidratación osmótica en general.

El análisis de la pérdida de peso se efectuó de la siguiente manera: Los resultados de los porcentajes de pérdida de peso experimentales se graficaron junto con los resultados del modelo matemático, para poder observar la correlación entre las curvas que representan la pérdida de peso obtenidas en las distintas condiciones del proceso (Gráficos 5.1 – 5.6). Al comparar las respuestas gráficamente se concluye que la diferencia entre los porcentajes, en general, no es grande; como lo analizado estadísticamente en el capítulo 3, en el cual se indicaba que la diferencia no era significativa. Por lo tanto se puede decir que el modelo matemático de la pérdida de peso realizado demuestra la cinética de deshidratación osmótica de los pedazos de papaya.

Al comparar más detenidamente las curvas del modelo matemático con las respuestas experimentales, se observa que a 40°C y 70°Brix las respuestas llegan a ser iguales; lo mismo ocurre a 50°C y 60°Brix. Por otro lado, a 60°C con todas las concentraciones de jarabe, la diferencia en el porcentaje de las respuestas es menor a 5% durante las primeras horas pero a la cuarta hora llegan a ser las mismas curvas. A 50°C y 50°Brix se produce una diferencia menor al 2% que se mantiene constante durante todo el proceso. En las otras curvas la diferencia entre los porcentajes de las respuestas es menor a al 3%.

En general, se puede observar gráficamente que a medida que aumenta los grados Brix y la temperatura, aumenta la pérdida de peso. Además, la manifestación observada por la pérdida de peso en función del tiempo tiene tendencia a una curva de una función logarítmica es decir, que a medida que transcurre el tiempo la pérdida de peso es cada vez menor. Esto se debe a que la fruta comienza a llegar a un equilibrio osmótico, como se expuso teóricamente la actividad de agua de la fruta llega a disminuir a tal punto que se va acercando a la actividad de agua del agente osmótico. Adicionalmente, se observa que a la primera hora de tratamiento la pérdida de peso llega hasta el 39%, lo cuál es debido a que el tamaño de los pedazos de papaya son pequeños, haciendo que el proceso de deshidratación osmótica sea mucho más rápido.

Otra fase del análisis consistió en observar la curva funcional de la pérdida de peso con respecto al tiempo en la etapa terminal; la observación condujo a la siguiente conclusión: las muestras sometidas a diversos niveles de temperatura a partir de los 50°C tendían a concurrir a un mismo punto. Lo anterior indicaría que se produce una destrucción parcial del tejido vegetal, permitiendo que exista una difusión no controlada de la salida del agua y el ingreso de sólidos en los pedazos de papaya. Por el contrario, al analizar en función de los niveles de concentración, se observa que a medida que aumenta 10°Brix, aumenta aproximadamente un 10% de pérdida de peso.

Se efectuó adicionalmente un análisis estadístico para verificar la incidencia de la temperatura y concentración en la pérdida de peso a través del tiempo. Trabajando con un nivel de confianza del 95%, el análisis de varianza se realizó con dos variables de clasificación (apéndice H). Los resultados se encuentran representados en el apéndice I. Según los resultados obtenidos del análisis de varianza, se puede concluir que tanto la temperatura como la concentración del agente osmótico poseen un efecto significativo en la pérdida de peso, pero a medida que transcurre el tiempo, la temperatura deja de tener incidencia en la pérdida de peso. Llegando de esta manera a la misma conclusión anterior.

Adicionalmente, se realizaron gráficos de la variación de la pérdida de peso con respecto a la variación de tiempo (gráficos 5.7 – 5.9). Se observa que la variación de pérdida de peso, en todos los procesos, es cada vez menor a medida que transcurre el tiempo, es decir que la pendiente decrece hasta llegar a un valor aproximado a 0, por lo tanto a las 5 horas de tratamiento con el tamaño de muestra determinado, estas dejan de perder peso.

GRAFICO 5.1.

RESULTADOS EXPERIMENTALES Y DEL MODELO MATEMATICO DE

LA PERDIDA DE PESO A 40°C

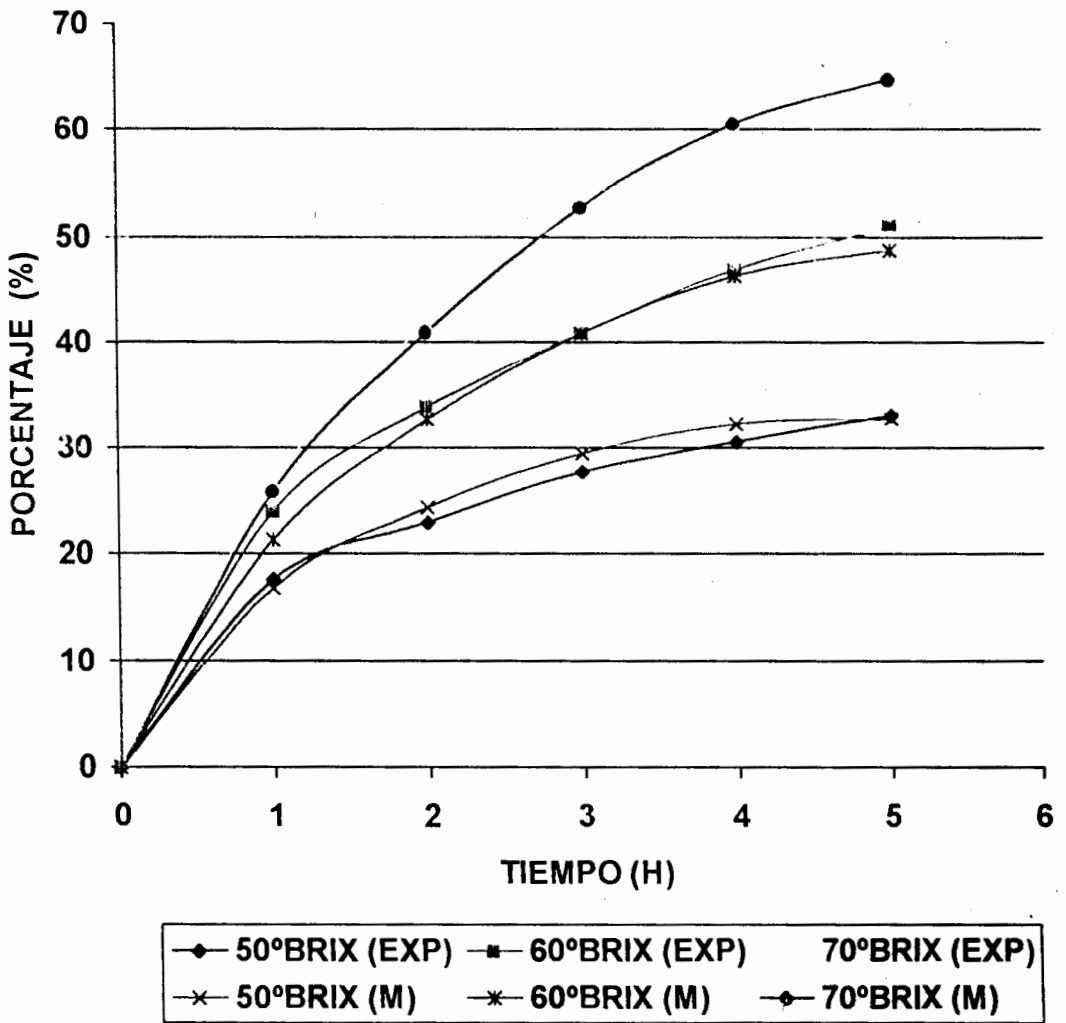
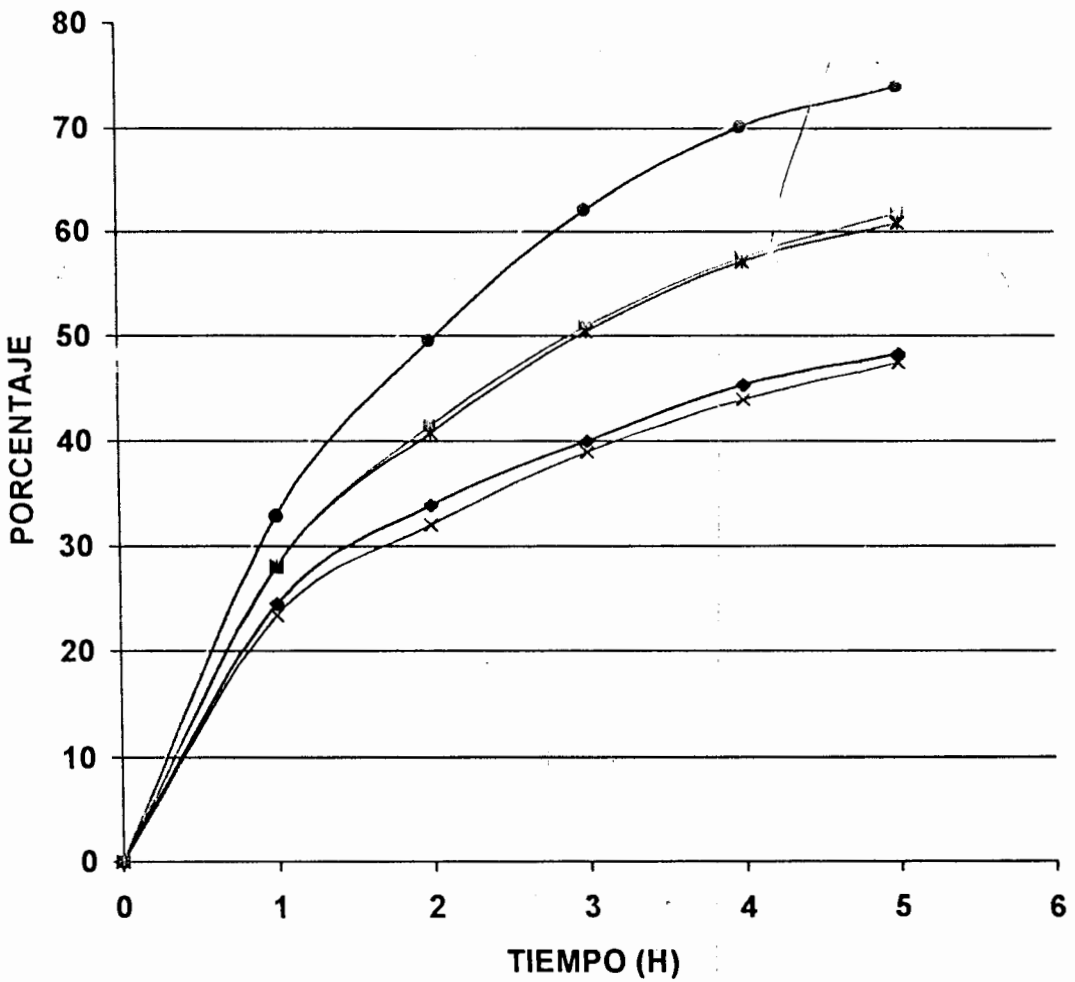


GRAFICO 5.2.

RESULTADOS ESXPERIEMENTALES Y DEL MODELO MATEMATICO
DE PERDIDA DE PESO A 50°C



◆ 50°BRIX (EXP)	■ 60°BRIX (EXP)	● 70°BRIX (EXP)
× 50°BRIX (M)	* 60°BRIX (M)	● 70°BRIX (M)

GRAFICO 5.3.

RESULTADOS EXPERIMENTALES Y DEL MODELO MATEMATICO DE
LA PERDIDA DE PESO A 60°C

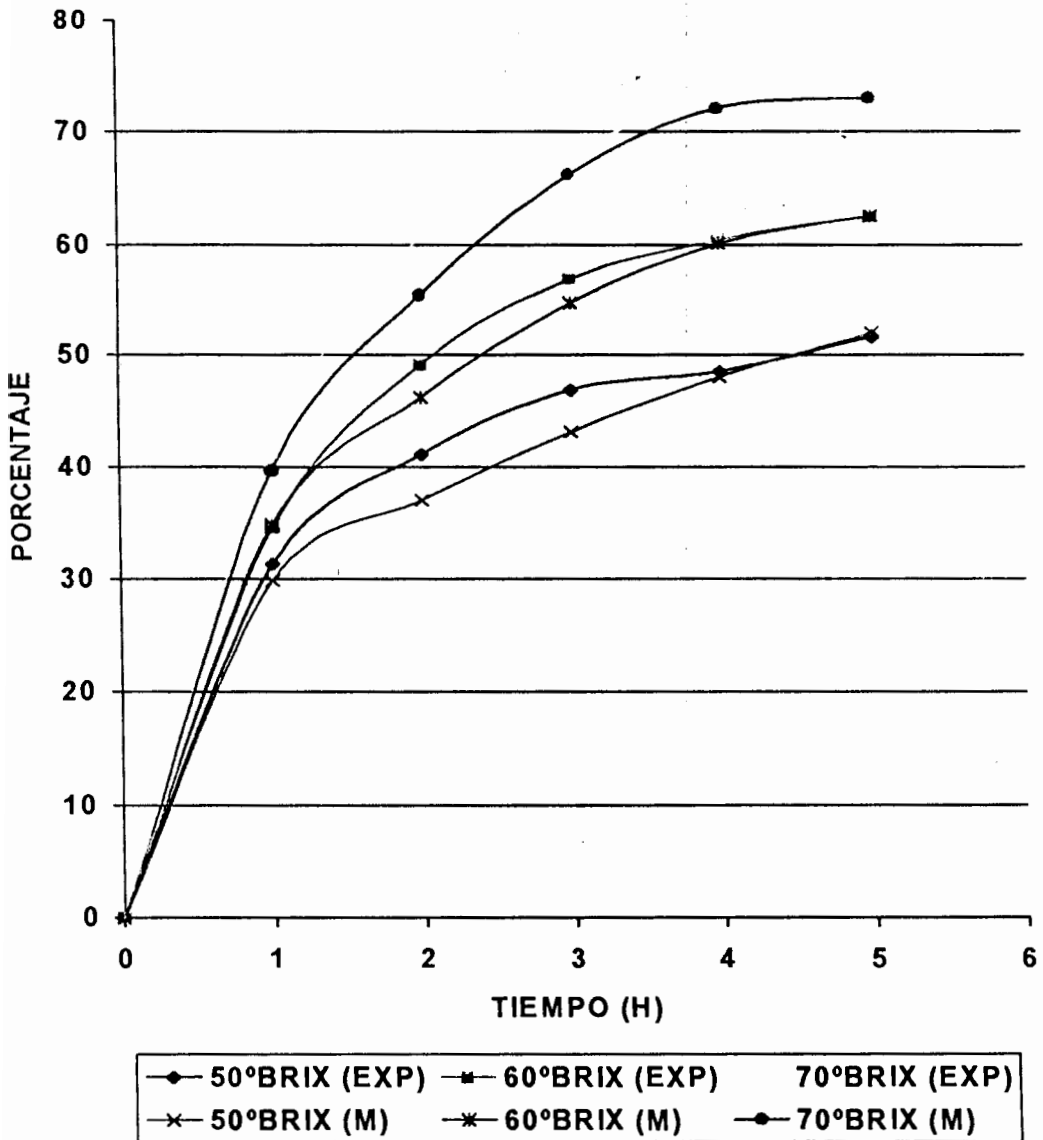


GRAFICO 5.4

RESULTADOS EXPERIMENTALES Y DEL MODELO MATEMATICO DE
LA PERDIDA DE PESO A 50°BRIX

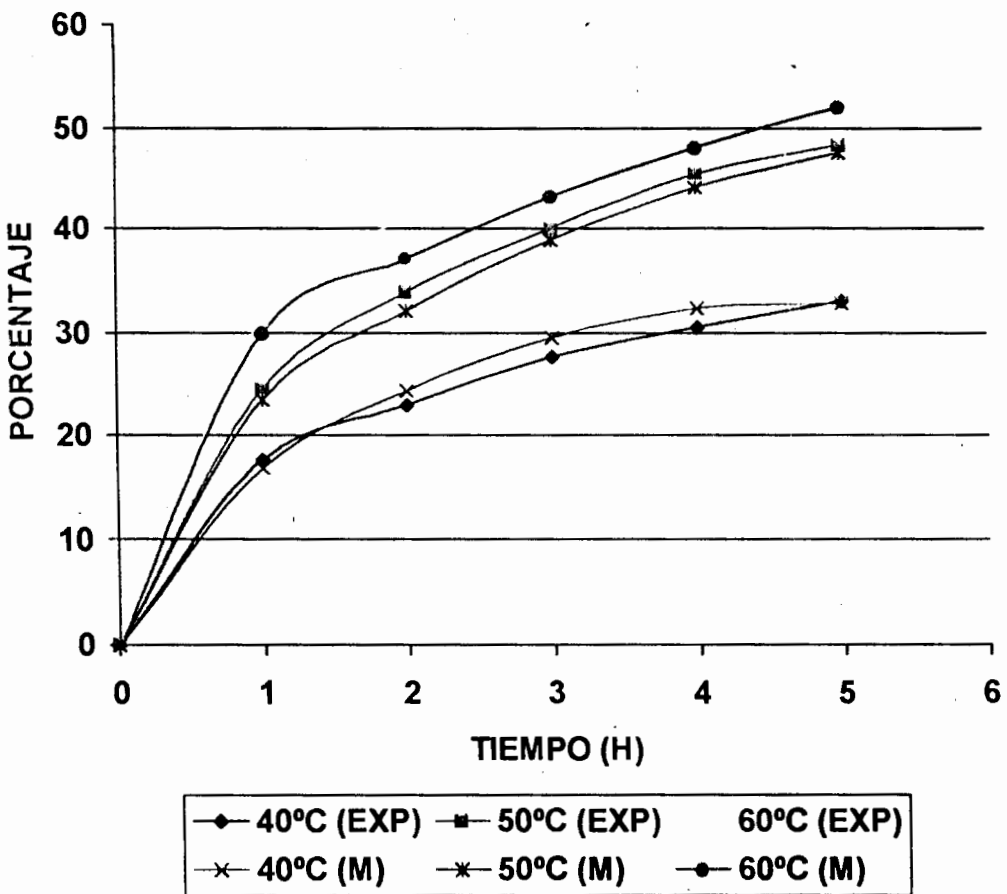
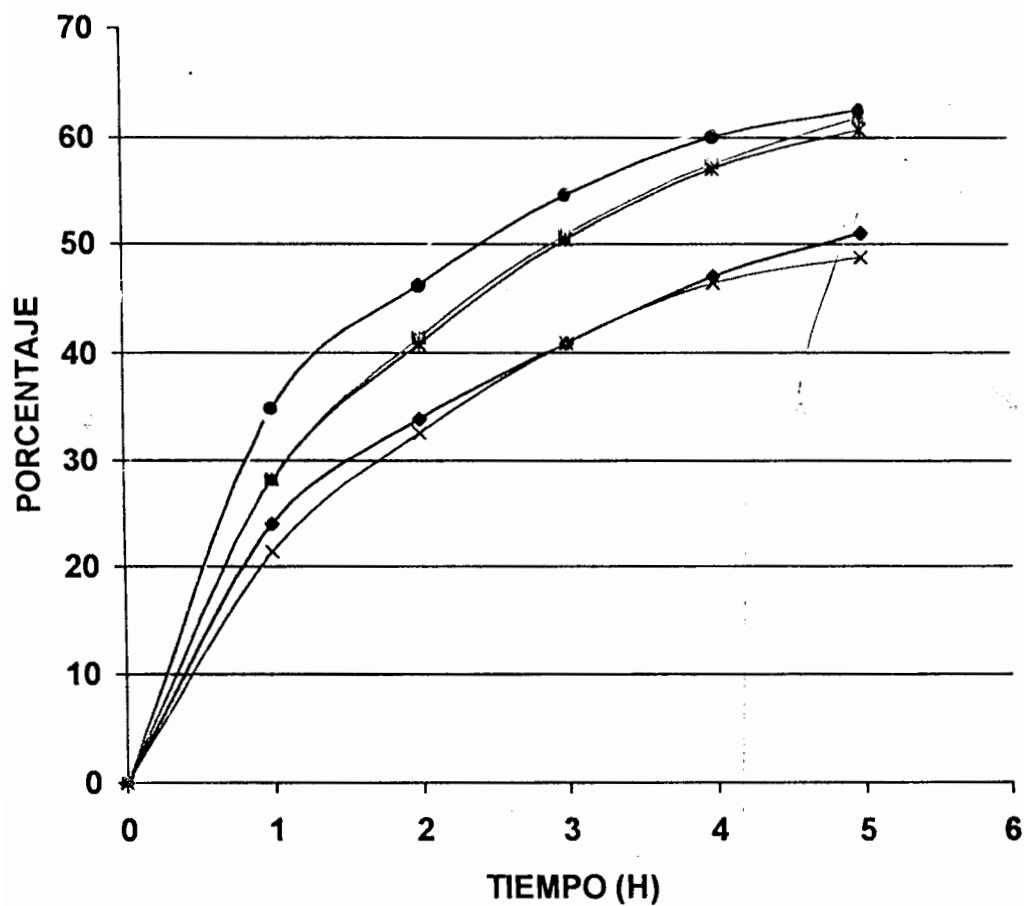


GRAFICO 5.5.

RESULTADOS EXPERIEMNTALES Y DEL MODELO MATEMATICO DE
LA PERDIDA DE PESO A 60°BRIX



—◆— 40°C (EXP)	—■— 50°C (EXP)	—●— 60°C (EXP)
—×— 40°C (M)	—*— 50°C (M)	—○— 60°C (M)

GRAFICO 5.6.

RESULTADOS EXPERIEMNTALES Y DEL MODELO MATEMATICO DE
LA PERDIDA DE PESO A 70°BRIX

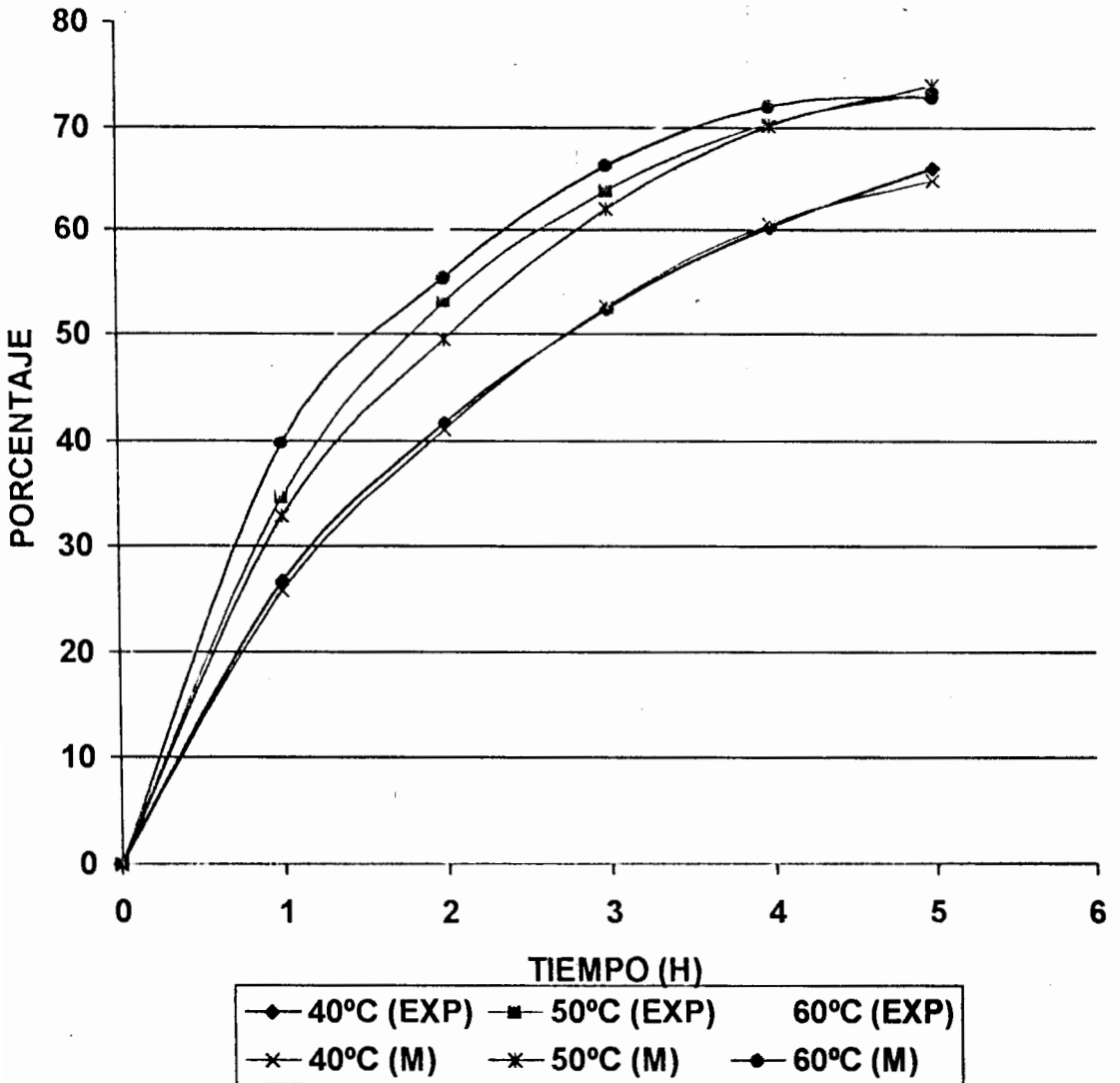


GRAFICO 5.7.

VARIACION DE PERDIDA DE PESO CON RESPECTO AL TIEMPO A
40°C

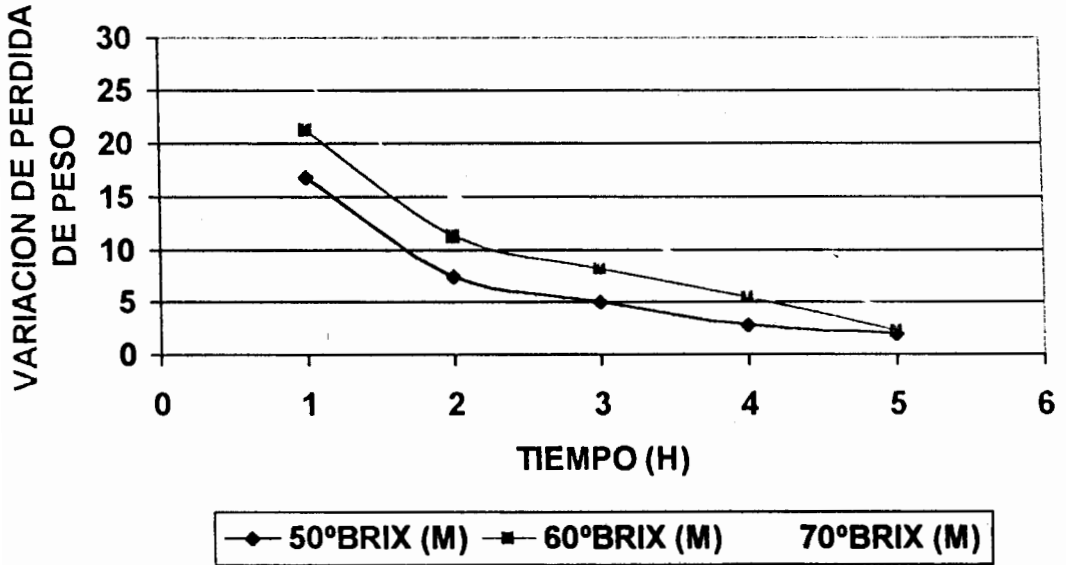


GRAFICO 5.8.

VARIACION DE PERDIDA DE PESO CON RESPECTO AL TIEMPO A
50°C

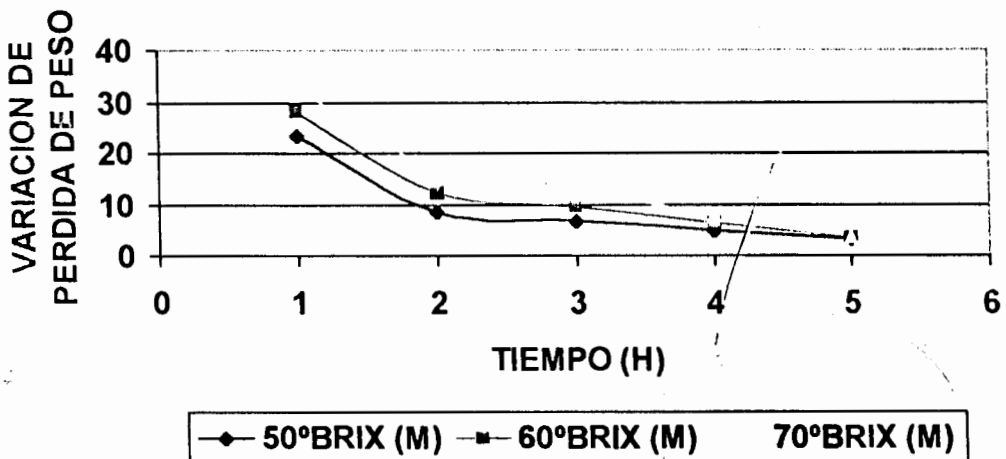
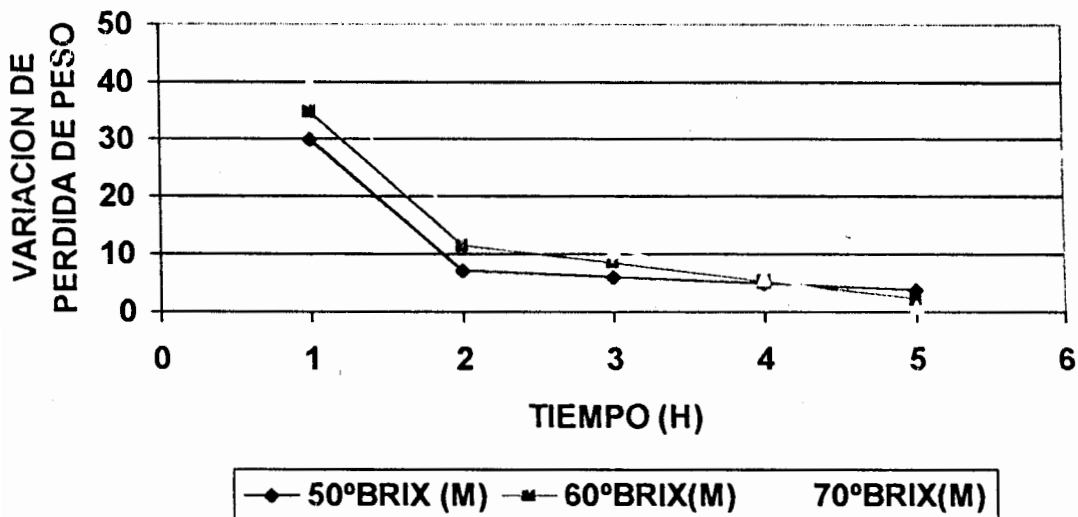


GRAFICO 5.9.

VARIACION DE PERDIDA DE PESO CON RESPECTO AL TIEMPO A
60°C



En forma similar al análisis anterior, se graficaron los porcentajes de los resultados experimentales con los del modelo matemático de la pérdida de agua a distintas condiciones del proceso. (Gráfico 5.10 – 5.15). Al comparar las curvas del porcentaje de pérdida de agua en función del tiempo, se observa que a 40°C y a las distintas concentraciones, estas son iguales, hasta aproximadamente las 3 primeras horas. A la cuarta hora, la diferencia del porcentaje de las dos respuestas es mayor aunque no significativa. A 50°C y 70°Brix la curva es la misma durante la primera

hora, luego la diferencia es constante y menor al 3%. En general, las diferencias de los porcentajes de las respuestas tanto experimentales como las del modelo son menores al 3%. Llegando a la misma conclusión que en el capítulo número tres.

Por otra parte, a medida que aumenta los grados Brix y la temperatura, aumenta la pérdida de agua. Al igual que la pérdida de peso, se observa que la pérdida de agua en función del tiempo tiene tendencia a una curva de una función logarítmica es decir, que a medida que transcurre el tiempo la pérdida de agua es cada vez menor.

Al observar minuciosamente las curvas del porcentaje de pérdida de agua en función del tiempo, se puede sacar como conclusión que al mantener constante la temperatura del medio, la variación de la concentración del jarabe en las primeras horas de proceso no afecta significativamente el porcentaje de pérdida de agua. Mientras transcurre el tiempo el porcentaje de pérdida de agua si llega a ser mayor. Por otro lado, al mantener constante la concentración del jarabe y variar la temperatura del medio; se observa que la curva a 50°C llega al mismo porcentaje de pérdida de agua que los 40°C durante la primera hora. Por el contrario, a medida que aumenta el tiempo la temperatura de 50°C llega a tener el mismo efecto que la temperatura de 60°C. Sacando como conclusión lo

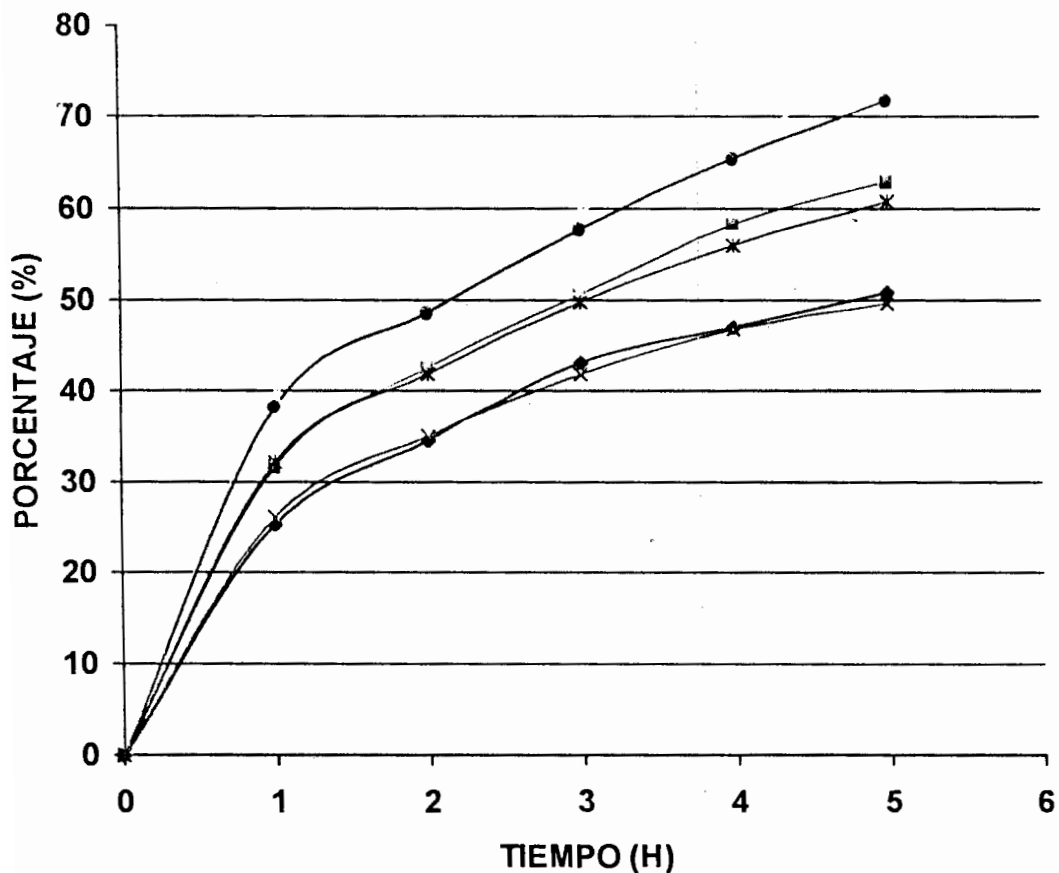
anteriormente dicho, que se produciría una destrucción parcial del tejido vegetal, que produce un flujo libre de agua.

Para comprobar lo anterior se realizó el análisis estadístico para verificar la incidencia de la temperatura y concentración en la pérdida de agua a través del tiempo. Trabajando con un nivel de confianza del 95%, el análisis de varianza se realizó con dos variables de clasificación como se muestra en el apéndice H. Los resultados se encuentran representados en el apéndice J. Según los resultados obtenidos del análisis de varianza, se puede concluir que la concentración en la etapa inicial del proceso no tiene efecto significativo en la pérdida de agua, pero la temperatura sí lo tiene. A medida que transcurre el tiempo, la concentración empieza a tener incidencia en la pérdida de agua, hasta llegar a ser mayor que el efecto provocado por la temperatura.

Posteriormente se graficó la variación de pérdida de agua con respecto a la variación de tiempo, se observa que a medida que aumenta la temperatura la variación es más pronunciada. A las dos primeras horas se produce una mayor pérdida de agua, luego la pendiente se hace casi constante hasta llegar a ser aproximadamente 0. Esto indica que se cumpliría el objetivo de la deshidratación en las primeras horas de tratamiento.

GRAFICO 5.10.

RESULTADOS EXPERIMENTALES Y DEL MODELO MATEMATICO DE
LA PERDIDA DE AGUA A 40°C



—◆— 50°BRIX (EXP)	—■— 60°BRIX (EXP)	—●— 70°BRIX (EXP)
—×— 50°BRIX (M)	—*— 60°BRIX (M)	—●— 70°BRIX (M)

GRAFICO 5.11.

RESULTADOS EXPERIMENTALES Y DEL MODELO MATEMATICO DE
LA PERDIDA DE AGUA 50°C

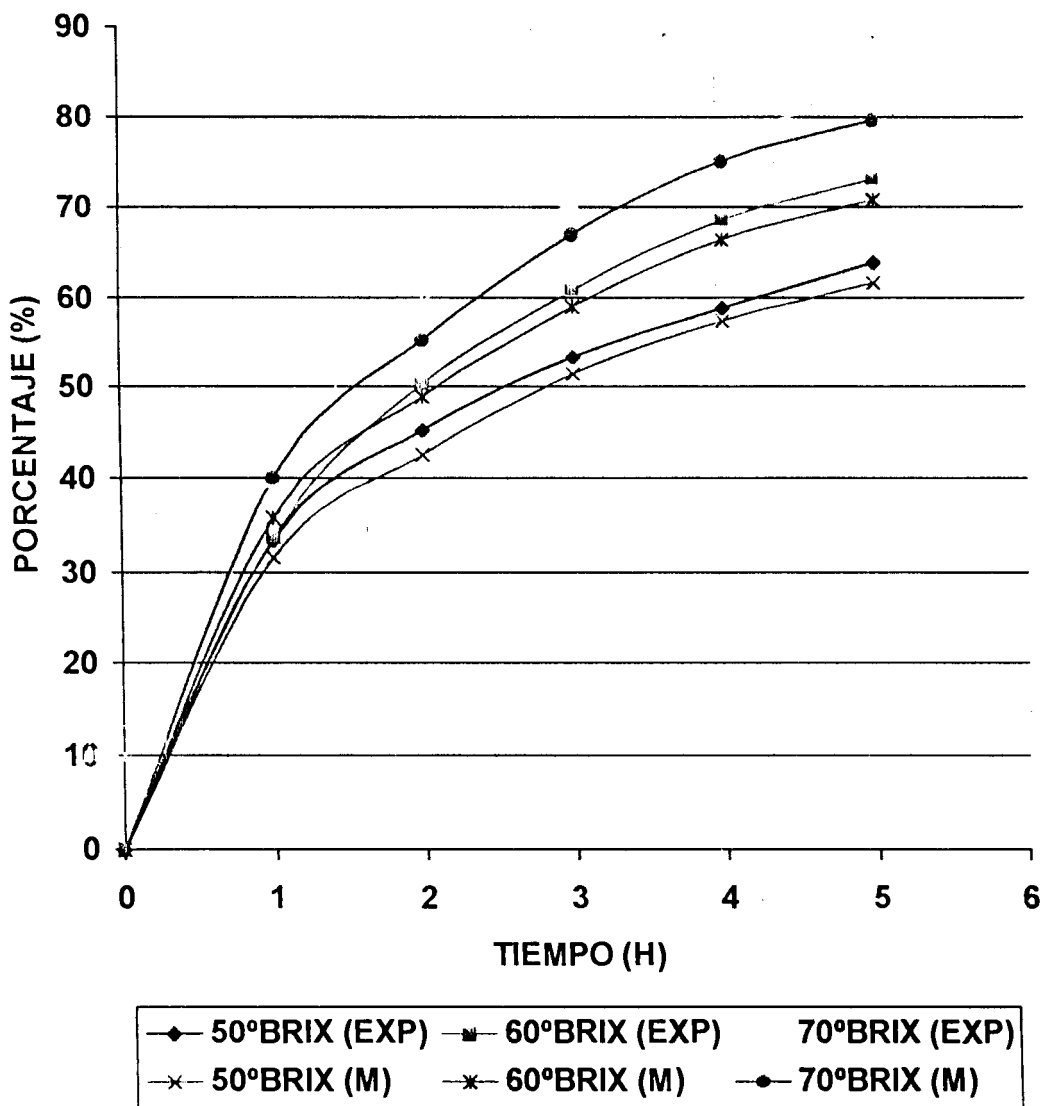


GRAFICO 5.12

RESULTADOS EXPERIMENTALES Y DEL MODELO MATEMÁTICO
LA PERDIDA DE AGUA A 60°C

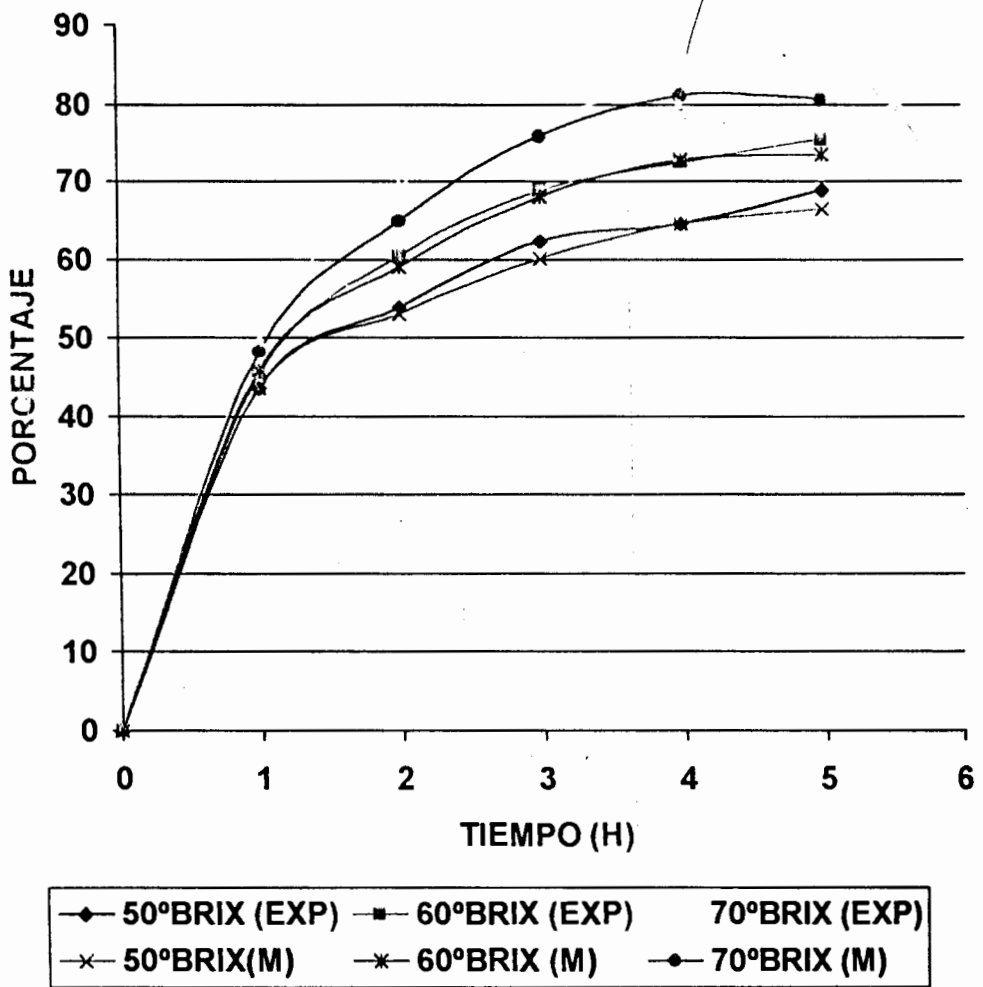


GRAFICO 5.13.

RESULTADOS EXPERIMENTALES Y DEL MODELO MATEMATICO DE
PERDIDA DE AGUA A 50°BRIX

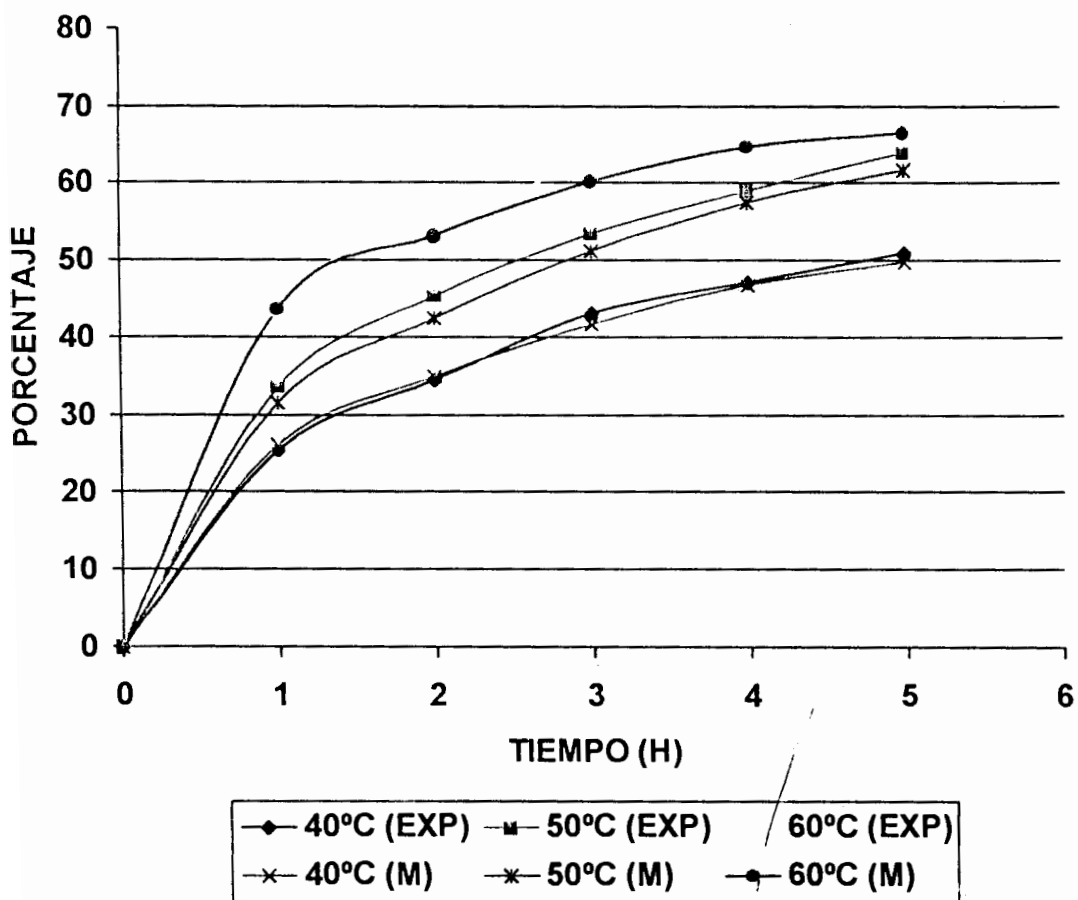


GRAFICO 5.14.

RESULTADOS EXPERIMENTALES Y DE MODELO MATEMATICO DE
LA PERDIDA DE AGUA A 60°BRIX

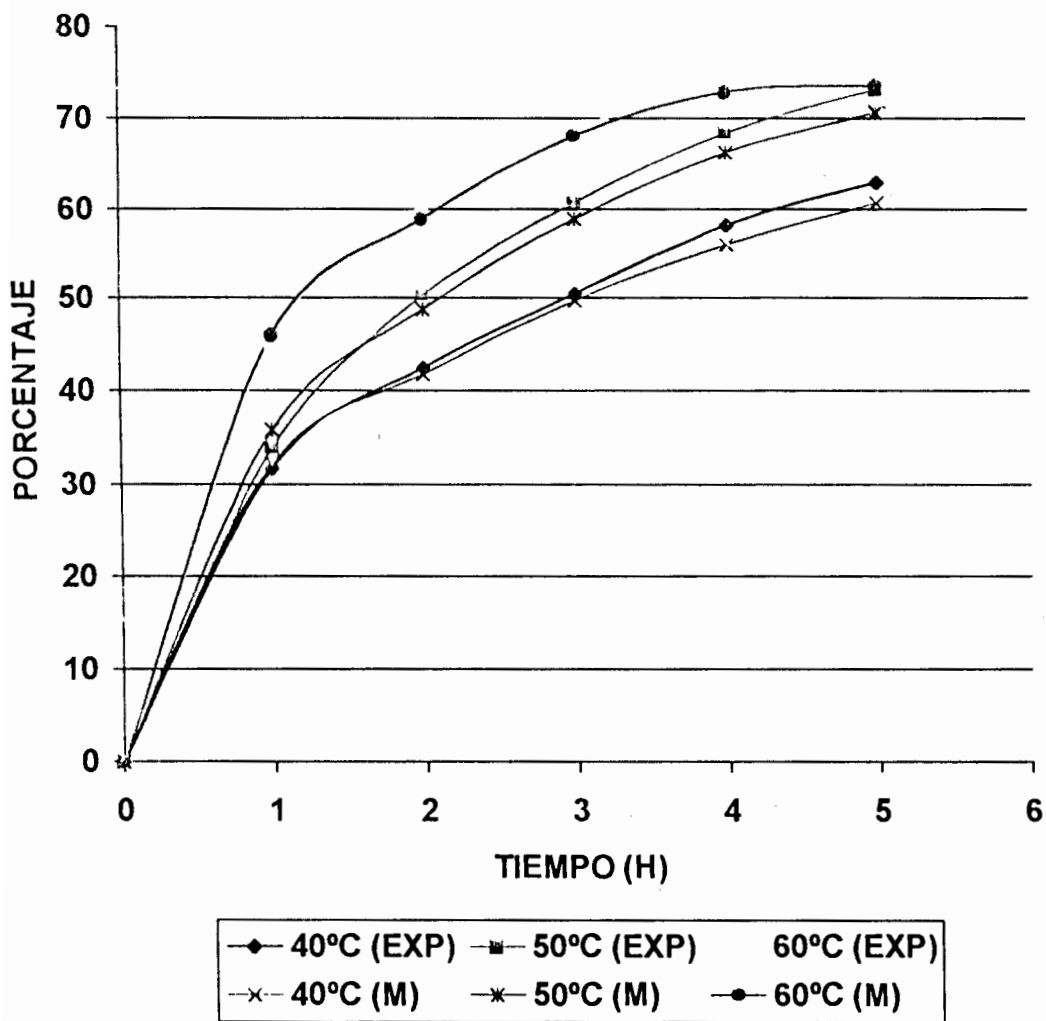


GRAFICO 5.15.

RESULTADOS EXPERIMENTALES Y DEL MODELO MATEMATICO DE
LA PERDIDA DE AGUA A 70°BRIX

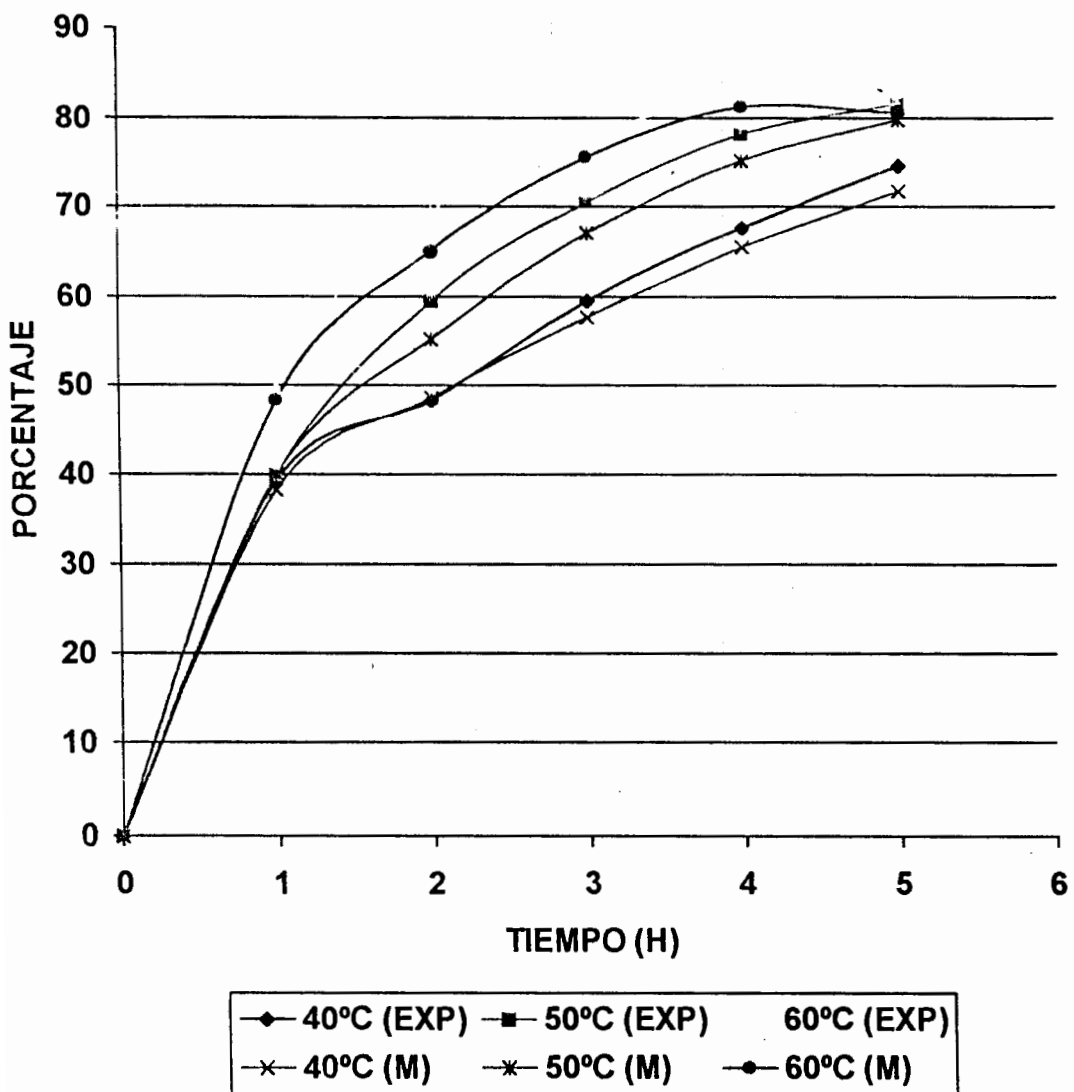


GRAFICO 5.16.

VARIACION DE PERDIDA DE AGUA A TRAVES DEL TIEMPO A 40°C

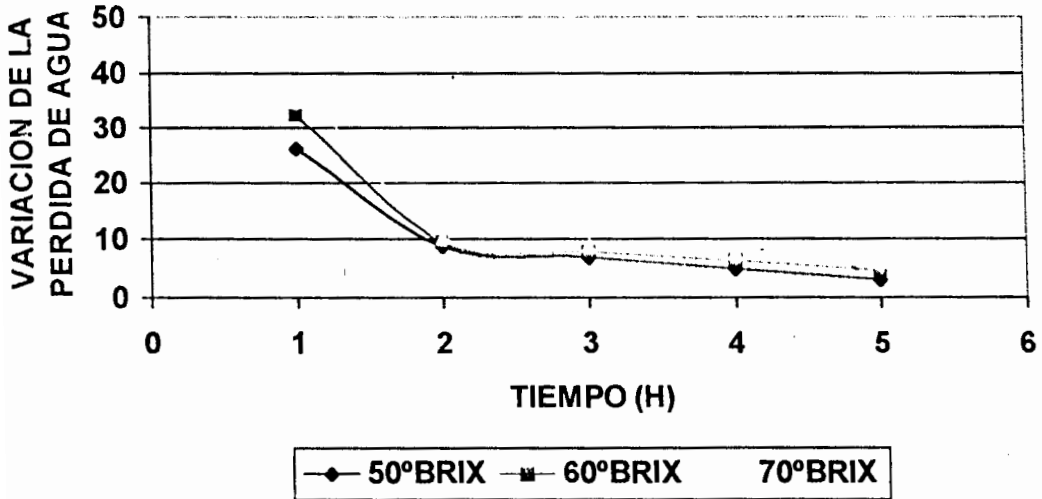


GRAFICO 5.17.

VARIACION DE PERDIDA DE AGUA A TRAVES DEL TIEMPO A 50°C

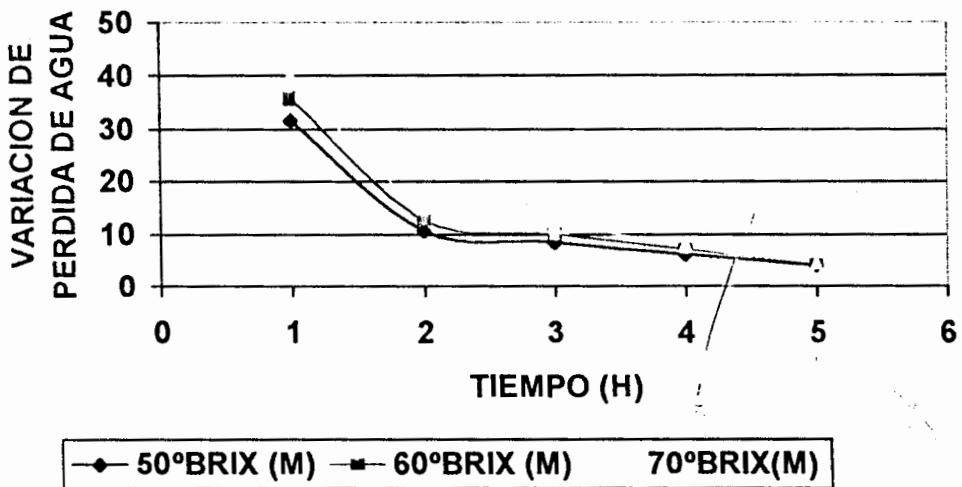
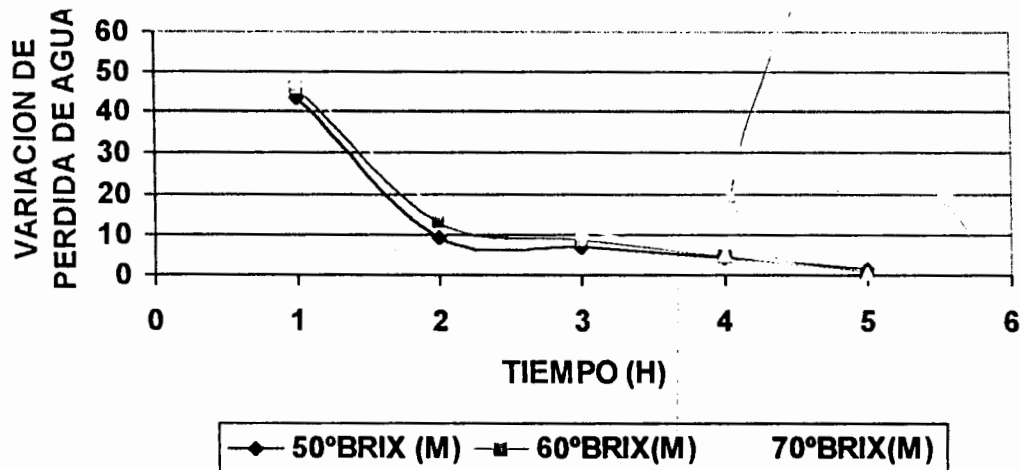


GRAFICO 5.18.

VARIACION DE PERDIDA DE AGUA A TRAVES DEL TIEMPO A 60°C



El análisis de la ganancia de sólidos durante el proceso de deshidratación osmótica se efectuó de la siguiente manera: primero se gráfico los porcentajes de las respuestas del modelo matemático con las respuestas experimentales de la ganancia de sólidos en distintas condiciones de proceso. Al comparar el gráfico de las curvas se observa que a 40°C y 50°Brix durante la primera hora las líneas curvas están superpuestas, pero a medida que aumenta el tiempo se producen diferencias en los porcentajes de las dos respuestas, las cuales son menores al 5%. A 40°C

y 60°Brix, las diferencias entre los porcentajes son constantes y menores al 3% aproximadamente; lo mismo ocurre a 60°C y las concentraciones de 50 y 60°Brix. A 60°C y 70°Brix se observa la mayor diferencia llegando a ser menor que 5%. (Gráficos 5.19 – 5.24).

En general, gráficamente se observa que a medida que aumenta los grados Brix, la ganancia de sólidos disminuye. Indicando que el aumento de grados Brix no implica una mayor impregnación de sólidos. Experimentalmente cuando varía la temperatura y se mantiene constante los grados Brix, se observa que a 40 y 50°C la ganancia de sólidos es relativamente igual, en cambio cuando se trabajo con una temperatura de 60°C, hubo mayor ganancia sólidos. Los resultados del modelo matemático no tienen el mismo comportamiento, debido a que la diferencia del porcentaje de ganancia de sólidos es mínima, menor al 4%.

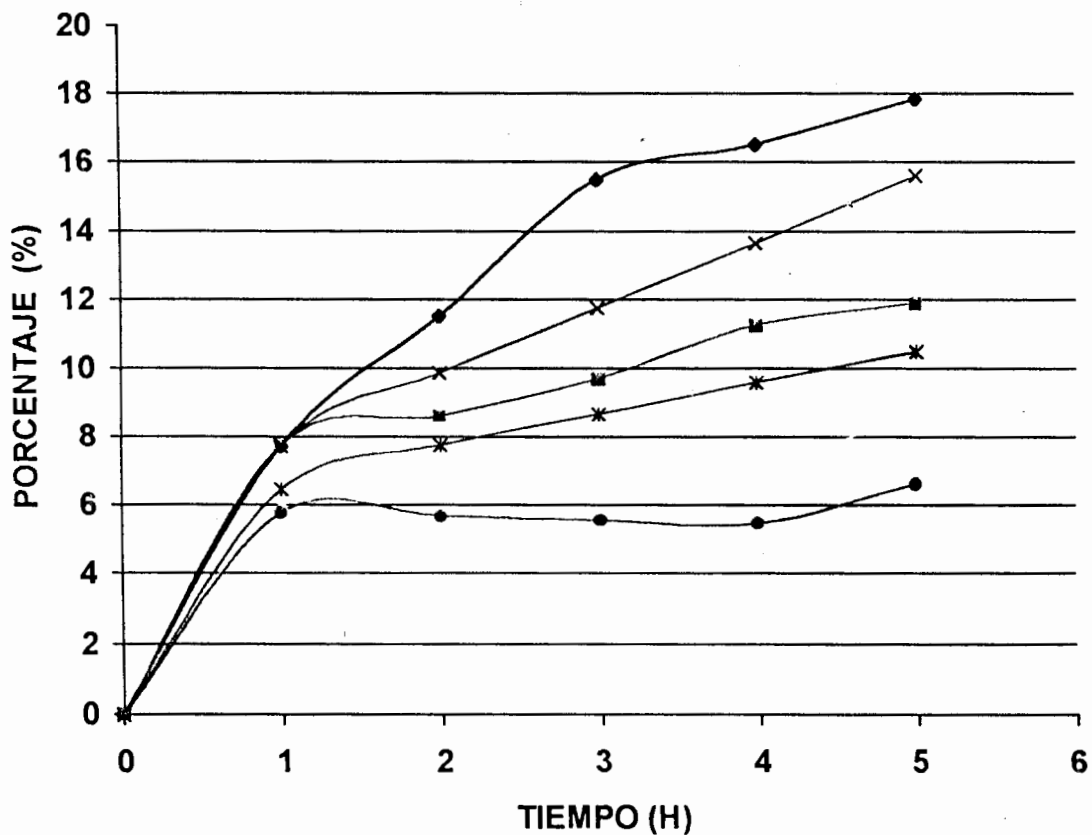
Se podría concluir, con los resultados experimentales y con lo estudiado teóricamente, que a menor temperatura se produce un mayor flujo de sólidos. Pero a una cierta temperatura, entre 50 y 60°C, hay una cierta destrucción del tejido vegetal. De es manera la membrana permite un flujo libre de sólido, produciéndose una mayor ganancia de los mismos. Pero es importante aclarar que el efecto producido por la temperatura no grande, es decir que a los distintos niveles de temperatura se llega a una ganancia de sólidos similar.

El análisis de varianza para verificar la incidencia de la temperatura y concentración en la ganancia de sólidos a través del tiempo se trabajó con un nivel de confianza del 95% y con dos variables de clasificación. Los resultados se encuentran representados en las en el apéndice K. Según los resultados obtenidos, se puede concluir que la temperatura no produce un efecto significativo en la ganancia de sólidos. Por el contrario, la concentración del agente osmótico al final del proceso si produce un efecto significativo en la ganancia de sólidos.

Adicionalmente se realizaron gráficos de variación de ganancia de sólidos con respecto a la variación de tiempo. Se observa que la pendiente se hace constante después de la segunda hora; lo que indicaría que el modelo matemático representa una recta. De esta manera se saca como conclusión que se produce una impregnación casi constante de sólidos durante la deshidratación osmótica, luego de la segunda hora. A 70°Brix y las distintas temperaturas, la pendiente es muy cercana a 0 luego de la segunda hora, en otras palabras en esos puntos la ganancia de sólidos es mínima. También se puede apreciar que a medida que aumenta los grados Brix la pendiente disminuye, es decir que la ganancia de sólidos disminuye al aumentar los grados Brix.

GRAFICO 5.19.

RESULTADOS EXPERIMENTALES Y DEL MODELO MATEMATICO DE
LA GANANCIA DE SOLIDOS A 40°C



◆ 50°BRIX (EXP)	■ 60°BRIX (EXP)	● 70°BRIX (EXP)
× 50°BRIX (M)	* 60°BRIX (M)	◆ 70°BRIX (M)

GRAFICO 5.20.

RESULTADOS EXPERIMENTALES Y DEL MODELO MATEMATICO DE
LA GANANCIA DE SOLIDOS A 50°C

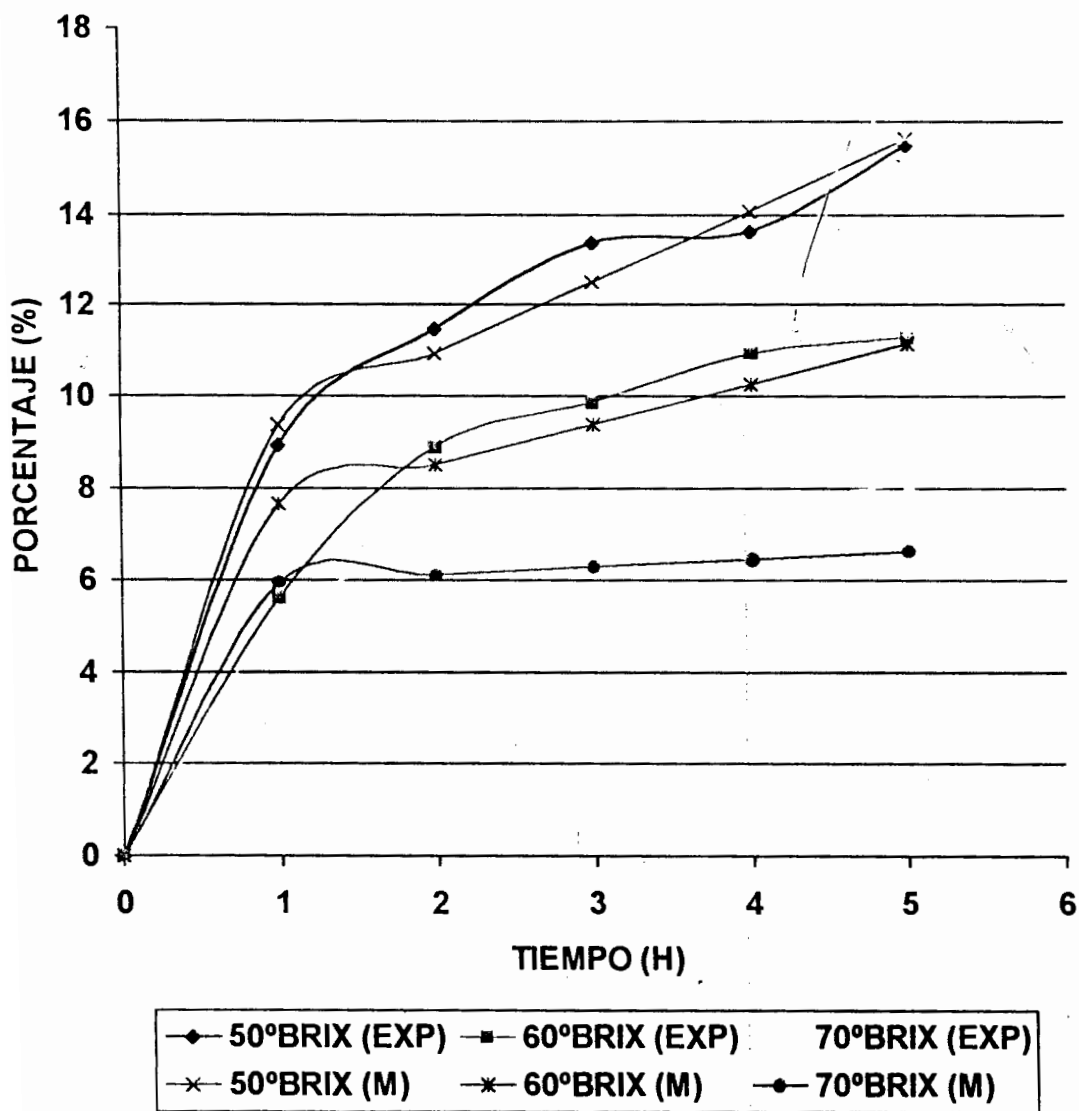


GRAFICO 5.21.

RESULTADOS EXPERIMENTALES Y DEL MODELO MATEMATICO DE
LA GANANCIA DE SOLIDOS A 60°C

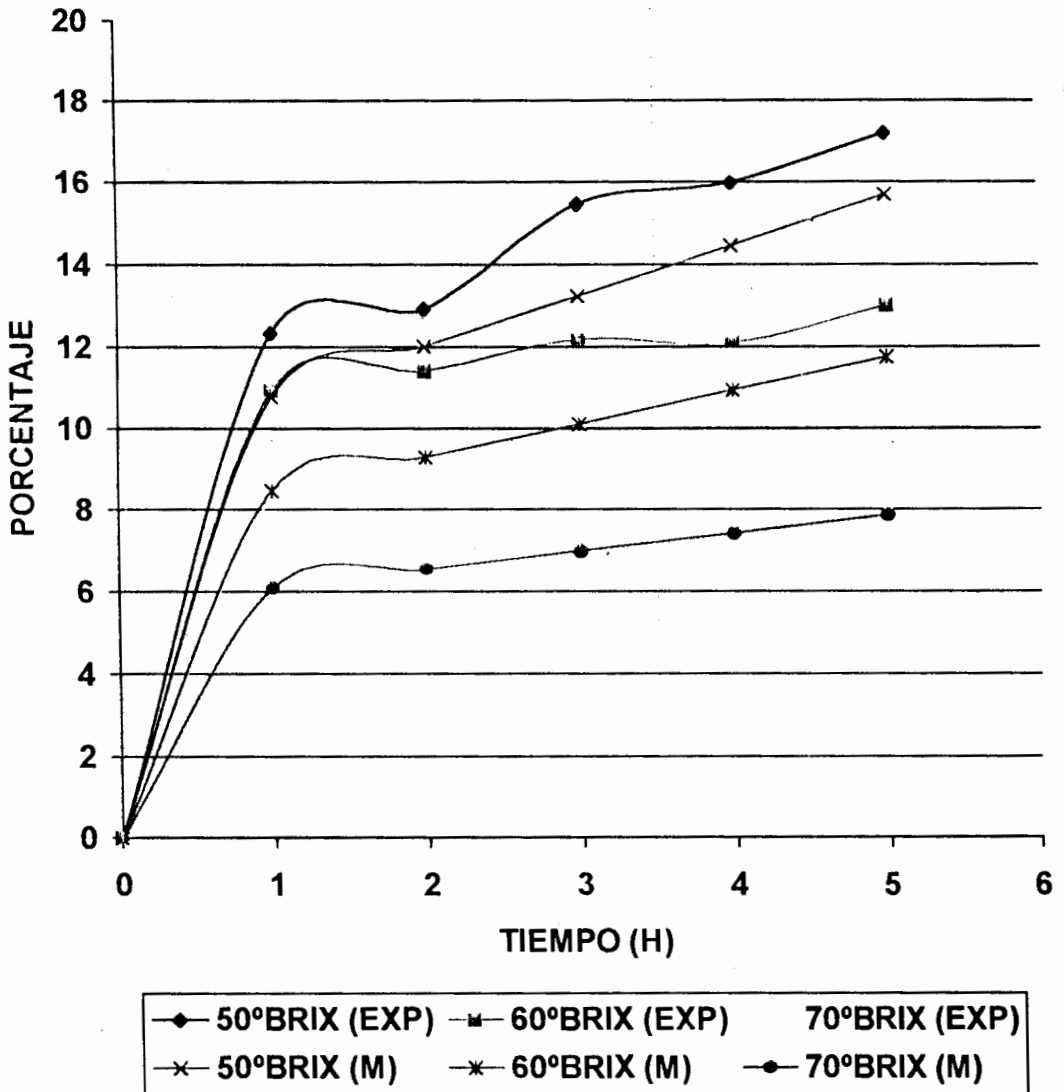


GRAFICO 5.22.

RESULTADOS EXPERIMENTALES Y DEL MODELO MATEMATICO DE
LA GANANCIA DE SOLIDOS A 50°BRIX

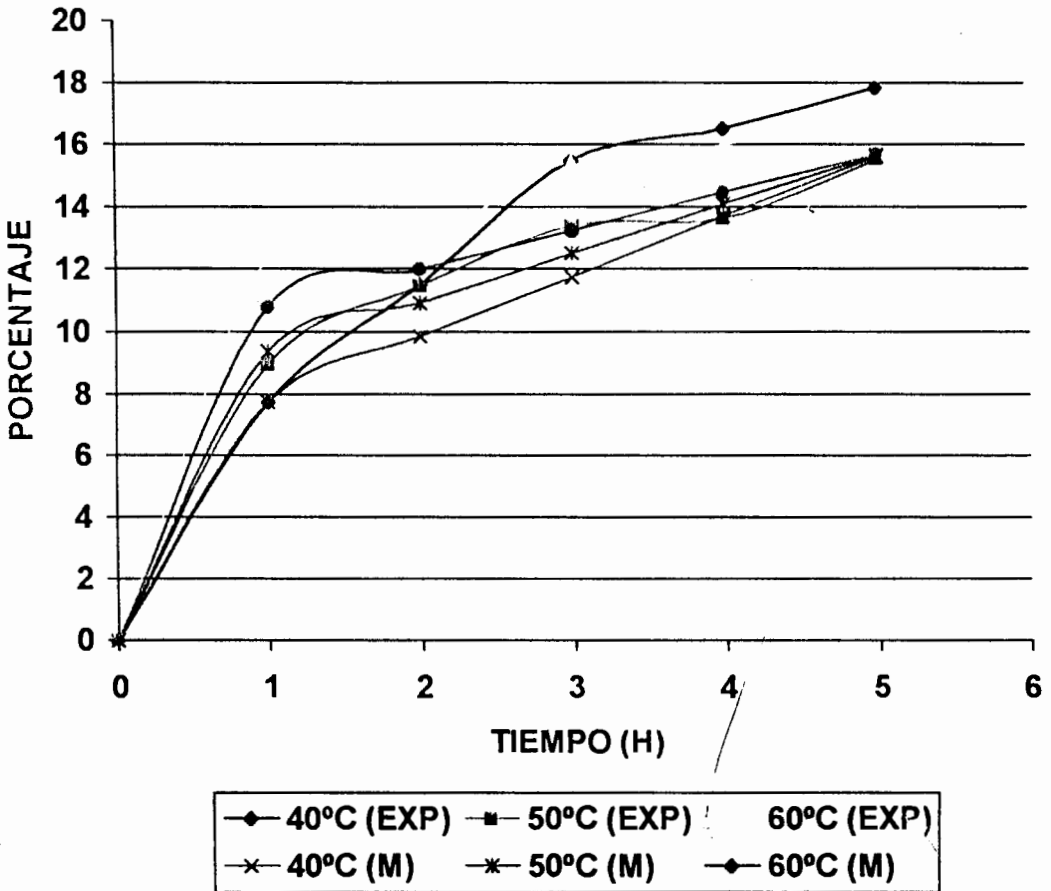


GRAFICO 5.23.

RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LA GANANCIA DE SOLIDOS A
60°BRIX

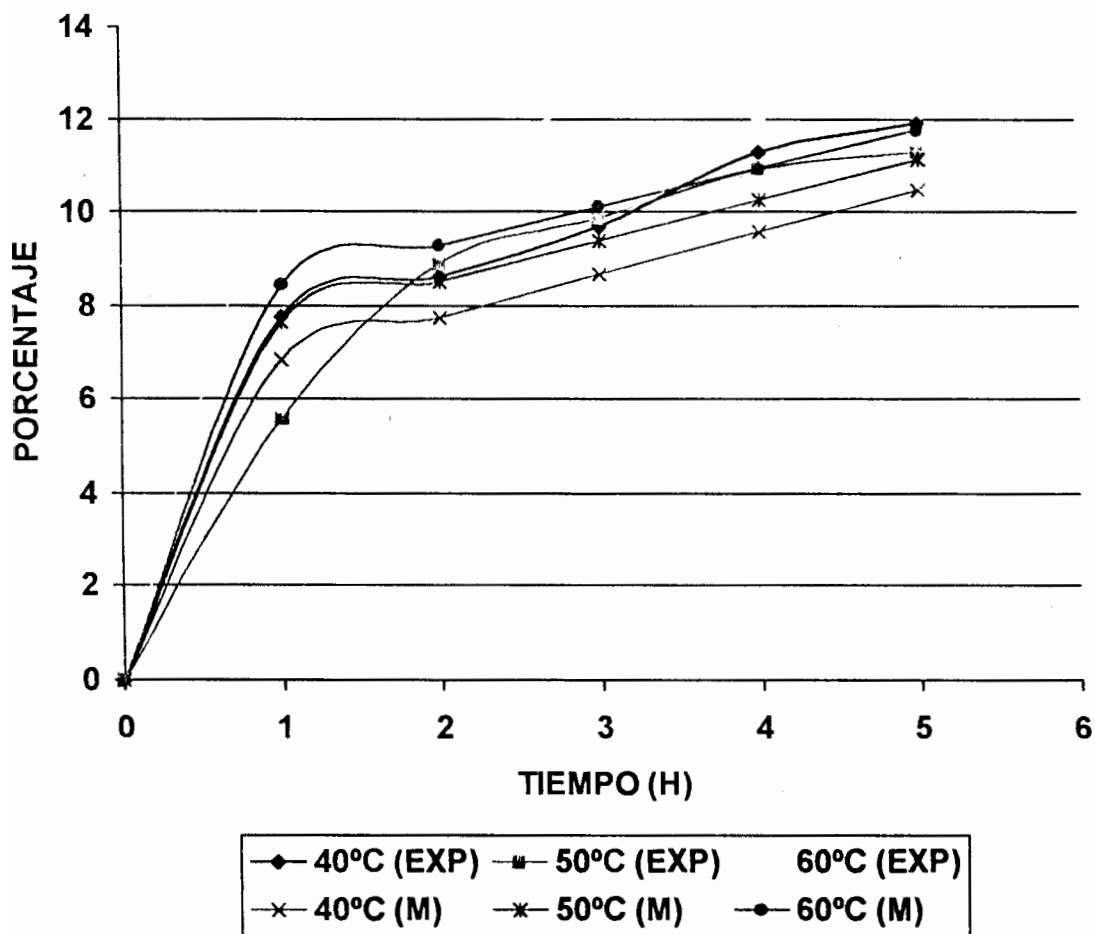


GRAFICO 5.24.

RESULTADOS EXPERIMENTALES DE GANANCIA DE SOLIDOS A
70°BRIX

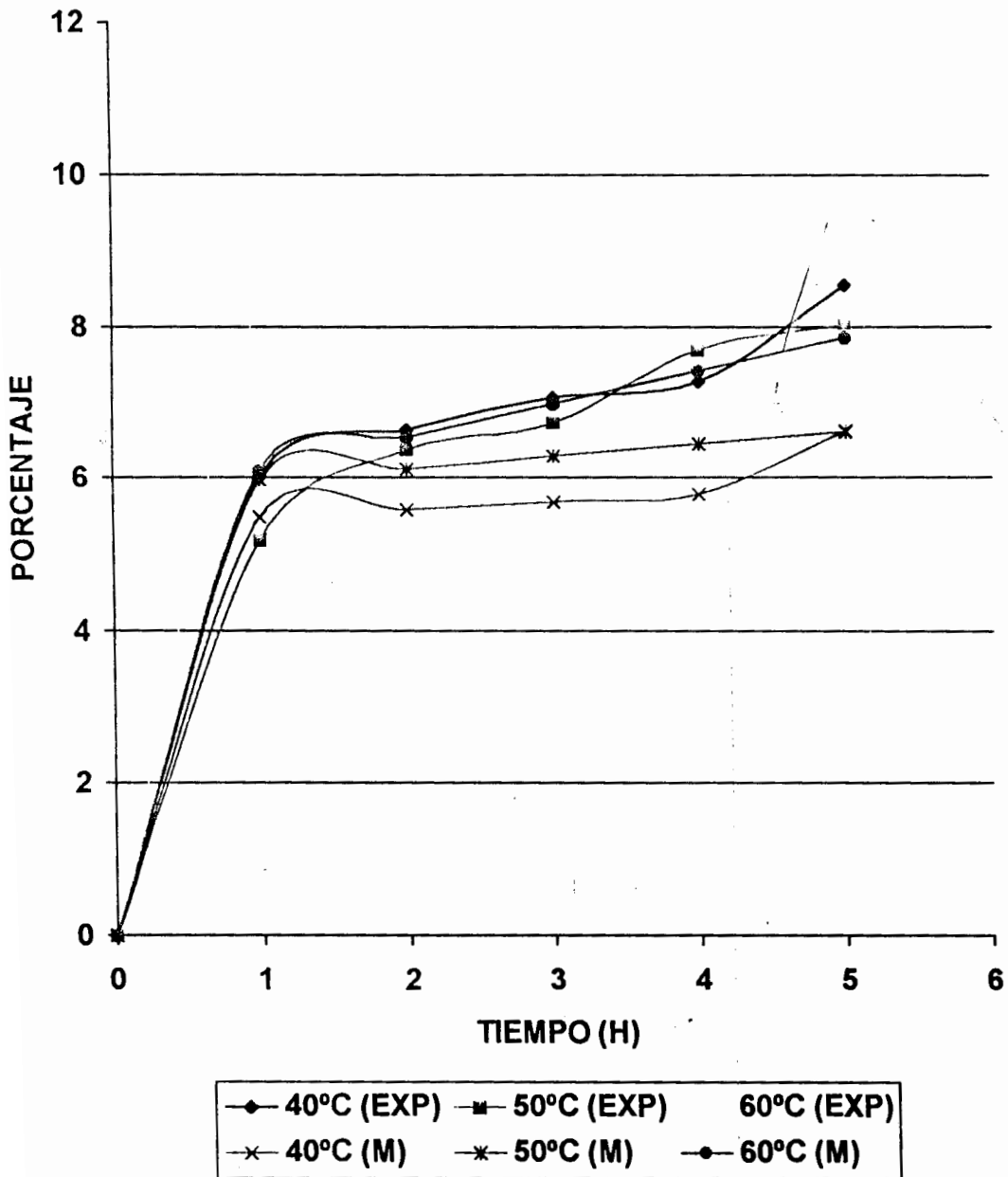


GRAFICO 5.25.

VARIACION DE GANANCIA DE SOLIDOS A TRAVES DEL TIEMPO A

40°C

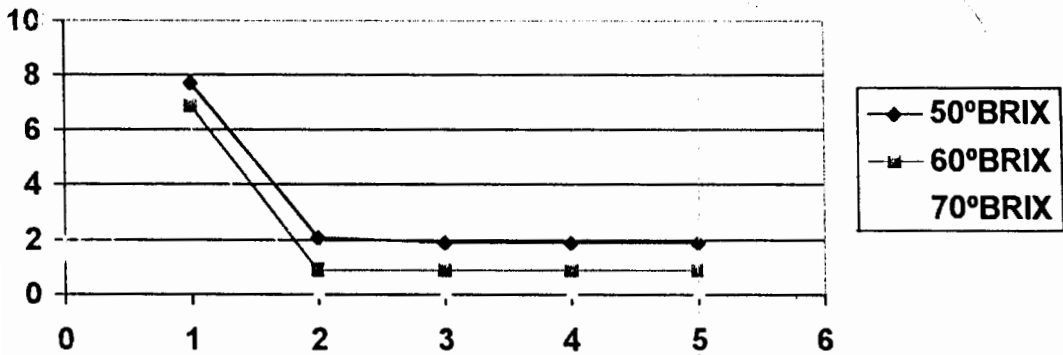


GRAFICO 5.26.

VARIACION DE GANANCIA DE SOLIDOS A TRAVES DEL TIEMPO A

50°C

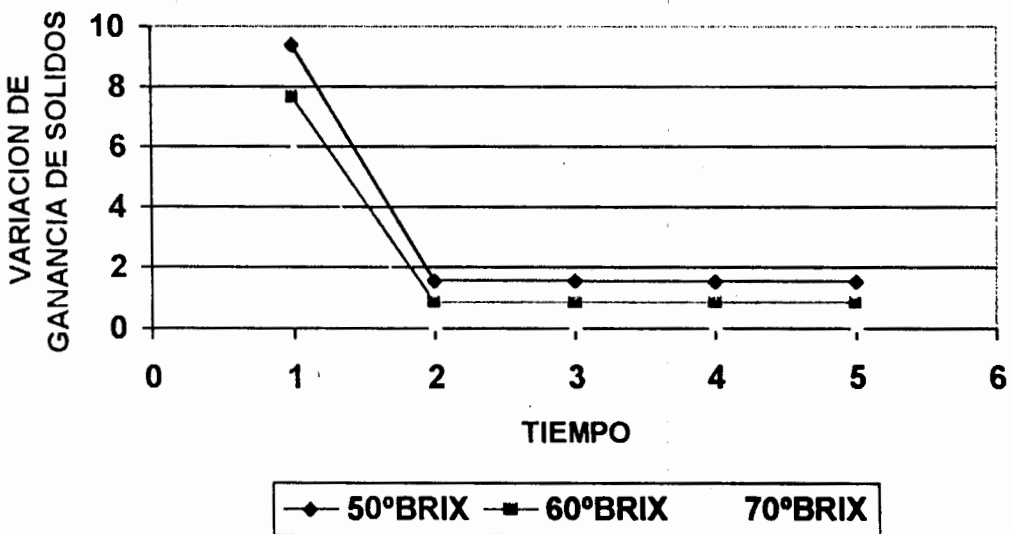
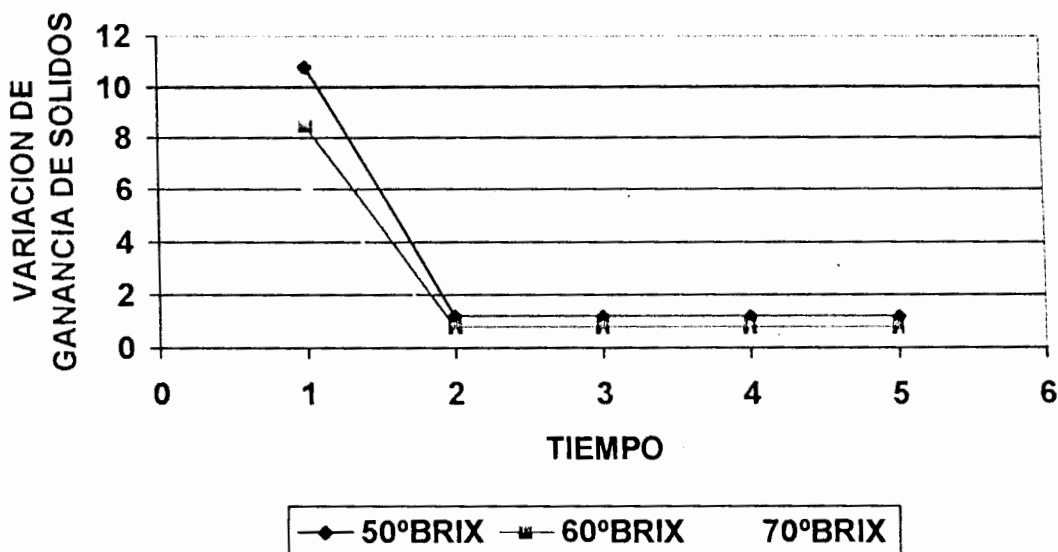


GRAFICO 5.27.

VARIACION DE GANANCIA DE SOLIDOS A TRAVES DEL TIEMPO A

60°C



El análisis global de la deshidratación osmótica nos muestran el cumplimiento de las dos etapas, la deshidratación propiamente dicha y la impregnación de sólidos. El objetivo principal de esta tesis es estudiar la deshidratación osmótica de la papaya, por lo tanto es importante conocer el tiempo en el cual termina la deshidratación. Con los datos obtenidos con el modelo matemático se realizo gráficos del contenido de agua y de sólidos considerando parámetros específicos y que el peso promedio de los pedazos de papaya es de 3,5 gramos. (Gráficos 5.28 –5.36)

Observando los gráficos sacamos como conclusión que a medida que aumenta la temperatura el proceso osmótico es más rápido, de igual manera que ocurre con los grados Brix. El mayor tiempo ocurre a 40°C y 50°Brix, el cual en las 5 horas de tratamiento todavía no llega a terminar la etapa de deshidratación. El menor tiempo se observa a 60°C y 70°Brix, el cual termina a las dos hora de tratamiento. No necesariamente el menor tiempo es el más adecuado para decidir sobre el mejor tratamiento de deshidratación osmótica, debido a que si se aumenta la temperatura y los grados Brix se va ha requerir más energía y costos en la producción. La decisión dependería del grado de pérdida de agua que se requeriría para el producto final. Con los modelos matemáticos desarrollados en la presente tesis el productor puede decidir sobre parámetros qué mejor conviene al proceso de producción.

Adicionalmente se puede observar que mayor tiempo existe una mayor impregnación de sólidos y una menor pérdida de agua. Además se puede observar que cuando empieza a aumentar la cantidad de sólidos la cantidad de agua empieza a permanecer constante. Se podría explicar este fenómeno debido a que a medida que ingresa los sólidos estos producen una barrera externa, obstruyendo los poros de la membrana vegetal, que impide el paso de la salida de agua.

GRAFICO 5.28

CONTENIDO DE AGUA Y SOLIDOS DURANTE EL PROCESO DE DESHIDRATACION OSMOTICA A 40°C Y 50°BRIX

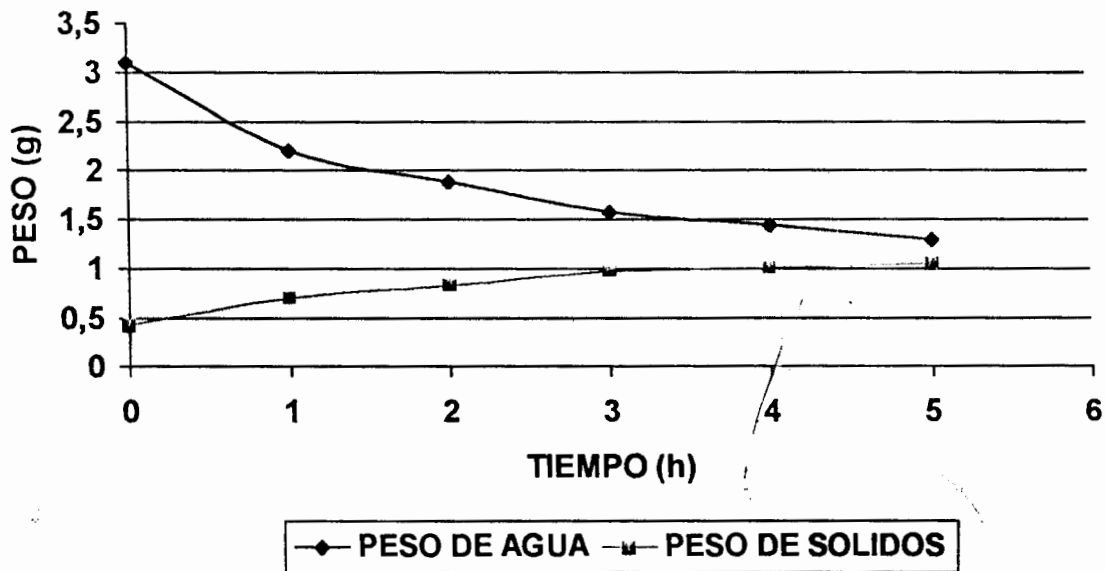


GRAFICO 5.29.

CONTENIDO DE AGUA Y SOLIDOS DURANTE EL PROCESO DE DESHIDRATACION OSMOTICA A 40°C Y 60°BRIX

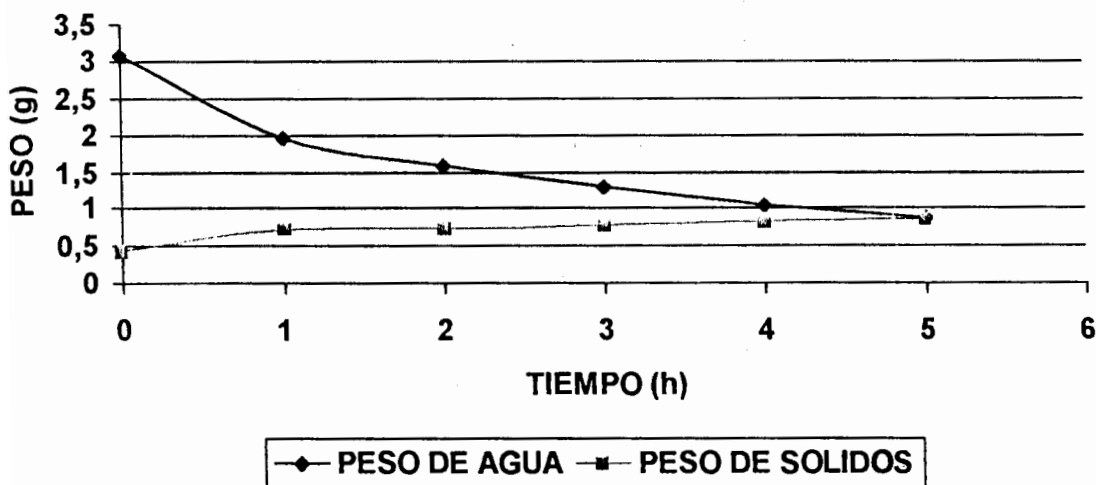


GRAFICO 5.30.

CONTENIDO DE AGUA Y SOLIDOS DURANTE EL
PROCESO DE DESHIDRATACION OSMOTICA A 40°C Y
70°BRIX

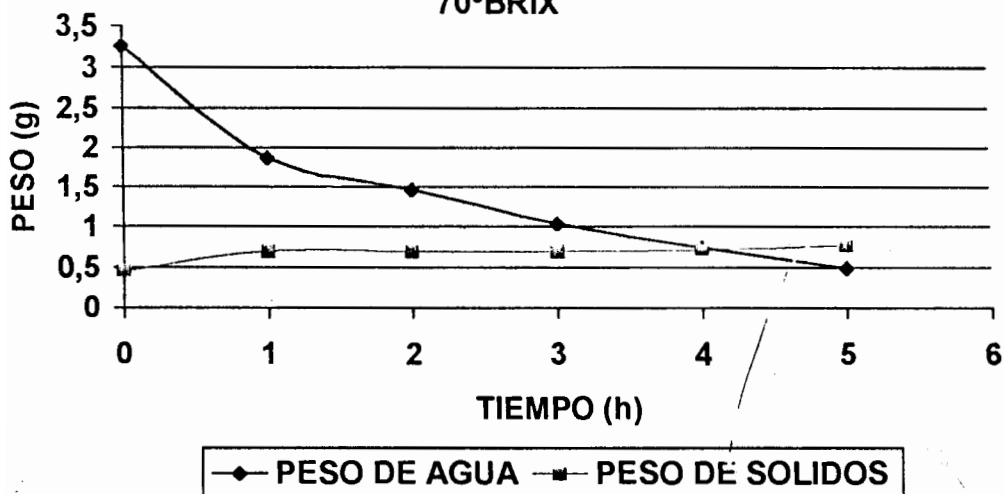


GRAFICO 5.31.

CONTENIDO DE AGUA Y SOLIDOS DURANTE EL
PROCESO DE DESHIDRATACION OSMOTICA A 50°C
Y 50°BRIX

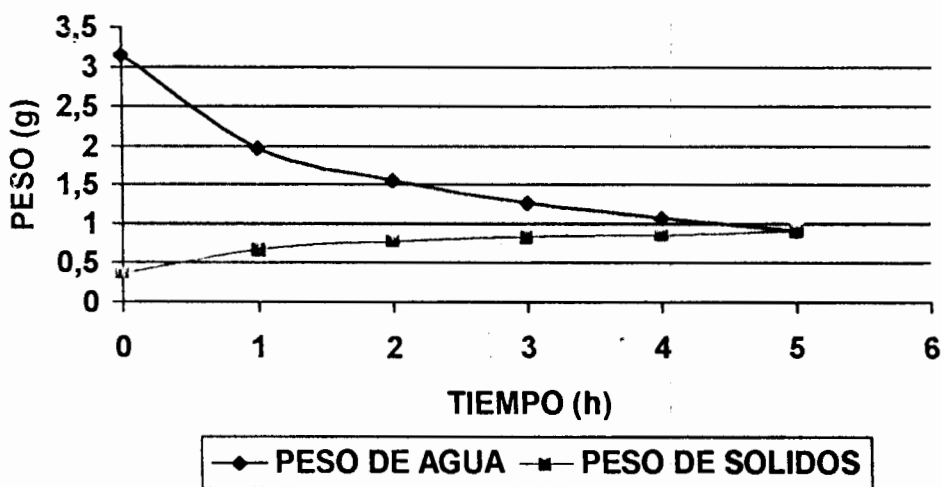


GRAFICO 5.32.

CONTENIDO DE AGUA Y SOLIDOS DURANTE EL
 PROCESO DE DESHIDRATACION OSMOTICA A 50°C Y
 60°BRIX

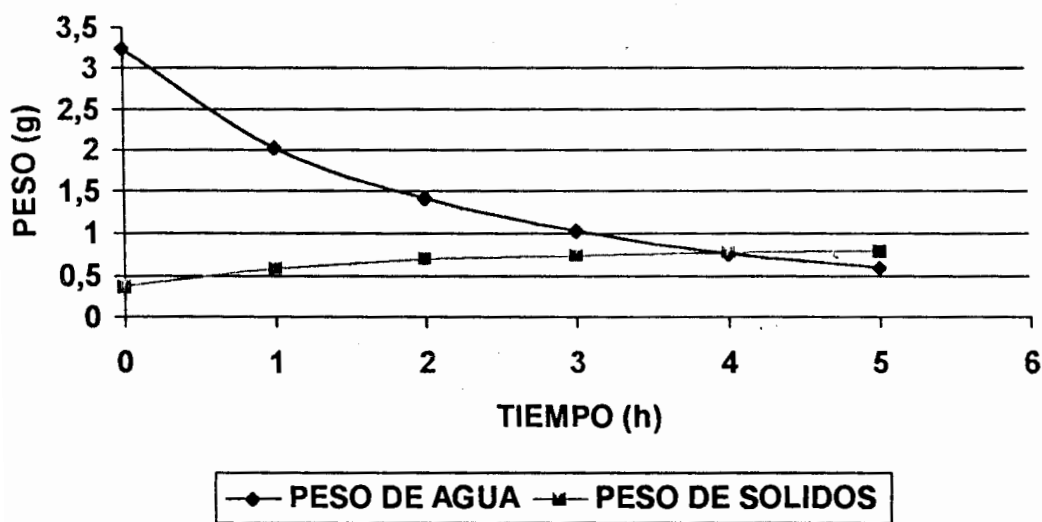


GRAFICO 5.33

CONTENIDO DE AGUA Y SOLIDOS DURANTE EL
 PROCESO DE DESHIDRATACION OSMOTICA A 50°C Y
 70°BRIX

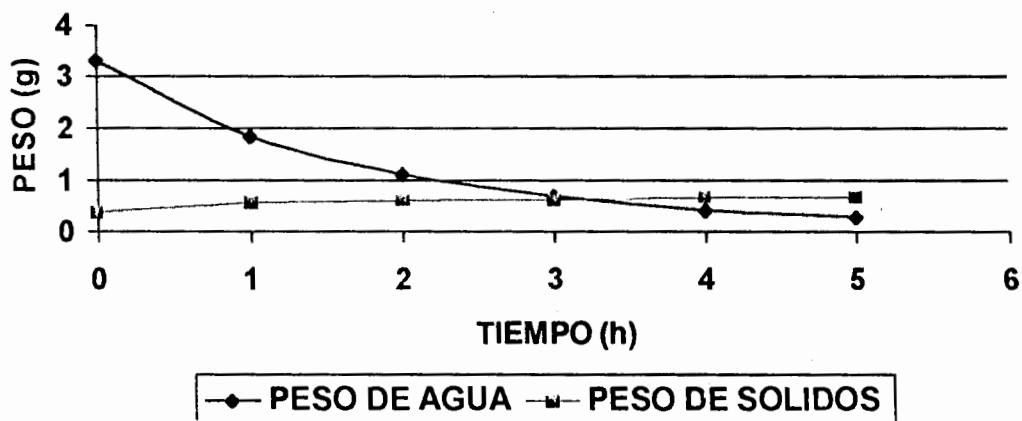


GRAFICO 5.34.

CONTENIDO DE AGUA Y SOLIDOS DURANTE EL
 PROCESO DE DESHIDRATACION OSMOTICA A 60°C Y
 50 °BRIX

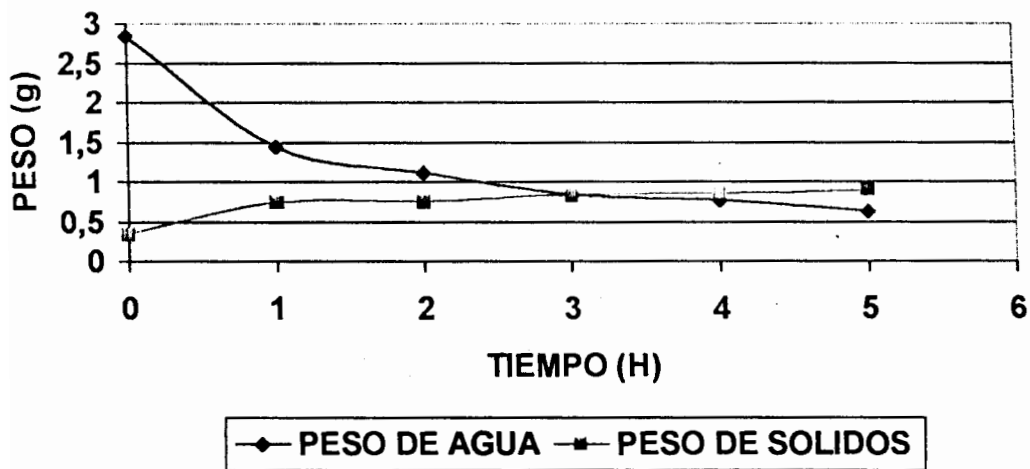


GRAFICO 5.35.

CONTENIDO DE AGUA Y SOLIDOS DURANTE EL
 PROCESO DE DESHIDRATACION OSMOTICA A 60°C Y
 60 °BRIX

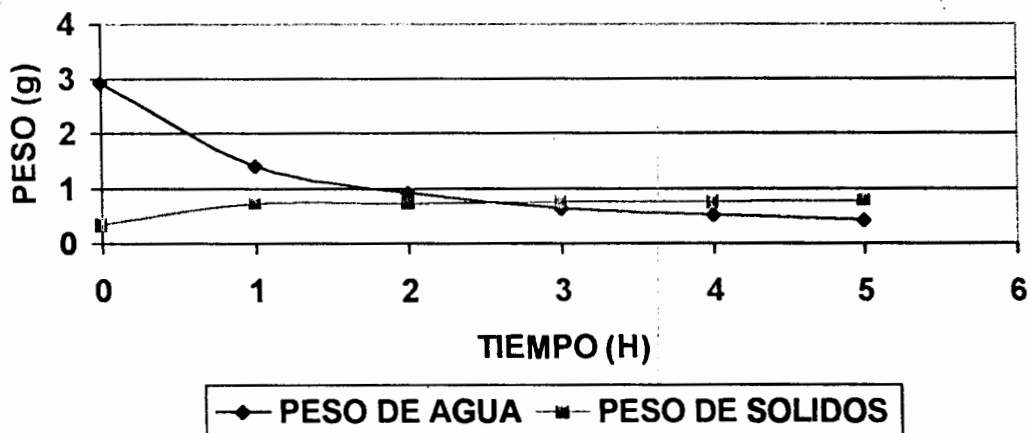
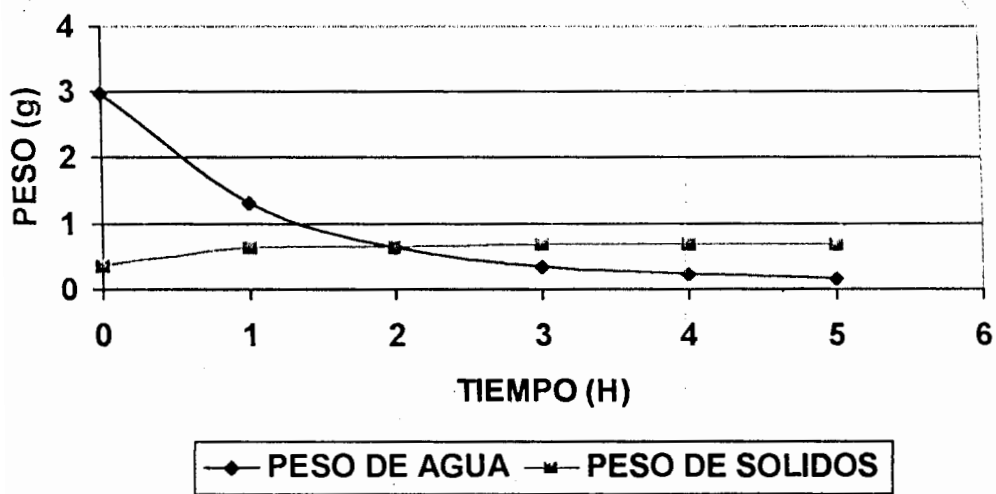


GRAFICO 5.36.

CONTENIDO DE AGUA Y SOLIDOS DURANTE EL
PROCESO DE DESHIDRATACION OSMOTICA A 60°C
Y 70°BRIX



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. No existe diferencia significativa entre el modelo matemático de pérdida de peso y de pérdida de agua con los resultados experimentales, en general la diferencia entre los porcentajes de las dos respuestas en todo el proceso es menor al 3%.
2. El modelo matemático de la ganancia de sólidos no representa lo observado experimentalmente, aunque la diferencia entre los porcentajes de las dos respuestas en todo el proceso es menor al 5%.
3. La temperatura del medio y la concentración del agente osmótico poseen un efecto significativo en la pérdida de peso, sin embargo a medida que transcurre el tiempo, la temperatura deja de tener incidencia en la pérdida de peso. Es decir que en la etapa final del proceso, la variación de

temperatura produce una pequeña variación en el porcentaje de pérdida de peso.

4. La concentración del agente osmótico en la etapa inicial del proceso no tiene efecto significativo en la pérdida de agua, por el contrario la temperatura del medio si lo tiene. A medida que transcurre el tiempo, la concentración del jarabe empieza a tener incidencia en la pérdida de agua, hasta llegar a ser mayor que el efecto provocado por la temperatura.
5. La temperatura del medio y la concentración del agente osmótico no tienen efecto significativo en la ganancia de sólidos. Sin embargo la concentración del agente osmótico en la etapa final del proceso, llega a tener un efecto significativo, permitiendo el mayor ingreso de sólidos.
6. Las temperaturas altas y concentraciones altas del agente osmótico disminuye el tiempo de permanencia del producto en el jarabe hasta que la deshidratación osmótica llegue a su etapa final; sin embargo los menores tiempos de proceso no son los más adecuados. La elección del tiempo de proceso adecuado dependerá de las necesidades del producto final.

7. La pérdida de agua produce un encogimiento del producto. Si el encogimiento es más lento se genera una mayor absorción de sólidos, lo cual no es deseable para nuestro caso. Si este es más rápido se produce una mejor deshidratación osmótica de la fruta.
8. El ingreso de sólidos y el encogimiento del producto hace que se disminuya la eliminación de agua, debido a que se produce una obstrucción en los poros de la membrana vegetal.
9. El aumento de la concentración del agente osmótico no implica un aumento en la impregnación de sólidos.
10. La mayor pérdida de peso al inicio del proceso se debe al aumento de pérdida de agua.
11. Los modelos matemáticos desarrollados en la presente tesis son útiles para pedazos de papaya de 3,5 gramos con dimensiones de 2 X 2 X 1,8 centímetros y a nuestra presión atmosférica (76 cm de Hg. o 14,7 psia).

12. Se puede efectuar el mismo procedimiento realizado en esta tesis para encontrar los modelos matemáticos de otras frutas que pueden ser excedentes de exportación o también con otras dimensiones de papaya.

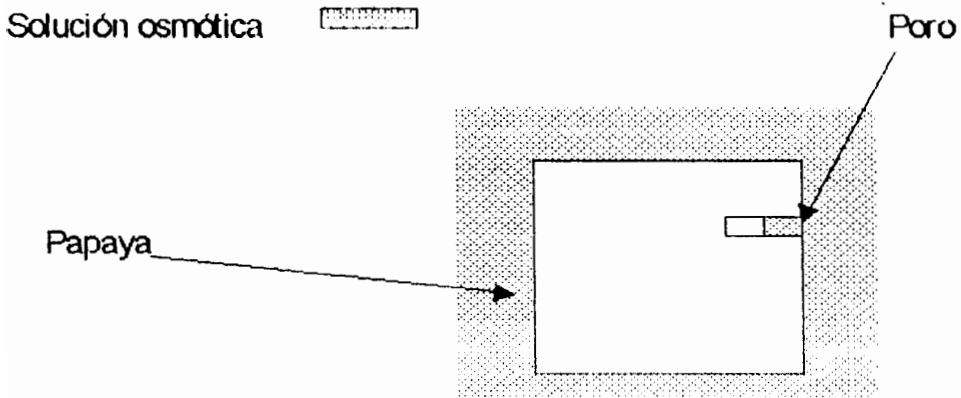
13. Las distintas concentraciones del agente osmótico no producen cambios sensoriales significativos, cuando se llega a la etapa final de la deshidratación osmótica. Es decir que al aumentar o disminuir la concentración del agente osmótico y terminar la etapa de deshidratación, no afecta en gran medida las características organolépticas del producto final.

APENDICES

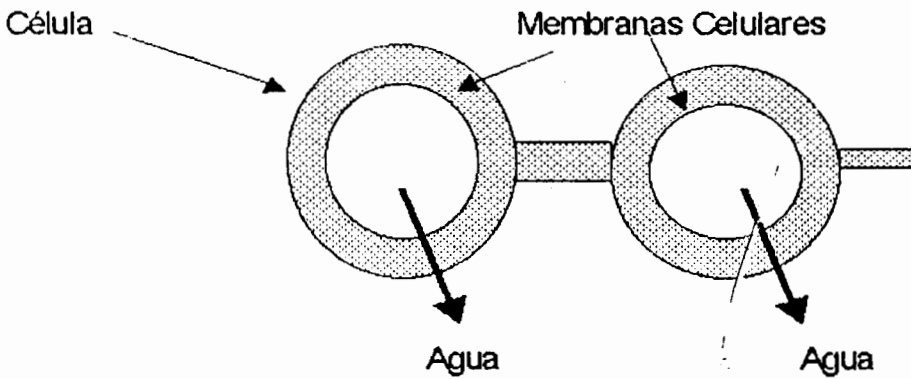
APENDICE A

PROCESOS DURANTE LA DESHIDRATACION OSMOTICA

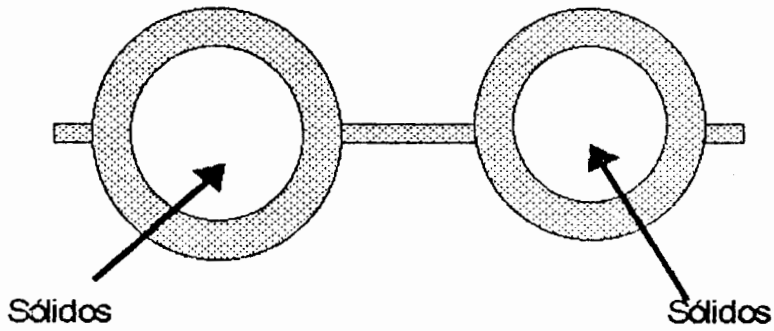
1. Mecanismo Hidrodinámico de Penetración



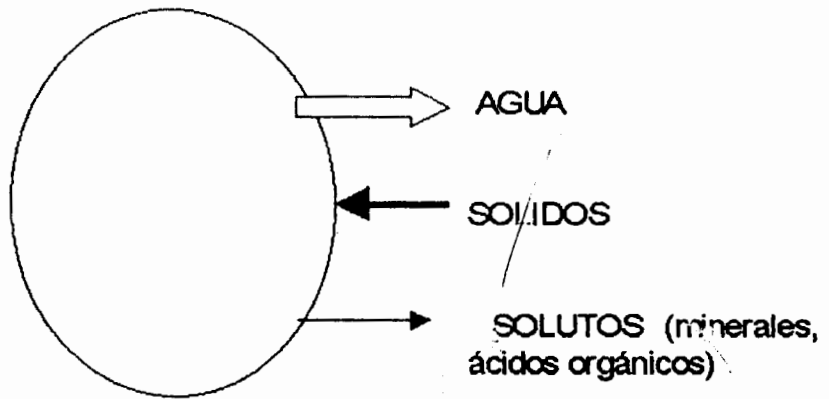
2. Osmosis (flujo de agua debido a la diferencia de actividad de agua)



3. Difusión (Ingreso de sólidos por la diferencia de concentración)

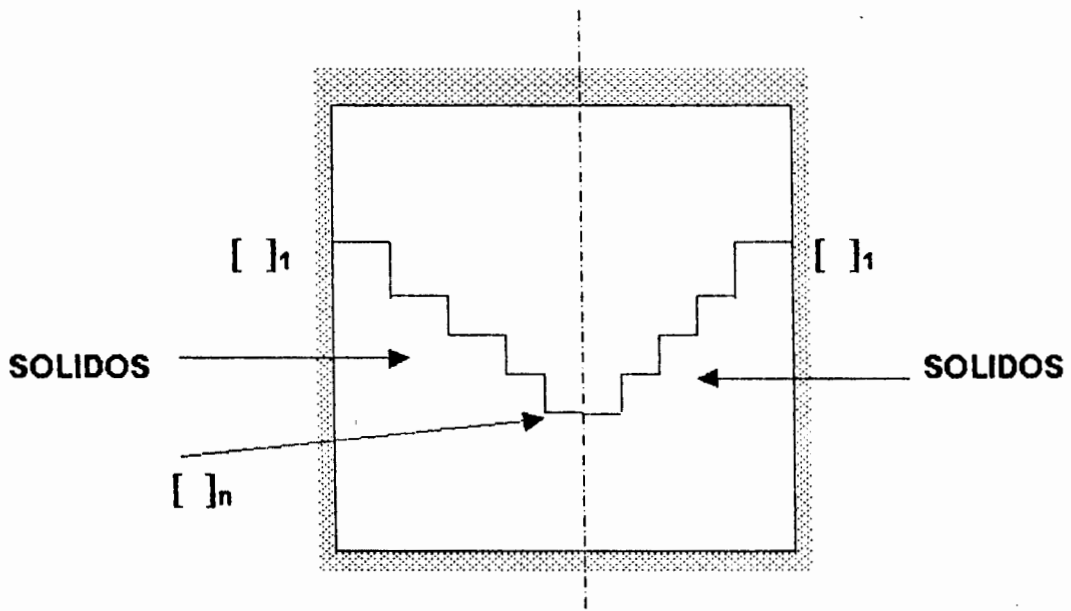


En general,



APENDICE B

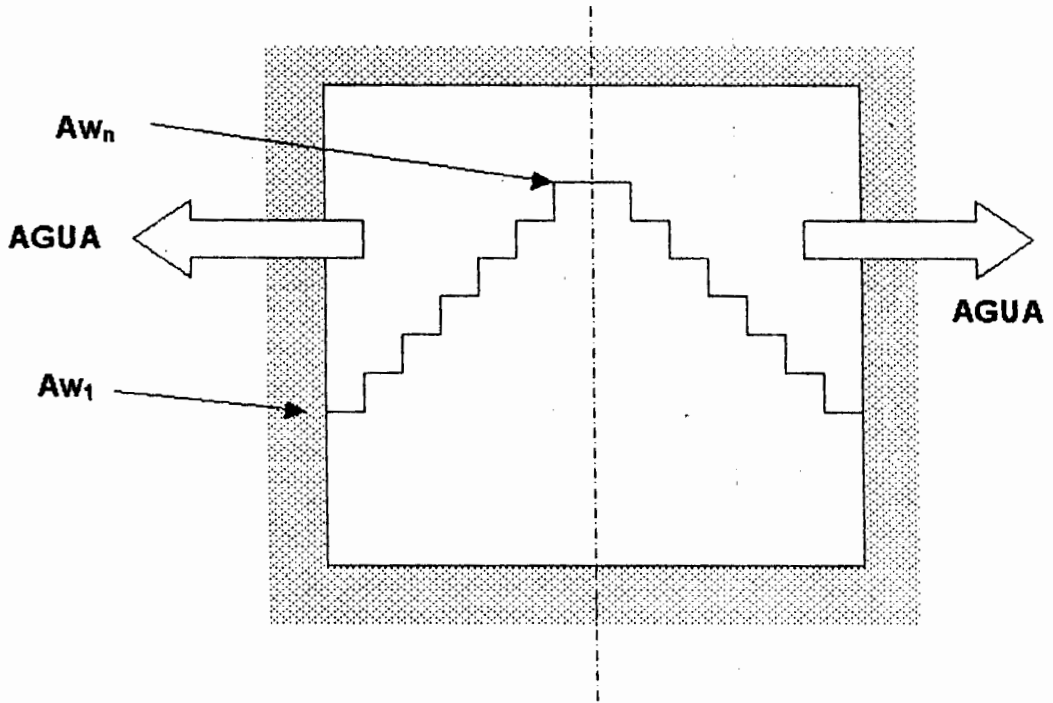
a) INGRESO DE SOLIDOS EN LA PAPAYA



$[]$: Concentración

$[]_1 > []_n$

b) SALIDA DE AGUA EN LA PAPAYA



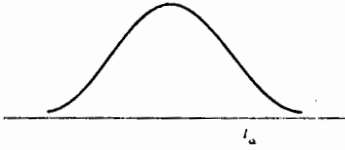
APENDICE C

VALOR NUTRICIONAL POR 100 G DE PORCIÓN

COMPOSICION	CANTIDAD
Calorías	23.1-25.8
Humedad	85.9-92.6 g
Proteína	.081-.34 g
Grasa	.05-.96 g
Carbohidratos	6.17-6.75 g
Fibra Cruda	0.5-1.3 g
Ceniza	.31-.66 g
Calcio	12.9-40.8 mg
Fósforo	5.3-22.0 mg
Hierro	0.25-0.78 mg
Caroteno	.0045-.676 mg
Tiamina	.021-.036 mg
Riboflavina	.024-.058 mg
Niacina	.227-.555 mg
Acido Ascórbico	35.5-71.3 mg
Triptófano	4-5 mg
Metionina	1 mg
Lisina	15-16 mg

APENDICE D

TABLA T DE STUDENT

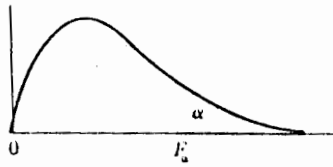


g.l.	$t_{0.100}$	$t_{0.050}$	$t_{0.025}$	$t_{0.010}$	$t_{0.005}$	g.l.
1	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	1
2	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	2
3	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	3
4	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	4
5	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	5
6	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	6
7	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	7
8	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	8
9	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	9
10	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	10
11	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	11
12	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	12
13	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	13
14	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	14
15	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	15
16	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	16
17	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	17
18	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	18
19	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	19
20	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	20
21	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	21
22	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	22
23	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	23
24	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	24
25	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	25
26	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	26
27	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	27
28	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	28
29	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	29
inf.	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	inf.

Fuente: De "Table of Percentage Points of the *t*-Distribution." *Biometrika*, Vol. 32 (1941), p. 300. Reproducida con permiso de Biometrika Trustees.

APENDICE E

TABLA DE DISTRIBUCION F



		v_1 (g.l.)								
v_2 (g.l.)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5	
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.09	2.02	1.96	
∞	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	

v_1 (g.l.)										
10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞	v_2 (g.l.)
241.9	243.9	245.9	248.0	249.1	250.1	251.1	252.2	253.3	254.3	1
19.40	19.41	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.49	19.50	2
8.79	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55	8.53	3
5.96	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66	5.63	4
4.74	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46	4.43	4.40	4.36	5
4.06	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70	3.67	6
3.64	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.27	3.23	7
3.35	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97	2.93	8
3.14	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.75	2.71	9
2.98	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.58	2.54	10
2.85	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53	2.49	2.45	2.40	11
2.75	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.34	2.30	12
2.67	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.25	2.21	13
2.60	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18	2.13	14
2.54	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20	2.16	2.11	2.07	15
2.49	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.06	2.01	16
2.45	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.10	2.06	2.01	1.96	17
2.41	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06	2.02	1.97	1.92	18
2.38	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93	1.88	19
2.35	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.90	1.84	20
2.32	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.92	1.87	1.81	21
2.30	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.78	22
2.27	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.81	1.76	23
2.25	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79	1.73	24
2.24	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77	1.71	25
2.22	2.15	2.07	1.99	1.95	1.90	1.85	1.80	1.75	1.69	26
2.20	2.13	2.06	1.97	1.93	1.88	1.84	1.79	1.73	1.67	27
2.19	2.12	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.77	1.71	1.65	28
2.18	2.10	2.03	1.94	1.90	1.85	1.81	1.75	1.70	1.64	29
2.16	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79	1.74	1.68	1.62	30
2.08	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	1.64	1.58	1.51	40
1.99	1.92	1.84	1.75	1.70	1.65	1.59	1.53	1.47	1.39	60
1.91	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55	1.50	1.43	1.35	1.25	120
1.83	1.75	1.67	1.57	1.52	1.46	1.39	1.32	1.22	1.00	∞

Fuente: De "Tables of Percentage Points of the Inverted Beta (F)-Distribution", *Biometrika*, Vol. 33 (1943), pp. 73-88, por Maxine Merrington and Catherine M. Thompson. Reproducida con permiso de Biometrika Trustees.

APENDICE F

TABLA DE SIGNIFICACION PARA TEST TRIANGULAR

Número de juicios (set x jueces)	Mínimo de juicios correctos para establecer diferencias significativas			Número de juicios (set x jueces)	Mínimo de juicios correctos para establecer diferencias significativas		
	p = .05	p = .01	p = .001		p = .05	p = .01	p = .001
5	4	5	5	57	27	29	31
6	5	6	6	58	27	29	32
7	5	6	7	59	27	30	32
8	6	7	8	60	28	30	33
9	6	7	8	61	28	30	33
10	7	8	9	62	28	31	33
11	7	8	9	63	29	31	34
12	8	9	10	64	29	32	34
13	8	9	10	65	30	32	35
14	9	10	11	66	30	32	35
15	9	10	12	67	30	33	36
16	10	11	12	68	31	33	36
17	10	11	13	69	31	34	36
18	10	12	13	70	32	34	37
19	11	12	14	71	32	34	37
20	11	13	14	72	32	35	38
21	12	13	15	73	33	35	38
22	12	14	15	74	33	36	39
23	13	14	16	75	34	36	39
24	13	14	16	76	34	36	39
25	13	15	17	77	34	37	40
26	14	15	17	78	35	37	40
27	14	16	18	79	35	38	41
28	15	16	18	80	35	38	41
29	15	17	19	81	36	38	41
30	16	17	19	82	36	39	42
31	16	18	19	83	37	39	42
32	16	18	20	84	37	40	43
33	17	19	20	85	37	40	43
34	17	19	21	86	38	40	44
35	18	19	21	87	38	41	44
36	18	20	22	88	39	41	44
37	18	20	22	89	39	42	45
38	19	21	23	90	39	42	45
39	19	21	24	91	40	42	46
40	20	22	24	92	40	43	46
41	20	22	24	93	40	43	46
42	21	22	25	94	41	44	47
43	21	23	25	95	41	44	47
44	21	23	25	96	42	44	48
45	22	24	26	97	42	45	48
46	22	24	26	98	42	45	49
47	23	25	27	99	43	46	49
48	23	25	27	100	43	46	49
49	23	25	28	200	80	84	89
50	24	26	28	300	117	122	127
51	24	26	29	400	152	158	165
52	25	27	29	500	188	194	202
53	25	27	29	1,000	363	372	383
54	25	27	30	2,000	701	722	737
55	26	28	30				
56	26	28	31				

La Tabla B ha sido reproducida de la Tabla de E.B. Roessler, J. Warren y J.F. Guymon, publicada en Food Research, 13, 503-505 (1948).

APENDICE G

MODELO DE FICHA

TIPO: Diferencia

NOMBRE:

MÉTODO: Triangular

FECHA:

PRODUCTO: Papaya

HORA:

Sírvase a degustar cada uno de los sets de tres muestras que se le presentan. En cada set hay dos muestra idénticas y una diferente. Por favor, marque con un círculo la diferente. Se permite volver a degustar.

SET	MUESTRAS NUMERO			ANOTACIONES
1	542	690	153
2	369	557	903
3	435	422	879

APENDICE H

ANALISIS DE VARIANZA CON DOS VARIABLES DE CLASIFICACION

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD
EFECTO DE LAS COLUMNAS	$\frac{\Sigma(\text{Total de columnas})^2 - (\Sigma x)^2}{\text{\# de columnas} \quad N}$	$k - 1$
EFECTO DE LAS FILAS	$\frac{\Sigma(\text{Total de filas})^2 - (\Sigma x)^2}{\text{\# de filas} \quad N}$	$n - 1$
ERROR	Total - E. col - E. filas	$(n - 1)(k - 1)$
TOTAL	$\frac{\Sigma(x)^2 - (\Sigma x)^2}{N}$	$N - 1$

k : Número de columnas.

n : Número de filas

$$N = n * k$$

F exp. columnas = Varianza de Columnas ÷ Varianza de Error

F exp. filas = Varianza de filas ÷ Varianza de Error

Fcrítico (grados de libertad de columnas, grados de libertad de error)

Fc > Fexp. No hay diferencia significativa.

F exp. > Fc. Si hay diferencia significativa

APENDICE I

ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA PÉRDIDA DE PESO CON RESPECTO A LA TEMPERATURA Y LOS GRADOS BRUX A UNA HORA DE TRATAMIENTO.

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	VARIANCIA
EFEECTO DE LA TEMPERATURA	251,19	2	125,59
EFEECTO DE LA CONCENTRACION	140,97	2	70,49
ERROR	5,42	4	1,36
TOTAL	397,58	8	

$F(\text{exp})$ para la temperatura = 92,34

$F(\text{exp})$ para la concentración = 51,83

$F_c = 18$

En los dos casos $F_c < F_{\text{exp}}$ por lo tanto si hay diferencia significativa.

ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA PÉRDIDA DE PESO CON RESPECTO A LA TEMPERATURA Y LOS GRADOS BRUX A 3 HORAS DE TRATAMIENTO.

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	VARIANCIA
EFEECTO DE LA TEMPERATURA	448,26	2	224,13
EFEECTO DE LA CONCENTRACION	817,78	2	408,89
ERROR	4,16	4	1,04
TOTAL	1207,2	8	

F(exp) para la temperatura = 215,51

F (exp) para la concentración = 786,33

Fc = 18

En los dos casos $F_c < F_{exp}$ por lo tanto si hay diferencia significativa.

ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA PÉRDIDA DE PESO CON RESPECTO A LA TEMPERATURA Y LOS GRADOS BRUX A 5 HORAS DE TRATAMIENTO.

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	VARIANCIA
EFEECTO DE LA TEMPERATURA	284,87	2	142,43
EFEECTO DE LA CONCENTRACION	1066,65	2	533,32
ERROR	32,33	4	8,08
TOTAL	1383,85	8	

F(exp) para la temperatura = 17,62

F (exp) para la concentración = 65,98

Fc = 18

Para la concentración $F_c < F_{exp}$ por lo tanto si hay diferencia significativa, en cambio para la temperatura $F_c > F_{exp}$ por lo tanto no es significativo.

APENDICE J

ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA PÉRDIDA DE AGUA CON RESPECTO A LA TEMPERATURA Y LOS GRADOS BRIX A 1 HORA DE TRATAMIENTO.

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	VARIANCIA
EFECTO DE LA TEMPERATURA	344,78	2	172,39
EFECTO DE LA CONCENTRACION	100,77	2	50,39
ERROR	14,71	4	3,68
TOTAL	460,26	8	

$F(\text{exp})$ para la temperatura = 46,85

$F(\text{exp})$ para la concentración = 13,63

$F_c = 18$

Para la temperatura $F_c < F_{\text{exp}}$ por lo tanto si hay diferencia significativa, en cambio para la concentración $F_c > F_{\text{exp}}$ por lo tanto no es significativo.

ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA PÉRDIDA DE AGUA CON RESPECTO A LA TEMPERATURA Y LOS GRADOS BRUX A 3 HORAS DE TRATAMIENTO.

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	VARIANCIAS
EFEECTO DE LA TEMPERATURA	526,11	2	262,06
EFEECTO DE LA CONCENTRACION	405,10	2	202,55
ERROR	0,52	4	0,13
TOTAL	931,73	8	

$F(\text{exp})$ para la temperatura = 2015,86

$F(\text{exp})$ para la concentración = 1558,08

$F_c = 18$

Para los dos casos $F_c < F_{\text{exp}}$ por lo tanto si hay diferencia significativa.

ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA PÉRDIDA DE AGUA CON RESPECTO A LA TEMPERATURA Y LOS GRADOS BRUX A 5 HORAS DE TRATAMIENTO.

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	VARIANCIAS
EFEECTO DE LA TEMPERATURA	281,91	2	140,95
EFEECTO DE LA CONCENTRACION	518,20	2	259,1
ERROR	21,59	4	5,39
TOTAL	821,70	8	

$F(\text{exp})$ para la temperatura = 28,19

$F(\text{exp})$ para la concentración = 48,07

$F_c = 18$

Para los dos casos $F_c < F_{\text{exp}}$ por lo tanto si hay diferencia significativa.

APENDICE K

ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA GANANCIA DE SÓLIDOS CON RESPECTO A LA TEMPERATURA Y LOS GRADOS BRUX A 1 HORA DE TRATAMIENTO.

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	VARIANCIA
EFEECTO DE LA TEMPERATURA	25,81	2	12,91
EFEECTO DE LA CONCENTRACION	12,81	2	6,41
ERROR	4,71	4	1,18
TOTAL	43,33	8	

$F(\text{exp})$ para la temperatura = 10,33

$F(\text{exp})$ para la concentración = 5,43

$F_c = 18$

Para los dos casos $F_c > F_{\text{exp}}$ por lo tanto no diferencia significativa.

ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA GANANCIA DE SÓLIDOS CON RESPECTO A LA TEMPERATURA Y LOS GRADOS BRUX A 3 HORAS DE TRATAMIENTO.

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	VARIANCIA
EFEECTO DE LA TEMPERATURA	9	2	4,5
EFEECTO DE LA CONCENTRACION	74,36	2	37,18
ERROR	2,6	4	0,65
TOTAL	85,96	8	

F(exp) para la temperatura = 6,92

F (exp) para la concentración = 57,2

Fc = 18

Para la concentración $F_c < F_{exp}$ por lo tanto si hay diferencia significativa, en cambio para la temperatura $F_c > F_{exp}$ por lo tanto no hay diferencia significativa.

**ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA GANANCIA DE SÓLIDOS CON RESPECTO
A LA TEMPERATURA Y LOS GRADOS BRUX A 5 HORAS DE
TRATAMIENTO.**

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	VARIANCIA
EFEECTO DE LA TEMPERATURA	4,53	2	2,27
EFEECTO DE LA CONCENTRACION	98,58	2	49,29
ERROR	1,41	4	0,35
TOTAL	104,52	8	

F(exp) para la temperatura = 6,48

F (exp) para la concentración = 140,83

Fc = 18

Para la concentración $F_c < F_{exp}$ por lo tanto si hay diferencia significativa, en cambio para la temperatura $F_c > F_{exp}$ por lo tanto no hay diferencia significativa.

BIBLIOGRAFIA

1. BARAT, CHIRALT y FITO, Equilibrium in Cellular Food Osmotic Solution System as Related to Structure. Journal of Food Science, Volumen 63, No. 5, 1998 pp. 836-840.
2. BARBOSA, G., Food Preservation by Moisture Control, Fundamentals and Application, Technomic Publication, 1995
3. BOLIN, HUXSOLL, Effect of Osmotic Agent and Concentration on Fruit Quality, Journal of Food Science, Volumen 48, 1983 pp. 202 - 205.
4. CARVAJAL, F.; PENAHERRERA, V., Adaptación de la Tecnología de Secado Osmótico y Proyecto de Factibilidad para la Instalación de una Planta Deshidratadora de Frutas en la Provincia de Tungurahua. (Tesis. Facultad de Ingeniería en Alimentos, Universidad Técnica de Ambato, 1994).
5. DAVIS, R., Intermediate Moisture Food, Applied Science Publisher, London, 1979.

6. DIARMUID, Concentration and Drying of Foods, Applied Science Publishers, New York – USA, 1989.
7. GONZALES, M.; PAREDES E., Conservación y Almacenamiento de Frutas Aplicando Deshidratación Osmótica. (Tesis. Facultad de Ingeniería en Alimentos, Universidad Técnica de Ambato, 1988).
8. LERICI, PINNAVAIA, Osmotic Dehydration os Fruits: Influence of Osmotic Agents on Dying Behavior and Product Quality. Journal of Food Science, Volumen 50, 1985 pp 1217 -1219.
9. MENDENHALL, W., Estadística para Administradores, Segunda Edición, Editorial Iberoamérica, México, 1988.
10. MORTON, J., Fruits of Warm Climates, Miami, 1987
11. PANADES, Influencia de Algunos Parámetros de Operación en la Cinética del Secado Osmótico a Vacío Pulsante de la Guayaba, Conferencia Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos, La Habana – Cuba, 1998.
12. PINO, NUNEZ, FITO, Selección de Parámetros de Operación en la Deshidratación Osmótica de Pina por Análisis Multivariado de Compuestos Volátiles, Conferencia Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos, Habana – Cuba, 1998.

13. ROBBERS, SINGH, Osmotic – Convective Dehydrofreezing Process for Drying Kiwifruit, Journal of Food Science, Volumen 62, No. 5, 1997. pp. 1039 - 1042
14. ROBEERTIS, Biología Celular y Molecular, Undecima Edición, Editorial El Ateneo, Buenos Aires, 1988.
15. SALTOS, A y co., Deshidratación Osmótica de Frutas Tropicales. (Proyecto de Investigación Tecnológica para el Desarrollo de Alimentos de Humedad Intermedia, Universidad Técnica de Ambato, 1993)
16. SALVATORI, ANDRES, ALBORS, CHIRALT and FITO, Structural and Compositional Profiles in Osmotically Dehydrated Apple. Journal of Food Science, Volumen 63, No. 4, 1998 pp 606 -610.
17. SPICER A., Advances in Preconcentration and Dehydration of Food, Applied Science Publishers, London, 1984.
18. TOLEDO, R., Fundament of Food Process Engineering. AVI Publishing, Westport – Connecticut, 1980.
19. TOLEDO, KIM, Effect of Osmotic Dehydration and High Temperature Fluidized Bed Drying on Properties of Dehydrated Rabbiteye Blueberries. Journal of Food Science, Volumen 52, No. 4, 1987.
20. TORRES, ALEXIS. Técnicas de Cultivo de la Papaya, Folleto de técnicas de cultivo Grupo FADESA, 1997, pp. 8

21. WITTIG, E., Evaluación Sensorial de los Alimentos, Universidad de Santiago de Chile, 1981