

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL



**“CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO DE DESHIDRATACIÓN
OSMÓTICA CON PULSOS DE VACÍO Y SU EVALUACIÓN EN
LÁMINAS DE PAPAYA (*Carica papaya L.*)”**

TESIS

PRESENTADO POR:

- **Bach. CAHUAYA CAHUAYA, Simon.**
- **Bach. CAYO MAMANI, Alex Ramiro.**

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

PUNO – PERÚ

2010

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS.
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

“CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA
CON PULSOS DE VACÍO Y SU EVALUACIÓN EN LÁMINAS DE PAPAYA
(*Carica papaya L.*)”

TESIS PRESENTADO POR:

Bach. SIMÓN CAHUAYA CAHUAYA.

Bach. ALEX RAMIRO CAYO MAMANI.

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL.

APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE

Ing. M.Sc. GENNY I. LUNA MERCADO.

PRIMER MIEMBRO

Ing. EDGAR GALLEGOS ROJAS.

SEGUNDO MIEMBRO

Ing. M.Sc. JHONY MAYTA HANCCO.

DIRECTOR DE TESIS

Ing. M.Sc. LIZANDRO G. FERNANDEZ CASTRO.

ASESOR DE TESIS

Ing. M.Sc. ALEJANDRO COLOMA PAXI.

PUNO – PERÚ

2010

Área: Ingeniería y tecnología

Tema: Desarrollo de procesos y productos agroindustriales sostenibles y eficientes

DEDICATORIA

A Dios todo poderoso que me ha dado la vida y fortaleza para terminar este proyecto de investigación, por tantas bendiciones concedidas, y además de su infinita bondad y amor. Bendito sea tú nombre por siempre.

A mis padres por haberme educado, por el amor que siempre me han brindado, quienes han sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores, lo cual me ha ayudado a salir adelante buscando siempre el mejor camino.

A mis hermanos que supieron ayudarme a pesar de la distancia.

A la Familia Miranda por su confianza y apoyo incondicional a través de estos años. Que Dios les bendiga.

Simón

A mi Padre con amor. Gregorio por cuidarme y guiarme siempre, desde el cielo.

A mi Madre y hermana. Matisa y Sonia por el gran amor que siempre me han brindado de forma incondicional.

A mis familiares: Arturo, Rafael y José por su gran apoyo y confianza durante estos años.

A la persona que siempre me apoyo, comprendió durante el inicio y para concluir este proyecto.

Gracias a todos y sobre todo a Dios...

Alex

AGRADECIMIENTOS

- A la Universidad Nacional Del Altiplano Facultad De Ciencias Agrarias en especial a la - Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial por la formación profesional que recibimos en los años de permanencia en sus claustros.
- A los docentes y administrativos de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial.
- Al Ing. M.Sc. Alejandro Coloma Paxi docente de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial.
- Al Ing. M.Sc. Lizandro G. Fernández Castro docente de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial por haber colaborado en el desarrollo el proyecto.
- A los miembros del jurado Ingenieros, Genny Luna, Edgar Gallegos y Jhony Mayta. Por su contribución en el desarrollo del proyecto.
- A Vicktor, Pilar, Vlady, Yuri, Julio y todo los amigos con los que tuvimos la suerte de compartir las aulas de la universidad.
- A todas las personas que intervinieron directamente o indirectamente en el desarrollo del trabajo de investigación y que hemos obviado de forma involuntaria, les pedimos mil disculpas, y les guardamos gratitud eterna.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
Resumen	
I. INTRODUCCIÓN.....	01
II. REVISIÓN DE LITERATURA.	
2.1. La papaya.....	03
2.1.1. Descripción botánica.....	04
2.1.2. Fruto.....	04
2.1.3. Maduración, cosecha y manipulación.....	05
2.1.3.1. Madurez para la cosecha.....	05
2.1.3.2. Cosecha.....	05
2.1.3.3. Manejo de la postcosecha.....	05
2.1.4. Composición de la papaya.....	05
2.1.5. Usos.....	06
2.2. Deshidratación osmótica.....	07
2.2.1. Cinética de la deshidratación osmótica.....	08
2.2.2. Factores que afectan el proceso de deshidratación osmótica.....	09
2.2.2.1. Característica de la materia prima.....	10
2.2.2.2. Naturaleza del agente osmótico.....	10
2.2.2.3. Concentración del agente osmótico.....	11
2.2.2.4. Presión de trabajo.....	11
2.2.2.5. Temperatura.....	12
2.2.2.6. Agitación del sistema.....	13
2.3. Soluciones osmóticas.....	13
2.3.1. Solución hipotónica.....	13
2.3.2. Solución isotónica.....	13
2.3.3. Solución hipertónica.....	13
2.3.4. Propiedades de las soluciones hipertónicas.....	13
2.4. Mecanismos de transporte en tejidos vegetales.....	14
2.5. Mecanismo hidrodinámico.....	14
2.6. Aplicaciones de la impregnación a vacío.....	15
2.6.1. Deshidratación osmótica con pulsos de vacío (PVOD).....	15
2.7. Transferencia de masa.....	16

2.7.1	Clasificación general de la transferencia de masa.....	17
2.8.	Difusión.....	17
2.8.1.	Difusión molecular.....	18
2.8.2.	Difusión molecular en sólidos.....	19
2.9.	Modelos matemáticos de transferencia de masa.....	19
2.9.1.	Modelo de Crank.	20
2.9.2.	Modelo de Magee.....	21
2.9.3.	Modelo de mecanismo hidrodinámico. (HDM).....	21
2.10.	Materiales de ingeniería.....	24
2.10.1.	Aceros inoxidable.....	24
2.10.1.1.	Clasificación de aceros inoxidable.....	24
2.10.2.	Soldadura tig.....	25
2.10.3.	Máquinas eléctricas.....	25
2.10.3.1.	Electrobomba.....	25
2.10.3.2.	Bomba de vacío.....	26
III. MATERIALES Y MÉTODOS.		
3.1.	Lugar de ejecución.....	27
3.2.	Materiales.....	27
3.2.1.	Materia prima.....	27
3.2.2.	Materiales y equipos de laboratorio.....	27
3.2.3.	Materiales utilizados para la construcción del equipo.....	28
3.3.	Metodología experimental.....	28
3.3.1.	Construcción del equipo de deshidratación osmótica con pulso de vacío.....	28
3.3.2.	Procedimiento experimental para la Deshidratación osmótica y aplicación de pulso de vacío.....	29
3.3.2.1.	Determinación de humedad.....	32
3.3.2.2.	Determinación del contenido de sólidos solubles.....	33
3.3.2.3.	Determinación de la variación de masa.....	33
3.3.2.4.	Determinación de la variación de agua y sólidos solubles... ..	34
3.3.3.	Determinación del coeficiente de difusividad efectiva en papaya... ..	35
3.4.	Diseño experimental.....	36
3.4.1.	Factores de estudio.....	37
3.4.2.	Variables de respuesta.....	38
3.4.3.	Matriz del diseño.....	38

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES.

4.1. Construcción del equipo de deshidratación osmótica con pulsos de vacío.....	39
4.2. Cinética de deshidratación osmótica de papaya.....	40
4.2.1. Comprobación de balance de masa.....	40
4.2.2. Variación de masa.....	41
4.2.3. Variación de agua.....	44
4.2.4. Variación de sólidos solubles.....	47
4.3. Coeficiente de difusividad en papaya.....	52
V. CONCLUSIONES.....	57
VI. RECOMENDACIONES.....	58
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	59



ÍNDICE TABLAS

	Pág.
Tabla 01: Producción de Papaya: 1990 – 2004.....	03
Tabla 02: Composición de la papaya.....	06
Tabla 03: Características físico – químicas de la papaya fresca.....	07
Tabla 04: Efecto de IV y la solución Osmótica sobre Coeficiente de Difusión eficaz en la fase líquida de varias frutas durante la deshidratación de Osmótica	18

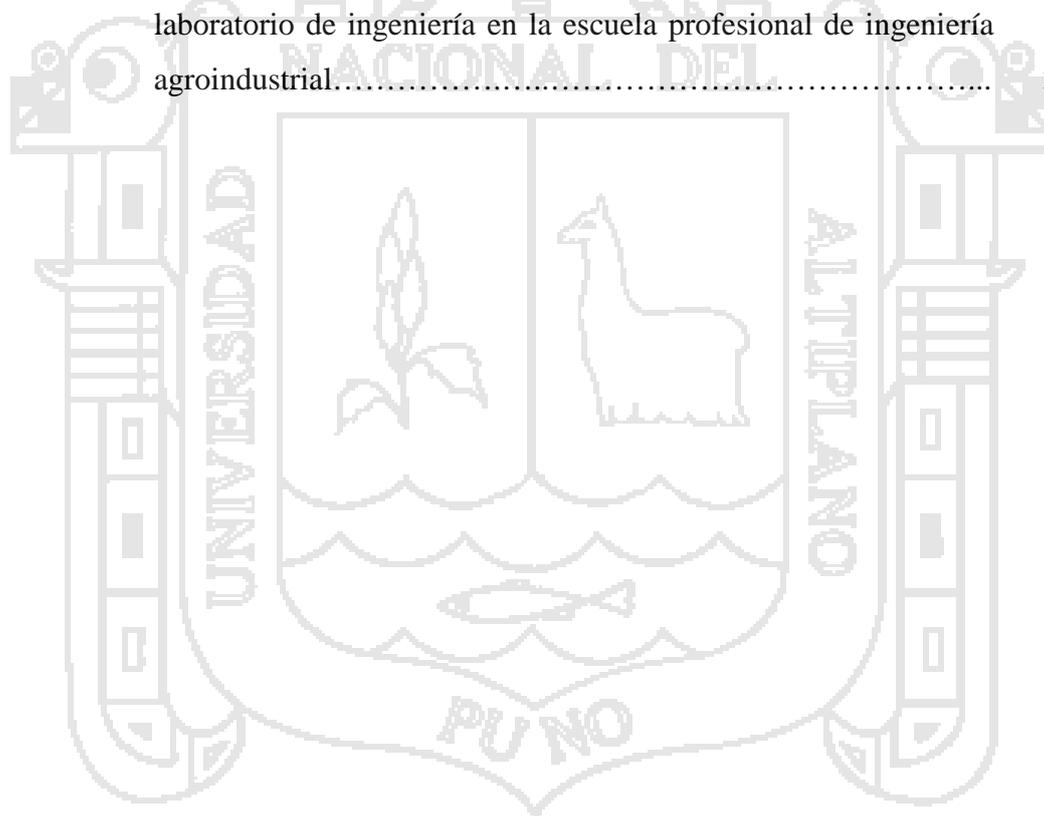


ÍNDICE CUADROS

	Pág.
Cuadro 01. Cinco niveles del Diseño central compuesto (DCC).....	37
Cuadro 02. Factores de estudio.....	37
Cuadro 03. Número de tratamientos para dos factores en un DCC.....	38
Cuadro 04. Variación de masa para los diferentes tratamientos en un tiempo de 150 minutos.....	42
Cuadro 05. Variación de agua para los diferentes tratamientos en un tiempo de 150 minutos.....	46
Cuadro 06. Variación de sólidos solubles para los diferentes tratamientos en un tiempo de 150 minutos.....	50
Cuadro 07. Coeficiente de difusión efectiva en papaya con respecto a la concentración de sacarosa y temperatura, tomando la aplicación de pulso de vacío para los diferentes tratamientos en un tiempo de 150 minutos.....	53

ÍNDICE FIGURAS

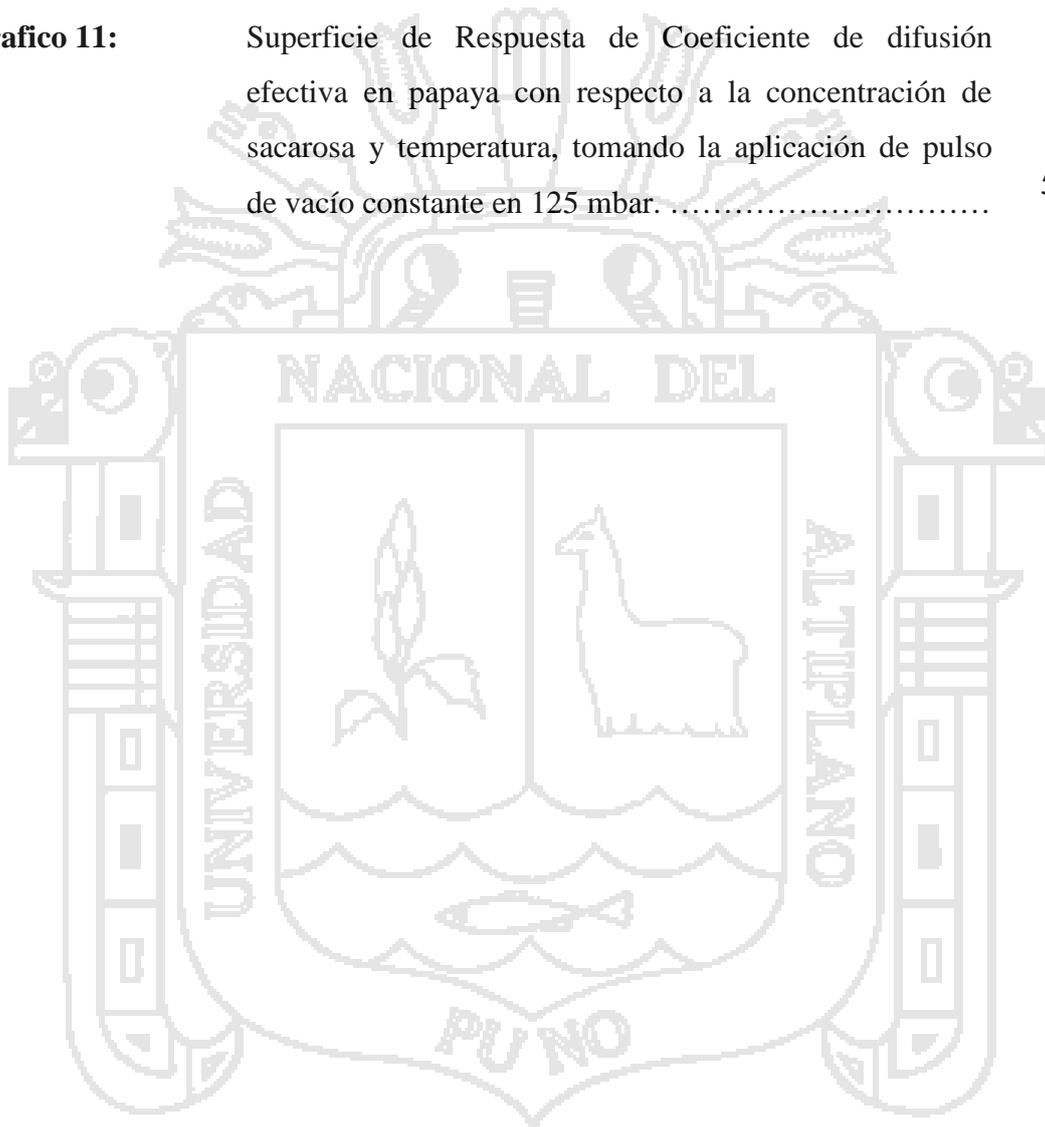
	Pág.
Figura 01. Producción de Papaya: 1990 – 2004 (miles de toneladas).....	03
Figura 02. Tipos de transporte en el tejido vegetal: Apoplástico (AP), simplástico (SP) y trans-membrana (TM).....	14
Figura 03. Esquema del procedimiento experimental deshidratación osmótica y aplicación de pulso de vacío.....	30
Figura 04. Diagrama de proceso de la deshidratación osmótica y aplicación de pulso de vacío.	31
Figura 05. Equipo de deshidratación osmótica con pulsos de vacío en el laboratorio de ingeniería en la escuela profesional de ingeniería agroindustrial.....	39



ÍNDICE GRÁFICOS

		Pág.
Grafico 01:	Balance de materia para el estudio cinético de la papaya en tiempo total de inmersión de 150 minutos (a): Presión de 50 mbar y (b): Presión de 200 mbar.	40
Grafico 02:	Variación de masa (M) en función del tiempo para láminas de papaya a diferentes Presiones de vacío, concentraciones y Temperaturas.....	41
Grafico 03:	Superficie de Respuesta de pérdida porcentual de peso con respecto a la concentración de sacarosa y temperatura, tomando la aplicación de pulso de vacío constante en 125 mbar.	43
Grafico 04:	Variación de agua (Mw) en función del tiempo para láminas de papaya a diferentes Presiones de vacío, concentraciones y Temperaturas.....	45
Grafico 05:	Superficie de Respuesta de pérdida porcentual de agua con respecto a la concentración de sacarosa y temperatura, tomando la aplicación de pulso de vacío constante en 125 mbar.	46
Grafico 06:	Variación de sólidos solubles (Ms) en función del tiempo para láminas de papaya a diferentes Presiones de vacío, concentraciones y Temperaturas.....	48
Grafico 07:	Superficie de Respuesta de ganancia porcentual de sólidos con respecto a la concentración de sacarosa y temperatura, tomando la aplicación de pulso de vacío constante en 125 mbar.	48
Grafico 08:	Superficie de Respuesta de ganancia porcentual de sólidos con respecto a la aplicación de presión de vacío y concentración de sacarosa, tomando la temperatura constante en 30 °C.	49
Grafico 09:	Superficie de Respuesta de Coeficiente de difusión efectiva en papaya con respecto a la aplicación de presión	

	de vacío y concentración de sacarosa, tomando la temperatura constante en 30 °C.	54
Grafico 10:	Superficie de Respuesta de Coeficiente de difusión efectiva en papaya con respecto a la aplicación de presión de vacío y temperatura, tomando la concentración de sacarosa constante en 45 °Brix.....	54
Grafico 11:	Superficie de Respuesta de Coeficiente de difusión efectiva en papaya con respecto a la concentración de sacarosa y temperatura, tomando la aplicación de pulso de vacío constante en 125 mbar.	55



LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A	66
Calculo del volumen del recipiente.	
ANEXO B	69
Cuadro 01 descripción de características generales del equipo Instrucciones para el uso del modulo de deshidratación osmótica con pulso de vacio	
ANEXO C	72
Codificación de valores para el DCC para los factores.	
ANEXO D	73
Valores experimentales para el tratamiento PVDO	
ANEXO E	80
Tiempo de proceso y cambios composicionales de las muestras [Fracción másica de agua (X_w) y sólidos solubles (X_s), contenido de sólidos solubles en la fase líquida (Z_s); pérdida de peso ($-M$), pérdida de agua ($-M_w$) y ganancia de solutos ($-M_s$)] para el tratamiento de PVOD.	
ANEXO F	87
Cuadro N° 1. Parámetros Cinéticos para pérdida peso	
Cuadro N° 2. Parámetros cinéticos para pérdida de agua	
Cuadro N° 3. Parámetros cinéticos para ganancia de sólidos	
ANEXO G	89
Cuadro 1. Valores de los coeficientes de difusión efectiva en la fase líquida de la papaya sometida a los distintos tratamientos	
ANEXO H	92
Cuadro N° 1 Análisis de la Varianza para pérdida peso en la papaya	
Cuadro N° 2. Análisis de la Varianza para pérdida de agua en la papaya	
Cuadro N° 3. Análisis de la Varianza para ganancia de sólidos en la papaya	
Cuadro N° 4. Análisis de la Varianza para Coeficiente de Difusión efectiva en la papaya	
ANEXO I	94
Representaciones de $1-Y$ en función de la raíz cuadrada del tiempo, a diferentes temperaturas	
ANEXO J	97
Variaciones de masa, agua y sólidos solubles de la papaya en función de la raíz cuadrada del tiempo.	
ANEXO K	104
Planos	

RESUMEN

En la presente investigación se construyó un equipo de deshidratación osmótica con pulsos de vacío (DVHP). En el se estudio la cinética de transferencia de masa y el coeficiente de difusividad en la papaya cuyas muestras fueron obtenidas teniendo en cuenta la homogeneidad de color, tamaño, grado de madurez, ausencia de defectos superficiales la especie y la variedad para luego lavarlas, pelarlas y cortarlas en láminas de (1cm. de espesor por 5 cm de largo), para posteriormente deshidratarlas mediante ósmosis con pulsos de vacío (DVHP). Generando un pulso de vacío de 10 minutos al inicio del proceso de deshidratación, con una relación fruta – solución de 1:3. Usando soluciones de 30, 45 y 60 °Brix., a temperaturas de 20, 30 y 40 °C y pulsos de vacío de 50, 125 y 200 mbar de forma combinada. Cuya cinética se determino en tiempos cortos (150 min.) en las cuales se analizaron el porcentaje de pérdida de masa, la pérdida de agua y la ganancia de sólidos solubles, y el coeficiente de difusividad efectiva en la fase líquida de la papaya en relación a la presión, temperatura y concentración. Las muestras fueron trabajadas en el modulo de deshidratación osmótica donde se puede generar pulsos de vacío que se equipó para estos fines de manera satisfactoria, después de generar un pulso de vacío para todos los tratamientos, las muestras fueron extraídas en los siguientes tiempos 10, 20, 40, 60, 80, 100, 120 y 150 minutos. Y posteriormente realizar los cálculos antes mencionados. Obteniendo resultados óptimos según el análisis estadístico (DCC) en la pérdida peso en la papaya con las siguientes condiciones (Presión = 250 mbar, Concentración = 70 °Brix y una Temperatura = 45 °C) dando un valor optimo de 51.2468%, para la pérdida de agua en la papaya con las siguientes condiciones (Presión = 241 mbar, Concentración = 70 °Brix y Temperatura = 47 °C) con un valor optimo de 62.8831% y para la ganancia de sólidos en la papaya con las siguientes condiciones (Presión = 149,55 mbar, Concentración = 62.73 °Brix y Temperatura = 47 °C) dando un valor optimo de 12.051%. Para el coeficiente de difusividad efectiva de sacarosa en la papaya con las siguientes condiciones (Presión = 172 mbar, Concentración = 20 °Brix y Temperatura = 47 °C) dando un valor optimo de $1.18538 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$. Concluyendo que la Concentración y Temperatura son altamente significativas y la presión solo para algunos casos. Las experimentaciones fueron realizadas en el laboratorio de Ingenierías de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial.

I. INTRODUCCIÓN.

El creciente interés por alimentos frescos y saludables nos lleva desarrollar tecnologías alternativas que permitan conservar las propiedades fisicoquímicas de los alimentos en especial de las frutas tropicales; con tecnologías relativamente sencillas con bajos montos de inversión. La deshidratación osmótica ha cobrado gran interés debido a que aplicada como un pre-tratamiento en los procesos tradicionales de conservación, mejora la calidad organoléptica del producto final con un bajo consumo de energía.

Existen varios factores (temperatura, concentración de solución osmótica, presión, etc.) que influyen en el proceso de deshidratación osmótica recientemente se ha estudiado el comportamiento de la cinética de transferencia de masa al aplicar presiones de vacío durante la deshidratación osmótica, que sugieren que bajo condiciones de vacío se presentan el fenómeno hidrodinámico (HDM).

El mecanismo hidrodinámico (HDM) describe el efecto de la presión de vacío sobre la transferencia de masa entre la parte interna de los poros del alimento y la fase líquida externa. Este mecanismo (HDM) ocurre debido a las diferencias de presiones que se presentan en el sistema y provocan la expansión del gas ocluido en los poros y el ingreso de un considerable volumen de solución osmótica a la estructura porosa del alimento, aumentando así la superficie de contacto entre el alimento y la solución, favoreciendo la cinética de transferencia de masa.

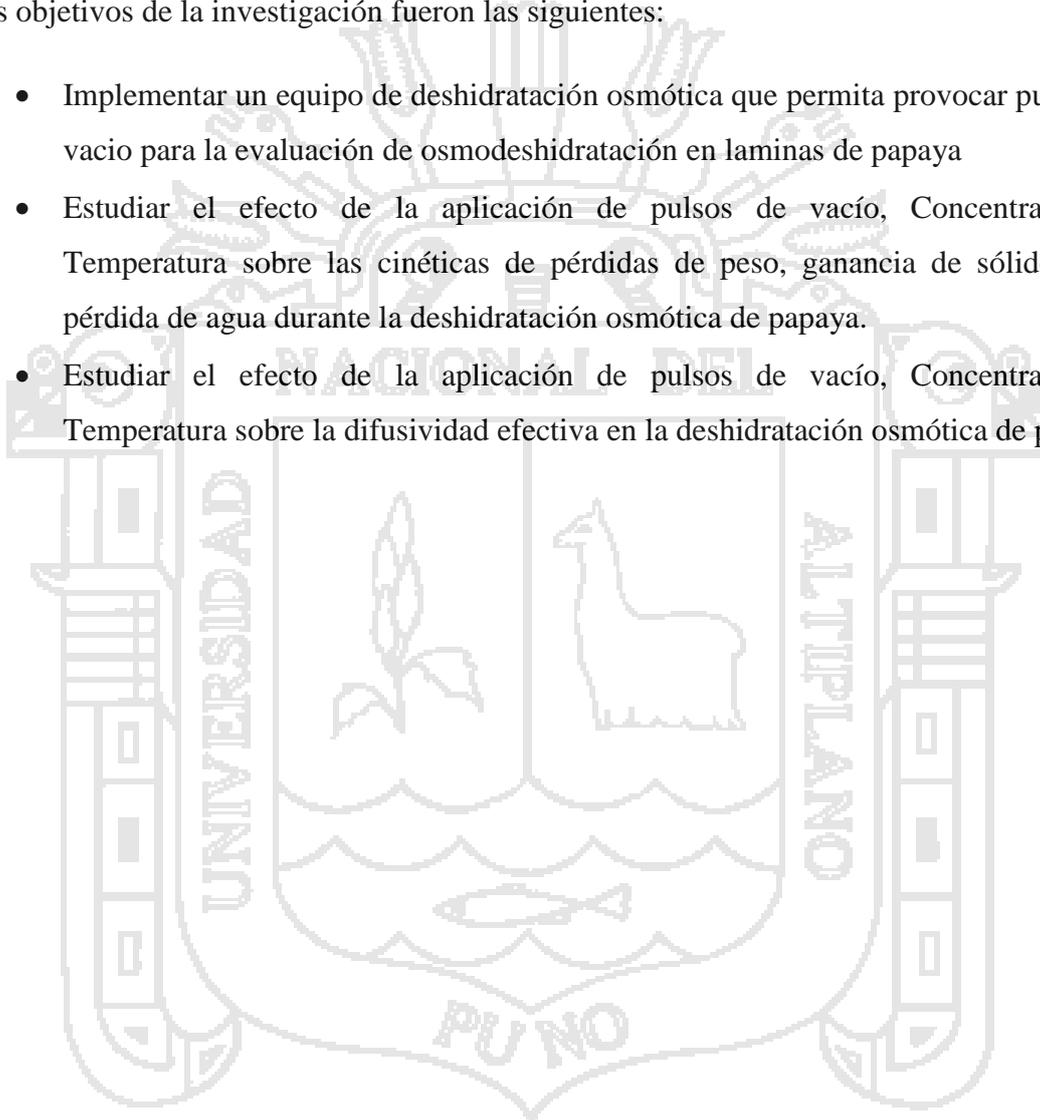
Con la deshidratación osmótica con pulso de vacío (PVOD) el efecto del mecanismo hidrodinámico se consigue en un corto tiempo durante el que se aplica vacío, al restituir la presión atmosférica; ocurre la entrada del líquido externo en los poros del tejido al aplicar este procedimiento permite manejar las ventajas de la deshidratación osmótica a vacío, frente a la deshidratación osmótica convencional pero con equipamiento más sencillo puesto que el proceso transcurre la mayor parte del tiempo a presión atmosférica y no a vacío. Esto implica un abaratamiento en el proceso industrial al utilizarse un equipo más sencillo y un ahorro de energía al no tener que mantener las condiciones de vacío durante todo el proceso (Chiralt, *et. al.*, 1999).

Cuando la papaya es inmersa en una solución hipertónica, la penetración de sacarosa es relativa al equilibrio entre la concentración de la sacarosa en el interior de la

papaya y la solución hipertónica externa la migración de la sacarosa por difusión juega un papel importante en la ganancia de sólidos totales. Muchas investigaciones aplican la ley de fick para el estudio de difusividad efectiva de la sacarosa a diferentes condiciones y geometrías de la muestra en la presente investigación se empleara una variante de dicha ecuación por la aplicación de pulsos de vacío.

Los objetivos de la investigación fueron las siguientes:

- Implementar un equipo de deshidratación osmótica que permita provocar pulsos de vacío para la evaluación de osmodeshidratación en laminas de papaya
- Estudiar el efecto de la aplicación de pulsos de vacío, Concentración y Temperatura sobre las cinéticas de pérdidas de peso, ganancia de sólidos y la pérdida de agua durante la deshidratación osmótica de papaya.
- Estudiar el efecto de la aplicación de pulsos de vacío, Concentración y Temperatura sobre la difusividad efectiva en la deshidratación osmótica de papaya.



II. REVISIÓN DE LITERATURA.

2.1. LA PAPAYA.

Los frutos de papaya son bayas con una carne muy gustosa en cuyo interior se encuentran las semillas negras rodeadas de una capa gelatinosa, su forma suele ser parecida al melón francés, la papaya se conoce con diferentes nombres, como papaw (Inglaterra), mamao (Brasil), lechoso (Venezuela) y fruta bomba (Cuba), (Kalra, *et. al.*, 1995). Actualmente la papaya se produce a lo largo de todos los países tropicales. Brasil encabeza la producción mundial, seguido por Nigeria y México (Perfetti, 2000).

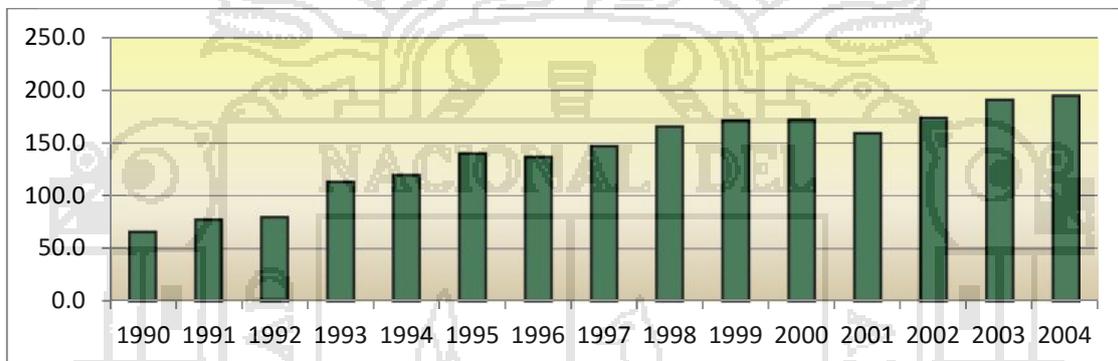


Figura 01. Producción de Papaya: 1990 – 2004 (miles de toneladas)

Fuente: Minag-OIA- Perú

Tabla 01. Producción de Papaya: 1990 – 2004
(Miles de toneladas) Perú

Año	Producción
1990	65.6
1991	77.1
1992	79.6
1993	112.8
1994	119.2
1995	139.5
1996	136.4
1997	146.6
1998	165.0
1999	171.0
2000	171.4
2001	158.8
2002	173.3
2003	190.2
2004	194.1

Fuente: Minag-OIA- Perú

2.1.1. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA.

La papaya (*Carica papaya* L.) es una planta herbácea arborescente, de rápido crecimiento, cuyo tallo es recto y cilíndrico que puede alcanzar en la madurez alturas de 10 m, generalmente es un tallo único; sin embargo, ramifica cuando se elimina el punto apical o cuando las plantas llegan a la vejez. El tronco está compuesto de un tejido más carnoso que leñoso, el cual se va endureciendo conforme va creciendo, una de las manifestaciones son las cicatrices que van dejando los pecíolos al desprenderse (Guzmán, 1998).

Las flores son grandes, blancas de 5 pétalos y 5 sépalos. Nacen en el tallo cerca de la inserción de las hojas en el mismo. Pueden ser de sexo masculino, sin ovario desarrollado; femenino, sin estambres; y hermafroditas, con estambres y ovarios. El sexo de las flores determina el de las plantas y en consecuencia la producción y características de los frutos (Pestano, 2001).

Las plantas femeninas generalmente producen frutos grandes de forma ovoide que tienen carne relativamente delgada, de buena calidad y textura; las plantas bisexuales producen frutos más pequeños de forma elipsoidal o cilíndrica, con carne más gruesa de calidad ligeramente inferior y las plantas masculinas producen pocos frutos y pequeños, por lo general mal formados y sin valor (Osche, *et. al.*, 1980).

2.1.2. FRUTO.

El fructificación de la papaya se inicia a los 6 - 8 meses, dependiendo del clima y de la variedad, Algunas veces es aconsejable el aclareo de las flores y frutos defectuosos, para evitar que los frutos salgan amontonados y con deformaciones también se deben eliminar las hojas que estén intercaladas con los frutos (Pestano, 2001).

La relación pulpa: piel se incrementa en 1.5-2.5 meses, luego avanza de forma constante hasta la maduración y declina al final de este período. El estado de madurez está caracterizado por el cambio de color de la piel, durante este período ocurren cambios importantes el contenido de agua varía de 87 a 97% y los hidratos de carbono aumentan de 2 a 12%. El contenido de materia seca se incrementa cerca del 7% 15 días después de la antesis hasta 13% en la cosecha. También ocurre una disminución constante de alcoholes, sólidos insolubles, almidón y muchos minerales, pero se incrementan los azúcares totales. Los ácidos no volátiles y los ácidos orgánicos, como el ácido cítrico y al ácido málico,

disminuyen en contenido hasta un mínimo a final del período de madurez (Karla, *et. al.*, 1995).

2.1.3. MADURACIÓN, COSECHA Y MANIPULACIÓN.

2.1.3.1. MADUREZ PARA LA COSECHA.

La papaya debe ser cosechada cuando el color de la cáscara cambia de verde oscuro a verde claro, y cuando empieza a salir una o dos rayas desde la base hacia arriba, los frutos en esta condición continuarán su proceso natural de maduración después de la cosecha, los frutos cosechados antes de esta etapa no mostrarán una maduración completa, y los que se cosechen después son más susceptibles a sufrir daños y magulladuras durante su manejo (Aguirre, *et. al.*, 1996).

2.1.3.2. COSECHA.

La papaya se cosecha manualmente desde el suelo cuando los árboles son jóvenes, y a medida que crecen se utilizan plataformas especiales, al cortarlas con la mano se rota la fruta y se tira suavemente, arrancándolas del árbol el pedúnculo permanece pegado y la fruta se desprende del árbol (Guzmán, 1998).

2.1.3.3. MANEJO DE LA POSTCOSECHA.

Si no se observan los procedimientos apropiados y adecuados durante la cosecha y la post cosecha, la papaya puede ser de baja calidad y arrojar altas pérdidas post cosecha. Se puede obtener una vida de anaquel de cuatro a seis días bajo condiciones tropicales, y de hasta tres semanas a bajas temperaturas de almacenamiento si se cosecha en el nivel de madurez adecuado se controlan las enfermedades, se observan las técnicas de manejo adecuadas y se observan las condiciones de almacenamiento necesarias (Guzmán, 1998).

2.1.4. COMPOSICIÓN DE LA PAPAYA.

El gusto de la papaya está relacionado con el color de la pulpa, sabor, succulencia y el aroma característico; el fruto de la papaya tiene un importante valor alimenticio la composición de la papaya se muestra en la Tabla 02. 100 g. de pulpa contiene entre 2000 a 3000 unidades de vitamina A y 33 a 35 mg de vitamina C y cantidades variable de la vitamina B (Aguirre y Fernández, 1996).

El contenido de azúcares en la papaya varía considerablemente, dependiendo de la variedad y de las condiciones de cultivo, la composición de azúcares en la papaya madura es de 48.3% de sacarosa, 29.8% de glucosa y 21.9% de fructosa el pH de la pulpa de papaya se encuentra entre 5.5 y 5.9. Contiene unos 106 compuestos volátiles (Kalra, *et. al.*, 1995).

Tabla 02: Composición de la papaya

Composición de las papaya por cada 100 g	
Energía Kcal	23,10 – 25.80 Kcal
Humedad	85, 90 – 92,60%
Grasas	0.05 - 0,96 g
Hidratos carbono	6,17 – 6,75 g
Fibra	0,51 -1.30 g
Cenizas	0.31 – 0.66 g
Calcio	12,90 – 40,80 mg
Potasio	183 mg
Sodio	3 mg
Fósforo	12 mg

Fuente: Nakasone y Paull (1998)

En la Tabla 03 se muestra las características físico – químicas de la papaya fresca que a su vez contiene muchas enzimas, las cuales tienen gran importancia en la calidad y estabilidad de los productos procesados de papaya, estas enzimas incluyen a la papaína, invertasa, estearasa, poligalaturonasa, miorinasa y el ácido fosfatasa (Kalra, *et. al.*, 1995).

2.1.5. USOS.

El fruto de la papaya se consume principalmente como fruta fresca y también se utiliza como materia prima para la obtención de la enzima proteolítica papaína, similar en su acción a la pepsina y tripsina, con numerosas aplicaciones en la industria de la alimentación, cosmética y farmacológica. Los frutos también pueden emplearse en la elaboración de purés, néctares, mermeladas, fruta deshidratada, fruta cristalizada, alimentos infantiles, conservas en almíbar y otros (Góngora y León, 1991); además no debe dejarse de lado la opción de consumirlo verde, en picadillos, como si se tratara de una hortaliza, incluso las semillas han sido utilizadas como especia (Guzmán, 1998).

La papaya contiene látex que exuda al ser sesgado o puncionado el epitelio, este látex contiene en mayor concentración a la papaína. En Panamá utilizan el látex de las hojas para eliminar verrugas. Dentro de los diversos usos que se le ha dado a la papaya, también destaca el uso de las semillas en India como desparasitante y antipirético, además se utilizaban infusiones de flores frescas para combatir la tos y contra el impétigo, las hojas y la corteza se usaban para remover manchas y colorantes. En México suele utilizarse con frecuencia una pasta hecha con las semillas para ablandar carne (Bioextracto, 2003).

Tabla 03: Características Físico – Químicas de la papaya fresca

CARACTERISTICAS	Estado de madurez	
	Verde	Pinto
Contenido de humedad ^a	91.41 ± 0.47	88.63 ± 0.52
Sólidos solubles	6.17 ± 0.20	9.19 ± 0.22
Fibra cruda ^a	0.98 ± 0.06	0.91 ± 0.06
Acidez ^b	0.14 ± 0.01	0.14 ± 0.01
Proteínas	0.43 ± 0.01	0.32 ± 0.01
Densidad aparente (kg/m ³)	0.93 ± 0.01	0.94 ± 0.01
Densidad real	1.03 ± 0.01	1.03 ± 0.01
Porosidad	11.08 ± 0.1	8.80 ± 0.01
Índice de madurez	41.1	65.6

^a unidades en % referidas a 100 g. de muestras; y ^B (g Ac. cítrico / g muestra) x 100

Fuente: Chavarro, *et. al.*, (2006)

2.2. DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA.

La deshidratación es una de las técnicas más antiguas utilizada para la conservación de los alimentos el secado al sol de frutas, granos, vegetales, carnes y pescados ha sido ampliamente utilizado desde los albores de la humanidad proporcionando al hombre una posibilidad de subsistencia en épocas de carencia (Fito, *et. al.*, 2001). El principal objetivo de la deshidratación de alimentos es extender la vida útil de los mismos mediante una disminución del contenido de humedad, reduciendo así la actividad de agua e inhibiendo con esto el crecimiento microbiano y la actividad enzimática, factores que provocan el deterioro de los alimentos (Fellows, 1988).

El deshidratado desde el punto de vista industrial es un proceso de transferencia de calor y de masa mediante el cual se hace pasar un producto desde un estado inicial húmedo hasta otro estado menor húmedo, lo que implica extraer el líquido que lo impregna, moja o disuelve (Aparicio, 1995).

El secado o deshidratación de los materiales biológicos (en especial de los alimentos) se usa también como técnica de preservación los microorganismos que provocan la descomposición de los alimentos no pueden crecer y multiplicarse en ausencia del agua (Geankoplis, 1998).

El proceso de deshidratación osmótica podría mejorar algunos de los defectos que procesos de deshidratación industriales ocasionados en los alimentos, como cambios en la textura, color, sabor y mala rehidratación (Le Maguer, 1998).

Algunas ventajas que la deshidratación osmótica presenta sobre los alimentos son:

- Debido a que la ósmosis puede realizarse a bajas temperaturas, la alteración del color y sabor son mínimos (Cosentino, *et. al.*, 1994).
- El sabor “fresco” de productos como las frutas se mantiene mejor si éstas se someten a deshidratación osmótica (Maltini, *et. al.*, 1981).
- La reducción de la acidez por la salida de compuestos hacia la disolución concentrada mejora el sabor en frutas (Talens, 2002).
- La estructura de los alimentos se conserva más adecuadamente debido a que la eliminación del agua se realiza sin cambio de estado (Mugurama, *et. al.*, 1987).
- El proceso de deshidratación osmótica protege de la pérdida de ciertos nutrientes hidrosolubles como la vitamina C (Heng, *et. al.*, 1990).

Estas ventajas hacen de la deshidratación osmótica sea una aplicación interesante como paso previo al secado convencional y/o congelación de frutas y hortalizas (Talens, 2002).

2.2.1. CINÉTICA DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA.

La difusión de agua a través de las membranas celulares es el mecanismo de transporte predominante en el proceso de deshidratación osmótica, sin embargo, deben tenerse en cuenta también otros mecanismos difusionales y capilares que ocurren de forma solapada en los espacios intercelulares o poros del tejido los fenómenos capilares se

incentivan cuando la presión del sistema es baja, además si se producen cambios de presión con relaciones de compresión elevadas, la entrada de fase líquida externa en los espacios intercelulares puede jugar un papel importante en la transferencia de materia global, esta situación se da por ejemplo cuando se aplica un pulso de vacío al principio del tratamiento restituyendo después la presión atmosférica (Fito, 1994).

Por consiguiente, en la deshidratación osmótica se presentan varios fenómenos físicos solapados en diferente extensión que dependen de las condiciones de operación en condiciones de presión atmosférica se solapan básicamente fenómenos de ósmosis y difusión, mientras que a presiones bajas o con cambios de presión se potencian los mecanismos hidrodinámicos y la capilaridad. La cinética de deshidratación osmótica, con frecuencia ha sido analizada en términos de velocidades de pérdida de agua, ganancia de sólidos y pérdida de peso del alimento (Pointing, *et. al.*, 1966).

Se ha propuesto un modelo que contempla la cinética de los cambios de composición del producto a lo largo del proceso desde dos puntos de vista: Por un lado los cambios de composición de la fracción líquida de la fruta, que determinan la calidad del producto y su estabilidad, y por otro lado, la cinética de pérdida de peso, asociada con la pérdida de agua y ganancia de solutos que determina la rentabilidad del proceso (Fito y Chiralt, 1997).

Normalmente, las velocidades de flujo de agua son altas durante las primeras 2 horas y la mayor cantidad de sólidos ganados ocurre dentro de los primeros 30 minutos de tratamiento. A partir de ese punto los flujos se hacen muy lentos, la velocidad de transferencia de masa de sustancias hidrosolubles nativas (azúcares, ácidos orgánicos, minerales, sales, etc.) que atraviesan la membrana es muy pequeña, lo que hace que las pérdidas sean cuantitativamente despreciables (Dixon y Jen, 1977).

2.2.2. FACTORES QUE AFECTAN EL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA.

La cinética de la deshidratación osmótica, con frecuencia ha sido analizada en términos de velocidades de pérdida de agua, ganancia de sólidos y de pérdida de peso del alimento (Pointing, *et. al.*, 1966). Se ha propuesto un modelo que contempla la cinética de los cambios de composición del producto a lo largo del proceso desde dos puntos de vista; Por un lado los cambios de composición de la fase líquida del producto (agua más sólidos

solubles), que determinan la calidad del producto y su estabilidad; por otro lado la cinética de pérdida de peso, asociada con la pérdida de agua y ganancia de solutos, que determina la rentabilidad del proceso (Fito y Chiralt, 1997).

La variación de las condiciones que se dan en el proceso puede causar una modificación en la eficacia del mismo, los factores más importantes que se tienen en cuenta al analizar la cinética de la deshidratación osmótica son las que mencionamos en los siguientes puntos:

2.2.2.1. CARACTERÍSTICA DE LA MATERIA PRIMA.

Durante la transferencia de agua/soluto(s) que ocurre en el proceso de deshidratación osmótica, un factor determinante es la naturaleza, la estructura y/o geometría del tejido a deshidratar que está dada por la especie, la variedad y el estado de madurez. La amplia variación de la física natural de la fruta afecta al comportamiento osmótico y al estado final de los productos deshidratados osmóticamente (Pointing, 1973). La gran variabilidad observada entre las diferentes frutas está en su mayor parte relacionada con la diferente compactación del tejido el contenido inicial de sólidos solubles e insolubles (Lenart y Flink, 1984), tamaño y distribución de los espacios intercelulares, la presencia de gas, la relación entre las diferentes fracciones pécticas (pectina soluble en agua y protopectina), el nivel de gelificación de pectina y la actividad enzimática de la fruta. Se ha observado que diferencias en la estructura de la materia prima, especialmente porosidad, afectan a los mecanismos de transporte implicados en la deshidratación osmótica, de forma que cuanto mayor es la porosidad de la fruta mayor es la ganancia de sólidos (Fito, *et. al.*, 1994).

La geometría y tamaño del producto relacionados con la superficie específica, es otra de las variables importantes a controlar ya que grandes superficies específicas favorecen la pérdida de agua y la ganancia de sólidos (Torreggiani, 1993).

2.2.2.2. NATURALEZA DEL AGENTE OSMÓTICO.

La naturaleza del agente osmótico es fundamental para definir el comportamiento del producto durante los procesos osmóticos de deshidratación, se han utilizado, en diferentes trabajos, gran variedad de agentes osmóticos, principalmente azúcares, como sacarosa, maltosa, glucosa, fructosa, lactosa, maltodextrinas, y trealosa entre otros o mezclas de ellos. En función de su naturaleza y propiedades físicas (viscosidad, poder

depresor de la aw, etc), se observará un comportamiento u otro, ya que la interacción de los solutos con el agua y la matriz sólida del alimento será distinta (Cháfer, *et. al.*, 2001). Por otra parte, el tamaño de la molécula de soluto va a suponer una mayor o menor facilidad para difundir en la estructura compleja de los distintos productos, de los agentes osmóticos anteriormente mencionados el más utilizado para la deshidratación de frutas es la sacarosa (Barat, *et. al.*, 2001) debido a su fácil accesibilidad y aceptable sabor, y por reducir el pardeamiento enzimático (Giraldo, *et. al.*, 2003).

2.2.2.3. CONCENTRACIÓN DEL AGENTE OSMÓTICO.

En los productos osmóticamente deshidratados la concentración de las disoluciones osmóticas utilizadas juegan un papel muy importante en la velocidad del proceso de deshidratación, ya que define la fuerza impulsora para la transferencia de materia, de igual forma la distinta viscosidad de la disolución y de la fase líquida del alimento que va aumentando con el tiempo del proceso tiene un efecto importante en la velocidad del transporte (Talens, *et. al.*, 2000). En cuanto a la cinética, se ha demostrado que la pérdida de agua en frutas sometidas a deshidratación osmótica aumentan al incrementarse la concentración de solutos en la solución osmótica, siendo las soluciones entre 50 y 70 °Brix las de mayor utilización (Rodríguez, *et. al.*, 2003).

El uso de disoluciones de diferente concentración da lugar al desarrollo de diferentes perfiles de concentración en el tejido de las frutas (Albors, 2002). Cuando se tienen grandes fuerzas impulsoras, los tiempos de proceso son más cortos (se acelera la pérdida de agua y la ganancia de solutos) y las células superficiales de la muestra se deshidratan en gran proporción con respecto a las demás capas internas de células del tejido permanecen prácticamente sin alteración, por el contrario en condiciones más suaves, una parte mayor del tejido queda afectada, pero en menor intensidad (Pérez, 2003).

2.2.2.4. PRESIÓN DE TRABAJO.

Durante el proceso de deshidratación osmótica (OD), la presión de trabajo puede desempeñar un papel muy importante influyendo directamente en la cinética de transporte de materia del mismo es importante señalar que la relevancia de esta variable va ligada a la porosidad del producto a deshidratar en los últimos años, numerosos trabajos se han centrado en analizar y comparar los resultados obtenidos de la deshidratación osmótica en

frutas, con el intento de mejorar la calidad de los productos deshidratados trabajando en condiciones de presión atmosférica (OD), y de deshidratación osmótica de vacío (VOD). Cuando se trabaja en condiciones de vacío, se observan cinéticas de transferencia de masa más rápidas debidas a la actuación del mecanismo hidrodinámico que aumenta la superficie de contacto de la fruta con la fase líquida externa (Fito y Pastor, 1994). El problema que presenta el empleo de ésta técnica es el aumento del costo del equipo, sin embargo, si se tiene en cuenta que el mecanismo hidrodinámico (HDM) es muy rápido y sucede cuando se rompe el vacío del sistema se puede aplicar la técnica de deshidratación osmótica, por pulsos de vacío (PVOD) que permite rentabilizar el uso del tanque de vacío, al utilizarlo solo el primer período corto del proceso (Fito y Chiralt, 1995). Los tiempos de vacío aplicados fueron de 5, 10 y 15 minutos con vacíos de 50, 125 y 200 mbar., el vacío a influido en la ganancia de sólidos por lo que recomienda trabajar con estas variables (Ito y Valeriano, 2007).

2.2.2.5. TEMPERATURA DE TRABAJO.

Varios autores han observado que la velocidad del proceso osmótico se ve significativamente afectada por el aumento de la temperatura (Lenart y Flink, 1984). Un incremento en la temperatura del proceso puede provocar un aumento de la velocidad de transferencia de materia, tanto en lo que se refiere a la salida de agua como a la entrada de sólidos solubles, no obstante la influencia de la temperatura no es uniforme en cualquier intervalo; temperaturas comprendidas entre 20 y 40 °C son consideradas como las más óptimas porque no afectan la integridad de los tejidos por debajo de 40-50 °C las membranas celulares mantienen su funcionalidad limitando el transporte a valores de temperatura comprendidos entre 40 – 50 °C se produce un descenso de la viscosidad en la solución de sacarosa y la transferencia de masa es más acusada (Barrera, 2001). Por encima de estas temperaturas la desnaturalización y la pérdida de la actividad biológica celular hacen el transporte mucho más rápido, pero tiene un efecto negativo sobre la estructura del tejido de la fruta y por tanto sobre su textura, así como sobre el sabor y el aroma (Barat, 1998).

Por otro lado se ha de tener presente que los productos deshidratados osmóticamente son alimentos, y como cualquier material biológico sufren importantes cambios con la temperatura, de forma que para el mismo producto trabajando en intervalos de temperatura distintos, puede ser que tengamos un sistema totalmente diferente debido a

los cambios sufridos en su estructura, textura, funcionalidad, etc., (Barat, *et. al.*, 1998). En este sentido el uso de altas temperaturas solo es indicado cuando se desea obtener productos con un alto contenido en sólidos solubles (Lazarides, 2001).

2.2.2.6. AGITACIÓN DEL SISTEMA.

La agitación periódica al sistema también produce un importante aumento en la velocidad de deshidratación a medida que avanza el tiempo de contacto de la fruta con el jarabe, ésta se va rodeando de la propia agua que lixivia, la cual se va difundiendo lentamente por el jarabe concentrado al estar la fruta rodeada de agua, la diferencia de concentraciones entre el jarabe y la pared celular se hace menor con lo que también se disminuye la velocidad de salida de agua (Camacho, 2004).

Si el sistema es agitado, el agua que ha salido es retirada del contacto de la pared de la fruta y será reemplazada por jarabe concentrado que permitirá el nuevo establecimiento de una alta diferencia de concentración, además del aumento de la velocidad de deshidratación (Camacho, 2004).

2.3. SOLUCIONES OSMÓTICAS.

2.3.1. SOLUCIÓN HIPOTÓNICA.

Es aquella que tiene una baja concentración de sólidos con referencia al producto a deshidratar (Horton, 1998).

2.3.2. SOLUCIÓN ISOTÓNICA.

Es aquella que tiene una concentración de sólidos igual a la del producto; por lo tanto, no existe ósmosis o difusión de agua (Horton, 1998).

2.3.3. SOLUCIÓN HIPERTÓNICA.

Es la que tiene una mayor concentración de soluto determinado en relación al producto a ser deshidratado, y es usado en la deshidratación osmótica (Horton, 1998).

2.3.4. PROPIEDADES DE LAS SOLUCIONES HIPERTÓNICAS.

Una propiedad destacable de una solución es su capacidad para ejercer una presión osmótica. Si se separa dos soluciones de concentraciones deferentes por una membrana semipermeable (una membrana que permite el paso de las moléculas del solvente, pero

impide el paso de las del soluto), las moléculas del solvente pasaran de la solución más concentrada a la solución de menor concentración haciendo esta última más concentrada (Horton, 1998).

2.4. MECANISMOS DE TRANSPORTE EN TEJIDOS VEGETALES.

Los mecanismos del transporte de masa al interior del tejido vegetal se pueden realizar por tres vías diferentes (Figura 02) en un tejido sometido a tratamiento osmótico:

- a. **El transporte apoplástico (AP);** Se realiza en el exterior de la membrana celular y puede visualizarse como una difusión de moléculas en la pared celular y los espacios intercelulares.
- b. **El transporte simplástico (SP);** Se realiza en el interior del plasmalema y se caracteriza por el movimiento de moléculas de una célula a otra a través de delgados conductos (Plasmodesmos).
- c. **El transporte a través de la membrana (TM);** Que tiene lugar a través del mecanismo osmótico, es un intercambio entre el protoplasma y el espacio libre que comprende el espacio intercelular y la pared celular (Le Maguer, 1998).

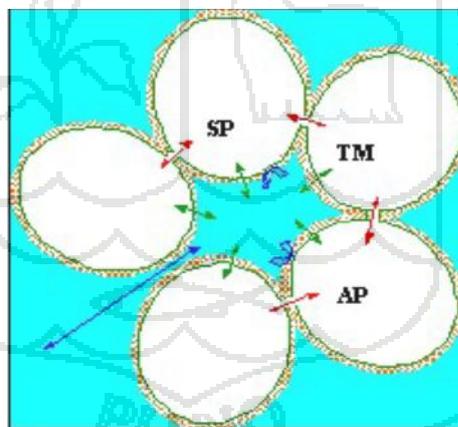


Figura 02 Tipos de transporte en el tejido vegetal: Apoplástico (AP), simplástico (SP) y trans-membrana (TM). (Adaptado de Albors, 2002).

2.5. MECANISMO HIDRODINÁMICO.

Basándose en la estructura porosa de muchos alimentos, se explica la operación de impregnación a vacío (IV) a través del denominado mecanismo hidrodinámico (HDM) (Fito y Pastor, 1994). Este mecanismo se describe y modela (Fito, 1994) como un fenómeno de transferencia de materia que ocurre en operaciones sólido-líquido y es

especialmente importante cuando se trabaja en condiciones de vacío. Según estos autores, lo que le ocurre al producto cuando se sumerge en un líquido y se somete a presiones subatmosféricas es que el gas ocluido en los poros sufre una expansión para equilibrarse con la presión impuesta al sistema, lo que implica por una parte, un nivel de desgasificación de la estructura porosa del alimento, función de la presión aplicada y, por otra, una penetración del líquido por capilaridad una vez alcanzado el equilibrio de presiones en el sistema. Posteriormente cuando se instaura la presión atmosférica se crea un nuevo gradiente de presiones que actúa como fuerza impulsora y que hace que los espacios intercelulares o poros se llenen parcialmente de líquido, la entrada de disolución externa en el tejido supone un aumento de la superficie de contacto sólido-líquido dentro de los poros (espacios intercelulares) del producto, lo que contribuye al incremento de las velocidades de transporte. La cantidad de líquido que impregne el sistema dependerá del nivel de desgasificación y, por tanto, de la presión de trabajo. Esta penetración de líquido puede ser reversible y está controlada por la compresión o expansión del gas ocluido en los espacios intercelulares. Además de variaciones en la composición, los cambios de presión, comportan cambios considerables en la estructura, debido a las propiedades viscoelásticas de los alimentos, lo que ha llevado a la conclusión de que el HDM puede tener lugar acoplado con fenómenos de deformación-relajación (DRP) de la matriz sólida del alimento poroso (Fito y Chiralt, 2000).

2.6. APLICACIONES DE LA IMPREGNACIÓN A VACÍO.

Chiralt, *et. al.*, (1999) menciona las principales ventajas que ofrece la aplicación de vacío durante un corto tiempo al inicio del proceso de deshidratación osmótica, para provocar la impregnación con la disolución de trabajo, que son:

- a) Cinéticas de transferencia de masa más rápidas.
- b) Mayor ganancia de solutos (sal, azúcar, etc.) en tiempos cortos
- c) Mejor conservación del color y mejora del mismo en algunos productos.
- d) Conservación del sabor y aroma del producto fresco, al permitir trabajar a bajas temperaturas sin incrementos importantes del tiempo de proceso.

2.6.1. DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA CON PULSOS DE VACÍO (PVOD)

La operación de deshidratación osmótica puede llevarse a cabo a presión atmosférica, a vacío o con un pulso de vacío al principio del tratamiento restaurando posteriormente la presión atmosférica. Esta última operación, que se ha venido

desarrollando en los últimos años se basa en la restauración de la presión atmosférica una vez expulsado el gas del interior de los poros en condiciones de vacío.

Con la deshidratación osmótica con pulso de vacío (PVOD) el efecto del mecanismo hidrodinámico se consigue en un corto tiempo durante el que se aplica vacío, al restituir la presión atmosférica; Ocurre la entrada del líquido externo en los poros del tejido (Fito y Chiralt, 2000). El aplicar este procedimiento permite manejar las ventajas de la deshidratación osmótica a vacío frente a la deshidratación osmótica convencional pero con un equipamiento más sencillo puesto que el proceso transcurre la mayor parte del tiempo a presión atmosférica y no a vacío. Esto implica un abaratamiento en el proceso industrial al utilizarse un equipo más sencillo y un ahorro de energía al no tener que mantener las condiciones de vacío durante todo el proceso (Chiralt, *et. al.*, 1999). En muchos casos se obtiene una mejor conservación del color (Moreno, *et. al.*, 2000) e incluso la mejora del mismo en algunos productos y se consiguen una mejor preservación de la microestructura y textura en frutas mínimamente procesadas (Martínez, *et. al.*, 1998). Así como una buena conservación del sabor y aroma, al permitir trabajar a bajas temperaturas sin incrementos importantes del tiempo de proceso (Talens, 2003).

2.7. TRANSFERENCIA DE MASA.

Es una operación unitaria que interviene en la destilación, absorción, secado y extracción líquido – líquido. Cuando se está transfiriendo masa de una fase a otra o a través de una sola fase, el mecanismo básico es el mismo ya sea que se trate de gases líquidos o sólidos, la transferencia de masa es decisiva en muchos resultados de la ciencia y la ingeniería, se verifica cuando el componente de una mezcla migra a una misma fase o de una fase a otra, a causa de diferencias de concentración entre dos puntos (Geankoplis, 1998).

El sólido puede estar en forma de una barrera porosa o membrana, separando dos partes de fluido. Como en caso de la difusión gaseosa, el movimiento del líquido puede ser por difusión de una parte del fluido a otra. En virtud de una gradiente de concentración, también puede ser hidrodinámico, como resultado de la diferencia de presión, el movimiento hacia afuera y hacia adentro del soluto a través de los poros se realizan únicamente por difusión (Treybal, 1996).

Existen dos flujos de transferencia de masa muy importantes que están involucrados en la deshidratación osmótica, el primero es el movimiento de agua desde el alimento hacia el medio y, el segundo, es el flujo de soluto del medio hacia el tejido alimentario. Entonces, la deshidratación osmótica es un proceso de transferencia de masa por contradifusión molecular; es decir, la difusión de agua está acompañada por una simultánea difusión en sentidos contrarios, de soluto de la solución al tejido (Horton, 1998).

2.7.1 CLASIFICACIÓN GENERAL DE LA TRANSFERENCIA DE MASA.

El mecanismo de transferencia de masa, depende de la dinámica del sistema en que se lleva a cabo.

- a. **Molecular.-** La masa puede transferirse por medio del movimiento molecular fortuito en los fluidos (movimiento individual de las moléculas), debido a una diferencia de concentraciones la difusión molecular puede ocurrir en sistemas de fluidos estancados o en fluidos que se están moviendo (Garcell, *et. al.*, 1988)
- b. **Convectiva.-** La masa puede transferirse debido al movimiento global del fluido. Puede ocurrir que el movimiento se efectúe en régimen laminar o turbulento el flujo turbulento resulta del movimiento de grandes grupos de moléculas y es influenciado por las características dinámicas del flujo. Tales como densidad, viscosidad, etc. (Garcell, *et. al.*, 1988). Normalmente ambos mecanismos actúan simultáneamente, sin embargo uno puede ser cuantitativamente dominante y por lo tanto para el análisis de un problema en particular, es necesario considerar solo a dicho mecanismo. La transferencia de masa en sólidos porosos, líquidos y gases sigue el mismo principio, descrito por la ley de Fick (Garcell, *et. al.*, 1988).

2.8. DIFUSIÓN.

Fenómeno físico consistente el transporte de materia entre dos medios con distinta concentración. Aunque en la mayoría de los casos está referido al transporte de materia, también es aplicado al transporte de partículas, normalmente los procesos de difusión están sujetos a la ley de Fick. La membrana permeable puede permitir el paso de partículas y disolvente siempre a favor de la gradiente de concentración. La difusión, proceso que no requiere aporte energético (James, *et. al.*, 1988).

En la Tabla 04 se muestra coeficiente de difusión eficaz en la fase líquida de varias frutas entre ellas la papaya durante la deshidratación osmótica haciendo una comparación entre la deshidratación osmótica convencional y aplicando pulsos de vacío sobre la deshidratación osmótica.

Tabla 04: Efecto de IV y la solución osmótica sobre coeficiente de difusión eficaz en la fase líquida de varias frutas durante la deshidratación de Osmótica

Fruta (Variedad)	T (°C)	Dex10 ⁻¹⁰ (m ² /s)		Solución Osmótica
		OD	PVOD	
Pineapple (<i>Cayena lisa</i>)	40	3.43	4.55	65°Brix Sacarosa
Pineapple (<i>Cayena lisa</i>)	50	5.13	5.11	65°Brix Sacarosa
Pineapple (<i>Cayena lisa</i>)	60	4.68	5.95	65°Brix Sacarosa
Banana (<i>Cavendish</i>)	25	4.19	5.02	65°Brix Sacarosa
Banana (<i>Cavendish</i>)	35	3.82	4.06	65°Brix Sacarosa
Banana (<i>Cavendish</i>)	45	3.89	4.51	65°Brix Sacarosa
Papaya (<i>Solo</i>)	30	4	4.7	77°Brix CS (aw=0.739)
Papaya (<i>Solo</i>)	40	6.7	8.4	65°Brix Sacarosa
Apple (<i>Granny Smith</i>)	30	1.36	3.36	65°Brix Sacarosa
Apple (<i>Granny Smith</i>)	40	2.55	5.61	65°Brix Sacarosa
Apple (<i>Granny Smith</i>)	50	4.46	8.8	65°Brix Sacarosa
Mango (<i>Tomy Atkins</i>)	30	0.77	1.13	50°Brix Sacarosa
Mango (<i>Tomy Atkins</i>)	30	1.56	1.91	60°Brix Sacarosa
Kiwifruit (<i>Hayward</i>)	25	2.01	2.26	63°Brix RGM (aw=0.789)
Kiwifruit (<i>Hayward</i>)	35	3.11	3.46	63°Brix RGM (aw=0.789)
Kiwifruit (<i>Hayward</i>)	45	5.93	6.1	63°Brix RGM (aw=0.789)
Kiwifruit (<i>Hayward</i>)	25	1.13	1.65	65°Brix Sacarosa
Kiwifruit (<i>Hayward</i>)	35	2.84	2.87	65°Brix Sacarosa
Kiwifruit (<i>Hayward</i>)	45	3.8	3.97	65°Brix Sacarosa
Apricot (<i>Canino</i>)	30	2.05	1.95	65°Brix Sacarosa
Apricot (<i>Bulida</i>)	30	2.31	2.41	65°Brix Sacarosa
Strawberry (<i>Candler</i>)	30	0.16	0.24	65°Brix Sacarosa

Fuente: Alzamora, *et. al.*, 2000

CS: Jarabe de maíz

RGM: Elemento esencial de uva rectificada

2.8.1. DIFUSIÓN MOLECULAR.

La difusión molecular (o transporte molecular) puede definirse como la transferencia (o el desplazamiento) de las moléculas individuales y desordenadas de las

moléculas. Podemos imaginar a las moléculas desplazándose en línea recta y cambiando su dirección al rebotar en otras moléculas cuando chocan. Puesto que las moléculas se desplazan en trayectorias al azar, la difusión molecular a veces se llama también proceso con trayectoria aleatoria (Geankoplis, 1998).

2.8.2. DIFUSIÓN MOLECULAR EN SÓLIDOS.

La difusión molecular de sólidos, la explicación de la transferencia de masa se divide automáticamente en dos campos mayores de interés (Garcell, *et. al.*, 1988).

- a) La difusión de gases o líquidos en los poros del sólido.
- b) La autodifusión de los constituyentes de los sólidos por medio del movimiento atómico.

2.9. MODELOS MATEMÁTICOS DE TRANSFERENCIA DE MASA.

Para desarrollar un modelo fenomenológico que describa la transferencia de masa en la OD se deben conocer los fundamentos relacionados con la fisicoquímica y la termodinámica del sistema, así como los mecanismos y las cinéticas de transferencia de masa (Barat, 1998).

En lo relacionado a la fisicoquímica, el sistema alimento-disolución osmótica se considera multicomponente y polifásico. Las fases presentes son la disolución osmótica, la matriz sólida del producto, la fase líquida interna (intra y extracelular) y la fase gaseosa atrapada en la estructura porosa (Barat, 1998).

Respecto a la termodinámica, en general, el sistema se encuentra muy alejado del equilibrio, lo que provoca espontáneamente los fenómenos de transporte, aunque durante el proceso se pasa por unos puntos de pseudoequilibrio que están controlados por la cinética. Adicionalmente, el proceso de OD se lleva a cabo en condiciones isotérmicas, lo que implica que la transferencia de energía no es relevante, excepto por la energía que se almacena debida a las tensiones que se provocan por la pérdida de agua celular (mecanismos de deformación-relajación o encogimiento-hinchamiento, generados por fenómenos mecánicos que provocan gradientes de presión en el sistema). En lo que se refiere a los mecanismos de transferencia de masa, pueden presentarse (Barat, 1998).

- a) Mecanismos dependientes del gradiente de concentración que incluyen los mecanismos osmóticos y Fickianos, y que se afectan principalmente por la permeabilidad de la membrana a los diferentes componentes.
- b) Mecanismos dependientes del gradiente de presión, que son los mecanismos hidrodinámicos (HDM) que son inducidos por la aplicación de vacío o por las tensiones liberadas en el proceso de relajación y que están condicionados por la estructura del alimento (porosidad).
- c) Mecanismos de vaporización-condensación cuando se trabaja a presiones cercanas a la presión de vapor.

La alta complejidad del sistema hace que la precisión predictiva sea difícil cuando se usan modelos matemáticos rigurosos y que ésta dependa de la determinación apropiada de las condiciones de equilibrio y de parámetros como la difusividad.

Esta dificultad, hace que en la mayoría de los casos, se interprete la información experimental bajo esquemas empíricos o semiempíricos que son válidos solamente para reproducir condiciones semejantes a las del trabajo del cual se obtuvieron. La metodología que se utiliza es la correlación directa de la pérdida de agua y la ganancia de sólidos con algunas variables de proceso o el planteamiento de un ajuste polinómico, sin embargo, estos métodos no permiten la extrapolación más allá del rango experimental, necesitan un alto número de parámetros que no tienen significado físico, o no siempre generan un buen coeficiente de correlación (Parjoko, *et. al.*, 1996).

Generalmente, cuando se quiere utilizar un modelo fenomenológico para procesos a presión atmosférica (OD) se emplea el modelo de Crank, que consiste en una solución de la ley de Fick en estado estacionario y que representa el mecanismo difusional (Crank, 1964).

2.9.1. MODELO DE CRANK.

Consiste en un grupo de soluciones de la ley de difusión de Fick para diferentes geometrías, condiciones límite y condiciones iniciales desarrolladas por Crank. Este modelo ha sido empleado por muchos autores ya que es el modelo fenomenológico más conocido para representar el mecanismo difusional (Giraldo, *et. al.*, 2003).

La difusividad efectiva explica al mismo tiempo la variación de las propiedades físicas del tejido y la influencia de las características de la disolución y de las variables de

proceso, por lo tanto, observando simplemente la magnitud de difusividad efectiva (De) no se entiende explícitamente el impacto de los diferentes parámetros sobre el proceso de OD (Yao y Le Maguer, 1997).

En las ecuaciones siguientes se presenta la solución para láminas planas semi-infinitas (Barat, 1998):

Para tiempos largos

$$\frac{M_0^j - M_t^j}{M_0^j - M^j} = 1 - \frac{8}{\pi^2} e^{-\left\{ -\frac{\pi^2 F_0}{4} \right\}} \dots \dots \dots (2.1)$$

Para tiempos cortos

$$\frac{M_0^j - M_t^j}{M_0^j - M^j} = 2 \left\{ \frac{F_0}{\pi} \right\}^{0.5} \dots \dots \dots (2.2)$$

2.9.2. MODELO DE MAGEE.

Este modelo fue propuesto por Hawkes y Flink (1978) (citado por Moreira, *et. al.*, 2003) pero varios autores lo atribuyen a Magee, quien hizo algunas modificaciones (Giraldo, *et. al.*, 2003).

$$\frac{M_0^j - M_t^j}{M_0^j - M^j} = Kt^{0.5} + K_0 \dots \dots \dots (2.3)$$

Donde:

M = masa, kg

K y K_0 son parámetros cinéticos empíricos, pero se les puede asignar un significado físico; k se asocia con las velocidades de transferencia de agua y de solutos que ocurren a través del mecanismo osmótico-difusional (constante cinética de difusión) dado que la transferencia de masa que ocurre por mecanismos difusionales es proporcional a la raíz cuadrada del tiempo en procesos cortos de acuerdo a la ecuación de Crank y k_0 cuantifica la ganancia o pérdida de masa que ocurre después de tiempos de proceso muy cortos debido a la acción del HDM promovido por presiones impuestas o capilares (Giraldo, *et. al.*, 2003). Este modelo sólo es válido para tiempos cortos (Parjoko, *et. al.*, 1996) o sea durante las primeras etapas de deshidratación, en las cuales los cambios son relevantes para los procesos industriales. Definen los parámetros k_0 y k como coeficientes globales de

transferencia de masa ya que tienen en cuenta las resistencias internas y externas a la transferencia, lo que no hace el modelo de Crank (Serenio, *et. al.*, 2001).

2.9.3. MODELO DE MECANISMO HIDRODINÁMICO. (HDM).

Este modelo se emplea en el proceso de deshidratación osmótica con aplicación de presiones de vacío La cinética del proceso de OD se modela en forma diferente a la del proceso de PVOD. Con OD, básicamente se utiliza la ley de Fick ya que el fenómeno está gobernado principalmente por el mecanismo pseudodifusional (PD) mientras que con PVOD debe tenerse en cuenta, además, el mecanismo hidrodinámico (HDM). El modelo combina los mecanismos difusional e hidrodinámico, asumiendo que el mecanismo hidrodinámico (HDM) (Barat, 1998).

$$Z_s = \frac{x_s}{x_w + x_s} \dots\dots\dots(2.4)$$

Los cambios en la composición de la fase líquida de la fruta se ha modelizado mediante la ecuación (2.5), donde la fuerza impulsora reducida de solutos (Y), coincide con la de agua (Barat, *et. al.*, 1998).

$$Y = \frac{Z_s^t - y_s}{Z_s^0 - y_s} = \frac{Z_w^t - y_w}{Z_w^0 - y_w} \dots\dots\dots(2.5)$$

Donde:

Z: fracción másica del componente (en el fase líquida o sólida S, W)

Sin embargo, para contemplar la acción de mecanismo hidrodinámico (HDM) la ecuación anterior se corrigió definiendo la fuerza impulsora después de la acción del pulso de con la siguiente ecuación:

$$Y_s^t|_{HDM} = \frac{Z_s^t - y_s}{Z_s^t|_{HDM} - y_s} \dots\dots\dots(2.6)$$

Como la fase líquida del alimento se considera un sistema binario compuesto por agua y solutos, el coeficiente de difusión efectivo es el mismo para ambos componentes (Barat, 1998).

Donde: $Z_s^t|_{HDM}$ es la composición de la fase líquida después del pulso de vacío, estimada a partir de la cantidad de líquido externo impregnado con un balance de masas (ecuación 2.7) (Cháfer, *et. al.*, 2001).

$$Z_s^t|_{HDM, t=0} = \frac{z_s^t(1 - X_I)(x_s^0 + x_w^0) + y_s X_I}{(1 - X_I)(x_s^0 + x_w^0) + X_I} \dots\dots\dots(2.7)$$

La fracción másica de líquido impregnado (X_I) en la muestra se calculó mediante la ecuación (2.8), a partir de la constante cinética k_s^0 , deducida de las ganancias de solutos (Cháfer, *et. al.*, 2001).

$$X_I = \frac{k_s^0 / y_s}{(1 + k_s^0 / y_s)} \dots\dots\dots(2.8)$$

Para obtener los coeficientes de difusión efectiva en la fase líquida de la fruta se utilizó una ecuación fickiana simplificada, al trabajar con muestras de papaya en forma de láminas de espesor conocido. La ecuación empleada para efectuar los cálculos se obtuvo a partir de la solución integrada para tiempos cortos de la segunda ley de Fick correspondiente a una lámina infinita de semi-espesor l (m.) considerando únicamente un término de la disolución en serie (Crack, 1975).

$$1 - Y = \left(\frac{4D_e t}{l^2 f} \right)^{1/2} \dots\dots\dots(2.9)$$

Donde:

- Y : Fuerza impulsora del proceso.
- D_e : Difusividad efectiva.
- t : Tiempo.
- l : semiespesor de la muestra

El modelo HDM es un modelo semiempírico que tiene en cuenta el tamaño y la forma de la muestra a diferencia de los modelos anteriores. Aunque es fácil de utilizar, requiere de algunos parámetros y propiedades del producto que no siempre están disponibles en la literatura y como en los demás casos está limitado a los datos

experimentales para los que se obtuvieron los parámetros. Este modelo no predice el equilibrio (Barat, 1998).

Las ecuaciones que se utilizan en OD no se ajustan a PVOD debido, en primer lugar, al aumento de peso de la muestra durante los primeros momentos del proceso (se presenta impregnación y deshidratación simultáneamente) y en segundo lugar, a las características estructurales (porosidad y resistencia mecánica) que se vuelven más importantes debido a que el fenómeno de transferencia no sólo se produce desde el interior hacia la interfase alimento/disolución osmótica, sino también hacia el espacio poroso ocupado por la disolución osmótica (Barat, 1998).

2.10. MATERIALES DE INGENIERÍA.

2.10.1. ACEROS INOXIDABLES.

Se define como una aleación de acero con un mínimo de 10% de cromo. El acero inoxidable es brillante y es resistente a la corrosión, dado que el cromo, y otros metales que contiene, posee gran afinidad por el oxígeno y reacciona con él formando una capa pasivadora, evitando así la corrosión del hierro. Sin embargo, esta capa puede ser afectada por algunos ácidos, dando lugar a que el hierro sea atacado y oxidado por mecanismos intergranulares o picaduras generalizadas. Contiene, por definición, un mínimo de 10,5% de cromo. Algunos tipos de acero inoxidable contienen además otros elementos aleantes; los principales son el níquel y el molibdeno (Vélez, 2005).

2.10.1.1. CLASIFICACIÓN DE ACEROS INOXIDABLES.

a) Aceros ferríticos:

Estructura ferrítica a cualquier temperatura (o se convierte en estructura austenítica en el calentamiento). El grano no se regenera (Velez, 2005)

Composición:

- Resistencia a la corrosión superior a la de los martensíticos
- 15-18% de cromo y una máxima de 0,12% de carbono
- 20-80% de cromo y una máxima de 0,35% de carbono

- Aceros al cromo-aluminio hasta un 4% más resistentes a la oxidación

b) Aceros martensíticos

Gran dureza cuando se los enfría rápidamente una vez austenizados.

- 12 - 14 % de cromo, 0,20 – 0,50% de carbono
- Principalmente en cuchillería.
- 16-18% de cromo, 0,60-1; 20% de carbono

c) Aceros austeníticos:

Estructura austeníticos a cualquier temperatura

Baja conductividad calorífica es el tipo de aceros más utilizados

Tipo normalizado AISI –314 Acero inoxidable austenítico al cromo níquel conocido como 18/8. Contiene 0,08% de carbono, 18% de cromo y 9% de níquel.

Muy dúctil y resistente a la corrosión atmosférica, al agua de mar, al ataque de productos alimenticios, ciertos ácidos minerales y de la mayoría de los ácidos orgánicos (Velez, 2005).

2.10.2. SOLDADURA TIG.

(*Tungsten Inert Gas*), se caracteriza por el empleo de un electrodo permanente de tungsteno, aleado a veces con torio o zirconio en porcentajes no superiores a un 2%. Dada la elevada resistencia a la temperatura del tungsteno (funde a 3410 °C), acompañada de la protección del gas, la punta del electrodo apenas se desgasta tras un uso prolongado. Los gases más utilizados para la protección del arco en esta soldadura son el argón y el helio, o mezclas de ambos (Kalpakjian y Schmid, 2004).

2.10.3. MÁQUINAS ELÉCTRICAS.

2.10.3.1. ELECTROBOMBA.

La bomba es una máquina que absorbe energía mecánica que puede provenir de un motor eléctrico, térmico, etc., y la transforma en energía que la transfiere a un fluido como energía hidráulica la cual permite que el fluido pueda ser transportado de un lugar a otro, a un mismo nivel y/o a diferentes niveles y/o a diferentes velocidades.

2.10.3.2. BOMBA DE VACÍO.

Una bomba de vacío extrae moléculas de gas de un volumen sellado, para crear un vacío cuya descripción es de 1/8 HP una potencia 50/60 Hz consiguiendo altos niveles de vacío en tiempos de evacuados cortos. Por el diseño que presenta se logra obtener una calidad de vacío muy elevada asegurando la eliminación de la humedad (Dosivac, 2005).



III. MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN.

El presente trabajo de investigación se realizó en las ciudades de Juliaca y Puno, el equipo se construyó en los talleres frío calor de Juliaca. La parte experimental se realizó en la Universidad Nacional del Altiplano – Puno, Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, Laboratorios de Ingenierías y productos Agrícolas.

3.2. MATERIALES.

3.2.1. MATERIA PRIMA.

Los experimentos se llevaron a cabo utilizando papaya (*Carica papaya* L.) de la variedad Pauna amarilla adquiridos en un mercado local, de procedencia de la ciudad de Quillabamba. La elección de las frutas se basó en la homogeneidad de color, tamaño, grado de madurez, ausencia de defectos superficiales y sólidos solubles entre 8 y 9 °Brix para poder obtener una mayor homogeneidad de las muestras.

Como agente osmótico se utilizaron soluciones de sacarosa (azúcar comercial de grado alimentario) en agua potable a tres concentraciones (30, 45 y 60°Brix).

3.2.2. MATERIALES Y EQUIPOS DE LABORATORIO.

Para la evaluación de pérdida de masa, pérdida de agua, ganancia de sólidos y la difusividad efectiva, se utilizó los siguientes materiales y equipos:

a. MATERIALES.

- Cuchillos.
- Tabla de picar.
- Cestas de plástico.
- Pipeta Pasteur de 5 ml.
- Lunas de reloj.
- Vasos precipitado de 250 y 500 ml.
- Pinza.
- Papel absorbente.

b. EQUIPOS

- Balanza digital
- Refractómetro Abbe de mesa
- Estufas
- Termómetro.

3.2.3 MATERIALES UTILIZADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO.

- Plancha de acero inoxidable de 2.5mm de espesor (AISI 304).
- Plancha de acero inoxidable de 1.0mm de espesor (AISI 304).
- Tubos de acero inoxidable de ½” de diámetro (AISI 304).
- Tubos cuadrado de acero estructural de ¾”
- Tuercas, pernos y tornillos de acero galvanizado
- Tubos de PVC de ½” de diámetro.
- Válvulas de globo de ½” de diámetro.
- Codos de PVC de ½” de diámetro.
- Pintura.
- Bomba eléctrica de agua de 0.5 HP.
- Bomba de vacío DOSIVAC DVR 30 0.5. HP.
- Vacuometro.
- Manguera de presión.
- Sensor de temperatura Roller Bag.
- Controlador de temperatura TIC-17RGTi.
- Interruptores.
- Cable blindado n° 12.
- Palanca termoeléctrica.

3.3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.

3.3.1. CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA CON PULSO DE VACÍO.

El equipo de deshidratación osmótica se construyó considerando los conceptos de transferencia de masa para deshidratación osmótica de papaya y el procedimiento de flujo alternado para favorecer los intercambios líquidos de productos alimenticios y equipo para realizarlo invención de Fito, (2000).

Los aspectos más importantes sobre la construcción fueron:

- Dimensiones (altura diámetro) de tanque.
- Presión de trabajo
- Temperatura de trabajo.
- Naturaleza corrosiva de los materiales en contacto con el producto.
- Método de agitación.
- Materiales disponibles.

Para la construcción del tanque o reactor se consideró la relación entre la altura y el diámetro 1.75 o $7/4$, para una estabilidad del cilindro. Los cálculos se muestran en el Anexo A.

Para determinar el espesor del material de construcción del tanque se tomó las formulas de diseño de recipientes de pared delgada dada por ASME.

3.3.2 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL PARA LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA Y APLICACIÓN DE PULSO DE VACIO.

Las papayas seleccionadas eran cortadas a la mitad, eliminando semillas y piel superficial de la pulpa. Cada mitad se dividió longitudinalmente en 3 partes, dependiendo del tamaño de las mismas. Cada sección longitudinal se obtuvo láminas de 5 por 3cm de superficie y de 1 cm de espesor, desechando la sección del pedúnculo y la parte final de la rebanada, finalmente se eliminaba la piel de cada muestra individual.

Las muestras se pesaron y colocaron en cestas de acero inoxidable. Cada cesta estaba dividida en cuatro celdas individuales para poder identificar a *posteriori* las muestras. Debido a este modo de identificación de las mismas, se pudo facilitar el estudio del efecto de la deshidratación osmótica sobre cada una de ellas y referir las variaciones de sus características respecto a la muestra fresca de la que procedían.

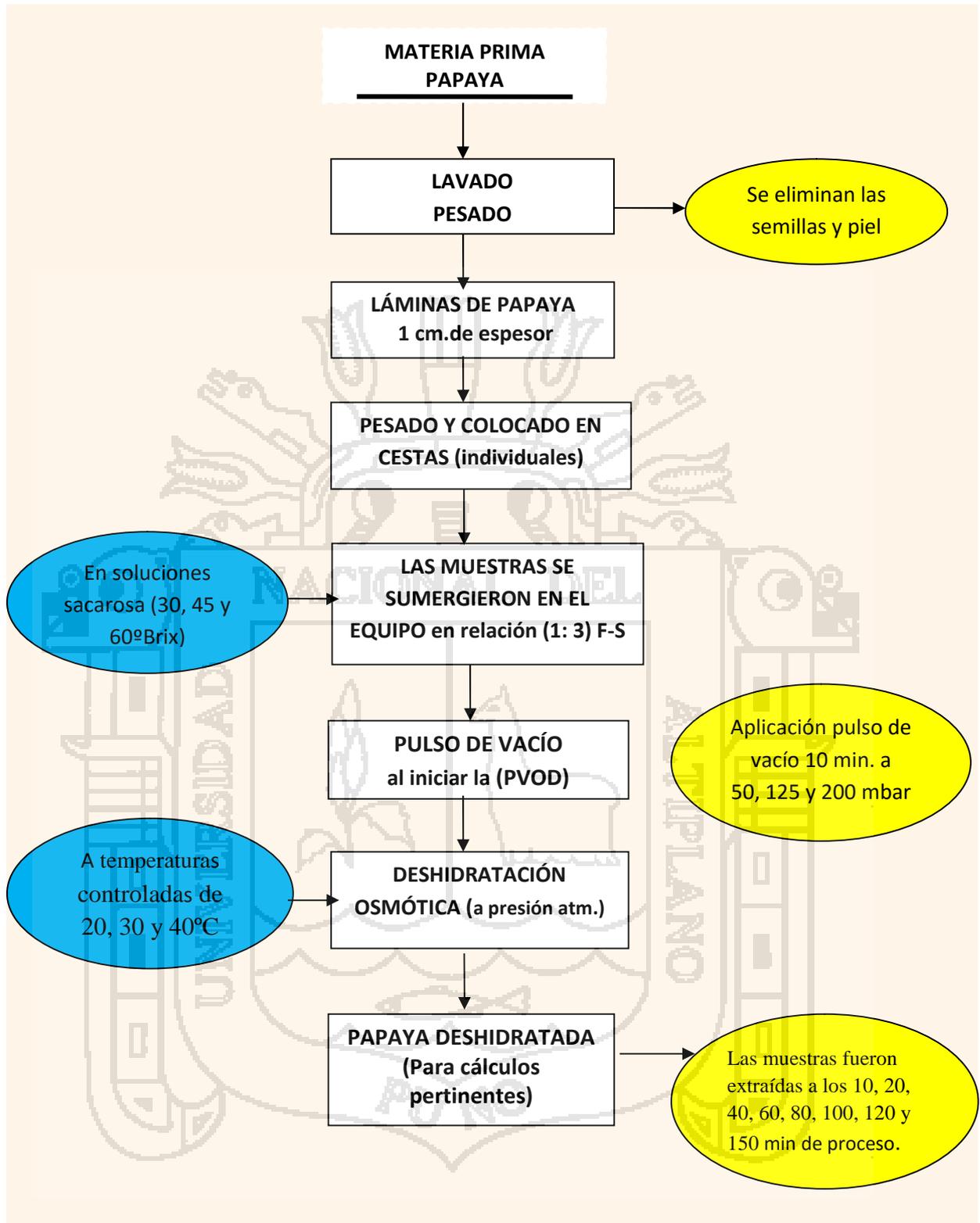


Figura 03. Esquema del procedimiento experimental deshidratación osmótica y aplicación de pulso de vacío.

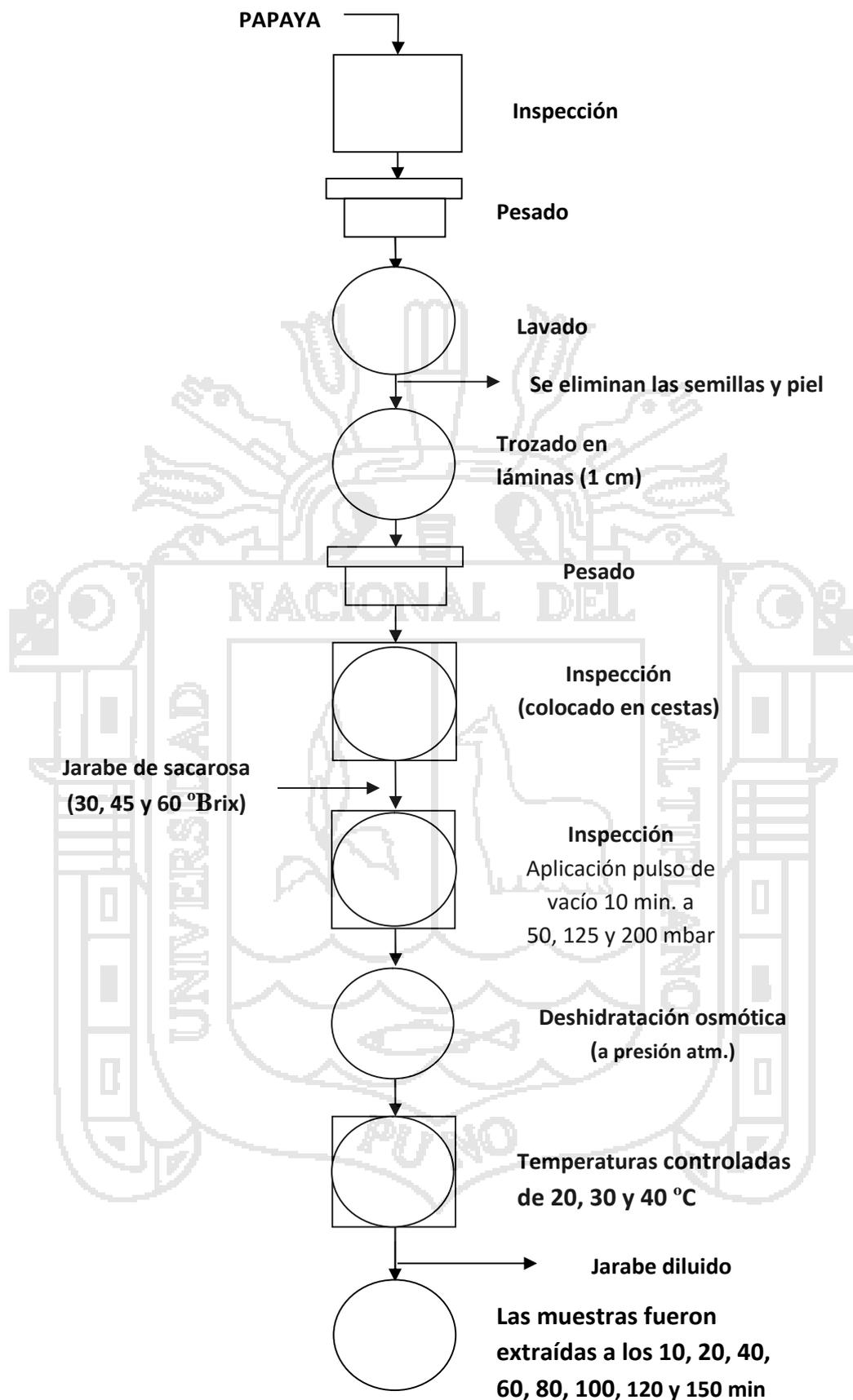


Figura 04. Diagrama de procesos de la deshidratación osmótica y aplicación de pulso de vacío.

En las experiencias realizadas se aplicó el pulso de vacío, éste se llevó a cabo antes de iniciar la operación de deshidratación osmótica (PVOD). Los recipientes con las muestras se sumergieron en las disoluciones (30, 45 y 60°Brix) en un equipo de impregnación a vacío a nivel de planta piloto, construido para este fin; conformado por una cámara de vacío donde las presiones subatmosféricas se consiguen mediante una bomba de vacío, conectada al sistema, y con vacuometro que permite controlar la presión de trabajo. La presión de vacío fue de 50, 125 y 200 mbar, y ésta se mantuvo durante 10 min. Al restablecer la presión atmosférica, las muestras fueron sometidas a los tratamientos de deshidratación osmótica. Los cuales permanecían a temperatura constante. Las muestras fueron extraídas a los 10, 20, 40, 60, 80, 100, 120 y 150 minutos respectivamente. Se trabajó a temperatura controlada de 20, 30 y 40°C y se aseguró una suficiente recirculación de la disolución osmótica para prevenir posibles diluciones en la zona próxima a la interfase. Una vez extraídas las muestras de las cestas, se eliminó la disolución superficial utilizando papel absorbente, posteriormente se realizaron los siguientes controles a cada una de ellas: peso, humedad y contenido en sólidos solubles, que se muestra en las **Figuras 03 y 04** un diagrama de flujo y un diagrama de procesos respectivamente.

3.3.2.1. DETERMINACIÓN DE HUMEDAD

Las medidas del contenido en agua fueron efectuadas mediante método oficial (AOAC, 1980). Este método consiste en la determinación de la pérdida de peso de la muestra, mediante desecación de la misma en una estufa a una temperatura constante de 60°C, dejando secar hasta peso constante. Una vez transcurrido el tiempo de secado de las muestras (2 días), éstas fueron enfriadas (en desecador con una base de sílica gel) y pesadas en una balanza digital de precisión 0.01 g. La variación de masa, antes y después del secado en la estufa, referida al peso final de la muestra proporciona la humedad de la misma (g agua / g muestra).

La composición en agua se expresó en términos de fracción másica según la siguiente expresión.

$$x_w = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_0} \left[\frac{g \text{ agua}}{g \text{ muestra}} \right] \quad (3.1)$$

Donde:

m_0 : Masa recipiente (g)

m_1 : Masa del recipiente con muestra húmeda (g)

m_2 : Masa del recipiente con muestra seca (g)

3.3.2.2. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE SÓLIDOS SOLUBLES.

La determinación de sólidos solubles se realizó por refractometría (°Brix) en las muestras homogenizadas previamente con un mortero. Para la determinación se empleó un refractómetro ABBE, con una sensibilidad de 0.1 °Brix; a 20 °C. La lectura de Brix (Bx) corresponde al contenido en sólidos solubles en la fracción líquida de la muestra, expresada en tanto por cien (Z_s).

$$Bx = Z_s 100 \left[\frac{g \text{ sólidos solubles}}{g \text{ fracción líquida}} \% \right] \dots\dots\dots(3.2)$$

Donde:

Bx: Brix

Z_s : Fracción líquida de la muestra

La composición de sólidos solubles puede ahora referirse, en términos de fracciones másicas, respecto a la composición global (fracción líquida + matriz sólida) mediante la expresión:

$$x_s = \frac{Z_s x_w}{(1 - Z_s)} \left[\frac{g \text{ sólidos sol.}}{g \text{ totales}} \right] \dots\dots\dots(3.3)$$

Donde:

X_s : Fracción másica de sólidos solubles (g/g)

Z_s : Porcentaje de sólidos solubles en la fase líquida

X_w : Fracción másica de agua (g/g)

3.3.2.3. DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN DE MASA.

Se determinó la variación de masa de cada muestra, realizando una medición del peso antes y después de cada tratamiento, para ello se empleó una balanza digital de precisión 0.01 g. La ecuación que se empleó para calcular la variación de masa es la siguiente:

$$\Delta M = \frac{M_t - M_o}{M_o} \left[\frac{g \text{ producto}}{g \text{ materia fresca}} \right] \dots\dots\dots(3.4)$$

Donde:

M : Variación de masa

M_o : masa inicial de la muestra (g de materia fresca)

M_t : masa de muestra al tiempo t (g de producto)

3.3.2.4. DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN DE AGUA Y SÓLIDOS SOLUBLES.

Para calcular las ganancias netas de agua (M_w) y de solutos (M_s), se utilizaron las siguientes expresiones propuestas por Shi y Fito (1994):

$$\Delta M_w = \frac{M_t x_w^t - M_o x_w^o}{M_o} \left[\frac{g \text{ agua}}{g \text{ materia fresca}} \right] \dots\dots\dots(3.5)$$

$$\Delta M_s = \frac{M_t x_s^t - M_o x_s^o}{M_o} \left[\frac{g \text{ sólidos sol.}}{g \text{ materia fresca}} \right] \dots\dots\dots(3.6)$$

Donde:

M_o = masa inicial de muestra (g)

M_t = masa de muestra a tiempo t (g)

x_s^o = Fracción másica de sólidos solubles de la muestra a tiempo 0 (g/g)

x_s^t = Fracción másica de sólidos solubles de la muestra a tiempo t (g/g)

x_w^o = Fracción másica de agua de la muestra a tiempo 0 (g/g)

x_w^t = Fracción másica de agua de la muestra a tiempo t (g/g)

Para todas las experiencias realizadas se comprobaron los balances de materia mediante la siguiente expresión:

$$\Delta M = \Delta M_w + \Delta M_s \dots\dots\dots(3.7)$$

La modelización de los valores de variación de masa total, sólidos solubles y agua frente a la raíz cuadrada del tiempo, permite obtener los coeficientes cinéticos k^0 y k para la pérdida de peso, ganancia de solutos y pérdida de agua, respectivamente (ecuaciones 3.8, 3.9 y 3.10). (Shi y Fito, 1994).

$$\Delta M = kt^{0.5} + k^0 \dots\dots\dots(3.8)$$

$$\Delta M_s = k_s t^{0.5} + k_s^0 \dots\dots\dots(3.9)$$

$$\Delta M_w = k_w t^{0.5} + k_w^0 \dots\dots\dots(3.10)$$

3.3.3. DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE DIFUSIVIDAD EFECTIVA EN PAPAYA.

Los cambios de la composición en la fracción líquida de la fruta a lo largo del proceso de deshidratación osmótica con pulsos de vacío que determinan el nivel de concentración de la misma y por tanto su actividad de agua viene dada por la siguiente ecuación:

$$Z_s = \frac{x_s}{x_w + x_s} \dots\dots\dots(3.11)$$

Los cambios en la composición de la fase líquida de la fruta se ha modelizado mediante la ecuación 3.12, donde la fuerza impulsora reducida de solutos (Y), coincide con la de agua. (Barat, *et. Al.*, 1998).

$$Y = \frac{Z_s^t - y_s}{Z_s^0 - y_s} = \frac{Z_w^t - y_w}{Z_w^0 - y_w} \dots\dots\dots(3.12)$$

Sin embargo, para contemplar la acción de mecanismo hidrodinámico (HDM) la ecuación anterior se corrigió definiendo la fuerza impulsora después de la acción del pulso devacío con la siguiente ecuación:

$$Y_s^t|_{HDM} = \frac{Z_s^t - y_s}{Z_s^t|_{HDM} - y_s} \dots\dots\dots(3.13)$$

Donde: $Z_s^t|_{HDM}$ es la composición de la fase líquida después del pulso de vacío, estimada a partir de la cantidad de líquido externo impregnado con un balance de masas (ecuación 3.14) (Cháfer, *et. al.*, 2001).

$$Z_s^t|_{HDM, t=0} = \frac{z_s^t(1 - X_I)(x_s^0 + x_w^0) + y_s X_I}{(1 - X_I)(x_s^0 + x_w^0) + X_I} \dots\dots\dots(3.14)$$

La fracción másica de líquido impregnado (X_I) en la muestra se calculó mediante la ecuación (3.15), a partir de la constante cinética k_s^0 , deducida de las ganancias de solutos. (Cháfer, *et. al.*, 2001).

$$X_I = \frac{k_s^0 / y_s}{(1 + k_s^0 / y_s)} \dots\dots\dots(3.15)$$

Para obtener los coeficientes de difusión efectiva en la fase líquida de la fruta se utilizó una ecuación fickiana simplificada, al trabajar con muestras de papaya en forma de láminas de espesor conocido. La ecuación empleada para efectuar los cálculos se obtuvo a partir de la solución integrada para tiempos cortos de la segunda ley de Fick correspondiente a una lámina infinita de semiespesor (l m.) considerando únicamente un término de la disolución en serie (Crack, 1975).

$$1 - Y = \left(\frac{4D_e t}{l^2 f} \right)^{1/2} \dots\dots\dots(3.16)$$

Donde:

Y: Fuerza impulsora del proceso.

D_e : Difusividad efectiva.

t: Tiempo.

l : semiespesor de la muestra

3.4. DISEÑO EXPERIMENTAL.

El proceso descrito se realizó para cada una de los tratamientos experimentales de acuerdo a un diseño compuesto central rotatable DCC (Cuadro 03) de tres factores con tres niveles, dos puntos estrellas, y seis repeticiones del punto central. ya que permite evaluar directamente la curvatura de un modelo con dos replicas de tratamiento El diseño central compuesto, permite evaluar a la vez cinco niveles de cada factor tal como se muestra en el cuadro 01. (Ibáñez, 2005).

Cuadro 01. Cinco niveles del Diseño central compuesto (DCC)

NIVEL CODIFICADO (Xi)	DENOMINACIÓN
-	Nivel mínimo
-1	Nivel bajo
0	Nivel medio
+1	Nivel alto
+	Nivel máximo

El número de tratamientos es igual a:

$$N = 2^P + 2P + C$$

$$= (2^P)^{1/4}$$

Donde:

N : Es el número total de tratamientos u observaciones.

2^P : Es el número de tratamientos básicos de la parte axial o estrella o Combinaciones de tratamientos.

$2P$: Corresponde a los tratamientos de la parte axial o estrella o combinación de tratamientos en los puntos axiales del diseño.

C : Constituyen el tratamiento central que se repite un número determinado de veces dependiendo del número de factores o replicas en el centro del diseño.

P : Número de factores de estudio o variables.

3.4.1. FACTORES DE ESTUDIO.

Cuadro 02: Factores de estudio

FACTOR	NIVEL BAJO (-1)	NIVEL ALTO (+1)
A: PRESIÓN DE VACIO (mbar)	50	200
B: CONCENTRACIÓN (°Brix)	30	60
C: TEMPERATURA (°C)	20	40

3.4.2. VARIABLES DE RESPUESTA.

- Variación de masa.
- Variación de agua
- Variación de sólidos solubles.
- Coeficiente de Difusividad efectiva en papaya.

3.4.3. MATRIZ DEL DISEÑO.

En el Cuadro 03 Se muestra el número de tratamientos evaluados para determinar la difusividad efectiva, Variación de masa, Variación de agua y sólidos solubles.

Cuadro 03. Número de tratamientos para tres factores en un DCC

TRATAMIENTOS	FACTORES NATURALES			FACTORES CODIFICABLES		
	X ₁	X ₂	X ₃	Presión	Concentración	Temperatura
1	-1	-1	-1	50	30	20
2	+1	-1	-1	200	30	20
3	-1	+1	-1	50	60	20
4	+1	+1	-1	200	60	20
5	-1	-1	+1	50	30	40
6	+1	-1	+1	200	30	40
7	-1	+1	+1	50	60	40
8	+1	+1	+1	200	60	40
9	-1.68	0	0	0	45	30
10	1.68	0	0	250	45	30
11	0	-1.68	0	125	20	30
12	0	1.68	0	125	70	30
13	0	0	-1.68	125	45	13
14	0	0	1.68	125	45	47
15	0	0	0	125	45	30
16	0	0	0	125	45	30
17	0	0	0	125	45	30
18	0	0	0	125	45	30
19	0	0	0	125	45	30
20	0	0	0	125	45	30

Fuente: Elaboración propia

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES.

4.1. CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA CON PULSOS DE VACÍO.

En la Figura 05 se muestra el equipo de deshidratación osmótica con pulsos de vacío, con una capacidad de 2 Kg de alimento: Dado que se trata de una instalación experimental, solo se ha montado un equipo fijo.

El tanque consiste fundamentalmente en un cilindro con chaqueta de 24 cm de diámetro y 42 cm de altura cuyos cálculos y materiales se muestran en los anexos A y B respectivamente.

La calefacción de la solución osmótica circulante se realiza mediante un termostato y se controla por medio de sensor de temperatura. La solución osmótica se recircula mediante una bomba de agua y se regula mediante la válvula de compuerta.

El vacío del sistema se consigue mediante una bomba de vacío y se controla mediante el vacuometro



Figura 05: Equipo de deshidratación osmótica con pulsos de vacío en el laboratorio de ingeniería de la escuela profesional de Ingeniería Agroindustrial.

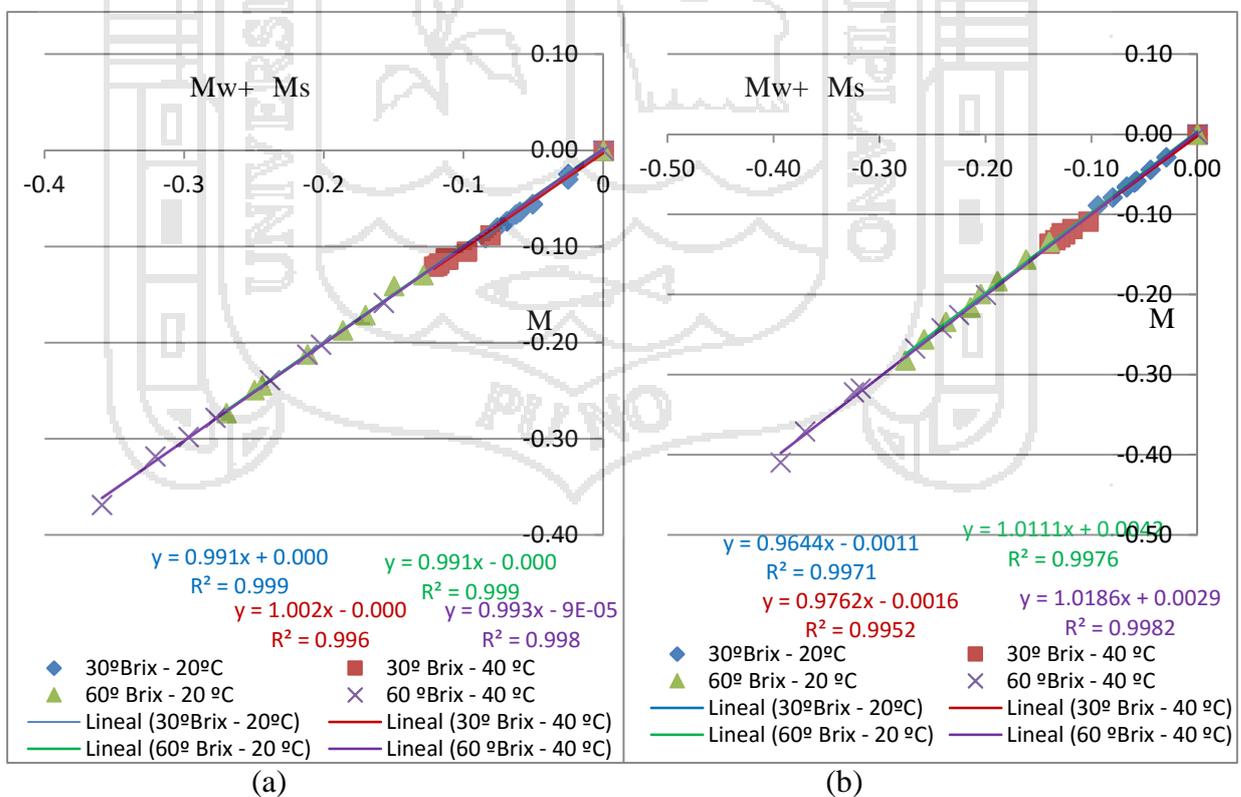
4.2. CINÉTICA DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE PAPAYA.

4.2.1. COMPROBACIÓN DE BALANCE DE MASA.

La ecuación 3.7, define la relación existente entre la concentración de los componentes a un tiempo determinado, asumiendo que la variación de masa es debida únicamente al flujo de agua desde el producto al exterior (solución osmótica) y a la ganancia de solutos por parte de la fruta desde la solución. Para verificar los balances de materia y evaluar posibles errores experimentales, se calcularon las pérdidas y ganancias netas de agua y solutos, comparándolas con las pérdidas de masa total. Los valores obtenidos se detallan en el anexo D en los Cuadros del 1al 20.

El Gráfico 01 muestra los balances de materia para los diferentes experimentos realizados. Todos los puntos se distribuyen sobre la diagonal, lo que pone de manifiesto los bajos errores experimentales y la fiabilidad de los resultados. Se observa un comportamiento lineal con un alto valor del coeficiente de correlación ($R^2 = 0.99$). Estos resultados coinciden con lo propuesto por Barat, *et. al.*, (2001).

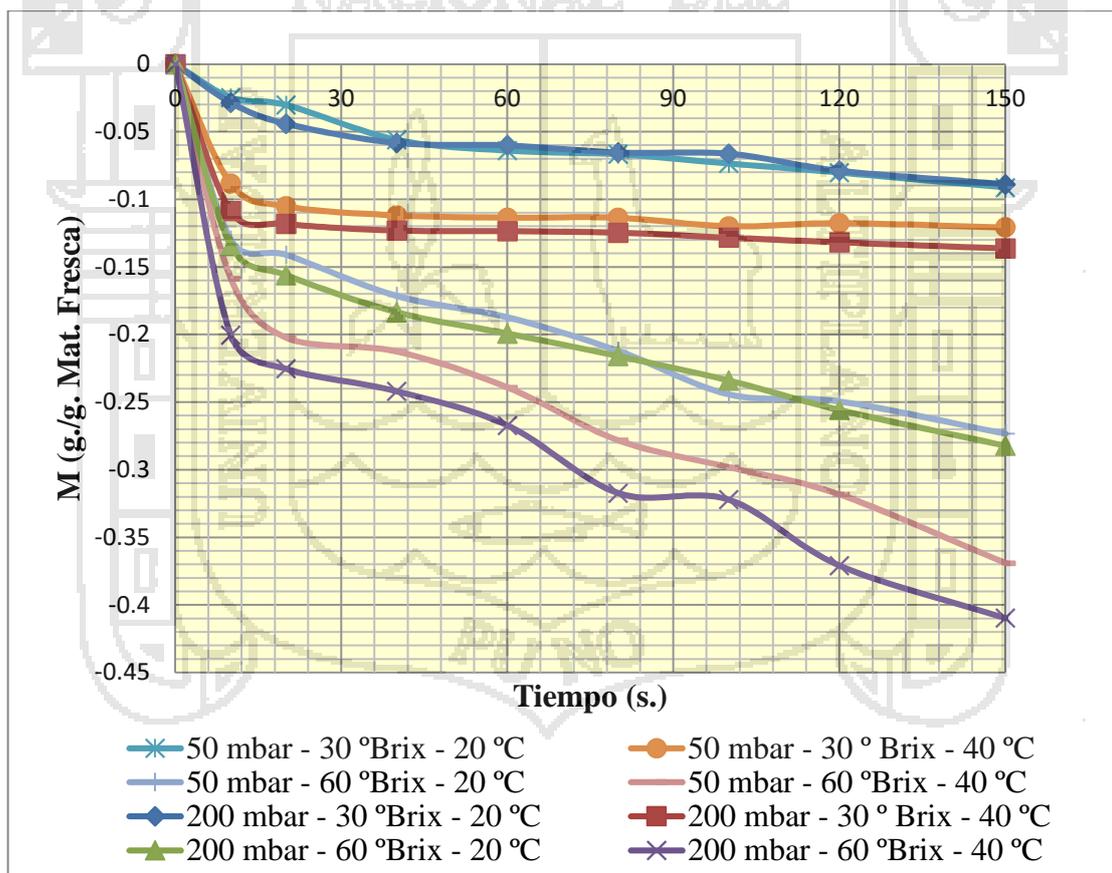
Gráfico 01: Balance de materia para el estudio cinético de la papaya en tiempo total de inmersión de 150 minutos (a): Presión de 50 mbar y (b): Presión de 200 mbar.



4.2.2. VARIACIÓN DE MASA.

Los resultados obtenidos para la variación de masa a partir de la ecuación 3.4, se muestran en los cuadros 1 al 20 del anexo D para los diferentes tratamientos. En el Grafico 02 se muestran las diferentes variaciones de masa a diferentes condiciones de tratamiento con respecto al tiempo, en donde se observa que a medida que aumenta el tiempo de tratamiento incrementa la pérdida de peso, además se aprecia que a medida que aumenta la concentración de la solución; mayor es la variación de masa, siendo la más alta a una concentración de 60 °Brix, para todas las temperaturas de trabajo. Los cambios más drásticos de variación de peso se presentan en los primeros 30 minutos de deshidratación. Después de este tiempo los cambios de peso son más lentos.

Gráfico 02: Variación de masa (M) en función del tiempo para láminas de papaya a diferentes Presiones de vacío, concentraciones y Temperaturas.



La desaceleración del pérdida de peso, se explica porque en las etapas iniciales de la deshidratación osmótica, el proceso de pérdida de peso producido por la salida de líquido de la fruta, se realiza de forma mucho más rápida que la entrada del soluto hacia la

fruta por difusión, pero a partir de un cierto tiempo, comienza a predominar la entrada de sólidos de la disolución hacia la fruta y esta comienza a ganar peso por este efecto, disminuyendo la variación de peso. (Camacho, 2004).

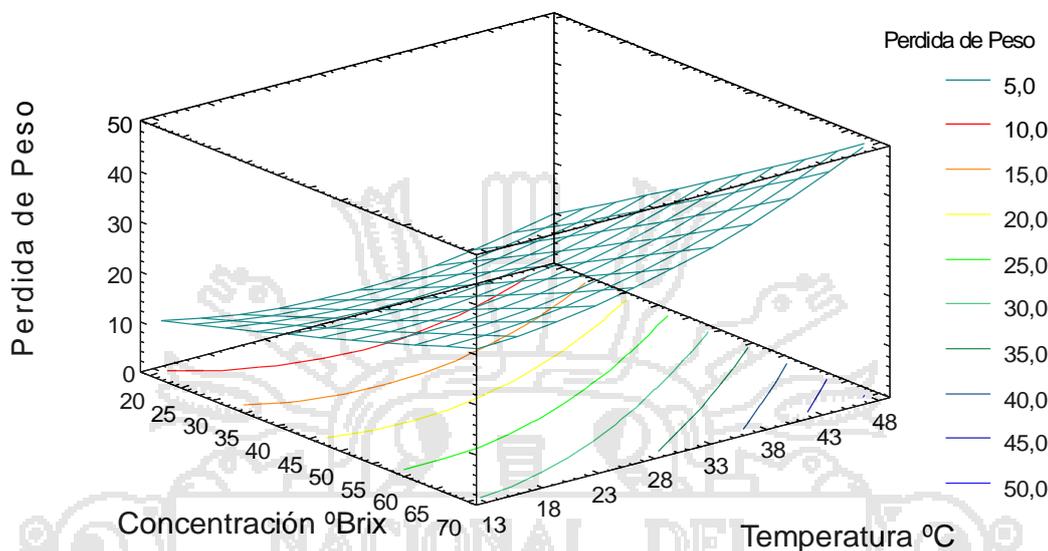
Cuadro 04. Variación de masa para los diferentes tratamientos en un tiempo de 150 minutos.

N° Tratamiento	P (mbar)	C (°Brix)	T (°C)	M (g./g M. F)	
1	50	30	20	-0.091267	-0.091572
2	200	30	20	-0.088854	-0.086957
3	50	60	20	-0.273224	-0.272512
4	200	60	20	-0.282154	-0.275178
5	50	30	40	-0.120690	-0.123779
6	200	30	40	-0.136218	-0.135843
7	50	60	40	-0.368885	-0.355892
8	200	60	40	-0.409695	-0.397118
9	0	45	30	-0.179405	-0.152350
10	250	45	30	-0.214984	-0.216260
11	125	20	30	-0.111905	-0.107230
12	125	70	30	-0.287891	-0.307441
13	125	45	13	-0.209857	-0.210269
14	125	45	47	-0.267367	-0.278689
15	125	45	30	-0.225755	-0.182041
16	125	45	30	-0.225755	-0.182041
17	125	45	30	-0.189211	-0.190359
18	125	45	30	-0.216471	-0.200470
19	125	45	30	-0.198895	-0.220325
20	125	45	30	-0.207200	-0.199033

Fuente: Elaboración propia.

En el **Cuadro 04**, se muestra la variación de masa para cada uno de los 20 tratamientos en función de aplicación de presión de vacío (P), concentración de la solución (C) y temperatura (T) para un tiempo de 150 min de deshidratación osmótica se observa mayor pérdida de peso para las condiciones P=200mbar, C=60°Brix y una T= 40°C.

Gráfico 03: Superficie de Respuesta de pérdida porcentual de peso con respecto a la concentración de sacarosa y temperatura, tomando la aplicación de pulso de vacío constante en 125 mbar.



En el Gráfico 03, se presenta la superficie de respuesta de la pérdida porcentual de peso con respecto a la concentración y a la temperatura, tomando la aplicación de pulso de vacío constante en 125 mbar, en el cual se observa que al incrementar la concentración y la temperatura existe mayor pérdida de peso.

El efecto de la presión de vacío favorece únicamente en la velocidad de deshidratación debido a que durante el pulso de vacío se extrae el aire atrapado en los poros de la muestra, y al restaurar la presión atmosférica, la solución se incorpora rápidamente al interior del alimento por el intercambio entre el gas o líquido interno en los poros y la solución externa a través del mecanismo hidrodinámico (Fito, *et. al.*, 1996).

En el Cuadro 1 del anexo F, se presentan las constantes cinéticas (K_M y K_0) para la velocidad de pérdida de peso y debido al mecanismo hidrodinámico, obtenidas del ajuste de la ecuación 3.8 a los datos experimentales. Todas las rectas para M vs.: $t^{0.5}$ presentaron una ordenada en el origen significativa, los cuales se observan en los Gráficos 1 al 20 del anexo I.

En el Cuadro 1, anexo H, se tiene el análisis de varianza (ANOVA) para la pérdida de peso en función de aplicación de presión de vacío (P), concentración de la solución (C) y temperatura (T) para un tiempo de 150 minutos de deshidratación osmótica. El cual nos

muestra que existen diferencias altamente significativas para la concentración y temperatura sobre la variación de peso, sólo la interacción concentración – temperatura presentó efecto significativo, siendo los demás no significativos.

El modelo matemático ajustado con los factores codificados es la siguiente:

$$\text{Pérdida de Peso} = 18,288 + 0,127741 * C - 1,21156 * T + 0,0112768 * CT + 0,014752 * T^2$$

El modelo ajustado explica el 90,8577% de la variabilidad en pérdida de peso, con al menos 95 por ciento de nivel de confianza.

En el gráfico de la superficie de respuesta para la variable dependiente de pérdida de peso se encontró el valor más óptimo de 51,2468 por ciento de pérdida de peso, para una aplicación de presión de vacío de 250 mbar, concentración de 70°Brix y Temperatura de 45°C.

La aplicación del pulso de vacío, es recomendable para tiempos cortos puesto que la velocidad de deshidratación en los tratamientos a PVOD es mayor que a OD. (Chavarro, *et. al.*, 2006).

La variación de peso en la deshidratación osmótica no permite determinar con certeza la eficiencia de la impregnación debido a que no se puede determinar o definir qué materia se transfiere. Por lo tanto, es importante determinar la pérdida de agua y ganancia de solutos.

4.2.3. VARIACIÓN DE AGUA.

En el Cuadro 05, se muestra la variación de agua para cada uno de los tratamientos en función de aplicación de presión de vacío (P), concentración de la solución (C) y temperatura (T) para un tiempo de 150 min de deshidratación osmótica. El experimento realizado a 200mbar de pulso de vacío, 60°Brix de solución osmótica y 40°C de temperatura es el que presenta las mayores pérdidas de agua.

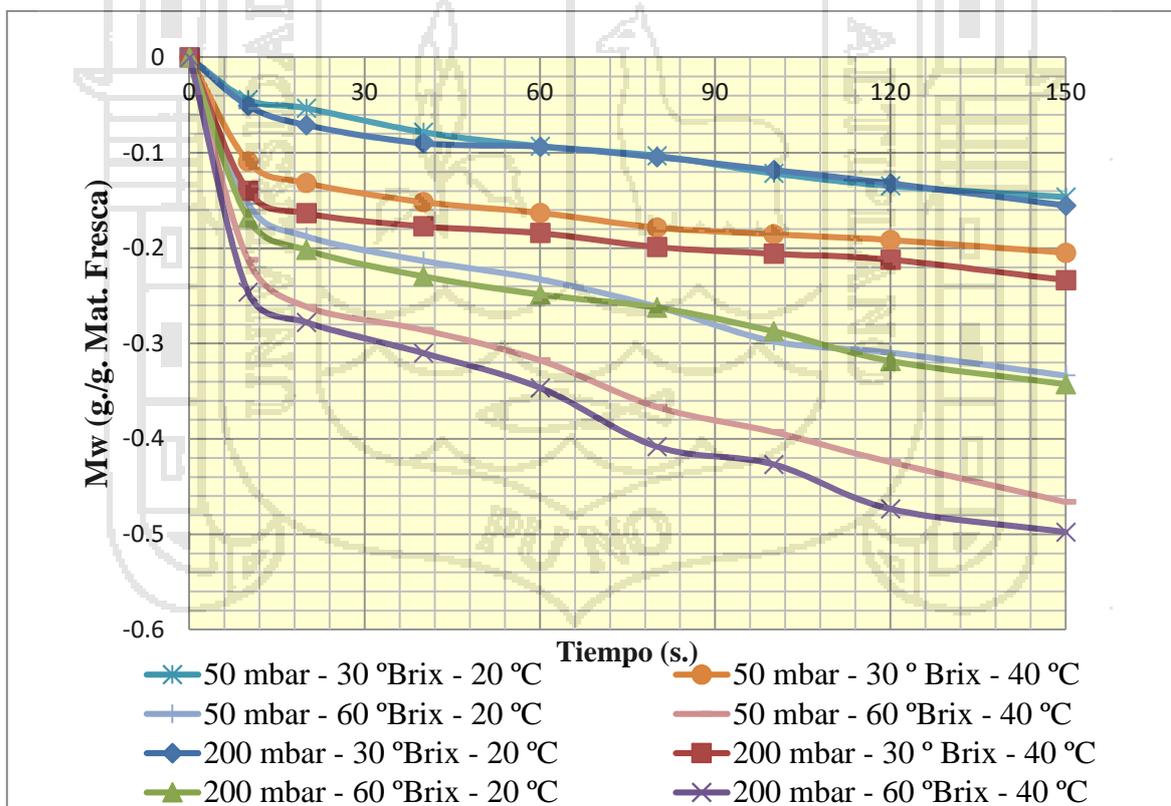
En el Gráfico 04 se muestran las diferentes variaciones de agua durante la deshidratación osmótica de láminas de papaya a diferentes condiciones de tratamiento con respecto al tiempo, en donde se observa que a medida que aumenta el tiempo de tratamiento incrementa la pérdida de agua, además se observa a mayor concentración de solución osmótica, mayor es la variación de agua, Al igual de la pérdida de peso, los

cambios más drásticos de variación de agua se presentan en los primeros 30 minutos de deshidratación; después de este tiempo los cambios de peso son más lentos.

Puede notarse que a la concentración de 30° Brix de solución osmótica y 20°C de temperatura, la diferencia de concentraciones tiene mayor influencia en la transferencia de agua, debido a la menor viscosidad de la solución osmótica que impregna masivamente al producto, resultando en una ganancia de agua, debido a la dificultad de los solutos para penetrar en la fruta. Conforme aumenta la concentración de la sacarosa, se puede observar que aumenta la presión osmótica de la solución y con esto la pérdida de agua (Grafico 05).

Por otro lado, a pesar de que la aplicación de pulso de vacío contribuye a la apertura de la estructura de la papaya y la penetración de sólidos, los cuales llegan a acumularse en los espacios intercelulares, puede llegarse a una concentración tal que se presente la saturación de la misma, bajando la velocidad de transferencia.

Gráfico 04: Variación de agua (Mw) en función del tiempo para láminas de papaya a diferentes Presiones de vacío, concentraciones y Temperaturas.

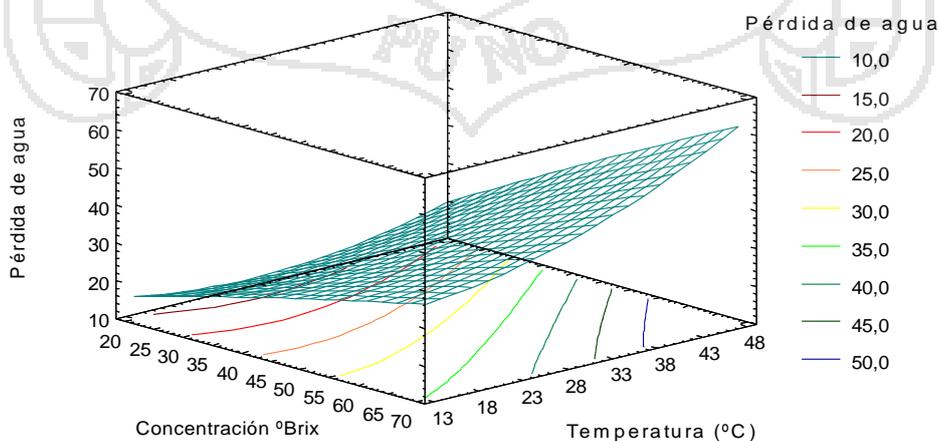


Cuadro 05. Variación de agua para los diferentes tratamientos en un tiempo de 150 minutos.

N° Tratamiento	P (mbar)	C (°Brix)	T (°C)	Mw (g./g. M. F)	
1	50	30	20	-0.146286	-0.147565
2	200	30	20	-0.155193	-0.155442
3	50	60	20	-0.333338	-0.334224
4	200	60	20	-0.342629	-0.339217
5	50	30	40	-0.204600	-0.209841
6	200	30	40	-0.233437	-0.228433
7	50	60	40	-0.466003	-0.461783
8	200	60	40	-0.497659	-0.498996
9	0	45	30	-0.237701	-0.220583
10	250	45	30	-0.303543	-0.307113
11	125	20	30	-0.186324	-0.184039
12	125	70	30	-0.372206	-0.391149
13	125	45	13	-0.278480	-0.282354
14	125	45	47	-0.389817	-0.391994
15	125	45	30	-0.310277	-0.276905
16	125	45	30	-0.310277	-0.276905
17	125	45	30	-0.274165	-0.284227
18	125	45	30	-0.301456	-0.287342
19	125	45	30	-0.285305	-0.305910
20	125	45	30	-0.292339	-0.294606

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 05: Superficie de Respuesta de pérdida porcentual de agua con respecto a la concentración de sacarosa y temperatura, tomando la aplicación de pulso de vacío constante en 125 mbar.



En el Cuadro 02 del anexo H se presenta el análisis de varianza para pérdida de agua en la deshidratación osmótica de láminas papaya, en el cual la aplicación de pulso de vacío tiene un efecto significativo, mientras la concentración de la solución ($p=0.0000$) y la temperatura ($p=0.0000$) presentan efecto altamente significativas y positivas sobre la variación de agua en láminas de papaya. Los efectos positivos de la concentración de la solución corresponden con los resultados de Palou, *et. al.*, (1994). Quienes trabajando con láminas de papaya, observaron que la pérdida de agua era marcadamente sensible a la concentración de sacarosa en la solución.

Para observar el comportamiento gráfico del la pérdida de agua con respecto a las variables, se fijó el valor de la presión por ser la variable menos significativa y se graficó la pérdida de agua en función de las otras dos variables: estos resultados se presentan en el Grafico 05. Se observa que si se incrementa la concentración y se reduce la temperatura hay pérdida de agua y mientras que si incrementa las dos variables hay mayor pérdida de agua.

El modelo matemático ajustado con los factores codificados es la siguiente:

$$\text{Pérdida de agua} = 16,1034 + 0,0307741 * P + 0,310329 * C - 1,15225 * T + 0,0126337 * C * T + 0,0156424 * T^2$$

El modelo ajustado explica el 92,319% de la variabilidad en pérdida de agua, con al menos 95 por ciento de nivel de confianza.

En el grafico de la superficie de respuesta para la variable dependiente de pérdida de agua se encontró el valor más óptimo de 62,883 por ciento de pérdida de agua, para una aplicación de presión de vacío de 241.36 mbar, concentración de 70°Brix y Temperatura de 47°C.

4.2.4. VARIACIÓN DE SÓLIDOS SOLUBLES

La variación en el contenido de sólidos solubles con respecto al tiempo de inmersión se presenta en el Gráfico 06. En donde se muestra que la ganancia de sólidos aumenta a medida que aumenta el tiempo de tratamiento y además se observa que la velocidad de ganancia de sólidos se incrementa conforme se incrementa la concentración de la solución osmótica y la temperatura.

Gráfico 06: Variación de sólidos solubles (Ms) en función del tiempo para láminas de papaya a diferentes Presiones de vacío, concentraciones y Temperaturas.

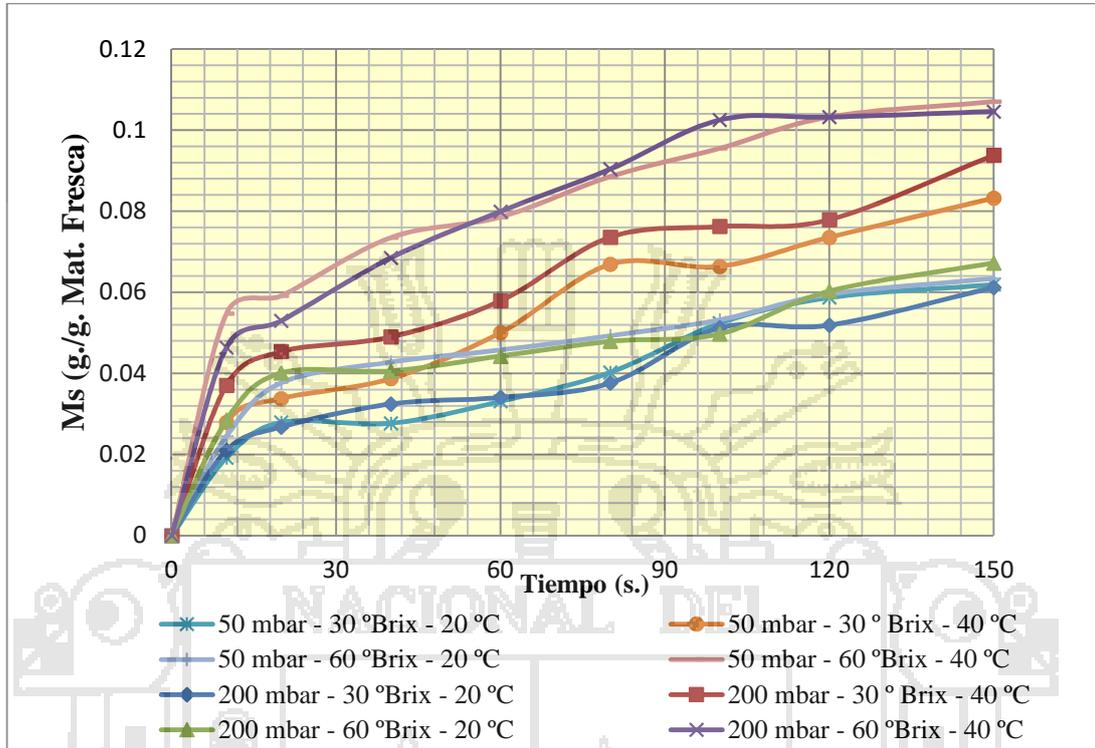
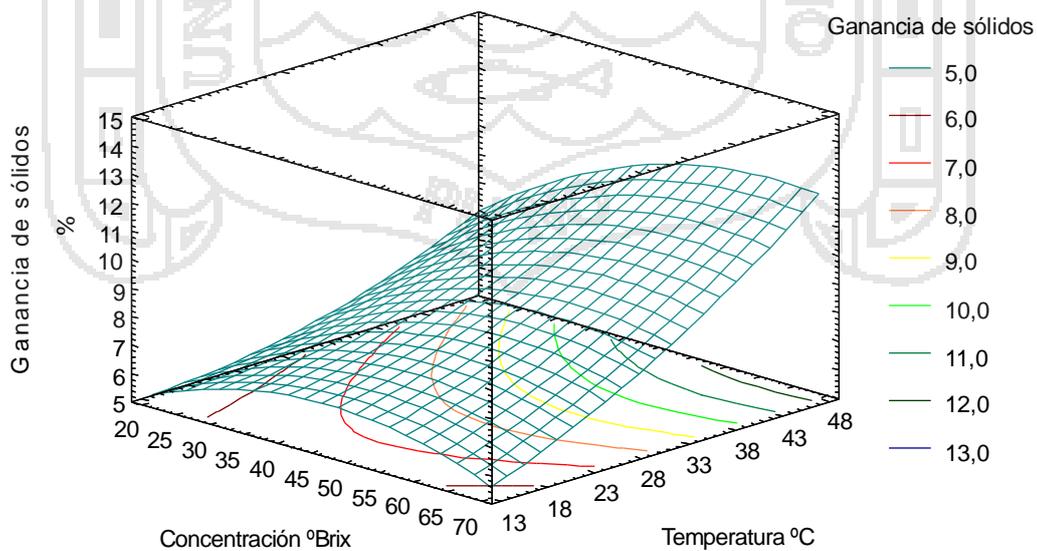
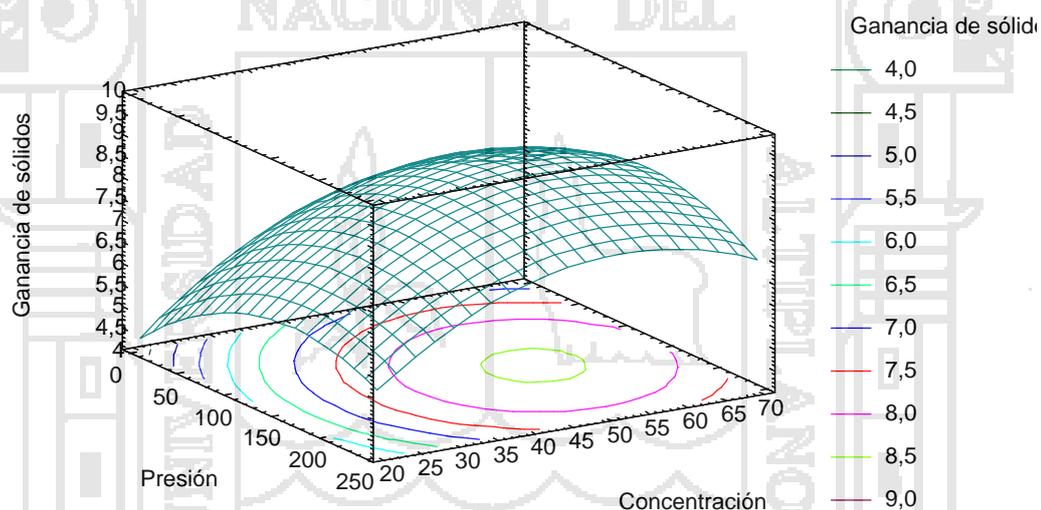


Gráfico 07: Superficie de respuesta de ganancia porcentual de sólidos con respecto a la concentración de sacarosa y temperatura, tomando la aplicación de pulso de vacío constante en 125 mbar.



En los primeros minutos de la deshidratación osmótica se observó un estado de pseudoequilibrio donde hay una tendencia de ganar sólidos solubles para distintos tratamientos realizados, haciéndose notorio para el tratamiento de 60°Brix de solución osmótica, probablemente debido a la rápida acción de los mecanismos hidrodinámicos que provoca la ganancia inicial de la a solución osmótica por capilaridad o por los cambios de la presión impuestos, sin embargo a partir de quince minutos de tratamiento todas las curvas tienden a ganar sólidos gradualmente, al respecto Vega-Gálvez, *et. al.* (2007), reportaron resultados similares al estudiar la cinética de deshidratación osmótica de la papaya chilena (*Vasconcellea pubescens*).

Gráfico 08: Superficie de respuesta de ganancia porcentual de sólidos con respecto a la aplicación de presión de vacío y concentración de sacarosa, tomando la temperatura constante en 30 °C.



En el Cuadro 06, se presentan las variaciones de sólidos solubles para cada uno de los tratamientos en función de aplicación de presión de vacío (P), concentración de la solución (C) y temperatura (T) para un tiempo de 150 min de deshidratación osmótica. El experimento realizado a 200mbar de pulso de vacío, 60°Brix de solución osmótica y 40°C de temperatura es el que presenta la mayor ganancia de sólidos solubles.

En el Gráfico 07, se presenta la superficie de respuesta para la ganancia de sólidos solubles en función de concentración y temperatura cuando se mantiene constante la presión de vacío igual a 125 mbar. Que al incrementar la temperatura aumenta la ganancia de sólidos solubles; y se observa la marcada influencia de la concentración sobre la

ganancia de sólidos solubles, debido a que mayor concentración de sacarosa, mayor es la ganancia de sólidos solubles hasta un punto óptimo.

En el Gráfico 08, se presenta la superficie de respuesta para la ganancia de sólidos solubles en función de presión y concentración cuando se mantiene constante la temperatura igual a 30 °C. Se observa que al incrementar la presión hasta un 155 mbar aumenta la ganancia de sólidos solubles; y teniendo un comportamiento similar la concentración de la solución osmótica hasta un punto óptimo.

Cuadro 06. Variación de sólidos solubles para los diferentes tratamientos en un tiempo de 150 minutos.

N° Tratamiento	P (mbar)	C (°Brix)	T (°C)	Ms (g./g. M. F)	
1	50	30	20	0.061957	0.060816
2	200	30	20	0.061191	0.060538
3	50	60	20	0.063455	0.060575
4	200	60	20	0.067276	0.065151
5	50	30	40	0.083246	0.076354
6	200	30	40	0.093864	0.088102
7	50	60	40	0.107073	0.096662
8	200	60	40	0.104599	0.097511
9	0	45	30	0.065990	0.066361
10	250	45	30	0.078277	0.074135
11	125	20	30	0.059180	0.052818
12	125	70	30	0.086112	0.078089
13	125	45	13	0.070725	0.067830
14	125	45	47	0.112147	0.103161
15	125	45	30	0.080393	0.086351
16	125	45	30	0.080393	0.086351
17	125	45	30	0.088568	0.084594
18	125	45	30	0.083387	0.081846
19	125	45	30	0.091063	0.071917
20	125	45	30	0.084666	0.086013

Fuente: Elaboración propia.

En el Cuadro 03 del anexo H se presenta el análisis de varianza para ganancia de sólidos solubles en la deshidratación osmótica de láminas papaya, en el cual nos muestra que existen diferencias altamente significativas para la concentración, la temperatura, la presión cuadrática, la concentración cuadrática y la interacción concentración –

temperatura, mientras la aplicación de pulso de vacío y la temperatura cuadrática tienen efecto significativo,

El modelo matemático ajustado con los factores codificados es la siguiente:

$$\text{Ganancia de sólidos} = 1,48513 + 0,0211006 * P + 0,175727 * C - 0,102043 * T - 0,0000711361 * P^2 - 0,00212096 * C^2 + 0,00218017 * C * T + 0,00211262 * T^2$$

El modelo ajustado explica el 90,29% de la variabilidad en ganancia de sólidos, con al menos 95 por ciento de nivel de confianza.

De los análisis de optimización se encontró el valor más óptimo de 12,051 por ciento de ganancia de sólidos solubles, para una aplicación de presión de vacío de 149.55 mbar, concentración de 62.73°Brix y Temperatura de 47°C.

Los cambios en agua y contenido de solutos fueron modelizados ajustando las ecuaciones 3.9 y 3.10 a los datos experimentales. Los términos independientes de las ecuaciones (K_w^0 , K_s^0) corresponden a las pérdidas de agua o ganancias de sólidos solubles, ocurrida a tiempos muy cortos de proceso debidas al mecanismo hidrodinámico (HDM) dependiente de gradientes de presión y/o temperatura, que incluye los efectos capilares, y que está sumamente influenciada por la estructura, mientras que las pendientes de las rectas (K_w y K_s) corresponden a las constantes de transferencia de materia (agua y solutos) asociadas al mecanismo difusional, dependientes de gradientes de concentración (Cháfer, *et. al.*, 2001). En los cuadros 01, 02 y 03, anexo F, refleja los valores de las constantes cinéticas obtenidas de la deshidratación de láminas de papaya. Se observa que la concentración de la solución osmótica es más influyente que la temperatura y presión en la cinética de pérdida de agua (K_w) y de ganancia de sólidos solubles (K_s). Ya que con el aumento de la concentración para todas las temperatura de trabajo, el valor absoluto promedio de estas constantes (K_w y K_s) va en aumento. Por otra parte, en las figuras del Anexo J, muestra la representación de la variación de masa total, de masa de agua y de sólidos solubles en función de la raíz cuadrada del tiempo. Puede observarse la ganancia hidrodinámica de solutos ya que los valores de K_s indican que la aplicación del pulso de vacío provoca una mejor transferencia de disolución osmótica y mayor ganancia de sólidos.

Los valores de K_w indican que la pérdida de agua ocurrida en las muestras fue más rápida cuando se trabajó con la disolución osmótica más concentrada (60 °Brix), debido al

aumento de la fuerza impulsora de proceso, provocado por la gran diferencia de concentración entre la disolución osmótica y el interior de las muestras de papaya, ya que se crea una gran presión osmótica que acelera este proceso.

Por otra parte Chavarro, *et. al.*, (2006), nos indica que la presión de trabajo tiene un efecto claro sobre las variables de respuesta de reducción de peso, pérdida de agua y ganancia de sólidos solubles en los primeros 30 minutos, pero ésta no tiene efecto sobre el resultado final, llegando en la mayoría de los casos a variables similares.

De los Gráficos 04 y 06, las pérdidas de agua son mayores que las ganancias de sólidos. Esta diferencia se debe a que las moléculas de sacarosa presentan un tamaño mucho mayor a las moléculas de agua; que lo permiten difundirse tan fácilmente a través de la membrana celular de la papaya, determinando así que la pérdida de agua sea la primera en alcanzar el equilibrio osmótico. Al respecto, Nieuwenhuijzen, *et. al.*, (2001), manifestó que el uso de solutos de alto peso molecular favorece la pérdida de agua a expensas de la ganancia de sólidos.

4.3. COEFICIENTE DE DIFUSIVIDAD EN PAPAYA

También se ha determinado el coeficiente de difusión efectiva en la fase líquida de la fruta que está relacionada con el aspecto de su calidad y estabilidad. Para el análisis de la composición de la fase líquida se ha propuesto un modelo difusional que permite una buena predicción de la composición final del producto en términos de coeficiente de difusión y de la cantidad de la cantidad de disolución penetrada por mecanismo hidrodinámico impulsados por la impregnación a vacío o gradientes de presión generados en el tejido (Cháfer, *et. al.*, 2001).

De la pendiente de las rectas ajustadas de la representación de $1-Y$ frente a la raíz cuadrada del tiempo, se obtuvo la difusividad efectiva en la fase líquida de la papaya (D_e) para cada tratamiento, cuyos valores se muestra en el Cuadro 07. Los valores de difusividad cambian ligeramente por efecto del tipo de tratamiento empleada en el proceso de deshidratación osmótica, y además se observa un ligero aumento al disminuir la concentración de la disolución osmótica, lo cual puede atribuirse a la menor viscosidad de la disolución osmótica y la consiguiente diferencia en la contribución de mecanismo hidrodinámico al coeficiente de difusividad (Cháfer, *et. al.*, 2001).

Por otro lado a acción del pulso de vacío en los tratamientos de la deshidratación osmótica no tuvo un efecto significativo, afecto muy poco. Al comparar los valores de coeficientes de difusión efectiva con los obtenidos por Acosta (1996) en la deshidratación osmótica a vacío de papaya, para mismas concentraciones, temperaturas y presión de trabajo se obtuvieron valores muy similares.

Por otra parte varios autores coinciden en que las comparaciones de difusividad durante el proceso de deshidratación son difíciles debido a los diferentes métodos y modelos empleados para estimar la difusividad, pero lo más importante son las diferencias en la variación, en la composición y sobre todo en la estructura de los diferentes alimentos empleados (Cardoso, 2007).

Cuadro 07. Coeficiente de difusión efectiva en papaya con respecto a la concentración de sacarosa y temperatura, tomando la aplicación de pulso de vacío para los diferentes tratamientos en un tiempo de 150 minutos.

N° Tratamiento	P (mbar)	C (°Brix)	T (°C)	De (m ² /s)
1	50	30	20	4.26385E-10
2	200	30	20	3.0713E-10
3	50	60	20	1.19403E-10
4	200	60	20	1.34885E-10
5	50	30	40	5.78935E-10
6	200	30	40	5.7086E-10
7	50	60	40	5.07107E-10
8	200	60	40	5.77656E-10
9	0	45	30	2.46336E-10
10	250	45	30	3.35074E-10
11	125	20	30	1.3667E-09
12	125	70	30	1.66042E-10
13	125	45	13	2.54752E-10
14	125	45	47	7.47481E-10
15	125	45	30	3.40448E-10
16	125	45	30	3.57164E-10
17	125	45	30	3.23336E-10
18	125	45	30	3.34425E-10
19	125	45	30	3.45042E-10
20	125	45	30	3.28134E-10

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 09: Superficie de Respuesta de Coeficiente de difusión efectiva en papaya con respecto a la aplicación de presión de vacío y concentración de sacarosa, tomando la temperatura constante en 30 °C.

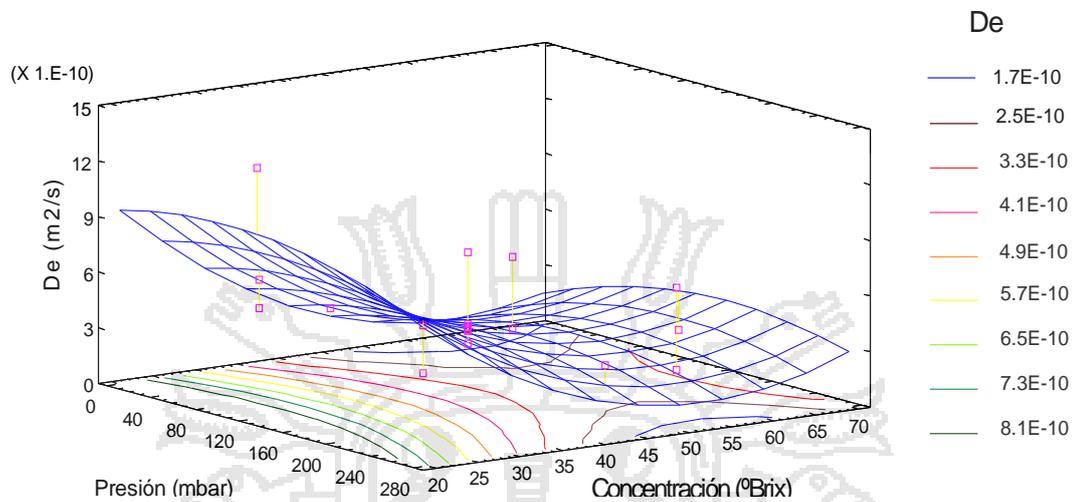
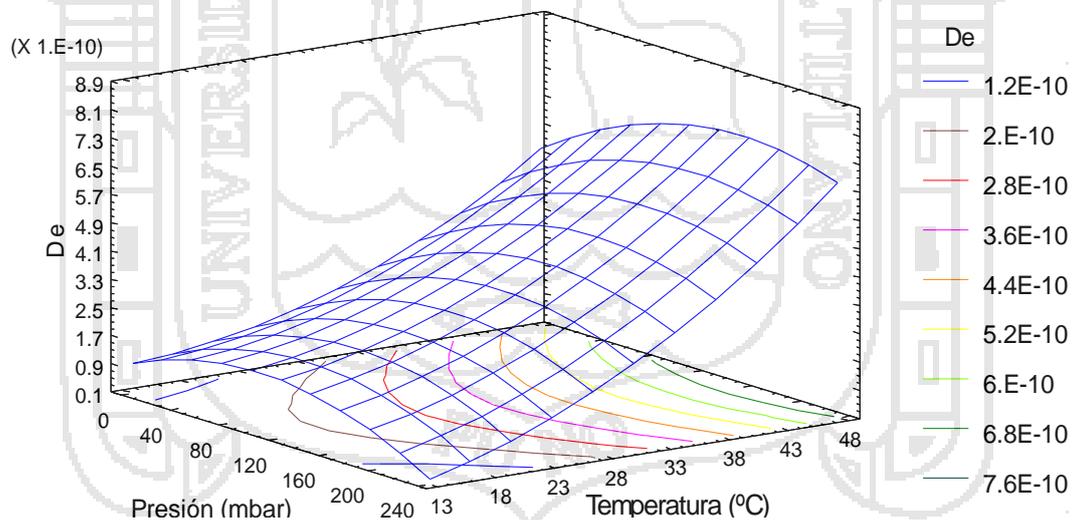


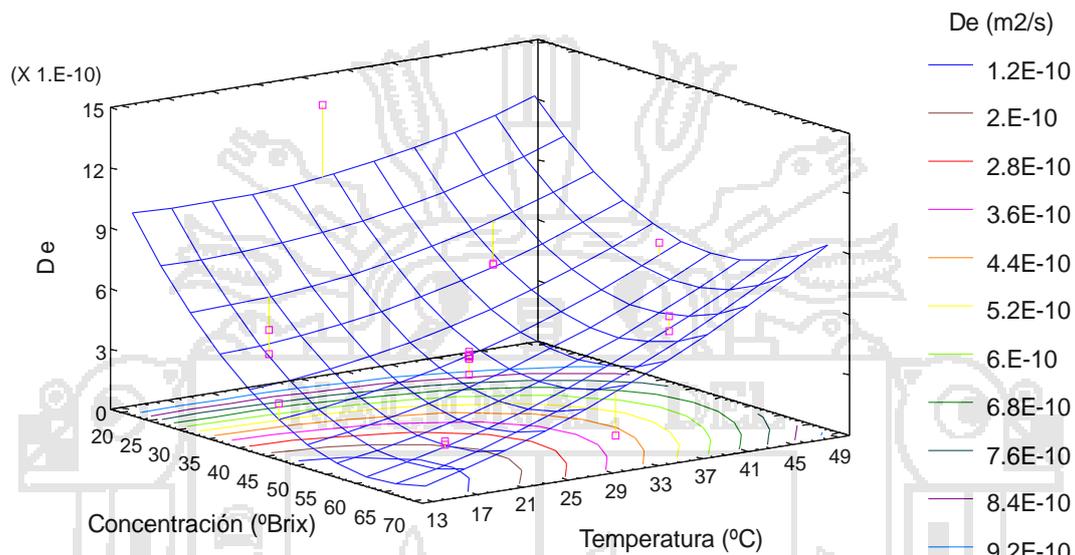
Gráfico 10: Superficie de Respuesta de Coeficiente de difusión efectiva en papaya con respecto a la aplicación de presión de vacío y temperatura, tomando la concentración de sacarosa constante en 45 °Brix.



En Gráfico 09. Se presenta la superficie de respuesta para el coeficiente de difusión efectiva en papaya con respecto a la aplicación de presión de vacío y concentración de sacarosa, tomando la temperatura constante en 30 °C. En donde se observa que la concentración es la principal fuerza motriz de la transferencia al aumentar la concentración, en cuanto a la presión favorece a la difusión pero no de una forma muy

determinante como se observa en el gráfico a su vez se puede mencionar que la presión es significativa si interactúa con la concentración.

Gráfico 11: Superficie de Respuesta de Coeficiente de difusión efectiva en papaya con respecto a la concentración de sacarosa y temperatura, tomando la aplicación de pulso de vacío constante en 125 mbar.



En el Gráfico 10: se presenta la superficie de respuesta de coeficiente de difusión efectiva en papaya con respecto a la aplicación de presión de vacío y temperatura, tomando la concentración de sacarosa constante en 45 °brix, en donde se puede observar el efecto de la presión junto a la temperatura, que al incrementar la temperatura se observa una mayor difusividad teniendo un punto óptimo de 47°C a una presión 172 mbar.

En el Gráfico 11: se presenta la superficie de respuesta de coeficiente de difusión efectiva en papaya con respecto a la concentración de sacarosa y temperatura, tomando la aplicación de pulso de vacío constante en 125 mbar. Se puede apreciar que al incrementar la concentración y la temperatura se obtienen mayor coeficiente de difusividad efectiva en la fase líquida de la papaya.

Los resultados del análisis de varianza del diseño factorial central compuesto para el coeficiente de difusión efectiva se presentan en el Cuadro 04 del anexo H en donde nos muestra que la aplicación de presión de vacío no tiene un efecto significativo sobre la

difusividad, sin embargo, los términos cuadráticos, las interacciones, la concentración y temperatura son significativamente diferentes al 95 por ciento de nivel de confianza.

El modelo matemático ajustado con los factores codificados es la siguiente:

$$De = \text{coeficiente de difusión efectiva} = 2.42494 \times 10^{-9} - 7.62667 \times 10^{-11} C - 2.21007 \times 10^{-11} T - 8.02915 \times 10^{-15} P^2 + 2.37068 \times 10^{-14} P * C + 2.77078 \times 10^{-14} P * T + 5.6034 \times 10^{-13} C^2 + 3.45163 \times 10^{-13} C * T + 3.03851 \times 10^{-13} T^2$$

El modelo ajustado explica el 100% de la variabilidad en ganancia de sólidos, con al menos 95 por ciento de nivel de confianza.

De los análisis de optimización se obtuvo el valor óptimo para el coeficiente de difusión efectiva en papaya igual a $1.18538 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ a una aplicación de pulso de vacío de 172 mbar, concentración de solución osmótica de 20 °Brix y temperatura de 47 °C



V. CONCLUSIONES.

- Se implemento y construyo de forma satisfactoria el equipo de deshidratación osmótica con pulsos de vacío, además de tener integrado un sensor para llevar el control de la temperatura al interior del reactor, que puede ser acoplada aun termostato. A su vez el líquido al interior del reactor puede ser recirculado por una electrobomba.
- La pérdida de peso, agua y ganancia de sólidos solubles durante la cinética de deshidratación osmótica de papaya, es mucho mayor al trabajar con concentraciones y temperatura altas, resultando estas variables altamente significativas. Por el aumento de la fuerza impulsora en el proceso; a diferencia de la presión de vacío resulto ser significativo para la pérdida de agua y ganancia de sólidos según el análisis estadístico realizado contribuyendo a su vez en los tiempos de proceso reduciéndolos notablemente.
- Los valores de los coeficientes de difusividad efectiva dependen directamente del efecto de la temperatura y/o de la concentración de la disolución osmótica empleada en el proceso de deshidratación. Se observa un ligero aumento en los valores al disminuir la concentración de la disolución o al aumentar la temperatura, lo cual puede atribuirse a la menor viscosidad de la disolución, aunque se puede decir que la variación de los valores de los coeficientes dependen también de los cambios en las propiedades del alimento por la aplicación del pulso de vacío.

VI. RECOMENDACIONES.

- Evaluar el efecto de la deshidratación osmótica con pulsos de vacío sobre las propiedades físicas – químicas: (Color, olor, sabor, textura) y nutrientes, compuestos volátiles. de la papaya
- Hacer estudios de almacenamiento para calcular el tiempo de vida media y un análisis microbiológicos del producto procesado
- Hacer estudios de medición de volúmenes intercelulares y extracelulares tanto de papaya fresca y la muestra procesada por deshidratación osmótica con pulsos de vacío usando técnicas de análisis de imágenes.
- Evaluar el estudio teniendo en cuenta otros parámetros tales como la adición de calcio, distintas geometrías, los tiempos de procesos y a su vez un estudio comparativo entre la deshidratación osmótica (OD) y con la aplicación de pulsos de vacío (PVOD).

VII. BIBLIOGRAFÍA.

- ACOSTA, E. (1996). Deshidratación osmótica a vacío de papaya: desarrollo de un producto mínimamente procesado. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. España.
- AGUIRRE, C.; FERNANDEZ, V. (1996). El sabor de la papaya. Campo y Tecnología. N° 26, May/Jun. Colombia.
- A.O.A.C. (1980) Official Methods of Analysis, 13th ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington.
- ALBORS, A. (2002). Estudio de los cambios composicionales y estructurales en tejido de manzana (var. Granny Smith) deshidratada. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. España.
- ALZAMORA, S.M.; FITO, P.; LÓPEZ-MALO, A.; TAPIA, S.; PARADA-ARIAS, E. (2000). Minimally processed fruits using vacuum impregnation, natural antimicrobial addition and/or high pressure techniques. En: *Minimally Processed Fruits and Vegetables*. (Ed) Alzamora, S.M.; Tapia, M.S.; López-Malo, A. Aspen Publishers, Inc. Maryland. pp 293-305.
- ANDREOTTI & PALMAS D (1995). Conservazione di pesche parzialmente desidratate per osmosis directta. Industria conserve, U.S.A.
- APARICIO ALARCÓN, W (1995) Boletín N° 05 Ingeniería Química UNA - PUNO
- BARAT, J.M.; GRAU, A.; FITO, P. (1998). Deshidratación osmótica de alimentos. Ed. Servicio de publicaciones. Universidad Politécnica de Valencia. España.
- BARAT, J.M.; FITO, P.; CHIRALT, A. (2001). Modelling of simultaneous mass transfer and structural changes in fruit tissues. *Journal of Food Engineering*, 49: 77-85.
- BARRERA, C. (2001). Influencia de la estructura en la transferencia de masa durante la deshidratación osmótica y aplicación de la impregnación a vacío en el confitado de piña. TESINA. Universidad Politécnica de Valencia. España.
- BIOEXTRACTO. (2003). Boletín 70 Papaya (Carica papaya L.) [en línea] México, D.F. [ref. 14 de septiembre de 2010]. Disponible en web: <http://www.bioextracto.com.mx/boletin.html>.

- CAMACHO, O. (2004). Procesamiento y conservación de frutas [en línea]. Programa Universidad Virtual de la Universidad Nacional de Colombia. [ref. 25 de septiembre de 2004].
- CARDOSO, A.S. A., BARROS, N. B., CAVALCANTI, N. A., MOREIRA, A. P.; BARBOSA, G. (2007)., Evaluation of water and sucrose diffusion coefficients during osmotic dehydration of jenipapo (*Genipa Americana L.*) *Journal of Food Engineering*: 78, 551-555
- CHAVARRO L; OCHOA, C; AYALA, A (2006). Efecto de la madurez, geometría y presión sobre la cinética de transferencia de masa en la deshidratación osmótica de papaya. Cali – Colombia
- CHÁFER, M.; GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, C.; ORTOLÁ, M.; CHIRALT, A.; FITO, P. (2001). Kinetics of osmotic dehydration in orange and mandarin peels. *Journal of Food Process Engineering*, 24: 273-289.
- CHIRALT, A.; FITO, P.; ANDRÉS, A.; BARAT, J.M.; MARTÍNEZ-MONZÓ, J.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. (1999). Vacuum impregnation: A tool in minimally processing foods. Food Technology Department. Universidad Politécnica de Valencia (Spain).
- CRANK, J. (1964). *The Mathematics of Diffusion*. University Press: Oxford
- COSENTINO, E.; ACOSTA, E.; ESCRICHE, I.; SERRA, J. (1994): Experiencia en conservación de papaya deshidratada osmóticamente a vacío. En: *Anales de Investigación del Master en Ciencia y Tecnología de Alimentos IV* (Fitó, Serra, Hernández Vidal eds.), págs. 171-190, Universidad Politécnica de Valencia. España.
- DIXON, G.M.; JEN, J.J. (1977). Changes of sugars and acids of osmotic-dried apple slices, *Journal of Food Science*. 42(4):1136-1142.
- DOSIVAC.2005. manual de uso y mantenimiento, loma hermosa Buenos Aires – Argentina.
- FELLOWS, P. (1988). *Food Processing Technology. Principles and practice*. Ellis Horwood Int. Pub. Sci. And Technology.
- FITO, P. (1994). Modelling of vacuum osmotic dehydration of food. *Journal of Food Engineering*. 22: 313-328.
- FITO, P.; ANDRÉS, A.; CHIRALT, A. ; PARDO, P. (1996). Coupling of hydrodynamic mechanism and deformation-relaxation phenomena during vacuum

- treatments in solid porous food-liquid systems. *Journal of Food Engineering*, 27: 229-240.
- FITO, P.; CHIRALT, A. (1997). Osmotic Dehydration. An approach of the modelling of solid food-liquid operations. In: *Food Engineering 2000*, Ed. P. Fito, E. Ortega-Rodriguez, and G.V. Barbosa-Cánovas, Chapman and Hall. New York, 13: 231-252.
 - FITO, P.; CHIRALT, A. (2000). Vacuum impregnation of plant tissues. En: *Minimally Processed Fruits and Vegetables*. Ed. Almazora, S.M.; Tapia, M.S.; López-Malo, A. Aspen Publishers, Inc. Maryland. Pág. 189-205.
 - FITO, P.; CHIRALT, A.; BARAT, J.M.; ANDRÉS, A.; MARTÍNEZ-MONZÓ, J.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. (2001). Vacuum impregnation for development of new dehydrated products. *Journal of Food Engineering*, 49, 297-302.
 - FORNI, E.; TORREGIANI, D.; BATTISTON, P.; POLESELLO, A. (1986). Research into changes of pectic substances in apricots and peaches processed by osmotic dehydration. *Carbohydrate Polimers*. (6), 376-393.
 - GARCELL PUYANS, Diaz Garcia, G.,A Surís C. (1998). *Transferencia de cantidad de movimiento calor y masa*. Editorial pueblo, Habana Cuba.
 - GEANKOPLIS CHRISTIE, J. (1998). *Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias (Tercera Edición. ed.)*. C.V.México: Compañía Editorial Continental S.A. de.
 - GIRALDO, G., TALENS, P., FITO, P., CHIRALT, A. (2003). Influence of sucrose solution concentration on kinetics and yield during osmotic dehydration of mango. *Journal of Food Engineering* 58, 33-43.
 - GÓNGORA, J.; LEÓN, M. (1991). *Alternativas para la industrialización de la papaya (Carica papaya L.)*. Tesis. Universidad Autónoma de Yucatán. México.
 - GUZMÁN, G. (1998). *Guía para el cultivo de la Papaya (Carica papaya L.)* San José, Costa rica.
 - HENG, K.; GUILBERT, S.; CUQ, J.L. (1990). Osmotic Dehydration of Papaya: Influence of Process Variables on the Product Quality. *Sciences des Aliments*, 10: 831-848.
 - HORTON, D (1998) *Underground Caops. – Terin trends in production of roots an tubers*. Winrock Intenacional, morrilton, AK. A.U.

- HUAYAMAVE ELIZABET (2005) Revista Tecnológica ESPOL, Vol. 18, N. 1, 141-145 Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción. Ecuador.
- IBAÑEZ, V. (2005). Guía de diseño central compuesto con estadística “facultad de ingeniería estadística e informática. Universidad Nacional Del Altiplano. Puno – Perú. ”
- ITO A.P. Y VALERIANO, R.T. (2007) deshidratación osmótica de rodajas de mango con pulsos de vacío, Faculty of Food Engineering – State University of Campinas Campinas, SP, Brazil.
- INFOAGRO, (2004), el mercado de las frutas tropicales en la Unión Europea.
- JAMES R., WELTY CHARLES, E. WICKS, ROBERT E. WILSON. (1988). Fundamentos de transferencia de momento calor y masa. Editorial Luminosa.
- KALRA, S.K.; TANDON, D.K.; SINGH, B.P. (1995). Papaya. In U. T. Desai and A. N. Wagh (Eds.), Handbook of fruit Science and Technology. (pp. 297-310). New York: Marcel Dekker Inc.
- KALPAKJIAN, SEROPE Y SEHMID S.(2004) “Manufacturas ingeniería y tecnología” Ed. Pearson. España.
- LAZARIDES, H.N. (2001). Reasons and possibilities to control solids uptake during osmotic treatment of fruits and vegetables. En: Osmotic Dehydration and Vacuum Impregnation, Edited By: Fito, Chiralt, Spiess and Beshnilian. Ed: *Food Preservation Technology Series*. Capítulo 4, pp. 33-42
- Le MAGUER, M. (1998). Osmotic Dehydration: Review and Future Directions. Department of Food Science. The University of Alberta, Edmonton, Alberta, Canada.
- LENART, A.; FLINK, J.M. (1984). Osmotic concentration of potatoes I, Spatial Distribution of the Osmotic Effects. *Journal of Food Technology*, 19: 45-63.
- MALTINI, E.; TORREGIANI, D. (1981). Recent Developments in the Production of Shelf Stable Fruits by Osmosis. *Food Science Technology*.
- MARTÍNEZ-MONZÓ, J; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N.; CHIRALT, A.; FITO, P. (1998). Mechanical and Structural changes in apple (var. Granny Smith) due to vacuum impregnation with crioprotectants. *Journal of Food Science*, 63: 499-503.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Departamento de la informática y estadística 2004. Puno – Perú.

- MORENO, J.; CHIRALT, A.; ESCRICHE, I.; SERRA, J.A. (2000). Effect of blanching/osmotic dehydration combined methods on quality and stability of minimally processed strawberries. *Food Research International*, 33, 609-616.
- MOREIRA R., SERENO, A. (2003). Evaluation of mass transfer coefficients and volumetric shrinkage during osmotic dehydration of apple using sucrose solutions in static and non-static conditions. *Journal of Food Engineering* **57**, 25-31.
- MUGURAMA, M.; KATAYAMA, K.; NAKARUMA, M.; YAMAGUCHI, M. (1987). Low Temperature Osmotic Dehydration Improves the Quality of Intermediate Moisture Meats. *Meats Science*.
- NAKASONE, H.; PAULL, R. (1998). Papaya. Chapter 10. In: *Tropical fruits*. United Kingdom.
- NIEUWENHUIJZEN, N.H.; ZAREIFARD, M.R.; RAMASWAMY, H.S. (2001) Osmotic Drying Kinetics Of Cylindrical Apple Slices Of Different Sizes. *Drying Tech.* **19**: 52
- OSCHE, J.; SOOLE, M. (1980). *Cultivos y mejoramientos de plantas tropicales y subtropicales*. Ed. Limusa. México.
- OCHOA, M. & AYALA, A. (2005). Modelos matemáticos de transferencia de masa en deshidratación osmótica, *Ciencia y Tecnología México*.
- PARJOKO, K.A., RAHMAN, M.S., BUCKLE, K.A., PERERA, C.O. (1996). Osmotic Dehydration kinetics of pineapple wedges using palm sugar. *Lebensmittel-Wissenschaft und- echnologie* **29**, 452-459.
- PALOU, E., LÓPEZ-MALO, A., ARGAIZ, A., WELTI, J. (1994). The use of Peleg's equation to model osmotic concentration of papaya. *Drying Technology* **12**(4), 965-978.
- PERFETTI, J. (2000). Papaya producción mundial. [en línea] Corporación Colombia Internacional. Manual del exportador de frutas, hortalizas y tubérculos en Colombia. [ref. de 20 de septiembre de 2004].
- PEREZ, C. (2003). Aplicación de métodos combinados para el control del desarrollo del pardeamiento enzimático en pera (variedad blanquilla) mínimamente procesada. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. España.
- PESTANO, B. (2001). El cultivo de la papaya. [en línea] GaciCuba, grupo de apoyo a las cooperativas independientes de Cuba. Florida, U.S.A. [ref. 20 de septiembre de 2004]. Disponible en red: <http://www.gacicuba.net/pestano6.htm>.

- RODRIGUES, A.; CUNHA, R.; HUBINGUER, M. (2003) Rheological properties and colour evaluation of papaya during osmotic dehydration processing. *Journal of Food Engineering*, 59:129-135.
- SERENO, A.M., MOREIRA, R., MARTÍNEZ, E. (2001). Mass transfer coefficients during osmotic dehydration of apple in single and combined aqueous solutions of sugar and salt. *Journal of Food Engineering* 47, 43-49.
- SHI, X.Q.; FITO, P (1994). Application of Osmotic Dehydration Technology on Jam Processing Drying Technology.
- POINTING, V.; WATTERS, G.G.; FORREY, R.R.; JACSON, R.; STANLEY, W.L. (1966). Osmotic dehydration of fruits. *Food Technology*, 20: 125-128.
- TALENS, P. (2002). Tratamientos Osmóticos en la Crioprotección de Fresa y Kiwi. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. España.
- TREYBAL, R.E. (1996) Operaciones de transferencia de masa. Segunda edición Rhoden Linland, U.S.A.
- TORREGGIANI, D. (1993). Osmotic dehydration in fruit and vegetables processing. *Food Res. Int.* 26, 27-44.
- VEGA-GÁLVEZ, A.; PALACIOS, M.; BOGLIO, F.; PÁSSARO, C.; JERÉZ, C.; LEMUS-MONDACA, R. (2007). Deshidratación osmótica de la papaya chilena (*Vasconcellea pubescens*) e influencia de la temperatura y concentración de la solución sobre la cinética de transferencia de materia. *Cienc. Tecnol. Aliment., Campinas*, 27(3): 470-477.
- VELEZ, L. M. (2005). materiales industriales, teoría y aplicación. texto académico.
- YAO, Z., LE MAGUER, M. (1997). Mathematical modelling and simulation of mass transfer in osmotic dehydration processes. Part II: Simulation and model verification. *Journal of Food Engineering* 32, 21-32.

ANEXOS

ANEXO A.**Calculo del volumen del recipiente.**

Considerando la proporción entre la altura y el diámetro para una estabilidad del cilindro es 1.75 ó 7/4, se considera las siguientes dimensiones.

Dimensiones:

Altura del cilindro = 42 cm,

Altura del fondo = 5 cm.

Diámetro = 24 cm.

El volumen del cilindro.

$$V = \pi hr^2$$

$$V = \pi(42)(12)^2 = 19000.35\text{cm}^3$$

$$V = 19 \text{ litros.}$$

El volumen del fondo.

$$V = \frac{\pi h(3a^2 + 3b^2 + b^2)}{6}$$

$$V = \frac{\pi(5)(3(12)^2 + 3(5)^2 + 5^2)}{6}$$

$$V = 1392.77\text{cm}^3 = 1.392 \text{ Litros.}$$

Volumen total = Volumen del cilindro + volumen del fondo.

$$V = 19.00 + 1.392 = 20.392 \text{ Litros.}$$

Calculo de densidad de la mezcla.

La máxima densidad se produce cuando se trabaja a máxima concentración de solución osmótica.

Máxima concentración que se trabaja en la solución osmótica es a 70 % ó 70°Brix.

$$\rho_s = \frac{1}{\frac{\% a \text{ úc}_1}{1590} + \frac{\% a}{1000}}$$

$$\rho_s = \frac{1}{\frac{0.7}{1590} + \frac{0.3}{1000}}$$

$$= 1350 \text{ Kg/m}^3$$

Densidad de azúcar = 1590 Kg/m^3

Densidad de la fruta se calcula con la siguiente fórmula:

$$\rho_r = \frac{1}{\frac{1-x_w}{1590} + \frac{x_w}{1000}}$$

Donde:

ρ_r = densidad real de la fruta.

x_w = Fracción másica de agua. (0.90).

$$\rho_r = \frac{1}{\frac{1-0.9}{1590} + \frac{0.9}{1000}} = 1038 \text{ kg/m}^3$$

La relación de fruta jarabe es de 1:4 ó 20% Fruta: 80% solución osmótica de sacarosa.

$$\rho_m = 0.2 \rho_f + 0.8 \rho_s$$

$$\rho_m = 0.2 (1038) + 0.8 (1350) = 1287.6 \text{ Kg/m}^3$$

Calculo del espesor de la pared del recipiente.

Presión del diseño:

Esta presión debe ser mayor a la máxima que se pueda producir en cualquier momento de operación.

Tratándose de un recipiente semiabierto, la presión que soporta las paredes se calcula con la siguiente fórmula:

$$P = \rho g H + P_{atm.}$$

P = Presión que soporta las paredes.

ρ = Densidad de la mezcla.

g = gravedad (9.81 m/s^2)

H = altura del recipiente.

$P_{atm.}$ = Presión atmosférica en Puno. ($6614.953 \text{ Kg-f/m}^2$)

$$P = 1287.6 (9.81) (0.42) + 6614.953$$

$$P = 11920 \text{ Kg} - \text{f/m}^2 = 1.192 \text{ Kg-f/cm}^2.$$

Considerando margen de seguridad 20%

$$P = 1.192 + 0.2 (1.192)$$

$$P = 1.4304 \text{ Kg.f/cm}^2$$

$$PD = 20.34 \text{ psi.} = 20.34 \text{ lbf/pulg}^2$$

Calculo del espesor de la Pared.

Para calcular el espesor de la pared se hace el uso de la ecuación dada por ASME.

$$T = \frac{P}{S - 0.6P} + C$$

Donde:

R = Radio interno en pulgadas = 4.724 pulg.

P = Presión de trabajo = 20.34 lbf/pulg²

S = Esfuerzo admisible de trabajo = 15700 lb/pulg²

E = Eficiencia de junta = 70%

T = espesor en Pulg.

C = Tolerancia a la corrosión abrasi3n = 0.02 pulg.

$$T = \frac{(20.34)(4.724)}{(15700)(0.7) - 0.6(20.34)} + 0.02$$

T = 0.0287pulg.

T = 1/32 pulg.

ANEXO B.**Cuadro 01:** DESCRIPCIÓN DE CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL EQUIPO

MATERIALES	
Reactor	Acero inoxidable 1/32" de espesor (AISI 304)
Estructura del equipo	De tubo cuadrado 3/4
electrobomba	1/2 HP "meba",
Bomba de vacío	1/2 HP "dosivac", altura máxima 35 m, Q max 40 lt./min
Tubo PVC hidro	1/2 " de diámetro para agua caliente
Manguera	1/4 " de diámetro para altas presiones
Válvulas compuerta	1/2" de diámetro
DIMENSIONES	
Dimensión del reactor	Altura del cilindro 0.42 m, diámetro del cilindro 0.24 m altura del fondo 0.05 m.
Volumen del reactor	Volumen total del reactor 20 litros aprox
Dimensión del equipo	Alto 0.82 m, largo 0.75m, ancho 0.45m.
INSTRUMENTOS DE MEDIDA	
Sensor de temperatura	Tipo K terminal bulbo
Controlador de temperatura	Tipo digital con relay
Vacuometro	Tipo reloj de 1000 a 0 mbar
PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO	
Temperatura	Min 0 °C ; Max 100° C
Presión	Hasta 700 mbar
Voltaje de funcionamiento	220

INSTRUCCIONES PARA EL USO DEL MODULO DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA CON PULSO DE VACIO.

Antes de usar el modulo de deshidratación osmótica con pulso de vacio se debe tener en cuenta las siguientes recomendaciones para su funcionamiento y también poder prevenir incidentes y accidentes.

1. Instalar y/o conectar la línea de alimentación de fluido eléctrico para el modulo de deshidratación osmótica con pulso de vacío.
2. Verificar si existe alimentación de energía en el panel de controles, y conecte con sumo cuidado teniendo en cuenta el polo correcto en la alimentación de energía activando para su posterior encendiendo el modulo de deshidratación osmótica con pulso de vacío.
3. Una vez que se tenga el producto a investigar y la solución osmótica en la proporción adecuado entre el producto y la solución colocarlo dentro del reactor cerrándolo las llaves compuerta y la tapa con la ayuda de las manecillas de manera muy hermética tratando de que estas sean giradas de manera equitativas, evitando cualquier tipo de fuga de presión.
4. Si se desea un sistema de calefacción se puede conectar a una resistencia eléctrica o un termostato que puede ser controlado por un sistema de relay con la que cuenta el equipo.
5. Seguidamente se procederá a estabilizar la bomba de vacio conectado por una manguera al reactor, hasta que el sonido de este emita sea homogéneo, para posterior provocar el vacío deseado en un periodo de tiempo que lo requiera.
6. Controlar la presión de vacio deseado será controlado por el vacuometro conectado al reactor.
7. Controlar el tiempo que se desee provocar el vacio. Para posteriormente restablecer la presión atmosférica. Para continuar al proceso de deshidratación

8. Posteriormente recircule la solución osmótica con la ayuda de la electrobomba para homogenizar la solución durante el proceso y mantener la homogeneidad del proceso, controlando la temperatura de proceso controlando por el termostato.
9. Una vez terminado el proceso proceda a retirar las muestras y la solución osmótica, para realizar la correspondiente.

MANTENIMIENTO.

- Revisar c/u de las bombas de vacío y electrobomba respectivamente.
- Revisión de las válvulas paso.
- Revisar el contactor magnetico y el sistema eléctrico en general.
- Limpieza adecuada.

RECOMENDACIONES.

- Trabajar con las especificaciones dadas del equipo para evitar incidentes y/o accidentes que ponga en riesgo la integridad de manipulador.

ANEXO C.

CODIFICACIÓN DE VALORES PARA EL DCC PARA LOS FACTORES.

FACTOR	NIVEL (-)	NIVEL (+)
A: PRESIÓN DE VACÍO	50	200
B: CONCENTRACIÓN	30	60
C: TEMPERATURA	20	40

- Para el factor de presión de vacío

$$\text{Si: } \bar{x} = \frac{2 + 5}{2} = 125 \quad \text{y} \quad \Delta x = \frac{2 - 5}{2} = 75$$

$$\text{Para: } (-1.681) \Rightarrow -1.681 = \frac{A - \bar{x}}{\Delta x} = \frac{A - 1}{7} = 1.075 \cong \mathbf{0}$$

$$\text{Para: } (+1.681) \Rightarrow +1.681 = \frac{A - \bar{x}}{\Delta x} = \frac{A - 1}{7} = 251.075 \cong \mathbf{2}$$

$$\text{Para: } (0) \Rightarrow 0 = \frac{A - \bar{x}}{\Delta x} = \frac{A - 1}{7} = 125 \cong \mathbf{1}$$

- Para el factor de concentración

$$\text{Si: } \bar{x} = \frac{6 + 3}{2} = 45 \quad \text{y} \quad \Delta x = \frac{6 - 3}{2} = 15$$

$$\text{Para: } (-1.681) \Rightarrow -1.681 = \frac{A - \bar{x}}{\Delta x} = \frac{A - 4}{1} = 19.785 \cong \mathbf{2}$$

$$\text{Para: } (+1.681) \Rightarrow +1.681 = \frac{A - \bar{x}}{\Delta x} = \frac{A - 4}{1} = 70.215 \cong \mathbf{7}$$

$$\text{Para: } (0) \Rightarrow 0 = \frac{A - \bar{x}}{\Delta x} = \frac{A - 4}{1} = 45 \cong \mathbf{4}$$

- Para el factor de temperatura

$$\text{Si: } \bar{x} = \frac{4 + 2}{2} = 30 \quad \text{y} \quad \Delta x = \frac{4 - 2}{2} = 10$$

$$\text{Para: } (-1.681) \Rightarrow -1.681 = \frac{A - \bar{x}}{\Delta x} = \frac{A - 3}{1} = 13.19 \cong \mathbf{1}$$

$$\text{Para: } (+1.681) \Rightarrow +1.681 = \frac{A - \bar{x}}{\Delta x} = \frac{A - 3}{1} = 46.81 \cong \mathbf{4}$$

$$\text{Para: } (0) \Rightarrow 0 = \frac{A - \bar{x}}{\Delta x} = \frac{A - 3}{1} = 30 \cong \mathbf{3}$$

ANEXO D

Cuadro N° 1. Valores experimentales para el tratamiento PVDO a: P=50mbar, C=30°Brix y T=20°C

N° de muestra	Tiempo (min.)	Mo		Mt		°Brix de Muestra		Humedad		°Brix de Solución
		1	2	1	2	1	2	1	2	
1	0	12.15	12.45	12.15	12.45	9.00	8.60	0.90947	0.90040	30.00
2	10	12.55	12.68	12.24	12.35	11.20	10.80	0.88725	0.88016	29.00
3	20	12.60	12.74	12.22	12.28	12.10	11.50	0.88298	0.87378	28.70
4	40	12.86	12.77	12.14	12.11	12.40	12.40	0.88056	0.86623	28.30
5	60	12.04	12.05	11.27	11.32	13.10	13.20	0.87223	0.85777	28.00
6	80	12.77	12.57	11.92	11.72	13.90	13.90	0.86409	0.85068	27.80
7	100	12.79	12.73	11.85	11.78	15.30	14.80	0.85063	0.84211	27.80
8	120	12.97	12.68	11.93	11.64	16.10	15.50	0.84241	0.83591	27.50
9	150	12.71	12.34	11.55	11.21	16.60	16.20	0.83983	0.82872	27.40

Cuadro N° 2. Valores experimentales para el tratamiento PVDO de P=200mbar, C=30°Brix y T=20°C

N° de muestra	Tiempo (min.)	Mo		Mt		°Brix de Muestra		Humedad		°Brix de Solución
		1	2	1	2	1	2	1	2	
1	0	12.84	12.24	12.84	12.24	9.00	8.90	0.88785	0.89216	30.00
2	10	12.30	12.32	11.95	11.92	11.50	11.70	0.86192	0.86493	29.50
3	20	12.95	12.69	12.38	12.15	12.30	12.50	0.85460	0.85679	29.40
4	40	12.02	12.05	11.32	11.40	13.10	13.30	0.84717	0.84825	28.90
5	60	12.16	12.16	11.43	11.43	13.30	13.90	0.84514	0.84252	28.70
6	80	12.24	12.04	11.44	11.24	13.80	14.40	0.83829	0.83541	28.50
7	100	12.08	12.36	11.28	11.48	15.30	15.30	0.82447	0.82666	28.30
8	120	12.82	12.52	11.81	11.53	15.60	15.80	0.82049	0.82134	28.20
9	150	12.83	12.42	11.69	11.34	16.90	16.70	0.80411	0.80688	28.00

Cuadro N° 3. Valores experimentales para el tratamiento PVDO de P=50mbar, C=60°Brix y T=20°C

N° de muestra	Tiempo (min.)	Mo		Mt		°Brix de Muestra		Humedad		°Brix de Solución
		1	2	1	2	1	2	1	2	
1	0	12.11	12.17	12.11	12.17	9.00	9.00	0.90008	0.90058	60.00
2	10	12.95	12.54	11.27	10.98	13.20	13.30	0.85803	0.85337	58.70
3	20	12.28	12.24	10.55	10.49	15.10	15.20	0.82938	0.83508	58.00
4	40	12.14	12.50	10.06	10.34	16.10	16.40	0.82903	0.82882	57.50
5	60	12.61	12.83	10.25	10.34	16.80	17.00	0.82146	0.81915	57.00
6	80	12.88	12.66	10.15	9.93	17.80	17.80	0.81084	0.80866	56.70
7	100	12.86	12.26	9.72	9.34	19.10	18.80	0.79733	0.79872	56.30
8	120	12.51	12.50	9.39	9.37	20.10	19.90	0.78701	0.78975	55.90
9	150	12.81	12.66	9.31	9.21	21.20	20.90	0.77981	0.77850	55.60

Cuadro N° 4. Valores experimentales para el tratamiento PVDO de P=200mbar, C=60°Brix y T=20°C

N° de muestra	Tiempo (min.)	Mo		Mt		°Brix de Muestra		Humedad		°Brix de Solución
		1	2	1	2	1	2	1	2	
1	0	12.37	12.38	12.37	12.38	9.00	8.90	0.89006	0.90226	60.00
2	10	12.80	12.20	11.08	10.58	13.90	13.80	0.83394	0.84121	59.00
3	20	12.70	12.60	10.72	10.61	15.70	15.80	0.81530	0.83223	58.50
4	40	12.76	12.78	10.42	10.44	16.30	16.60	0.80902	0.82088	58.00
5	60	12.30	12.73	9.85	10.13	17.10	17.70	0.80102	0.81145	57.80
6	80	12.28	12.03	9.63	9.36	17.80	18.70	0.80062	0.80342	57.40
7	100	12.57	12.66	9.63	9.63	18.60	19.60	0.78712	0.79543	57.10
8	120	12.40	11.97	9.23	8.89	20.60	20.40	0.76815	0.78628	56.80
9	150	12.44	12.61	8.93	9.14	22.10	21.40	0.76260	0.77681	56.50

Cuadro N° 5. Valores experimentales para el tratamiento PVDO de P=50mbar, C=30°Brix y T=40°C

N° de muestra	Tiempo (min.)	Mo		Mt		°Brix de Muestra		Humedad		°Brix de Solución
		1	2	1	2	1	2	1	2	
1	0	12.67	12.44	12.67	12.44	9.00	9.00	0.89661	0.89469	30.00
2	10	12.81	12.38	11.68	11.22	12.90	12.50	0.86387	0.86007	29.40
3	20	12.47	12.38	11.16	11.06	13.80	13.40	0.85484	0.84810	29.20
4	40	12.79	12.85	11.36	11.40	14.60	14.60	0.83891	0.83333	28.90
5	60	12.96	12.26	11.49	10.89	15.90	15.90	0.82768	0.82185	28.80
6	80	12.68	12.31	11.24	10.90	17.80	17.00	0.81050	0.80917	28.70
7	100	12.85	12.68	11.31	11.17	17.90	17.60	0.80813	0.80215	28.60
8	120	12.93	12.68	11.41	11.17	18.70	18.30	0.79930	0.79409	28.50
9	150	12.76	12.28	11.22	10.76	19.90	19.40	0.78699	0.78160	28.40

Cuadro N° 6. Valores experimentales para el tratamiento PVDO de P=200mbar, C=30°Brix y T=40°C

N° de muestra	Tiempo (min.)	Mo		Mt		°Brix de Muestra		Humedad		°Brix de Solución
		1	2	1	2	1	2	1	2	
1	0	12.31	12.43	12.31	12.43	8.70	8.80	0.90171	0.89783	30.00
2	10	12.43	12.22	11.08	10.92	13.90	13.60	0.85469	0.84432	29.00
3	20	12.88	12.53	11.36	11.06	15.10	14.70	0.83715	0.83092	28.90
4	40	12.53	12.33	10.99	10.84	15.70	16.50	0.82621	0.81827	28.80
5	60	12.89	12.54	11.30	10.98	16.70	16.90	0.81858	0.80692	28.60
6	80	12.93	12.54	11.32	10.96	18.50	18.00	0.80300	0.79562	28.50
7	100	12.40	12.24	10.81	10.65	18.90	18.60	0.79833	0.78873	28.50
8	120	12.15	12.23	10.55	10.62	19.20	19.20	0.79431	0.78154	28.40
9	150	12.48	12.22	10.78	10.56	21.20	20.70	0.77365	0.77462	28.20

Cuadro N° 7. Valores experimentales para el tratamiento PVDO de P=50mbar, C=60°Brix y T=40°C

N° de muestra	Tiempo (min.)	Mo		Mt		°Brix de Muestra		Humedad		°Brix de Solución
		1	2	1	2	1	2	1	2	
1	0	12.38	12.56	12.38	12.56	8.00	8.50	0.90065	0.90685	60.00
2	10	12.30	12.06	10.35	10.16	16.20	16.00	0.81836	0.82087	57.20
3	20	12.81	12.57	10.22	10.18	17.70	17.60	0.80137	0.80550	56.00
4	40	12.99	12.73	10.23	9.93	19.80	19.80	0.78104	0.78348	54.90
5	60	12.55	12.55	9.55	9.43	21.20	21.60	0.76649	0.76458	54.20
6	80	12.80	12.62	9.24	9.09	23.80	23.50	0.74026	0.74477	53.60
7	100	12.48	12.16	8.76	8.51	25.50	25.40	0.72374	0.72855	53.00
8	120	12.13	12.17	8.27	8.25	27.60	26.90	0.69891	0.70909	52.80
9	150	12.47	12.56	7.87	8.09	29.90	28.90	0.68869	0.69098	52.50

Cuadro N° 8. Valores experimentales para el tratamiento PVDO de P=200mbar, C=60°Brix y T=40°C

N° de muestra	Tiempo (min.)	Mo		Mt		°Brix de Muestra		Humedad		°Brix de Solución
		1	2	1	2	1	2	1	2	
1	0	12.74	12.41	12.74	12.41	8.00	8.60	0.90110	0.90572	60.00
2	10	12.87	12.79	10.29	10.35	16.00	16.00	0.81924	0.82222	57.80
3	20	12.96	12.55	10.04	9.80	17.40	17.80	0.80478	0.80612	57.50
4	40	12.94	12.53	9.81	9.37	19.90	20.60	0.77982	0.77908	56.20
5	60	12.24	12.24	8.97	8.79	22.20	22.80	0.75697	0.75654	55.50
6	80	12.17	12.10	8.31	8.27	25.50	25.10	0.72202	0.73035	55.00
7	100	12.73	12.43	8.63	8.28	27.60	27.10	0.69988	0.71135	54.70
8	120	12.11	12.06	7.62	7.66	29.80	29.20	0.67979	0.69060	54.20
9	150	12.79	12.49	7.55	7.53	31.20	31.00	0.68344	0.67463	54.00

Cuadro N° 9. Valores experimentales para el tratamiento PVDO de P=0mbar, C=45°Brix y T=30°C

N° de muestra	Tiempo (min.)	Mo		Mt		°Brix de Muestra		Humedad		°Brix de Solución
		1	2	1	2	1	2	1	2	
1	0	12.67	12.36	12.67	12.36	9.00	8.90	0.89740	0.90049	45.00
2	10	12.23	12.50	11.35	11.87	10.80	11.30	0.88018	0.87784	44.30
3	20	12.69	12.19	11.18	11.25	12.50	12.30	0.86762	0.86756	43.90
4	40	12.13	12.67	10.52	11.49	13.80	13.60	0.85361	0.85292	43.50
5	60	12.27	12.17	10.47	10.84	15.10	14.70	0.83668	0.84041	43.20
6	80	12.07	12.37	10.21	10.89	16.30	15.90	0.81783	0.82736	43.00
7	100	12.63	12.49	10.45	10.82	17.10	16.70	0.81531	0.82070	42.70
8	120	12.62	12.35	10.42	10.61	18.10	17.60	0.81382	0.81433	42.50
9	150	12.43	12.34	10.20	10.46	19.00	18.50	0.80392	0.80210	42.20

Cuadro N° 10. Valores experimentales para el tratamiento PVDO de P=250mbar, C=45°Brix y T=30°C

N° de muestra	Tiempo (min.)	Mo		Mt		°Brix de Muestra		Humedad		°Brix de Solución
		1	2	1	2	1	2	1	2	
1	0	12.78	12.57	12.78	12.57	9.10	8.90	0.88498	0.89817	45.00
2	10	12.83	12.49	11.58	11.34	13.10	12.80	0.84370	0.85538	44.20
3	20	12.48	12.59	11.11	11.21	14.20	13.80	0.83258	0.84300	44.00
4	40	12.53	12.82	10.86	11.10	16.30	15.50	0.81123	0.82432	43.80
5	60	12.35	12.13	10.69	10.34	17.70	16.90	0.79607	0.80754	43.60
6	80	12.26	12.58	10.21	10.45	18.60	17.80	0.78746	0.79617	43.40
7	100	12.82	12.72	10.38	10.34	20.00	19.10	0.77168	0.78337	43.20
8	120	12.07	12.19	9.55	9.73	20.80	20.00	0.75497	0.76978	43.00
9	150	12.28	12.30	9.64	9.64	22.30	21.50	0.74066	0.75415	42.90

Cuadro N° 11. Valores experimentales para el tratamiento PVDO de P=125mbar, C=20°Brix y T=30°C

N° de muestra	Tiempo (min.)	Mo		Mt		°Brix de Muestra		Humedad		°Brix de Solución
		1	2	1	2	1	2	1	2	
1	0	12.28	12.47	12.28	12.47	8.90	8.90	0.89902	0.08822	45.00
2	10	12.81	12.76	12.27	12.18	10.90	10.80	0.89487	0.10776	44.30
3	20	12.06	12.25	11.32	11.51	12.10	11.60	0.86131	0.11435	43.90
4	40	12.10	12.06	11.23	11.23	12.80	12.60	0.85574	0.12388	43.50
5	60	12.40	12.47	11.49	11.53	13.30	13.30	0.85553	0.13052	43.20
6	80	12.83	12.52	11.83	11.50	14.20	14.30	0.83855	0.13987	43.00
7	100	12.17	12.44	11.11	11.33	14.90	14.70	0.83258	0.14298	42.70
8	120	12.11	12.38	11.02	11.21	16.20	15.60	0.81397	0.15103	42.50
9	150	12.60	12.31	11.19	10.99	17.10	16.40	0.80250	0.15797	42.20

Cuadro N° 12. Valores experimentales para el tratamiento PVDO de P=125mbar, C=70°Brix y T=30°C

N° de muestra	Tiempo (min.)	Mo		Mt		°Brix de Muestra		Humedad		°Brix de Solución
		1	2	1	2	1	2	1	2	
1	0	12.17	12.67	12.17	12.67	8.40	8.50	0.90468	0.08366	45.00
2	10	12.41	12.60	10.67	10.68	13.80	14.00	0.85005	0.13703	44.30
3	20	12.19	12.48	9.98	10.22	15.90	15.80	0.82866	0.15515	43.90
4	40	12.52	12.45	9.88	9.81	18.00	17.50	0.80769	0.17125	43.50
5	60	12.18	12.18	9.19	9.25	19.50	19.00	0.79217	0.18537	43.20
6	80	12.62	12.75	8.98	9.32	20.80	20.30	0.77840	0.19759	43.00
7	100	12.12	12.19	8.52	8.73	21.50	21.40	0.77113	0.20802	42.70
8	120	12.82	12.92	9.18	9.16	22.80	22.70	0.74728	0.21960	42.50
9	150	12.47	12.23	8.88	8.47	24.10	24.10	0.74775	0.23355	42.20

Cuadro N° 13. Valores experimentales para el tratamiento PVDO de P=125mbar, C=45°Brix y T=13°C

N° de muestra	Tiempo (min.)	Mo		Mt		°Brix de Muestra		Humedad		°Brix de Solución
		1	2	1	2	1	2	1	2	
1	0	12.61	12.82	12.61	12.82	9.00	8.70	0.89056	0.08585	45.00
2	10	12.69	12.70	11.60	11.50	12.60	12.10	0.85517	0.11826	44.30
3	20	12.65	12.63	11.09	11.20	13.90	13.20	0.83950	0.12886	43.90
4	40	12.33	12.39	10.72	10.76	15.10	14.60	0.82649	0.14252	43.50
5	60	12.93	12.43	11.08	10.59	16.20	15.70	0.81318	0.15283	43.20
6	80	12.14	12.59	10.27	10.55	17.80	16.90	0.79649	0.16424	43.00
7	100	12.84	12.43	10.51	10.20	18.80	17.90	0.78972	0.17399	42.70
8	120	12.54	12.83	10.09	10.36	19.50	18.80	0.78097	0.18281	42.50
9	150	12.58	12.27	9.94	9.69	20.60	19.90	0.77465	0.19460	42.20

Cuadro N° 14. Valores experimentales para el tratamiento PVDO de P=125mbar, C=45°Brix y T=47°C

N° de muestra	Tiempo (min.)	Mo		Mt		°Brix de Muestra		Humedad		°Brix de Solución
		1	2	1	2	1	2	1	2	
1	0	12.63	12.72	12.63	12.72	8.10	8.50	0.89628	0.08355	45.00
2	10	12.65	12.68	11.60	11.43	13.20	13.50	0.84483	0.13395	43.80
3	20	12.06	12.43	10.52	10.90	14.30	14.90	0.83270	0.14762	43.50
4	40	12.77	12.54	10.37	10.36	15.20	16.80	0.84764	0.16723	43.20
5	60	12.23	12.20	9.32	9.65	17.90	19.00	0.78433	0.18571	43.10
6	80	12.32	12.65	9.28	9.77	20.30	21.00	0.76940	0.20569	43.00
7	100	12.05	12.17	9.01	9.21	21.70	22.60	0.75250	0.22034	42.80
8	120	12.26	12.73	9.19	9.47	23.90	24.40	0.72688	0.23687	42.50
9	150	12.38	12.20	9.07	8.80	27.40	26.90	0.69129	0.25885	42.10

Cuadro N° 15. Valores experimentales para el tratamiento PVDO de P=125mbar, C=45°Brix y T=30°C

N° de muestra	Tiempo (min.)	Mo		Mt		°Brix de Muestra		Humedad		°Brix de Solución
		1	2	1	2	1	2	1	2	
1	0	12.61	12.56	12.61	12.56	9.00	8.60	0.89056	0.08435	45.00
2	10	12.69	12.66	11.50	11.74	12.60	13.00	0.85391	0.12626	44.30
3	20	12.65	12.75	10.99	11.64	13.90	13.90	0.83803	0.13481	43.90
4	40	12.33	12.63	10.62	11.27	15.10	15.10	0.82863	0.14614	43.50
5	60	12.93	12.21	10.98	10.70	16.20	16.90	0.81694	0.16327	43.20
6	80	12.14	12.40	10.17	10.69	17.80	18.30	0.79548	0.17705	43.00
7	100	12.84	12.59	10.41	10.71	19.30	19.70	0.78963	0.19035	42.70
8	120	12.54	12.52	9.99	10.52	20.10	20.60	0.77377	0.19927	42.50
9	150	12.58	12.25	9.74	10.02	22.50	21.60	0.74949	0.20869	42.20

Cuadro N° 16. Valores experimentales para el tratamiento PVDO de P=125mbar, C=45°Brix y T=30°C

N° de muestra	Tiempo (min.)	Mo		Mt		°Brix de Muestra		Humedad		°Brix de Solución
		1	2	1	2	1	2	1	2	
1	0	12.77	12.21	12.77	12.21	9.00	8.70	0.89428	0.08530	45.00
2	10	12.38	12.64	11.37	11.69	13.50	13.20	0.84960	0.12827	44.40
3	20	12.42	12.72	11.16	11.56	15.20	14.40	0.83154	0.13985	44.10
4	40	12.14	12.58	10.68	11.16	17.70	15.90	0.80618	0.15416	43.80
5	60	12.13	12.15	10.52	10.58	18.50	17.40	0.79848	0.16844	43.40
6	80	12.75	12.48	11.37	10.75	19.70	18.70	0.78716	0.18101	43.10
7	100	12.82	12.67	10.59	10.46	20.80	20.00	0.77620	0.19264	42.90
8	120	12.67	12.55	10.31	10.41	21.70	20.90	0.76625	0.20229	42.80
9	150	12.91	12.22	10.23	9.88	22.90	22.10	0.75660	0.21363	42.60

Cuadro N° 17. Valores experimentales para el tratamiento PVDO de P=125mbar, C=45°Brix y T=30°C

N° de muestra	Tiempo (min.)	Mo		Mt		°Brix de Muestra		Humedad		°Brix de Solución
		1	2	1	2	1	2	1	2	
1	0	12.47	12.23	12.47	12.23	8.10	8.90	0.89735	0.08731	45.00
2	10	12.48	12.68	11.54	11.71	13.30	12.90	0.84575	0.12509	44.60
3	20	12.64	12.72	11.53	11.49	13.80	14.20	0.84042	0.13785	44.20
4	40	12.43	12.57	11.11	11.12	14.00	15.90	0.83798	0.15489	43.50
5	60	12.51	12.22	10.99	10.62	16.50	17.20	0.80710	0.16646	43.20
6	80	12.23	12.47	10.56	10.76	18.20	18.40	0.79640	0.17855	43.00
7	100	12.35	12.75	10.56	10.69	20.30	19.50	0.77557	0.18785	42.90
8	120	12.48	12.56	10.53	10.39	20.90	20.60	0.76923	0.19852	42.80
9	150	12.42	12.24	10.07	9.91	21.20	22.00	0.76862	0.21232	42.70

Cuadro N° 18. Valores experimentales para el tratamiento PVDO de P=125mbar, C=45°Brix y T=30°C

N° de muestra	Tiempo (min.)	Mo		Mt		°Brix de Muestra		Humedad		°Brix de Solución
		1	2	1	2	1	2	1	2	
1	0	12.69	12.17	12.69	12.17	9.00	8.70	0.89283	0.08566	45.00
2	10	12.54	12.68	11.44	11.60	13.10	12.80	0.85227	0.12578	44.30
3	20	12.54	12.22	11.08	10.95	14.50	13.60	0.83574	0.13326	44.00
4	40	12.24	12.37	10.65	10.84	16.40	15.00	0.81878	0.14652	43.60
5	60	12.53	12.51	10.75	10.76	17.30	16.50	0.80930	0.16088	43.30
6	80	12.45	12.65	10.77	10.70	18.70	17.90	0.79387	0.17483	43.00
7	100	12.83	12.26	10.50	10.19	19.70	19.10	0.78190	0.18628	42.80
8	120	12.61	12.39	10.15	10.15	20.90	20.10	0.77241	0.19580	42.60
9	150	12.75	12.77	9.99	10.21	22.50	21.50	0.75475	0.20950	42.40

Cuadro N° 19. Valores experimentales para el tratamiento PVDO de P=125mbar, C=45°Brix y T=30°C

N° de muestra	Tiempo (min.)	Mo		Mt		°Brix de Muestra		Humedad		°Brix de Solución
		1	2	1	2	1	2	1	2	
1	0	12.62	12.61	12.62	12.61	8.50	8.90	0.89620	0.08739	45.00
2	10	12.43	12.73	11.46	11.49	13.40	12.40	0.84817	0.12098	44.50
3	20	12.53	12.76	11.35	11.21	14.50	13.20	0.83524	0.12793	44.10
4	40	12.29	12.60	10.89	10.83	15.80	14.70	0.82277	0.14226	43.60
5	60	12.32	12.35	10.76	10.42	17.50	16.00	0.80390	0.15465	43.30
6	80	12.49	12.37	10.97	10.26	18.90	17.30	0.79216	0.16658	43.10
7	100	12.59	12.75	10.58	10.34	20.55	18.60	0.77599	0.17944	42.90
8	120	12.58	12.54	10.42	10.00	21.30	19.60	0.76871	0.18844	42.80
9	150	12.67	12.30	10.15	9.59	22.20	21.30	0.76256	0.20433	42.60

Cuadro N° 20. Valores experimentales para el tratamiento PVDO de P=125mbar, C=45°Brix y T=30°C

N° de muestra	Tiempo (min.)	Mo		Mt		°Brix de Muestra		Humedad		°Brix de Solución
		1	2	1	2	1	2	1	2	
1	0	12.54	12.66	12.54	12.66	8.50	8.90	0.89394	0.08751	45.00
2	10	12.59	12.63	11.52	11.64	12.90	13.40	0.84983	0.13027	44.40
3	20	12.65	12.68	11.26	11.46	13.80	14.70	0.84103	0.14271	44.00
4	40	12.38	12.53	10.87	11.05	14.50	16.70	0.83165	0.16202	43.50
5	60	12.72	12.08	10.99	10.45	16.30	17.80	0.80983	0.17241	43.20
6	80	12.19	12.57	10.37	10.84	18.00	19.00	0.79846	0.18415	43.10
7	100	12.60	12.75	10.49	10.60	19.50	20.10	0.78265	0.19461	42.80
8	120	12.51	12.58	10.26	10.31	20.50	21.10	0.77290	0.20414	42.70
9	150	12.50	12.41	9.91	9.94	21.80	22.40	0.75883	0.21664	42.50



ANEXO E.

Cuadro N° 1. Tiempo de proceso y cambios composicionales de las muestras [Fracción másica de agua (X_w) y sólidos solubles (X_s), contenido de sólidos solubles en la fase líquida (Z_s); pérdida de peso (M), pérdida de agua (M_w) y ganancia de solutos (M_s)] para el tratamiento de PVOD. P=50 mbar, C=30°Brix y T=20°C

Nº de muestra	Tiempo (min.)	X_w		X_s		Z_s		ΔM		ΔM_w		ΔM_s	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	0	0.9095	0.9004	0.0899	0.0847	0.090	0.086	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
2	10	0.8873	0.8802	0.1119	0.1066	0.112	0.108	-0.02470	-0.02603	-0.04413	-0.04315	0.01919	0.01907
3	20	0.8830	0.8738	0.1215	0.1135	0.121	0.115	-0.03016	-0.03611	-0.05312	-0.05817	0.02793	0.02472
4	40	0.8806	0.8662	0.1246	0.1226	0.124	0.124	-0.05599	-0.05168	-0.07821	-0.07895	0.02772	0.03156
5	60	0.8722	0.8578	0.1315	0.1304	0.131	0.132	-0.06395	-0.06058	-0.09302	-0.09459	0.03313	0.03782
6	80	0.8641	0.8507	0.1395	0.1373	0.139	0.139	-0.06656	-0.06762	-0.10289	-0.10724	0.04027	0.04333
7	100	0.8506	0.8421	0.1537	0.1463	0.153	0.148	-0.07349	-0.07463	-0.12135	-0.12114	0.05242	0.05064
8	120	0.8424	0.8359	0.1617	0.1533	0.161	0.155	-0.08019	-0.08202	-0.13460	-0.13305	0.05875	0.05604
9	150	0.8398	0.8287	0.1672	0.1602	0.166	0.162	-0.09127	-0.09157	-0.14629	-0.14757	0.06196	0.06082

Cuadro N° 2. Tiempo de proceso y cambios composicionales de las muestras [Fracción másica de agua (X_w) y sólidos solubles (X_s), contenido de sólidos solubles en la fase líquida (Z_s); pérdida de peso (M), pérdida de agua (M_w) y ganancia de solutos (M_s)] para el tratamiento de PVOD. P=200 mbar, C=30°Brix y T=20°C

Nº de muestra	Tiempo (min.)	X_w		X_s		Z_s		ΔM		ΔM_w		ΔM_s	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	0	0.8879	0.8922	0.0878	0.0872	0.090	0.089	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
2	10	0.8619	0.8649	0.1120	0.1146	0.115	0.117	-0.02846	-0.03247	-0.05045	-0.05531	0.02101	0.02373
3	20	0.8546	0.8568	0.1199	0.1224	0.123	0.125	-0.04402	-0.04255	-0.07086	-0.07183	0.02677	0.03003
4	40	0.8472	0.8482	0.1277	0.1301	0.131	0.133	-0.05824	-0.05394	-0.09001	-0.08967	0.03246	0.03594
5	60	0.8451	0.8425	0.1296	0.1360	0.133	0.139	-0.06003	-0.06003	-0.09344	-0.10022	0.03405	0.04069
6	80	0.8383	0.8354	0.1342	0.1405	0.138	0.144	-0.06536	-0.06645	-0.10435	-0.11226	0.03762	0.04404
7	100	0.8245	0.8267	0.1489	0.1493	0.153	0.153	-0.06623	-0.07120	-0.11798	-0.12436	0.05126	0.05153
8	120	0.8205	0.8213	0.1517	0.1541	0.156	0.158	-0.07878	-0.07907	-0.13200	-0.13577	0.05190	0.05478
9	150	0.8041	0.8069	0.1635	0.1618	0.169	0.167	-0.08885	-0.08696	-0.15519	-0.15544	0.06119	0.06054

Cuadro N° 3. Tiempo de proceso y cambios composicionales de las muestras [Fracción másica de agua (X_w) y sólidos solubles (X_s), contenido de sólidos solubles en la fase líquida (Z_s); pérdida de peso (M), pérdida de agua (M_w) y ganancia de solutos (M_s)] para el tratamiento de PVOD. P=50 mbar, C=60°Brix y T=20°C

Nº de muestra	Tiempo (min.)	X_w		X_s		Z_s		ΔM		ΔM_w		ΔM_s	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	0	0.9001	0.9006	0.0890	0.0891	0.090	0.090	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
2	10	0.8580	0.8534	0.1305	0.1309	0.132	0.133	-0.12973	-0.12440	-0.15336	-0.15337	0.02454	0.02556
3	20	0.8294	0.8351	0.1475	0.1497	0.151	0.152	-0.14088	-0.14297	-0.18754	-0.18489	0.03771	0.03922
4	40	0.8290	0.8288	0.1591	0.1626	0.161	0.164	-0.17133	-0.17280	-0.21310	-0.21498	0.04281	0.04543
5	60	0.8215	0.8191	0.1659	0.1678	0.168	0.170	-0.18715	-0.19408	-0.23236	-0.24040	0.04581	0.04615
6	80	0.8108	0.8087	0.1756	0.1751	0.178	0.178	-0.21196	-0.21564	-0.26111	-0.26629	0.04935	0.04828
7	100	0.7973	0.7987	0.1882	0.1849	0.191	0.188	-0.24417	-0.23817	-0.29744	-0.29209	0.05326	0.05181
8	120	0.7870	0.7898	0.1980	0.1962	0.201	0.199	-0.24940	-0.25040	-0.30936	-0.30858	0.05959	0.05801
9	150	0.7798	0.7785	0.2098	0.2057	0.212	0.209	-0.27322	-0.27251	-0.33334	-0.33422	0.06346	0.06057



Cuadro N° 4. Tiempo de proceso y cambios composicionales de las muestras [Fracción másica de agua (X_w) y sólidos solubles (X_s), contenido de sólidos solubles en la fase líquida (Z_s); pérdida de peso (M), pérdida de agua (M_w) y ganancia de solutos (M_s)] para el tratamiento de PVOD. $P=200$ mbar, $C=60^{\circ}$ Brix y $T=20^{\circ}$ C

N° de muestra	Tiempo (min.)	X_w		X_s		Z_s		ΔM		ΔM_w		ΔM_s	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	0	0.8901	0.9023	0.0880	0.0881	0.090	0.089	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
2	10	0.8339	0.8412	0.1346	0.1347	0.139	0.138	-0.13438	-0.13279	-0.16818	-0.17275	0.02851	0.02864
3	20	0.8153	0.8322	0.1518	0.1562	0.157	0.158	-0.15591	-0.15794	-0.20187	-0.20147	0.04014	0.04336
4	40	0.8090	0.8209	0.1576	0.1634	0.163	0.166	-0.18339	-0.18310	-0.22940	-0.23168	0.04063	0.04533
5	60	0.8010	0.8115	0.1652	0.1745	0.171	0.177	-0.19919	-0.20424	-0.24859	-0.25654	0.04429	0.05073
6	80	0.8006	0.8034	0.1734	0.1848	0.178	0.187	-0.21580	-0.22195	-0.26221	-0.27716	0.04793	0.05564
7	100	0.7871	0.7954	0.1799	0.1939	0.186	0.196	-0.23389	-0.23934	-0.28703	-0.29721	0.04976	0.05935
8	120	0.7681	0.7863	0.1993	0.2015	0.206	0.204	-0.25565	-0.25731	-0.31828	-0.31830	0.06032	0.06151
9	150	0.7626	0.7768	0.2163	0.2115	0.221	0.214	-0.28215	-0.27518	-0.34263	-0.33922	0.06728	0.06515

Cuadro N° 5. Tiempo de proceso y cambios composicionales de las muestras [Fracción másica de agua (X_w) y sólidos solubles (X_s), contenido de sólidos solubles en la fase líquida (Z_s); pérdida de peso (M), pérdida de agua (M_w) y ganancia de solutos (M_s)] para el tratamiento de PVOD. $P=50$ mbar, $C=30^{\circ}$ Brix y $T=40^{\circ}$ C

N° de muestra	Tiempo (min.)	X_w		X_s		Z_s		ΔM		ΔM_w		ΔM_s	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	0	0.8966	0.8947	0.0887	0.0885	0.090	0.090	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
2	10	0.8639	0.8601	0.1279	0.1229	0.129	0.125	-0.08821	-0.09370	-0.10894	-0.11521	0.02798	0.02287
3	20	0.8548	0.8481	0.1369	0.1312	0.138	0.134	-0.10505	-0.10662	-0.13157	-0.13702	0.03380	0.02875
4	40	0.8389	0.8333	0.1434	0.1425	0.146	0.146	-0.11181	-0.11284	-0.15149	-0.15539	0.03871	0.03790
5	60	0.8277	0.8219	0.1565	0.1554	0.159	0.159	-0.11343	-0.11175	-0.16281	-0.16468	0.05006	0.04953
6	80	0.8105	0.8092	0.1755	0.1657	0.178	0.170	-0.11356	-0.11454	-0.17815	-0.17820	0.06690	0.05826
7	100	0.8081	0.8021	0.1762	0.1713	0.179	0.176	-0.11984	-0.11909	-0.18532	-0.18807	0.06640	0.06244
8	120	0.7993	0.7941	0.1838	0.1779	0.187	0.183	-0.11756	-0.11909	-0.19127	-0.19517	0.07356	0.06820
9	150	0.7870	0.7816	0.1955	0.1881	0.199	0.194	-0.12069	-0.12378	-0.20460	-0.20984	0.08325	0.07635

Cuadro N° 6. Tiempo de proceso y cambios composicionales de las muestras [Fracción másica de agua (X_w) y sólidos solubles (X_s), contenido de sólidos solubles en la fase líquida (Z_s); pérdida de peso (M), pérdida de agua (M_w) y ganancia de solutos (M_s)] para el tratamiento de PVOD. $P=200$ mbar, $C=30^{\circ}$ Brix y $T=40^{\circ}$ C

N° de muestra	Tiempo (min.)	X_w		X_s		Z_s		ΔM		ΔM_w		ΔM_s	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	0	0.9017	0.8978	0.0859	0.0866	0.087	0.088	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
2	10	0.8547	0.8443	0.1380	0.1329	0.139	0.136	-0.10861	-0.10638	-0.13984	-0.14333	0.03707	0.03213
3	20	0.8371	0.8309	0.1489	0.1432	0.151	0.147	-0.11801	-0.11732	-0.16335	-0.16439	0.04540	0.03976
4	40	0.8262	0.8183	0.1539	0.1617	0.157	0.165	-0.12291	-0.12084	-0.17705	-0.17844	0.04904	0.05552
5	60	0.8186	0.8069	0.1641	0.1641	0.167	0.169	-0.12335	-0.12440	-0.18410	-0.19129	0.05794	0.05706
6	80	0.8030	0.7956	0.1823	0.1746	0.185	0.180	-0.12452	-0.12600	-0.19869	-0.20245	0.07366	0.06601
7	100	0.7983	0.7887	0.1860	0.1802	0.189	0.186	-0.12823	-0.12990	-0.20574	-0.21155	0.07627	0.07018
8	120	0.7943	0.7815	0.1887	0.1857	0.192	0.192	-0.13169	-0.13164	-0.21199	-0.21917	0.07797	0.07463
9	150	0.7737	0.7746	0.2081	0.2022	0.212	0.207	-0.13622	-0.13584	-0.23344	-0.22843	0.09386	0.08810



Cuadro N° 7. Tiempo de proceso y cambios composicionales de las muestras [Fracción másica de agua (X_w) y sólidos solubles (X_s), contenido de sólidos solubles en la fase líquida (Z_s); pérdida de peso (M), pérdida de agua (M_w) y ganancia de solutos (M_s)] para el tratamiento de PVOD. $P=50$ mbar, $C=60^\circ$ Brix y $T=40^\circ$ C

Nº de muestra	Tiempo (min.)	X_w		X_s		Z_s		ΔM		ΔM_w		ΔM_s	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	0	0.9006	0.9068	0.0783	0.0842	0.080	0.085	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
2	10	0.8184	0.8209	0.1582	0.1564	0.162	0.160	-0.15854	-0.15755	-0.21203	-0.21530	0.05480	0.04748
3	20	0.8014	0.8055	0.1723	0.1720	0.177	0.176	-0.20219	-0.19014	-0.26130	-0.25450	0.05918	0.05509
4	40	0.7810	0.7835	0.1928	0.1934	0.198	0.198	-0.21247	-0.21995	-0.28556	-0.29569	0.07354	0.06664
5	60	0.7665	0.7646	0.2062	0.2106	0.212	0.216	-0.23904	-0.24861	-0.31738	-0.33235	0.07860	0.07404
6	80	0.7403	0.7448	0.2312	0.2288	0.238	0.235	-0.27813	-0.27971	-0.36627	-0.37040	0.08859	0.08055
7	100	0.7237	0.7286	0.2477	0.2481	0.255	0.254	-0.29808	-0.30016	-0.39263	-0.39698	0.09557	0.08936
8	120	0.6989	0.7091	0.2664	0.2609	0.276	0.269	-0.31822	-0.32210	-0.42414	-0.42616	0.10333	0.09265
9	150	0.6887	0.6910	0.2937	0.2809	0.299	0.289	-0.36889	-0.35589	-0.46600	-0.46178	0.10707	0.09666

Cuadro N° 8. Tiempo de proceso y cambios composicionales de las muestras [Fracción másica de agua (X_w) y sólidos solubles (X_s), contenido de sólidos solubles en la fase líquida (Z_s); pérdida de peso (M), pérdida de agua (M_w) y ganancia de solutos (M_s)] para el tratamiento de PVOD. $P=200$ mbar, $C=60^\circ$ Brix y $T=40^\circ$ C

Nº de muestra	Tiempo (min.)	X_w		X_s		Z_s		ΔM		ΔM_w		ΔM_s	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	0	0.9011	0.9057	0.0784	0.0852	0.080	0.086	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
2	10	0.8192	0.8222	0.1560	0.1566	0.160	0.160	-0.20047	-0.19077	-0.24609	-0.24036	0.04641	0.04151
3	20	0.8048	0.8061	0.1695	0.1746	0.174	0.178	-0.22531	-0.21912	-0.27764	-0.27624	0.05298	0.05109
4	40	0.7798	0.7791	0.1937	0.2021	0.199	0.206	-0.24189	-0.25219	-0.30991	-0.32312	0.06852	0.06593
5	60	0.7570	0.7565	0.2160	0.2234	0.222	0.228	-0.26716	-0.28186	-0.34636	-0.36242	0.07994	0.07524
6	80	0.7220	0.7304	0.2471	0.2448	0.255	0.251	-0.31717	-0.31653	-0.40808	-0.40655	0.09039	0.08206
7	100	0.6999	0.7114	0.2668	0.2644	0.276	0.271	-0.32207	-0.33387	-0.42663	-0.43187	0.10252	0.09093
8	120	0.6798	0.6906	0.2886	0.2848	0.298	0.292	-0.37077	-0.36484	-0.47335	-0.46708	0.10322	0.09569
9	150	0.6834	0.6746	0.3099	0.3031	0.312	0.310	-0.40970	-0.39712	-0.49766	-0.49900	0.10460	0.09751

Cuadro N° 9. Tiempo de proceso y cambios composicionales de las muestras [Fracción másica de agua (X_w) y sólidos solubles (X_s), contenido de sólidos solubles en la fase líquida (Z_s); pérdida de peso (M), pérdida de agua (M_w) y ganancia de solutos (M_s)] para el tratamiento de PVOD. $P=0$ mbar, $C=45^\circ$ Brix y $T=30^\circ$ C

Nº de muestra	Tiempo (min.)	X_w		X_s		Z_s		ΔM		ΔM_w		ΔM_s	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	0	0.8974	0.9005	0.0888	0.0880	0.090	0.089	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
2	10	0.8802	0.8778	0.1066	0.1118	0.108	0.113	-0.07195	-0.05040	-0.08055	-0.06689	0.01015	0.01822
3	20	0.8676	0.8676	0.1239	0.1217	0.125	0.123	-0.11899	-0.07711	-0.13301	-0.09983	0.02044	0.02432
4	40	0.8536	0.8529	0.1367	0.1343	0.138	0.136	-0.13273	-0.09313	-0.15708	-0.12700	0.02977	0.03378
5	60	0.8367	0.8404	0.1488	0.1448	0.151	0.147	-0.14670	-0.10929	-0.18346	-0.15192	0.03822	0.04103
6	80	0.8178	0.8274	0.1593	0.1564	0.163	0.159	-0.15410	-0.11964	-0.20560	-0.17211	0.04597	0.04973
7	100	0.8153	0.8207	0.1682	0.1645	0.171	0.167	-0.17260	-0.13371	-0.22281	-0.18952	0.05039	0.05456
8	120	0.8138	0.8143	0.1799	0.1739	0.181	0.176	-0.17433	-0.14089	-0.22545	-0.20089	0.05975	0.06146
9	150	0.8039	0.8021	0.1886	0.1821	0.190	0.185	-0.17940	-0.15235	-0.23770	-0.22058	0.06599	0.06636

Cuadro N° 10. Tiempo de proceso y cambios composicionales de las muestras [Fracción másica de agua (X_w) y sólidos solubles (X_s), contenido de sólidos solubles en la fase líquida (Z_s); pérdida de peso (M), pérdida de agua (M_w) y ganancia de solutos (M_s)] para el tratamiento de PVOD. $P=250$ mbar, $C=45^{\circ}$ Brix y $T=30^{\circ}$ C

Nº de muestra	Tiempo (min.)	X_w		X_s		Z_s		ΔM		ΔM_w		ΔM_s	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	0	0.8850	0.8982	0.0886	0.0877	0.091	0.089	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
2	10	0.8437	0.8554	0.1272	0.1256	0.131	0.128	-0.09743	-0.09207	-0.12348	-0.12155	0.02620	0.02625
3	20	0.8326	0.8430	0.1378	0.1350	0.142	0.138	-0.10978	-0.10961	-0.14379	-0.14757	0.03407	0.03242
4	40	0.8112	0.8243	0.1580	0.1512	0.163	0.155	-0.13328	-0.13417	-0.18186	-0.18444	0.04833	0.04317
5	60	0.7961	0.8075	0.1712	0.1642	0.177	0.169	-0.13441	-0.14757	-0.19591	-0.20979	0.05960	0.05225
6	80	0.7875	0.7962	0.1799	0.1724	0.186	0.178	-0.16721	-0.16932	-0.22919	-0.23680	0.06125	0.05547
7	100	0.7717	0.7834	0.1929	0.1849	0.200	0.191	-0.19033	-0.18711	-0.26017	-0.26138	0.06761	0.06260
8	120	0.7550	0.7698	0.1983	0.1924	0.208	0.200	-0.20878	-0.20180	-0.28763	-0.28373	0.06828	0.06586
9	150	0.7407	0.7541	0.2126	0.2066	0.223	0.215	-0.21498	-0.21626	-0.30354	-0.30711	0.07828	0.07414

Cuadro N° 11. Tiempo de proceso y cambios composicionales de las muestras [Fracción másica de agua (X_w) y sólidos solubles (X_s), contenido de sólidos solubles en la fase líquida (Z_s); pérdida de peso (M), pérdida de agua (M_w) y ganancia de solutos (M_s)] para el tratamiento de PVOD. $P=125$ mbar, $C=20^{\circ}$ Brix y $T=30^{\circ}$ C

Nº de muestra	Tiempo (min.)	X_w		X_s		Z_s		ΔM		ΔM_w		ΔM_s	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	0	0.8990	0.0882	0.0878	0.9030	0.089	0.089	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
2	10	0.8949	0.1078	0.1095	0.8900	0.109	0.108	-0.04215	-0.04545	-0.04188	-0.05344	0.01703	0.01464
3	20	0.8613	0.1143	0.1186	0.8714	0.121	0.116	-0.06136	-0.06041	-0.09057	-0.08419	0.02346	0.01923
4	40	0.8557	0.1239	0.1256	0.8593	0.128	0.126	-0.07190	-0.06882	-0.10481	-0.10280	0.02875	0.02714
5	60	0.8555	0.1305	0.1312	0.8508	0.133	0.133	-0.07339	-0.07538	-0.10628	-0.11628	0.03378	0.03246
6	80	0.8385	0.1399	0.1388	0.8383	0.142	0.143	-0.07794	-0.08147	-0.12583	-0.13300	0.04013	0.04026
7	100	0.8326	0.1430	0.1458	0.8297	0.149	0.147	-0.08710	-0.08923	-0.13896	-0.14734	0.04525	0.04200
8	120	0.8140	0.1510	0.1574	0.8171	0.162	0.156	-0.09001	-0.09451	-0.15831	-0.16306	0.05536	0.04854
9	150	0.8025	0.1580	0.1655	0.8053	0.171	0.164	-0.11190	-0.10723	-0.18632	-0.18404	0.05918	0.05282

Cuadro N° 12. Tiempo de proceso y cambios composicionales de las muestras [Fracción másica de agua (X_w) y sólidos solubles (X_s), contenido de sólidos solubles en la fase líquida (Z_s); pérdida de peso (M), pérdida de agua (M_w) y ganancia de solutos (M_s)] para el tratamiento de PVOD. $P=125$ mbar, $C=70^{\circ}$ Brix y $T=30^{\circ}$ C

Nº de muestra	Tiempo (min.)	X_w		X_s		Z_s		ΔM		ΔM_w		ΔM_s	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	0	0.9047	0.0837	0.0830	0.9006	0.084	0.085	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
2	10	0.8500	0.1370	0.1361	0.8418	0.138	0.140	-0.14021	-0.15238	-0.17382	-0.18706	0.03404	0.03249
3	20	0.8287	0.1551	0.1567	0.8268	0.159	0.158	-0.18130	-0.18109	-0.22626	-0.22347	0.04530	0.04340
4	40	0.8077	0.1713	0.1773	0.8073	0.180	0.175	-0.21086	-0.21205	-0.26730	-0.26441	0.05695	0.05128
5	60	0.7922	0.1854	0.1919	0.7903	0.195	0.190	-0.24548	-0.24056	-0.30698	-0.30039	0.06182	0.05712
6	80	0.7784	0.1976	0.2044	0.7758	0.208	0.203	-0.28843	-0.26902	-0.35080	-0.33349	0.06250	0.06077
7	100	0.7711	0.2080	0.2112	0.7640	0.215	0.214	-0.29703	-0.28384	-0.36260	-0.35338	0.06551	0.06532
8	120	0.7473	0.2196	0.2207	0.7478	0.228	0.227	-0.28393	-0.29102	-0.36958	-0.37037	0.07507	0.07204
9	150	0.7477	0.2336	0.2374	0.7355	0.241	0.241	-0.28789	-0.30744	-0.37221	-0.39115	0.08611	0.07809

Cuadro N° 13. Tiempo de proceso y cambios composicionales de las muestras [Fracción másica de agua (X_w) y sólidos solubles (X_s), contenido de sólidos solubles en la fase líquida (Z_s); pérdida de peso (M), pérdida de agua (M_w) y ganancia de solutos (M_s)] para el tratamiento de PVOD. $P=125$ mbar, $C=45^{\circ}$ Brix y $T=13^{\circ}$ C

Nº de muestra	Tiempo (min.)	X_w		X_s		Z_s		ΔM		ΔM_w		ΔM_s	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	0	0.8906	0.0859	0.0881	0.9009	0.090	0.087	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
2	10	0.8552	0.1183	0.1233	0.8591	0.126	0.121	-0.08589	-0.09449	-0.10885	-0.12298	0.02462	0.02124
3	20	0.8395	0.1289	0.1355	0.8473	0.139	0.132	-0.12332	-0.11322	-0.15459	-0.14955	0.03074	0.02842
4	40	0.8265	0.1425	0.1470	0.8336	0.151	0.146	-0.13058	-0.13156	-0.17199	-0.17697	0.03972	0.03792
5	60	0.8132	0.1528	0.1572	0.8206	0.162	0.157	-0.14308	-0.14803	-0.19373	-0.20182	0.04663	0.04435
6	80	0.7965	0.1642	0.1725	0.8076	0.178	0.169	-0.15404	-0.16203	-0.21676	-0.22421	0.05783	0.05178
7	100	0.7897	0.1740	0.1828	0.7980	0.188	0.179	-0.18146	-0.17940	-0.24415	-0.24607	0.06159	0.05693
8	120	0.7810	0.1828	0.1892	0.7896	0.195	0.188	-0.19537	-0.19252	-0.26217	-0.26337	0.06414	0.06176
9	150	0.7746	0.1946	0.2010	0.7833	0.206	0.199	-0.20986	-0.21027	-0.27848	-0.28235	0.07072	0.06783

Cuadro N° 14. Tiempo de proceso y cambios composicionales de las muestras [Fracción másica de agua (X_w) y sólidos solubles (X_s), contenido de sólidos solubles en la fase líquida (Z_s); pérdida de peso (M), pérdida de agua (M_w) y ganancia de solutos (M_s)] para el tratamiento de PVOD. $P=125$ mbar, $C=45^{\circ}$ Brix y $T=47^{\circ}$ C

Nº de muestra	Tiempo (min.)	X_w		X_s		Z_s		ΔM		ΔM_w		ΔM_s	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	0	0.8963	0.0835	0.0790	0.8994	0.081	0.085	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
2	10	0.8448	0.1339	0.1285	0.8583	0.132	0.135	-0.08300	-0.09858	-0.12158	-0.12571	0.03881	0.03720
3	20	0.8327	0.1476	0.1389	0.8431	0.143	0.149	-0.12769	-0.12309	-0.16991	-0.16003	0.04221	0.04590
4	40	0.8476	0.1672	0.1519	0.8282	0.152	0.168	-0.18794	-0.17384	-0.20795	-0.21516	0.04438	0.05461
5	60	0.7843	0.1857	0.1710	0.7917	0.179	0.190	-0.23794	-0.20902	-0.29857	-0.27314	0.05132	0.06335
6	80	0.7694	0.2057	0.1960	0.7738	0.203	0.210	-0.24675	-0.22767	-0.31673	-0.30174	0.06862	0.07532
7	100	0.7525	0.2203	0.2085	0.7546	0.217	0.226	-0.25228	-0.24322	-0.33362	-0.32829	0.07694	0.08320
8	120	0.7269	0.2369	0.2283	0.7339	0.239	0.244	-0.25041	-0.25609	-0.35142	-0.35342	0.09212	0.09266
9	150	0.6913	0.2588	0.2609	0.7034	0.274	0.269	-0.26737	-0.27869	-0.38982	-0.39199	0.11215	0.10316

Cuadro N° 15. Tiempo de proceso y cambios composicionales de las muestras [Fracción másica de agua (X_w) y sólidos solubles (X_s), contenido de sólidos solubles en la fase líquida (Z_s); pérdida de peso (M), pérdida de agua (M_w) y ganancia de solutos (M_s)] para el tratamiento de PVOD. $P=125$ mbar, $C=45^{\circ}$ Brix y $T=30^{\circ}$ C

Nº de muestra	Tiempo (min.)	X_w		X_s		Z_s		ΔM		ΔM_w		ΔM_s	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	0	0.8906	0.0844	0.0881	0.8965	0.090	0.086	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
2	10	0.8539	0.1263	0.1231	0.8450	0.126	0.130	-0.09377	-0.07267	-0.11673	-0.11293	0.02348	0.03273
3	20	0.8380	0.1348	0.1353	0.8351	0.139	0.139	-0.13123	-0.08706	-0.16250	-0.13414	0.02946	0.03872
4	40	0.8286	0.1461	0.1474	0.8217	0.151	0.151	-0.13869	-0.10768	-0.17686	-0.16332	0.03886	0.04605
5	60	0.8169	0.1633	0.1579	0.8028	0.162	0.169	-0.15081	-0.12367	-0.19683	-0.19298	0.04603	0.05872
6	80	0.7955	0.1771	0.1723	0.7905	0.178	0.183	-0.16227	-0.13790	-0.22417	-0.21505	0.05623	0.06829
7	100	0.7896	0.1904	0.1888	0.7759	0.193	0.197	-0.18925	-0.14932	-0.25038	-0.23645	0.06503	0.07758
8	120	0.7738	0.1993	0.1947	0.7681	0.201	0.206	-0.20335	-0.15974	-0.27414	-0.25113	0.06699	0.08308
9	150	0.7495	0.2087	0.2176	0.7575	0.225	0.216	-0.22576	-0.18204	-0.31028	-0.27690	0.08039	0.08635



Cuadro N° 16. Tiempo de proceso y cambios composicionales de las muestras [Fracción másica de agua (X_w) y sólidos solubles (X_s), contenido de sólidos solubles en la fase líquida (Z_s); pérdida de peso (M), pérdida de agua (M_w) y ganancia de solutos (M_s)] para el tratamiento de PVOD. $P=125$ mbar, $C=45^{\circ}$ Brix y $T=30^{\circ}$ C

Nº de muestra	Tiempo (min.)	X_w		X_s		Z_s		ΔM		ΔM_w		ΔM_s	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	0	0.8943	0.0853	0.0884	0.8952	0.090	0.087	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
2	10	0.8496	0.1283	0.1326	0.8435	0.135	0.132	-0.08158	-0.07516	-0.11399	-0.11510	0.03333	0.03333
3	20	0.8315	0.1398	0.1490	0.8313	0.152	0.144	-0.10145	-0.09119	-0.14710	-0.13966	0.04548	0.04179
4	40	0.8062	0.1542	0.1734	0.8154	0.177	0.159	-0.12026	-0.11288	-0.18506	-0.17180	0.06409	0.05146
5	60	0.7985	0.1684	0.1812	0.7996	0.185	0.174	-0.13273	-0.12922	-0.20179	-0.19887	0.06875	0.06138
6	80	0.7872	0.1810	0.1931	0.7870	0.197	0.187	-0.10824	-0.13862	-0.19232	-0.21728	0.08377	0.07062
7	100	0.7762	0.1926	0.2039	0.7706	0.208	0.200	-0.17395	-0.17443	-0.25310	-0.25902	0.07995	0.07374
8	120	0.7662	0.2023	0.2124	0.7656	0.217	0.209	-0.18627	-0.17052	-0.27076	-0.26011	0.08436	0.08250
9	150	0.7566	0.2136	0.2247	0.7530	0.229	0.221	-0.20759	-0.19149	-0.29475	-0.28633	0.08963	0.08742

Cuadro N° 17. Tiempo de proceso y cambios composicionales de las muestras [Fracción másica de agua (X_w) y sólidos solubles (X_s), contenido de sólidos solubles en la fase líquida (Z_s); pérdida de peso (M), pérdida de agua (M_w) y ganancia de solutos (M_s)] para el tratamiento de PVOD. $P=125$ mbar, $C=45^{\circ}$ Brix y $T=30^{\circ}$ C

Nº de muestra	Tiempo (min.)	X_w		X_s		Z_s		ΔM		ΔM_w		ΔM_s	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	0	0.8974	0.0873	0.0791	0.8937	0.081	0.089	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
2	10	0.8458	0.1251	0.1297	0.8446	0.133	0.129	-0.07532	-0.07650	-0.11530	-0.11374	0.04088	0.02821
3	20	0.8404	0.1378	0.1345	0.8329	0.138	0.142	-0.08782	-0.09670	-0.13074	-0.14135	0.04364	0.03721
4	40	0.8380	0.1549	0.1364	0.8192	0.140	0.159	-0.10619	-0.11535	-0.14836	-0.16896	0.04284	0.04971
5	60	0.8071	0.1665	0.1595	0.8013	0.165	0.172	-0.12150	-0.13093	-0.18832	-0.19730	0.06102	0.05735
6	80	0.7964	0.1785	0.1772	0.7918	0.182	0.184	-0.13655	-0.13713	-0.20970	-0.21046	0.07391	0.06675
7	100	0.7756	0.1879	0.1975	0.7755	0.203	0.195	-0.14494	-0.16157	-0.23420	-0.24351	0.08982	0.07019
8	120	0.7692	0.1985	0.2032	0.7652	0.209	0.206	-0.15625	-0.17277	-0.24832	-0.26074	0.09240	0.07691
9	150	0.7686	0.2123	0.2068	0.7528	0.212	0.220	-0.18921	-0.19036	-0.27417	-0.28423	0.08857	0.08459

Cuadro N° 18. Tiempo de proceso y cambios composicionales de las muestras [Fracción másica de agua (X_w) y sólidos solubles (X_s), contenido de sólidos solubles en la fase líquida (Z_s); pérdida de peso (M), pérdida de agua (M_w) y ganancia de solutos (M_s)] para el tratamiento de PVOD. $P=125$ mbar, $C=45^{\circ}$ Brix y $T=30^{\circ}$ C

Nº de muestra	Tiempo (min.)	X_w		X_s		Z_s		ΔM		ΔM_w		ΔM_s	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	0	0.8928	0.0857	0.0883	0.8989	0.090	0.087	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
2	10	0.8523	0.1258	0.1285	0.8569	0.131	0.128	-0.08772	-0.08517	-0.11532	-0.11502	0.02891	0.02941
3	20	0.8357	0.1333	0.1417	0.8466	0.145	0.136	-0.11643	-0.10393	-0.15439	-0.14034	0.03693	0.03375
4	40	0.8188	0.1465	0.1606	0.8303	0.164	0.150	-0.12990	-0.12369	-0.18041	-0.17137	0.05145	0.04273
5	60	0.8093	0.1609	0.1693	0.8141	0.173	0.165	-0.14206	-0.13989	-0.19850	-0.19869	0.05695	0.05271
6	80	0.7939	0.1748	0.1826	0.8019	0.187	0.179	-0.13494	-0.15415	-0.20608	-0.22067	0.06966	0.06222
7	100	0.7819	0.1863	0.1918	0.7890	0.197	0.191	-0.18161	-0.16884	-0.25292	-0.24314	0.06869	0.06917
8	120	0.7724	0.1958	0.2041	0.7783	0.209	0.201	-0.19508	-0.18079	-0.27110	-0.26132	0.07597	0.07474
9	150	0.7548	0.2095	0.2191	0.7649	0.225	0.215	-0.21647	-0.20047	-0.30146	-0.28734	0.08339	0.08185



Cuadro N° 19. Tiempo de proceso y cambios composicionales de las muestras [Fracción másica de agua (X_w) y sólidos solubles (X_s), contenido de sólidos solubles en la fase líquida (Z_s); pérdida de peso (M), pérdida de agua (M_w) y ganancia de solutos (M_s)] para el tratamiento de PVOD. $P=125$ mbar, $C=45^{\circ}$ Brix y $T=30^{\circ}$ C

Nº de muestra	Tiempo (min.)	X_w		X_s		Z_s		ΔM		ΔM_w		ΔM_s	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	0	0.8962	0.0874	0.0833	0.8945	0.085	0.089	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
2	10	0.8482	0.1210	0.1312	0.8547	0.134	0.124	-0.07804	-0.09741	-0.11422	-0.12312	0.03775	0.02180
3	20	0.8352	0.1279	0.1416	0.8412	0.145	0.132	-0.09417	-0.12147	-0.13961	-0.15550	0.04506	0.02500
4	40	0.8228	0.1423	0.1544	0.8255	0.158	0.147	-0.11391	-0.14048	-0.16715	-0.18500	0.05355	0.03488
5	60	0.8039	0.1546	0.1705	0.8119	0.175	0.160	-0.12662	-0.15628	-0.19409	-0.20951	0.06568	0.04309
6	80	0.7922	0.1666	0.1846	0.7963	0.189	0.173	-0.12170	-0.17057	-0.20044	-0.23406	0.07889	0.05077
7	100	0.7760	0.1794	0.2007	0.7853	0.206	0.186	-0.15965	-0.18902	-0.24409	-0.25767	0.08542	0.05813
8	120	0.7687	0.1884	0.2081	0.7730	0.213	0.196	-0.17170	-0.20255	-0.25947	-0.27810	0.08908	0.06288
9	150	0.7626	0.2043	0.2176	0.7550	0.222	0.213	-0.19890	-0.22033	-0.28530	-0.30591	0.09106	0.07192

Cuadro N° 20. Tiempo de proceso y cambios composicionales de las muestras [Fracción másica de agua (X_w) y sólidos solubles (X_s), contenido de sólidos solubles en la fase líquida (Z_s); pérdida de peso (M), pérdida de agua (M_w) y ganancia de solutos (M_s)] para el tratamiento de PVOD. $P=125$ mbar, $C=45^{\circ}$ Brix y $T=30^{\circ}$ C

Nº de muestra	Tiempo (min.)	X_w		X_s		Z_s		ΔM		ΔM_w		ΔM_s	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	0	0.8939	0.0875	0.0830	0.8957	0.085	0.089	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
2	10	0.8498	0.1303	0.1259	0.8419	0.129	0.134	-0.08499	-0.07838	-0.11634	-0.11980	0.03212	0.03255
3	20	0.8410	0.1427	0.1346	0.8281	0.138	0.147	-0.10988	-0.09621	-0.14532	-0.14731	0.03680	0.04147
4	40	0.8316	0.1620	0.1410	0.8081	0.145	0.167	-0.12197	-0.11812	-0.16373	-0.18305	0.04079	0.05537
5	60	0.8098	0.1724	0.1577	0.7962	0.163	0.178	-0.13601	-0.13493	-0.19425	-0.20699	0.05322	0.06163
6	80	0.7985	0.1841	0.1753	0.7851	0.180	0.190	-0.14930	-0.13763	-0.21469	-0.21873	0.06606	0.07130
7	100	0.7827	0.1946	0.1896	0.7736	0.195	0.201	-0.16746	-0.16863	-0.24235	-0.25260	0.07479	0.07428
8	120	0.7729	0.2041	0.1993	0.7633	0.205	0.211	-0.17986	-0.18045	-0.26005	-0.27014	0.08041	0.07979
9	150	0.7588	0.2166	0.2115	0.7505	0.218	0.224	-0.20720	-0.19903	-0.29234	-0.29461	0.08467	0.08601

ANEXO F.

Cuadro 01. Parámetros Cinéticos para pérdida peso

Nº Tratamiento	P (mbar)	C (°Brix)	T (°C)	Y _s	K _m x 100 (s ^{-0.5})		K _m ⁰ x 100 (s ^{-0.5})		R ²	
					1	2	1	2	1	2
1	50	30	20	0.30	-0.0931	-0.0914	-0.3235	-0.4777	0.9469	0.9977
2	200	30	20	0.30	-0.0748	-0.0742	-1.5011	-1.5717	0.9469	0.9948
3	50	60	20	0.60	-0.2121	-6.9574	-6.9822	-6.9574	0.9843	0.9982
4	200	60	20	0.60	-0.2015	-0.0200	-8.2996	-8.5350	0.9897	0.9986
5	50	30	40	0.30	-0.0385	-0.0355	-8.7461	-9.0698	0.8005	0.8797
6	200	30	40	0.30	-0.0332	-0.0368	-10.3546	-10.1296	0.9315	0.9485
7	50	60	40	0.60	-0.2765	-0.2755	-8.8791	-8.8961	0.9679	0.9963
8	200	60	40	0.60	-0.2908	-0.2907	-11.4541	-11.4788	0.9520	0.9942
9	0	45	30	0.45	-0.1397	-0.1395	-5.7475	-2.3333	0.9115	0.9874
10	250	45	30	0.45	-0.1790	-0.1794	-4.6359	-4.6341	0.9589	0.9955
11	125	20	30	0.20	-0.0809	-0.0796	-2.6960	-2.8575	0.9246	0.9831
12	125	70	30	0.70	-0.2257	-0.2258	-10.2340	-10.2574	0.8937	0.9874
13	125	45	13	0.45	-0.1640	-0.1618	-5.1563	-5.3910	0.9604	0.9956
14	125	45	47	0.45	-0.2598	-0.2598	-4.6045	-4.0671	0.8868	0.9852
15	125	45	30	0.45	-0.1703	-0.1509	-5.6624	-3.4235	0.9574	0.9963
16	125	45	30	0.45	-0.1679	-0.1669	-3.5236	-3.2264	0.8376	0.9767
17	125	45	30	0.45	-0.1504	-0.1566	-3.4221	-3.8317	0.9743	0.9875
18	125	45	30	0.45	-0.1688	-0.1594	-4.6191	-4.6074	0.9148	0.9975
19	125	45	30	0.45	-0.1602	-0.1693	-3.4046	-5.7626	0.9333	0.9948
20	125	45	30	0.45	-0.1598	-0.1680	-4.5787	-3.5337	0.9758	0.9797

Cuadro 02. Parámetros cinéticos para pérdida de agua

Nº Tratamiento	P (mbar)	C (°Brix)	T (°C)	Y _s	K _w x 100 (s ^{-0.5})		K _w ⁰ x 100 (s ^{-0.5})		R ²	
					1	2	1	2	1	2
1	50	30	20	0.30	-0.1339	-0.1482	-1.8979	-0.6379	0.9671	0.9994
2	200	30	20	0.30	-0.1339	-0.1349	-1.8979	-2.2235	0.9671	0.9917
3	50	60	20	0.60	-0.2547	-0.2547	-9.0974	-9.1880	0.9878	0.9979
4	200	60	20	0.60	-0.2352	-11.7031	-11.1850	-0.2342	0.9827	0.9988
5	50	30	40	0.30	-0.1304	-0.1274	-8.3628	-8.9202	0.9859	0.9912
6	200	30	40	0.30	-0.1190	-0.1174	-11.4682	-11.9823	0.9779	0.9906
7	50	60	40	0.60	-0.3499	-0.3478	-12.4328	-12.9113	0.9857	0.9984
8	200	60	40	0.60	-0.3722	-0.3728	-14.3089	-14.5360	0.9816	0.9978
9	0	45	30	0.45	-0.2153	-0.2142	-4.7612	-2.1168	0.9541	0.9948
10	250	45	30	0.45	-0.2658	-0.2661	-5.1391	-5.4527	0.9856	0.9987
11	125	20	30	0.20	-0.1741	-0.1733	-1.1510	-1.5881	0.0938	0.9891
12	125	70	30	0.70	-0.2952	-0.2953	-12.1162	-12.0408	0.9457	0.9941
13	125	45	13	0.45	-0.2332	-0.2278	-5.9657	-6.7571	0.9844	0.9985
14	125	45	47	0.45	-0.3832	-0.3830	-3.6769	-3.1892	0.9718	0.9964
15	125	45	30	0.45	-0.2546	-0.2350	-5.6598	-5.2556	0.9739	0.9986
16	125	45	30	0.45	-0.2456	-0.2477	-5.5529	-5.2856	0.9485	0.9892
17	125	45	30	0.45	-0.2344	-0.2406	-4.8713	-5.3815	0.9854	0.9939
18	125	45	30	0.45	-0.2491	-0.2437	-5.6035	-5.4072	0.9695	0.9991
19	125	45	30	0.45	-0.2405	-0.2536	-5.1184	-6.1830	0.9862	0.9970
20	125	45	30	0.45	-0.2437	-0.2447	-5.2966	-6.0355	0.9884	0.9940

Cuadro 03. Parámetros cinéticos para ganancia de sólidos

N° Tratamiento	P (mbar)	C (°Brix)	T (°C)	Y _s	K _s x 100 (s ^{-0.5})		K _s ⁰ x 100 (s ^{-0.5})		R ²	
					1	2	1	2	1	2
1	50	30	20	0.30	0.0622	0.0606	0.1694	0.3061	0.9273	0.9925
2	200	30	20	0.30	0.0547	0.0511	0.5733	1.1056	0.9356	0.9906
3	50	60	20	0.60	0.0496	0.0431	1.6378	2.0222	0.9600	0.9195
4	200	60	20	0.60	0.0471	0.0471	1.8221	2.2070	0.9020	0.9457
5	50	30	40	0.30	0.0812	0.0780	0.4855	0.2333	0.9668	0.9948
6	200	30	40	0.30	0.0778	0.0740	1.5787	1.4704	0.9606	0.9798
7	50	60	40	0.60	0.0789	0.0726	3.3815	3.0428	0.9910	0.9929
8	200	60	40	0.60	0.0927	0.0838	2.3780	2.3199	0.9694	0.9836
9	0	45	30	0.45	0.0782	0.0706	-0.8246	0.0017	0.9962	0.9968
10	250	45	30	0.45	0.0720	0.0675	1.0945	0.9817	0.9737	0.9961
11	125	20	30	0.20	0.0600	0.0555	0.0777	0.0325	0.9733	0.9944
12	125	70	30	0.70	0.0644	0.0606	2.1106	2.0096	0.9508	0.9878
13	125	45	13	0.45	0.0677	0.0665	0.7640	0.5178	0.9901	0.9994
14	125	45	47	0.45	0.1014	0.0936	0.3116	1.1551	0.8818	0.9865
15	125	45	30	0.45	0.0799	0.0833	0.1391	0.9954	0.9859	0.9825
16	125	45	30	0.45	0.0793	0.0785	1.9612	1.4231	0.9337	0.9955
17	125	45	30	0.45	0.0861	0.0795	1.3383	0.9745	0.8886	0.9972
18	125	45	30	0.45	0.0770	0.0784	1.1389	0.7339	0.9841	0.9912
19	125	45	30	0.45	0.0839	0.0732	1.6428	0.0781	0.9740	0.9911
20	125	45	30	0.45	0.0827	0.0760	0.7489	1.5841	0.9639	0.9913



ANEXO G.

Cuadro 01. Valores de los coeficientes de difusión efectiva en la fase líquida de la papaya sometida a los distintos tratamientos.

N° Tratamiento	P (mbar)	C (°Brix)	T (°C)	t ^{1/2} (s ^{1/2})	X _I	Z _{0HDM}	1-Y	D _e (m ² /s.)
1	50	30	20	24.4949	0.005615	0.091180	0.123327	4.26385E-10
				34.6410			0.176639	
				48.9898			0.194409	
				60.0000			0.235873	
				69.2820			0.283261	
				77.4597			0.366189	
				84.8528			0.413577	
				94.8683			0.443194	
2	200	30	20	24.4949	0.018752	0.094034	0.115218	2.46336E-10
				34.6410			0.159183	
				48.9898			0.203147	
				60.0000			0.214138	
				69.2820			0.241616	
				77.4597			0.324049	
				84.8528			0.340535	
				94.8683			0.411977	
3	50	60	20	24.4949	0.026571	0.103697	0.064871	1.19403E-10
				34.6410			0.108418	
				48.9898			0.131338	
				60.0000			0.147382	
				69.2820			0.170302	
				77.4597			0.200098	
				84.8528			0.223018	
				94.8683			0.248229	
4	200	60	20	24.4949	0.029473	0.105358	0.084180	1.34885E-10
				34.6410			0.129221	
				48.9898			0.144234	
				60.0000			0.164252	
				69.2820			0.181768	
				77.4597			0.201786	
				84.8528			0.251830	
				94.8683			0.289364	
5	50	30	40	24.4949	0.015926	0.093394	0.190810	5.78935E-10
				34.6410			0.239040	
				48.9898			0.281911	
				60.0000			0.351577	
				69.2820			0.453395	
				77.4597			0.458754	
				84.8528			0.501625	
				94.8683			0.565931	
6	200	30	40	24.4949	0.049993	0.097775	0.226231	5.7086E-10
				34.6410			0.292084	
				48.9898			0.325010	
				60.0000			0.379887	
				69.2820			0.478666	
				77.4597			0.500617	
				84.8528			0.517080	
				94.8683			0.626835	
7	50	60	40	24.4949	0.053352	0.108307	0.140304	5.07107E-10
				34.6410			0.179500	
				48.9898			0.234374	
				60.0000			0.270957	
				69.2820			0.338897	
				77.4597			0.383319	
				84.8528			0.438193	
				94.8683			0.498293	

...//



//...Continua

N° Tratamiento	P (mbar)	C (°Brix)	T (°C)	t ^{1/2} (s ^{1/2})	X _I	Z _{0HDM}	1-Y	D _e (m ² /s.)
8	200	60	40	24.4949	0.038122	0.100223	0.140725	5.77656E-10
				34.6410			0.173683	
				48.9898			0.232538	
				60.0000			0.286684	
				69.2820			0.364372	
				77.4597			0.413810	
				84.8528			0.465602	
				94.8683			0.498560	
9	0	45	30	24.4949	-0.018666	0.083184	0.107692	2.46336E-10
				34.6410			0.147692	
				48.9898			0.187692	
				60.0000			0.224615	
				69.2820			0.249231	
				77.4597			0.280000	
				84.8528			0.307692	
				94.8683			0.000000	
10	250	45	30	24.4949	0.022153	0.099164	0.100800	3.35074E-10
				34.6410			0.135628	
				48.9898			0.202118	
				60.0000			0.246445	
				69.2820			0.274941	
				77.4597			0.319267	
				84.8528			0.344597	
				94.8683			0.392090	
11	125	20	30	24.4949	0.003870	0.089435	0.216030	1.3667E-09
				34.6410			0.348532	
				48.9898			0.425825	
				60.0000			0.481034	
				69.2820			0.580411	
				77.4597			0.657703	
				84.8528			0.734996	
				94.8683			0.834373	
12	125	70	30	24.4949	0.029269	0.102249	0.073299	1.66042E-10
				34.6410			0.116353	
				48.9898			0.159408	
				60.0000			0.190161	
				69.2820			0.216814	
				77.4597			0.231166	
				84.8528			0.257819	
				94.8683			0.284472	
13	125	45	13	24.4949	0.016694	0.096139	0.093649	2.54752E-10
				34.6410			0.134419	
				48.9898			0.172053	
				60.0000			0.206551	
				69.2820			0.256730	
				77.4597			0.288091	
				84.8528			0.310044	
				94.8683			0.344542	
14	125	45	47	24.4949	0.006877	0.083601	0.150587	7.47481E-10
				34.6410			0.184813	
				48.9898			0.212815	
				60.0000			0.296823	
				69.2820			0.371497	
				77.4597			0.415057	
				84.8528			0.483507	
				94.8683			0.592406	

...//



//...Continua

N° Tratamiento	P (mbar)	C (°Brix)	T (°C)	t ^{1/2} (s ^{1/2})	X _I	Z _{0HDM}	1-Y	D _e (m ² /s.)
15	125	45	30	24.4949	0.003082	0.091134	0.107657	3.40448E-10
				34.6410			0.147797	
				48.9898			0.184849	
				60.0000			0.218814	
				69.2820			0.268217	
				77.4597			0.314532	
				84.8528			0.339234	
94.8683	0.413339							
16	125	45	30	24.4949	0.041762	0.105287	0.097191	3.57164E-10
				34.6410			0.152799	
				48.9898			0.234575	
				60.0000			0.260744	
				69.2820			0.299996	
				77.4597			0.335978	
				84.8528			0.365417	
94.8683	0.404670							
17	125	45	30	24.4949	0.028881	0.091907	0.127187	3.23336E-10
				34.6410			0.142663	
				48.9898			0.148853	
				60.0000			0.226230	
				69.2820			0.278846	
				77.4597			0.343843	
				84.8528			0.362413	
94.8683	0.371699							
18	125	45	30	24.4949	0.024684	0.099053	0.101759	3.34425E-10
				34.6410			0.146353	
				48.9898			0.206873	
				60.0000			0.235540	
				69.2820			0.280133	
				77.4597			0.311986	
				84.8528			0.350209	
94.8683	0.401173							
19	125	45	30	24.4949	0.035221	0.098116	0.113960	3.45042E-10
				34.6410			0.148894	
				48.9898			0.190179	
				60.0000			0.244167	
				69.2820			0.288628	
				77.4597			0.341028	
				84.8528			0.364846	
94.8683	0.393428							
20	125	45	30	24.4949	0.016370	0.091113	0.116975	3.28134E-10
				34.6410			0.144762	
				48.9898			0.166375	
				60.0000			0.221950	
				69.2820			0.274437	
				77.4597			0.320750	
				84.8528			0.351625	
94.8683	0.391762							

ANEXO H.

Cuadro N° 01 Análisis de la Varianza para pérdida de peso en la papaya

Fuente	Suma de Cuadrados	G.L	Cuadrado medio	F Calculado	Probabilidad de significancia	Significancia
A:Presión	28,9203	1	28,9203	3,34	0,0777	NS
B:Concentración	2100,71	1	2100,71	242,92	0,0000	**
C:Temperatura	232,501	1	232,501	26,89	0,0000	**
AA	2,3247	1	2,3247	0,27	0,6081	NS
AB	3,33683	1	3,33683	0,39	0,5393	NS
AC	6,8985	1	6,8985	0,80	0,3791	NS
BB	0,859132	1	0,859132	0,10	0,7549	NS
BC	45,7794	1	45,7794	5,29	0,0288	*
CC	65,0028	1	65,0028	7,52	0,0104	*
Error Total	250,784	29	8,64772			
Total (Corr.)	2743,12	39				

R-cuadrado = 90,8577 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 88,115 por ciento

Error Estándar de Est. = 2,9407

Error absoluto de la media = 2,01627

Valor Optimo = 51,2468 %

Factor	Inferior	Mayor	óptimo
Presión de vacío	0 mbar	250 mbar	250 mbar
Concentración	20.00°Brix	70°Brix	70°Brix
Temperatura	13°C	47°C	45.0583°C

Cuadro N° 02. Análisis de la Varianza para pérdida de agua en la papaya

Fuente	Suma de Cuadrados	G.L	Cuadrado medio	F Calculado	Probabilidad de significancia	Significancia
A:Presión	59,4063	1	59,4063	6,95	0,0133	*
B:Concentración	2210,49	1	2210,49	258,63	0,0000	**
C:Temperatura	542,29	1	542,29	63,45	0,0000	**
AA	19,4971	1	19,4971	2,28	0,1418	NS
AB	0,224202	1	0,224202	0,03	0,8725	NS
AC	4,5401	1	4,5401	0,53	0,4719	NS
BB	1,7688	1	1,7688	0,21	0,6526	NS
BC	57,4594	1	57,4594	6,72	0,0148	*
CC	73,0861	1	73,0861	8,55	0,0066	*
Error Total	247,859	29	8,54685			
Total (Corr.)	3226,89	39				

R-cuadrado = 92,319 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 90,0146 por ciento

Error Estándar de Est. = 2,9235

Error absoluto de la media = 2,045

Valor Optimo = 62,88307%

Factor	Inferior	Mayor	óptimo
Presión de vacío	0 mbar	250 mbar	241,361mbar
Concentración	20.00°Brix	70°Brix	69.93°Brix
Temperatura	13°C	47°C	47°C

Cuadro N° 03. Análisis de la Varianza para ganancia de sólidos en la papaya

Fuente	Suma de Cuadrados	G.L	Cuadrado medio	F Calculado	Probabilidad de significancia	Significancia
A:Presión	1,39641	1	1,39641	6,37	0,0174	*
B:Concentración	9,8288	1	9,8288	44,82	0,0000	**
C:Temperatura	51,5522	1	51,5522	235,08	0,0000	**
AA	4,485	1	4,485	20,45	0,0001	**
AB	0,132314	1	0,132314	0,60	0,4436	NS
AC	0,112024	1	0,112024	0,51	0,4805	NS
BB	6,37922	1	6,37922	29,09	0,0000	**
BC	1,71113	1	1,71113	7,80	0,0091	**
CC	1,33313	1	1,33313	6,08	0,0198	*
Error Total	6,35961	29	0,219297			
Total (Corr.)	85,1218	39				

R-cuadrado = 92,5288 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 90,2875 por ciento

Error Estándar de Est. = 0,468292

Error absoluto de la media = 0,324112

Valor Optimo = 12,051%

Factor	Inferior	Mayor	óptimo
Presión de vacío	0 mbar	250 mbar	149,548 mbar
Concentración	20.00°Brix	70°Brix	62,7296 °Brix
Temperatura	13°C	47°C	47 °C

Cuadro N° 04. Análisis de la Varianza para Coeficiente de Difusión efectiva en la papaya

Fuente	Suma de Cuadrados	G.L	Cuadrado medio	F Calculado	Probabilidad de significancia	Significancia
A:Presión	8.38259E-22	1	8.38259E-22	5.60	0.0642	N.S
B:Concentración	4.77947E-19	1	4.77947E-19	3195.08	0.0000	**
C:Temperatura	3.1529E-19	1	3.1529E-19	2107.72	0.0000	**
AA	2.85685E-20	1	2.85685E-20	190.98	0.0000	**
AB	5.69036E-21	1	5.69036E-21	38.04	0.0016	**
AC	3.45476E-21	1	3.45476E-21	23.10	0.0049	**
BB	2.22623E-19	1	2.14447E-20	1488.24	0.0000	**
BC	2.14447E-20	1	2.14447E-20	143.36	0.0001	**
CC	1.37887E-20	1	1.37887E-20	92.18	0.0002	**
Error Puro	7.47943E-22	5	1.49589E-22			
Total	1.4385E-18	19				

Valor óptimo = 1.18538x10⁻⁹ m²/s.

Factor	Inferior	Mayor	óptimo
Presión	0 mbar	250 mbar	172.145 mbar
Concentración	20.00°Brix	70°Brix	20°Brix
Temperatura	13°C	47°C	47°C

ANEXO I.

Gráfico 01: Representación de 1-Y en función de la raíz cuadrada del tiempo, a temperatura de 20 °C.

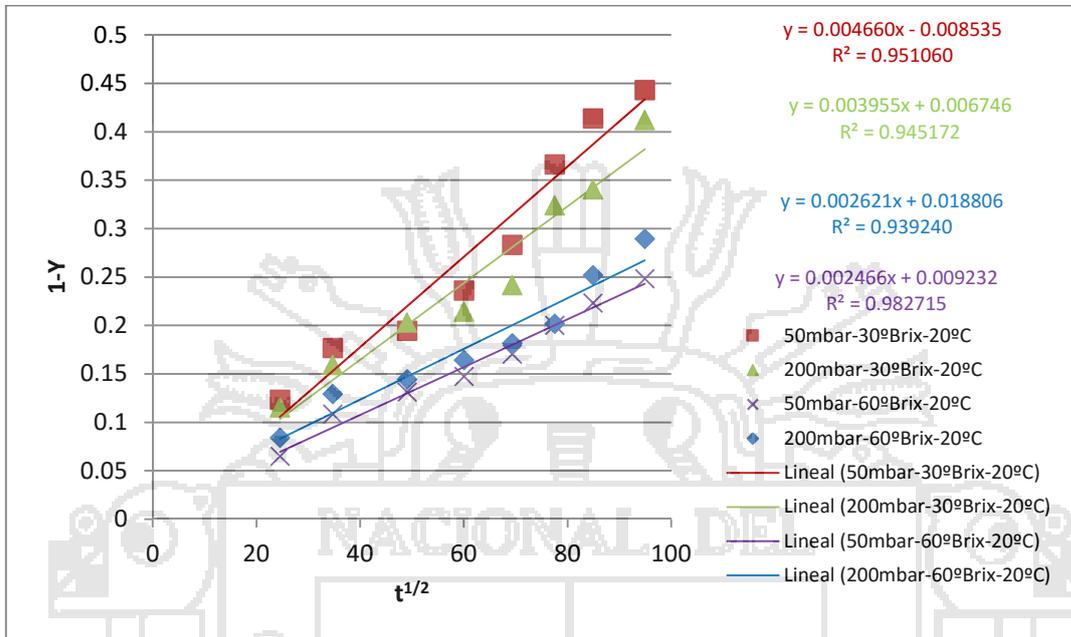


Gráfico 02: Representación de 1-Y en función de la raíz cuadrada del tiempo, a temperatura de 40 °C.

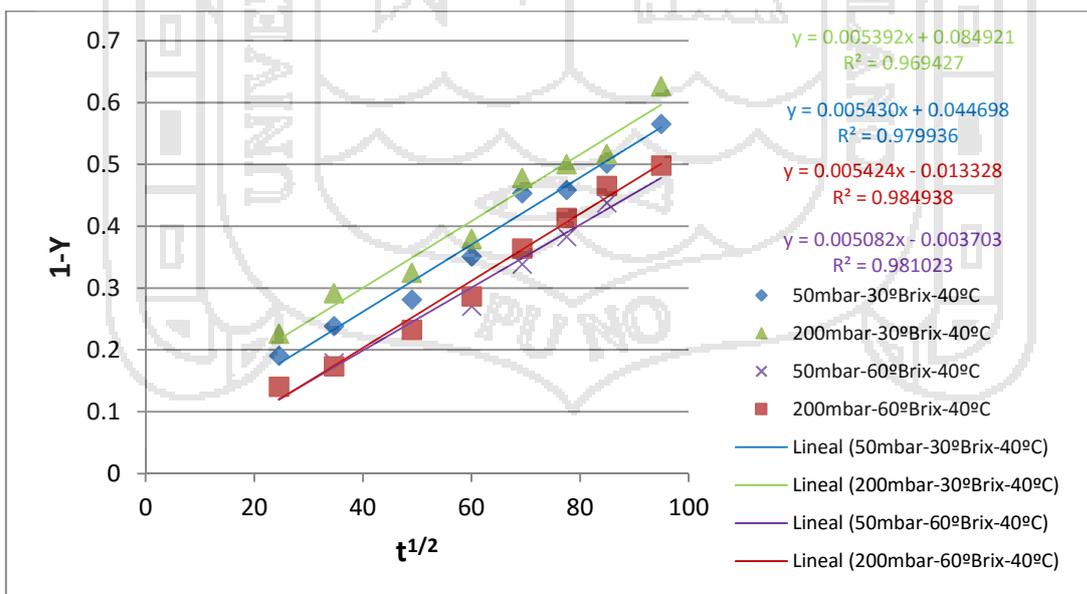


Gráfico 03: Representación de 1-Y en función de la raíz cuadrada del tiempo, a temperatura de 30 °C.

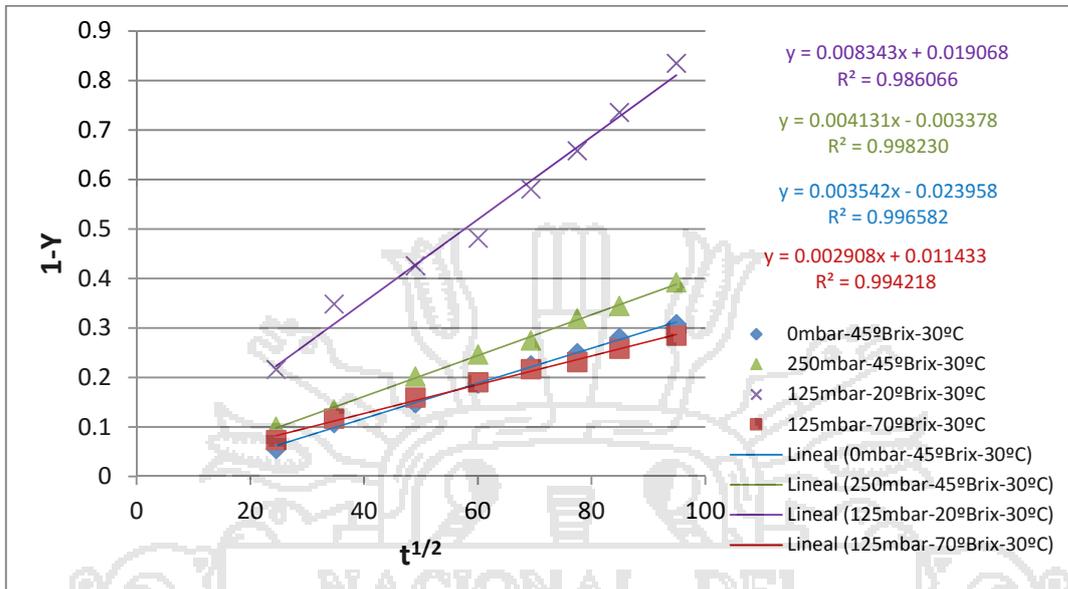


Gráfico 04: Representación de 1-Y en función de la raíz cuadrada del tiempo, a presión de 125 mbar y concentración de 45 °Brix.

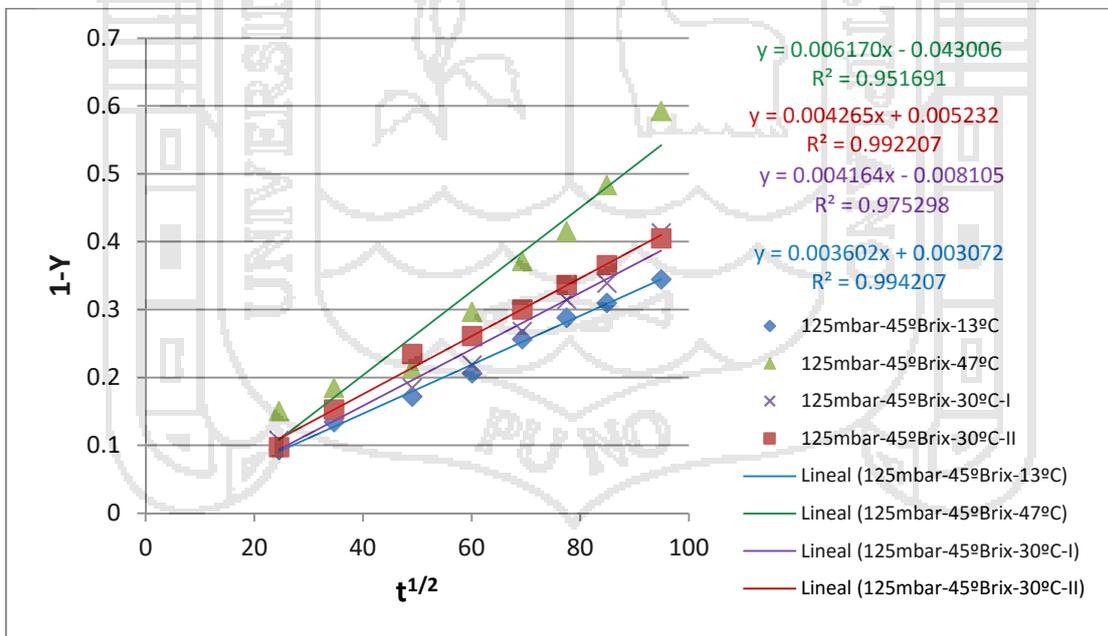
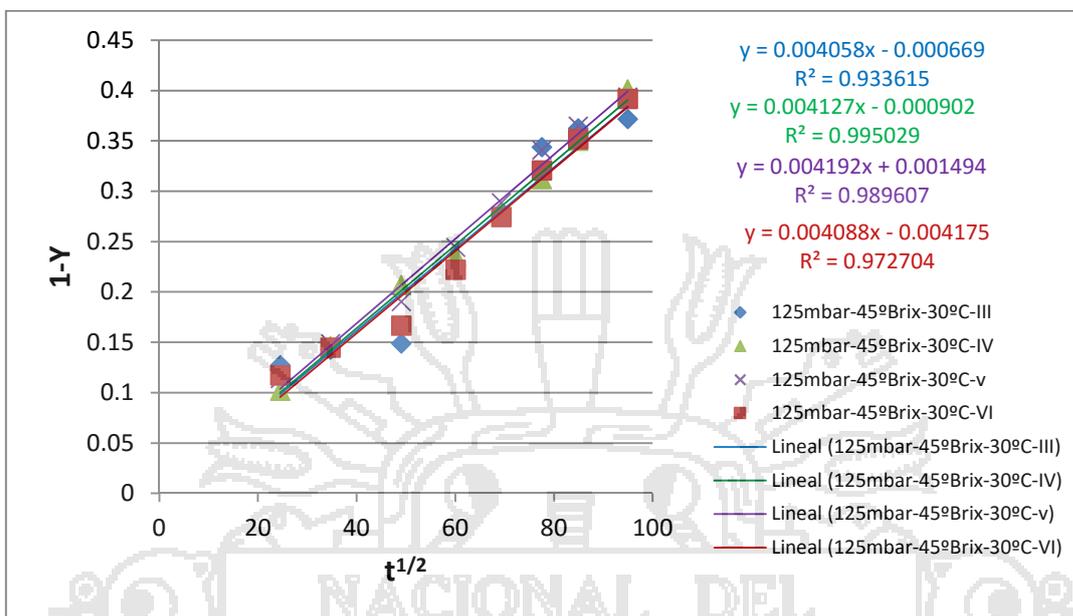


Gráfico 05: Representación de 1-Y en función de la raíz cuadrada del tiempo, de los tratamientos de los puntos centrales.



ANEXO J.

Gráfico 01: Variación de masa, agua y sólidos solubles de la papaya en función de la raíz cuadrada del tiempo a P = 50 mbar, C = 30 °Brix y T = 20 °C

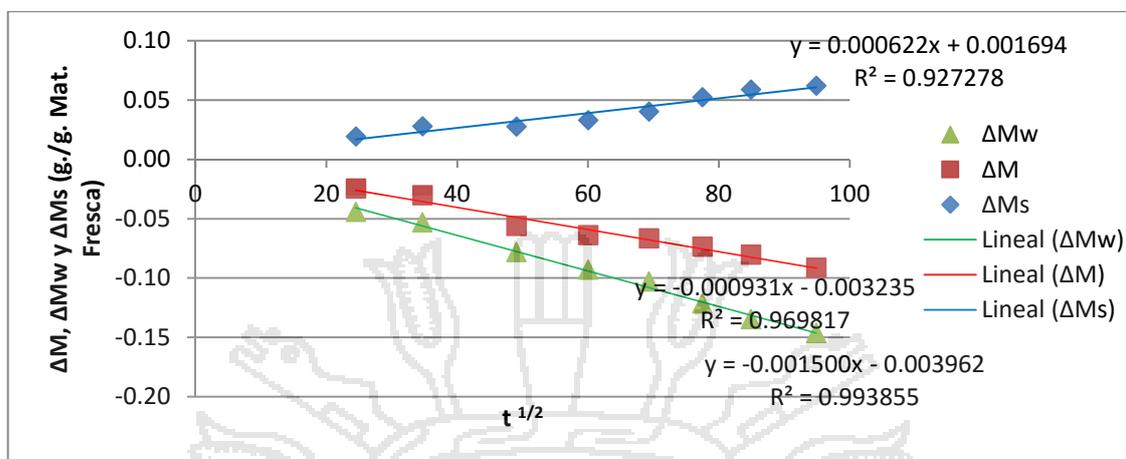


Gráfico 02: Variación de masa, agua y sólidos solubles de la papaya en función de la raíz cuadrada del tiempo a P = 200 mbar, C = 30 °brix y T = 20 °C

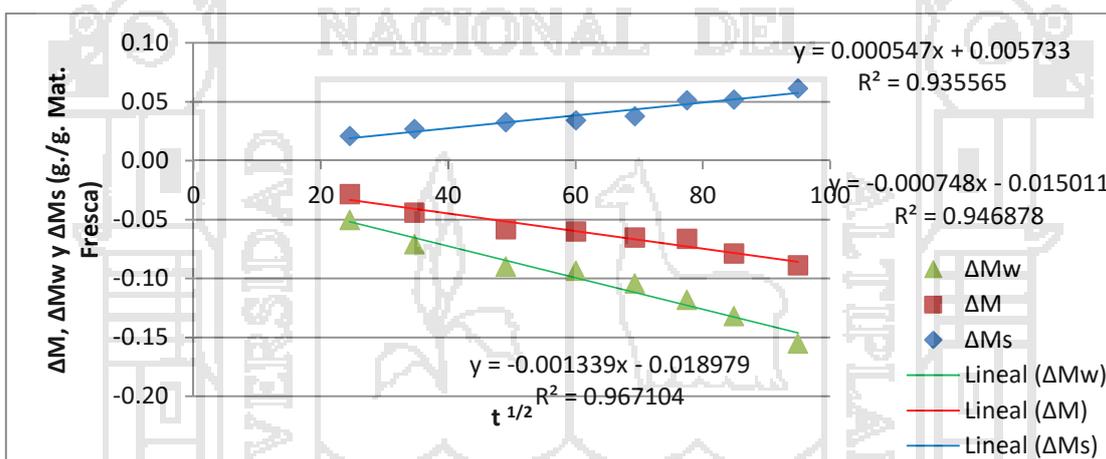


Gráfico 03: Variación de masa, agua y sólidos solubles de la papaya en función de la raíz cuadrada del tiempo a P = 50 mbar, C = 60 °Brix y T = 20 °C

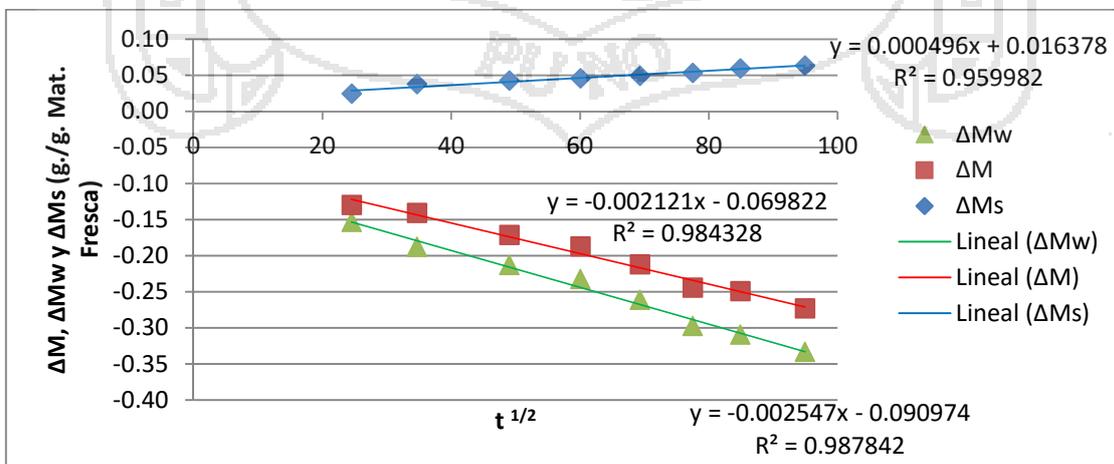


Gráfico 04: Variación de masa, agua y sólidos solubles de la papaya en función de la raíz cuadrada del tiempo a P = 200 mbar, C = 60 °Brix y T = 20 °C

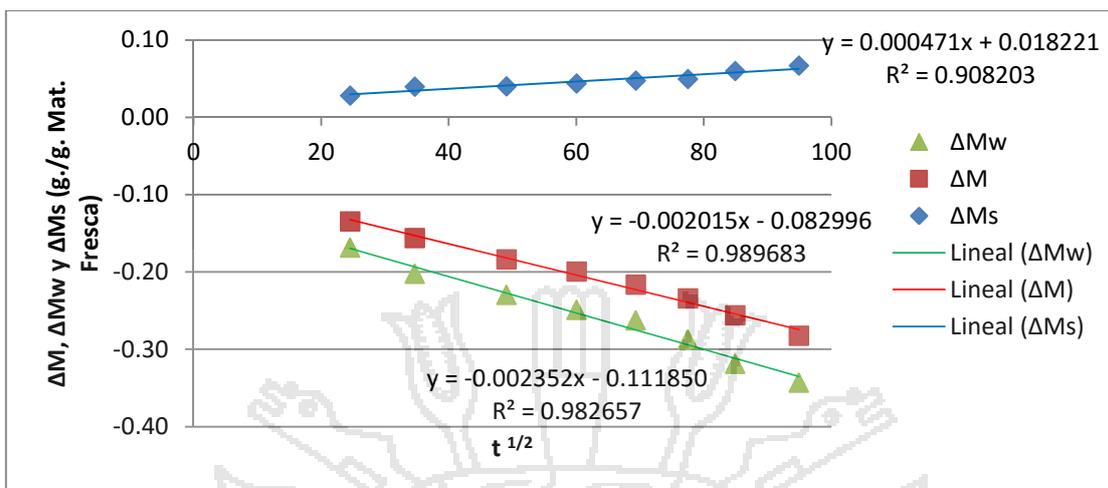


Gráfico 05: Variación de masa, agua y sólidos solubles de la papaya en función de la raíz cuadrada del tiempo a P = 50 mbar, C = 30 °Brix y T = 40 °C

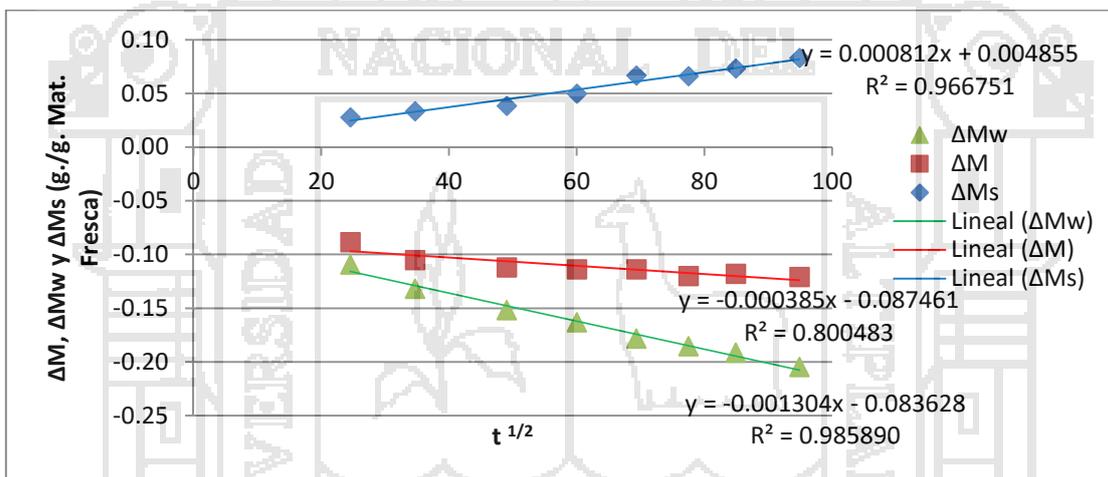


Gráfico 06: Variación de masa, agua y sólidos solubles de la papaya en función de la raíz cuadrada del tiempo a P = 200 mbar, C = 30 °Brix y T = 40 °C

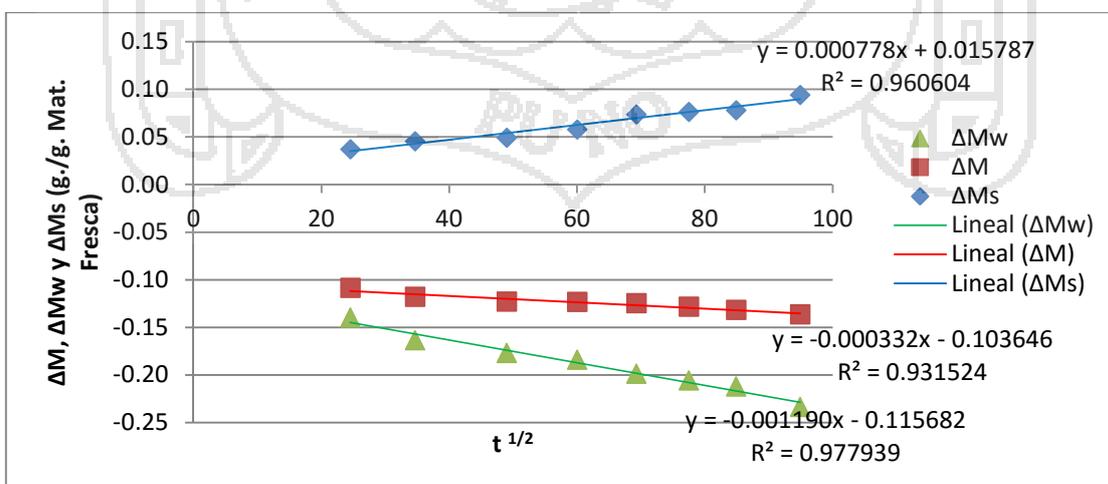


Gráfico 07: Variación de masa, agua y sólidos solubles de la papaya en función de la raíz cuadrada del tiempo a P = 50 mbar, C = 60 °Brix y T = 40 °C

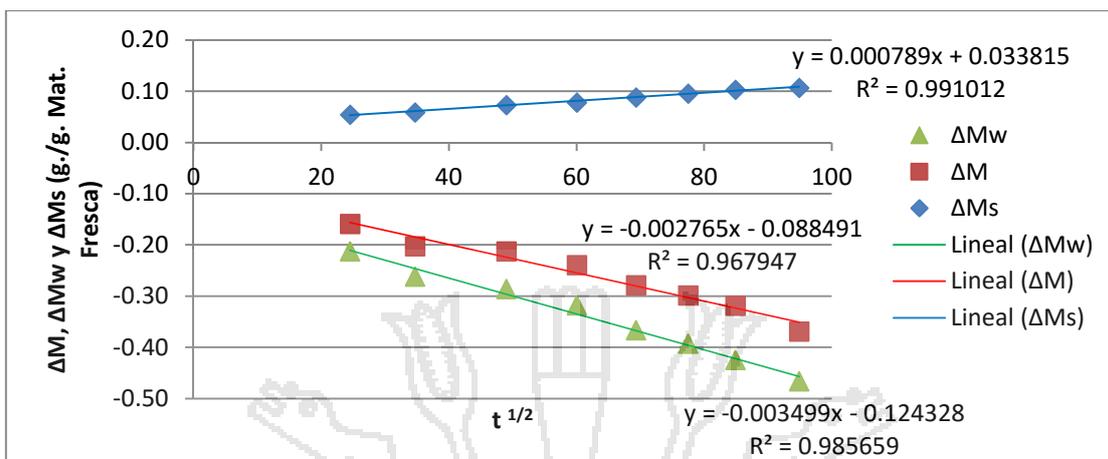


Gráfico 08: Variación de masa, agua y sólidos solubles de la papaya en función de la raíz cuadrada del tiempo a P = 200 mbar, C = 60 °Brix y T = 40 °C

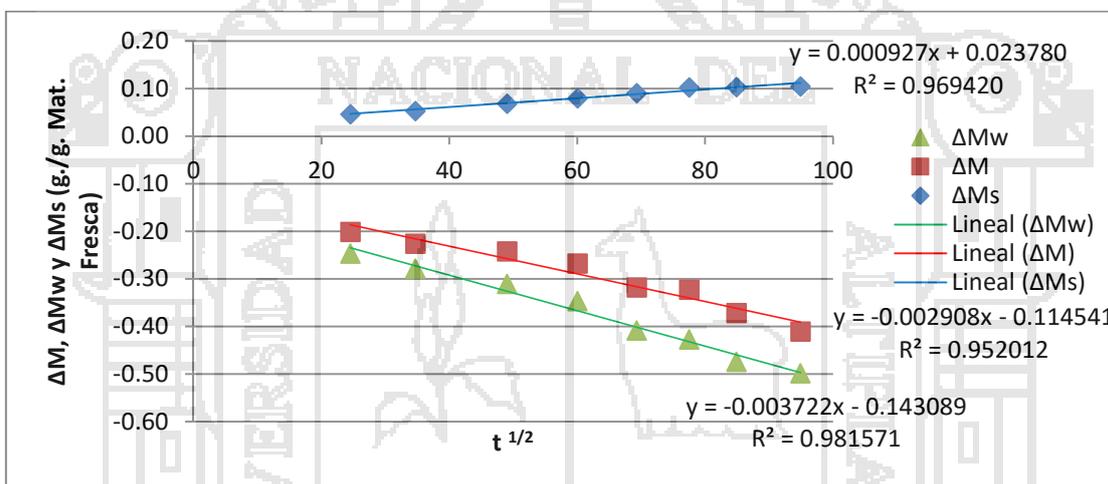


Gráfico 09: Variación de masa, agua y sólidos solubles de la papaya en función de la raíz cuadrada del tiempo a P = 0 mbar, C = 45 °Brix y T = 30 °C

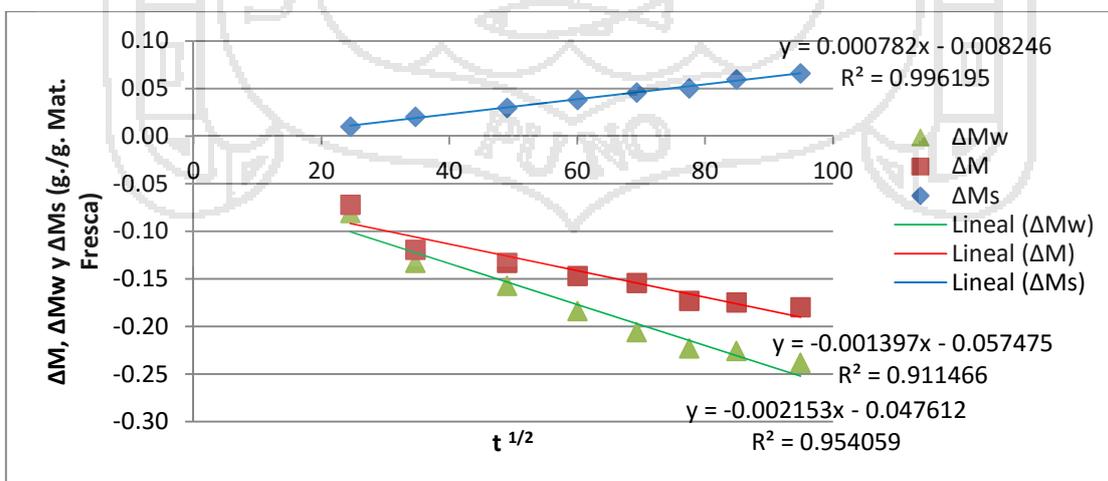


Gráfico 10: Variación de masa, agua y sólidos solubles de la papaya en función de la raíz cuadrada del tiempo a P = 250 mbar, C = 45 °Brix y T = 30 °C

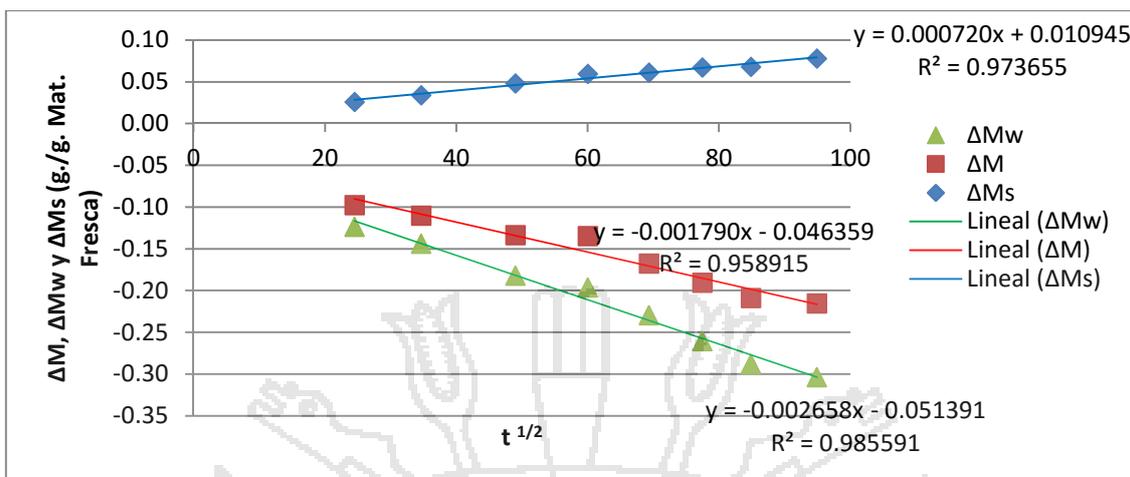


Gráfico 11: Variación de masa, agua y sólidos solubles de la papaya en función de la raíz cuadrada del tiempo a P = 125 mbar, C = 20 °Brix y T = 30 °C

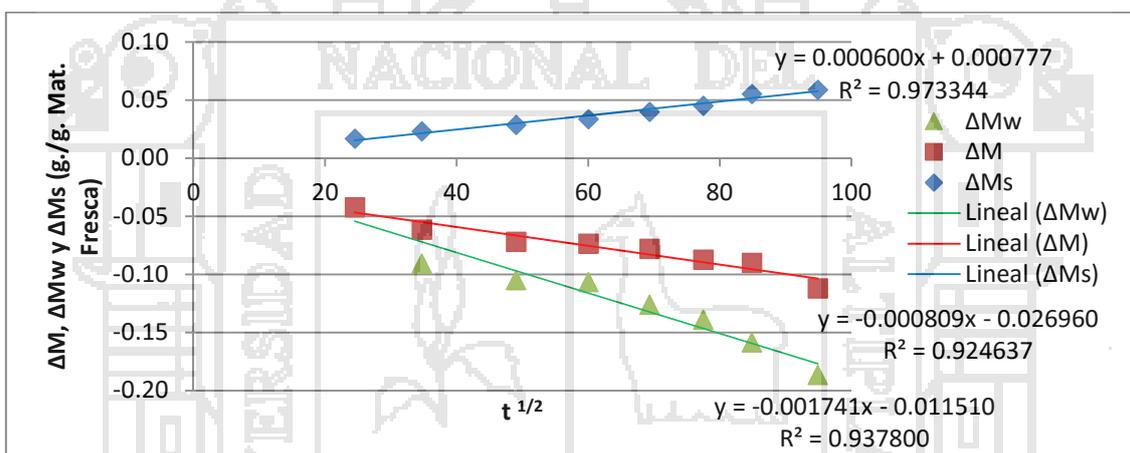


Gráfico 12: Variación de masa, agua y sólidos solubles de la papaya en función de la raíz cuadrada del tiempo a P = 125 mbar, C = 70 °Brix y T = 30 °C

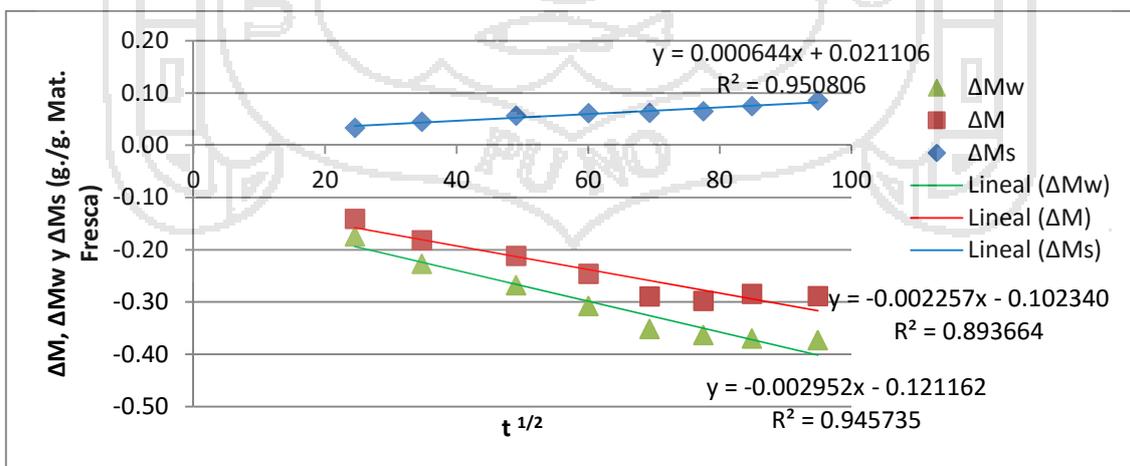


Gráfico 13: Variación de masa, agua y sólidos solubles de la papaya en función de la raíz cuadrada del tiempo a P = 125 mbar, C = 45 °Brix y T = 13 °C

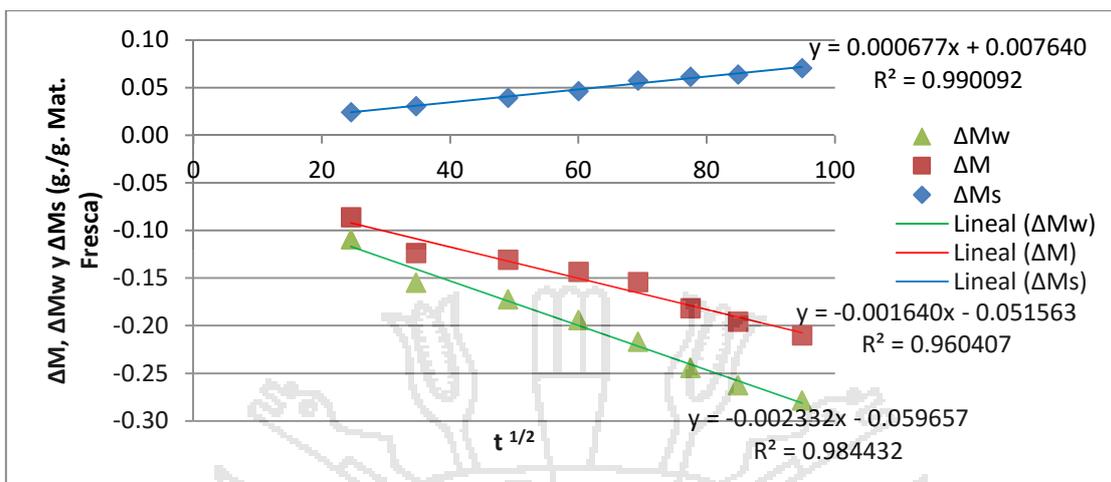


Gráfico 14: Variación de masa, agua y sólidos solubles de la papaya en función de la raíz cuadrada del tiempo a P = 125 mbar, C = 45 °Brix y T = 47 °C

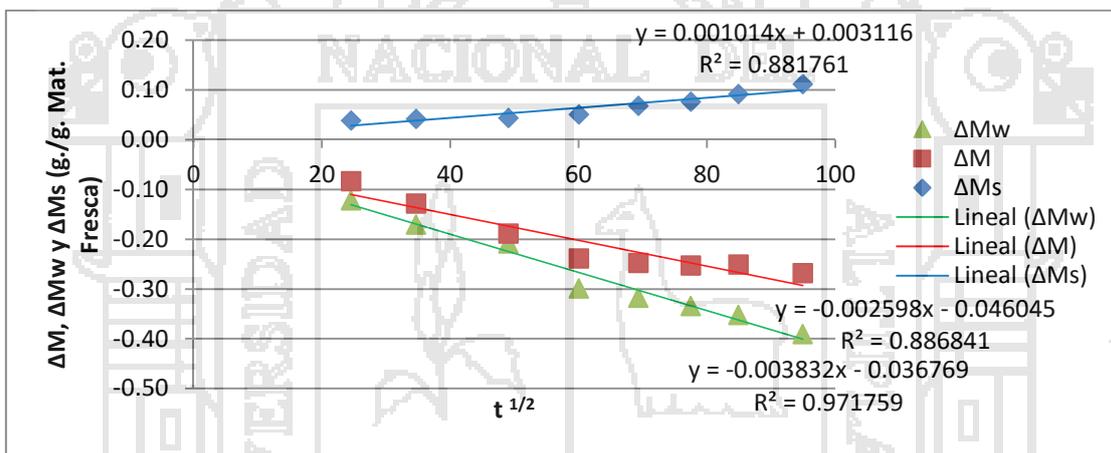


Gráfico 15: Variación de masa, agua y sólidos solubles de la papaya en función de la raíz cuadrada del tiempo a P = 125 mbar, C = 30 °Brix y T = 30 °C

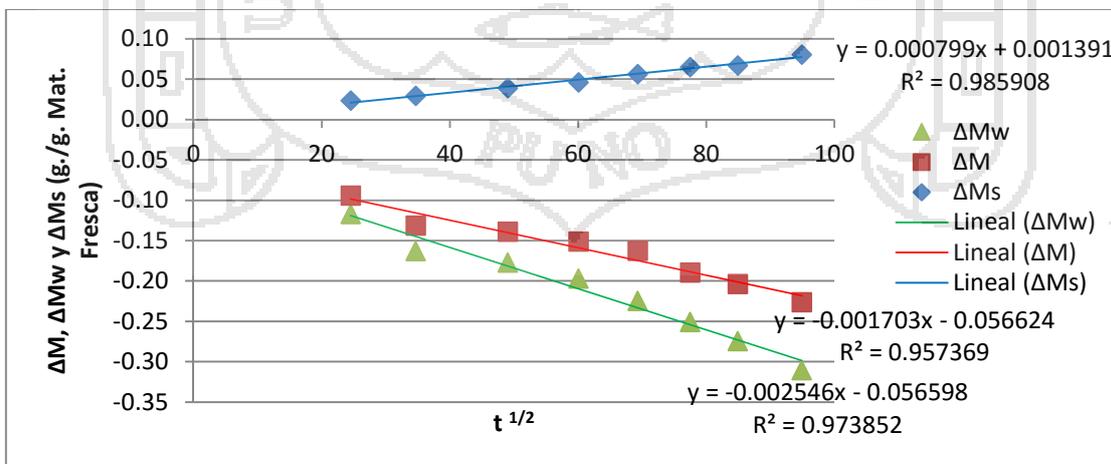


Gráfico 16: Variación de masa, agua y sólidos solubles de la papaya en función de la raíz cuadrada del tiempo a P = 125 mbar, C = 45 °Brix y T = 30 °C

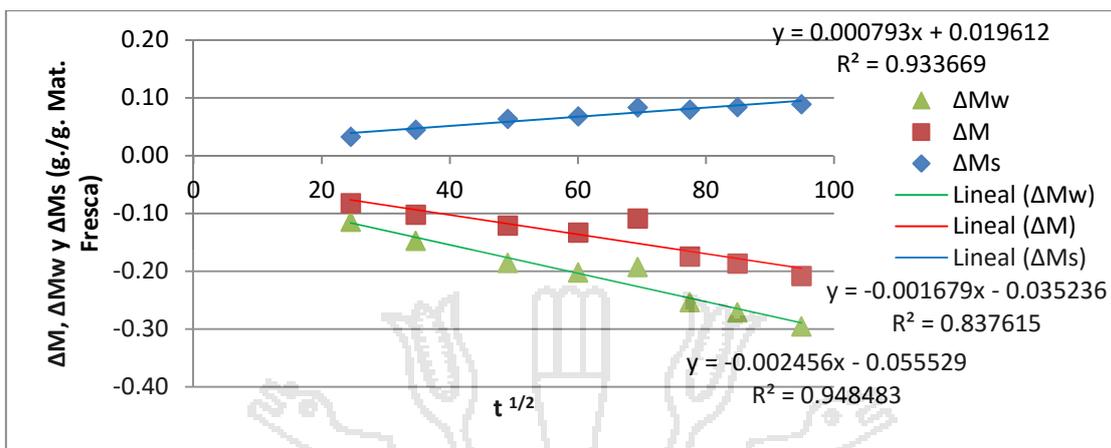


Gráfico 17: Variación de masa, agua y sólidos solubles de la papaya en función de la raíz cuadrada del tiempo a P = 125 mbar, C = 45 °Brix y T = 30 °C

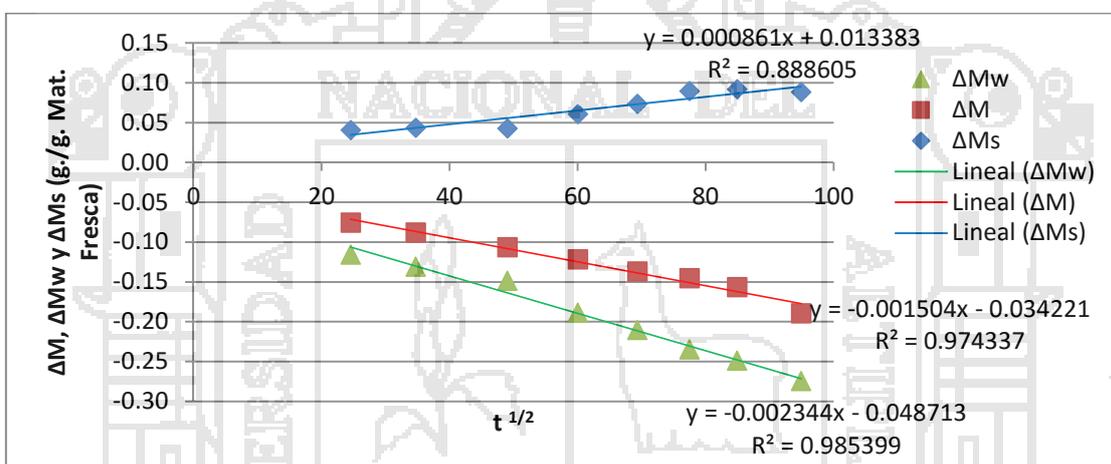


Gráfico 18: Variación de masa, agua y sólidos solubles de la papaya en función de la raíz cuadrada del tiempo a P = 125 mbar, C = 45 °Brix y T = 30 °C

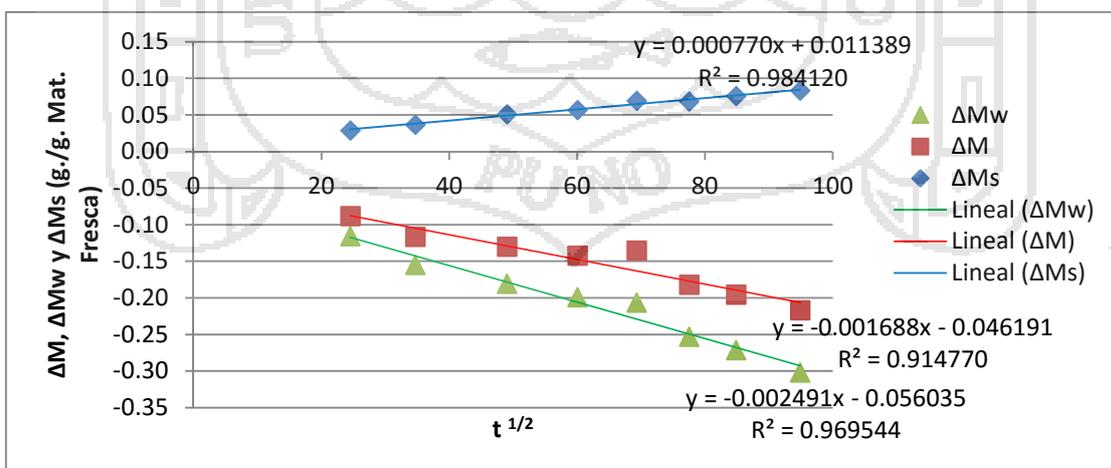


Gráfico 19: Variación de masa, agua y sólidos solubles de la papaya en función de la raíz cuadrada del tiempo a P =125 mbar, C = 45 °Brix y T = 30 °C

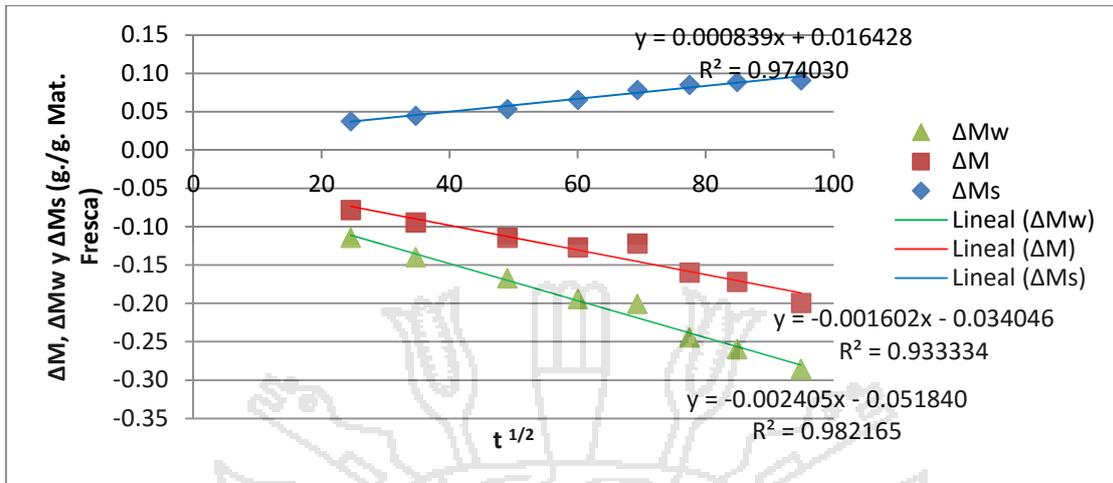
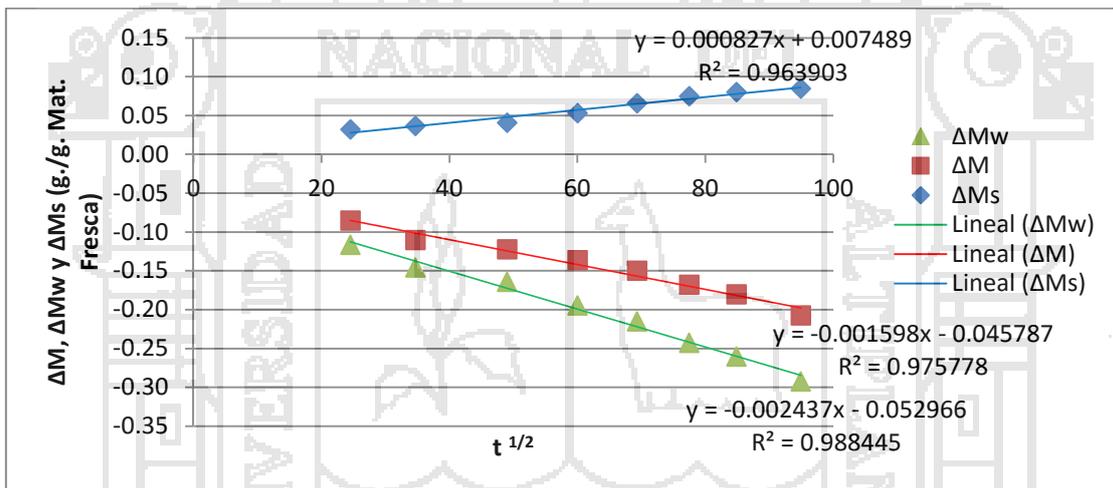


Gráfico 20: Variación de masa, agua y sólidos solubles de la papaya en función de la raíz cuadrada del tiempo a P = 125 mbar, C = 45 °Brix y T = 30 °C



ANEXO K



PLANOS

