

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL



**“EFECTO DEL ESTADO DE MADUREZ, CONCENTRACION Y
TEMPERATURA EN LA DIFUSIÓN EFECTIVA DE SACAROSA EN PAPAYA
(*Carica papaya L.*) EN EL MODULO DE OSMODESHIDRATAACION”**

TESIS

PRESENTADO POR:

Bach. PATRICIA KATIOSKA YANQUI COAQUIRA.

Bach. VIRGINIA MAQUERA CALLE.

PARA OPTAR EL TITULO DE:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

PUNO PERÚ

2010

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL

“EFECTO DEL ESTADO DE MADUREZ, CONCENTRACIÓN Y
TEMPERATURA EN LA DIFUSIÓN EFECTIVA DE SACAROSA EN PAPAYA
(*Carica papaya L.*) EN EL MÓDULO DE OSMODESHIDRATACIÓN”

TESIS

PRESENTADO POR:

Bach. PATRICIA KATIOSKA YANQUI COAQUIRA.

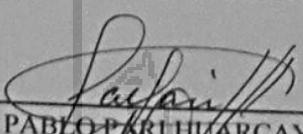
Bach. VIRGINIA MAQUERA CALLE.

PARA OPTAR EL TITULO DE:

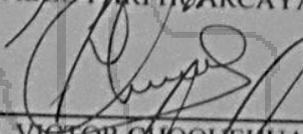
INGENIERO AGROINDUSTRIAL

APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

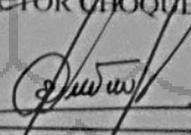
PRESIDENTE


Ing. M.Sc. PABLO PARIHUARCAYA.

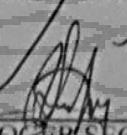
PRIMER MIEMBRO


Ing. M.Sc. F. VICTOR CHOQUEHUANCA CACERES.

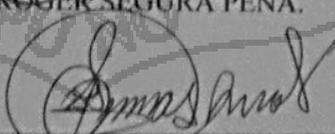
SEGUNDO MIEMBRO


Ing. M.Sc. ALEJANDRO COLOMA PAXI.

DIRECTOR DE TESIS :


Ing. M.Sc. ROGER SEGURA PENA.

ASESOR DE TESIS :


Ing. M.Sc. THOMAS ANCCO VIZCARRA.

PUNO PERÚ

2010

Área: Ingeniería y tecnología
Tema: Propiedades físicas y estructurales

DEDICATORIA

*A mi señora madre, hermanos, sobrinos y en memoria
de mi padre, con mucho cariño y gratitud por su
apoyo incondicional en el transcurso
de mi vida personal y profesional.*

KATIOSKA



Con infinito cariño a mis padres Ignacio y Ofelia

A mis hermanos Daniel, Edwin y Eloy

A Anita, a todos ellos

con eterna gratitud.

VIRGINIA

AGRADECIMIENTOS

A nuestro Creador, que derrama sus bendiciones en el trayecto de nuestras vidas.

Nuestro más sincero agradecimiento y reconocimiento a los docentes de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Altiplano – Puno, Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, por haber contribuido en nuestra formación profesional universitaria a través de sus enseñanzas y consejos.

A nuestro director de tesis Ing. M.Sc. Roger Segura Peña, por su invaluable ayuda en todo momento.

Al asesor de tesis Ing. M.Sc. Thomas Ancco Vizcarra, por sus consejos y su orientación en la realización del trabajo de investigación.

Al Ing. M.Sc. Nils Leander Huamán Castilla, por su orientación, consejos y ayuda invaluable en la realización del trabajo de investigación.

Al personal administrativo, por las facilidades brindadas en los laboratorios, bibliotecas, para la ejecución del presente trabajo.

A nuestros padres de familia, por su apoyo incondicional.

A todas aquellas personas que de una u otra manera nos han brindado su apoyo y orientación durante la ejecución del presente trabajo.

ÍNDICE

	Pag
Índice de Tablas	.
Índice de Figuras	
Índice de Gráficos	
Índice de Cuadros	
Anexos	
Apéndices	
RESUMEN	
INTRODUCCIÓN	
CAPITULO I	
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.	
1.1 La papaya.	01
1.1.1 Descripción botánica.....	01
1.1.2 Desarrollo del fruto.....	02
1.1.3 Maduración, cosecha y manipulación.....	03
1.1.4 Composición de la papaya.....	03
1.1.5 Usos.....	05
1.2 Deshidratación.....	06
1.2.1 Deshidratación osmótica.....	07
1.2.1.1 Cinética de la deshidratación osmótica.....	08
1.2.2 Variables del proceso de deshidratación osmótica.....	09
1.2.2.1 Efecto de las características de la materia prima.....	09
1.2.2.2 Efecto de la naturaleza del agente osmótico.....	10
1.2.2.3 Efecto de la concentración del agente osmótico.....	10
1.2.2.4 Efecto de la temperatura.....	10
1.2.2.5 Efecto de la agitación del sistema.....	11
1.2.3 Soluciones osmóticas.....	12
1.3 Mecanismo de transporte en tejidos vegetales.....	14
1.4 Transferencia de masa.....	14
1.4.1 Difusión.....	16
1.4.2 Difusión molecular.....	16
1.4.3 Ecuaciones características del proceso osmótica según la ley de Fick.....	17
1.4.3.1 Segunda Ley de Fick.....	17
1.4.4 Determinación del coeficiente de difusión.....	19
1.4.4.1 Métodos.....	19
CAPITULO II	
MATERIALES Y MÉTODOS	
2.1 Ámbito de estudio.....	
2.2 Materiales.....	27
2.2.1 Material Experimental.....	27

2.2.2	Equipos para el acondicionamiento del módulo.....	27
2.2.3	Materiales y equipos de laboratorio.....	27
2.3	Metodología.....	28
2.3.1	Metodología para el acondicionamiento del módulo.....	28
2.3.1.1	Funcionamiento del Módulo de osmodeshidratación.....	28
2.3.2	Metodología experimental.....	33
2.3.2.1	Otros análisis realizados.....	33
2.4	Diseño experimental.....	37
2.4.1	Factores en estudio.....	38
2.4.2	Variables de respuesta.....	39
2.4.3	Matriz de diseño.....	39
2.4.4	Modelo matemático.....	40
CAPITULO III		
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		
3.1	Determinación de la pérdida de peso.....	
3.2	Determinación de la pérdida de agua.....	41
3.3	Determinación de la ganancia de sólidos.....	45
3.4	Resultados de la difusividad efectiva de la sacarosa (azúcar) en papaya (<i>Carica papaya L.</i>).....	51
CAPITULO IV		56
CONCLUSIONES		
CAPITULO V		65
RECOMENDACIONES		
CAPITULO VI		66
BIBLIOGRAFÍA		
		67

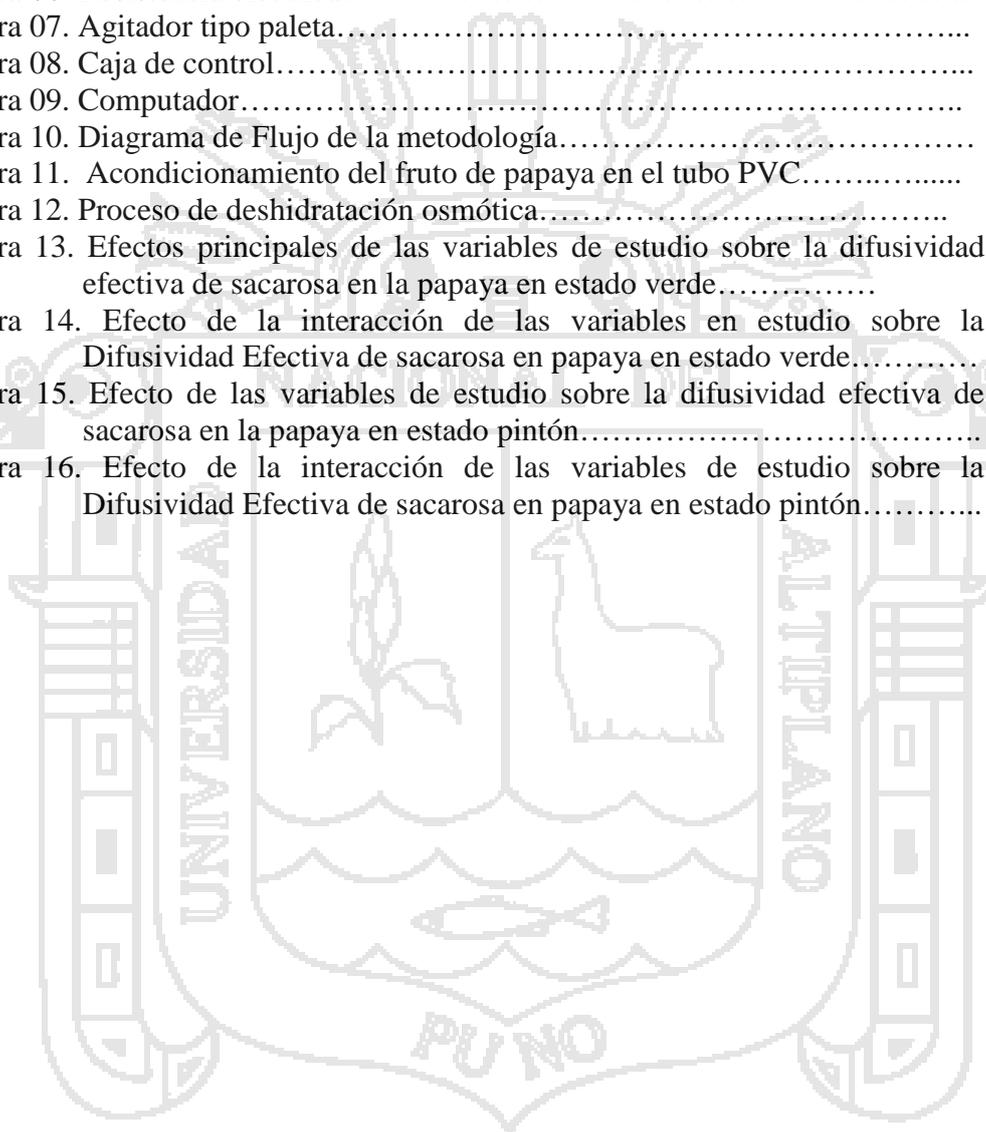
ÍNDICE DE TABLAS

	Pag.
Tabla 01. Composición en fresco de la papaya.....	04
Tabla 02. Caracterización físico-química de la papaya fresca.....	05
Tabla 03. Valores de la Difusividad efectiva de la sacarosa.....	17



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pag.
Figura 01. Difusión a través de una membrana porosa.....	18
Figura 02. Esquema del módulo implementado en la osmodeshidratación de papaya.....	29
Figura 03. Equipo cuba de baño termostatzado.....	30
Figura 04. Olla de acero inoxidable	30
Figura 05. Baño termostatzado.....	31
Figura 06. Resistencia eléctrica.....	31
Figura 07. Agitador tipo paleta.....	32
Figura 08. Caja de control.....	32
Figura 09. Computador.....	33
Figura 10. Diagrama de Flujo de la metodología.....	34
Figura 11. Acondicionamiento del fruto de papaya en el tubo PVC.....	35
Figura 12. Proceso de deshidratación osmótica.....	36
Figura 13. Efectos principales de las variables de estudio sobre la difusividad efectiva de sacarosa en la papaya en estado verde.....	58
Figura 14. Efecto de la interacción de las variables en estudio sobre la Difusividad Efectiva de sacarosa en papaya en estado verde.....	59
Figura 15. Efecto de las variables de estudio sobre la difusividad efectiva de sacarosa en la papaya en estado pintón.....	60
Figura 16. Efecto de la interacción de las variables de estudio sobre la Difusividad Efectiva de sacarosa en papaya en estado pintón.....	61



ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Pag.
GRÁFICO 01. Porcentaje de pérdida de peso a 35°C a diferentes concentraciones en estado verde de fruta osmóticamente deshidratada.	41
GRÁFICO 02. Porcentaje de pérdida de peso a 35°C a diferentes concentraciones en estado pintón de fruta osmóticamente deshidratada.	41
GRÁFICO 03. Porcentaje de pérdida de peso a 45°C a diferentes concentraciones en estado verde de fruta osmóticamente deshidratada.	42
GRÁFICO 04. Porcentaje de pérdida de peso a 45°C a diferentes concentraciones en estado pintón de fruta osmóticamente deshidratada.	42
GRÁFICO 05. Superficie de respuesta del efecto de la concentración y la temperatura sobre la pérdida de peso de la papaya en estado verde, a través del modelamiento cuadrático.	44
GRÁFICO 06. Superficie de respuesta del efecto de la concentración y la temperatura sobre la pérdida de peso de la papaya en estado pintón, a través del modelamiento cuadrático.	45
GRÁFICO 07. Pérdida de agua a 35°C en estado verde a diferentes concentraciones en fruta osmóticamente deshidratada.	46
GRÁFICO 08. Pérdida de agua a 35°C en estado pintón a diferentes concentraciones en fruta osmóticamente deshidratada.	46
GRÁFICO 09. Pérdida de agua a 45°C en estado verde de fruta osmóticamente deshidratada.	47
GRÁFICO 10. Pérdida de agua a 45°C en estado pintón de fruta osmóticamente deshidratada.	47
GRÁFICO 11. Superficie de respuesta del efecto de la concentración y la temperatura sobre la pérdida de agua de la papaya en estado verde, a través del modelamiento cuadrático.	49
GRÁFICO 12. Superficie de respuesta del efecto de la concentración y la temperatura sobre la pérdida de agua de la papaya en estado pintón, a través del modelamiento cuadrático.	50
GRÁFICO 13. Ganancia de sólidos a 35°C en estado verde y a diferentes concentraciones en fruta osmóticamente deshidratada.	51
GRÁFICO 14. Ganancia de sólidos a 35°C en estado pintón y a diferentes concentraciones en fruta osmóticamente deshidratada.	51
GRÁFICO 15. Ganancia de sólidos a 45°C en estado verde y a diferentes concentraciones en fruta osmóticamente deshidratada.	52
GRÁFICO 16. Ganancia de sólidos a 45°C en estado pintón y a diferentes concentraciones en fruta osmóticamente deshidratada.	52
GRÁFICO 17. Superficie de respuesta del efecto de la concentración y la temperatura sobre la ganancia de sólidos de la papaya en estado verde, a través del modelamiento cuadrático.	54
GRÁFICO 18. Superficie de respuesta del efecto de la concentración y la temperatura sobre la ganancia de sólidos de la papaya en estado pintón, a través del modelamiento cuadrático.	55
GRÁFICO 19. Superficie de respuesta del efecto de la concentración y la	62

temperatura sobre la difusividad efectiva de sacarosa en la papaya en estado pintón, a través del modelamiento cuadrático.

GRÁFICO 20. Superficie de respuesta del efecto de la concentración y la temperatura sobre la difusividad efectiva de sacarosa en la papaya en estado pintón, a través del modelamiento cuadrático. 64



ÍNDICE DE CUADROS

	Pag.
Cuadro 01. Cinco niveles de diseño Factorial Central Compuesto (DCC)	39
Cuadro 02. Número de tratamientos para dos Factores en un DCC	40
Cuadro 03. Valores generales de la difusividad efectiva encontrando la pendiente de la ecuación lineal en papaya en estado verde.	56
Cuadro 04. Valores generales de la difusividad efectiva encontrando la pendiente de la ecuación lineal en papaya en estado pintón.	56



RESUMEN

La tesis se basó en determinar la variación de pérdida de peso, pérdida de agua, ganancia de sólidos y la difusividad efectiva durante la cinética de deshidratación osmótica de papaya en relación con la temperatura, concentración del agente osmótico (azúcar + agua) y estado de madurez. Esta investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Post Cosecha de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, ubicada a 3825 m.s.n.m. La fruta escogida fue la papaya (*Carica papaya L*) debido que hay disponibilidad durante todo el año, las cuales fueron adquiridas en el mercado de abasto de la ciudad de Puno, seguidamente se lavaron, pelaron y cortaron en forma de cilindros (1.7 cm. de diámetro y 4 cm. de longitud). Estas últimas fueron aisladas con la ayuda de un tubo PVC para facilitar el control de la dirección del flujo de sacarosa logrando una difusión unidireccional para una geometría de placa. Estas muestras se introdujeron en el módulo de osmodeshidratación, extrayéndolas después de 20, 40, 60, 80, 100, 120, y 140 minutos, para la determinación de la difusividad efectiva se aplicó el método de refractometría y la segunda Ley de Fick, obteniéndose la mayor difusividad de sacarosa (azúcar) en papaya en estado verde a una concentración de 60°Brix, temperatura de 45°C, dando un valor de 4.458×10^{-8} m²/s de difusividad efectiva y la menor difusividad se da en el tratamiento del mismo estado a una concentración de 50°Brix, y ambas temperaturas dando un valor de 2.0264×10^{-8} m²/s de difusividad efectiva.

INTRODUCCION

La transformación y manipulación de los productos vegetales es un muy importante para la industria alimentaria hoy en día, debido a que los procesos de transformación agroindustrial artesanal no han desarrollado sistemas de control de proceso y no esta garantizada la calidad del producto frente al consumidor.

En el proceso de osmodeshidratación no existe control de temperatura y concentración lo que ocasiona saturación superficial del producto, reduciendo la velocidad de difusividad, la permeabilidad celular y el área de transferencia de masa lo cual demanda tiempo y costos elevada.

El aumento en popularidad del consumo de frutas frescas y los requerimientos mundiales de conservación de recursos, están forzando a la Agroindustria a aplicar técnicas de preservación mínimas para obtener productos de características similares a las frescas y que demanden menos energía para la estabilización, almacenamiento y distribución. En este proyecto se plantea preservar la papaya por el método de osmodeshidratación.

Algunas de las ventajas de la ósmosis directa en comparación con otros procesos incluyen la reducción al mínimo de pérdida de color y sabor por el calor, e influye positivamente en la retención de volátiles osmótico durante el secado final. Además, es un excelente inhibidor del pardeamiento enzimático (oxidativo) que ocurre en frutas cortadas, producido por la polifenol oxidasa, lo que permite un buen color en el producto final sin necesidad de usar un aditivo tal como el dióxido de azufre (Pointing *et al.*, 1966; Contreras y Smyrl, 1981).

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 rol importante en la ganancia de sólidos totales para la obtención de frutas mínimamente procesadas. Muchas investigaciones aplican la segunda Ley de Fick para el estudio de difusividad efectiva de la sacarosa a diferentes condiciones y geometrías de la muestra.

Teniendo en cuenta esta situación y por lo expuesto anteriormente, se ejecutó el presente trabajo, planteando como objetivos de la investigación lo siguiente:

- Implementar un módulo experimental para realizar pruebas de osmodeshidratación.
- Determinar la difusividad efectiva de la sacarosa a diferentes temperaturas, concentraciones y estado de madurez en el proceso de osmodeshidratación.



CAPITULO I

REVISIÓN BIBLIOGRAFICA

1.1 PAPAYA.

Los frutos 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, de donde le viene el nombre familiar inglés de “tree melon” (melón de árbol) aunque también hay variedades que recuerdan a las bananas o a las peras. En América Latina se le conoce como árbol del melón y a las papayas como melón zapote, melón del trópico o lechosa. En general tienen un gusto dulce que puede variar de unas especies a otras con un toque de sabor almizclado (Infoagro, 2004).

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).

1.1.1 DESCRIPCIÓN BOTANICA.

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 10m, 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 hojas son alternas y aglomeradas en el ápice del tronco y ramas, de pecíolo largo, lisas, más o menos palmadas, con venas medias robustas; por arriba la hoja es de color verde oscuro o verde-amarillo, brillante, marcada por nervaduras de color blanco amarillento y las venas reticuladas (Osche y Soole, 1980).

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 y Soole, 1980).

1.1.2 DESARROLLO DEL FRUTO.

El fruto de la papaya es una baya proveniente de un ovario súpero, de pericarpio carnoso y succulento, cuyo color puede variar desde el amarillo hasta rojo (Guzmán, 1998). Los frutos pueden ser de diferentes formas y tamaños, desde casi esféricos o redondeados, cilíndricos o alargados y con pesos que oscilan entre los 200g. y 8000g. (Pestano, 2001).

Los frutos maduran entre 4 y 6 meses dependiendo del clima y del cultivo. Durante el desarrollo, la relación pulpa: piel se incrementa en 1.5-2.5 mes, luego avanza de forma constante hasta la maduración y declina al final de este periodo, el estado de madurez está caracterizado por el cambio de color de la piel. Durante este periodo ocurren cambios importantes, el contenido de agua varía entre 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 (Kalra *et. al.*, 1995). 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 el ácido málico, disminuyen el contenido hasta un mínimo a final del periodo de madurez (Kalra *et. al.*, 1995).

1.1.3 MADURACIÓN, COSECHA Y MANIPULACIÓN.

El estado de recolección alcanza cuando los frutos empiezan a ablandarse y a perder el color verde del ápice. La madurez se alcanzará a los 4 o 5 días de la recolección y los frutos tomarán un color amarillo (Infoagro, 2004).

Una práctica poscosecha comúnmente utilizada es el tratamiento térmico; agua caliente 49°C por 15 minutos para controlar enfermedades fúngicas, seguido de un baño de agua fría para bajarles la temperatura, que ayuda a prolongar brevemente el periodo de almacenamiento (Guzmán, 1998).

La papaya como fruta tropical es susceptible al frío. A temperaturas de 7°C o inferiores, se observa una inapropiada madurez, acompañada de un pobre desarrollo del color en la pulpa y piel, desarrollándose tejidos suaves y acuosos con picaduras, incrementando un mal desarrollo y menor reducción de azúcares (Kalra *et. al.*, 1995). Debido a su piel delgada, se trata de frutos muy delicados por lo que se magullan fácilmente. Por ello se deben envolver individualmente y empacarse acolchado por todos los lados para su transporte y comercialización. Se deben mantener durante cortos periodos de tiempo a 10-12°C (Infoagro, 2004).

1.1.4 COMPOSICIÓN DE LA PAPAYA.

El gusto por la papaya está relacionado con el color de la pulpa, sabor, succulencia y aroma característico. El fruto de la papaya tiene un importante valor alimenticio. La composición típica de la papaya se muestra en la Tabla 01. 100g de pulpa contiene entre 2000 a 3000 unidades de vitamina A y 33 a 55 mg de vitamina C, y cantidades variables de 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 papaya madura es de 48.3% de sacarosa, 29.8% de glucosa y 21.9% de fructosa (Kalra *et.al.*, 1995).

El pH de la pulpa de papaya se encuentra entre 5.5 y 5.9. Contiene unos 106 compuestos volátiles. El linalol, es el compuesto mayoritario y es causante del olor característico de la papaya fresca. Otro gran componente es el benzil isotiocianato que tiene un leve sabor pungente. Otros compuestos off-flavor que se encontraron en la papaya se identificaron como ácidos butírico, hexanoico y octanoico, así como sus correspondientes esteres metílicos. Otros autores reportan la presencia de 18 compuestos mas, de los cuales se encontró que el butanoato de metilo, es el responsable de olores suaves en algunas papayas (Kalra *et. al.*, 1995).

La papaya 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, poligalacturonasa, miorinasa y la ácido fosfatasa (Kalra *et. al.*, 1995).

Tabla 01. Composición en fresco de la papaya.

COMPONENTES POR PORCIÓN COMESTIBLE DE 100g.	
Calorías	23,10 - 25,80 Kcal.
Humedad	85,90 - 92,60 %
Proteínas	0,081 - 0,34 g.
Grasas	0,05 - 0,96 g.
Hidratos de carbono	6,17 - 6,75 g.
Fibra Cruda	0,51 - 1,30 g.
Cenizas	0,31 - 0,66 g.
Calcio	12,90 - 40,80 mg.
Hierro	0,25 - 0,78 mg.
Potasio	183,0mg.
Sodio	4,0 mg.
Fósforo	12,0mg.

Fuente: Nakasone y Paull (1998).

En general, el color de la pulpa de la papaya se debe a la presencia de carotenoides, el color de la papaya roja, a diferencia de la amarilla, se debe al contenido de licopenos que se están presentes en esta última, por el contrario, el color de la papaya amarilla se debe mayoritariamente al contenido en criptoxantinas.

Entre los terpenoides carotenoides característicos de la papaya se encuentran la violaxantina y la caricaxantina (Bioextracto, 2003).

Tabla 02. Caracterización físico-química de la papaya fresca.

CARACTERISTICAS	ESTADO DE MADUREZ	
	VERDE	PINTÓN
Contenido de humedad ^a .	91.41 ± 0.47	88.63 ± 0.52
Sólidos solubles (°Brix).	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
Proteína.	0.43 ± 0.01	0.32 ± 0.01
Densidad aparente (Kg/m ³).	0.93 ± 0.01	0.94 ± 0.01
Densidad real (Kg/m ³).	1.03 ± 0.01	1.03 ± 0.01
Porosidad (%)	11.08 ± 0.1	8.80 ± 0.01
Índice de madurez.	44.1	65.6

^a unidades en % referida a 100 g. de muestra; y ^b (g. Ac. cítrico / g. muestra)x100
Fuente: Chavarro *et. al.*, (2006).

1.1.5 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 farmacéuticos.

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 la 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 o colorantes. En México suele utilizarse con frecuencia una pasta hecha con las semillas para ablandar carne (Bioextracto, 2003).

1.2 DESHIDRATACIÓN.

La deshidratación es un método primitivo que al eliminar agua de los tejidos vegetales y animales impide el desarrollo de las enzimas propias de los alimentos, como de la vida microbiana. No solo tiene importancia como medio de prolongar la vida útil de los alimentos, también sirve para disminuir su volumen, abaratar costos. Por consiguiente se exige que la conservación no debe afectar negativamente las propiedades organolépticas (Salinas, 1998).

El deshidratado desde el punto de vista industrial es un proceso de transferencia de calor y 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. Esto suele ser el agua natural o mezclado, pero también puede ser otro tipo de disolvente orgánico o inorgánico (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).

La deshidratación o secado se realiza para aumentar la vida útil de los alimentos, para disminuir los costos de transporte, de empaque y de almacenamiento, para suplir las necesidades de materia prima seca como ingrediente para otros productos (yogur, mermeladas, cereales y productos de panadería) y en el desarrollo de nuevos productos atractivos a los consumidores tales como los snacks de frutas (Rastogi y Raghavarao, 2002).

1.2.1 DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA.

La deshidratación osmótica consiste en la extracción de agua de un producto que se sumerge en una disolución hipertónica a un tiempo y temperatura específicos. Esta extracción se debe a la fuerza impulsora que se crea por la alta presión osmótica (o baja actividad de agua) de la disolución o por el gradiente de concentración entre la disolución y el sólido (Rastogi y Raghavarao, 1996).

La deshidratación osmótica es un proceso de contra-difusión simultáneo de agua y solutos donde ocurren tres tipos de transferencia de masa en contracorriente: flujo de agua del producto a la disolución, transferencia de soluto de la disolución al producto y salida de solutos del producto hacia la disolución (azúcares, ácidos orgánicos, minerales y vitaminas que forman parte del sabor, el color y el olor), este último flujo se desprecia para todos los efectos de modelación ya que aunque es importante en las características organolépticas del alimento, es muy pequeño comparado con los otros flujos (Sablani y Rahman, 2003).

Ventajas de la deshidratación osmótica 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 y Torregiani, 1981).
- 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 una aplicación interesante como paso previo al secado convencional y/o congelación de frutas y hortalizas (Talens, 2002).

1.2.1.1 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 (Fito, 1994).

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; Garrote y Bertone, 1989).

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; Barat *et. al.*, 1997).

Usualmente la deshidratación osmótica no es aconsejable para obtener unas reducciones del contenido en agua superiores al 50% a causa de la pequeña velocidad de los fenómenos de transferencia, a estos niveles de concentración. Normalmente, las velocidades de flujo de agua son altas durante las primeras 2 horas y la mayor cantidad de sólidos ganados 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 nativas (azúcares, ácidos orgánicos, minerales, etc.) que atraviesan la

membrana, es muy pequeña, lo que hace que las pérdidas sean cuantitativamente despreciables (Dixon y Jen, 1997; Moreno *et. al.*, 2000).

1.2.2 VARIABLES DEL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA.

Existen diversas variables que influyen en el proceso de deshidratación osmótica de alimentos, de cuyo efecto genérico depende el estado final del producto deshidratado. Estas variables pueden comprender en dos grupos, las que hacen referencia a las características intrínsecas del producto que se va a deshidratar (tamaño, forma, estado de madurez) y las relaciones con las variables del proceso (composición, concentración de la disolución osmótica, temperatura aplicada durante el tratamiento, tiempo de proceso, presión de trabajo, etc.) (Barat, 1998).

1.2.2.1 EFECTO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA MATERIA PRIMA.

La amplia variación de la física natural de la fruta afecta al comportamiento osmótico y al estado final de los productos deshidratados osmóticamente. El movimiento del agua y de los solutos a través de los alimentos de origen vegetal está relacionado con la compacidad (Giangiacomo *et. al.*, 1987), el tipo de piel, la cantidad de espacios intercelulares y la presencia de gases en ellos, el contenido inicial de sólidos solubles e insolubles (Lenart y Flink, 1984), la presencia de sustancias pécticas 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.

La geometría y el tamaño del producto afectan en tal forma que, a mayor superficie específica de los trozos aumenta la pérdida de agua hasta un punto a partir del cual el tratamiento de productos muy divididos se traduce en una ganancia de sólidos muy importante (Acosta, 1996).

1.2.2.2 EFECTO DE LA NATURALEZA DEL AGENTE OSMÓTICO.

La naturaleza del agente osmótico es fundamental para definir el comportamiento del producto durante el proceso de deshidratación osmótica. En función de las propiedades físicas de la disolución osmótica se observara un comportamiento u otro, ya que la interacción de los solutos con el agua y la matriz sólida del alimento será distinta. Esta disolución osmótica en cuestión debe ser rica en solutos que depriman la actividad de agua de la fruta y que crean una diferencia de presión osmótica entre el producto a deshidratar y la disolución (Barrera, 2001).

En el caso de frutas el agente osmótico mas empleado ha sido la sacarosa debido a su fácil accesibilidad, aceptable sabor y aroma y por reducir el pardeamiento enzimático (Talens, 2002).

1.2.2.3 EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DEL AGENTE OSMÓTICO.

La concentración de la disolución osmótica exterior en el sentido de definir la fuerza impulsora en cuanto a la transferencia de materia se refiere, así como a la viscosidad a medida que se concentra, hasta alcanzar la disolución osmótica en el equilibrio (Barat *et. al.*, 2001; Cháfer *et. al.*, 2001) .

Diversas experiencias muestran que a altas concentraciones de disolución osmótica se produce una mayor pérdida de agua en el fruto. Estas altas concentraciones producen grandes fuerzas impulsoras, con ello los tiempos de proceso son mas cortos y las células superficiales de la muestra quedan muy deshidratados, mientras que el centro permanece prácticamente inalterado. Por el contrario, en condiciones más suaves, una parte mayor del tejido queda afectada pero en menor intensidad (Pérez y Pimentel 2003).

1.2.2.4 EFECTO DE LA TEMPERATURA.

En general, al elevar la temperatura se estimula el movimiento molecular y aumenta la permeabilidad celular, de manera que se produce un aumento en la velocidad de transferencia de masa, con lo que la influencia de la temperatura no es uniforme en

cualquier intervalo, a valores de temperatura entre 40-50°C se produce un descenso de viscosidad en la disolución de sacarosa y la transferencia de masa es más acusada (Barrera, 2001). No obstante, por encima de estas temperaturas la desnaturalización de las membranas celulares y la pérdida de la actividad biológica celular hacen el transporte mucho más rápido, lo que tiene un efecto negativo sobre la estructura del tejido de la fruta y por lo tanto sobre la estructura, así como sobre el sabor y aroma (Talens, 2002).

Por otro lado se ha de tener en cuenta 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, 1998).

1.2.2.5 EFECTO DE LA AGITACIÓN EN EL SISTEMA.

La agitación en el 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, esta 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, 2003).

Si el sistema es agitado, el agua que ha salido es retirada del contacto con 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, 2003).

1.2.3 SOLUCIONES OSMÓTICAS.

A. SOLUCIÓN HIPERTÓNICA.

El medio más concentrado se denomina hipertónico, el menos concentrado hipotónico, y si las concentraciones son iguales, isotónicos (Andreotti y Palmas, 1995).

B. PROPIEDAD 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 diferentes 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 pasarán de la solución menos concentrada a la solución de mayor concentración, haciendo a esta última más diluida (Horton, 1998).

C. SOLUTOS EMPLEADOS EN DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA.

C.1. SACAROSA.

Cuya base son los carbohidratos por lo tanto es un azúcar, un polvo fino blanco de olor y sabor característicos. Los jarabes de sacarosa en polvo son obtenidos por el proceso de secado por aspersión del jarabe de sacarosa, obteniéndose un polvo blanco y soluble el cual puede ser manejado más convenientemente que un jarabe viscoso. Se utilizan en la industria alimenticia por sus propiedades de proveedor de cuerpo, control de sabor dulce, etc. Son utilizados en helados y helados en polvo, mermeladas y jaleas, pasteles, rellenos de galletas, etc. (Geankoplis, 1998).

- Polarización a 20 °C
 - Máximo: ----
 - Mínimo: 99.4
- Cenizas sulfatadas (%)
 - Máximo: 0,25
 - Mínimo: ----

- Color (420) Unidades ICUMSA
 - Máximo: 60
 - Mínimo: --
- Humedad (%)
 - Máximo: 0,12
 - Mínimo: --
- SO₂ 8(libra) ppm
 - Máximo: 70
 - Mínimo: --

C.2. CLORURO DE SODIO.

Ese es el nombre químico de la conocida sal de mesa o la que se utiliza en la cocina. La sal fue el aditivo más antiguo y más utilizado de todos los tiempos, desde hace más de 5000 años se usaba para curar y conservar carnes y pescados. Su efecto conservante se debe al fuerte poder deshidratante que tiene sobre los tejidos y sus células: la deshidratación no permite que se desarrollen los microorganismos responsables de la putrefacción. Estos microorganismos necesitan de una cierta cantidad de agua, de una concentración de ácidos y de una temperatura y tiempo determinado para crecer favorablemente. El agregado de sal modifica el medio que ellos pueden utilizar y por esa causa no prosperan y su crecimiento se inhibe: este proceso es muy conveniente para conservar un alimento por largo tiempo (WHO/ FAO ,1998).

C.3. MALTODEXTRINA.

La maltodextrina pertenece al grupo de los oligosacáridos parte de los carbohidratos por lo mismo es un azúcar, cuando se combinan entre tres y nueve unidades de azúcar. Las maltodextrinas contienen hasta nueve unidades de glucosa, son producidas para su uso comercial y se obtienen a partir de una hidrólisis parcial (descomposición) del almidón. Son menos dulces que los monosacáridos o los disacáridos. Es un polvo fino blanco de olor y sabor característicos. Es el resultado de la hidrólisis enzimático de suspensiones de almidón de maíz previamente gelatinizado. Las maltodextrinas se utilizan en diversas aplicaciones en alimentos, principalmente

como agentes de relleno, acarreadores y controladores de sabor dulce (WHO/FAO, 1998).

Se pueden utilizar para, reducir la pérdida de volumen en producto almacenado ó en tránsito, absorber grasas y aceites para mantener las propiedades de libre flujo, estandarizar la calidad de productos naturales (especies, sabores), diluir ingredientes de alto valor (sabores, intensificadores de sabor), etc. La maltodextrina es un ingrediente que puede utilizarse como proveedor de cuerpo, controlador de higroscopicidad, agente de secado, agente de control de sabor dulce, etc. (WHO/FAO, 1998).

1.3 MECANISMOS DE TRANSPORTE EN TEJIDOS VEGETALES.

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

- 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.
- 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).
- 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).

1.4 TRANSFERENCIA DE MASA.

Es una operación unitaria que interviene en la destilación, absorción, secado y extracción líquido-líquido. Cuando se esta 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 inmigra a una misma fase o de una fase a otra, a causa de la diferencia de concentración entre dos puntos (Geankoplis, 1998).

El sólido puede estar en forma de una barrera porosa o membrana, separando dos partes del fluido, como en el 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 una diferencia de presión. El movimiento hacia fuera y hacia adentro del soluto a través de los poros del sólido se realiza únicamente por difusión. El involucrar difusión superficial del soluto absorbido (Treybal, 1996).

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 (Garcell, *et. al.*, 1988).

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).

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).

Usualmente, 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).

1.4.1 DIFUSIÓN.

La difusión es el movimiento de partículas de un área en donde están en alta concentración a un área donde están en menor concentración hasta que estén repartidas uniformemente (Crank, 1956).

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 del gradiente de concentración. La difusión, proceso que no requiere aporte energético es frecuente como la forma de intercambio celular (James, *et. al.*, 1988).

1.4.2 DIFUSIÓN MOLECULAR.

La difusión molecular (o transporte molecular) puede definirse como la transferencia (o desplazamiento) de moléculas individuales a través de un fluido por medio de los desplazamientos individuales y desordenados de las moléculas. Podemos imaginar a las moléculas desplazándose en línea recta y cambiando su dirección al rebotar 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).

DIFUSIÓN MOLECULAR EN SÓLIDOS:

En cualquier estudio del movimiento molecular en el estado sólido, la explicación de la transferencia de masa se divide automáticamente en dos campos mayores de interés (Garcell, *et. al.*, 1988).

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

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

Tabla 03. Valores de la Difusividad efectiva de la sacarosa (azúcar).

FRUTA	CONCENTRACIÓN (°Brix)	T (°C)	D_e (m ² /s)	REFERENCIA
Manzana	65	20-50	0.172E-09	Salvatori <i>et al.</i> , 1999.
Manzana	40-60	20-50	0.108E-09	Kaymak y Sultanoglu, 2003.
Papaya	50-70	30-50	0.933E-09	Rodriguez <i>et al.</i> , 2002.
Papaya	Saturado	25	3.47E-09	Mendoza, 2002.
Piña	50-70	50-70	0.46E-09	Waliszewski <i>et al.</i> , 2004.
Piña	40-70	30-50	1.54E-09	Rastogi y Raghavarao, 2002.
Banano	40-70	25-45	0.85E-09	Rastogi y Raghavarao, 1996.
Mango	35-65	30	0.77E-09	Giraldo, 2003

Fuente: Ochoa y Ayala (2005).

1.4.3 ECUACIONES CARACTERISTICAS DEL PROCESO OSMÓTICO SEGÚN LA LEY DE FICK.

1.4.3.1 SEGUNDA LEY DE FICK.

La ecuación de Fick expresa la velocidad instantánea de transferencia, que es igual al producto del coeficiente de difusión de masa, siendo esta una propiedad física del medio en el que tiene lugar la difusión de masa, por el área de la sección a través de la cual se realiza la transferencia, tomada perpendicularmente a la dirección de la

misma y por el gradiente de concentración, representativo de su variación a lo largo del recorrido (Hermida, J., 2000), cuya ecuación es:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_e \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (1)$$

Donde:

C : Es la concentración del soluto en la fase líquida.

x : Longitud característica.

D_e : Difusión efectiva (m^2s^{-1})

t : tiempo (s).

La ecuación (1) depende de las condiciones del material sólido, como contenido inicial del soluto (C_0), así también la longitud en contacto con la solución de concentración constante (C_f).

La ecuación de difusión permite calcular $C(x,t)$, no obstante, en sistemas con membranas tienen lugar discontinuidades en C , en las que no se puede aplicar la ecuación de difusión, y para las que $C(x)$ puede tomar una forma complicada.

Modelo sencillo para $C(x)$ a través de una membrana, se muestra en la Figura 01.

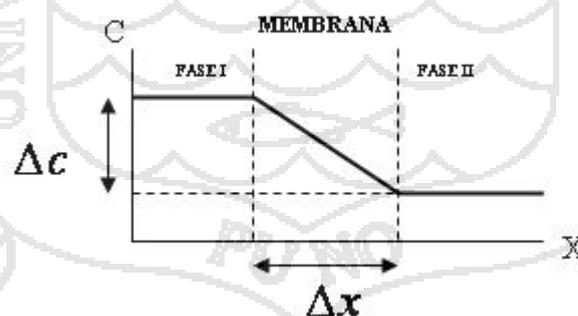


Figura 01. Difusión a través de una membrana porosa.

Donde: La fase I se encuentra a una concentración mayor a la fase II, el fluido atraviesa la membrana con x de espesor.

Este tipo de difusión en sólidos no depende de la estructura real del sólido. La difusión se verifica cuando el fluido o soluto que se difunde. Se disuelve en el sólido para formar una solución más o menos homogénea (Geankoplis, 1998).

En general, se emplean ecuaciones simplificadas. Como la expresión general como la ecuación para difusión binaria:

$$N_A = -cD_{AB} \frac{\partial x_A}{\partial z} + \frac{c_A}{c} (N_A + N_B) \quad (02)$$

El término de flujo total, $(c_A/c)(N_A + N_B)$, suele ser pequeño cuando está presente, pues c_A/c o x_A es un valor muy bajo. Por consiguiente, siempre se desprecia. Además, se supone que c es constante para la difusión en sólidos, con lo que se obtiene:

$$N_A = \frac{D_{AB} \partial c_A}{\partial z} \quad (03)$$

Donde D_{AB} es la difusión en m^2s^{-1} de A a través de B y casi siempre se supone constante e independiente de la presión para los sólidos. Nótese que $D_{AB} \neq D_{BA}$ para sólidos.

1.4.4 DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE DIFUSIÓN.

1.4.4.1 MÉTODOS.

No existe un método estándar para la determinación experimental de la difusividad en sólidos. Una revisión de varios métodos que han sido usados por Zogzas *et. al.* (1994).

- Método de permeación.
- Concentración – Distancia de curva.
- Cinética de absorción.

A. MÉTODO DE PERMEACIÓN

Otro método que puede ser empleado para medir el coeficiente de difusión, este consiste en el uso de un material como membrana y dejar que la humedad se difunda a través del material bajo una gradiente de concentración y condiciones de estado constante.

Una delgada muestra es localizada entre dos concentraciones constantes de difusión. Luego de un periodo de tiempo, las superficies en contacto entran en equilibrio con las soluciones, desarrollando una constante gradiente de concentración en la superficie, estas condiciones del estado constante de la difusión (Marinos-Kouris and Maroulis, 1995; Zogzas *et. al.* 1994). Puede ser expresado, en un plano por la siguiente ecuación.

$$j = D \frac{(C_{RA} - C_{RB})}{R} \quad (04)$$

Donde:

- j : Es el flujo de la difusión (Kg./m²s).
- D : Es la difusividad la cual no depende de la concentración (m²/s).
- R : Es el espesor de la membrana (m).
- C_{RA}, C_{RB} : Son las concentraciones de superficie de la membrana (Kg./m³).

Está claro que la ecuación de la difusividad puede ser estimada por la medición del flujo de la difusión, conociendo la concentración en la superficie y el espesor de la membrana. El flujo puede ser determinado por la razón de flujo o la difusividad a través de la membrana (Figura 1) este puede ser hecho experimentalmente por sucesivos pesados de las celdas en intervalos de tiempo ya predeterminados.

Cuando C_{RA} y C_{RB} son variables, con la ayuda de un balance de materia se puede trabajar con la siguiente ecuación:

$$\ln\left(\frac{C_{RA} - C_{RB}}{C_{RA1} - C_{RB2}}\right) = -DA\left(\frac{1}{V_A} - \frac{1}{V_B}\right)(t - t_1) \quad (05)$$

Donde:

A : Es el área (m²).

V : Volumen (m³).

t : Tiempo (s)

En el primer subscrito denota el tiempo en el cual se hace la primera medida de la concentración. Trazando el valor experimental del lado izquierdo de la ecuación (5) como una función del tiempo, el coeficiente de difusividad efectiva (De) se obtiene de la pendiente de la línea recta. Esto puede ser realizado tan pronto como se logre las condiciones de estado constante (Westrin, 1991).

En el caso que la difusión dependa de la concentración el De es inválida. La obtención de los valores de De serán únicamente valores integrados, correspondientes a un intervalo de concentración finita, volúmenes de una sola concentración, esto puede ser probado que el valor de la integral es igual al verdadero valor diferencial correspondiente a la concentración de $C_R = (C_{RAI} + C_{RBI})/2$, si la concentración depende del De es lineal o no lineal, en el intervalo entre C_{RAI} y C_{RBI} .

B. MÉTODO DE CONCENTRACIÓN – DISTANCIA CURVA.

Este método está basado en periodos de tiempo antes del establecimiento de la difusión en estado constante. Si por algún motivo una de las superficies de la membrana mantiene su concentración C_{RA} , mientras que la otra se encuentra en concentración cero, después de que un periodo teóricamente infinito una condición del estado constante de la difusión será alcanzada. Asumiendo que el coeficiente de difusión es constante, la muestra está totalmente libre de difusión, y que la difusión es continuamente removida del lado de baja concentración, de la cantidad de difusión que se impregna de la muestra (cuando el tiempo tiende al infinito), esta dada como función lineal del tiempo por la ecuación siguiente.

$$W_t = -\frac{ADC_{RA}}{R} \left(t - \frac{R^2}{6D} \right) \quad (06)$$

Donde:

W_t : es la cantidad de difusión (Kg.)

t : tiempo.

Así la cantidad difundida es medida como una función del tiempo, esto es posible graficar en una curva.

Aunque este método de la impregnación parece ser simple en el uso, hay problemas desde el punto de vista experimental. Uno de ellos es la fabricación de una hoja material fina de espesor constante y de la estructura homogénea. Un segundo, es el lacre de los bordes de la membrana, para asegurar la difusión solamente con el área de la membrana. Un tercero es la medida errónea del caudal del difundido, que resulta de la formación de las capas estancadas. Este problema no se puede solucionar adecuadamente y se hace frente revolviendo parcialmente. Otros problemas bajo condiciones experimentales, se presenta como la hinchazón del material el mantenimiento de la membrana a las fuentes constantes de la concentración de difusión, así como del uso de los datos de equilibrio necesario para evaluar las concentraciones superficiales de la hoja (Westrin, 1991; Zozgas *et. al.*, 1994). El uso de los métodos de esta impregnación a los materiales que pueden hincharse o contraerse, por ejemplo comestibles, es difícil (Motarjemi, 1988).

C. MÉTODO DE LA CINÉTICA DE ABSORCIÓN.

Las cantidades de absorción o desorción son medidas con un balance de absorción en donde la muestra se encuentra en un medio controlado.

El método esta basado en una cantidad absorbida por la muestra en una solución de concentración constante. Esta solución puede ser situada en una solución buffer (o una fuente de gas de presión constante) de la difusión a temperatura constante. Los pesos de las muestras son anotados en cada intervalo de tiempo hasta lograr el equilibrio. Para una geometría de placa de espesor L y difusividad constante (Crank, 1975), está probado que:

$$\frac{W_t}{W_\infty} = 1 - \frac{8}{f^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} \exp\left[-(2n-1)^2 \frac{f^2}{L^2} D_t\right] \quad (07)$$

Donde:

W_t es la cantidad (Kg.) en un tiempo t (s), W_∞ es la cantidad absorbida en un tiempo infinito, luego que alcanzó el estado de equilibrio.

Esta ecuación asume que la placa, inicialmente esta libre de difusión, cuando la muestra lleva a una concentración constante en la superficie es decir logra un estado de equilibrio durante el proceso. En el proceso de desorción el volumen W_t/W_∞ puede ser calculado de la siguiente manera:

$$\frac{W_t}{W_\infty} = \frac{C - C_0}{C_t - C_0} \quad (08)$$

Crank, (1975), a demostrado que la difusividad en una placa puede ser fácilmente evaluada por la siguiente relación con una estimación de error menor a 0.001%.

$$D = \frac{0.049}{\left(\frac{t}{R^2}\right)^{1/2}} \quad (09)$$

Donde: El término $(t/R^2)^{1/2}$ es usado como el valor (t/R^2) para el cual $W_t/W_\infty=1/2$. Este valor puede ser determinado por los datos de absorción por una interpolación numérica o gráfica de las relaciones de la curva (W_t/W_∞) versus el tiempo.

C.1. SEGUNDA ECUACIÓN DE FICK.

Gravier, N; *et al.* (2003). Menciona que la Ecuación 1, es resuelta de forma analítica por (Crank, 1975) como sigue:

○ PARA EL CASO DE UNA GEOMETRÍA PLANA:

Considerando que la distribución inicial de concentración es uniforme ($C=C_o$ en $t=0$) y que la superficie está en equilibrio con el medio, ($C=C_e$ en $x=\pm L/2$). La ecuación 10 se integra:

$$\frac{C - C_e}{C_o - C_e} = \frac{8}{f^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{2n+1} \exp\left[-(2n+1)^2 \frac{f^2 D_e t}{L^2}\right] \quad (10)$$

Una simplificación usual es utilizar una solución asintótica de la ecuación (10), que consiste en reducir la serie infinita al primer término, debido a que los términos superiores se hacen muy pequeños para tiempos largos (Dandamrongrak *et. al.*, 2002) citado por Mesa, K., (2007) a la siguiente expresión:

$$\frac{C - C_e}{C_o - C_e} = \frac{8}{f^2} \exp\left(-\frac{f^2 D_e t}{L^2}\right) \quad (11)$$

Donde:

C : Contenido de soluto (Kg. de soluto/Kg. de sólido seco, base seca)

C_e : Contenido de concentración de equilibrio (Kg. de soluto/Kg. de sólido seco, base seca)

C_o : Contenido de concentración inicial (Kg. de soluto/Kg. de sólido seco, base seca)

D_e : Difusividad efectiva ($m^2 s^{-1}$)

L : Longitud de la placa (m)

t : Tiempo (s)

A partir de la forma lineal de la ecuación 11, se obtiene:

$$\ln\left[\frac{C - C_e}{C_o - C_e}\right] = \ln\left(\frac{8}{f^2}\right) - \left(\frac{f^2 D_e t}{L^2}\right) \quad (12)$$

Siendo:
$$K' = \frac{C - C_e}{C_i - C_e} \quad (13)$$

A = Coeficiente angular =
$$\frac{f^2 D_e}{L^2} \quad (14)$$

B = Coeficiente Lineal =
$$\ln\left(\frac{8}{f^2}\right) \quad (15)$$

C.2. OTROS ANÁLISIS REALIZADOS.

La variación de masa total que experimenta cada una de las muestras en las etapas consideradas en el proceso de osmodeshidratación, es la combinación de pérdida de agua, debida a la deshidratación y sólidos solubles asociados al gradiente de concentración con el medio (Saltos, A. 1993).

Ecuaciones utilizadas en la determinación de pérdida de peso, pérdida de agua y ganancia de sólidos en el proceso de osmodeshidratación:

- PÉRDIDA DE PESO

$$M_t = \left[\frac{P_o - P_t}{P_o} \right] \times 100 \quad (16)$$

- PÉRDIDA DE AGUA

$$M_{wt} = \left[\frac{P_o \times H_o - P_t \times H_t}{P_o} \right] \times 100 \quad (17)$$

- GANANCIA DE SÓLIDOS TOTALES

$$M_{st} = \left[\frac{P_t(1 - H_t) - P_o(1 - H_o)}{P_o} \right] \times 100 \quad (18)$$

Donde:

M_t : Porcentaje de pérdida de peso en un tiempo t.

P_o : Peso en gramos de la muestra en tiempo 0.

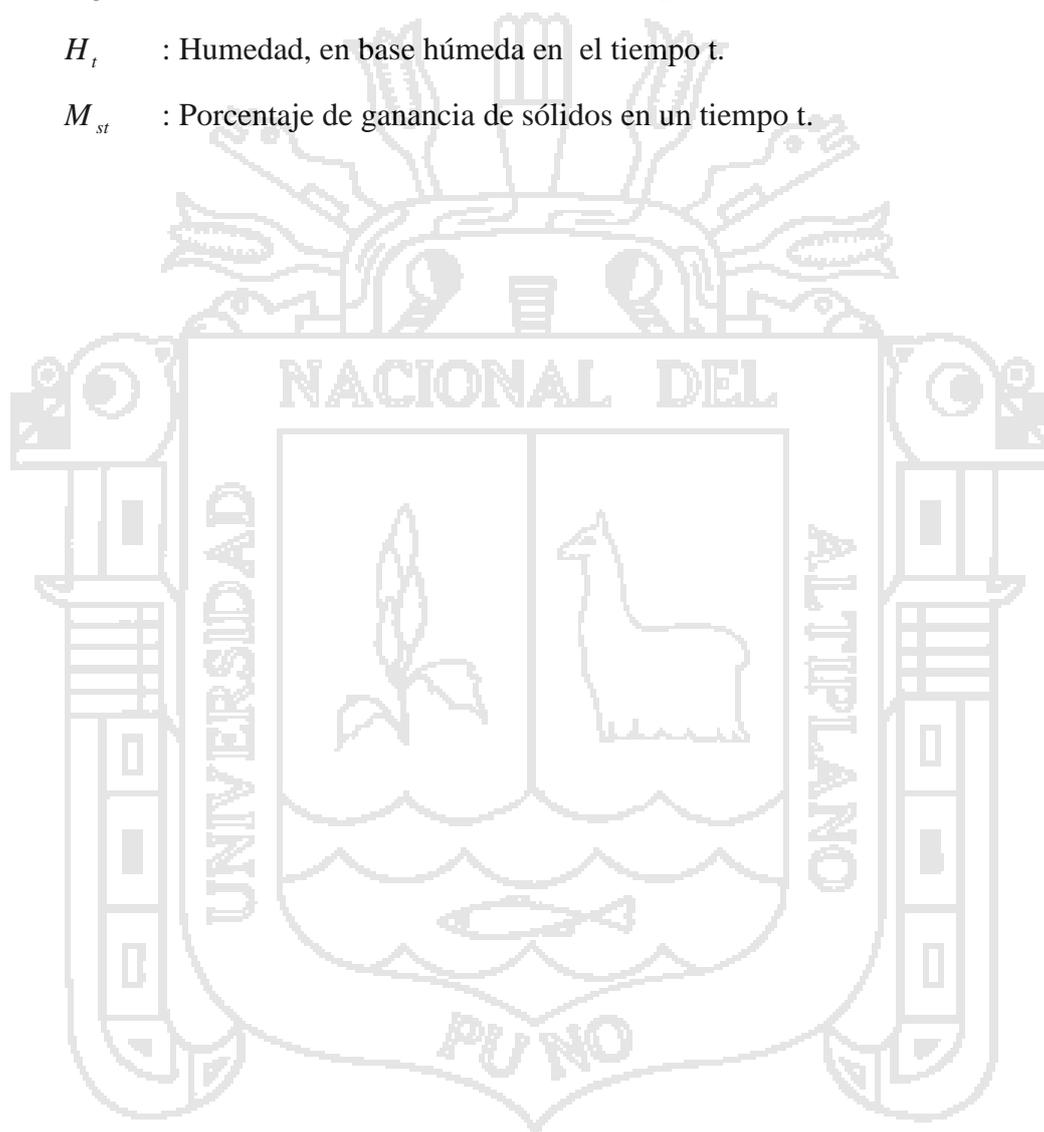
P_t : Peso en gramos de la muestra en tiempo t.

M_{wt} : Porcentaje de la pérdida de agua en el tiempo t.

H_0 : Humedad, en base húmeda en el tiempo 0.

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

M_{st} : Porcentaje de ganancia de sólidos en un tiempo t.



CAPITULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 ÁMBITO DE ESTUDIO.

El trabajo de investigación se ejecutó en el Departamento de Puno, Provincia Puno, Distrito Puno, a una altitud de 3825m.s.n.m.

La parte experimental del proyecto de investigación se realizó en la Universidad Nacional del Altiplano – Puno, Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, del laboratorio de Post cosecha, durante los meses mayo-diciembre del 2009.

2.2 MATERIALES.

2.2.1 MATERIAL EXPERIMENTAL.

Papaya: Se empleó frutos de papaya (*Carica papaya L.*), en dos estados de madurez (verde y pintón), con peso aproximado de 1.5kg, adquiridas en el mercado de abasto de la ciudad de Puno, de procedencia de la ciudad de Quillabamba. Se consideró papaya en estado verde a frutos cuyo índice de madurez (sólidos solubles/acidez titulable) oscilaba entre los 41.26 a 46.3, y en estado pintón entre los 61.85 a 65.48.

Sacarosa (azúcar): Se empleó azúcar blanca comercial, adquirida en el mercado central de la ciudad de Puno.

2.2.2 EQUIPOS PARA EL ACONDICIONAMIENTO DEL MÓDULO.

- Un computador, marca Intel(R) Pentium IV.
- Cuba de baño termostatzado de acero inoxidable de 1mm de espesor.
- Sensor de temperatura tipo K.
- Tarjeta de adquisición de datos NI-USB6008.
- Software LabVIEW.

2.2.3 MATERIALES Y EQUIPOS DE LABORATORIO.

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

A. MATERIALES:

- 02 cuchillos.
- Pipeta Pasteur de 5ml.
- Vasos precipitado 250 y 500ml.
- 12 lunas de reloj 9cm.
- 01 Pinza.
- Matraz erlenmeyer 250ml.
- Tabla de picar.
- Cestas de plástico.
- Cilindros de PVC de dimensiones: 1.7cm de diámetro y 4 cm. de altura.
- Papel toalla.
- Escobilla.

B. EQUIPOS:

- 01 Balanza analítica digital METTLER Modelo JB 3002-G. 200g de capacidad.
- 01 Refractómetro Abbe de mesa (RL1N° 5120).
- Estufa Precisión Thelco Modelo17.
- Extractor Oster de 1litro de capacidad.

2.3 METODOLOGÍA.

2.3.1 METODOLOGÍA PARA EL ACONDICIONAMIENTO DEL MÓDULO.

Para realizar pruebas experimentales de osmodeshidratación en un producto, se requiere de una serie de mediciones en forma metódica de las variables que afectan al proceso de osmodeshidratación. En este caso, las variables a monitorear dentro del osmodeshidratador (cuba de baño termostatzado), son la temperatura y agitación. La

temperatura estimula el movimiento molecular y aumenta la permeabilidad celular, de manera que se produce un aumento de velocidad de transferencia de masa (Barrera, 2001). La agitación en el sistema produce un importante aumento en la velocidad de deshidratación (Camacho, 2003). Para realizar estos controles se instaló un sistema de adquisición de datos. El cual de manera automática, es capaz de realizar los controles de dichas variables dentro del osmodeshidratador en forma periódica o continua. En la Figura 02, se muestra el esquema del módulo implementado para la osmodeshidratación de la papaya (*Carica papaya L.*).

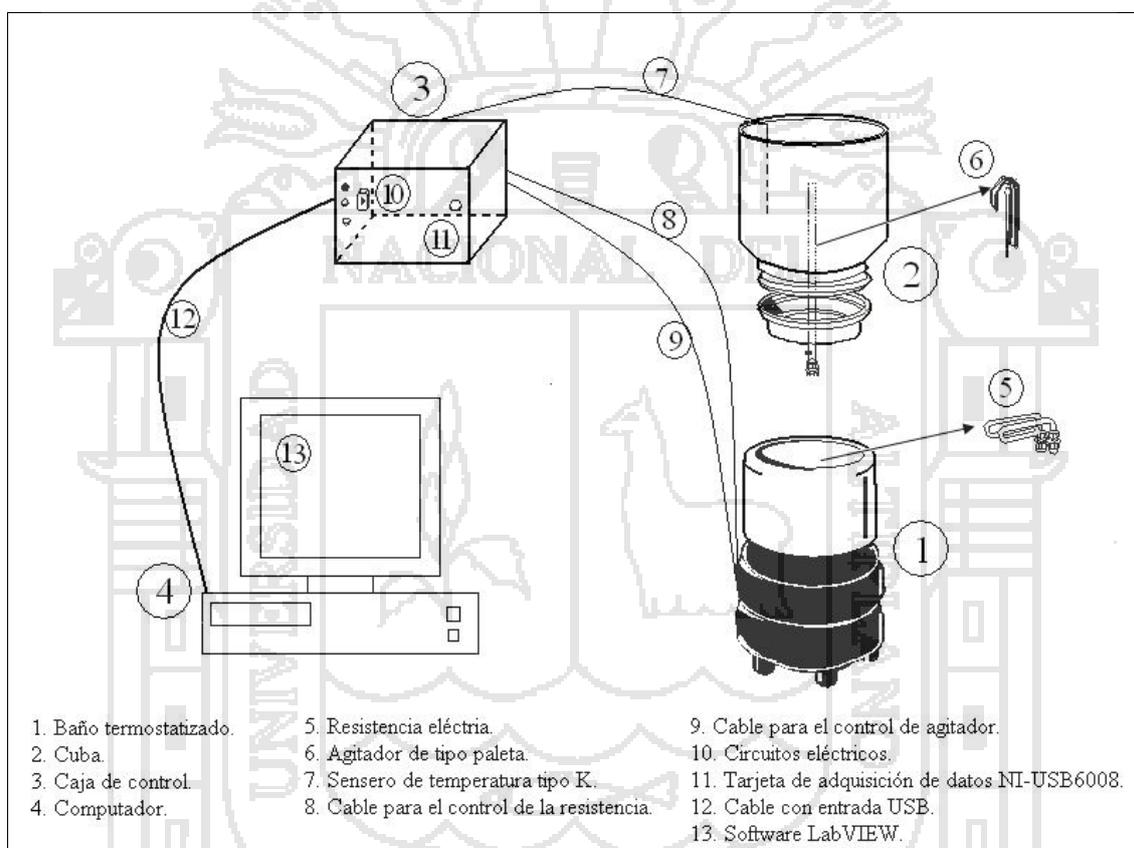


Figura 02. Esquema del módulo implementado en la osmodeshidratación de la papaya (*Carica papaya L.*).

A. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO CUBA DE BAÑO TERMOSTATIZADO.

Equipo donde se realizó las pruebas experimentales de osmodeshidratación de papaya para determinar la difusividad efectiva de sacarosa (azúcar), el cual consta de dos partes, una olla de acero inoxidable y un baño termostatzado.



Figura 03. Equipo cuba de baño termostatzado

CUBA: De material acero inoxidable de 1mm de espesor, de tipo cilíndrico, de diámetro superior de 24.8cm, diámetro inferior 19.4cm, altura 26.5cm con una capacidad de 10 litros de líquido.



Figura 04. Olla de acero inoxidable.

BAÑO TERMOSTATIZADO: dentro de ella se encuentra la resistencia, motor y sistema de agitación.



Figura 05. Baño termostático.

La resistencia eléctrica, se caracteriza por generar una gran cantidad de potencia calorífica, por tener un voltaje de operación de 220V, esto permitirá el calentamiento de la solución hipertónica contenida en la cuba, hasta llegar a la temperatura de estudio.

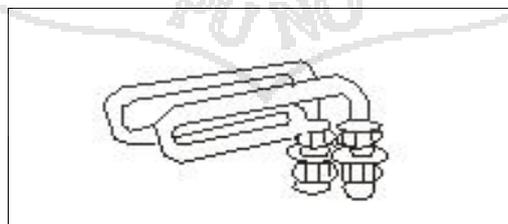


Figura 06. Resistencia eléctrica.

Sistema de agitación, el agitador es de tipo paleta, material caucho, este mismo se encuadra unido a un motor que proporciona una agitación de 40 rpm.

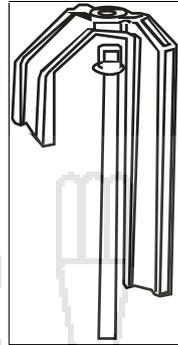
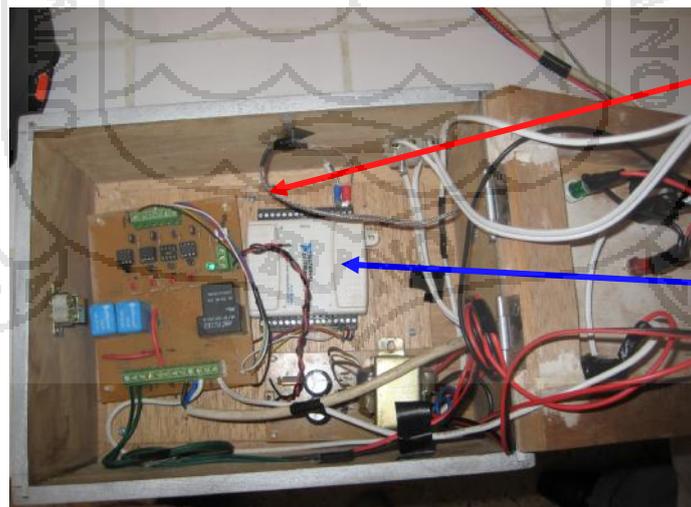


Figura 07. Agitador tipo paleta.

B. CAJA DE CONTROL.

Se utilizó circuitos electrónicos para el control de la resistencia, agitación y el control del sensor de temperatura, los cuales están conectados en la tarjeta de adquisición de datos NI-USB6008., que facilita el manejo de la información generada por el sensor, el control del sistema de agitación y resistencia.



SENSOR DE
TEMPERATURA
TIPO K

TARJETA DE
ADQUISICIÓN
DE DATOS

Figura 08. Caja de control

C. COMPUTADOR.

Para el funcionamiento del módulo se hizo uso de un computador de marca Intel(R) Pentium IV, Microprocesador 2.80 GHz, Tipo Windows XP y Memoria 80G., como se muestra en la figura.



Figura 09. Computador.

D. SOFTWARE LabVIEW.

Es un sistema de programación gráfico diseñado para el desarrollo de distintas aplicaciones como el análisis de datos, adquisición de datos y control de instrumentos.

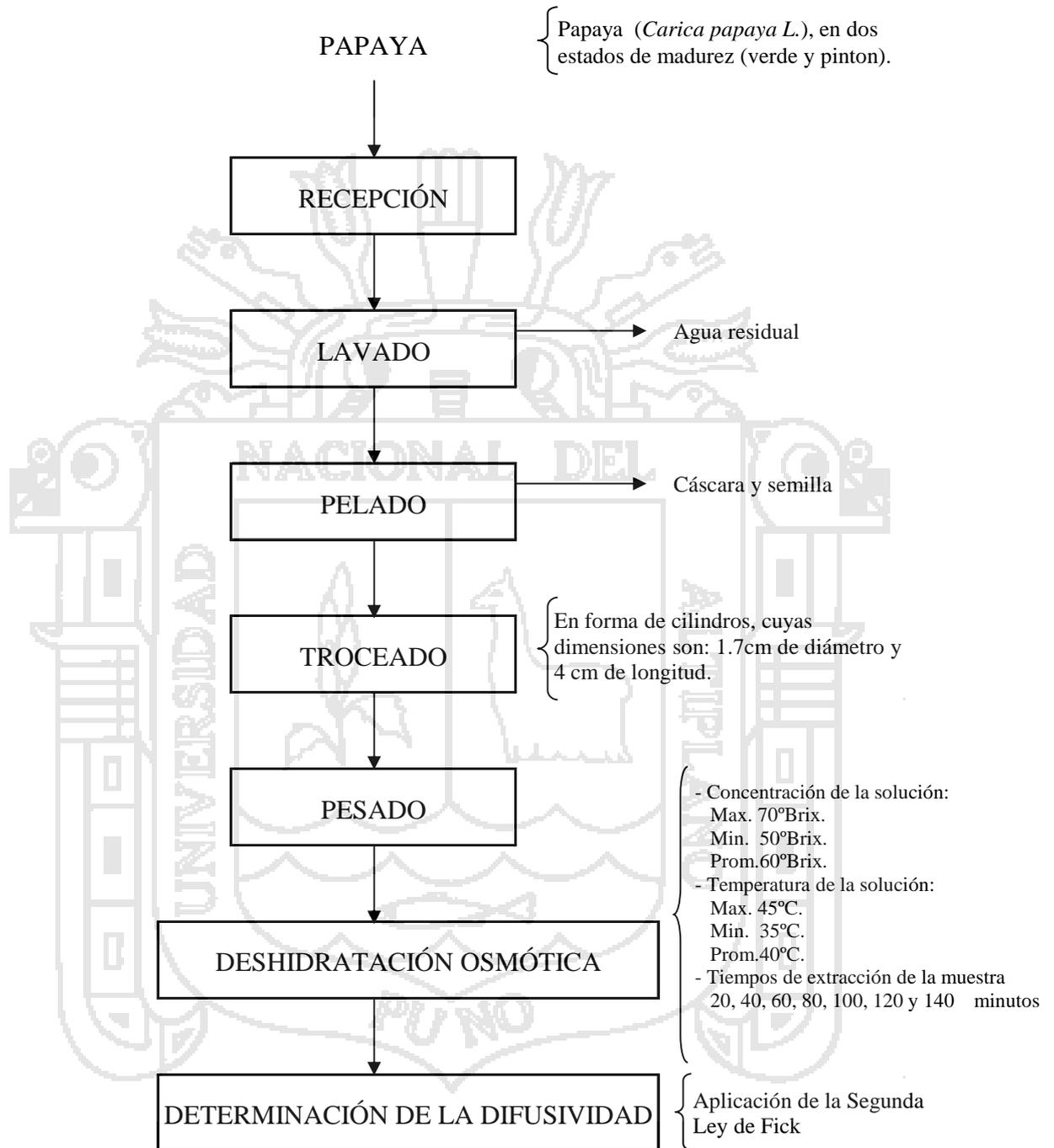
2.3.1.1 FUNCIONAMIENTO DEL MÓDULO DE OSMODESHIDRATACIÓN.

El funcionamiento del módulo de osmodeshidratación se detalla en el Anexo 09, donde se indica los pasos a seguir del software LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench), es un sistema de programación gráfico diseñado para el desarrollo de distintas aplicaciones como el análisis de datos, adquisición de datos y control de instrumentos.

2.3.2 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.

El trabajo de investigación se desarrolló de acuerdo a la metodología que se presenta en la Figura 10.

Figura 10. Diagrama de flujo de la metodología.



En la Figura 10, se observa las operaciones en las que se ha incurrido para el desarrollo del trabajo de investigación, cuya descripción es la siguiente:

RECEPCIÓN: Las papayas empleadas en el trabajo de investigación fueron previamente seleccionadas según el tamaño y estado de madurez (verde y pintón), para este último se determinó de la acidez titulable y el contenido de sólidos solubles.

LAVADO: Para el lavado se preparó una solución de hipoclorito de sodio a una concentración de 150ppm, seguidamente las papayas fueron sumergidas en dicha solución, por el lapso de 30 segundos eliminando las impurezas de la superficie de la papaya haciendo uso de una escobilla e inmediatamente fueron enjuagados con una solución de hipoclorito de sodio previamente preparada a una concentración de 50 ppm expresado como cloro libre.

PELADO: Previamente secada las papayas, se procedió a eliminar la cáscara y semillas en forma manual haciendo uso de cuchillos.

TROCEADO: Una vez pelada y sin semillas las papayas fueron cortadas a la mitad con la cual se facilitó la extracción de las muestras en forma de cilindros, acondicionando para el caso un tubo PVC de 1.7cm de diámetro y 4 cm de longitud, como se observa en la siguiente Figura 11.

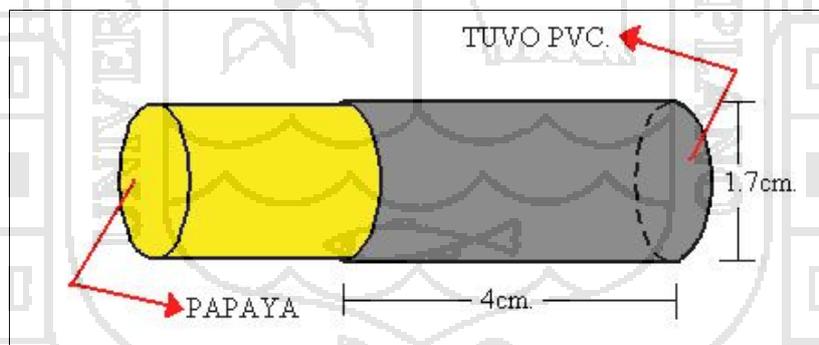


Figura 11. Acondicionamiento del fruto de papaya en el tubo PVC.

PESADO: Inmediatamente obtenidas las muestras, se pesaron, obteniendo pesos que oscilaron de 8.052 a 10.206g. en las muestras representativas y a la vez se pesó conjuntamente 25 cilindros para cada tratamiento con lo cual se determinó la cantidad de jarabe a utilizar.

PROCESO DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA: Se sumergieron las muestras en una solución hipertónica (azúcar y agua), a distintas concentraciones de 50, 60 y 70 °Brix, a temperaturas de 35 y 45°C, relación fruta/jarabe 1:4, manteniendo una agitación constante de 40rpm. Se extrajeron las muestras representativas cada 20 minutos, para la determinación de la pérdida de peso, pérdida de agua y ganancia de sólidos durante un tiempo de 140 minutos.

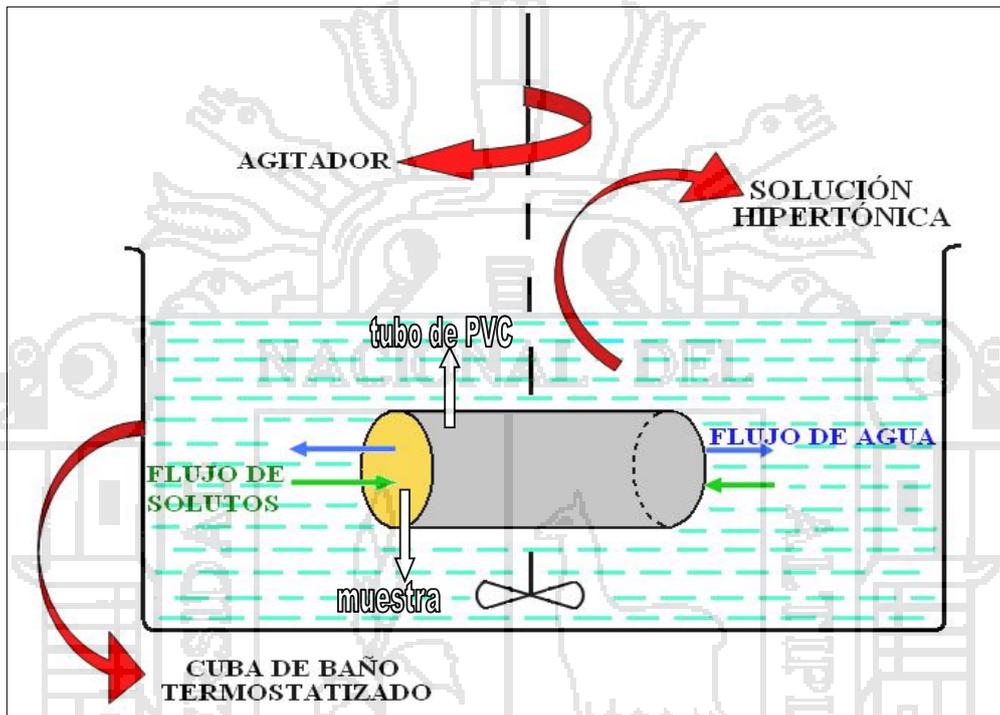


Figura 12. Proceso de deshidratación osmótica.

DETERMINACIÓN DE LA DIFUSIVIDAD EFECTIVA DE LA SACAROSA (Azúcar): Para la determinación de la difusividad efectiva de sacarosa en los diferentes tratamientos en papaya (*Carica papaya L.*). Para la investigación se aisló la zona radial propiciando el flujo de la sacarosa a través de los extremos abiertos del tubo PVC simulando una placa, así mismo los tiempos evaluados fueron de 20, 40, 60, 80, 100, 120 y 140 minutos, una vez extraída la muestra se procedió a eliminar la humedad superficial con papel absorbente. Seguidamente se evaluaron los grados Brix de la muestra en estudio (papaya) y la solución hipertónica (azúcar + agua) haciendo uso de un refractómetro Abbe de mesa, para posteriormente mediante la ecuación linealizada de la segunda Ley de Fick, para geometría de placa (ecuación 12), se determinó la Difusividad Efectiva.

$$\ln \left[\frac{C - C_e}{C_o - C_e} \right] = \ln \left(\frac{8}{f^2} \right) - \left(\frac{f^2 D_e t}{L^2} \right)$$

2.3.2.1 OTROS ANÁLISIS REALIZADOS.

A. DETERMINACIÓN DE PÉRDIDA DE PESO.

Se determinó el peso de cada muestra antes y después de su correspondiente tratamiento con la solución hipertónica empleando para ello una balanza digital de 0.0001 de precisión. Para los cálculos se aplicó la siguiente ecuación.

$$M_t = \left[\frac{P_o - P_t}{P_o} \right] \times 100$$

Donde:

M_t : Porcentaje de pérdida de peso en un tiempo t.

P_o : Peso en gramos de la muestra en tiempo 0.

P_t : Peso en gramos de la muestra en tiempo t.

B. DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE AGUA.

La determinación de la pérdida de agua durante la deshidratación osmótica es calculada por la diferencia de la pérdida de peso y la ganancia de sólidos durante el tratamiento. Para los cálculos se aplicó la siguiente ecuación.

$$M_{wt} = \left[\frac{P_o \times H_o - P_t \times H_t}{P_o} \right] \times 100$$

Donde:

P_o : Peso en gramos de la muestra en tiempo 0.

P_t : Peso en gramos de la muestra en tiempo t.

M_{wt} : Porcentaje de la pérdida de agua en el tiempo t.

H_o : Humedad, en base húmeda en el tiempo 0.

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

C. DETERMINACIÓN DE GANANCIA DE SÓLIDOS.

La determinación de sólidos solubles se realizó por refractometría (°Brix). Se empleó para ello un refractómetro Abbe de mesa, tras la extracción de las muestras representativas, previamente enjuagadas con agua destilada con el fin de eliminar la solución hipertónica presente de la superficie de la muestra, se procedió a la extracción de zumo con ayuda de un mortero para ser depositada en el refractómetro y realizar la respectiva lectura. Los cálculos se realizaron aplicando la siguiente ecuación.

$$M_{st} = \left[\frac{P_t(1-H_t) - P_o(1-H_o)}{P_o} \right] \times 100$$

Donde:

P_o : Peso en gramos de la muestra en tiempo 0.

P_t : Peso en gramos de la muestra en tiempo t.

H_o : Humedad, en base húmeda en el tiempo 0.

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

M_{st} : Porcentaje de ganancia de sólidos en un tiempo t.

2.4 DISEÑO EXPERIMENTAL.

En el trabajo de investigación, para estudiar las variables de concentración y temperatura, se eligió el Diseño Central Compuesto (DCC), ya que permite evaluar directamente la curvatura de un modelo (Ibáñez, 2005).

El Diseño Central Compuesto, permite evaluar a la vez cinco niveles de cada factor tal como muestra en el Cuadro 01.

Cuadro 01. Cinco Niveles de Diseño Central Compuesto (DCC).

NIVEL CODIFICADO (Xi)	DENOMINACIÓN
-K	Nivel Mínimo
-1	Nivel Bajo
0	Nivel Medio
1	Nivel Alto
+K	Nivel Máximo

Fuente: Ibáñez, (2005).

El número de tratamientos es igual a:

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

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

Donde:

N : Es el número total de tratamientos u observaciones.

 2^P : Es el número de tratamientos básicos de la parte factorial 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 : Constituye 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 en estudio o variables.

2.4.1 FACTORES EN ESTUDIO.

FACTORES

- Concentración .
- Temperatura.
- Estado de madurez.

NIVELES (Mínimo y Máximo)

50 y 70°Brix.

34 y 45°C.

2.4.2 VARIABLES DE RESPUESTA.

- % de pérdida de peso de la muestra.
- % de pérdida de agua de la muestra.

- % de sólidos solubles ganados en la fruta.
- Difusividad efectiva (m^2/s).

2.4.3 MATRIZ DE DISEÑO.

En el Cuadro 02, se muestra el número de tratamientos evaluados para determinar la Difusividad efectiva, pérdida de peso, pérdida de agua y ganancia de sólidos para la obtención de frutas mínimamente procesadas, donde los resultados de los ensayos experimentales se muestran en el Anexo 01.

Cuadro 02. Número de tratamientos para dos factores en un DCC.

TRATAMIENTOS	FACTORES NATURALES		FACTORES CODIFICABLES	
	X ₁	X ₂	Concentración	Temperatura
1	-1	-1	50	35
2	+1	-1	70	35
3	-1	+1	50	45
4	+1	+1	70	45
5	0	0	60	40
6	0	0	60	40
7	0	0	60	40
8	0	0	60	40
9	0	0	60	40
10	-1.414	0	45.9	40
11	+1.414	0	74.0	40
12	0	-1.414	60	32.93

2.4.4 MODELO MATEMÁTICO.

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 + b_{12}X_1X_2$$

Donde:

Y : Variable de respuesta (Difusividad efectiva) (m^2/s).

b : Coeficiente de regresión lineal.

X₁ : Variable de estudio (Concentración).

X₂ : Variable de estudio (Temperatura).

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 DETERMINACIÓN DE PÉRDIDA DE PESO.

Los resultados obtenidos a partir de la Ecuación 16, para el análisis de pérdida de peso se muestran en el Anexo 03, Cuadro 13 y 14, y cuyo comportamiento se presentan en los Gráficos 01 al 04.

Gráfico 01. Porcentaje de pérdida de peso a 35°C a diferentes concentraciones en estado verde de papaya osmóticamente deshidratada.

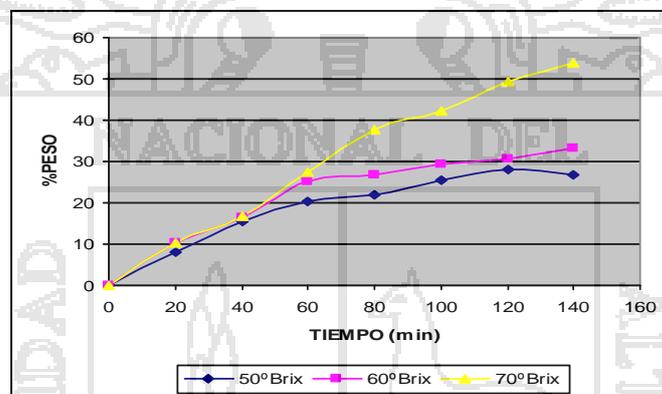
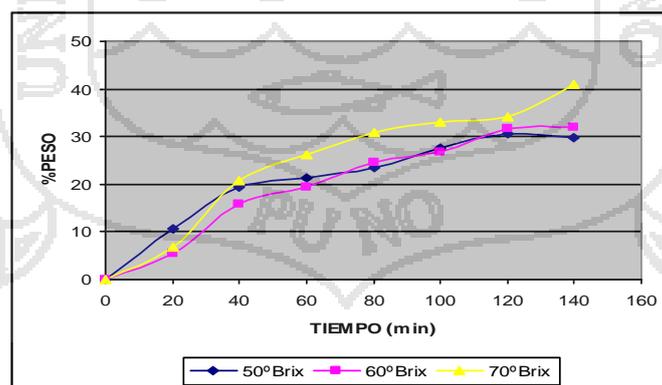


Gráfico 02. Porcentaje de pérdida de peso a 35°C a diferentes concentraciones en estado pintón de papaya osmóticamente deshidratada.



De los Gráficos 01 y 02, se observa que a una temperatura de 35°C, a medida que aumenta la concentración de sacarosa (azúcar) en ambos estados (verde y pintón) existe mayor pérdida de peso, y está en función directa y proporcional al tiempo de exposición.

Por otro lado, se analizó la pérdida de peso a 45°C, como se muestra en los Gráficos 03 y 04.

Gráfico 03. Porcentaje de pérdida de peso a 45°C a diferentes concentraciones en estado verde de papaya osmóticamente deshidratada.

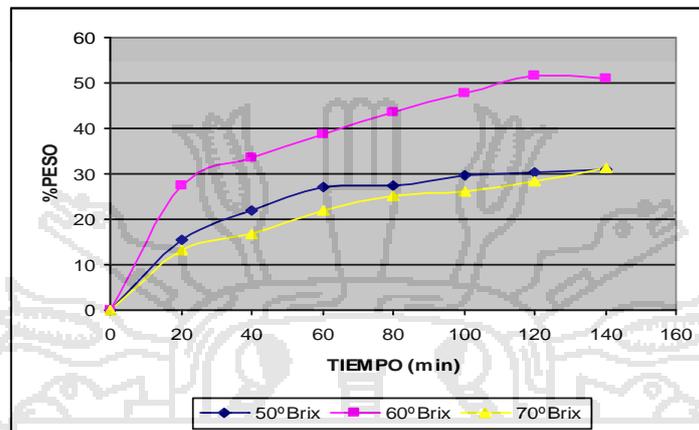
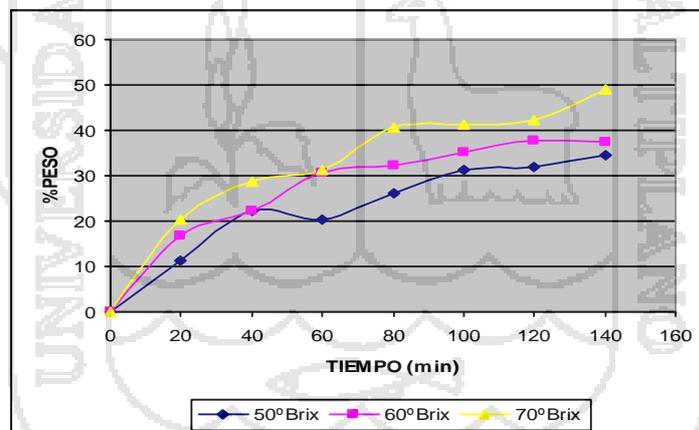


Gráfico 04. Porcentaje de pérdida de peso a 45°C a diferentes concentraciones en estado pintón de papaya osmóticamente deshidratada.



De los Gráficos 03 y 04, se observa que a una concentración de 60°Brix en el estado verde alcanza la mayor pérdida de peso seguida de 70°Brix en el estado pintón.

De los gráficos mostrados, siendo la pérdida de peso una relación directa de la pérdida de humedad, debido a que el peso que pierde el producto es agua (Chafer, 2001). La deshidratación osmótica es una técnica de concentración de sólidos (o remoción de agua) que consiste en sumergir frutas o verduras, trozadas o enteras, en una solución hipertónica compuesta por azúcares (sacarosa), la cual es capaz de generar una presión osmótica alta. A diferencia de otras técnicas como el curado de la carne y la

salazón de queso, la deshidratación osmótica se basa en una remoción significativa de agua frente a una menor entrada de solutos al alimento. Lo que explica los resultados obtenidos de los gráficos mostrados anteriormente.

Cabe destacar que el valor más alto de pérdida de peso fue de 53% que se registró en el tratamiento a concentración de 70°Brix, 35°C de temperatura en papaya de estado verde, lo cual puede ser debido al aumento de la fuerza impulsora del proceso, provocado por la gran diferencia de concentraciones entre la solución hipertónica y el interior de las muestras de papaya, ya que se crea una gran presión osmótica que acelera este proceso. Este resultado se aproxima al estudio realizado por López y Galeano (1998), quienes desarrollaron un estudio de la deshidratación osmótica de la fresa que permitió determinar el comportamiento de la transferencia de masa cuando trozos de fruta se sumergieron en una solución de sacarosa de 65 °Brix. Se notó que a las tres horas del proceso se alcanzó el equilibrio, tiempo en el cual la reducción de peso fue de 49,33%.

El análisis estadístico muestra la incidencia de la temperatura y concentración en la pérdida de peso a través del tiempo a un nivel de confianza del 95%, el análisis de varianza se realizó con dos variables codificables, los datos se encuentran representados en el Apéndice 01, Cuadro 01 de acuerdo al estado de madurez de la papaya. De acuerdo al ANOVA - Anexo04, Cuadros 19 y 20, se observa:

ESTADO VERDE.

El estado de madurez verde nos muestra que existe diferencias altamente significativas para la concentración, temperatura, efectos cuadráticos y la interacción AB en el proceso de variación de pérdida de peso, se puede observar que el R^2 explica el 97.8412 % del modelo, con lo que su confiabilidad es alta.

El modelo matemático ajustado es el siguiente:

$$PP = -15,9203 + 1,1284 * C - 0,04650 * T + 0,016213 * C^2 - 0,070026 * C * T + 0,050040 * T^2$$

Donde:

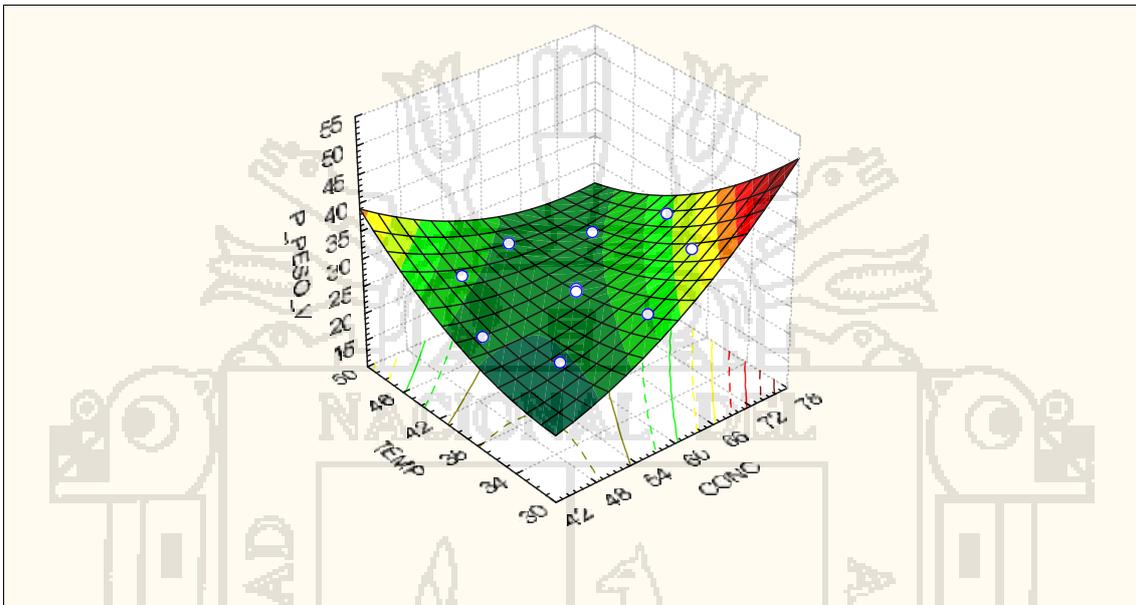
PP : Pérdida de peso.

C : Concentración

T : Temperatura

Del análisis de optimización se determinó una pérdida de peso máxima con un valor óptimo = 38.6352% a concentración de 74.1421°Brix y temperatura de 32.9289°C., como se observa en el Grafico 05.

Gráfico 05. Superficie de respuesta del efecto de la concentración y la temperatura sobre la pérdida de peso de la papaya en estado verde, a través del modelamiento cuadrático.



De la misma forma se aprecia estos resultados en la superficie de respuesta Gráfico 05, donde se observa que a mayor concentración y temperatura existe mayor pérdida de peso.

ESTADO PINTÓN.

El estado de madurez pintón de la papaya nos muestra que existe diferencias altamente significativas para la concentración, diferencia significativa para temperatura cuadrática, también encontramos diferencias no significativas para la temperatura, interacción AB y temperatura cuadrática, en el proceso de pérdida de agua, también se puede observar que el R^2 explica el 74.54 % del modelo, con lo que su confiabilidad es alta.

El modelo matemático ajustado es el siguiente:

$$PP = 169,072 - ,86733 * C - 3,74579 * T + 0,017009 * C^2 + 0,0283632 * C * T + 0,027589 * T^2$$

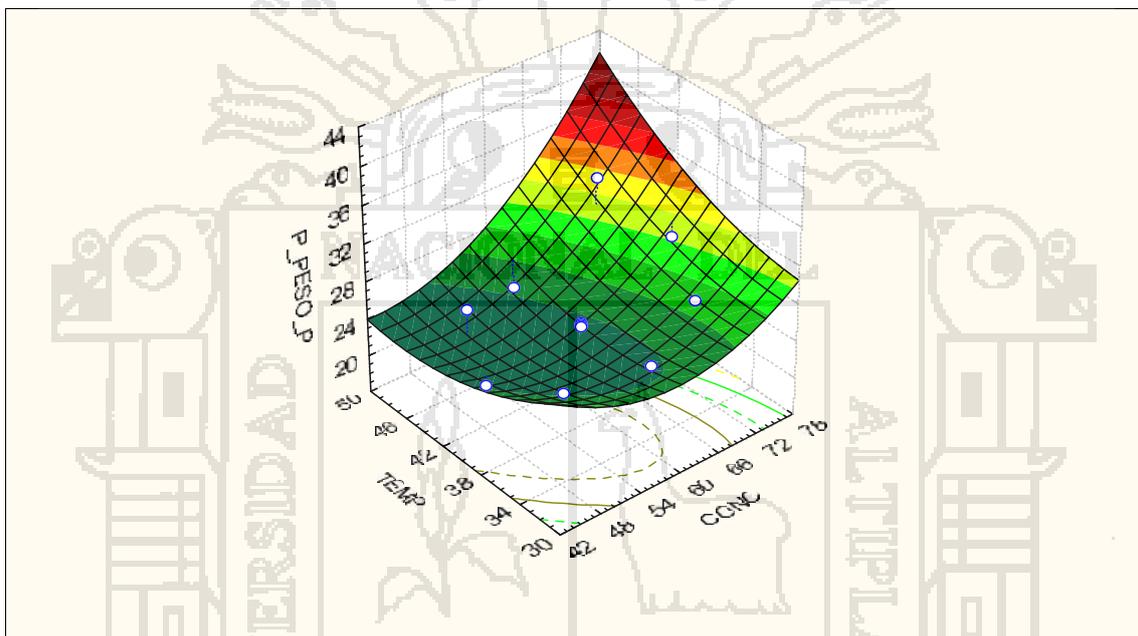
Donde:

PP : Pérdida de peso.

C : Concentración
T : Temperatura

De los análisis de optimización se determinó una pérdida de peso máxima con un valor óptimo = 33,7821% a una concentración de 74.1421°Brix y temperatura de 47,0711°C, como se puede observa en el Grafico 06.

Gráfico 06. Superficie de respuesta del efecto de la concentración y la temperatura sobre la pérdida de peso de la papaya en estado pintón, a través del modelamiento cuadrático.



En el Gráfico 06, se aprecia que tanto la temperatura como la concentración del agente osmótico poseen un efecto significativo en la pérdida de peso.

3.2 DETERMINACIÓN DE PÉRDIDA DE AGUA.

En forma similar al análisis anterior, los resultados obtenidos a partir de la ecuación 17, para el análisis de pérdida de agua se muestran en el Anexo 03, Cuadro 15 y 16, y cuyo comportamiento se presentan en los Gráficos 07 al 10.

Gráfico 07. Pérdida de agua a 35°C en estado verde a diferentes concentraciones en papaya osmóticamente deshidratada.

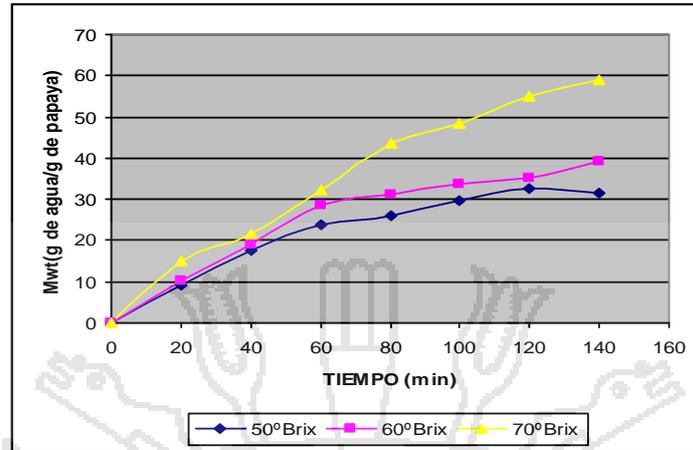
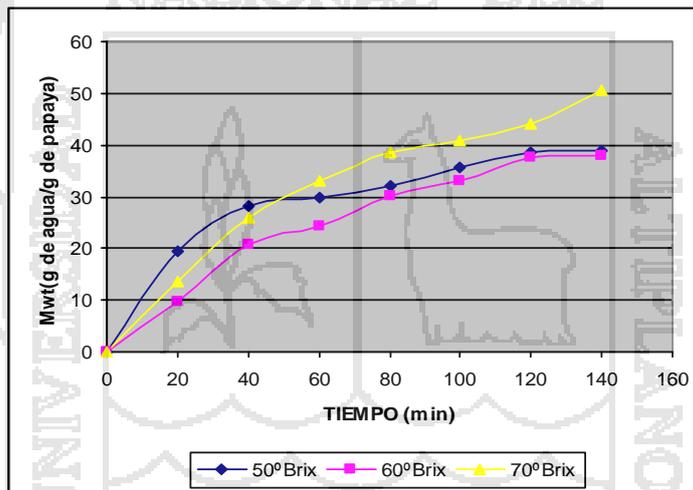


Gráfico 08. Pérdida de agua a 35°C en estado pintón a diferentes concentraciones en papaya osmóticamente deshidratada.



De los Gráficos 07 y 08, a medida que se incrementa la concentración se observa un incremento gradual de pérdida de agua a una temperatura de 35°C en muestras osmóticamente deshidratadas.

Por otro lado, se analizó la pérdida de agua a 45°C, como se muestra en los Gráficos 09 y 10.

Gráfico 09. Pérdida de agua a 45°C en estado verde a diferentes concentraciones en papaya osmóticamente deshidratada.

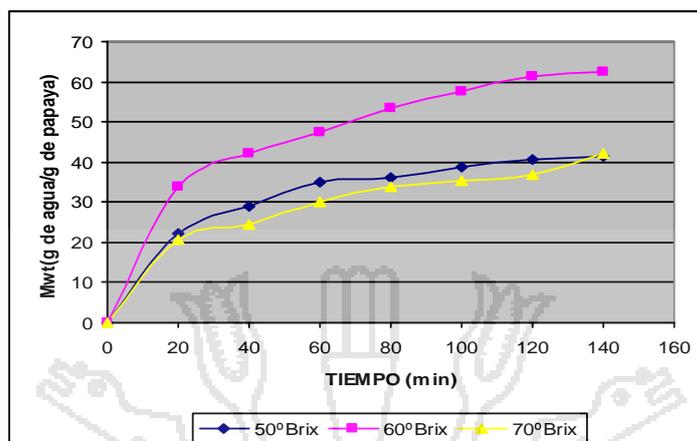
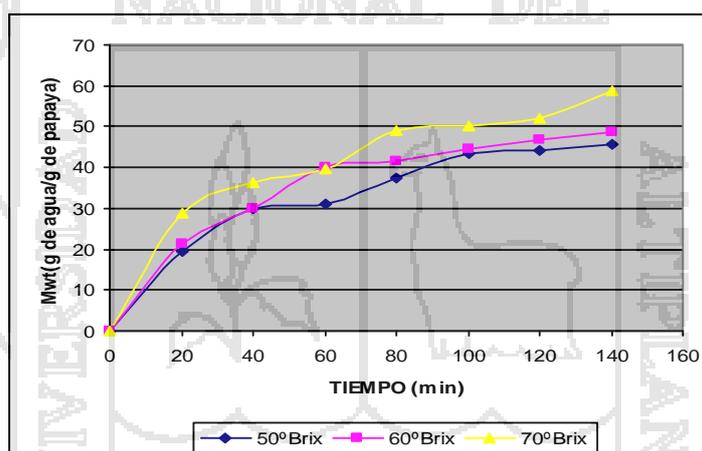


Gráfico 10. Pérdida de agua a 45°C en estado pintón a diferentes concentraciones en papaya osmóticamente deshidratada.



De los Gráficos 09 y 10, se observa que a una concentración de 60°Brix en el estado verde alcanza la mayor pérdida de agua seguida de 70°Brix en el estado pintón, estos resultados también se reflejan en la pérdida de agua.

En general de los Gráficos 07 al 10, del proceso de pérdida de agua en base a este análisis se considera mas idóneo trabajar con una temperatura de 45°C y estado verde porque produce una mayor velocidad de deshidratación, debido al incremento de movilidad de las moléculas de la membrana. Sin embargo dentro de los factores que afectan a la osmodeshidratación se encuentra la permeabilidad y características estructurales de las paredes o membranas celulares: los trozos de piña sumergidos en

jarabe pierden mayor cantidad de agua que las rodajas de banano en el mismo tiempo, debido a la estructura más "apretada" y la mayor cantidad de almidones que posee el banano. De manera análoga, perderán agua más rápido los trozos de piña en forma de cubos de dos centímetros, que las rodajas de 10cm de diámetro. Esto es debido a la mayor superficie específica expuesta al jarabe que tiene la forma de cubos. (Andreotti y Palmas, 1995). Las paredes celulares de la papaya en su mayoría son celulosa, hemicelulosa y fibra soluble, lo que permitiría una mayor respuesta en la pérdida de agua.

Pérez y Pimentel (2003); Rastogi y Raghavarao (1996), afirma que a altas concentraciones de solución osmótica se produce una mayor pérdida de agua en el fruto. Estas altas concentraciones producen grandes fuerzas impulsoras, con ello los tiempos de proceso son más cortos y las células superficiales de la muestra quedan muy deshidratadas.

El análisis estadístico nos muestra la incidencia de la temperatura y concentración en la pérdida de agua a través del tiempo a un nivel de confianza del 95%, el análisis de varianza se realizó con dos variables codificables, los datos se encuentran representados en el Apéndice 01, Cuadro 02 de acuerdo al estado de madurez de la papaya. De acuerdo al ANOVA - Anexo04, Cuadros 21 y 22, se observa:

ESTADO VERDE.

Que existen diferencias altamente significativas para la concentración, temperatura, efectos cuadráticos y la interacción AB, en el proceso de pérdida de agua, también se puede observar que el R^2 explica el 99,10 % del modelo, con lo que su confiabilidad es alta.

El modelo matemático ajustado es el siguiente:

$$PA = 66,8302 - 2,3872 * C + 0,7115 * T + 0,04838 * C^2 - 0,0774405 * C * T + 0,051160 * T^2$$

Donde:

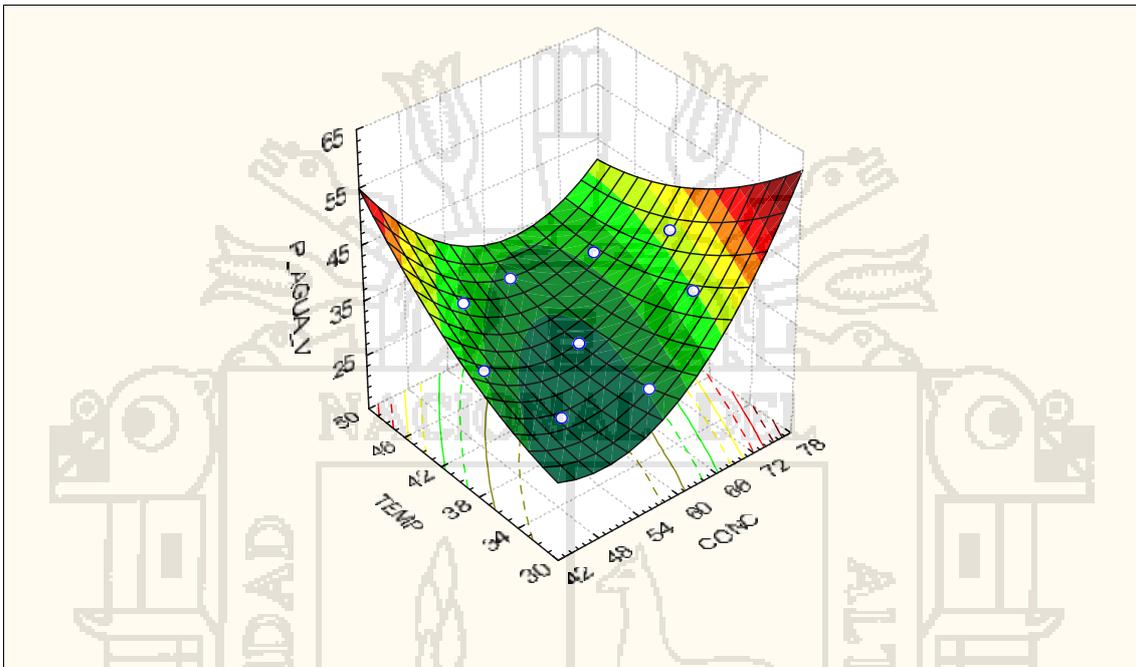
PA : Pérdida de agua.

C : Concentración

T : Temperatura

De los análisis de optimización se determinó que se puede obtener una pérdida de peso con un valor óptimo = 45,6719 % a concentración de 74.1421°Brix y temperatura de 32.9289°C, como se puede observa en el Grafico 11.

Gráfico 11. Superficie de respuesta del efecto de la concentración y la temperatura sobre la pérdida de agua de la papaya en estado verde, a través del modelamiento cuadrático.



En el Gráfico 11, de la superficie de respuesta se observa que a medida que se incrementa la concentración y se disminuye la temperatura la pérdida de agua es mayor, mientras que si se disminuye la concentración y se incrementa la temperatura el comportamiento de la pérdida de agua es similar.

ESTADO PINTON.

Que existen diferencias altamente significativas para la concentración y concentración cuadrática, mientras que para la temperatura y temperatura cuadrática resultaron con diferencia significativa, mientras que la interacción AB fue no significativo en el proceso de variación de pérdida de agua, adicionalmente se puede observar que el R^2 explica el 89,75 % del modelo, con lo que su confiabilidad es alta.

El modelo matemático ajustado es el siguiente:

$$PA = 387,271 - 6,34635 * C - 9,61098 * T + 0,0475793 * C^2 + 0,0251415 * C * T + 0,106048 * T^2$$

Donde:

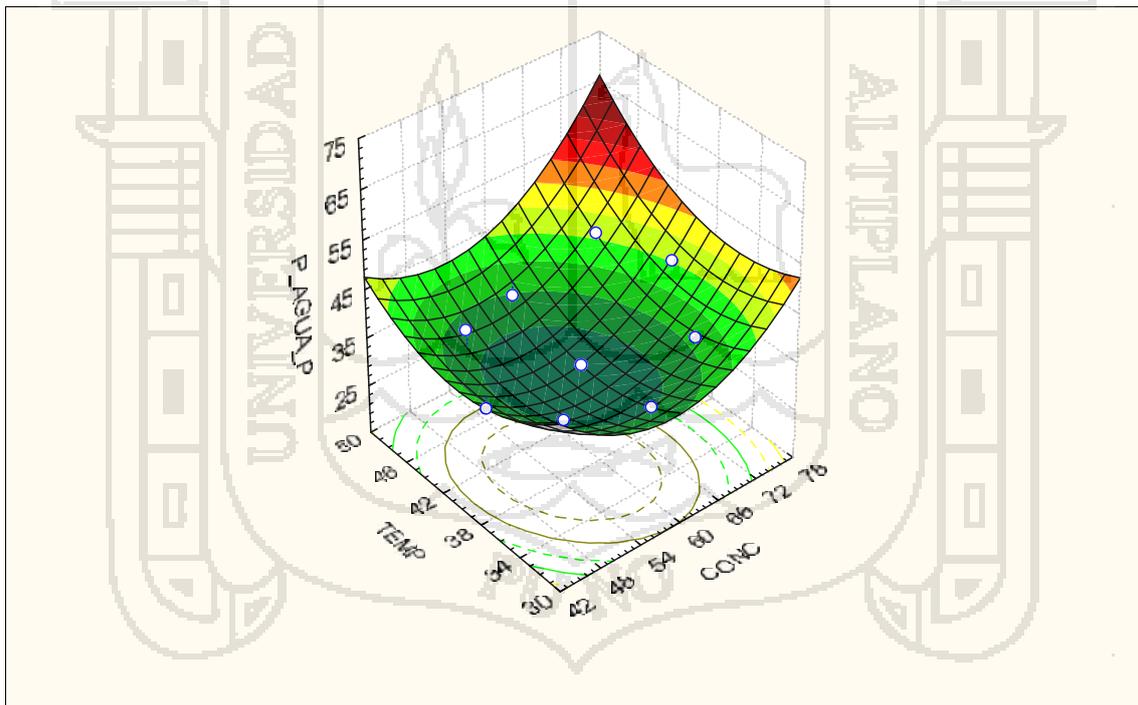
PA : Pérdida de agua.

C : Concentración

T : Temperatura

De los análisis de optimización se determinó que se puede obtener una pérdida de peso máxima con un valor óptimo = 48,5968 % a concentración de 74.1421°Brix y temperatura de 47.0711°C, como se puede observa en el Grafico 12.

Gráfico 12. Superficie de respuesta del efecto de la concentración y la temperatura sobre la pérdida de agua de la papaya en estado pintón, a través del modelamiento cuadrático.



En el Gráfico 12, se observa que a medida que se incrementa la temperatura y a mayor concentración de sacarosa se obtiene mayor pérdida de agua, esto indica que los dos factores influyen de manera significativa en la pérdida de agua en la papaya en estado pintón.

3.3 DETERMINACIÓN DE GANANCIA DE SÓLIDOS.

De los resultados obtenidos a partir de la ecuación 18, para el análisis de ganancia de sólidos, se muestran en el Anexo 03, Cuadro 17 y 18, y cuyo comportamiento se presentan en los Gráficos 13 al 16.

Gráfico 13. Ganancia de sólidos a 35°C en estado verde a diferentes concentraciones en papaya osmóticamente deshidratada.

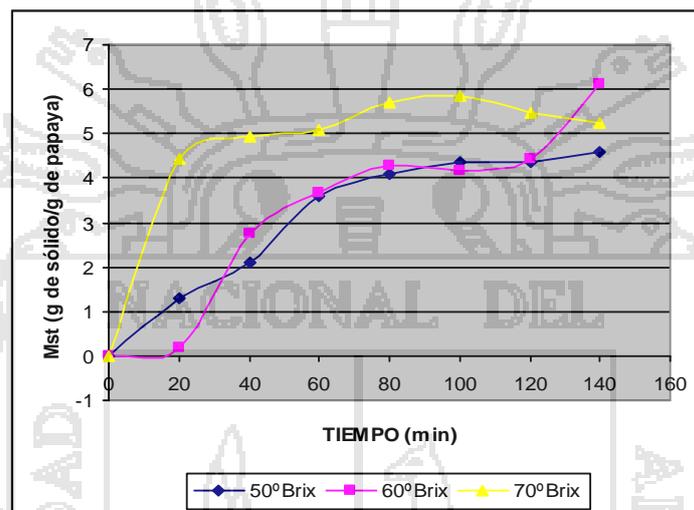
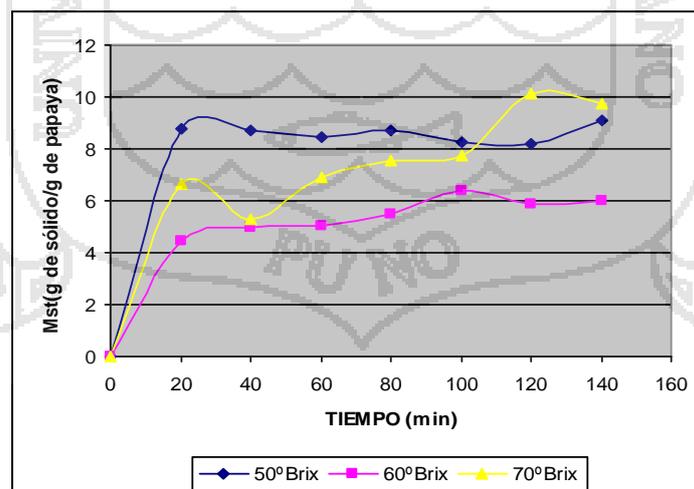


Gráfico 14. Ganancia de sólidos a 35°C en estado pintón a diferentes concentraciones en papaya osmóticamente deshidratada.



De los Gráficos 13 y 14, a una temperatura de 35°C se observa que en las dos primeras horas de proceso, en cualquiera de los estados estudiados a una concentración de 70°Brix comienza a disminuir el porcentaje de sólidos ingresando a la papaya.

Entre las concentraciones 50, 60 y 70°Brix se observa que el de 60°Brix en estado verde muestra la mayor ganancia de sólidos llegando a un 6%.

Gráfico 15. Ganancia de sólidos a 45°C en estado verde a diferentes concentraciones en papaya osmóticamente deshidratada.

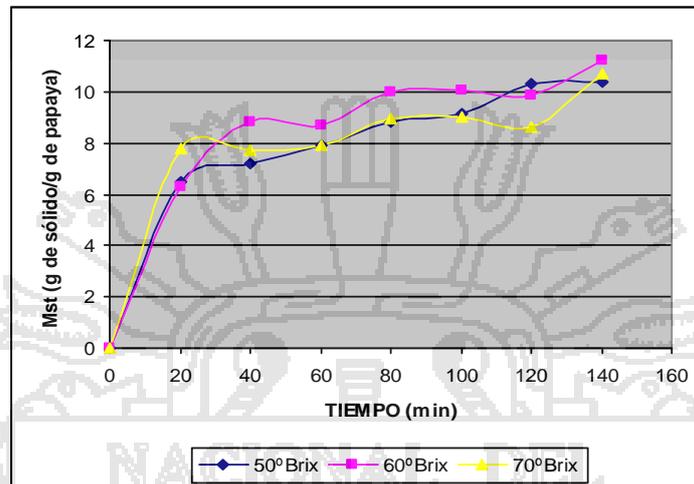
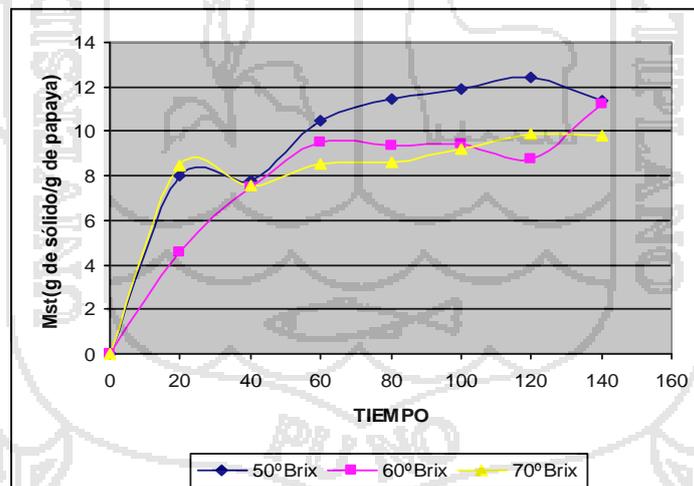


Gráfico 16. Ganancia de sólidos a 45°C en estado pintón a diferentes concentraciones en papaya osmóticamente deshidratada.



De los Gráficos 15 y 16, se observa que las curvas a 45°C en ambos estados, durante los primeros 20 minutos de proceso se observa la mayor ganancia de sólidos, pero a medida que transcurre el tiempo la ganancia de sólidos se mantiene constante con diferencias entre los porcentajes del 3%. Dixon y Jen (1997); Moreno *et. al.*, (2000), menciona que la mayor cantidad de sólidos ganados se da 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 nativas (azúcares, ácidos orgánicos, minerales etc.) que atraviesan la membrana, es muy pequeña, lo que hace que las pérdidas sean cuantitativamente despreciables.

Durante el proceso de deshidratación osmótica se observa como la fruta gana sólidos y pierde agua. Según los resultados, la pérdida de peso, es decir la salida de agua fue mayor que la ganancia de sólidos durante los primeros minutos del proceso, esto se debe al gradiente de concentraciones entre la fruta y la solución, por lo tanto la presión que ejercen los solutos de la solución es muy grande, lo que conduce a la salida del agua.

El aumento de la temperatura del sistema va a producir cambios en la permeabilidad de la pared celular y en la fluidez del jarabe. El aumento de la permeabilidad produce una mayor velocidad de deshidratación, debido a la mayor movilidad de las moléculas y a la pérdida de la selectividad de la membrana, la cual permite un mayor intercambio de agua que sale de la fruta, pero también un mayor ingreso de solutos o componentes del jarabe. 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, esta se va rodeando de su propia agua, la cual se va difundiendo lentamente por el jarabe concentrado (Lerici, 1997).

El análisis estadístico nos muestra la incidencia de la temperatura y concentración en la ganancia de sólidos a través del tiempo a un nivel de confianza del 95%, el análisis de varianza se realizó con dos variables codificables, los datos se encuentran representados en el Apéndice 01, Cuadro 03 de acuerdo al estado de madurez de la papaya. De acuerdo al ANOVA - Anexo04, Cuadros 23 y 24, se observa:

ESTADO VERDE.

Que existen diferencias altamente significativas para la temperatura, y diferencias significativas para la concentración cuadrática, también observamos que no existen diferencia significativa en la concentración, temperatura cuadrática y la interacción AB en el proceso de variación de ganancia de sólidos, se puede observar que el R^2 explica el 83,93 % del modelo, con lo que su confiabilidad es alta.

El modelo matemático ajustado es el siguiente:

$$GS=3,59401-0,430015*C+0,416705*T+0,0062666*C^2-0,007414*C*T+0,0035224*T^2$$

Donde:

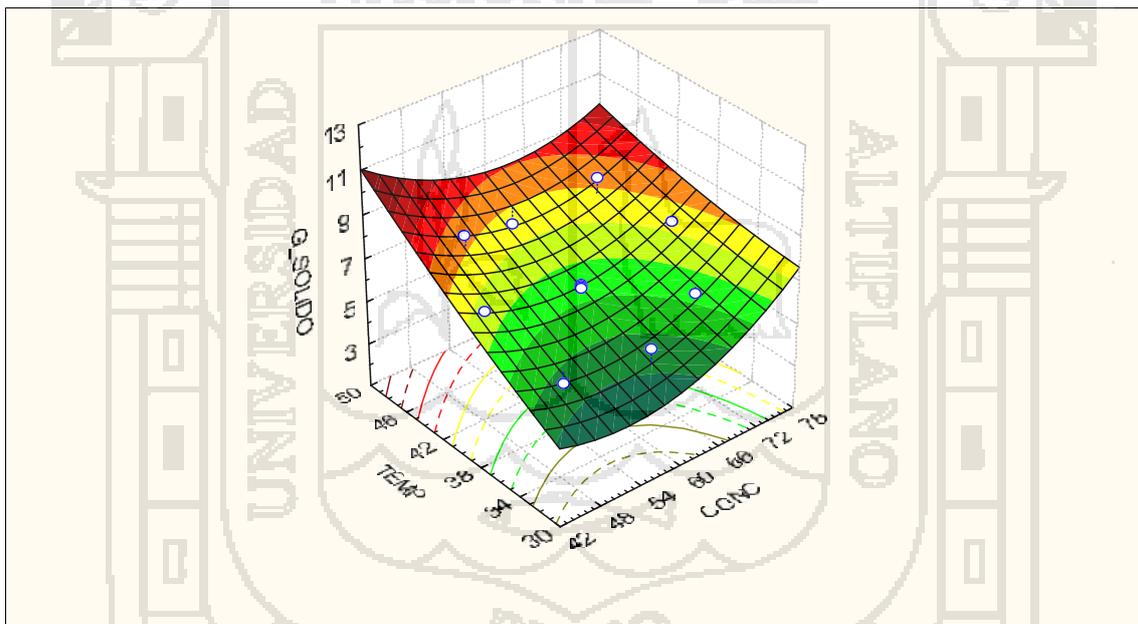
GS : Ganancia de sólidos.

C : Concentración

T : Temperatura

De los análisis de optimización se determinó que se puede obtener una ganancia de sólidos máxima con un valor óptimo = 8,46846% a concentración de 45,8579°Brix y temperatura de 47.0711°C, como se puede observa en el Gráfico 17.

Gráfico 17. Superficie de respuesta del efecto de la concentración y la temperatura sobre la ganancia de sólidos de la papaya en estado verde, a través del modelamiento cuadrático.



En el Gráfico 17, se observa que a medida que se incrementa la temperatura y/a menor concentración de sacarosa se obtiene mayor ganancia de sólidos solubles en la papaya osmóticamente deshidratada. Y Mientras se incrementa la concentración de sacarosa y menor temperatura la ganancia de sólidos solubles disminuye relativamente.

ESTADO PINTON.

Que existen diferencias significativas para la temperatura, también observamos que no existe diferencias significativas en la concentración, efectos cuadráticos y en la interacción AB en el proceso de ganancia de sólidos, adicionalmente se puede observar que el R^2 explica el 62,75 % del modelo, con lo que su confiabilidad es alta.

El modelo matemático ajustado es el siguiente:

$$GS = -8,62006 + 0,40755 * C + 0,057217 * T - 0,0023883 * C^2 - 0,00322 * C * T + 0,0036016 * T^2$$

Donde:

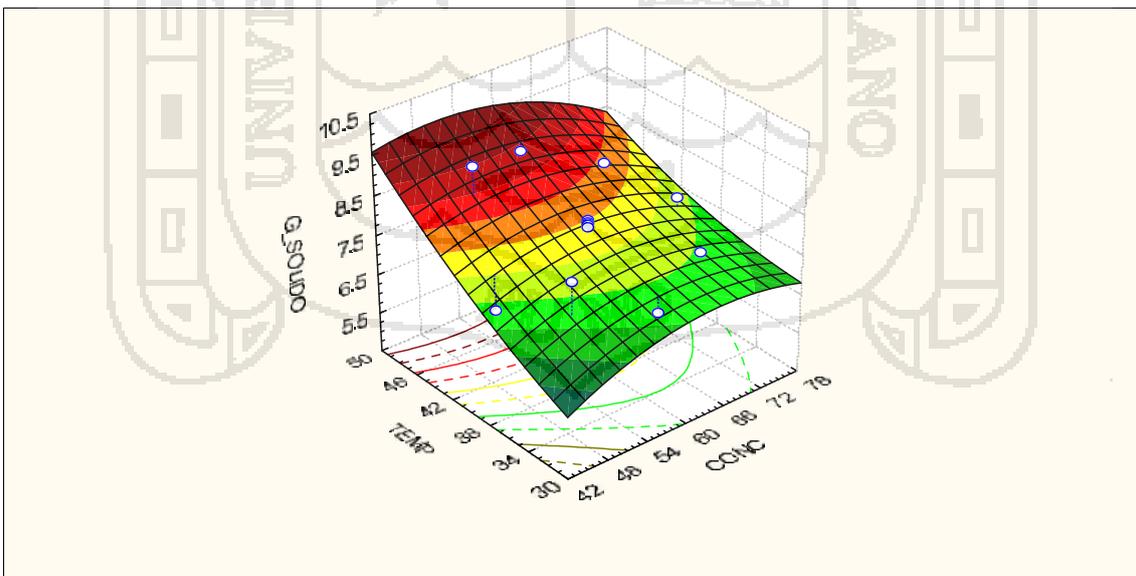
GS : Ganancia de sólidos.

C : Concentración

T : Temperatura

De los análisis de optimización se determinó que se puede obtener una ganancia de sólidos máxima con un valor óptimo = 8,90774% a concentración de 53,5714°Brix y temperatura de 47.0711°C, como se puede observa en el Gráfico 18.

Gráfico 18. Superficie de respuesta del efecto de la concentración y la temperatura sobre la ganancia de sólidos de la papaya en estado pintón, a través del modelamiento cuadrático.



En el Gráfico 18, se observa que a medida que se incrementa la temperatura y/a menor concentración de sacarosa se obtiene mayor ganancia de sólidos solubles en la

papaya osmóticamente deshidratada. En comparación de ambos estados, la ganancia de sólidos es menor en el estado pintón siendo el comportamiento muy similar en ambos estados.

3.4 RESULTADOS DE LA DIFUSIVIDAD EFECTIVA DE LA SACAROSA (Azúcar) EN PAPAYA (*Carica papaya L.*)

En el Cuadro 03 y 04 se presentan los datos de las difusividades efectivas de sacarosa en la papaya a partir de la linealización de la ecuación (11) detallado en el Anexo 05, de cuyas pendientes se obtienen los valores de la difusividad efectiva para los tratamientos.

Cuadro 03. Valores generales de la difusividad efectiva encontrando la pendiente de la ecuación lineal en papaya en estado verde.

CONCENTRACIÓN (°Brix)	TEMPERATURA (°C)	De (m ² /s)
50	35	2,0264E-08
	45	2,0264E-08
60	35	3,2423E-08
	45	4,4581E-08
70	35	2,4317E-08
	45	3,6475E-08

Fuente: Calculado de acuerdo a los datos del Anexo 07, Cuadro 27.

Cuadro 04. Valores generales de la difusividad efectiva encontrando la pendiente de la ecuación lineal en papaya en estado pintón.

CONCENTRACIÓN (°Brix)	TEMPERATURA (°C)	De (m ² /s)
50	35	2,4317E-08
	45	2,4317E-08
60	35	2,4317E-08
	45	3,6475E-08
70	35	3,6475E-08
	45	2,4317E-08

Fuente: Calculado de acuerdo a los datos del Anexo 07, Cuadro 28.

En el Anexo 07, Cuadros 27 y 28, se detallan los valores de la Difusividad Efectiva de sacarosa (azúcar) obtenidas por regresión lineal.

Los resultados de Difusividad Efectiva de sacarosa (azúcar) en la papaya obtenidos por regresión lineal a partir de la pendiente se detallan en el Anexo 07, Cuadros 27 y 28, y en los Gráficos 27 al 30 del Apéndice 02, en donde se observó que la mayor difusividad efectiva de sacarosa corresponde al tratamiento del estado verde a una concentración de 60°Brix, a una temperatura de 45°C durante la inmersión en la solución hipertónica en un proceso dinámico, dando un valor de $4,4581E-08 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ de difusividad efectiva y, la menor difusividad se da en el tratamiento de mismo estado a una concentración de 50°Brix, en ambas temperaturas de inmersión en la solución hipertónica en el proceso dinámico dando un valor de $2,0264E-08 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ D_e , de aquí deducimos que la mayor influencia sobre la Difusividad Efectiva se da por la concentración y la temperatura, esto se debe a que al inicio del proceso existe un mayor diferencial de concentraciones entre el producto y la solución hipertónica y a medida que transcurre el tiempo esta diferencial se reduce y disminuye la velocidad de penetración de sacarosa (azúcar).

En el trabajo de investigación se obtuvo valores de Difusividad efectiva reales de sacarosa relativamente mayores a estudios realizados en distintas frutas, concentraciones y temperaturas de estudio, éstos se describen en la Tabla 04 mencionados por Salvatori *et. al.*, (1999); Kaymak y Sultanoglu (2003); Rodriguez *et. al.*, (2002); Mendoza, (2002); Waliszewski *et. al.*, (2004); Rastogi y Raghavarao, (2002); Rastogi y Raghavarao, (1996) y Giraldo *et. al.*, (2003), Otro factor que influyó en la Difusividad efectiva de sacarosa en la papaya está dado por la manipulación de las muestras en el momento de adaptación en los tubos de PVC, ya que se provocó un ablandamiento de las células formándose una microestructura abierta del tejido que probablemente haya influenciado en la penetración de sacarosa al interior de la muestra, así mismo, Lenart y Flink, (1984), menciona que las características particulares del fruto especialmente de la porosidad, afectan a los mecanismos de transporte implicados en la deshidratación osmótica, de forma que cuanto mayor sea la porosidad de la fruta mayor es la ganancia de sólidos, por ende la Difusividad efectiva será mayor. La agitación tiene incidencia en la Difusividad Efectiva debido a que el agua que ha salido es retirada del contacto con 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, (2003). La geometría y el tamaño del producto son factores que afectan en el proceso de osmodeshidratación de papaya, de manera que a mayor superficie específica de los trozos, aumenta la pérdida de agua hasta un punto a partir del cual el tratamiento de productos muy divididos se traduce en una ganancia de sólidos (Acosta, 1996).

EFFECTOS PRINCIPALES DE LAS VARIABLES DE ESTUDIO SOBRE LA DIFUSIVIDAD EFECTIVA DE SACAROSA EN LA PAPAYA EN ESTADO VERDE.

En la Figura 13, se observa que, a medida que se incrementa la concentración de la solución hipertónica la Difusividad efectiva de sacarosa en papaya es mayor y a valores mayores de temperatura de la solución hipertónica en un proceso dinámico se incrementa.

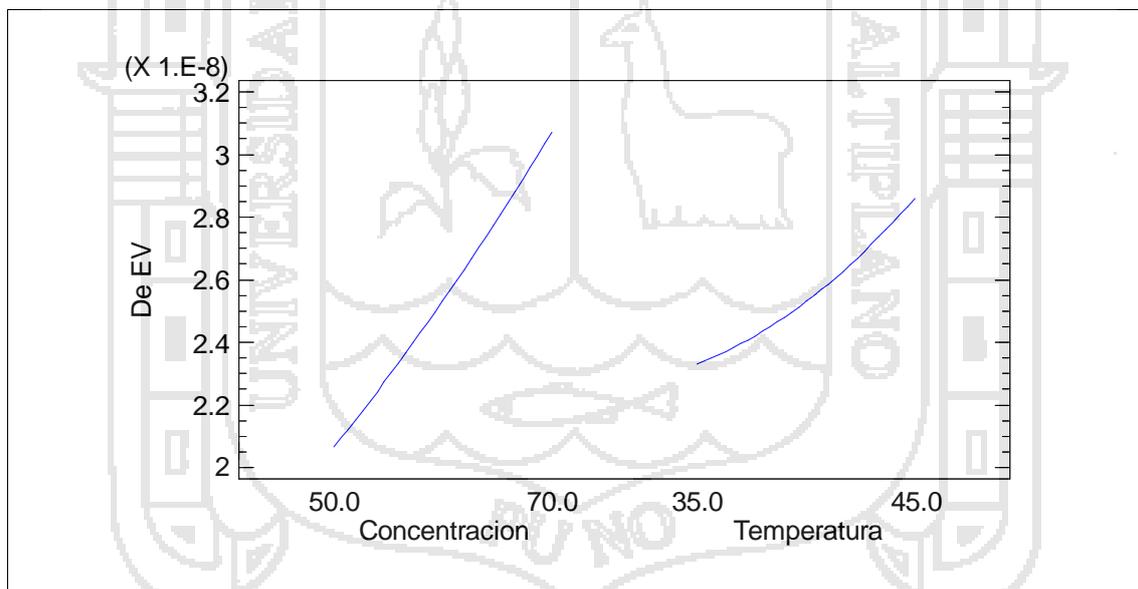


Figura. 13. Efecto de la concentración y temperatura sobre la Difusividad Efectiva en papaya en estado verde.

EFFECTO DE LA INTERACCION DE LAS VARIABLES DE ESTUDIO SOBRE LA DIFUSIVIDAD EFECTIVA DE SACAROSA EN LA PAPAYA EN ESTADO VERDE.

Se observa en la Figura 14, que al incrementarse la concentración y a una temperatura de 45°C obtendremos mayores valores de difusividad efectiva.

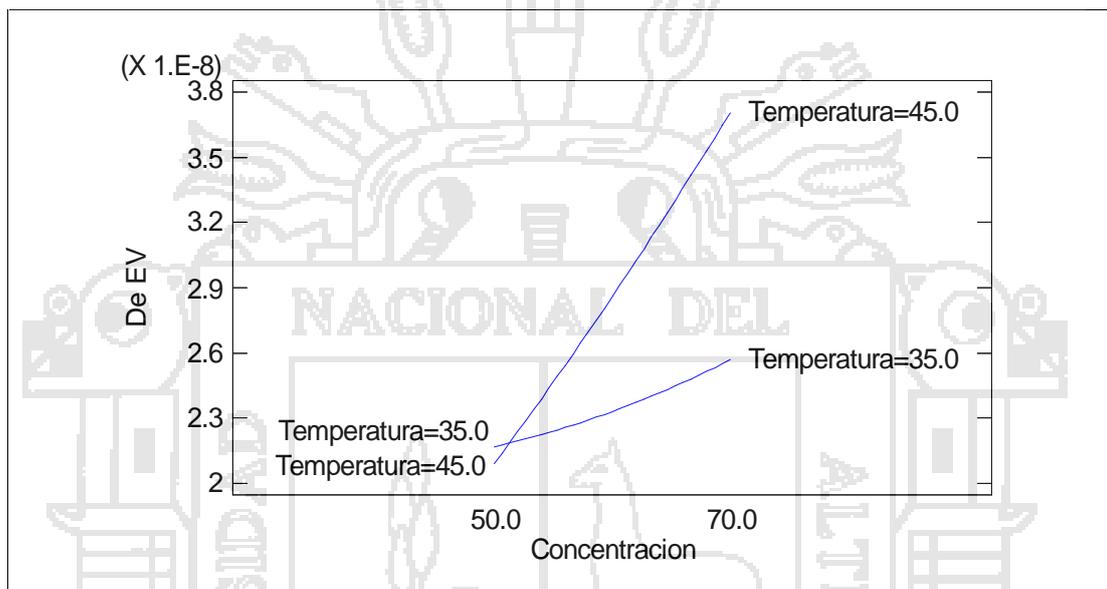


Figura. 14. Efecto de la interacción de la concentración y temperatura sobre la Difusividad Efectiva en papaya en estado verde.

EFFECTO DE LAS VARIABLES DE ESTUDIO SOBRE LA DIFUSIVIDAD EFECTIVA DE SACAROSA EN LA PAPAYA EN ESTADO PINTÓN.

En la Figura 15, se observa que a medida que se incrementa la concentración de la solución hipertónica, la Difusividad efectiva de sacarosa en papaya es mayor, a valores menores de 45°C de temperatura la difusividad efectiva disminuye notablemente y a partir de la misma se observa que tiene tendencia a incrementarse.

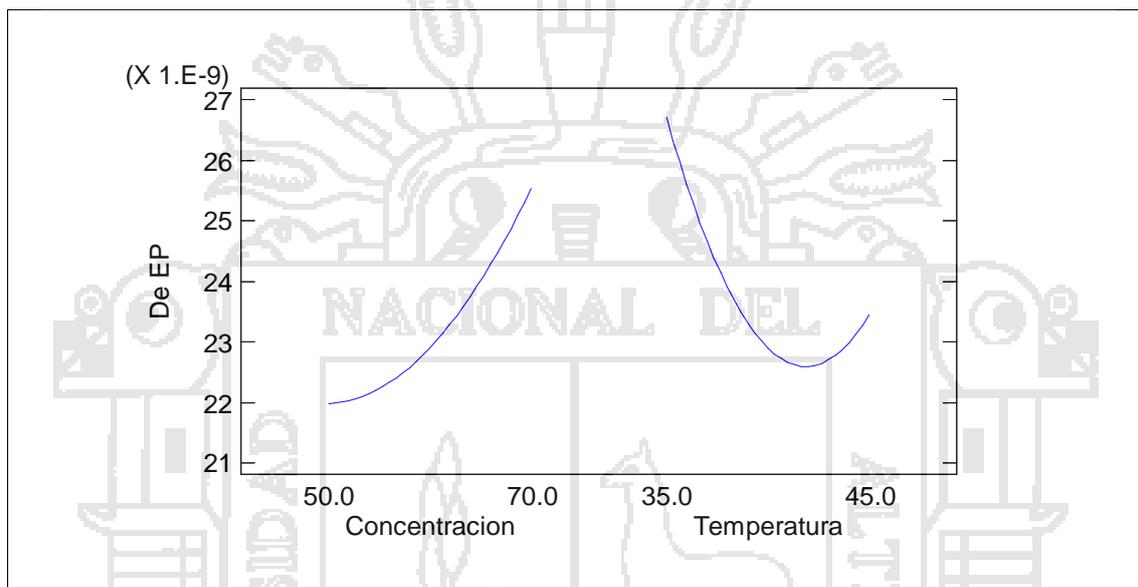


Figura. 15. Efecto de la concentración y temperatura sobre la Difusividad Efectiva. en papaya en estado pintón.

EFFECTO DE LA INTERACCION DE LAS VARIABLES DE ESTUDIO SOBRE LA DIFUSIVIDAD EFECTIVA DE SACAROSA EN LA PAPAYA EN ESTADO PINTÓN.

Se observa en la Figura 16, un comportamiento inverso al del estado verde, debido a que se observa los mayores valores de difusividad efectiva trabajando con los menores valores de las variables en estudio.

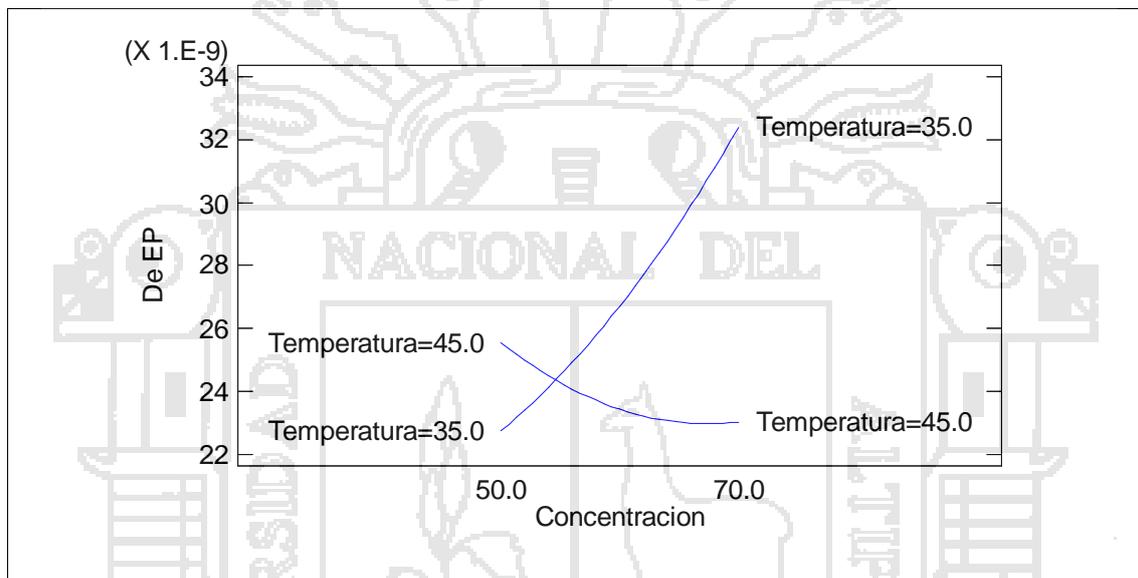


Figura. 16. Efecto de la concentración y temperatura sobre la Difusividad Efectiva en papaya en estado pintón.

El análisis estadístico nos muestra la incidencia de la temperatura y concentración en la ganancia de sólidos a través del tiempo a un nivel de confianza del 95%, el análisis de varianza se realizó con dos variables codificables, los datos se encuentran representados en el Apéndice 01, Cuadro 04 de acuerdo al estado de madurez de la papaya. De acuerdo al ANOVA – Anexo 08, Cuadros 29 y 30, se observa:

ESTADO VERDE.

En el Anexo 08, Cuadro 29, se presenta el resultado de difusividad efectiva y el análisis de varianza, donde se observa que existe diferencias estadísticas significativas al 5% de probabilidades para los efectos cuadráticos sobre la difusividad efectiva y

diferencias altamente significativas al 1% para la concentración, temperatura y la interacción AB en el procesos de difusión, siendo elementos de interés a efectos de evaluación de difusividad másica, se puede observar que el R^2 explica el 100% del modelo, con lo que su confiabilidad es alta.

El modelo matemático ajustado es el siguiente:

$$De = 1,74862E-7 - 2,38962E-9 * C - 5,1778E-9 * T$$

Donde:

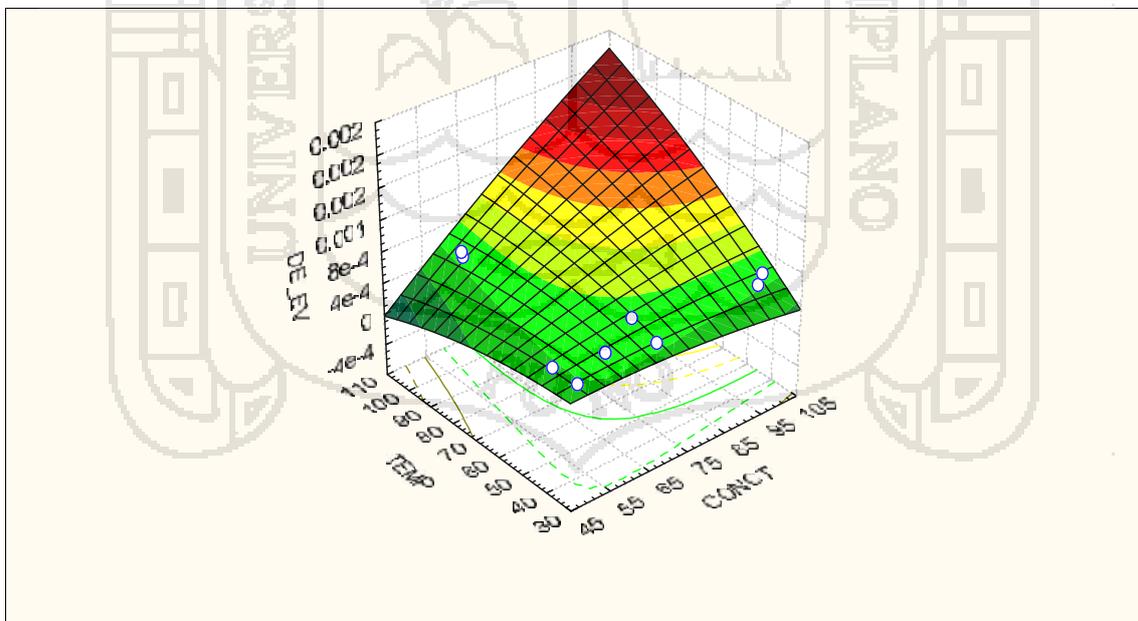
De: Difusividad efectiva.

C: Concentración.

t: Temperatura

De los análisis de optimización se determinó que se puede obtener una difusividad máxima de valor óptimo = $4,43055E-8 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ a concentración de 74.1421 y temperatura de 47,0711 °C, como se puede observar en el Gráfico 19.

Gráfico 19. Superficie de respuesta del efecto de la concentración y la temperatura sobre la difusividad efectiva de sacarosa en la papaya en estado verde, a través del modelamiento cuadrático.



Del Gráfico 19, se puede apreciar de una mejor forma, que conforme se incrementa la concentración y la temperatura se obtiene mayor difusividad efectiva de sacarosa en la papaya en estado verde, mientras que si se incrementa la concentración

disminuyendo la temperatura del tratamiento no existe diferencias significativas ya que el comportamiento es similar, esto indica que la temperatura no tiene mayor influencia respecto a la concentración para obtener mayor difusividad efectiva en papaya en estado verde.

ESTADO PINTÓN.

En el Anexo 08, Cuadro 30, se presentan el resultado de difusividad efectiva y el análisis de varianza, donde se observa que existe diferencias estadísticas altamente significativas al 1% para la concentración, temperatura, efectos cuadráticos en el procesos de difusión, siendo elementos de interés a efectos de evaluación de difusividad másica, en tanto también se evidencio diferencia altamente significativa al 1% para la interacción AB, se puede observar que el R^2 explica el 100% del modelo, con lo que su confiabilidad es alta.

El modelo matemático ajustado es el siguiente:

$$De = 4,93127E-8 + 1,58282E-9*C - 3,63433E-9*T$$

Donde:

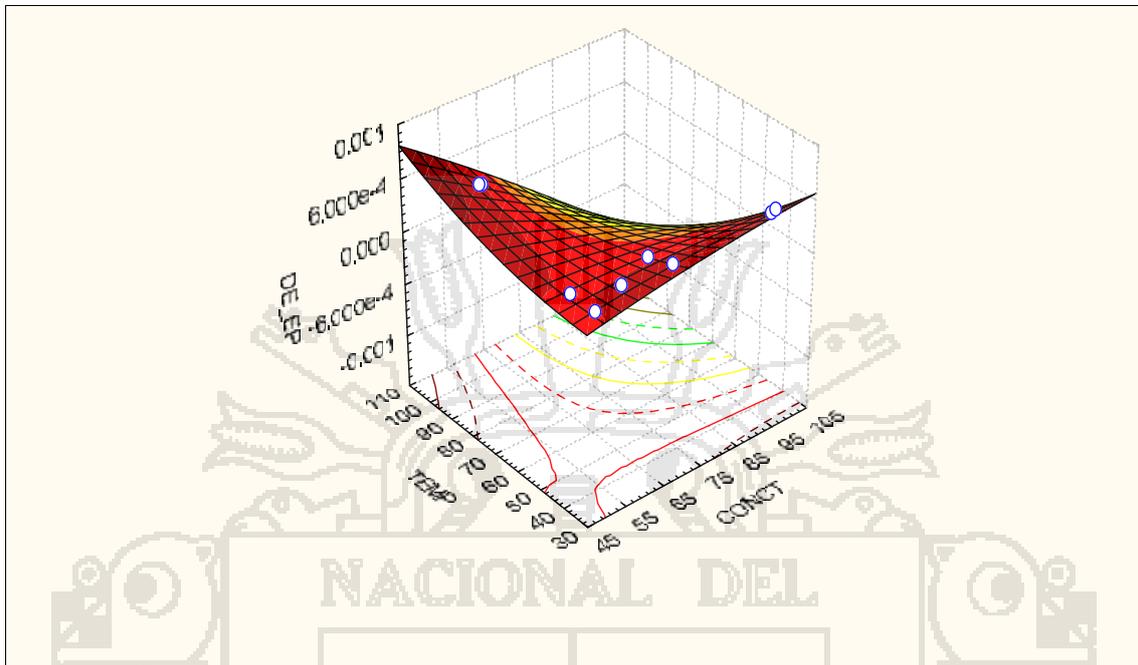
De: Difusividad efectiva.

C: Concentración.

t: Temperatura

De los análisis de optimización se determinó que se puede obtener una difusividad máxima de valor óptimo = $3,98625E-8 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ a concentración de 74.1421°Brix y temperatura de 32,9289°C, como se puede observar en el Gráfico 20.

Gráfico 20. Superficie de respuesta del efecto de la concentración y la temperatura sobre la difusividad efectiva de sacarosa en la papaya en estado pintón, a través del modelamiento cuadrático.



En el gráfico 20, se observa que conforme se incrementa la concentración y la temperatura se obtiene mayor difusividad efectiva en estado pintón, siendo el comportamiento similar al estado verde habiendo una mínima diferencia respecto a la difusividad efectiva.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES

- o La difusividad efectiva de sacarosa en papaya osmodeshidratada es influenciada por la concentración, temperatura y el índice de madurez. Se logró el mayor valor de difusividad de sacarosa (azúcar) $4.458 \times 10^{-08} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ cuando la papaya se encuentra en estado verde, a una concentración de 60°Brix y a una temperatura de 45°C, así mismo el tiempo de inmersión en la solución hipertónica tiene relación inversa con la difusividad efectiva de sacarosa en papaya encontrando mayores valores de difusividad en los primeros minutos de tratamiento.



CAPITULO V

RECOMENDACIONES

- Se recomienda evaluar la difusividad efectiva de sacarosa con los otros métodos mencionados en el presente trabajo de investigación.
- Realizar estudios con otros parámetros tales como la aplicación de pulso de vacío, distintas geometrías, tiempo de inmersión de la fruta en la sacarosa para la obtención de la difusividad efectiva.
- Realizar estudios de vida útil de papaya osmóticamente deshidratado.
- Efectuar un estudio de factibilidad económica a fin de evaluar la rentabilidad de la aplicación del proceso de osmodeshidratación en las zonas de producción de papaya.
- Se recomienda realizar un estudio de retención de nutrientes y de compuestos volátiles con respecto al tiempo de secado aplicando deshidratación osmótica como pre-tratamiento, para tener constancia de que con este proceso no se pierden micro componentes esenciales de la papaya.

CAPITULO VI

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, E. (1996). Deshidratación Osmótica a Vacío de Papaya: Desarrollo de un Producto Mínimamente Procesado. Universidad Politécnica de Valencia. España.
- Aguirre, C. & Fernandez, V. (1996). El sabor de la papaya. Campo y Tecnología. N° 26, May/Jun. Colombia.
- Andreotti, R & Palmas.D. (1995). Conservazione di pesche parzialmente disidratate per osmosi diretta. Industria Conserve, Estados Unidos.
- Aparicio Alarcón, W. (1995). Boletín N°05 Ingeniería Química UNA-Puno.
- Barat, J. M.; Alvarruiz, A.; Chiralt, A.; Fito, P. (1997). A mass transfer modelling osmotic dehydration. Ed. Jowit R, Engineering and Food at ICEF 7. Sheffield: Sheffield Academic.
- Barat, J. M. (1998). Desarrollo de un modelo de la deshidratación osmótica como operación básica. Valencia, España. Tesis doctoral – Universidad Politécnica de Valencia.
- Barat, J.M.; Fito, P.; Chiralt, A. (2001). Modelling of simultaneous mass transfer and structural changes in fruit tissues. Journal of Food Engineering.
- 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.) México, D.F.
- Camacho, O. (2003). Procesamiento y conservación de frutas. Programa Universidad Virtual de la Universidad Nacional de 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.
- 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.
- Crank, J. (1975). The mathematics of the diffusion. Ed. Lorendon Press, Oxford, U.K.

- Crank, J. (1956). *The Mathematics of Diffusion*. Oxford University Press. London, UK.
- Contreras, J.E. y Smyrl, T.G. (1981). An Evaluation of Osmotic Concentration of Apple Rings Corn Syrup Solids Solutions. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*.
- 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* (Fito, Serra, Hernández Vidal eds.), págs. 171-190, Universidad Politécnica de Valencia. España.
- Dixon, G.M. & Jen, J.J. (1997). Changes of sugars and acids of osmotic-dried apple slices, *Journal of Food Science*.
- Fito, P. (1994). Modeling of vacuum osmotic dehydration of foods. *Journal of Food Engineering*.
- 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.
- Garcell Puyans, L., Díaz García, G., Surís C. (1988). *Transferencia de cantidad de movimiento calor y masa*. Editorial Pueblo, Habana Cuba.
- Garrote, R.L. & Bertone, R.A. (1989). Osmotic concentration at low temperature of frozen strawberry halves. Effect of glycerol, glucose and sucrose solutions on exudates loss during thawing. *Lebensm-Wiss*.
- Geankoplis Christie, J. (1998). *Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias*. Tercera Edición. Compañía Editorial Continental S.A. de C.V. México.
- Giangiacomo, R.; Torreggiani, D.; Abbo, E. (1987). Osmotic dehydration on fruits. Part I. Sugar exchange between fruits and extracting syrups. *Journal of Food Processes*.
- Giraldo, G.; Talens, P.; Fito, P., Chirald, A. (2003). Influence of sucrose solution concentration on kinetics and yield during osmotic dehydration of mang. *Journal of Food Engineering*.
- 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*.
- Hermida, J. (2000). *Fundamentos de Ingeniería de Procesos Agroalimentarios*, Coedición, Editorial – Mundi – Prensa, Madrid.
- Horton, D. (1998). *Underground Caops.Long – Terin trends in production of roots an tubers*. Winrock Internacional, Morrilton, AK, E.U.
- Ibáñez, V. (2005). *Guía de Diseño Central Compuesto con Statistica*” Facultad de Ingeniería Estadística e Informática. Universidad Nacional del Altiplano. Puno-Perú
- 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 Limusa.
- Kalra, S.K.; Tandom, D.K.; Singh, B.P. (1995). Papaya. In U. T. Desai and A. N. Wagh (Eds.), *Handbook of fruit Science and Technology*. New York: Marcel Dekker Inc.
- Kaymak, F. & Sultanoglu, M. (2003). *Modelling de mass transfer during osmotic dehydration of apple*, *Journal of ood Engineering*.
- Lenart, A. & Flink, J. (1984). *Osmotic Concentration of potatoes I, Spatial Distribution of the Osmotic Effects*. *Journal of Food Technology*.
- Le Maguer, M. (1998). *Osmotic Dehydration: Review and Future Directions*. Department of Food Science. The University of Alberta, Edmonton, Alberta, Canada.
- Lerici, C.R. (1997). *Use of direct osmosis as fruits and vegetables dehydration*. *Acta Alimentaria Polonica*.
- López Ortiz, O. & Galeano Huertas, A. (1998). *Deshidratación osmótica de la fresa (Fragaria chiloensis)*.
- Maltini, E. & Torregiani, D. (1981). *Recent Developments in the Production of Shelf Stable Fruits by Osmosis*. *Food Science Technology*.
- Mendoza, F. (2002). *Orígenes de la papaya maradol Semillas del caribe* Copyright Jalisco, México.

- Meza Duman, K. (2007). Determinación del coeficiente de difusión de sal (NaCl) en carne de alpaca (*Lama pacos*). 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.
- Motarjemi, Y. (1988). A study of some physical properties of water in foodstuffs. Water activity, water binding and water diffusivity in minced meat products. Ph.D. Thesis Lund University. Lund Sweden.
- Muguruma, 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.
- Ochoa, M. & Ayala, A. (2005). Modelos Matemáticos de Transferencia de Masa en Deshidratación Osmótica. Ciencia y Tecnología Alimentaria. Mexico.
- Ochse, J. & Soole, M. (1980). Cultivos y mejoramientos de plantas tropicales y subtropicales. Ed. Limusa. México.
- Pestano, B. (2001). El cultivo de la papaya. Gaceta Cuba, grupo de apoyo a las cooperativas independientes de Cuba. Florida, U.S.A.
- Pérez, C.M. & Pimentel, F.J. (2003). Transferencia de Masa I. Editorial Offset San Román. Primera Edición. Puno-Perú. Potter N.N. & Hotchkiss, J.H. (1999). Ciencia de los Alimentos. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza-España.
- Perfetti, J. (2000). Papaya producción mundial. Corporación Colombia Internacional. Manual del exportador de frutas, hortalizas y tubérculos en Colombia.
- Pointing, V.; Watters, G.G.; Forrey, R.R.; Jacson, R.; Stanley, W.L. (1966). Osmotic dehydration of fruits. Food Technology.
- Rastogi, N.K. & Raghavarao, K.S.M.S. (1996). Kinetics of Osmotic Dehydration under Vacuum. Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologi.
- Rastogi, N.K. & Raghavarao, K.S.M.S. (2002). Recent developments in osmótica dehydration: methods to enhance mass transfer. Trends in Food Science and Technology.

- Rodriguez, A.; Cunha, R.; Hubinger, M. (2002). Rheological properties and colour evaluation of papaya During osmotic Dehydration Processing .Journal of Food Engineering.
- Sablani, S.S. & Rahman, M.S. (2003). Effect of Nyrup concentration, temperature and sample geometry on equilibrium distribution coefficients Turing osmótica dehydration of mango. Food Research International.
- Salinas, R. (1998). Alimentos y Nutrición Bromatológica Aplicada a la Salud. Editorial El Ateneo, Buenos Aires – Argentina.
- Salto, A. (1993). Deshidratación Osmótica de frutas tropicales. Proyecto de Investigación Tecnológica para el Desarrollo de alimentos de Humedad intermedia, Universidad Técnica de Ambato.
- Salvatori, D.; Andres, A.; Chiralt, A.; Fito, P. (1999). Osmotic Dehydration Progression in Apple Tissue I; Spatial Distribution of Solutes and moisture content. Journal of Food Engineering.
- Talens, P. (2002). Tratamientos Osmóticos en la Crioprotección de Fresa y Kiwi. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.
- Treybal, R.E. (1996). Operaciones de transferencia de masa. Segunda Edición. Rhode Linland, U.S.A.
- Treybal, R.E. (1980). Operaciones de Transferencia de Masa. Segunda Edición. México.
- Waliszewski, K.; Delgado, J.; García, M. (2004). Equilibrium concentration and water and sucrose diffusivity in osmotic dehydration of pineapple slabs. Drying Technology.
- Westrin, B.A. (1991). Difusión Measurement in gels. A. Methodological study. Ph.D. Tesis Lund University. Lund Sweden.
- WHO/FAO, 1998. Technical Manual- Agricultural Services. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Handling and preservation of fruits and vegetables by combined methods for rural areas.
- Yao Z. & Le Maguer, (1997b). Mathematical modelling and simulation of mass transfer in osmotic dehydration processes. Part. III: parametric study. Journal of food Engineering.
- Zogzas, N.P.; Maroulis-Z.B.; Marinos Kouris, D. (1994). Moisture diffusivity methods of experimental determination. A review. Drying Technology.



ANEXO 01.

CODIFICACIÓN DE VALORES DE DCC PARA DOS FACTORES.

FACTOR	NIVEL (-)	NIVEL (+)
A: Concentración	50	70
B: Temperatura	35	45

○ **Para factor de concentración:**

$$\text{Sí: } \bar{X} = \frac{70+50}{2} = 60 \quad \text{y} \quad \Delta X = \frac{70-50}{2} = 10$$

$$\text{Para: } (-1.414) \Rightarrow -1.414 = \frac{A - \bar{X}}{\Delta X} = \frac{A - 60}{10} = 45.86 \cong 45.9$$

$$\text{Para: } (+1.414) \Rightarrow +1.414 = \frac{A - \bar{X}}{\Delta X} = \frac{A - 60}{10} = 74.14 \cong 74$$

$$\text{Para: } (0) \Rightarrow 0 = \frac{A - \bar{X}}{\Delta X} = \frac{A - 60}{10} = 60$$

○ **Para factor de temperatura:**

$$\text{Sí: } \bar{X} = \frac{45+35}{2} = 40 \quad \text{y} \quad \Delta X = \frac{45-35}{2} = 5$$

$$\text{Para: } (-1.414) \Rightarrow -1.414 = \frac{B - \bar{X}}{\Delta X} = \frac{B - 40}{5} = 32.93 \cong 33$$

$$\text{Para: } (+1.414) \Rightarrow +1.414 = \frac{B - \bar{X}}{\Delta X} = \frac{B - 40}{5} = 47.07 = 47$$

$$\text{Para: } (0) \Rightarrow 0 = \frac{B - \bar{X}}{\Delta X} = \frac{B - 40}{5} = 40$$

ANEXO 02.

Cuadro 01. Valores experimentales del tratamiento de papaya en estado verde, a una concentración de 50°Brix, temperatura de 35°C y C_0 8.8250.

TIEMPO (min)	MUESTRA REPRESENTATIVA			C_e (°Brix _t)	H_t
	P_0	P_t	C (°Brix _t)		
0	4,6683	4,6683	8,8250	50,0000	H_0 0,8932
20	4,6460	4,2737	15,3000	49,1667	0,8699
40	4,6370	3,9210	15,9333	48,6000	0,8490
60	4,6177	3,6867	16,0333	48,5333	0,8211
80	4,7073	3,6757	17,3667	48,1667	0,8110
100	4,7700	3,5557	17,5333	48,1333	0,7981
120	4,9593	3,5667	19,2667	47,5333	0,7908
140	4,9880	3,6517	20,2000	47,4000	0,7913

Cuadro 02. Valores experimentales del tratamiento de papaya en estado verde, a una concentración de 60°Brix, temperatura de 35°C y C_0 6.9000.

TIEMPO (min)	MUESTRA REPRESENTATIVA			C_e (°Brix _t)	H_t
	P_0	P_t	C (°Brix _t)		
0	4,4760	4,4760	6,9000	60,0000	H_0 0,8909
20	4,7983	4,3057	10,6333	59,4000	0,8764
40	4,2833	3,5797	12,5333	58,9333	0,8364
60	4,7423	3,5527	13,2333	58,1333	0,8054
80	4,7400	3,4680	15,8000	56,3667	0,7924
100	4,4393	3,1307	16,7333	55,9000	0,7861
120	4,4600	3,0907	17,2667	54,4667	0,7787
140	4,5037	3,0097	19,0333	54,0667	0,7453

Cuadro 03. Valores experimentales del tratamiento de papaya en estado verde, a una concentración de 70°Brix, temperatura de 35°C y C_0 7.5750.

TIEMPO (min)	MUESTRA REPRESENTATIVA			C_e (°Brix _t)	H_t
	P_0	P_t	C (°Brix _t)		
0	4,6250	4,6250	7,5750	70,0000	H_0 0,9120
20	4,8967	4,3860	10,8000	69,0333	0,8521
40	4,6753	3,8957	12,0667	68,6667	0,8353
60	4,3477	3,1600	14,2667	68,0333	0,8091
80	4,2597	2,6527	15,7000	67,8000	0,7669
100	4,3860	2,5260	16,8667	67,2667	0,7458
120	4,5553	2,3087	18,2667	66,9667	0,7183
140	4,5747	2,1097	20,0333	66,4667	0,6957

Cuadro 04. Valores experimentales del tratamiento de papaya en estado verde, a una concentración de 50°Brix, temperatura de 45°C y C₀ 8.0750.

TIEMPO (min)	MUESTRA REPRESENTATIVA			C _e (°Brix _t)	H _t
	P ₀	P _t	C (°Brix _t)		
0	4,5767	4,5767	8,0750	50,0000	H₀ 0,9153
20	4,5310	3,8253	13,4667	49,4667	0,8232
40	4,4940	3,5117	14,0000	49,3000	0,7995
60	4,7023	3,4217	14,2333	48,2333	0,7749
80	4,7010	3,4140	16,5333	47,9000	0,7616
100	4,4627	3,1367	16,9667	47,7000	0,7495
120	4,3267	3,0187	19,3667	47,3333	0,7306
140	4,5320	3,1233	20,8333	47,0667	0,7268

Cuadro 05. Valores experimentales del tratamiento de papaya en estado verde, a una concentración de 60°Brix, temperatura de 45°C y C₀ 6.9000.

TIEMPO (min)	MUESTRA REPRESENTATIVA			C _e (°Brix _t)	H _t
	P ₀	P _t	C (°Brix _t)		
0	4,5343	4,5343	6,9000	60,0000	H₀ 0,9216
20	4,6917	3,4057	11,4000	57,8333	0,8055
40	4,7547	3,1633	14,2000	56,3000	0,7496
60	4,8970	2,9950	19,4000	55,5000	0,7302
80	4,5310	2,5547	21,5333	55,5333	0,6840
100	4,6220	2,4197	22,6000	55,4333	0,6582
120	4,6277	2,2423	27,9333	55,5667	0,6342
140	4,7017	2,2990	31,1333	54,9667	0,6098

Cuadro 06. Valores experimentales del tratamiento de papaya en estado verde, a una concentración de 70°Brix, temperatura de 45°C y C₀ 8.1750.

TIEMPO (min)	MUESTRA REPRESENTATIVA			C _e (°Brix _t)	H _t
	P ₀	P _t	C (°Brix _t)		
0	4,4957	4,4957	8,1750	70,0000	H₀ 0,9239
20	4,3353	3,7673	10,2667	68,5667	0,8231
40	4,3893	3,6470	11,0667	67,3667	0,8158
60	4,6090	3,5927	12,5333	66,8667	0,8007
80	4,3038	3,2263	14,2000	65,9667	0,7792
100	4,4643	3,2950	17,9333	64,5667	0,7748
120	4,6800	3,3567	17,9333	63,2667	0,7736
140	4,2917	2,9460	18,8000	62,9667	0,7329

Cuadro 07. Valores experimentales del tratamiento de papaya en estado pintón, a una concentración de 50°Brix, temperatura de 35°C y C_0 9.4500.

TIEMPO (min)	MUESTRA REPRESENTATIVA			C_e (°Brix _t)	H_t
	P_0	P_t	C (°Brix _t)		
0	4,7793	4,7793	9,4500	50,0000	H_0 0,9160
20	4,5153	4,0363	10,2333	49,1333	0,8080
40	4,5787	3,6893	12,9000	48,7333	0,7877
60	4,5760	3,5963	13,7333	48,5667	0,7853
80	4,5107	3,4500	15,2333	47,9667	0,7761
100	4,3730	3,1703	16,8333	47,1667	0,7702
120	4,4257	3,0763	18,2333	46,9667	0,7611
140	4,1953	2,9423	19,5000	46,7000	0,7503

Cuadro 08. Valores experimentales del tratamiento de papaya en estado pintón, a una concentración de 60°Brix, temperatura de 35°C y C_0 9.2750.

TIEMPO (min)	MUESTRA REPRESENTATIVA			C_e (°Brix _t)	H_t
	P_0	P_t	C (°Brix _t)		
0	4,8007	4,8007	9,2750	60,0000	H_0 0,9119
20	4,2820	4,0527	10,8667	59,6000	0,8597
40	4,2767	3,5947	12,6667	58,8333	0,8363
60	4,3910	3,5423	14,4667	58,6333	0,8285
80	4,3263	3,2623	15,3000	57,6333	0,8102
100	4,4203	3,2367	16,2000	57,3667	0,7921
120	4,5910	3,1310	17,4667	56,4333	0,7847
140	4,5313	3,0793	18,9333	56,0333	0,7817

Cuadro 09. Valores experimentales del tratamiento de papaya en estado pintón, a una concentración de 70°Brix, temperatura de 35°C y C_0 9.3000.

TIEMPO (min)	MUESTRA REPRESENTATIVA			C_e (°Brix _t)	H_t
	P_0	P_t	C (°Brix _t)		
0	4,8140	4,8140	9,3000	70,0000	H_0 0,9166
20	4,2770	3,9867	9,5667	66,8667	0,8389
40	4,3823	3,4717	13,9000	66,3667	0,8279
60	4,4740	3,2967	15,8667	65,5667	0,7932
80	4,5333	3,1283	17,4333	65,3333	0,7694
100	4,6533	3,1197	19,0667	64,8333	0,7599
120	4,6753	3,0843	21,9000	64,9667	0,7202
140	4,7153	2,7887	26,0667	64,5000	0,6947

Cuadro 10. Valores experimentales del tratamiento de papaya en estado pintón, a una concentración de 50°Brix, temperatura de 45°C y C_0 8.9250.

TIEMPO (min)	MUESTRA REPRESENTATIVA			C_e (°Brix _t)	H_t
	P_0	P_t	C (°Brix _t)		
0	4,6410	4,6410	8,9250	50,0000	H_0 0,9296
20	4,2597	3,7787	12,4000	50,3000	0,8301
40	4,3143	3,3567	13,3000	49,6667	0,8096
60	4,1980	3,3407	14,9000	49,0000	0,7797
80	4,1263	3,0507	16,5333	48,4333	0,7502
100	4,5000	3,0853	18,4667	48,2667	0,7242
120	4,1190	2,8063	19,9333	47,8667	0,7146
140	4,3037	2,8223	20,6667	47,6333	0,7187

Cuadro 11. Valores experimentales del tratamiento de papaya en estado pintón, a una concentración de 60°Brix, temperatura de 45°C y C_0 8.6000.

TIEMPO (min)	MUESTRA REPRESENTATIVA			C_e (°Brix _t)	H_t
	P_0	P_t	C (°Brix _t)		
0	4,6880	4,6880	8,6000	60,0000	H_0 0,9177
20	4,5987	3,8320	10,8000	58,5667	0,8461
40	4,7353	3,6747	14,1000	58,0333	0,7977
60	4,6653	3,2330	15,1000	57,8667	0,7439
80	4,4513	3,0137	18,7667	57,4667	0,7402
100	4,6883	3,0347	19,9333	57,0000	0,7270
120	4,8540	3,0173	25,0333	55,8667	0,7264
140	4,7220	2,9477	27,0000	54,9000	0,6880

Cuadro 12. Valores experimentales del tratamiento de papaya en estado pintón, a una concentración de 70°Brix, temperatura de 45°C y C_0 9.2250.

TIEMPO (min)	MUESTRA REPRESENTATIVA			C_e (°Brix _t)	H_t
	P_0	P_t	C (°Brix _t)		
0	4,7317	4,7317	9,2250	70,0000	H_0 0,9215
20	4,6177	3,6823	12,7000	68,7667	0,7954
40	4,4443	3,1700	14,0000	68,4000	0,7844
60	4,4277	3,0423	14,9000	67,9000	0,7617
80	4,3717	2,5977	15,8667	67,7000	0,7227
100	4,3237	2,5453	17,7333	66,9000	0,7105
120	4,2863	2,4777	13,4333	66,2000	0,6937
140	4,5067	2,3040	21,4333	65,6667	0,6541

ANEXO 03.

Cuadro 13. Valores de pérdida de peso (M_t) a distintas concentraciones para el tratamiento de osmodeshidratación a una temperatura de 35°C en ambos estados.

Nº DE MUESTRA	TIEMPO (min)	M_t a 50°Brix		M_t a 60°Brix		M_t a 70°Brix	
		E.V.	E.P.	E.V.	E.P.	E.V.	E.P.
1	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	20	8.0141	10.6083	10.2675	5.3558	10.4289	6.7882
3	40	15.4410	19.4234	16.4280	15.9470	16.6762	20.7804
4	60	20.1617	21.4088	25.0861	19.3274	27.3173	26.3150
5	80	21.9162	23.5146	26.8354	24.5936	37.7260	30.9926
6	100	25.4577	27.5021	29.4789	26.7778	42.4077	32.9585
7	120	28.0817	30.4888	30.7025	31.8014	49.3195	34.0297
8	140	26.7910	29.8665	33.1730	32.0435	53.8837	40.8596

Cuadro 14. Valores de pérdida de peso (M_t) a distintas concentraciones para el tratamiento de osmodeshidratación a una temperatura de 45°C en ambos estados.

Nº DE MUESTRA	TIEMPO (min)	M_t a 50°Brix		M_t a 60°Brix		M_t a 70°Brix	
		E.V.	E.P.	E.V.	E.P.	E.V.	E.P.
1	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	20	15.5742	11.2920	27.4103	16.6715	13.1016	20.2555
3	40	21.8588	22.1973	33.4689	22.3990	16.9122	28.6732
4	60	27.2347	20.4224	38.8401	30.7016	22.0511	31.2881
5	80	27.3772	26.0683	43.6180	32.2974	25.0352	40.5795
6	100	29.7132	31.4370	47.6489	35.2720	26.1928	41.1302
7	120	30.2311	31.8686	51.5451	37.8382	28.2764	42.1961
8	140	31.0827	34.4203	51.1024	37.5759	31.3553	48.8757

Cuadro 15. Valores de pérdida de agua (M_{wt}) a distintas concentraciones para el tratamiento de osmodeshidratación a una temperatura de 35°C en ambos estados.

Nº DE MUESTRA	TIEMPO (min)	M_{wt} a 50°Brix		M_{wt} a 60°Brix		M_{wt} a 70°Brix	
		E.V.	E.P.	E.V.	E.P.	E.V.	E.P.
1	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	20	9.2980	19.3678	10.4446	9.8249	10.4289	13.4628
3	40	17.5260	28.1275	19.1911	20.8925	16.6762	26.0672
4	60	23.7655	29.8752	28.7540	24.3475	27.3173	33.2075
5	80	25.9914	32.2328	31.1153	30.0977	37.7260	38.5607
6	100	29.8282	35.7607	33.6537	33.1916	42.4077	40.7107
7	120	32.4422	38.6922	35.1288	37.6710	49.3195	44.1445
8	140	31.3857	38.9738	39.2861	38.0697	53.8837	50.5705

Cuadro 16. Valores de pérdida de agua (M_{wt}) a distintas concentraciones para el tratamiento de osmodeshidratación a una temperatura de 45°C en ambos estados.

Nº DE MUESTRA	TIEMPO (min)	M_{wt} a 50°Brix		M_{wt} a 60°Brix		M_{wt} a 70°Brix	
		E.V.	E.P.	E.V.	E.P.	E.V.	E.P.
1	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	20	22.0305	19.3249	33.6910	21.2674	20.8641	28.7219
3	40	29.0536	29.9697	42.2897	29.8699	24.6071	36.2008
4	60	35.1461	30.9159	47.5035	40.2229	29.9786	39.8146
5	80	36.2221	37.4964	53.5995	41.6610	33.9792	49.2090
6	100	38.8480	43.3094	57.7051	44.7132	35.2061	50.3281
7	120	40.5588	44.2763	61.4353	46.6216	36.9083	52.0557
8	140	41.4412	45.8309	62.3443	48.8254	42.0859	58.7128

Cuadro 17. Valores de ganancia de sólidos (M_{st}) a distintas concentraciones para el tratamiento de osmodeshidratación a una temperatura de 35°C en ambos estados.

Nº DE MUESTRA	TIEMPO (min)	M_{st} a 50°Brix		M_{st} a 60°Brix		M_{st} a 70°Brix	
		E.V.	E.P.	E.V.	E.P.	E.V.	E.P.
1	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	20	1.2839	8.7595	0.1771	4.4691	4.4471	6.6746
3	40	2.0850	8.7041	2.7631	4.9455	4.9245	5.2868
4	60	3.6038	8.4664	3.6679	5.0200	5.0772	6.8925
5	80	4.0752	8.7181	4.2798	5.5042	5.7160	7.5680
6	100	4.3705	8.2586	4.1748	6.4138	5.8375	7.7523
7	120	4.3604	8.2034	4.4263	5.8696	5.4763	10.1149
8	140	4.5948	9.1073	6.1131	6.0262	5.2338	9.7109

Cuadro 18. Valores de ganancia de sólidos (M_{st}) a distintas concentraciones para el tratamiento de osmodeshidratación a una temperatura de 45°C en ambos estados.

Nº DE MUESTRA	TIEMPO (min)	M_{st} a 50°Brix		M_{st} a 60°Brix		M_{st} a 70°Brix	
		E.V.	E.P.	E.V.	E.P.	E.V.	E.P.
1	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	20	6.4563	8.0329	6.2807	4.5959	7.7625	8.4663
3	40	7.1948	7.7724	8.8208	7.4709	7.6949	7.5276
4	60	7.9114	10.4934	8.6634	9.5212	7.9275	8.5265
5	80	8.8450	11.4280	9.9815	9.3636	8.9439	8.6295
6	100	9.1348	11.8724	10.0562	9.4413	9.0133	9.1979
7	120	10.3276	12.4078	9.8902	8.7833	8.6320	9.8596
8	140	10.3586	11.4107	11.2418	11.2495	10.7305	9.8371



ANEXO 04.

Cuadro 19. Análisis de varianza para la pérdida de peso de la papaya en estado verde.

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado medio	F Calculado	Probabilidad de significancia	significación
A: Concentración	59.6255	1	59.6255	129.05	0.0000	**
B: Temperatura	11.9901	1	11.9901	206.73	0.0014	**
AA	18.2877	1	18.2877	315.31	0.0004	**
AB	49.0376	1	49.0376	106.13	0.0000	**
BB	10.8875	1	10.8875	23.56	0.0018	**
Error Total	3.24435	7	0.46205			
Total	149.823	12				
R ² (%)	97.84					
C.V. (%)	16.02					

Valor Optimo = 38.6352

Factor	Inferior	Mayor	Óptimo
Concentración	45.8579°Brix	74.1421°Brix	74.1421°Brix
Temperatura	32.9289°C	47.0711°C	32.9289°C

Cuadro 20. Análisis de varianza para la pérdida de peso de la papaya en estado pintón.

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado medio	F Calculado	Probabilidad de significancia	significación
A: Concentración	76,0719	1	76,0719	14.03	0,0072	**
B: Temperatura	5,32208	1	5,32208	0.98	0,3548	NS
AA	20,1273	1	20,1273	3.71	0,0954	*
AB	8,04469	1	8,04469	1.48	0,2627	NS
BB	3,30941	1	3,30941	0.61	0,4603	NS
Error Total	37.9554	7	5.4222			
Total	149,07	12				
R ² (%)	74.54					
C.V. (%)	15.93					

Valor Optimo = 33,7821

Factor	Inferior	Mayor	Óptimo
Concentración	45.8579°Brix	74.1421°Brix	74.1421°Brix
Temperatura	32.9289°C	47.0711°C	47.0711°C



Cuadro 21. Análisis de varianza para la pérdida de agua en la papaya en estado verde.

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado medio	F Calculado	Probabilidad de significancia	significación
A: Concentración	82,8488	1	82,8488	203.56	0,0000	**
B: Temperatura	4,98949	1	4,98949	12.26	0,0100	**
AA	162,883	1	162,883	400.21	0,0000	**
AB	59,9703	1	59,9703	147.35	0,0000	**
BB	11,3801	1	11,3801	27.96	0,0011	**
Error Total	2.84896	7	0,406994			
Total	316,511	12				
R ² (%)	99.10					
C.V. (%)	19.74					

Valor Optimo = 45,6719

Factor	Inferior	Mayor	Óptimo
Concentración	45.8579°Brix	74.1421°Brix	74.1421°Brix
Temperatura	32.9289°C	47.0711°C	32.9289°C

Cuadro 22. Análisis de varianza para la pérdida de agua en la papaya en estado pintón.

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado medio	F Calculado	Probabilidad de significancia	significación
A: Concentración	108,823	1	108,823	20.15	0,0028	**
B: Temperatura	29,0822	1	29,0822	5.38	0,0534	*
AA	157,48	1	157,48	29.16	0,0010	**
AB	6,32095	1	6,32095	1.17	0,3152	NS
BB	48,8969	1	48,8969	9.05	0,0197	*
Error Puro	0,025	7	5.40138			
Total	368,696	12				
R ² (%)	89.75					
C.V. (%)	19.86					

Valor Optimo = 48,5968

Factor	Inferior	Mayor	Óptimo
Concentración	45.8579°Brix	74.1421°Brix	74.1421°Brix
Temperatura	32.9289°C	47.0711°C	47.0711°C

Cuadro 23. Análisis de varianza para la ganancia de sólidos de la papaya en estado verde.

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado medio	F Calculado	Probabilidad de significancia	significación
A: Concentración	0,51737	1	0,51737	1.13	0,3221	NS
B: Temperatura	12,867	1	12,867	28.23	0,0011	**
AA	2,7322	1	2,7322	5.99	0,0442	*
AB	0,550119	1	0,550119	1.21	0,3083	NS
BB	0,0539922	1	0,0539922	0.12	0,7408	NS
Error Total	3.19102	7	0.45586			
Total	19,858	12				
R ² (%)	83.93					
C.V. (%)	24.26					

Valor Optimo = 8,46846

Factor	Inferior	Mayor	Óptimo
Concentración	45.8579°Brix	74.1421°Brix	45,8579°Brix
Temperatura	32.9289°C	47.0711°C	47.0711°C

Cuadro 24. Análisis de varianza para la ganancia de sólidos de la papaya en estado pintón.

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado medio	F Calculado	Probabilidad de significancia	significación
A: Concentración	0,049483	1	0,049483	0.11	0,7493	NS
B: Temperatura	4.61562	1	4.61562	10.31	0,0148	*
AA	0.395802	1	0.395802	0.88	0,3.784	NS
AB	0.105365	1	0.105365	0.24	0,6424	NS
BB	0,056777	1	0,056777	0.13	0,7322	NS
Error Total	3.13333	7	0.447619			
Total	8.404	12				
R ² (%)	62.75					
C.V. (%)	11.21					

Valor Optimo = 8,90833

Factor	Inferior	Mayor	Óptimo
Concentración	45.8579°Brix	74.1421°Brix	53,5714°Brix
Temperatura	32.9289°C	47.0711°C	47.0711°C

ANEXO 05.

Pasos para calcular la difusividad efectiva de sacarosa en la papaya utilizando la segunda Ley de Fick para geometría de placa y tiempos largos.

Para hallar la difusividad efectiva de sacarosa se utiliza la ecuación (11), como señala (Dandamrongrak et al., 2002).

$$\frac{C - C_e}{C_o - C_e} = \frac{8}{f^2} \exp\left(-\frac{f^2 D_e t}{L^2}\right)$$

A partir de la forma lineal de la ecuación 11, se obtiene:

$$\ln\left[\frac{C - C_e}{C_o - C_e}\right] = \ln\left(\frac{8}{f^2}\right) - \left(\frac{f^2 D_e t}{L^2}\right)$$

Siendo:

$$K = \frac{C - C_e}{C_i - C_e}$$

A = Coeficiente angular =

$$\frac{f^2 D_e}{L^2}$$

B = Coeficiente Lineal =

$$\ln\left(\frac{8}{f^2}\right)$$

ANEXO 06.

Cuadro 25. Valores promedio de Difusividad Efectiva de sacarosa en la papaya en estado verde.

CONCENTRACIÓN (°Brix)	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO (min)	D_e SACAROSA (m ² /s)
50	35	20	4,90704E-07
		40	2,04827E-07
		60	1,31698E-07
		80	1,0051E-07
		100	7,46924E-08
		120	6,18612E-08
		140	4,91193E-08
	45	20	9,2504E-07
		40	4,3005E-07
		60	2,8402E-07
		80	2,0881E-07
		100	1,6111E-07
		120	1,3287E-07
		140	1,1287E-07
60	35	20	1,0772E-06
		40	5,1450E-07
		60	3,3395E-07
		80	2,4570E-07
		100	1,8594E-07
		120	1,5214E-07
		140	1,2669E-07
	45	20	1,0772E-06
		40	4,9916E-07
		60	3,1542E-07
		80	2,1937E-07
		100	1,7078E-07
		120	1,4162E-07
		140	1,1188E-07
70	35	20	1,2203E-06
		40	5,8552E-07
		60	3,8392E-07
		80	2,7954E-07
		100	2,1977E-07
		120	1,7964E-07
		140	1,5110E-07
	45	20	1,2140E-06
		40	5,8477E-07
		60	3,8085E-07
		80	2,7978E-07
		100	2,1748E-07
		120	1,7087E-07
		140	1,4369E-07

Cuadro 26. Valores promedio de Difusividad Efectiva de sacarosa en la papaya en estado pintón.

CONCENTRACIÓN (°Brix)	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO (min)	D_e SACAROSA (m ² /s)
50	35	20	9,1047E-07
		40	4,4232E-07
		60	2,8666E-07
		80	2,1128E-07
		100	1,6415E-07
		120	1,3208E-07
		140	1,1061E-07
	45	20	9,1605E-07
		40	4,4146E-07
		60	2,8820E-07
		80	2,0955E-07
		100	1,6253E-07
		120	1,3149E-07
		140	1,0960E-07
60	35	20	1,0521E-06
		40	5,1469E-07
		60	3,3299E-07
		80	2,4413E-07
		100	1,9062E-07
		120	1,5657E-07
		140	1,3031E-07
	45	20	1,0593E-06
		40	5,0762E-07
		60	3,2398E-07
		80	2,3966E-07
		100	1,8162E-07
		120	1,4331E-07
		140	1,1745E-07
70	35	20	1,2020E-06
		40	5,7548E-07
		60	3,6641E-07
		80	2,6577E-07
		100	2,0845E-07
		120	1,6942E-07
		140	1,4094E-07
	45	20	1,2028E-06
		40	5,7323E-07
		60	3,7556E-07
		80	2,7653E-07
		100	2,2023E-07
		120	1,7711E-07
		140	1,4699E-07

ANEXO 07.

Cuadro 27. Valores de Difusividad Efectiva de sacarosa en la papaya de estado verde resultado de la regresión lineal.

CONCENTRACIÓN	TEMPERATURA	TIEMPO	LnK	L^2	D_e
50	35	20	-0.239279	0.0004	2.0264E-08
		40	-0.228736		
		60	-0.214363		
		80	-0.207034		
		100	-0.194994		
		120	-0.181048		
		140	-0.172068		
	45	20	-0.24646938		2.0264E-08
		40	-0.21442541		
		60	-0.21045557		
		80	-0.20214715		
		100	-0.1874948		
		120	-0.18337839		
		140	-0.17987349		
60	35	20	-0.32156577	0.0004	3.2423E-08
		40	-0.29776619		
		60	-0.28436846		
		80	-0.27497242		
		100	-0.24875837		
		120	-0.24043478		
		140	-0.22762274		
	45	20	-0.32156577		4.4581E-08
		40	-0.28262829		
		60	-0.25694303		
		80	-0.22300513		
		100	-0.21135304		
		120	-0.20928846		
		140	-0.17644964		
70	35	20	-0.39217202	0.0004	2.4317E-08
		40	-0.36786182		
		60	-0.35834867		
		80	-0.34176259		
		100	-0.33224894		
		120	-0.32187238		
		140	-0.31194069		
	45	20	-0.38904905		3.6475E-08
		40	-0.36711983		
		60	-0.35380579		
		80	-0.34224992		
		100	-0.3265823		
		120	-0.29589341		
		140	-0.28634036		

Cuadro 28. Valores de Difusividad Efectiva de sacarosa en la papaya de estado pintón resultado de la regresión lineal.

CONCENTRACIÓN	TEMPERATURA	TIEMPO	LnK	L^2	D_e
50	35	20	-0.23927933	0.0004	2.4317E-08
		40	-0.22873619		
		60	-0.2143634		
		80	-0.20703385		
		100	-0.19499397		
		120	-0.18104848		
		140	-0.17206805		
	45	20	-0.24203073		2.4317E-08
		40	-0.22101363		
		60	-0.21222321		
		80	-0.20361638		
		100	-0.19100743		
		120	-0.1793147		
		140	-0.16856982		
60	35	20	-0.30919018	0.0004	2.4317E-08
		40	-0.29795674		
		60	-0.28294834		
		80	-0.27187757		
		100	-0.260327		
		120	-0.25357098		
		140	-0.2401333		
	45	20	-0.31272306		3.6475E-08
		40	-0.29097619		
		60	-0.26961661		
		80	-0.26304955		
		100	-0.23974183		
		120	-0.23351743		
		140	-0.19570853		
70	35	20	-0.38316706	0.0004	3.6475E-08
		40	-0.35795104		
		60	-0.3324324		
		80	-0.31459172		
		100	-0.30431281		
		120	-0.29162005		
		140	-0.27682353		
	45	20	-0.38356027		2.4317E-08
		40	-0.3557347		
		60	-0.34597965		
		80	-0.33582415		
		100	-0.33084005		
		120	-0.31437009		
		140	-0.2977212		

ANEXO 08.

Cuadro 29. Análisis de varianza para la Difusividad Efectiva de sacarosa en la papaya en estado verde.

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado medio	F Calculado	Probabilidad de significancia	significación
A: Concentración	2,02832E-16	1	2,02832E-16	1108,37	0,0000	**
B: Temperatura	5,60102E-17	1	5,60102E-17	306,07	0,0001	**
AA	1,02912E-18	1	1,02912E-18	5,62	0,0767	*
AB	3,69542E-17	1	3,69542E-17	201,94	0,0001	**
BB	2,8818E-18	1	2,8818E-18	15,75	0,0166	*
Error Puro	7,32E-19	7	1,83E-19			
Total	3,09381E-16	12				
R ² (%)	100					
C.V. (%)	19.57					

Valor Optimo = 4,43055E-8 De.

Factor	Inferior	Mayor	Óptimo
Concentración	45,8579 °Brix	74,1421 °Brix	74,1421°Brix
Temperatura	32,9289 °C	47,0711 °C	47,0711 °C

Cuadro 30. Análisis de varianza para la Difusividad Efectiva de sacarosa en la papaya en estado pintón.

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado medio	F Calculado	Probabilidad de significancia	significación
A: Concentración	2,52557E-17	1	2,52557E-17	128,20	0,0003	**
B: Temperatura	2,13859E-17	1	2,13859E-17	108,56	0,0005	**
AA	5,08995E-18	1	5,08995E-18	25,84	0,0071	**
AB	3,69542E-17	1	3,69542E-17	187,58	0,0002	**
BB	3,28593E-17	1	3,28593E-17	166,80	0,0002	**
Error Puro	7,88E-19	4	1,97E-19			
Total	1,64379E-16	12				
R ² (%)	100					
C.V. (%)	14.95					

Valor Optimo = 3,98625E-8 De.

Factor	Inferior	Mayor	Óptimo
Concentración	45,8579°Brix	74,1421°Brix	74,1421°Brix
Temperatura	32,9289°C	47,0711°C	32,9289°C

ANEXO 09.**MANUAL DEL FUNCIONAMIENTO DEL MÓDULO DE
OSMODESHIDRATACIÓN**

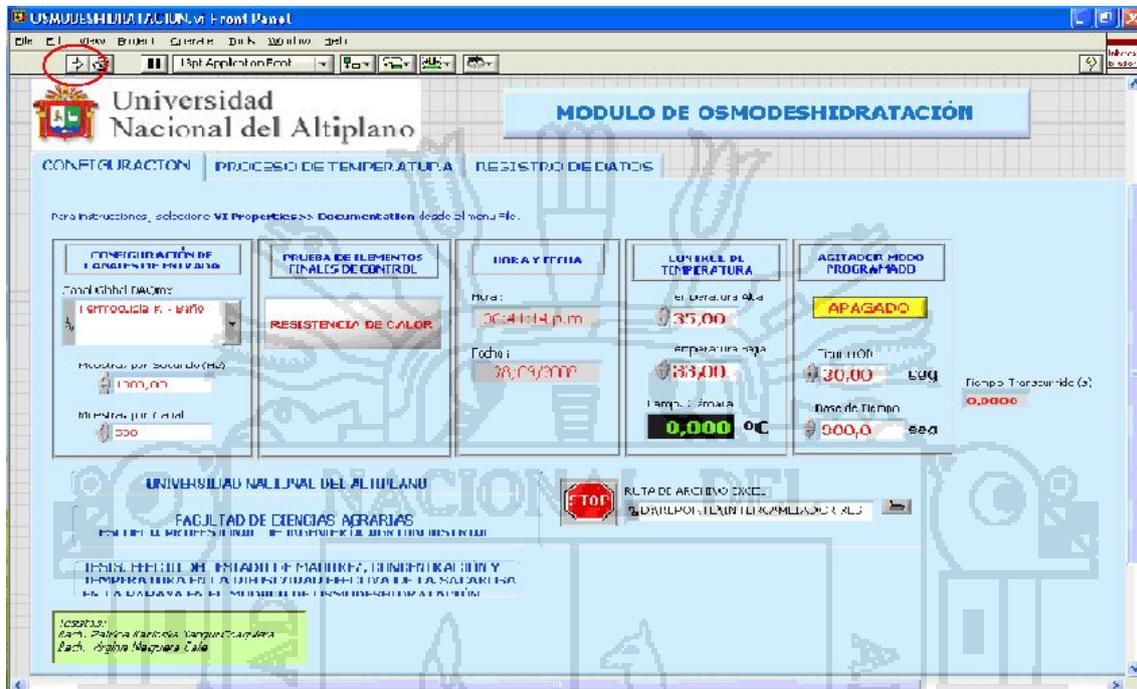
El presente manual permite conocer el funcionamiento del programa de osmodeshidratación.

El módulo de osmodeshidratación de alimentos es un sistema que se utiliza en la Agroindustria para realizar experimentos de difusión de una solución hipertónica, bajo ciertas condiciones de temperatura y agitación, aplicada a frutas y vegetales, de tal forma que se pueda obtener datos importantes para el interesado.

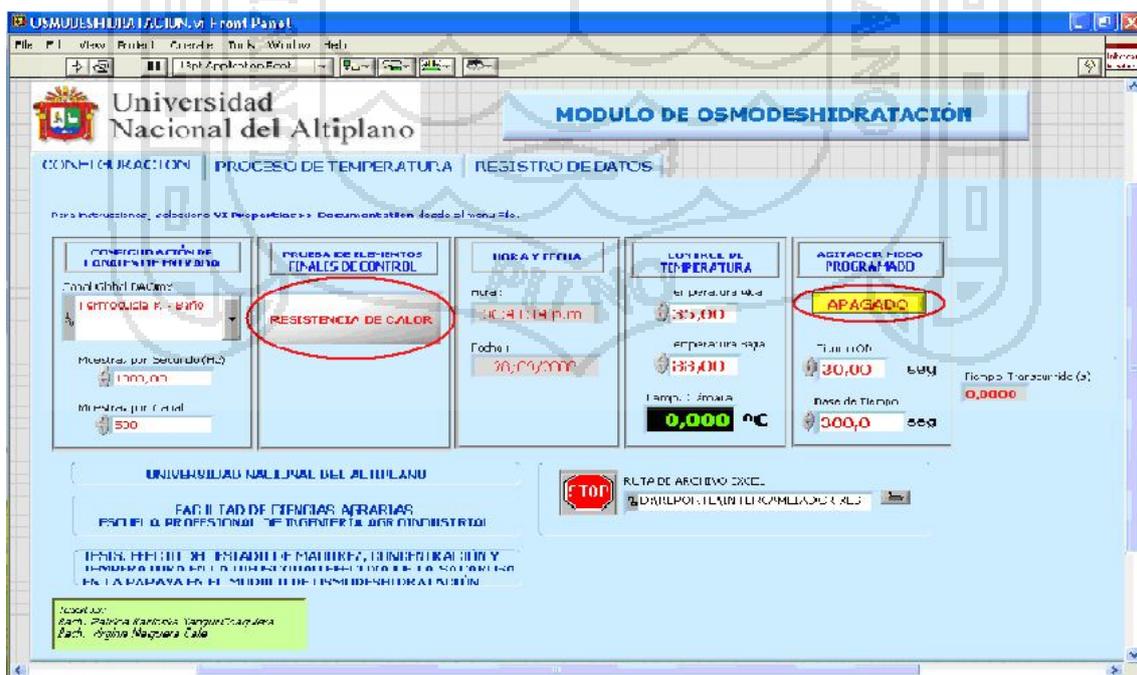


“PROGRAMA PARA EL MONITOREO DEL EQUIPO DE OSMODESHIDRATACIÓN”

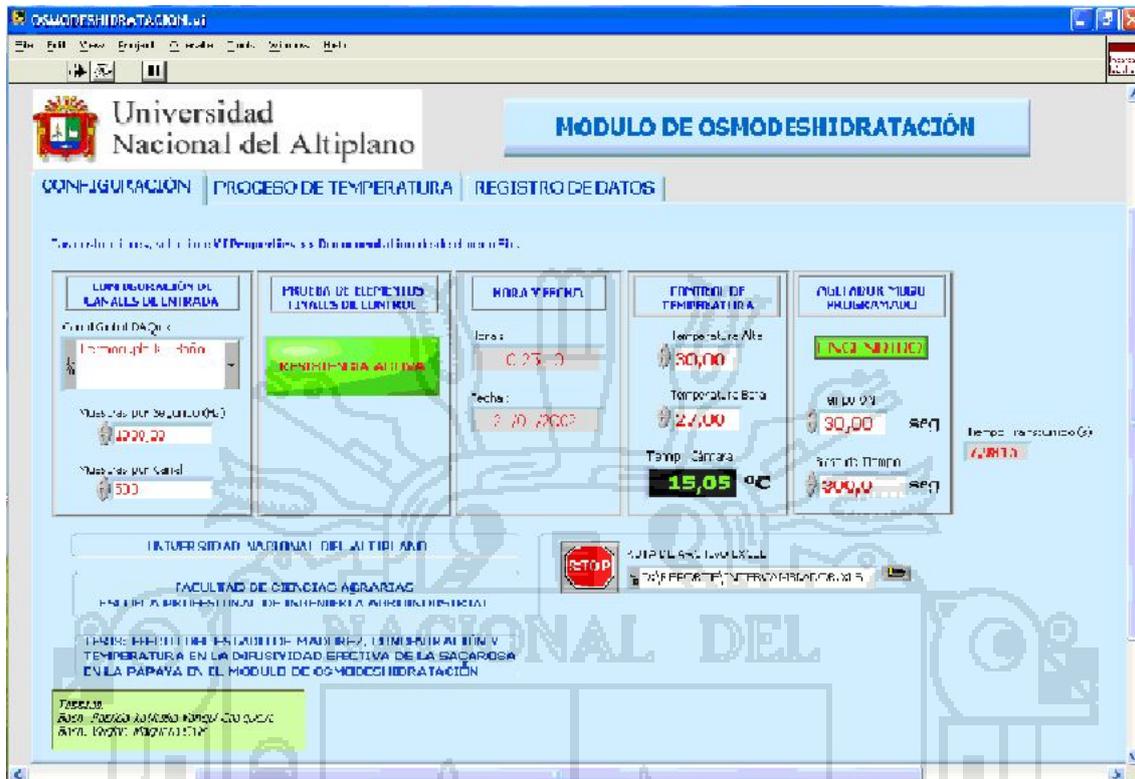
Luego de abrir el programa se observa la siguiente ventana en ella, realizar un clic en el área indicada con círculo rojo, esto es para que de inicio.



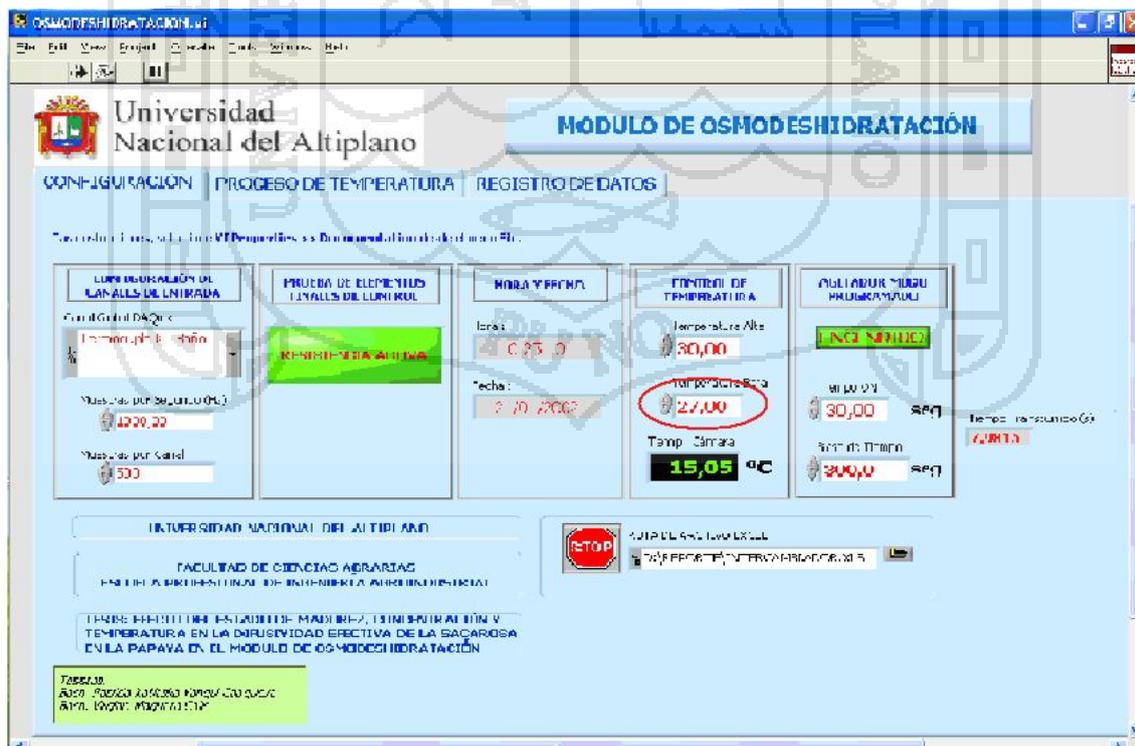
Seguidamente realizar clic en las áreas indicadas para de este modo activar la resistencia y el agitador.



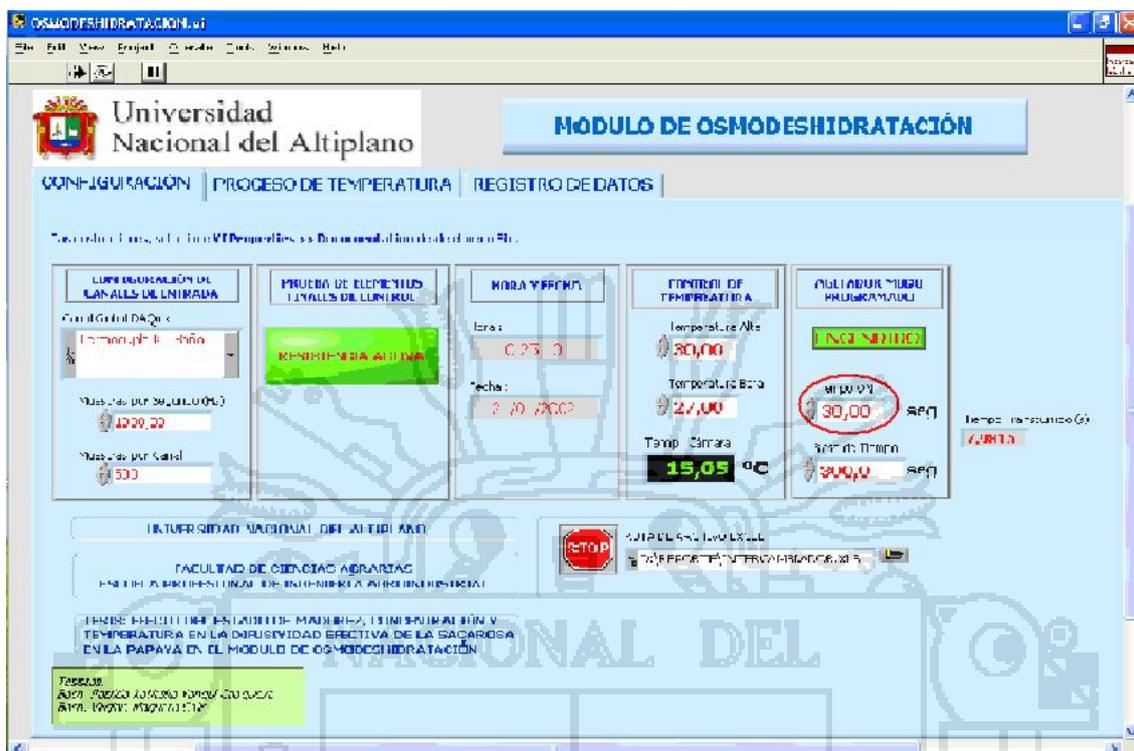
Ahora se puede apreciar que tanto la resistencia como el agitador se encuentran activados.



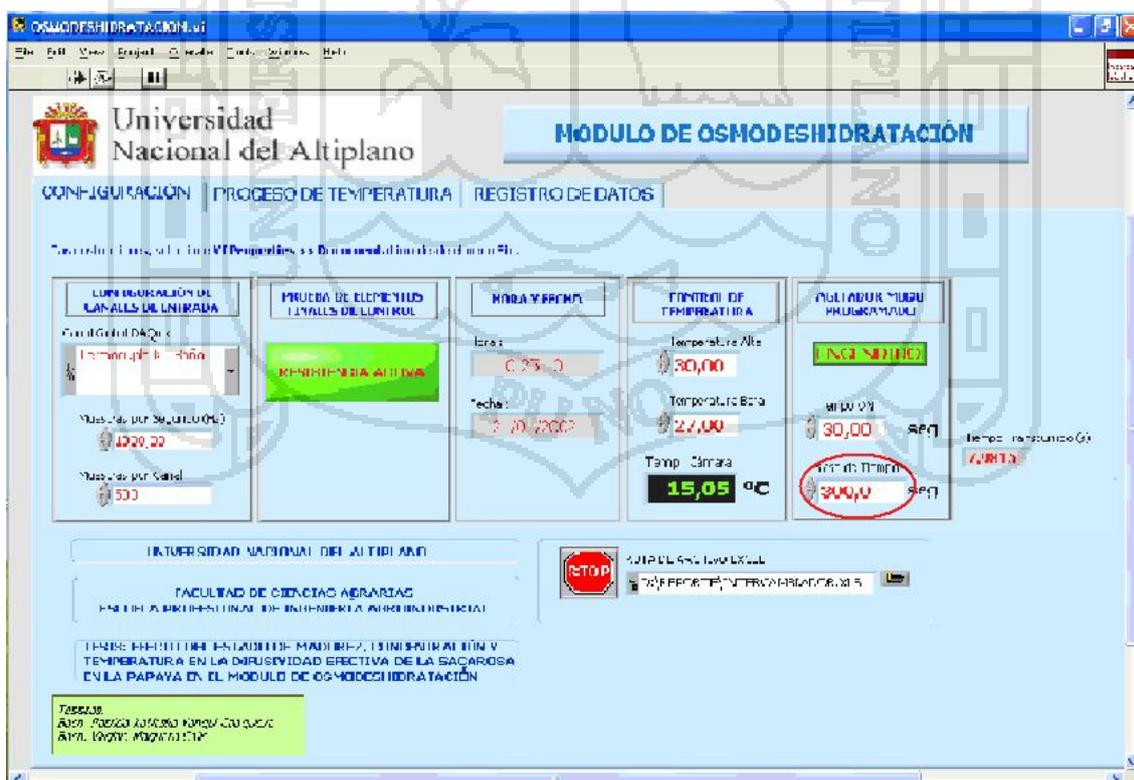
Para programar la temperatura de la solución hipertónica a la cual se desea trabajar, se deben insertar dos temperaturas una mínima y otra máxima esto es para q se active e inactive la resistencia, los datos se colocan en el área marcada.



Para establecer el tiempo requerido de agitación en el sistema se debe colocar el tiempo en el área indicada.



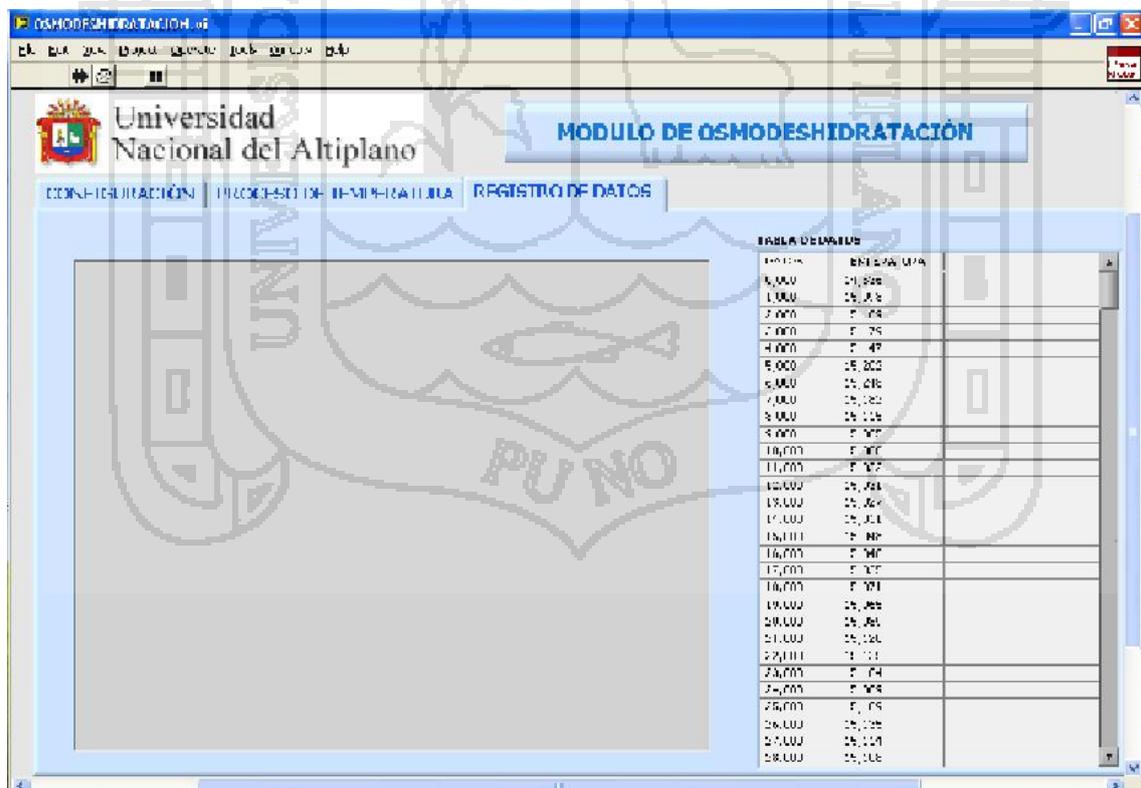
Para establecer el intervalo de tiempo que se requiera para la agitación se debe colocar en el área indicada.



Para verificar el registro de datos de la temperatura que va adquiriendo la solución hipertónica a medida que pasa el tiempo, es haciendo clic en:



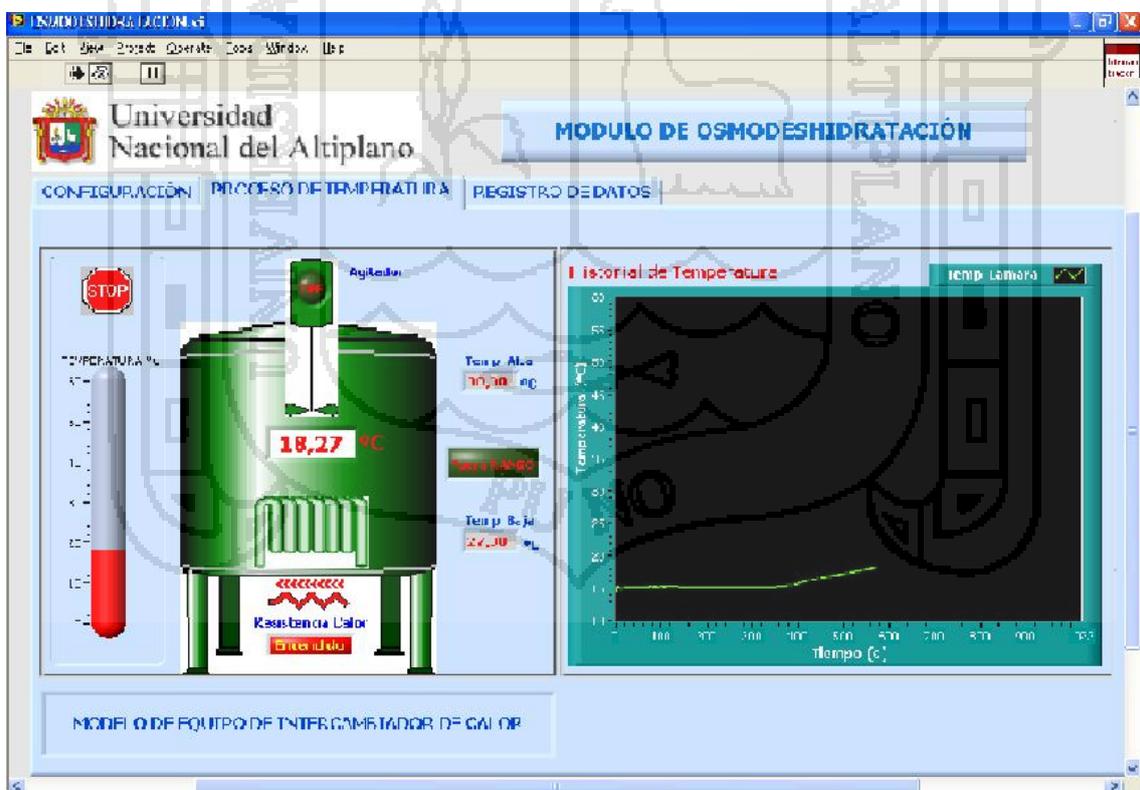
Seguidamente en la ventana se presenta el registro de datos del incremento de la temperatura a medida que transcurre el tiempo.



Para poder observar gráficamente el comportamiento de la temperatura respecto al tiempo, realizar un clic en:



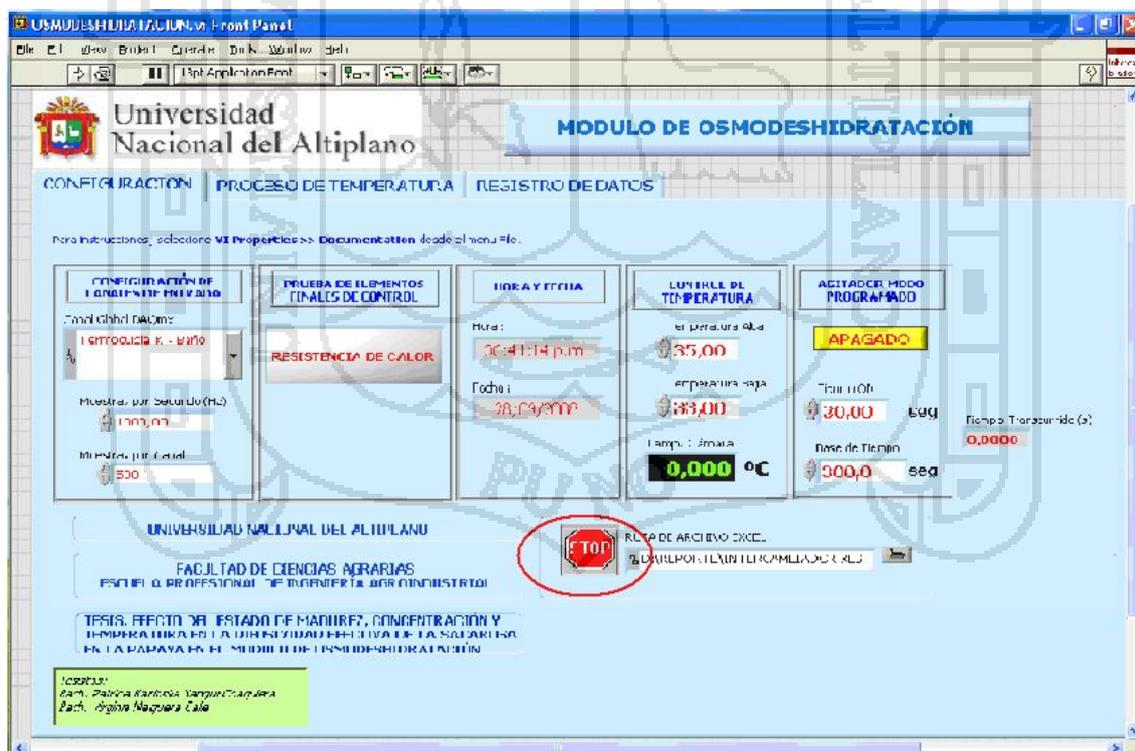
Aquí se puede observar gráficamente el comportamiento de la temperatura.



Para detener el sistema nos ubicamos en:



Finalmente, hacemos clic en:



APÉNDICE



APENDICE 01.

Cuadro 01. Datos obtenidos en la matriz de diseño experimental para la pérdida de peso (M_t) de la papaya en ambos estados.

TRAT.	FACTORES NATURALES		VARIABLES CODIFICABLES		VARIABLES DE RESPUESTA	
	X ₁	X ₂	CONCENTRACIÓN	T°	M _t E.V.	M _t E.P.
1	-1	-1	50	35	18,2329194	20,3515715
2	+1	-1	70	35	29,7198968	24,0905031
3	-1	+1	50	45	22,8839749	22,2132413
4	+1	+1	70	45	20,3655796	31,6248049
5	-1.414	0	45,8579	40	19,3546132	18,4498797
6	+1.414	0	74,1421	40	28,4563763	26,5949151
7	0	-1.414	60	32,9289	24,9646319	21,5149541
8	0	+1.414	60	47,0711	21,3649821	19,4849448
9	0	0	60	40	20,1354684	20,8498975
10	0	0	60	40	20,2354684	20,7498975
11	0	0	60	40	20,4354684	20,6498975
12	0	0	60	40	20,6354684	20,5498975
13	0	0	60	40	20,0354684	20,4498985

T : Temperatura.

E.V. : Papaya en estado verde.

E.P. : Papaya en estado pintón.

Cuadro 02. Datos obtenidos en la matriz de diseño experimental para la pérdida de agua (M_{wt}) de la papaya en ambos estados.

TRAT.	FACTORES NATURALES		VARIABLES CODIFICABLES		VARIABLES DE RESPUESTA	
	X ₁	X ₂	CONCENTRACIÓN	T°	M _{wt} E.V.	M _{wt} E.P.
1	-1	-1	50	35	21,2796	27,8788
2	+1	-1	70	35	34,3089	30,8405
3	-1	+1	50	45	30,4125	31,3904
4	+1	+1	70	45	27,9537	39,3804
5	-1.414	0	45,8579	40	26,4578	24,6968
6	+1.414	0	74,1421	40	37,1876	37,8164
7	0	-1.414	60	32,9289	23,4514	25,9113
8	0	+1.414	60	47,0711	25,9547	28,1752
9	0	0	60	40	22,1579	23,4521
10	0	0	60	40	22,2079	23,4021
11	0	0	60	40	22,2579	23,3521
12	0	0	60	40	22,3079	23,3021
13	0	0	60	40	22,3579	23,2521

T : Temperatura.

E.V. : Papaya en estado verde.

E.P. : Papaya en estado pintón.

Cuadro 03. Datos obtenidos en la matriz de diseño experimental para la ganancia de sólidos (M_{wt}) de la papaya en ambos estados.

TRAT.	FACTORES NATURALES		VARIABLES CODIFICABLES		VARIABLES DE RESPUESTA	
	X ₁	X ₂	CONCENTRACIÓN	T°	M _{wt} E.V.	M _{wt} E.P.
1	-1	-1	50	35	3,0467	7,5272
2	+1	-1	70	35	4,589	6,75
3	-1	+1	50	45	7,5286	9,1772
4	+1	+1	70	45	7,5881	7,7556
5	-1.414	0	45,8579	40	5,8542	6,1256
6	+1.414	0	74,1421	40	6,1597	7,2321
7	0	-1.414	60	32,9289	3,9874	6,1254
8	0	+1.414	60	47,0711	5,8721	8,5478
9	0	0	60	40	4,9635	7,6539
10	0	0	60	40	4,9135	7,6039
11	0	0	60	40	4,8635	7,5539
12	0	0	60	40	4,8135	7,5039
13	0	0	60	40	4,7635	7,4539

T : Temperatura.

E.V. : Papaya en estado verde.

E.P. : Papaya en estado pintón.

Cuadro 04. Datos obtenidos en la matriz de diseño experimental para la Difusividad Efectiva (De) de la sacarosa en la papaya en ambos estados.

TRAT.	FACTORES NATURALES		VARIABLES CODIFICABLES		VARIABLES DE RESPUESTA	
	X ₁	X ₂	CONCENTRACIÓN	T°	De E.V.	De E.P.
1	-1	-1	50	35	2,0264E-08	2,4317E-08
2	+1	-1	70	35	2,4317E-08	3,6475E-08
3	-1	+1	50	45	2,0264E-08	2,4317E-08
4	+1	+1	70	45	3,6475E-08	2,4317E-08
5	-1.414	0	45,8579	40	2,0004E-08	2,2458E-08
6	+1.414	0	74,1421	40	3,4159E-08	2,3912E-08
7	0	-1.414	60	32,9289	2,4414E-08	2,6147E-08
8	0	+1.414	60	47,0711	3,0785E-08	2,5495E-08
9	0	0	60	40	2,5847E-08	2,3481E-08
10	0	0	60	40	2,5547E-08	2,3181E-08
11	0	0	60	40	2,5347E-08	2,2881E-08
12	0	0	60	40	2,5047E-08	2,2581E-08
13	0	0	60	40	2,4747E-08	2,2381E-08

T : Temperatura.

E.V. : Papaya en estado verde.

E.P. : Papaya en estado pintón.

Los siguientes gráficos representan la variación de pérdida de peso, pérdida de agua, y ganancia de sólidos en relación a las concentraciones, temperatura y tiempo.

Grafico 21. Perdida de peso a 35°C en dos estados (verde y pintón).

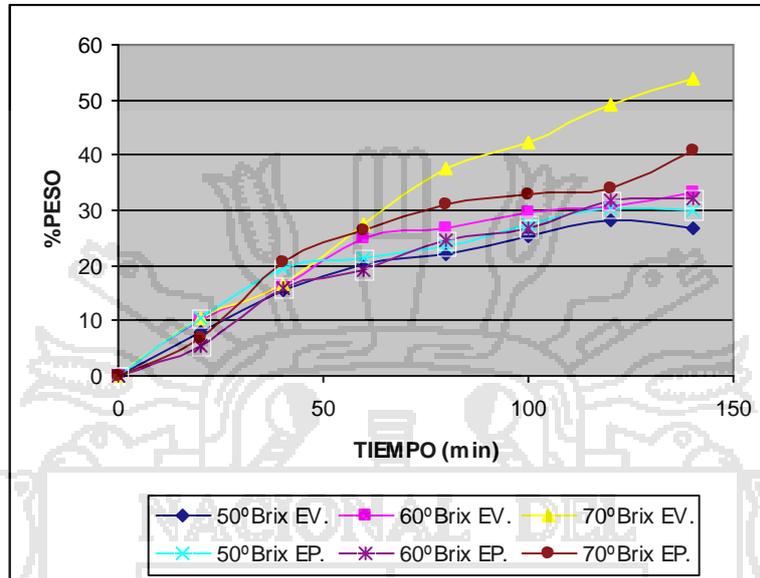


Grafico 22. Perdida de peso a 45°C en dos estados (verde y pintón).

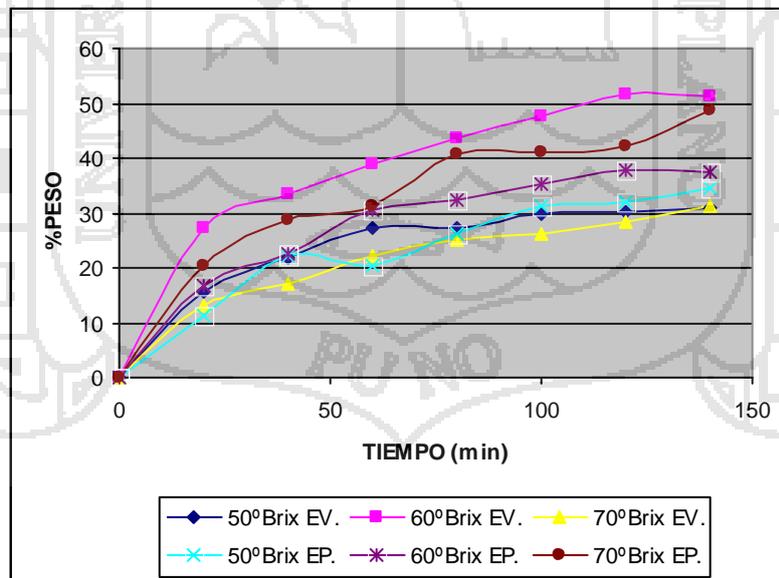


Grafico 23. Perdida de agua a 35°C en dos estados (verde y pintón).

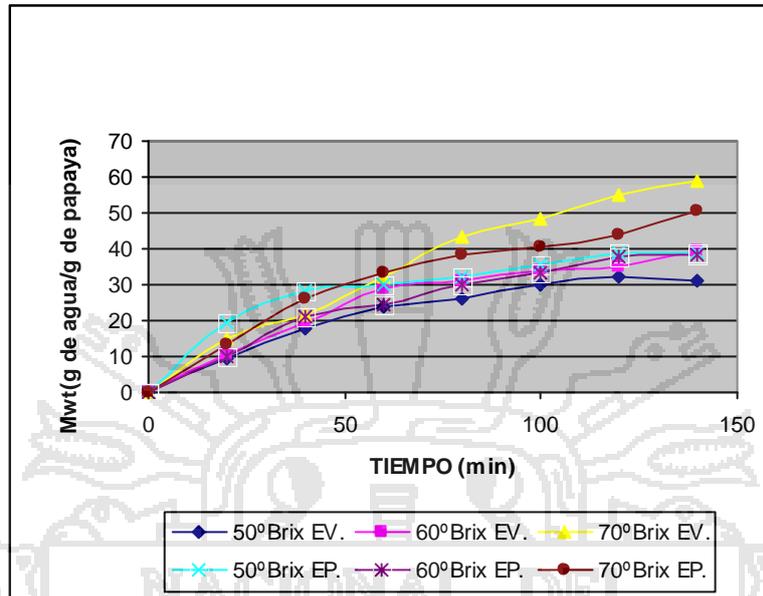


Grafico 24. Perdida de agua a 45°C en dos estados (verde y pintón).

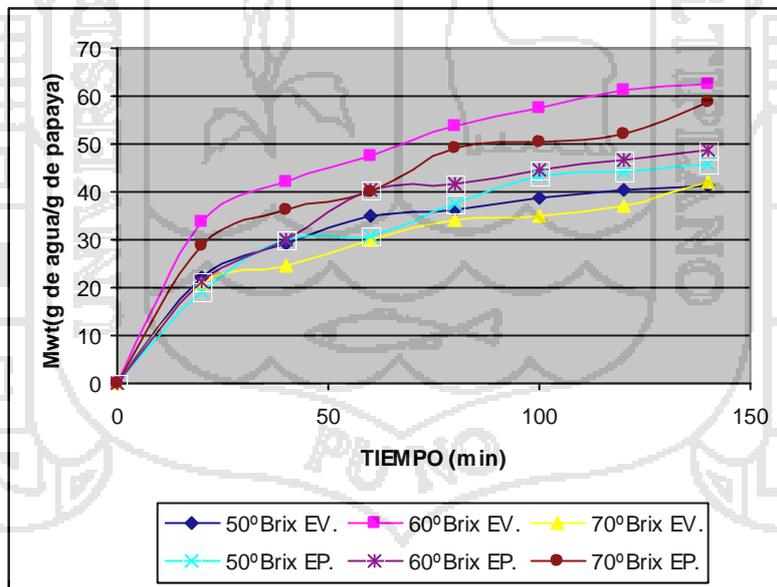


Grafico 25. Ganancia de sólidos a 35°C en dos estados (verde y pintón).

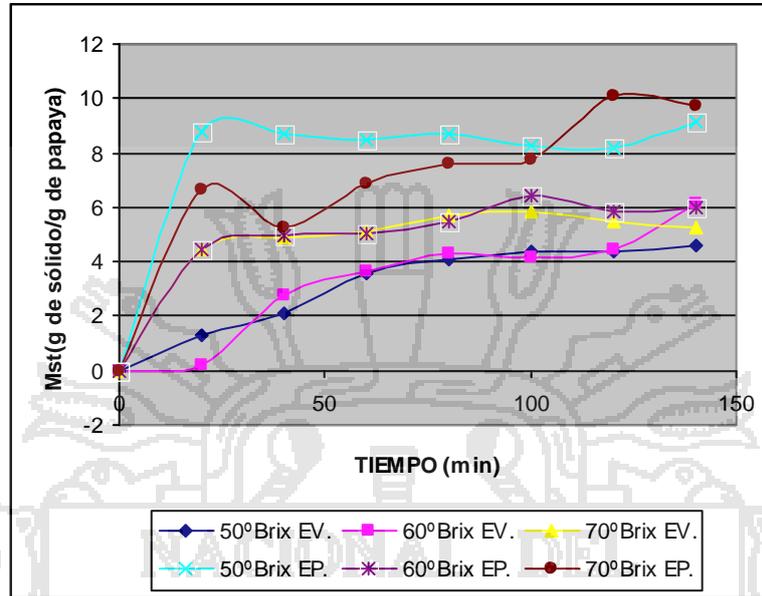
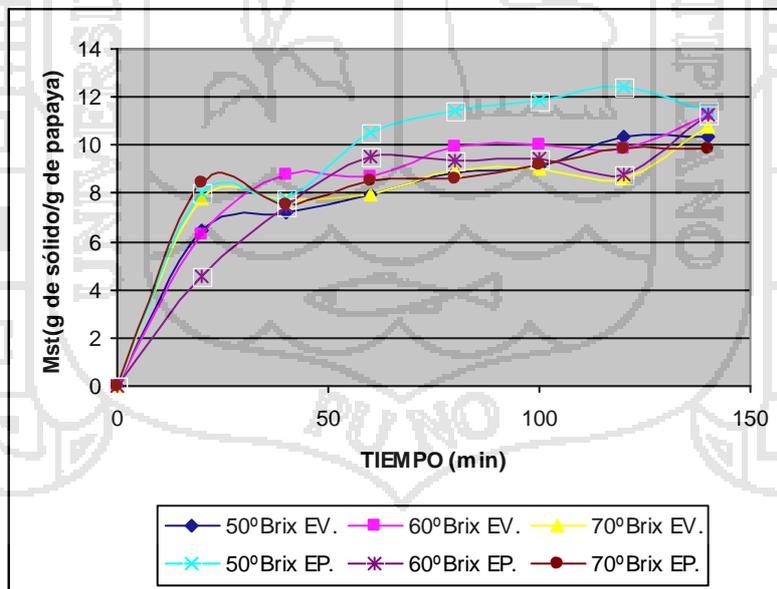


Grafico 26. Ganancia de sólidos a 45°C en dos estados (verde y pintón).



APENDICE 02.

Grafico 27. Determinación de la Difusividad Efectiva de sacarosa en la papaya a la temperatura de 35°C en estado verde mediante regresión lineal.

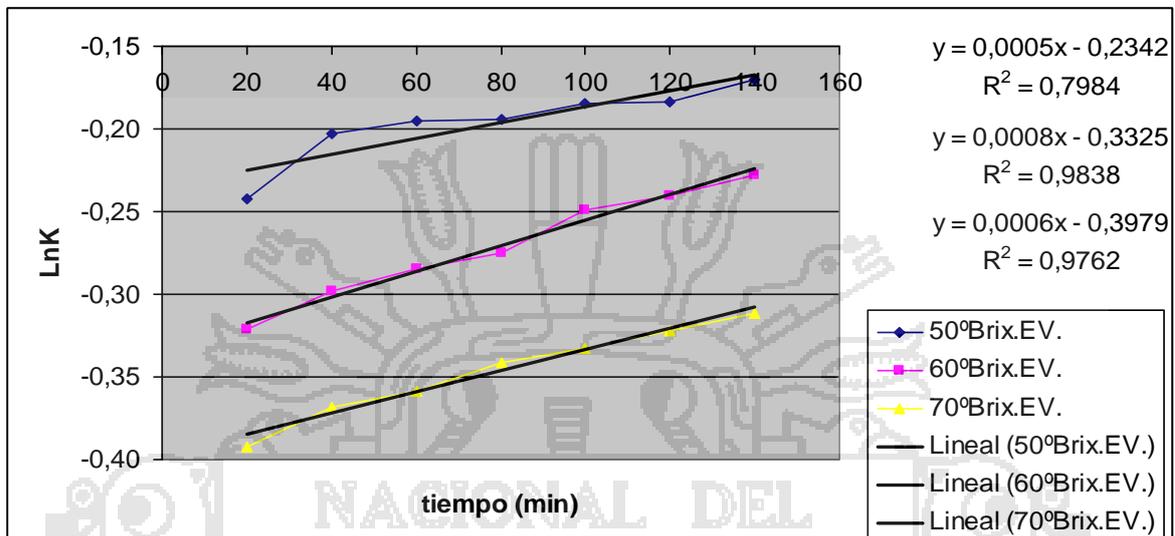


Grafico 28. Determinación de la Difusividad Efectiva de sacarosa en la papaya a la temperatura de 45°C en estado verde mediante regresión lineal.

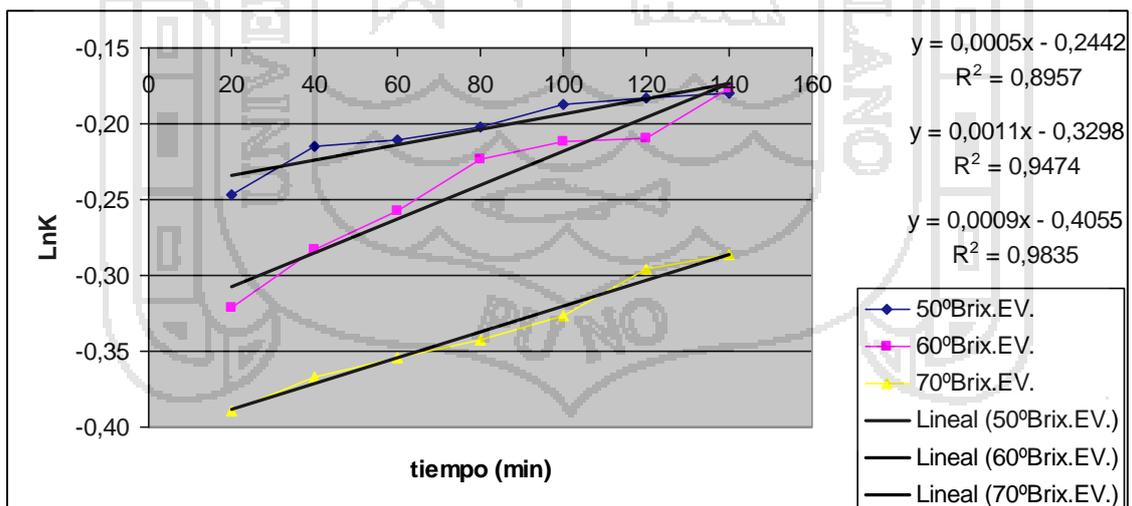


Grafico 29. Determinación de la Difusividad Efectiva de sacarosa en la papaya a la temperatura de 35°C en estado pintón mediante regresión lineal.

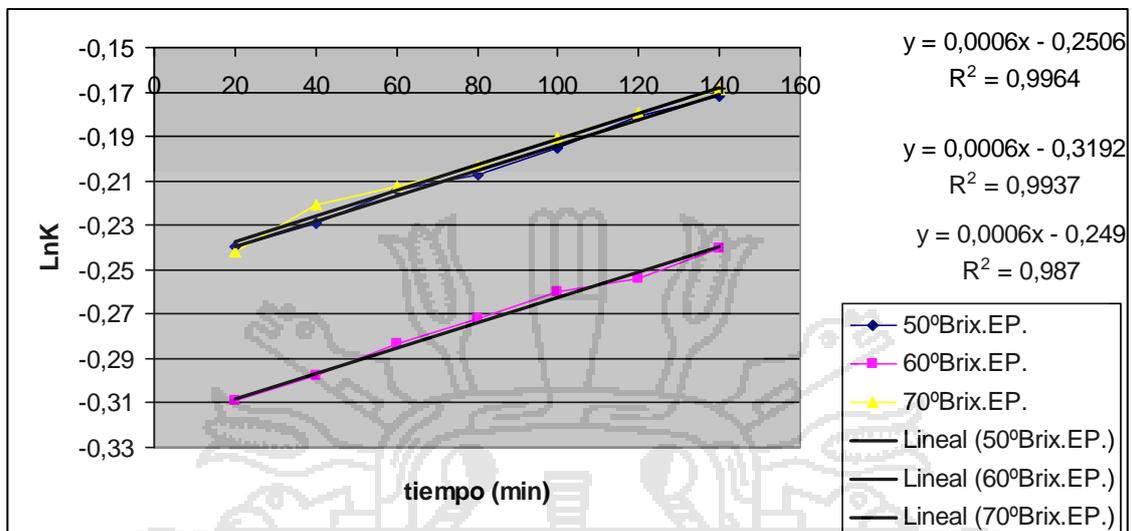


Grafico 30. Determinación de la Difusividad Efectiva de sacarosa en la papaya a la temperatura de 45°C en estado pintón mediante regresión lineal.

