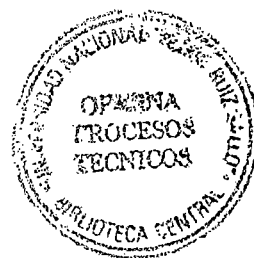


UNIVERSIDAD NACIONAL "PEDRO RUIZ GALLO"
OFICINA CENTRAL DE BIBLIOTECA
PROCESOS TÉCNICOS
Nº DE INGRESO:
CÓD. DE CLASIFICACIÓN:



UNIVERSIDAD NACIONAL "PEDRO RUIZ GALLO"



**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA E INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS**

**"MODELAMIENTO MATEMÁTICO PARA PREDECIR EL
COMPORTAMIENTO DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE LA PIÑA
MD2 (*Ananas comosus* variedad *Comosus*)"**

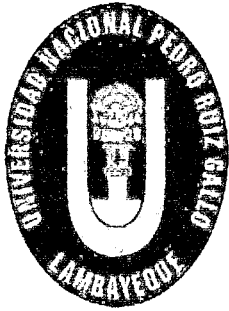
TESIS
PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

AUTORES: CARDOZA PISCOYA, JULIO CÉSAR
CUSTODIO NOLASCO, DEYWIN MICHAEL

ASESOR: Ing. M. Sc. JAIME CIEZA SÁNCHEZ

Lambayeque, Diciembre del 2015

UNIVERSIDAD NACIONAL "PEDRO RUIZ GALLO"
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
2015



**UNIVERSIDAD NACIONAL
"PEDRO RUIZ GALLO"**



**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA E INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS**

**"MODELAMIENTO MATEMÁTICO PARA PREDECIR EL
COMPORTAMIENTO DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE LA PIÑA
MD2 (*Ananas comosus* variedad *Comosus*)"**

**TESIS
PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO EN INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS**

AUTORES: CARDOZA PISCOYA, JULIO CESAR
CUSTODIO NOLASCO, DEYWIN MICHAEL

ASESOR : Ing. M. Sc, JAIME CIEZA SANCHEZ

Lambayeque, Diciembre del 2015



**UNIVERSIDAD NACIONAL
"PEDRO RUIZ GALLO"**



**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA E INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS**

TESIS

**"MODELAMIENTO MATEMÁTICO PARA PREDECIR EL
COMPORTAMIENTO DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE LA PIÑA
MD2 (*Ananas comosus* variedad *Comosus*)"**

ELABORADO POR:

Bach. CARDOZA PISCOYA, JULIO CÉSAR

Bach. CUSTODIO NOLASCO, DEYWIN MICHAEL

JURADO:

PRESIDENTE

Ing. M. Sc. Noemí León Roque

SECRETARIO

Ing. Gerardo Santamaría Baldera

VOCAL

Ing. M. Sc. Juan Francisco Robles Ruiz

ASESORADO POR:

ASESOR

Ing. M. Sc. Jaime Lucho Cieza Sanchez

Lambayeque, Diciembre del 2015

DEDICATORIAS

Este trabajo está dedicado a:

A mis padres **Catalino Custodio C. y Nery Elena Nolasco M.** quienes ellos me brindaron su confianza, su educación e hicieron de mí ser un gran hijo y ser un gran profesional.- A mi padre **Catalino**, mi amigo, él que siempre me da el apoyo de seguir adelante, a pesar que siempre en la vida se presenta obstáculos pero ahí está él, para darme el aliento necesario de no quedarme y ser alguien en la vida; y a la vez siempre apoye a otras personas (amigos) que necesite.- A mi madre **Nery Elena** con su carisma, su humildad que se caracteriza, su paciencia, su amor y sus consejos de que siempre siga adelante que demuestre todo lo que he aprendido, que siempre en todo trabajo o empresa que desempeñe demuestre siempre la humildad que se me caracteriza; y para ello poder demostrar a mis padres lo que soy capaz por ellos y lo que más desearía es recompensarle de la mejor manera a mis padres.- Este esfuerzo que estoy haciendo es por ellos porque se merecen muchas cosas ya que más adelante con mi profesión sé que mi familia estará feliz y orgullosa de mí.

A **Jesica Barrios**, más que una amiga, más que una compañera, es mi gran consejera, la persona que me enseñó el verdadero valor del amor, la persona que siempre la llevo en mi corazón y en mis pensamientos a pesar de la distancia siempre ella está ahí dándome los ánimos correspondientes para seguir adelante; ella como mujer siempre me ha tenido fé en mí a pesar de los problemas y discusiones que hemos tenido, pero ella siempre ha estado conmigo tanto en las buenas y en las malas; y estoy totalmente agradecido de ello además tengo las cosas bien claras tanto como sus consejos y enseñanzas que siempre me brinda; a todo esto le dedico esta tesis ya que fue la persona que me motivó a seguir y culminarla.

A mis hermanos al Abogado, el **Dr. Giorgio Giovanny**, al **Ing. Electrónico Robert Jackson** y a **Jhon Edward**, parece como si nunca

hubiéramos estado en paz, siempre batallando por cualquier cuestión, sin embargo siempre llegaron los momentos en los que nuestra lucha culminó e hicimos una tregua para lograr metas conjuntas.- Les agradezco no solo por estar presentes aportando buenas cosas a nuestra familia, sino por los grandes lotes de felicidad y de diversas emociones que siempre brindan; y tampoco no olvidar a mis engréidos **Nayibe K., Vannia, Leandro S. y Steven G.** mis sobrinos que día a día siempre me regalan una sonrisa y eso me motiva para seguir adelante para poder alcanzar el éxito.

Deywin M.C.N.

Dedico este proyecto de tesis a Dios y a mis padres. A Dios porque ha estado conmigo en cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar, a mis padres, **Manuel Cardoza y María Hilda** quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento. Depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad; Y por supuesto a mi enamorada, por su apoyo incondicional por estar siempre ahí apoyándome.

Se suponen que los cimientos de mi desarrollo fue gracias a todos ustedes mi familia que han destinado tiempo para enseñarme nuevas cosas, para brindarme aportes invaluable que servirán para toda mi vida.

Especialmente ustedes padres queridos **Manuel C. y María H.** y hermanos **Víctor, José y Juana**, que estuvieron presentes en la evolución y posterior desarrollo total de mi tesis, es por ello que soy lo que soy ahora gracias a ustedes los amo con todo mi vida.

Julio C. C. P.

AGRADECIMIENTOS

Dios, tu amor y tu bondad no tienen fin, nos permite sonreír ante todo nuestros logros que son resultado de tu ayuda, y cuanto nosotros caemos y nos pones aprueba, aprendemos de nuestros errores y nos damos cuenta que esas pruebas son para mejorar día a día como ser humano y crecer en diversas maneras.

Agradecer totalmente al **Ing. M.Sc. Miguel Angel Solano Cornejo** y al **Ing. M. Sc. Julio Mauricio Vidaurre Ruiz**, que gracias a ellos nos dio la fortaleza y el avance motivador de seguir en nuestra investigación a lo largo del proceso.

Al **Ing. Jaime Cieza Sánchez**, por sus palabras motivadoras de seguir siempre adelantey ser un gran profesional.

Al **Ing. Luis Ricardo Soto Jiménez**, que gracias a su asesoría nos ayudó día, tarde y noche a investigar pequeñas cosas de la industria alimentaria, gracias a él me ha inculcado en mi personalidad que “nada es del todo cierto” y que “cuanto más se sabe, más se desconoce”, mi más sincero agradecimiento por todo sus conocimientos compartidos y el acceso que tuve por parte de él.

A mis amigos ingenieros que siempre los aprecio bastante y siempre serán los mejores amigos y hermanos que he tenido: **José L. Arana A.** y **Carlos A. Samamé C.** y a mi gran amiga psicóloga **Lucila Ruiz**, gracias a ustedes sus palabras de aliento y de vigor me fortaleció bastante para poder culminar esta investigación.

Gracias a las personas que, de una manera u otra, han sido claves en mi vida profesional, por extensión y también en lo personal: **José Acosta, Juan Díaz, Vanesa Díaz, Jeancarlo Figueroa, Luz Guevara, José Cueva, Dante Montañó, Gustavo Raya, Andrés Rodríguez, Vitalia Chavesta, Danny Malca, Anita Custodio, Lourdes Jave, Michel Hernández, Javier Vásquez, kelvy Llonto, Manuel Mendoza, Lucrecia Delgado, Shirley**

Cruz, Noemí García, Kathiuska Proaño, Claudia Hernández, Joyce Capitán, Erika Mío, Karin Quiñones, Raquel Barrantes y Mariela Carlin.

Agradecer en especial a **Karyna H.**, que fue la persona que me motivó a seguir y culminar la tesis a pesar de los obstáculos y adversidades que se presentaba.

Y por último agradecer a la **Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo de Lambayeque, Perú**, y a la **Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias** que por medio de cada uno de sus clases académicas por los ingenieros encargados me fortaleció y a la vez me enriqueció mis principios y valores, mismos que me han servido para adquirir un compromiso real para servir con responsabilidad a mi país.

Deywin M. C. N.

El presente trabajo de tesis en primer lugar me gustaría agradecerte a ti **Dios** por bendecirme por llegar hasta donde he llegado, porque hiciste realidad este sueño anhelado.

A mi familia fuente de apoyo constante e incondicional en toda mi vida y más aún en mis duros años de carrera profesional y en especial quiero expresar mi más grande agradecimiento a mis padres que sin su ayuda hubiera sido imposible culminar mi profesión.

A todas las personas involucradas que de una u otra forma han aportado a la realización de este proyecto, agradeciendo a mis amigos **Carmen Vallejos** y **Lisset Cubas** y en especial a mi gran amor **Estefani Reaño** ya que la ayuda que me has brindado ha sido sumamente importante, estuviste a mi lado inclusive en los momentos y situaciones más tormentosas.- No fue sencillo culminar con éxito este proyecto, sin embargo siempre fuiste muy motivadora y esperanzadora a todo ello te agradezco por todo mi amor.

Julio C. C. P.

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN	1
1.1	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.2	JUSTIFICACIÓN	3
1.3	OBJETIVOS	5
1.3.1	Objetivo General	5
1.3.2	Objetivos Específicos	5
II.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	6
2.1	GENERALIDADES DE LA MATERIA PRIMA	7
2.1.1	Materia Prima	7
2.1.2	Taxonomía	7
2.1.3	Variedad MD2	7
2.1.3.1	Atributos de la Calidad de la Piña MD2	7
2.1.4	Valor Nutricional	8
2.2	PRODUCCIÓN DE PIÑA EN EL PERÚ	10
2.2.1	Producción Departamental de Piña	10
2.3	PROCESO DE DESHIDRATADO	11
2.3.1	El Agua en los Alimentos	12
2.3.2	Contenido de Agua	12
2.3.3	Actividad de Agua	13
2.4	DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA (D.O.)	13
2.4.1	Mecanismo de la Deshidratación Osmótica	15
2.4.2	Factores que Influyen en la Velocidad de Transferencia de Masa	16
2.4.2.1	Características del producto	16
2.4.2.2	Naturaleza de los solutos en la solución	16
2.4.2.3	Concentración de los Solutos en las Soluciones Osmóticas	18
2.4.2.4	Relación Masa de Solución Osmótica / Masa de Producto	19
2.4.2.5	Temperatura de la Solución Osmótica	19
2.4.2.6	Presión del Sistema	20
2.4.2.7	Tiempo de Inmersión del Producto en la Solución	21
2.5	AGENTES OSMÓTICOS UTILIZADOS EN EL DESHIDRATADO OSMÓTICO	22
2.6	APLICACIONES DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA	23
2.7	MÉTODOS COMBINADOS	25
2.8	SECADO	26

2.9	MODELAMIENTO MATEMÁTICO	26
2.9.1	Cinética de Secado	27
2.9.1.1	Cinética de Deshidratación Osmótica	27
2.9.1.1.1	Modelo Matemático de Peleg	27
2.9.1.2	Cinética de Secado Convectivo	29
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	31
3.1	Materiales, Equipos y Reactivos	32
3.1.1	Materiales.....	32
3.1.2	Equipos.....	32
3.1.3	Reactivos	33
3.2	Métodos	33
3.2.1	Procedimientos para la Obtención de los resultados....	33
3.2.1.1	Procedimientos para los Análisis Fisicoquímicos.....	33
3.2.1.1.1	Determinación del Grado de Madurez de la Piña	33
3.2.1.1.2	Determinación de la Acidez Titulable.....	33
3.2.1.1.3	Determinación del Contenido de Sólidos Solubles Totales	34
3.2.1.2	Diagrama de Bloque para el Procesamiento de la Piña osmodeshidratada.....	34
3.2.1.3	Preparación de las Muestras.....	37
3.2.1.4	Preparación de las Soluciones Osmóticas	37
3.2.1.5	Determinación de la Humedad	38
3.2.1.6	Determinación de Parámetros Cinéticos para el Modelamiento Matemático de Peleg	39
3.2.1.6.1	Determinación de la Pérdida de Humedad	39
3.2.1.6.2	Determinación de la Ganancia de Sólidos	39
3.2.1.6.3	Determinación de la Difusividad Efectiva	40
3.2.2	Análisis Estadísticos de los Datos	40
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41
4.1	ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS DE LA PIÑA MD2	42
4.1.1	Grado de Madurez de la Piña MD2.....	42
4.1.2	Acidez Titulable de la Piña MD2	42
4.1.3	Sólidos Solubles Totales de la Piña MD2	43
4.2	DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE LA PIÑA MD2 (<i>Ananas comosus Variedad comosus</i>)	44
4.2.1	Variación de la Humedad durante la Deshidratación Osmótica de la Piña MD2	44

4.2.2 Variación de la Concentración de Sólidos durante la Deshidratación Osmótica de la Piña MD2	46
4.2.3 Efectos de la Concentración y Tipo de Solute.....	48
4.2.4 Datos del Proceso para Determinar la Difusividad Efectiva de la Piña Osmodeshidratada.....	49
4.2.4.1 Efecto de la Difusividad Efectiva en el Tiempo durante en el Osmodeshidratado de la Piña	49
4.2.4.1.1 Solución Osmótica al 40% de Azúcar.....	50
4.2.4.1.2 Solución Osmótica al 50% de Azúcar.....	50
4.2.4.1.3 Solución Osmótica al 60% de Azúcar.....	51
4.3 MODELAMIENTO MATEMÁTICO DE PELEG	53
4.3.1 Parámetros del Modelo de Peleg para Determinar la Pérdida de Humedad en el Tiempo de la Piña Osmodeshidratada	53
4.3.2 Parámetros del Modelo de Peleg para Determinar la Ganancia de Sólidos en el Tiempo de la Piña Osmodeshidratada	54
4.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS	55
4.4.1 Para la Humedad	55
4.4.1.1 Análisis de Varianza de los Porcentajes de Humedad en las Soluciones Osmóticas	55
4.4.1.2 Prueba de Tukey para el porcentaje de Humedad en el Tiempo	56
4.4.2 Para la Ganancia de Sólidos	57
4.4.2.1 Análisis de Varianza de la Ganancia de Sólidos en las Soluciones Osmóticas	57
4.4.2.2 Prueba de Tukey para la Ganancia de Sólidos en el Tiempo	57
 V. CONCLUSIONES.....	 59
 VI. RECOMENDACIONES.....	 62
 VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	 64
 VIII. ANEXOS.....	 75

INDICE DE TABLAS

II. REVISION BIBLIOGRAFICA

TABLA N°1 COMPOSICION NUTRICIONAL DE LA PIÑA MD2	9
TABLA N°2 USOS Y FUNCION DE ALGUNOS AGENTES OSMOTICOS	22
TABLA N°3 EJEMPLO DE OBSTACULO EN LA CONSERVACION ..	25

III. RESULTADOS Y DISCUSION

TABLA N°4 PORCENTAJE DE ACIDEZ TITULABLE POR CADA REPETICION	42
TABLA N°5 SÓLIDOS SOLUBLES TOTALES DE LA PIÑA MD2.....	43
TABLA N°6 DIFUSIVIDAD EFECTIVA EN EL TIEMPO DURANTE EN EL OSMODESHIDRATADO DE LA PIÑA AL 40% DE AZÚCAR.	50
TABLA N°7 DIFUSIVIDAD EFECTIVA EN EL TIEMPO DURANTE EN EL OSMODESHIDRATADO DE LA PIÑA AL 50% DE AZÚCAR.	51
TABLA N°8 DIFUSIVIDAD EFECTIVA EN EL TIEMPO DURANTE EN EL OSMODESHIDRATADO DE LA PIÑA AL 60% DE AZÚCAR.	52
TABLA N°9 PARÁMETROS DE SECADO PARA LA PÉRDIDA DE HUMEDAD EN TROZOS DE PIÑA	54
TABLA N°10 PARÁMETROS DE SECADO PARA LA GANANCIA DE SÓLIDOS EN TROZOS DE PIÑA	55

IV. ANEXOS

TABLA N°11 PORCENTAJE DE ACIDEZ TITULABLE POR CADA REPETICIÓN	82
TABLA N°12 SÓLIDOS SOLUBLES TOTALES CORREGIDOS POR CADA REPETICIÓN	82
TABLA N°13 PORCENTAJE DE HUMEDAD DESPUES DE 3.5 HORAS DE INMERSION POR REPETICION.....	83

TABLA N°14 PORCENTAJE DE HUMEDAD EN DIFERENTES SOLUCIONES OSMÓTICAS83

TABLA N°13 VARIACION DE LA HUMEDAD EN EL TIEMPO USANDO AZÚCAR AL 40%..... 83

TABLA N°16 NIVEL DE AJUSTE Y CONSTANTES DE SECADO USANDO EL MODELO DE PELEG CON SOLUCION OSMOTICA AL 40% DE AZUCAR85

TABLA N°17 VARIACION DE LA HUMEDAD EN EL TIEMPO USANDO AZÚCAR AL 50%86

TABLA N°18 NIVEL DE AJUSTE Y CONSTANTES DE SECADO USANDO EL MODELO DE PELEG CON SOLUCION OSMOTICA AL 50% DE AZUCAR87

TABLA N°19 VARIACION DE LA HUMEDAD EN EL TIEMPO USANDO AZÚCAR AL 60%88

TABLA N°20 NIVEL DE AJUSTE Y CONSTANTES DE SECADO USANDO EL MODELO DE PELEG CON SOLUCION OSMOTICA AL 60% DE AZUCAR89

TABLA N°21 ANOVA PARA PORCENTAJE DE HUMEDAD PASADO LAS 3.5 HORAS INMERSAS EN DIFERENTES SOLUCIONES OMSOTICAS90

TABLA N°22 PRUEBA DE RANGOS MULTIPLES PARA PORCENTAJES DE HUMEDAD.....91

TABLA N°23 GANANCIA DE SOLIDOS EN DIFERENTES SOLUCIONES OSMOTICAS92

TABLA N°24 PROMEDIOS DE LAS GANANCIAS DE SOLIDOS EN DIFERENTES SOLUCIONES OSMÓTICAS.....92

TABLA N°25 GANANCIA DE SOLIDOS EN EL TIEMPO UTILIZANDO AZÚCAR AL 40%.....93

TABLA N°26 NIVEL DE AJUSTE Y CONSTANTES DE SECADO USANDO EL MODELO DE PELEG CON SOLUCIÓN OSMÓTICA

AL 40% DE AZÚCAR94

TABLA N°27 GANANCIA DE SOLIDOS EN EL TIEMPO

UTILIZANDO AZÚCAR AL 50%.....95

TABLA N°28 NIVEL DE AJUSTE Y CONSTANTES DE SECADO

USANDO EL MODELO DE PELEG CON SOLUCIÓN OSMÓTICA

AL 50% DE AZÚCAR96

TABLA N°29 GANANCIA DE SOLIDOS EN

EL TIEMPO

UTILIZANDO AZÚCAR AL 60%.....97

TABLA N°30 NIVEL DE AJUSTE Y CONSTANTES DE SECADO

USANDO EL MODELO DE PELEG CON SOLUCIÓN OSMÓTICA

AL 60% DE AZÚCAR98

TABLA N°31 ANOVA EN GANANCIA DE SÓLIDOS EN LAS

SOLUCIONES OSMÓTICAS99

TABLA N°32 LAS PRUEBAS DE RANGOS MULTIPLES PARA

GANANCIA DE SÓLIDOS.....100

TABLA N°33 DIFUSIVIDAD EFECTIVA VS TIEMPO CON

SOLUCIÓN OSMÓTICA AL 40% DE AZÚCAR101

TABLA N°34 DIFUSIVIDAD EFECTIVA VS TIEMPO CON

SOLUCIÓN OSMÓTICA AL 50% DE AZÚCAR103

TABLA N°35 DIFUSIVIDAD EFECTIVA VS TIEMPO CON

SOLUCIÓN OSMÓTICA AL 60% DE AZÚCAR105

INDICE DE FIGURAS

II. REVISION BIBLIOGRÁFICA

Figura N° 1: Producción nacional de la piña en Perú (en toneladas), 2000 – 2014	10
Figura N° 2 : Principales Regiones de piña en el Perú.....	11
Figura N° 3: Configuración Típica de un Sistema de Deshidratación Osmótica	23
Figura N° 4: Planta Piloto de Deshidratación Osmótica	24
Figura N°5: Aplicación Industrial De La Deshidratación Osmótica	24

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Figura N° 6: Diagrama de Flujo para la Deshidratación Osmótica de la Piña MD2 (<i>Ananas comosus Variedad comosus</i>).....	35
--	----

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Figura N° 7 : Pérdida de humedad por cada 0.5 hora de deshidratación osmótica a diferentes tratamientos	44
Figura N° 8 : Ganancia de sólidos por cada 0.5 hora de deshidratación osmótica a diferentes soluciones	46
Figura N° 9 : Humedad final después de 3.5 horas de deshidratación osmótica a diferentes soluciones	48
Figura N° 10: Efecto de la Difusividad Efectiva en el tiempo durante en el osmodeshidratado por cada solución osmótica.....	49
Figura N°11° Análisis de Varianza de la Humedad	56
Figura N° 12: Prueba de Tukey de la Humedad.....	56
Figura N° 13: Análisis de Varianza de la Ganancia de Sólidos	57
Figuran N°14: Prueba de Tukey de la Ganancia de Sólidos	58

V. ANEXOS

Figura N° 15: Azúcar blanca.....	77
Figura N° 16: Selección de la Piña por índice de madurez comprados en el Mercado de Lambayeque	77
Figura N° 17: Pesado de los insumos	77
Figura N° 18: Habilitación para el mezclado de los insumos.....	78

Figura N° 19: Mezclado de los insumos para las soluciones..... 78

Figura N° 20: Rotulado a cada bolsa ziploc (por los tratamientos) ... 78

Figura N° 21:Cortado de la piña 79

Figura N° 22:Dimensiones a cada trozo de piña 80

Figura N° 23:Pesado a cada trozo de piña..... 80

Figura N° 24:Llenado de la solución con los trozos de piña 81

Figura N° 25:Trozos de piñas inmersas en soluciones osmóticas ... 81

Figura N° 26: Extracción del líquido excedente de las soluciones osmóticas y luego son llevados a la estufa para determinar la humedad 81

Figura N° 27 : Variación del porcentaje de humedad de la piña MD2 osmodeshidratadas con azúcar al 40% 84

Figura N° 28 : Deshidratación osmótica de azúcar al 40% usando el modelo de Peleg..... 85

Figura N° 29 : Variación del porcentaje de humedad de la piña MD2 osmodeshidratadas con azúcar al 50% 86

Figura N° 30 : Deshidratación osmótica de azúcar al 50% usando el modelo de Peleg..... 87

Figura N° 31 : Variación del porcentaje de humedad de la piña MD2 osmodeshidratadas con azúcar al 60% 88

Figura N° 32 : Deshidratación osmótica de azúcar al 60% usando el modelo de Peleg..... 89

Figura N° 33: Ganancia de sólidos en la piña MD2 osmodeshidratada con azúcar al 40% 93

Figura N° 34 : Ganancia de Sólidos de azúcar al 40% usando el modelo de Peleg 94

Figura N° 35: Ganancia de sólidos en la piña MD2 osmodeshidratada con azúcar al 50% 95

Figura N° 36 : Ganancia de Sólidos de azúcar al 50% usando el modelo de Peleg 96

Figura N° 37: Ganancia de sólidos en la piña MD2 osmodeshidratada con azúcar al 60%	97
Figura N° 38 : Ganancia de Sólidos de azúcar al 60% usando el modelo de Peleg	98
Figura N° 39: Efecto de la Difusividad Efectiva en el tiempo durante en el osmodeshidratado con azúcar al 40%.....	102
Figura N° 40 : Efecto de la Difusividad Efectiva en el tiempo durante en el osmodeshidratado con azúcar al 50%.....	104
Figura N° 41 : Efecto de la Difusividad Efectiva en el tiempo durante en el osmodeshidratado con azúcar al 60%.....	106
Figura N° 42: Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEM. 1 836:2009	107
Figura N° 43: Resultados de Desarrollo de Rodajas Deshidratadas de Piña	108
Figura N° 44: Resultados del Modelo de Peleg en el yacón osmodeshidratado	109
Figura N° 45: Resultados de la Piña hawaiana osmodeshidratada.	110
Figura N° 46: Coeficientes de difusión efectivos de algunos alimentos	111
Figura N° 47: Resultados de difusividad efectiva de la Piña osmodeshidratada a diferentes parámetros	112
Figura N° 48: Resultados del Modelado Matemático de Peleg en el tomate cherry	113

INDICE DE ANEXOS

ANEXO I: Materiales De La Investigación	77
ANEXO II: Preparación De Las Soluciones	78
ANEXO III: Preparación De Las Muestras	79
ANEXO IV: Dimensiones De Los Trozos De La Piña	80
ANEXO V: Proceso De Deshidratado Osmótico	81
ANEXO VI: Análisis Fisicoquímicos	82
ANEXO VII: Humedades en el tiempo durante el Deshidratado Osmótico	83
ANEXO VIII: ANOVA y Tukey de los % de Humedad en las Soluciones Osmóticas	90
ANEXO IX: Ganancia de Sólidos en el tiempo durante el Deshidratado Osmótico	92
ANEXO X: ANOVA y Tukey de la Ganancia de sólidos en las Soluciones Osmóticas	99
ANEXO XI: Efecto de la Difusividad Efectiva en el Tiempo durante el osmodeshidratado	101
ANEXO XII: Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1 836:2009. Requisitos fisicoquímicos de la Piña (milagreña, criolla, hawaiana, MD2 y champaka de acuerdo con su estado de madurez	107
ANEXO XIII: Desarrollo de Rodajas Deshidratadas de la Piña	108
ANEXO XIV: Cinética de la transferencia de masa durante la Deshidratación Osmótica de yacón	109
ANEXO XV: Determinación de la Difusividad Efectiva de la sacarosa en la Deshidratación Osmótico de la Piña Hawaiana	110
ANEXO XVI: Coeficientes de difusión efectivos obtenidos de diferentes alimentos	111
ANEXO XVII: Modelos Matemáticos en la Deshidratación Osmótica	112
ANEXO XVIII: Cinética de transferencia de masa de la Deshidratación Osmótica del Tomate cherry	113

RESUMEN

El presente trabajo de investigación consistió en predecir el comportamiento osmótico de la piña MD2 por un modelo matemático que emplearemos. Se realizó una deshidratación osmótica que consiste en sumergir pequeños trozos de frutas en una solución hipertónica (sacarosa, fructosa, entre otros), y el agua que migra desde la fruta hacia la solución por la influencia de la presión osmótica generará que la actividad de agua sea reducido. Para la etapa de deshidratación osmótica se utilizaron soluciones a diferentes tratamientos como azúcar al 40%, 50% y 60%. Se planteó como objetivo general determinar mediante un modelo matemático el comportamiento de la deshidratación osmótica de la Piña MD2.

La variable dependiente es el tiempo del deshidratado osmótico y las variables independientes son las condiciones de operación durante la deshidratación osmótica de los trozos de piña así como la ganancia de sólidos (SG), pérdida de agua (WL) y la pérdida de peso (WR). Los factores que se consideraron para determinar la mejor combinación de tratamiento, es aquel que permitió remover la mayor cantidad de agua libre en los trozos de piña y también la que tuvo mayor ganancia de sólidos solubles dando por ganador a la solución osmótica de azúcar al 50% a una temperatura ambiente, también se logró determinar que el modelo matemático de Peleg permite predecir el comportamiento de la deshidratación osmótica de la piña MD2, debido a su nivel de ajuste $R^2 \geq 0.979493181$ para la humedad y $R^2 \geq 0.998469684$ para la ganancia de sólidos solubles. Las variables se evaluaron mediante un ANOVA con una confiabilidad de 95% y una prueba de rango múltiples Tukey. Se determinaron estadísticamente que existen diferencias significativas entre las medias de los tratamientos para la variación de la humedad y la ganancia de sólidos en el tiempo de deshidratado osmótico, con $p < 0.05$.

ABSTRAC

The present research was to predict the osmotic behavior of the MD2 pineapple in a mathematical model that will use. First osmotic dehydration that consists of dipping small pieces of fruit in a hypertonic solution (sucrose, fructose was performed, among others), and water migrating from the fruit to the solution under the influence of osmotic pressure to generate water activity is reduced. For osmotic dehydration stage solutions to different treatments as 40% sugar were used, 50% and 60%. General objective is determined by a mathematical model the behavior of osmotic dehydration of pineapple MD2.

The dependent variable is the time of osmotic dehydration and the independent variables are the operating conditions during osmotic dehydration of pineapple chunks and the solid gain (SG), water loss (WL) and weight loss (WR) .- The factors considered in determining the best treatment combination is the one that allowed remove as much free water in the pineapple chunks and which had higher soluble solids resulting gain by winning the osmotic solution 50% sugar at room temperature, it was also able to determine that Peleg mathematical model to predict the behavior of osmotic dehydration of the MD2 pineapple, due to its adjustment level $R^2 \geq 0.979493181$ for moisture and for $R^2 \geq 0.998469684$ soluble solids gain. The variables were evaluated by ANOVA with a reliability of 95% and a multiple range Tukey test. They were determined statistically significant differences between treatment means for varying moisture and solid gain in time of osmotic dehydration, with $p < 0.05$.

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

I. INTRODUCCIÓN

Desde hace algunos años la agroindustria viene enfrentando el desafío de prolongar la vida útil de una creciente diversidad de frutas y vegetales, una de las alternativas es la deshidratación osmótica (*Araujo et al., 2008*).

La deshidratación osmótica es un proceso ampliamente estudiado en los últimos años y usado principalmente como pre-tratamiento de muestras que luego son sometidas a congelación o a deshidratación térmica (*Kowalska & Lenart, 2001*).

La velocidad y el grado de deshidratación de un material y los cambios en su composición química dependen del tipo y la concentración de soluto usado, del tamaño de la muestra y el soluto, de la relación fruta: jarabe, de la temperatura, del tiempo y del equipo usado para el proceso (*Conway et al., 2003*).

La deshidratación osmótica se usa como pretratamiento de muchos procesos para mejorar las propiedades nutricionales, sensoriales y funcionales del alimento sin modificar su integridad (*Torreggiani, 1993*).

Generalmente precede a procesos como la congelación, liofilización, secado al vacío o secado por aire caliente (*Ramallo et al., 2010*).

La aplicación de este tipo de tecnología simple y de bajo costo, debido entre otros al menor requerimiento de energía brinda la posibilidad de preservar alimentos altamente perecederos, como es el caso de la piña (*Lazarides et al., 1995*).

Se han aplicado diferentes modelos matemáticos para ajustar los resultados experimentales de procesos de deshidratado osmótico, con el objeto de predecir el comportamiento de los productos alimenticios y el propósito de esta investigación es predecir el comportamiento de la deshidratación osmótica de la piña en forma de placas, para lo cual se utilizara la ecuación de Peleg (*Petrotos & Lazarides, 2001*).

1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuáles serán los resultados del modelamiento matemático para la predicción del comportamiento de la deshidratación osmótica de la piña MD2 (*Ananas comosus Variedad comosus*)?

1.2 JUSTIFICACIÓN

El presente estudio tiene una importancia técnica y práctica, se basa en el control de la concentración de azúcar y temperatura en la deshidratación osmótica de la piña MD2 (*Ananas comosus*), en la parte técnica podemos mencionar la forma en que se va a realizar la deshidratación osmótica la cual es sencilla pero a la vez es bastante observativa; estos parámetros que estamos identificando en el estudio cambian en cuestión de minutos y en la importancia práctica se identifica en el proceso en sí, en el cual puede haber varios factores para realizar y llegar a los resultados óptimos(Aguilar, 2011).

En la actualidad se hace importante para el consumidor ingerir alimentos que además de los beneficios originales que éste le pueda aportar, le ayude en el mantenimiento de su salud y en la prevención de enfermedades; es así que actualmente un buen porcentaje de la producción mundial de frutas y hortalizas como la piña está siendo utilizada en procesos de producción de alimentos funcionales (Milacatl, 2003).

La piña (*Ananas comosus*) es un fruto tropical de alto contenido de fibra dietaria. Es susceptible a grandes pérdidas en las etapas de cosecha y postcosecha especialmente en aquellas variedades que no tienen características para la industria. Para reducir las pérdidas en la postcosecha a nivel industrial se han aplicado diferentes técnicas de conservación; tales como: congelación, refrigeración, deshidratación, y actualmente métodos combinados como la deshidratación osmótica, siendo ésta una tecnología de preservación que utiliza materiales muy comerciales y de fácil acceso (Ríos et al., 2005)



El estudio tiene un impacto en toda la sociedad, ya que deseamos ingresar una fruta en una presentación deshidratada la cual agrada a muchos consumidores, además este producto sería muy accesible para todos los hogares, los cuales tienen alternativas muy claras con lo que respecta a los alimentos deshidratados ya que estos son menos propensos a contaminación por lo que se encuentran sin uno de sus componentes fundamentales que es el agua propia de cada alimento (*Aguilar, 2011*).

Además es una opción de un nuevo producto en el área industrial, ya que esta fruta es muy rendidora con lo que respecta a peso y pulposidad; entonces las industrias que se dedican a hacer alimentos deshidratados pueden incluir este producto en su gama de opciones para expandir al mercado y del mismo modo una nueva alternativa de consumo a los clientes (*Aguilar, 2011*).

La deshidratación osmótica es una alternativa de interés como método de conservación de frutas. Este proceso es no térmico y es de bajo costo. La aplicación previa de pulsos de vacío a la deshidratación osmótica facilita la extracción de agua de la fruta (*Giraldo et al., 2012*)

En si este estudio es muy factible, ya que los materiales que se necesitan para ejecutar este, son de fácil accesibilidad y de un precio cómodo. Y del mismo modo estos factores influyen en el balance final de costos del producto, entonces por ende podemos establecer que es un producto novedoso con una tecnología factible en todos los sentidos y de un precio cómodo.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Determinar mediante un modelamiento matemático el comportamiento de la deshidratación osmótica de la Piña MD2 (*Ananas comosus Variedad Comosus*).

1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar los resultados del modelamiento matemático, si después del resultado final de la fórmula se puede predecir la deshidratación osmótica.
- Determinar los análisis fisicoquímicos de la piña MD2 (índice de madurez, acidez titulable (A.T.) y contenido de sólidos solubles totales (S.S.T.)).
- Determinar el porcentaje de humedad, la ganancia de sólidos y la difusividad efectiva por cada tratamiento.
- Utilizar el modelo matemático de Peleg para el deshidratado osmótico de la piña MD2.
- Determinar el nivel de ajuste para el porcentaje de humedad y la ganancia de sólidos utilizados en el modelo matemático de Peleg.
- Determinar la concentración óptima del jarabe de sacarosa en el deshidratado osmótico mediante un ANOVA y una prueba de Tukey.

CAPITULO II: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 GENERALIDADES DE LA MATERIA PRIMA

2.1.1 Materia Prima

La Piña es una planta de la familia de las Bromeliáceas que contiene alrededor de 1400 especies en todo el mundo. Muchos de los miembros de esta familia son epifíticos, es decir viven encima de otras plantas en zonas de clima tropical. La piña, a diferencia de ellas, nace sobre tierra firme. Muchos miembros de su misma familia los conocemos como plantas de jardinería, como la guzmania o la billgergia. La planta de la piña (*Ananas comosus*) es una planta perenne con una roseta de hojas puntiagudas de hasta 90 cm de longitud. Del centro de la roseta surge un vástago en cuyo extremo se producen las flores que darán lugar a la infrutescencia conocida como piña, que es en realidad una fruta múltiple (*Asociación Macro regional de Productores para la Exportación, 2006*).

2.1.2 Taxonomía

Según la *Asociación Macro regional de Productores para la Exportación, (2006)*; menciona:

Nombre: Piña (español); Abacaxi (portugués); Pineapple (inglés); Ananas (alemán, francés entre otros).

Nombre Científico: *Ananas comosus* L.

Familia: Bromeliáceas

2.1.3 Variedad MD2

Es una variedad híbrido que por su presentación, aroma etc. está catalogada como una fruta de lujo en los mercados externos y que tiene gran demanda en el mercado de los Estados Unidos. La MD2 tiene hasta tres veces más vitamina C que otras variedades, es más dulce y tiene una cascara más dorada. La MD2 fue introducida por del Monte en el año 1996 después de 10 años de investigación en Costa Rica. Fue

desarrollado en los años ochenta por el instituto de investigación de la piña en Hawái, pero no era compatible con el clima de allá por esta razón fue trasladado su cultivo y su desarrollo a Costa Rica (*Ferruci, 2007*).

La piña se puede exportar bajo el sistema de fruta fresca convencional también como fruta orgánica o bajo el sistema de comercio justo siendo estos dos últimos donde se paga mayor precio (*Manual de Piña, 2010*).

2.1.3.1 Atributos de la Calidad de la Piña MD2

Los atributos de calidad deseables para la piña MD2 son: forma y tamaño uniforme, aspecto fresco, fruta firme, sin deformaciones, con una sola corona recta, verde y de longitud media. También son frutas sanas (libres de podredumbres, quemaduras de sol, daños por insectos, microorganismos, magulladuras, heridas y grietas) (*Montero y Cerdas, 2005*).

2.1.4 Valor Nutricional

La Corporación Colombia Internacional [CCI], (1994), menciona que el principal componente de la piña es el agua, que constituye aproximadamente el 85 % de su peso. Esta cantidad de agua convierte a la piña en un alimento con un valor energético muy bajo, por lo que personas con problemas de exceso de peso u obesidad pueden incluirla en su alimentación sin ningún problema.

El nutriente principal de la piña son los hidratos de carbono simples, que suponen aproximadamente el 11 % de su peso, mientras que las proteínas y las grasas apenas están presentes en esta fruta, al igual que en el resto. En cuanto al contenido en vitaminas cabe destacar la presencia de vitamina C, responsable de numerosas e importantes funciones en el organismo como su participación en la formación del colágeno (proteína presente en huesos, dientes y cartílagos), de los glóbulos rojos, de los corticoides (hormonas) y de los ácidos biliares.

Además la vitamina C favorece la absorción de hierro por parte de nuestro cuerpo y posee una importante función inmunológica ya que potencia la resistencia del organismo frente a la infecciones.

La vitamina C es una sustancia con acción antioxidante, es decir, nos protege frente a los radicales libres, asociados al envejecimiento y a algunas enfermedades. Además de vitamina C, la piña posee en cantidades inferiores, vitamina B1 y B6. En relación con los minerales, potasio, magnesio, cobre y manganeso, son los más abundantes. La siguiente tabla describe la composición nutricional básica de la piña. La tabla N°1 explica la información nutricional que contiene 100 gramos de piña.

TABLA N°1: COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DE LA PIÑA MD2

Componente	Cantidad	Unidades	%DDR
			Dosis Diaria Recomendada
Energía	200.0	Kcal	2.29
Energía	50.0	Kcal	2.29
Proteína	Contiene menos de 1g	---	0.80
Grasa	0	---	---
Carbohidratos	14	g	---
Fibra	---	g	---
Vitamina A	5	ug	*
Vitamina C	61	mg	102.0
Calcio	18	mg	2.0
Fosforo	8	mg	*
Hierro	5	mg	4.0

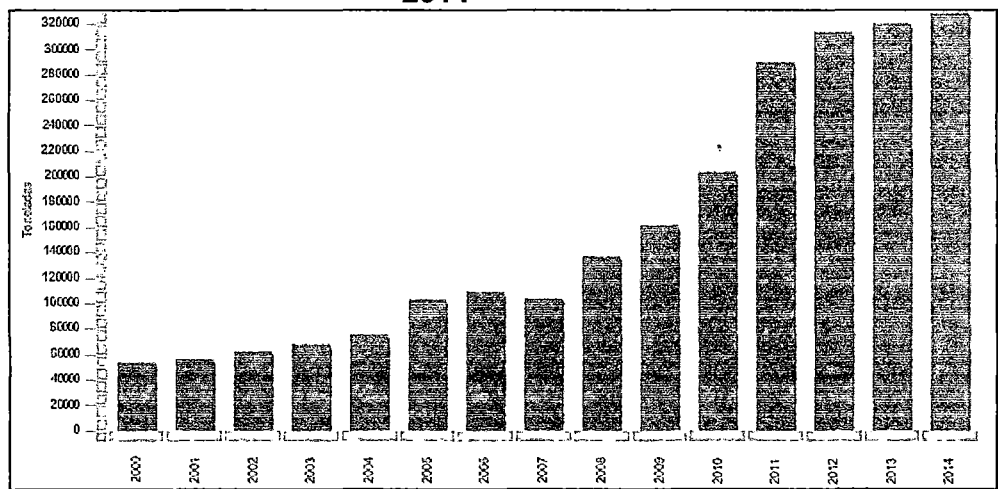
Fuente: Tabla de composición de alimentos (FAO), (2002)

*Contiene menos del 2% de la dosis diaria recomendada **DDR. Porcentaje que se ingiere de la dosis diaria 100 recomendadas para un adulto promedio sano, en 100 gramos de producto.

2.2 PRODUCCIÓN DE PIÑA EN EL PERÚ

En el siguiente gráfico se muestra la evolución que ha tenido la producción de piña en el mercado nacional desde el año 2000 hasta el año 2014, la producción ha mostrado un crecimiento sostenido la gran mayoría de producción se destina al mercado local y la zona de donde más se produce en Junín (Chanchamayo, Satipo) la variedad MD2 o golden (MINAG, 2014).

Figura N° 1: Producción nacional de la piña en Perú (en toneladas), 2000 – 2014

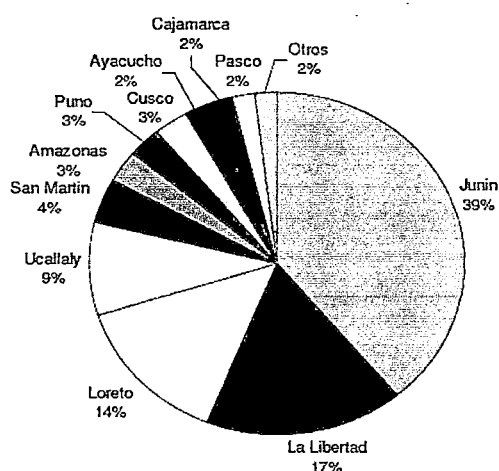


Fuente: MINAG, 2014

2.2.1 Producción Departamental de Piña

En el siguiente grafico se muestra los principales departamentos productores de piña en Perú en primer lugar esta Junín con un 39% seguido de la libertad con un 17% y Loreto con 14%, la variedad de mayor cultivo es la criolla selva y la golden se consume en su gran mayoría en el mercado de Lima (MINAG,2014).

Figura N°2 : Principales Regiones de piña en el Perú



Fuente: MINAG, 2014

2.3 PROCESO DE DESHIDRATADO

La deshidratación es un método frecuentemente utilizado para reducir la actividad de agua y, consiguientemente, prolongar la vida útil de los alimentos. Además de facilitar la conservación del producto, reduce el peso y, de ordinario, el volumen por unidad de “valor alimenticio” (Brennam, et al, 2008).

Brennam et. al, (2008), emplean indistintamente los términos “deshidratación”, “desección” y “secado” de alimentos, para referirse a la operación unitaria en la que se elimina, por evaporación o sublimación, casi toda el agua presente en los alimentos, mediante la aplicación de calor bajo condiciones controladas.- De acuerdo con esta definición, no se incluyen otros métodos de eliminación del agua, como la filtración y la separación por membranas, la centrifugación, la extracción solido-líquido y el estrujamiento.- El secado al sol también se excluye, debido a que no se controlan las condiciones del mismo.

Los métodos empleados en el secado de alimentos pueden clasificarse de la siguiente manera:

- *Secado por aire caliente*: El alimento se pone en contacto con una corriente de aire caliente.- El calor se aporta al producto principalmente por convección (*Brennam et al, 2008*).
- *Secado por contacto directo con una superficie caliente*: El calor se aporta al producto principalmente por conducción (*Brennam et al, 2008*).
- *Secado mediante el aporte de energía por fuente radiante, de microondas o dieléctrica* (*Brennam et al, 2008*).
- *Liofilización*: El agua de los alimentos se congela y se sublima, generalmente aportando calor a una presión muy baja (*Brennam et al, 2008*).

En el deshidratado tenemos que tener en cuenta lo siguiente:

2.3.1 El Agua en los Alimentos

El agua es un contribuyente importante a las propiedades organolépticas de los alimentos. La pérdida de agua, en los alimentos ricos en ella, o la ganancia de agua en los alimentos en que es escasa, reduce su calidad organoléptica y por tanto su aceptabilidad.- Por otra parte, la presencia de agua, a ciertas concentraciones, en los alimentos facilita su deterioro por acción de los microorganismos y las enzimas, o a través de reacciones químicas o enzimáticas.- Por lo tanto retirando agua de los alimentos o haciéndola menos disponible, se puede extender la vida útil de los mismos (*Brennam et al, 2008*).

2.3.2 Contenido en Agua

El contenido en agua de un producto se puede expresar en termino de peso húmedo (BH), es decir, masa de agua por unidad de masa del producto húmedo, o en términos de peso seco (BS), es decir masa de agua por unidad de masa del extracto seco.- El

ultimo es el método más frecuentemente utilizado en los cálculos de secado (*Brennamet al, 2008*).

2.3.3 Actividad de Agua

Al considerar la influencia del contenido en agua en la estabilidad de los alimentos, no es el contenido total en agua lo importante, sino la cantidad de agua disponible para el crecimiento microbiano y la actividad química.

Existe una abundante bibliografía que pone de manifiesto que una parte del contenido en agua de los alimentos se halla fuertemente ligado a puntos específicos de los componentes sólidos y que otra cantidad adicional se halla menos firmemente ligada, pero que tampoco es fácilmente disponible como disolvente para diversos solutos.- En el estudio de la disponibilidad del agua en los alimentos, se mide una propiedad fundamental, conocida como actividad de agua.- Esta propiedad viene definida por la expresión:

$$a_w = \frac{p_v}{p_w}$$

Donde p_v es presión de vapor de agua ejercida por la disolución, o el solido húmedo, y p_w es la presión de agua pura, a la misma temperatura (*Brennam et al, 2008*).

2.4 DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA (D.O.)

La deshidratación osmótica, también llamada osmodeshidratación, consiste en la remoción de una parte del agua contenida en los alimentos sólidos mediante su inmersión en soluciones concentradas de sólidos solubles, que poseen mayor presión osmótica y menor actividad de agua que el alimento en cuestión.- Es decir, mediante su inmersión en soluciones hipertónicas tales como azúcar, sal, sorbitol y glicerol, entre otros (*Genina, 2002*).

La ósmosis consiste en el movimiento molecular de ciertos compuestos en una solución a través de una membrana semipermeable, hacia otra solución con menor concentración de los compuestos en cuestión.- Durante la deshidratación osmótica de un alimento, el soluto de la solución hipertónica pasa a través de la membrana celular hacia el interior de las células, cuya concentración del soluto es inferior al de la solución, con la consecuente salida de agua y sustancias de bajo peso molecular hacia la solución.- Además, a la salida de agua y entrada de solutos, el tejido del alimento sufre una deformación celular y otras alteraciones debido a reacciones químicas y bioquímicas vinculadas con la deshidratación.- Todo esto provoca cambios, tanto en las propiedades macroscópicas, tales como apariencia y textura como en el sabor y aroma del producto final. Por tanto, la deshidratación osmótica es un proceso de difusión simultánea de agua y solutos que conduce a mayor concentración de solutos y menor contenido de agua en el alimento, es decir, se logra una concentración del alimento con una determinada relación pérdida de agua/ganancia de solutos que depende de las condiciones del proceso. Además, se producen modificaciones estructurales en los tejidos, que por lo general son ventajosas para el producto deshidratado final (*Camacho, 2002*).

La deshidratación osmótica suele ser más rápida que la deshidratación por aire, debido a que en la primera, la remoción de agua ocurre sin cambio de estado, lo que además reduce los cambios físicos y químicos y, con ello, la modificación de las características sensoriales y nutricionales en el producto en cuestión.- Sin embargo, la remoción de agua está limitada a la concentración de la solución hipertónica, por lo que únicamente se consigue concentrar el alimento y normalmente debe aplicarse algún método de deshidratación posterior para obtener el nivel de humedad final requerido (*Paltrinieri, 2004*).

Algunas ventajas de la deshidratación osmótica son: mejora sabor, color y textura del producto, disminuye el tiempo de deshidratación requerido, reduce los costos energéticos del proceso de deshidratación y prolonga la vida de anaquel del producto (Schwartz, 1993).

2.4.1 Mecanismo de la Deshidratación Osmótica

Cuando un alimento sólido se sumerge en una solución de solutos de concentración elevada, se establece un gradiente de presión osmótica entre el alimento y la solución (que se llama solución osmótica).- Las células del alimento actúan como membrana semipermeable que permiten tanto la entrada de soluto como la salida de agua de las mismas (Camacho, 2002).

La transferencia de masa durante la deshidratación osmótica se efectúa por difusión, debido al gradiente de concentración de un componente determinado entre el alimento y la solución osmótica, de acuerdo con la Ley de Fick:

$$J_z = -D_m \frac{dC}{dz} \dots\dots (1)$$

Donde:

J_z = Flujo de masa del componente en la dirección de flujo z.

D_m = Difusividad masica (m^2/s)

$\frac{dC}{dz}$ = Gradiente de concentración en la dirección de flujo z.

La difusividad másica (D_m) se determina de manera experimental o se calcula mediante correlaciones empíricas.- El valor de D_m es específico para cada soluto y varía con el contenido de humedad del sólido, el cambio en el volumen del mismo (debido al encogimiento) y la temperatura (Paltrinieri, 2004).

2.4.2 Factores que influyen en la Velocidad de Transferencia de Masa

Colina, (2010); menciona que la velocidad con la que se efectúa la transferencia de masa (entrada de soluto y salida del agua) de un producto depende de diversos factores como:

2.4.2.1 Características del producto

Entre las características del producto que más influencia ejercen sobre la velocidad de transferencia de solutos y agua están su forma y tamaño, que determinan el área superficial para transferencia de masa.- Trozos de producto de pequeño espesor y forma homogénea incrementan el área superficial del mismo.- Asimismo, son importantes la composición química, textura y porosidad del producto que determinan, tanto el tipo y concentración de solutos que pueden ser transportados al interior del tejido, como la velocidad con la que ocurre el transporte de masa.- Es importante considerar el manejo previo del alimento, ya que operaciones como el pelado, cortado, escaldado o precocido, congelación-descongelación, entre otras, modifican las características originales del producto a deshidratar (*Colina, 2010*).

2.4.2.2 Naturaleza de los Solutos en la Solución

Los sólidos utilizados para la deshidratación osmótica poseen diferencias en su estructura química, peso molecular, polaridad y permeabilidad, por lo que presentan diferentes interrelaciones con las membranas o componentes del alimento, que se reflejan en la velocidad de transferencia de masa y, por tanto, en la capacidad de cada soluto para provocar pérdida de agua y ganancia de sólidos por parte del alimento (*Colina, 2010*).

Así por ejemplo, cuando se utilizan soluciones de la misma concentración de sacarosa, sorbitol y jarabes de maíz para la deshidratación osmótica de frutas, la ganancia de sólidos es casi del doble en las frutas sumergidas en sorbitol que en las de sacarosa.- a su vez, los jarabes de sacarosa provocan mayor pérdida de agua y ganancia de sólidos que los jarabes de maíz.-Esto puede atribuirse, por una parte, a los diferentes pesos moleculares de los solutos, siendo de 182 para el sorbitol, 342 para la sacarosa y mucho mayor para el jarabe de maíz por el contenido de polisacáridos y además en este último caso a la alta viscosidad de la solución osmótica(Colina, 2010).De igual manera, en soluciones a 60% de sólidos. Aquellas con mezclas de sacarosa/sal (50/10 o 45/15) son mejores agentes osmóticos, comparadas con las que solo utilizan sacarosa.- Esto puede atribuirse a que la sacarosa es el material con mayor peso molecular y origina mayor gradiente de concentración que resulta en mayor pérdida de agua por parte del solido.- Sin embargo, en las soluciones con mezclas sacarosa/sal, esta última, debido a su bajo peso molecular penetra con mayor facilidad al tejido, provocando una mayor reducción en la a_w del sólido, al mismo nivel de contenido de sólidos totales (Colina, 2010).

Una solución a 10% de sal tiene casi la misma concentración molar que una solución a 50% de sacarosa, debido a la diferencia en el peso molecular de los dos solutos, pero la solución de sal produce una reducción considerablemente mayor en la a_w del tejido, comparada con la solución de sacarosa(Colina, 2010).De lo anterior se desprende que el peso molecular de los solutos ejerce influencia en la molaridad de la solución osmótica, la facilidad de penetración del soluto en el

tejido del sólido sometido a deshidratación, la capacidad de favorecer la salida del agua del sólido y en la a_w obtenida en el sólido.- A mayor tamaño del soluto, menor será la penetración del mismo en el sólido(Colina,2010). Además de las características ya mencionadas, la selección del o de los solutos utilizados para la solución osmótica depende en alto grado de las características sensoriales buscadas en el producto, así como del costo de los mismos.

Los solutos utilizados más a menudo para la deshidratación osmótica son cloruro de sodio, sacarosa, lactosa, jarabes con alta concentración de fructosa, sorbitol y glicerol. En ocasiones se han utilizado también galactosa, lactato de sodio, polietilenglicol, caseína, albumina, proteínas de soya y glicina, entre otros (Colina, 2010).

A veces, pueden agregarse a la solución osmótica otros compuestos con fines específicos, como agentes antimicrobianos, antioxidantes, ácidos orgánicos, así como ingredientes, colorantes, etc. De esta manera, además de eliminar agua, se consigue incorporar al producto compuestos o ingredientes necesarios para su formulación (M. Colina, 2010).

2.4.2.3 Concentración de los Solutos en las Soluciones Osmóticas

Tanto la transferencia de masa por difusión como los gradientes de presión osmótica, están relacionados directamente con la concentración de solutos en la solución osmótica.- Además, esta concentración tiene una influencia considerable en la viscosidad de la solución y, por ende, en el movimiento que pueden tener las moléculas durante el proceso (Colina, 2010).

2.4.2.4 Relación Masa de Solución Osmótica/ Masa del Producto

A medida que transcurre la deshidratación osmótica y los solutos van penetrando al alimento, la solución va disminuyendo su concentración de solutos, lo cual reduce de modo gradual el gradiente osmótico y, así la velocidad de transferencia de masa.- Cuando se utilizan grandes volúmenes de solución en relación con la masa de producto, el gradiente de concentración no disminuye notablemente, por lo que la velocidad de transferencia del soluto no se ve afectada, sin embargo esto puede incrementar los costos del proceso (Colina, 2010).

2.4.2.5 Temperatura de la Solución Osmótica.

La dependencia de la difusividad másica (D_m) de la temperatura puede observarse en la ecuación:

$$D_{ef} = D_m \exp\left(\frac{-E_a}{RT}\right) \dots (2)$$

Donde:

D_{ef} = Difusividad másica efectiva (m^2/s)

D_m = Difusividad masica de referencia (m^2/s)

$-E_a$ = Energía de activación (J/mol)

R = Constante general de los gases = 8.314 J/mol K

T = Temperatura absoluta (K)

La temperatura de proceso afecta de manera notable la velocidad de la osmosis.- Un aumento en la temperatura acelera la remoción de agua y la penetración de la sustancia osmótica al inferior del tejido, aunque la cinética está influida por el tipo de sustancia utilizada. También puede realizarse la deshidratación osmótica a bajas temperaturas, sobre todo en productos donde se desea mayor eliminación de agua y poca penetración del soluto, tales como pescados y carnes (Colina, 2010).

2.4.2.6 Presión del Sistema

Por lo general, los procesos de deshidratación osmótica se realizan a presión atmosférica. Sin embargo, con objeto de aumentar la velocidad de transferencia de masa y acelerar el proceso, recientemente se están empleando sistemas que consisten en aplicar por breve tiempo (5-15 min) en la etapa inicial del proceso, ya sea alta presión (100-700 MPa) o vacío (50-180mbar) y posteriormente restablecer la presión atmosférica.- Cuando se aplica vacío, el proceso se denomina deshidratación osmótica con pulso de vacío y tiene un marcado efecto en la transferencia de masa (*Colina, 2010*).

Los mecanismos involucrados en la transferencia de masa durante la deshidratación osmótica de tejidos celulares dependen del nivel estructural del tejido.- Las células externas rotas pueden impregnarse fácilmente con la solución externa, y en los espacios intercelulares ocurre un flujo de solución y la difusión de agua y solutos.- La presión capilar en procesos llevados a cabo a presión atmosférica promueve el flujo.- Sin embargo, cuando se aplica vacío al sistema, el aire interno de los poros se extrae, se produce una deformación en el volumen del producto y se promueve una impregnación capilar, es decir, que los poros se llenan de la solución osmótica, la cual es succionada hacia el interior del tejido cuando la presión atmosférica se restablece.

Los fenómenos de impregnación y deformación, ocurridos durante el pulso de vacío incrementan los valores del coeficiente de difusión.

Cuanto mayores sean la temperatura del proceso y la polaridad del producto, más intenso será el efecto del pulso de vacío en promover la entrada de solutos.- La impregnación también depende del tipo de soluto y su concentración en la solución osmótica, lo que a su vez determina la viscosidad de la solución.- La aplicación del pulso de vacío, como paso preliminar para la deshidratación osmótica, permite obtener un proceso más rápido con un calentamiento mínimo.- Esto es principalmente deseable para mejorar las propiedades sensoriales de productos sensibles al calentamiento prolongado como es el caso de las frutas (*Colina, 2010*).

2.4.2.7 Tiempo de Inmersión del Producto en la Solución

El proceso de difusión es un proceso en estado no estacionario, por lo que el tiempo de inmersión (hasta antes de alcanzar el equilibrio) es una variable importante para definir la cantidad de agua removida y/o la cantidad de sólidos ganados.

Se ha observado que la velocidad de remoción de agua es mayor que la de penetración del soluto, lo cual puede aprovecharse cuando se desea remover agua sin adicionar grandes cantidades de soluto al producto (*Colina, 2010*).

El tiempo requerido para obtener un nivel de concentración de sólidos específico en el alimento durante la deshidratación osmótica varía mucho, depende de los factores antes mencionados y puede ir de 1 a 18 horas.

De lo anterior se desprende que la relación pérdida de agua/ganancia de sólidos obtenida en un alimento durante la deshidratación osmótica, así como la velocidad con que se

realice el proceso están en función de las características de producto, el tipo y concentración de los agentes osmóticos empleados, la relación solución osmótica/producto, la temperatura y presión de proceso, el tiempo de inmersión y la humedad final deseada en el producto.

2.5 AGENTES OSMÓTICOS UTILIZADOS EN EL DESHIDRATADO OSMÓTICO

En la Tabla N°2 se describen los diferentes agentes osmóticos, usos y funciones en los alimentos que van a ser deshidratados osmóticamente.

TABLA N°2: USOS Y FUNCIÓN DE ALGUNOS AGENTES OSMÓTICOS

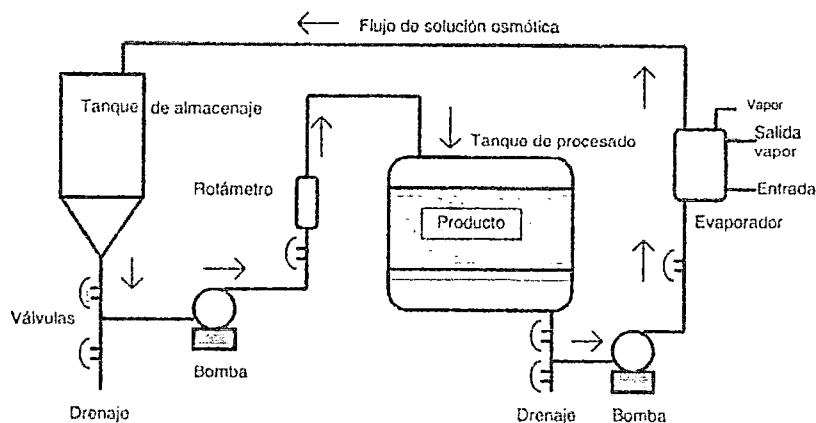
Agente Osmótico	Usos	Función
Sacarosa	Principalmente en frutas	Alta capacidad de remoción de agua.- Reduce el oscurecimiento e incrementa la retención de volátiles.
Fructosa	Principalmente en frutas	Sustitución parcial de la sacarosa, para incrementar dulzor.
Lactosa	Principalmente en frutas	Sustitución parcial de la sacarosa, para reducir dulzor.
Maltodextrinas	Frutas y hortalizas	Sustitución parcial de la sacarosa, para reducir dulzor.
Glicerol	Frutas, hortalizas y pescados	Mejora la textura
Sorbitol	Frutas, hortalizas y pescados	Mejora la textura
Citrato de sodio	Hortalizas	Alta capacidad de reducir la a_w
Cloruro de sodio	Principalmente en carnes, pescados y hortalizas	Alta capacidad de reducir la a_w
Combinación de sacarosa y cloruro de sodio	Frutas, hortalizas y carnes.	Combina los efectos de reducción de la a_w de la sal, con la remoción de agua del azúcar. Mejora las características sensoriales
Carbohidratos de alto peso molecular (almidón)	Pescados, carnes, frutas y hortalizas	Capacidad de remoción de agua con muy baja penetración del soluto al producto.- Se emplea en sustitución parcial de la sacarosa para reducir el dulzor.

Fuente: "Deshidratación de Alimentos" de Colina, (2010).

2.6 APLICACIONES DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

En la Figura N° 3 se muestra un esquema general de un sistema de deshidratación osmótica. El sistema consiste en un tanque de almacenamiento donde se prepara la solución osmótica, seguido de una bomba y un rotámetro para controlar el caudal que entra al tanque de procesado. El producto se coloca en el tanque de procesado donde se bombea la solución osmótica con velocidad constante. Finalmente, la solución osmótica es eliminada, concentrada y recirculada al tanque de almacenamiento para ser reutilizada. Esta idea fue utilizada por *Bajema et al. (1993)* en un diseño preliminar de procesamiento de manzanas como se muestra en la Figura N°4. *Raoult-Wack et al. (1989)* resumen en la Figura N°5 la aplicación de la deshidratación osmótica a nivel industrial. La tecnología de métodos combinados se sirve del procedimiento de la deshidratación osmótica para incorporar aditivos alimentarios en el producto durante el tratamiento. La adición de agentes antimicrobianos, antioxidantes y ácidos orgánicos en la solución osmótica permite no solo eliminar el agua del producto sino también añadir el aditivo alimentario al producto (*Barbosa, 2000*).

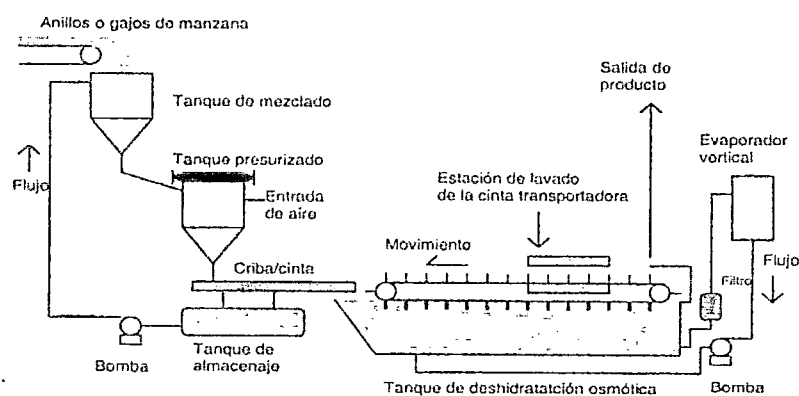
Figura N° 3: Configuración Típica de un Sistema de Deshidratación Osmótica



Fuente: Barbosa, (2000)

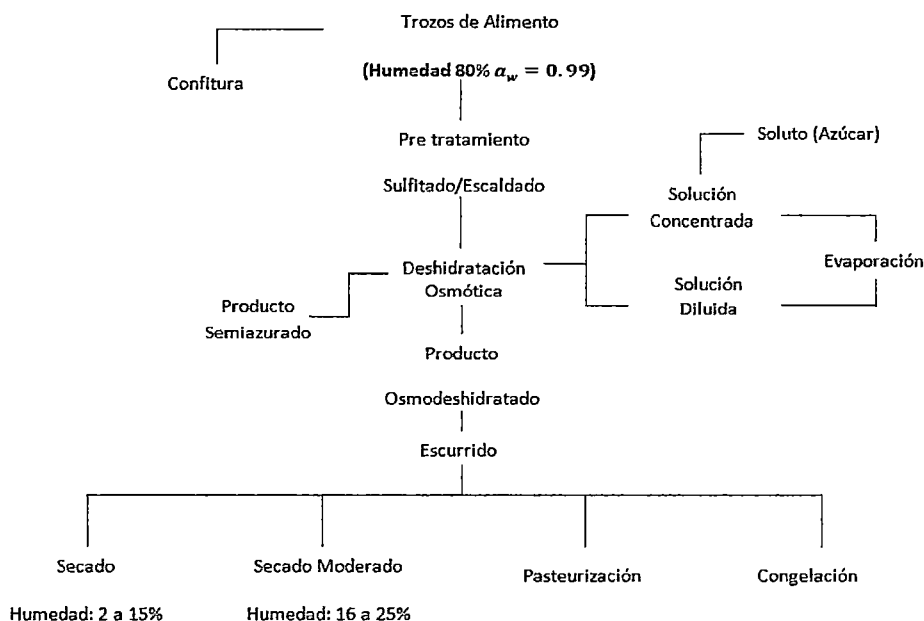
A veces en la deshidratación osmótica se utiliza en una etapa previa un procesado regular de secado. En otros casos, la conservación usa la tecnología de métodos combinados para reducir la actividad de agua utilizando ciertos agentes osmóticos y añadiendo pequeñas cantidades de agentes antimicrobianos o cambiando el pH (Barbosa, 2000).

Figura N°4: Planta Piloto de Deshidratación Osmótica



Fuente: Barbosa, (2000)

Figura N°5: Aplicación Industrial De La Deshidratación Osmótica



Fuente: Raoult-Wack et al., (1989)

2.7 MÉTODOS COMBINADOS Y DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

La mayoría de los procesos de conservación están basados en los obstáculos o barreras que afectan a las condiciones en las que los organismos pueden crecer. Estos cambios provocan la inactivación de organismos que no son peligrosos para la salud, a menos que se restauren las condiciones apropiadas de crecimiento. Algunos ejemplos de obstáculos se dan en la Tabla N°3 (Barbosa, 2000).

TABLA N°3: EJEMPLO DE OBSTÁCULOS EN LA CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS

OBSTÁCULOS
✓ <i>Proceso suave de calentamiento</i>
✓ <i>Temperatura de almacenamiento</i>
✓ <i>Ph</i>
✓ <i>a_w</i>
✓ <i>Potencial Redox</i>
✓ <i>Conservantes</i>
✓ <i>Radiación</i>
✓ <i>Flora competitiva</i>

Fuente: "Deshidratación de alimentos" de Barbosa, (2000).

Los factores utilizados en el diseño de procesos y seleccionados como obstáculos están basados en la cantidad inicial y tipo de microorganismo. La idea fundamental de la tecnología de obstáculos o métodos combinados es no utilizar un solo factor u obstáculo para conservar el alimento. En cambio, se utilizan diversos factores para aumentar los requerimientos de energía necesarios de supervivencia. Cierta tipo de alimentos son microbiológicamente estables cuando son procesados mínimamente, a bajos pH y actividad de agua, aplicando tratamientos suaves de calor y añadiendo pequeñas cantidades de agentes microbianos (Barbosa, 2000).

2.8 SECADO

El secado es una forma común de la conservación de alimentos. Además de aumentar el tiempo de conservación, este reduce el peso y el volumen del producto, disminuyendo así los costos del embalaje, almacenamiento y transporte (*Okos et al., 1992*).

Durante el proceso de secado, el contenido de humedad del producto de la piña secada se reduce típicamente a 60 % (*Zanoni et al., 2000*). Sin embargo, los consumidores exigen que los productos procesados conserven muchas de sus características originales (*Telis y Sobral, 2002*). Actualmente se emplean diferentes modos de secado combinado que incluyen generalmente dos y raras veces tres de algunas de estas opciones:

- Secado convectivo con aire caliente.
- Secado a presión reducida.
- Deshidratación osmótica (D.O.)
- Calentamiento por microondas.
- Calentamiento por radio frecuencia.

2.9 MODELAMIENTO MATEMÁTICO

Para desarrollar un modelo fenomenológico que describa la transferencia de masa en el osmodeshidratado se deben conocer los fundamentos relacionados con la fisicoquímica y la termodinámica del sistema, así como los mecanismos y las cinéticas de transferencia de masa (*Barat, 2008*).

La alta complejidad del sistema hace que la precisión predictiva sea difícil cuando se usan modelos matemáticos rigurosos y que ésta dependa de la determinación apropiada de las condiciones de equilibrio y de parámetros como la difusividad (*Barat, 2008*).



Esta dificultad, hace que en la mayoría de los casos, se interprete la información experimental bajo esquemas empíricos o semiempíricos que son válidos solamente para reproducir condiciones semejantes a las del trabajo del cual se obtuvieron.- La metodología que se utiliza es la correlación directa de la pérdida de agua y ganancia de sólidos con algunas variables de proceso o el planteamiento de un ajuste polinómico, sin embargo, estos métodos no permiten la extrapolación más allá del rango experimental, necesitan un alto número de parámetros que no tienen significado físico, o no siempre generan un buen coeficiente de correlación (*Parjoko et al., 2006*).

2.9.1 Cinética de Secado

2.9.1.1 Cinética de Deshidratación Osmótica

Se han aplicado diferentes modelos matemáticos para ajustar los resultados experimentales de procesos de D.O., con el objeto de predecir el comportamiento de los productos alimenticios. Uno de los modelos más usados es la ecuación empírica propuesta por *Peleg* (*Petrotos y Lazarides, 2001; Sacchetti; Gianotti y Dalla Rosa, 2001; Conway et al., 1983*)

2.9.1.1.1 Modelo Matemático De Peleg

Petrotos y Lazarides, (2001) mencionan que el modelo empírico de Peleg es uno de lo más comúnmente usados por su simplicidad y por permitir caracterizar el proceso de absorción completo y no solo las condiciones de equilibrio. Este modelo no describe el proceso físico de difusión. Se calcula la pérdida de peso y la ganancia de sólidos. La pérdida de agua se determina gravimétricamente, y se realiza un balance de masa para verificar la concordancia de las determinaciones. Los parámetros a evaluar se expresan de la siguiente forma:

WR: reducción o pérdida de peso (g.100 g⁻¹ MF)

WL: pérdida de agua (g agua.100 g⁻¹ MF)

SG: ganancia de sólidos (g sólidos.100 g⁻¹ MF) en que:

MF: muestra fresca inicial

La determinación de la pérdida de peso (**WR**), ganancia de sólidos (**SG**) y pérdida de agua (**WL**) se efectuó a través de la evaluación de las relaciones (1), (2), (3) y (4).

$$WR\% = \frac{W_i - W_t}{W_i} \times 100 \dots \dots \dots (1)$$

$$SG\% = \frac{SS_i - SS_t}{W_i} \times 100 \dots \dots \dots (2)$$

$$WL\% = SG\% + WR\% \dots \dots \dots (3)$$

$$WL\% = \frac{M_i - M_t}{W_i} \times 100 \dots \dots \dots (4)$$

Donde:

W_i = peso de la muestra inicial en g

W_t = peso de la muestra al tiempo t en g

SS_i= sólidos solubles iniciales (°Brix) expresados en g sólidos.100 g⁻¹ MF

SS_t= sólidos solubles al tiempo t (°Brix t) expresados en g sólidos.100 g⁻¹ MF

M_i= humedad inicial expresada en g H₂O.100 g⁻¹ MF

M_t = humedad al tiempo t expresada en g H₂O.100 g⁻¹ MF

El modelo aplicado fue la ecuación empírica propuesta por Peleg (1988), la Ecuación 5, que describe las curvas que se acercan a un equilibrio asintótico. Es un modelo noexponencial de dos parámetros:

$$M(t) = M_i \pm \frac{t}{k_1 + k_2 t} \dots \dots \dots (5)$$

Donde:

M_i = humedad inicial

$M(t)$ = humedad al tiempo t

k_1 y k_2 = constantes de secado

Teniendo en cuenta la Ecuación 4 y la Ecuación 5 se puede escribir en términos de WL , obteniendo la Ecuación 6:

$$WL = \frac{t}{\frac{w_i}{100}(k_1 + k_2 t)} \dots\dots\dots (6)$$

Similar ecuación se puede escribir para la ganancia de sólidos (**SG**) y para la pérdida de peso (**WR**) Ecuaciones 7 y 8.

$$SG = \frac{t}{\frac{w_i}{100}(k_1 + k_2 t)} \dots\dots\dots (7)$$

$$WR = \frac{t}{\frac{w_i}{100}(k_1 + k_2 t)} \dots\dots\dots (8)$$

2.9.1.2 Cinética de Secado Convectivo

Para modelar la cinética de secado de los alimentos se hace uso de la ecuación de la segunda ley de Fick, cuya solución en el caso de una placa plana, considerando que la migración de la humedad es causada por la difusión, sin encogimiento, y bajo coeficientes de difusión y temperatura constantes, es la siguiente:

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = \frac{8}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)} \exp \left[\frac{-(2n+1)^2 \pi^2 D_{eff} t}{4L^2} \right] \dots (9)$$

Normalmente, la ecuación señalada anteriormente, se puede simplificar al primer término de la serie, y para ese caso queda como:

$$Ln \frac{M}{M_0} = Ln \frac{8}{\pi} - \left[\frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L^2} \right] \dots\dots\dots (10)$$

Dónde:

MR : Relación de humedad (Adim)

M : Contenido de humedad en un instante cualquiera (%)

M_0 : Contenido de humedad inicial (%)

M_e : Contenido de humedad en equilibrio (%)

D_{eff} : Difusividad efectiva (m^2/s)

L : Mitad del espesor (m)

t : Tiempo (min)

Esta ecuación permite calcular la difusividad efectiva de un producto a través de graficar los datos experimentales del proceso de secado en términos del $\ln MR$ contra el tiempo de secado (*Dong Chen X., 2008*).

CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Materiales, Equipos y Reactivos

3.1.1 Materiales

- Bolsas Ziploc, Reynolds.
- Baguetas.
- Bureta graduada de 50mL., PYREX, tolerancia: $\pm 0.05\text{mL}$.
- Cápsula de porcelana.
- Cronómetro.
- Embudo.
- Fiolas de 250mL., PYREX, tolerancia $\pm 0.12\text{mL}$.
- Matraz de Erlenmeyer de 200mL., PYREX, tolerancia $\pm 0.10\text{mL}$.
- Mortero de porcelana.
- Papel filtro Whatman N° 40 – 42.
- Pipetas volumétricas 10, 25mL., PYREX, tolerancia $\pm 0.025\text{mL}$.
- Probetas 50, 100mL., PYREX, tolerancia $\pm 1.0\text{mL}$.
- Soporte universal.
- Vasos de precipitación 50, 100, 250mL, PYREX, tolerancia: $\pm 0.10\text{mL}$.
- Papel higiénico.
- Cuchillos.
- Tablas para picar.
- Papel higiénico Suave.
- Colador.

3.1.2 Equipos

- Balanza electrónica KERN modelo PCB; $d=0.1\text{mg.}$; $W_{\text{max.}} 2500\text{g.}$
- Balanza semianalítica EXCELL modelo BH-300; $d=0.1\text{mg.}$; $W_{\text{max.}} 300\text{g.}$

- Balanza de Bolsillo CAMRY modelo EHA 701, d=0.02g; Wmax: 200 g.
- Equipo de titulación.
- Estufa MEMMERT (130 °C).
- pHmetro digital HANNA modelo PH210.
- Refractómetro marca ATAGO modelo PAL 3.

3.1.3 Reactivos

- Fenolftaleína al 1%.
- NaOH 0.1N.

3.2 Métodos

3.2.1 Procedimientos para la Obtención de los resultados

3.2.1.1 Procedimientos para los Análisis Físicoquímicos

3.2.1.1.1 Determinación del Grado de Madurez de la Piña

Para determinar el grado de madurez se utilizará la siguiente tabla de color de la Piña en el Anexo I.

3.2.1.1.2 Determinación de la Acidez Titulable

Se determinará por el método de Titulación Potenciométrica.

Procedimiento: Pesar 5g de la muestra examen debidamente triturada, agregar 80ml de agua destilada, dejar en contacto 1 hora, filtrar, al filtrado obtenido aforar a 250ml.

Del aforado anterior tomar 5 ml agregar gotas de fenolftaleína y titular con solución de NaOH 0.1N, hasta obtener una coloración ligeramente rosada, anotar el número de mililitros gastados y efectuar los cálculos. Se expresa como porcentaje de ácido cítrico y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\%Acidez\ Titulable\ (A.T.) = \frac{V_1 * N}{V_2} \times K \times 100$$

Donde:

V_1 = volumen de NaOH consumido (ml)

V_2 =volumen de la muestra (5ml)

K =peso equivalente del ácido cítrico (0.064g/meq)

N = normalidad del NaOH (0.1 meq/ml)

3.2.1.1.3 Determinación del Contenido de Sólidos Solubles Totales

Se determinará por el método Refractométrico y se expresa en grados Brix ($^{\circ}\text{Bx}$). La lectura se debe corregir utilizando el porcentaje de ácido cítrico, mediante la siguiente ecuación:

$$S.S.T(\text{Corregido}) = 0.194 \times A.T. + S.S.T.$$

Donde:

$A.T.$ = %Acidez Titulable

$S.S.T.$ =sólidos solubles totales en grados Brix

3.2.1.2 Diagrama de Bloque para el Procesamiento de la Piña osmodeshidratada

La materia prima a utilizar en la investigación son las piñas de variedad MD2, comprados en el Mercado Modelo de Lambayeque. Los análisis fisicoquímicos, así como el desarrollo de la deshidratación osmótica se realizaron en los laboratorios de fisicoquímica y control de calidad en la Facultad de Ingeniería Química e Industrias alimentarias de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Los pasos a seguir para este proceso son señalados en la Figura N°6, que constan:

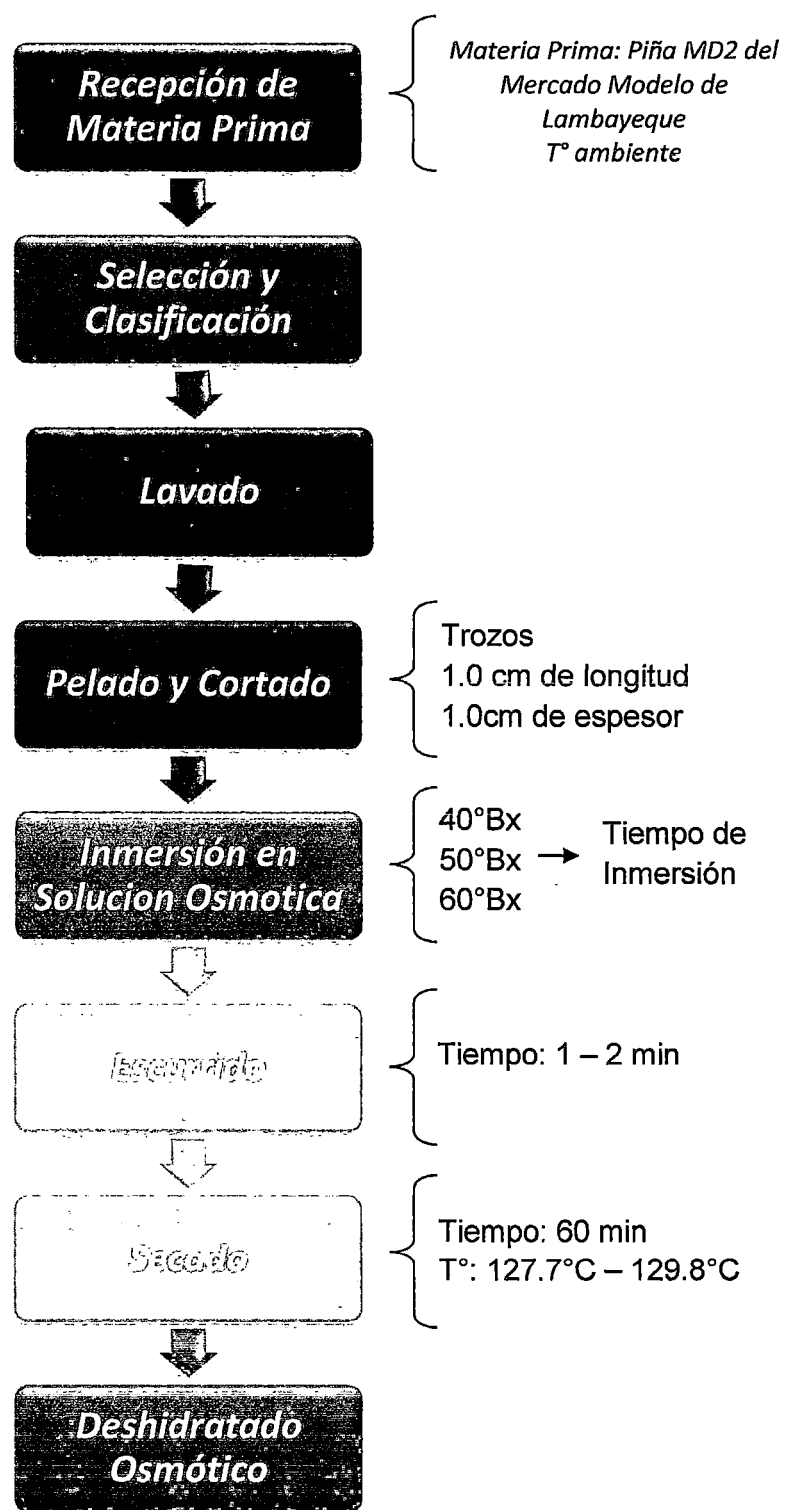


Figura N°6: Diagrama de Flujo para la Deshidratación Osmótica de la Piña MD2 (*Ananas comosus Variedad comosus*)

- **RECEPCION DE MATERIA PRIMA:** Se recepciona la materia prima a evaluar, en este caso la piña.
- **SELECCIÓN Y CLASIFICACION:** La selección de la materia prima, se toman muestras de piñas que no contengan ningún tipo de deterioro como daños mecánicos, golpes cortes y entre otros tipos de defectos. La clasificación se determinó por atributos tales como: tamaño, peso y color externo uniforme.
- **LAVADO:** Se realizó un lavado minucioso de la fruta, eliminando de tal manera residuos de tierra que pudieran haber estado adheridos a la fruta.
- **PELADO Y CORTADO:** Durante el pelado se realizó con cuchillos de cocina de acero inoxidable previamente desinfectados, se procedió a pelar la piña desde la parte superior de la corona hasta la parte inferior de la piña.
Durante el cortado se realizó un corte de pequeños trozos (cubos) de 1.0 cm de longitud con un espesor de 1.0cm.
Se procede a pesar cada trozo de piña y anotar en un cuaderno los datos.
- **INMERSION EN UNA SOLUCIÓN OSMÓTICA:** Una vez obtenido los trozos (cubos) de piña se agrega 22 cubitos por cada solución osmótica (40°Bx, 50°Bx, 60°Bx), y luego se anota la hora de inmersión.
- **ESCURRIDO:** Pasada una media hora de inmersión se extrae un trozo de piña al azar de cada solución osmótica (esto se realiza hasta las 3.5 horas de inmersión), con movimientos muy suaves se extrae un trozo y luego esa muestra dejarlo en reposo en un tiempo de 1 – 2 minutos con la ayuda de un colador para poder retirar el exceso de

cada solución osmótica, luego se procede a pesar, y se anota su peso correspondiente a cada trozo de piña por tratamiento.

De los trozos de piña extraídas, señaladas anteriormente se toman muestras para determinar su contenido de humedad de cada una y luego es anotada en una Tabla de Excel para cada repetición.

- **SECADO:** Los pequeños trozos de piña correspondientes a cada solución osmótica son colocados en diferentes bandejas para poder realizar el secado correspondiente a una temperatura de 127.7°C – 129.8°C . Una vez pasada una hora de secado, las pequeñas muestras son pesadas cada uno por cada solución osmótica, anotándolas en el cuaderno de datos, y se continúa a repetir el mismo proceso hasta poder completar las 3.5 horas, para poder predecir el comportamiento de la deshidratación osmótica de la piña.

3.2.1.3 Preparación de las Muestras

Se utilizó la piña MD2, de textura consistente, pelada, cortada en trozos con dimensiones de 1 cm. de longitud y con un espesor de 1 cm. y con un peso de 1 ± 0.12 como se muestra en el Anexo IV.

Los trozos de piña se deben agregar 22 trozos de piña (Peso: 24.64g.) a cada bolsa ziploc completamente rotulada (por los tratamientos) para el proceso del deshidratado osmótico.

3.2.1.4 Preparación de las Soluciones Osmóticas

Se tomara en cuenta en la investigación en una dilución de 1:5 y se trabajará en bolsas ziploc de 1000 g. se rotula el nombre de cada solución osmótica a preparar (Anexo II y V).

- **Solución de azúcar al 40 % p/v:** Se necesita 73.92mL de agua destilada, con el uso de una probeta 250 mL se coloca agua destilada hasta su tope luego se verte a un vaso precipitado de 1 L,

luego se pesa 49.28 g de azúcar blanca refinada Marca Metro y se le adiciona al vaso precipitado de 1 L o jarra plástica que contiene la cantidad de agua señalada anteriormente.

- **Solución de azúcar al 50 % p/v:** Se necesita 61.6mL de agua destilada, con el uso de una probeta 250 mL se coloca agua destilada hasta su tope luego se verta a un vaso precipitado de 1 L, luego se pesa 61.6 g de azúcar blanca refinada Marca Metro y se le adiciona al vaso precipitado de 1 L o jarra plástica que contiene la cantidad de agua señalada anteriormente.
- **Solución de azúcar al 60 % p/v:** Se necesita 49.28 mL de agua destilada, con el uso de una probeta 250 mL se coloca agua destilada hasta su tope luego se verta a un vaso precipitado de 1 L, luego se pesa 73.92 g de azúcar blanca refinada Marca Metro y se le adiciona al vaso precipitado de 1 L o jarra plástica que contiene la cantidad de agua señalada anteriormente.

3.2.1.5 Determinación de la Humedad

Se determinará por el Método Gravimétrico de la estufa.

Procedimiento: En una cápsula de porcelana tarada colocar 10g de la muestra problema, llevar a la estufa a 105 °C durante 2 a 3 horas hasta que el peso sea constante, dejar enfriar y pesar.

$$\%Humedad = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100$$

Donde:

P_i = peso inicial de la muestra

P_f = peso final de la muestra

3.2.1.6 Determinación de Parámetros Cinéticos para el Modelamiento Matemático de Peleg

Para el modelado matemático debemos tener en cuenta los datos obtenidos de la deshidratación osmótica se anotarán en Tablas en Microsoft Excel (los pesos en el tiempo para cada hora de inmersión en cada solución, determinándose el porcentaje humedad (%H) respectiva), se analizará con el uso del programa de STATISTICA 7 mediante una regresión lineal simple, se determinarán las constantes de la ecuación (K_1 , K_2 y R_2), señalados en los ítems 2.9.1.1 y 2.9.1.2, se calcularán el nivel de ajuste del modelo propuesto con los datos experimentales.

3.2.1.6.1 Determinación de la Pérdida de Humedad

Modelo de Peleg para predecir la pérdida de humedad en el tiempo.

$$M(t) = M_i \pm \frac{t}{k_1 + k_2 t}$$

Donde:

M_i = humedad inicial

$M(t)$ = humedad al tiempo t

k_1 y k_2 = constantes de secado

3.2.1.6.2 Determinación de la Ganancia de Sólidos

Modelo de Peleg para predecir la ganancia de sólidos en el tiempo.

$$SG = \frac{t}{\frac{W_t}{100} (k_1 + k_2 t)}$$

Donde:

W_i = humedad inicial

t = tiempo

k_1 y k_2 = constantes de secado

3.2.1.6.3 Determinación de la Difusividad Efectiva

Se determinara por la segunda Ley de Fick

$$\ln \frac{M}{M_0} = \ln \frac{8}{\pi} - \left[\frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L^2} \right]$$

Donde:

M : Contenido de humedad en un instante cualquiera (%)

M_0 : Contenido de humedad inicial (%)

M_e : Contenido de humedad en equilibrio (%)

D_{eff} : Difusividad efectiva (m²/s)

L : Mitad del espesor (m)

t : Tiempo (min)

3.2.2 Análisis Estadísticos delos Datos

Para el análisis de varianza y las pruebas de rangos múltiples (Tukey), se usará el programa STATGRAPHICS CENTURION XVI, con un nivel de significancia $\alpha=0.05$, evaluando la reducción del porcentaje de humedad y la ganancia de sólidos.

Mediante la prueba de Rango Múltiple (Tukey), dependiendo del criterio a evaluar al que pertenece en la deshidratación osmótica, se determinará si la reducción del porcentaje de humedad en los tres tratamientos osmóticos son diferentes entre sí o si uno o varios tratamientos son homogéneos, de igual manera se determinarán para las ganancias de sólidos en el tiempo del deshidratado osmótico.

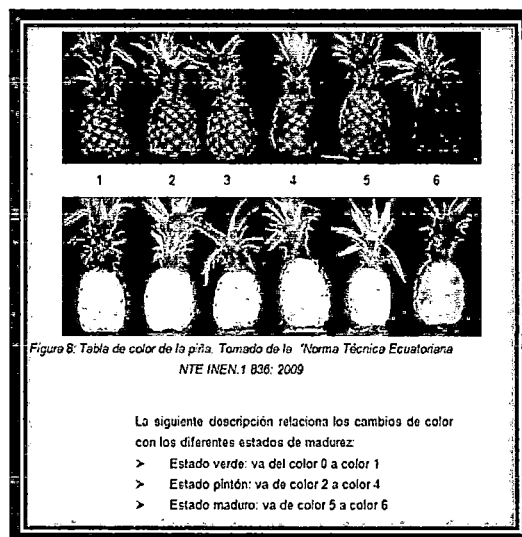
CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS DE LA PIÑA MD2

4.1.1 Grado de Madurez de la Piña MD2

La materia prima utilizada en la investigación son las piñas de variedad MD2, comprados en el Mercado Modelo de Lambayeque; analizándolo con la "Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN.1 836: 2009 (Ver Anexo I) se determinó un índice de madurez en estado pintón.



4.1.2 Acidez Titulable de la Piña MD2

Los datos obtenidos para la acidez titulable se hizo con 4 repeticiones obteniéndose como resultado promedio de 0.5024%, conforme así se muestra en la siguiente tabla N°4. (Ver Anexo VI)

TABLA N° 4: PORCENTAJE DE ACIDEZ TITULABLE POR CADA REPETICIÓN

Día (repetición)	Muestra (ml)	Gasto (ml)	Normalidad (N)	K (constante) K= 0.064	% Acidez Titulable
1	5.0	3.8	0.1	0.064	0.4864%
2	5.0	3.8	0.1	0.064	0.4864%
3	5.0	4.2	0.1	0.064	0.5376%
4	5.0	3.9	0.1	0.064	0.4992%
PROMEDIO					0.5024%

Fuente: Autores (2015)

La "Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN.1 836: 2009 (Ver Anexo XII) menciona que el porcentaje de acidez de la piña MD2 está en un máximo de 0.9% que a comparación de nuestros datos

no se acerca, ya que contamos con un 0.5024% de acidez titulable, pero a comparación a *Hernández et al., (2010)*, se acerca al resultado obtenido por nosotros (Ver Anexo XIII).

4.1.3 Sólidos Solubles Totales de la Piña MD2

Los datos obtenidos para el contenido de sólidos solubles totales se hicieron con 4 repeticiones obteniéndose como resultado un promedio de 11.8224656 corregido, esto se puede ver en la siguiente tabla N° (Ver Anexo VI).

TABLA N° 5: SÓLIDOS SOLUBLES TOTALES CORREGIDOS POR CADA REPETICIÓN

Día (repetición)	S.S.T.	% Acidez Titulable	S.S.T. corregido
1	11.9	0.4864	11.9943616
2	11.6	0.4864	11.6943616
3	11.9	0.5376	12.0042944
4	11.5	0.4992	11.5968448
PROMEDIO			11.8224656

Fuente: Autores (2015)

La "Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN.1 836: 2009 (Ver anexo XII) menciona que el contenido de sólidos solubles totales de la piña MD2 se encuentra en un rango de 11.0 – 17.0 °Brix comparando con nuestro resultado se encuentra en el rango establecido por dicha Norma.

4.2 DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE LA PIÑA MD2 (*Ananas comosus* Variedad *comosus*)

4.2.1 Variación de la Humedad durante la Deshidratación Osmótica de la Piña MD2

La variación del contenido de humedad para diferentes tratamientos en azúcar como soluto, se presentan en la figura N°7 y en el Anexo VII en el ítem 7.2.

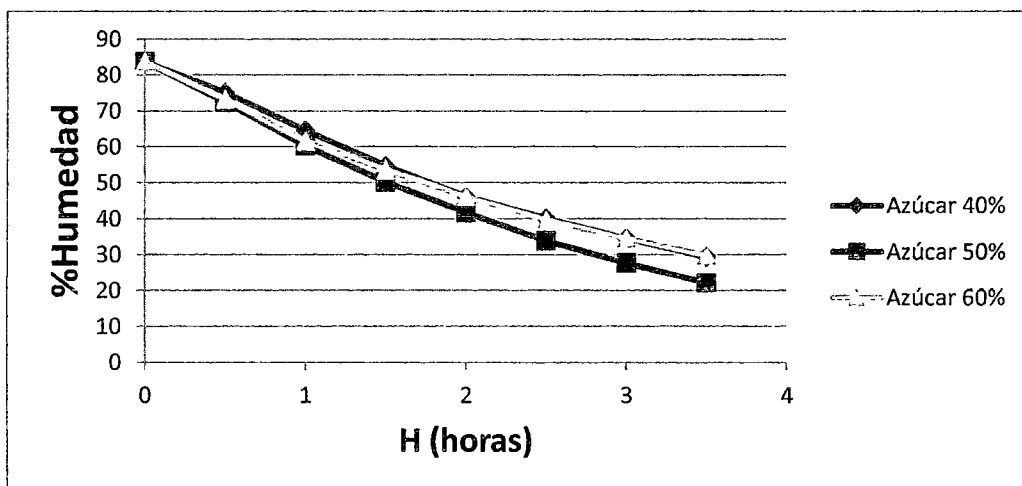


Figura N° 7 : Pérdida de humedad por cada 0.5 hora de deshidratación osmótica a diferentes tratamientos

En la figura N°7 se puede observar que la pérdida de humedad utilizando azúcar al 40% tiene una tendencia semejante con la de azúcar al 60%, cabe mencionar que el estudio que realizaron *Buestan et al., 2010*, mencionan que los tiempos para alcanzar el 50% de reducción de peso en la piña osmodeshidratada en una solución de sacarosa es de 120 min y a comparación a nuestra investigación concordamos lo que mencionan dichos autores.

La pérdida de humedad para el caso de la deshidratación osmótica durante la fase de osmosis experimenta un incremento negativo durante las

3,5 horas en diferentes tratamientos osmóticos así como en el tratamiento de azúcar al 50% tiene una mayor pérdida de humedad que da un resultado de 22.1427% a comparación del estudio que realizaron *Hernández, et al., 2010* sobre rodajas de piña deshidratadas (Ver Anexo XIII) obtuvieron un resultado de Sacarosa de 22 ± 0.5 de % Humedad; y a estos resultados a comparación a nuestra investigación se encuentra en el rango establecido propuesto por dichos autores.

En nuestra investigación encontramos diferencia significativa en la Humedad final en los tratamientos de 50% con 40% y con 50% con 60% p/v donde afirmamos que el tipo de tratamiento o edulcorante osmótico y el tiempo inmersión influye en el contenido de humedad final. Mientras que *Arauz; 2009*, en su estudio sobre el efecto del tipo de edulcorante y el tiempo de inmersión en la DO de la piña, menciona en sus resultados que no existieron diferencias significativas en cuanto a la humedad total de la piña deshidratada en el caso del tipo de edulcorante o tratamiento y el tiempo de inmersión, no influyeron en el contenido final de humedad en la piña deshidratada.

Afirmamos que el tratamiento osmótico se aplica con el objetivo de modificar la composición del material de alimentación a través de la eliminación de agua parcial y la impregnación de solutos, sin afectar a la integridad estructural del producto como lo menciona el estudio de *Ferreira et al, 2008*.

Se obtuvo que el efecto de la concentración y el tipo del soluto en la variación de la humedad durante el tiempo de deshidratación osmótica tiene un valor significativo concordando con lo que obtuvieron *Chenlo, 2006, 2007; Park, 2002a; Sacchetti, 2001*.

4.2.2 Variación de la Concentración de Sólidos durante la Deshidratación Osmótica de la PiñaMD2

El efecto de la retención de solutos dependerá de la concentración del soluto y el tipo de agente deshidratante (azúcar al 40%, 50%, 60%) como se muestra en la figura N°8, estos datos fueron obtenidos a partir de las repeticiones que se encuentran en el Anexo IX en el ítem 9.1.

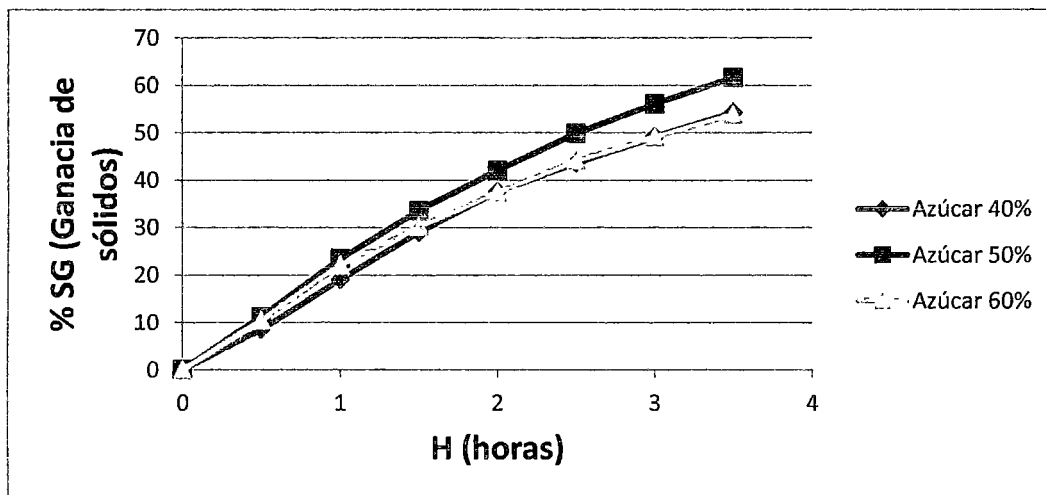


Figura N°8 : Ganancia de sólidos por cada 0.5 hora de deshidratación osmótica a diferentes soluciones

En la figura N° 8 se puede observar que la ganancia de sólidos en las soluciones de 40% y 60% es muy parecida. Se sabe que en el incremento en la concentración en la disolución osmótica y la disminución en el tamaño de la muestra incrementa la velocidad de transferencia de masa hasta un punto por encima del cual se obtienen cambios indeseables de sabor, color y textura por lo que concordamos con *Rastogi y Raghavarao, 1996; Van Nieuwenhuijzen et al., 2001*, en cuanto al uso de solutos de alto peso molecular como la sacarosa (40, 50 y 60%) favorecieron la pérdida de agua a expensas de la ganancia de sólidos, que se debe a su tamaño sobre la porosidad de la piña.

En nuestra investigación sobre la piña osmodeshidratada se trabajó con dimensiones de 1.0 x 1.0 x 1.0 cm y pasando los 60 minutos genera un

aumento de ganancia de sólidos por cada tratamiento de azúcar (40%, 50% y 60%) y fueron de 19.1421%, 23.4650%, 22.1239% respectivamente; en cuanto a Maldonado *et al.*, 2008, en sus estudios que realizaron sobre el yacón osmodeshidratado mencionan que la ganancia de sólidos aumentan rápidamente en los primeros 60 minutos con un porcentaje de 9.5% promedio por cada tratamiento, para más detalles (Ver Anexo XIV). La materia prima que trabajaron dichos autores fueron con dimensiones de 3.0 x 3.0 x 0.3 cm y, mientras que dichos autores hicieron un estudio sobre un tubérculo que tiene un menor % de sólidos solubles, nosotros en nuestro estudio estamos trabajando sobre una fruta tropical donde va tender a ganar un porcentaje mayor de sólidos solubles.

La ganancia de sólidos que se obtuvieron en nuestro estudio a partir de la deshidratación osmótica de la piña a diferentes tratamientos de azúcar a 40, 50 y 60% fueron de 54.3534%, 61.6403%, 53.8806% respectivamente; a comparación con los datos obtenidos por Acosta y Castro, 2012, en su estudio de deshidratación osmótico de la piña hawaiana, con tratamientos de 40, 50 y 60% no se asemejan del todo, debido a que los valores obtenidos por el autor mencionado fueron de 58,4% , 61.0% , 62.4%, esto quizás pueda deberse a la calidad de la piña, variedad, índice de madurez.

El tamaño molecular del agente osmótico es otro de los factores importantes que influyeron en la transferencia de masa, para la pérdida de agua y ganancia de soluto durante los procesos de deshidratación osmótica, corroborando con los estudios de Raoult-Wack, 1994; Rastogi, 1995; Saurel, 1994.

Una vez pasada las 3.5 horas de osmodeshidratado hubo una ganancia de sólidos de más del 50% por cada tratamiento ya que esto se debe a la fuerza máxima, la dureza, la calidad del color y la dulzura aumentan con el tiempo de inmersión y con la concentración de la disolución por lo que concordamos con Moyano *et al.*, 2002.

4.2.3 Efectos de la Concentración y Tipo de Solute

El efecto de la concentración del soluto y el tipo de agente deshidratante (azúcar) pasado 3.5 horas de deshidratación osmótica.

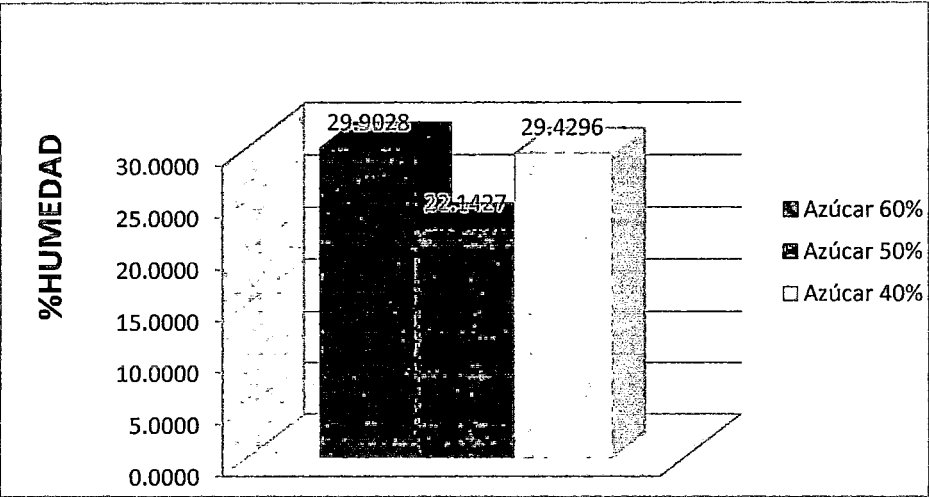


Figura N° 9: Humedad final después de 3.5 horas de deshidratación osmótica a diferentes soluciones

En la figura N° 9 se puede observar que después de 3.5 horas de inmersión en las soluciones osmóticas, azúcar al 40% reduce el porcentaje de humedad hasta 54.3534%, azúcar al 50% reduce el porcentaje de humedad hasta 61.6403%; azúcar 60% p/v reduce el porcentaje de humedad hasta 53.8802%.

Una vez pasado las 3.5 horas del deshidratado osmótico se obtuvieron resultados de 29.9028%, 22.1427% y 29.4226% con tratamientos de azúcar al 40%, 50% y 60% respectivamente a los cual estos valores se acerca a los datos obtenidos por *Acosta y Castro, 2012*, en su estudio de deshidratación osmótica de la piña hawaiana (Ver Anexo XV) obtuvieron resultados de dicho investigación de 25.6%, 25.4% y 26.2% con tratamientos osmóticos de 40, 50 y 60% de azúcar.- De igual manera en los resultados reportados por *Salazar, 2003*, en su investigación de rodajas de carambola deshidratadas osmóticamente junto al *Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos, (1991)*, donde también estos valores se encuentran muy próximos

a los resultados reportados en la investigación de deshidratación osmótico de la papaya y mango en trozos.

4.2.4 Datos del Proceso para Determinar la Difusividad Efectiva de la Piña Osmodeshidratada

4.2.4.1 Efecto de la Difusividad Efectiva en el Tiempo durante en el Osmodeshidratado de la Piña

Los datos del efecto de la difusividad efectiva durante en el osmodeshidratado, fueron modelados usando la segunda ley de difusión de Fick señalada en el ítem 2.9.1.2, en la ecuación N°10.

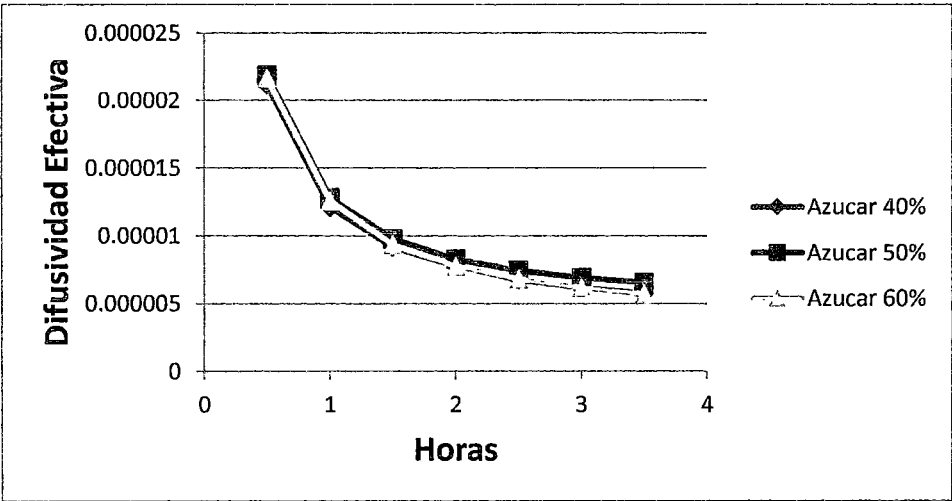


Figura N°10: Efecto de la Difusividad Efectiva en el tiempo durante en el osmodeshidratado por cada solución osmótica

En la figura N° 10, se pueden ver en los resultados que a medida que pasa el tiempo de secado disminuye la difusividad efectiva. La difusividad efectiva por cada solución osmótica es diferente a excepción de la solución de azúcar al 40 y 60 % que presentan un difusividad muy semejante.

4.2.4.1.1 Solución Osmótica al 40% de Azúcar

Las difusividades en la hora cero, no pudieron calcularse debido a que la relación adimensional de humedades en los trozos de piña es equivalente a cero, no pudiéndose calcular el logaritmo natural de cero.

En la tabla N° 4 y en el Anexo XI en el ítem 11.1, presenta las difusividades efectivas obtenidas en el tiempo durante en el osmodeshidratado de la piña al 40% de azúcar.

TABLA N°6: DIFUSIVIDAD EFECTIVA EN EL TIEMPO DURANTE EN EL OSMODESHIDRATADO DE LA PIÑA AL 40% DE AZÚCAR

T (H)	D _{eff}
0	
0.5	2.11378E-05
1	1.20996E-05
1.5	9.18739E-06
2	7.75491E-06
2.5	6.77159E-06
3	6.14337E-06
3.5	5.73496E-06

Fuente: Autores (2015)

4.2.4.1.2 Solución Osmótica al 50% de Azúcar

Las difusividades en la hora cero, no pudieron calcularse debido a que la relación adimensional de humedades en los trozos de piña es equivalente a cero, no pudiéndose calcular el logaritmo natural de cero.

En la tabla N° 5 y en el Anexo XI en el ítem 11.2, presenta las difusividades efectivas obtenidas en el tiempo durante en el osmodeshidratado de la piña al 50% de azúcar.

TABLA N°7: DIFUSIVIDAD EFECTIVA EN EL TIEMPO DURANTE EN EL OSMODESHIDRATADO DE LA PIÑA AL 50% DE AZÚCAR

T (H)	D_{eff}
0	
0.5	2.18835E ⁻⁰⁵
1	1.28009E ⁻⁰⁵
1.5	9.77455E ⁻⁰⁶
2	8.27113E ⁻⁰⁶
2.5	7.45694E ⁻⁰⁶
3	6.89807E ⁻⁰⁶
3.5	6.55857E ⁻⁰⁶

Fuente: Autores (2015)

4.2.4.1.3 Solución Osmótica al 60% de Azúcar

Las difusividades en la hora cero, no pudieron calcularse debido a que la relación adimensional de humedades en los trozos de piña es equivalente a cero, no pudiéndose calcular el logaritmo natural de cero.

En la tabla N°6 y Anexo XI en el ítem 11.3, presenta las difusividades efectivas obtenidas en el tiempo durante en el osmodeshidratado de la piña al 60% de azúcar.

TABLA N°8 : DIFUSIVIDAD EFECTIVA EN EL TIEMPO DURANTE EN EL OSMODESHIDRATADO DE LA PIÑA AL 60% DE AZÚCAR

t (H)	D_{eff}
0	
0.5	2.16483E-05
1	1.25781E-05
1.5	9.34031E-06
2	7.74562E-06
2.5	6.8293E-06
3	6.14768E-06
3.5	5.68878E-06

Fuente: Autores (2015)

La siguiente tabla muestra los datos obtenidos de nuestra investigación sobre la difusividad efectiva en el tiempo durante la OD de la piña al 60% de azúcar.

Algunos autores han recopilado datos en los últimos 15 años sobre valores de coeficientes de difusión de algunos materiales comunes, y señala que la difusividad de los alimentos normalmente se ubica en un rango de 10^{-13} a $10^{-6} m^2/s$, y la mayoría de ellos (82%) están acumulados en la región de 10^{-8} a 10^{-6} . En el presente estudio, los valores obtenidos de la difusividad se encuentran dentro de dicho intervalo (Marinos, 2006).

La ganancia de sólidos depende de las características del tejido vegetal mientras se va deshidratando ya que la velocidad de difusión aumenta cuando va en aumento la concentración de sacarosa a tiempos cortos (Kowalska & Lenart, 2001).

Nuestros datos obtenidos en nuestra investigación se trabajó con trozos de piña a una temperatura ambiente aproximadamente en un rango de 22 – 24°C dándose como resultado las siguientes difusividades efectivas: $5.73496 \times 10^{-6} m^2/s$ (Azúcar 40%), $6.55857 \times 10^{-6} m^2/s$ (Azúcar 50%), $5.68878 \times 10^{-6} m^2/s$ (Azúcar 60%) respectivamente; algunos autores mencionan que la difusividad efectiva en la piña se encuentra en un rango de $1.48 - 3.24 \times 10^{-9}$ a una temperatura de 30 – 50°C con tratamientos osmóticos de 40 – 70° Brix (Ver Anexo XVI), de acuerdo a nuestra investigación, no concordamos con lo mencionado por dichos autores. (Rastogi N. et al., 2004). De igual manera otros autores como Martínez y Aylas, (2005) reportan valores de difusividad efectiva para agua y sólidos en el que para el deshidratado osmótico de la piña menciona la difusividad para sólidos está en el rango de $0.2 \times 10^{-9} m^2/s$ a $0.46 \times 10^{-9} m^2/s$ a la temperatura de 50 – 70°C y a concentración de 50 – 70°Brix y en el rango de temperaturas de 30 - 50°C son soluciones osmóticas a concentración de 40 – 70°Brix y las difusividades están en el rango de: $0.53 \times 10^{-9} m^2/s$ a $1.54 \times 10^{-9} m^2/s$ (Ver Anexo XVII), estos valores de difusividad no se encuentra a los más próximo con los datos obtenidos en nuestra investigación, y a esto puede ser por la variedad que hemos trabajado.

4.3 MODELAMIENTO MATEMÁTICO DE PELEG

4.3.1 Parámetros del Modelo de Peleg para Determinar la Pérdida de Humedad en el Tiempo de la Piña Osmodeshidratada

El modelo de Peleg para predecir la pérdida de humedad en el tiempo tuvo niveles de ajustes $R_2 \geq 0.979493181$, también se puede observar que las constantes de secado k_2 son mayores a las constantes de secado k_1 . Los datos específicos se pueden observar en el Anexo VII en las tablas N° 14, 16, 18.

TABLA N° 9: PARÁMETROS DE SECADO PARA LA PÉRDIDA DE HUMEDAD EN TROZOS DE PIÑA

SOLUCIÓN OSMÓTICA	CONSTANTES DE SECADO		NIVEL DE AJUSTE
	k_1	k_2	
Azúcar 40%	0.061206	0.493173	0.988702141
Azúcar 50%	0.052994	0.343250	0.985805979
Azúcar 60%	0.147440	10.20555	0.979493181

Fuente: Autores (2015)

La ecuación de Peleg proporciona un modelado más adecuado para todo tipo de proceso que se desea trabajar para dar a conocer los mejores resultados de R^2 (Moreira; Murr, 2004).

Nuestros datos que se verifican en la Tabla N°7 tiene un nivel de ajuste de $R^2 > 0.9794$ para la pérdida de humedad, en el estudio de yacón osmodeshidratado aplicando el modelo matemático de Peleg (Ver Anexo XIV) obtuvieron un rango de nivel de ajuste de $R^2 > 0.9862$ con respecto a la pérdida de humedad. Lo cual indica que el modelo matemático de Peleg permite predecir la pérdida de humedad (Maldonado et al., 2004).

4.3.2 Parámetros del Modelo De Peleg para Determinar la Ganancia de Sólidos en el Tiempo de la Piña Osmodeshidratada

El modelo de Peleg para predecir la ganancia de sólidos en el tiempo tuvo niveles de ajustes $R_2 \geq 0.998469684$, también se puede observar que las constantes de secado k_1 son mayores a las constantes de secado k_2 . Los datos específicos se pueden observar en el Anexo IX y en las tablas N°24, 26, 28.

**TABLA N°10: PARÁMETROS DE SECADO PARA LA GANANCIA DE SÓLIDOS
EN TROZOS DE PIÑA**

SOLUCIÓN OSMÓTICA	CONSTANTES DE SECADO		NIVEL DE AJUSTE
	k ₁	k ₂	R ₂
Azúcar 40%	0.044348	0.005475	0.998469684
Azúcar 50%	0.036733	0.005585	0.999602143
Azúcar 60%	0.038696	0.007385	0.999542931

Fuente: Autores (2015)

Comparando nuestra investigación en el osmodeshidratado de la piña con un nivel de ajuste de $R^2 > 0.9984$, con el estudio de *Moreira y Murr; (2004)*, en su estudio de transferencia de masa en el osmodeshidratado del tomate (Ver Anexo XVIII) aplicando el modelo de Peleg obtuvieron un rango de nivel de ajuste de $R^2 > 0.95$ con respecto a ganancia de sólidos, al igual que *Maldonado et al., (2008)*, obtuvo un nivel de ajuste de $R^2 > 0.9837$ con respecto a la ganancia de sólidos (Ver Anexo XIV), lo cual es similar con el estudio anterior mencionado lo cual indica que el modelo matemático de Peleg permite predecir la ganancia de sólidos.

4.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

4.4.1 Para la Humedad

4.4.1.1 Análisis de Varianza de los Porcentajes de Humedad en las Soluciones Osmóticas

En la Figura N°11 se muestra las variaciones entre las humedades donde no existe diferencias significativas entre los tratamientos de azúcar al 60 y 40 %, pero si con el tratamiento de 50% ($p < 0.05$). Los datos específicos del ANOVA se pueden observar en el Anexo VIII en el ítem 8.1.

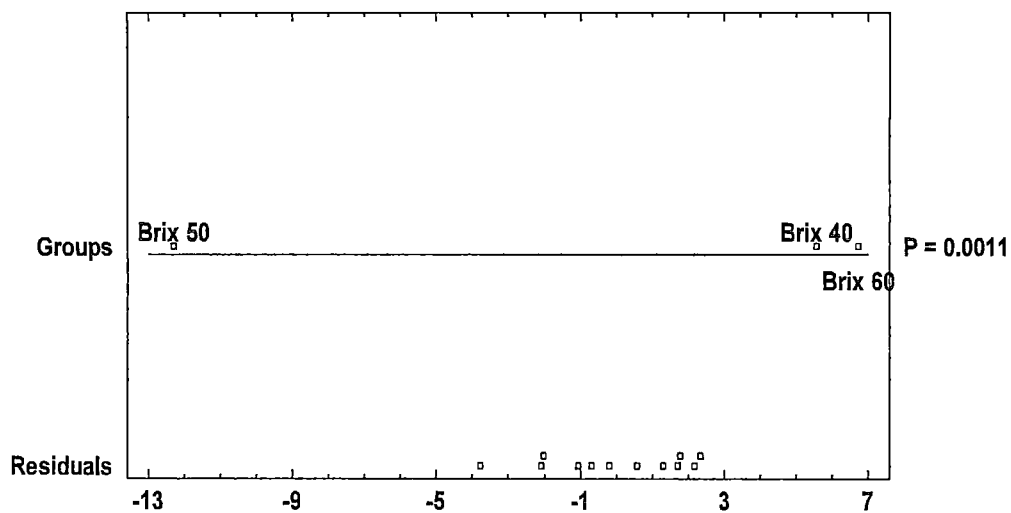


Figura N°11° Análisis de Varianza de la Humedad

4.4.1.2 Prueba de Tukey para el porcentaje de Humedad en el Tiempo

Esta prueba se aplica para determinar qué medias son significativamente diferentes de las otras. Los datos específicos de la Prueba de Tukey se pueden observar en el Anexo VIII en el ítem 8.2.

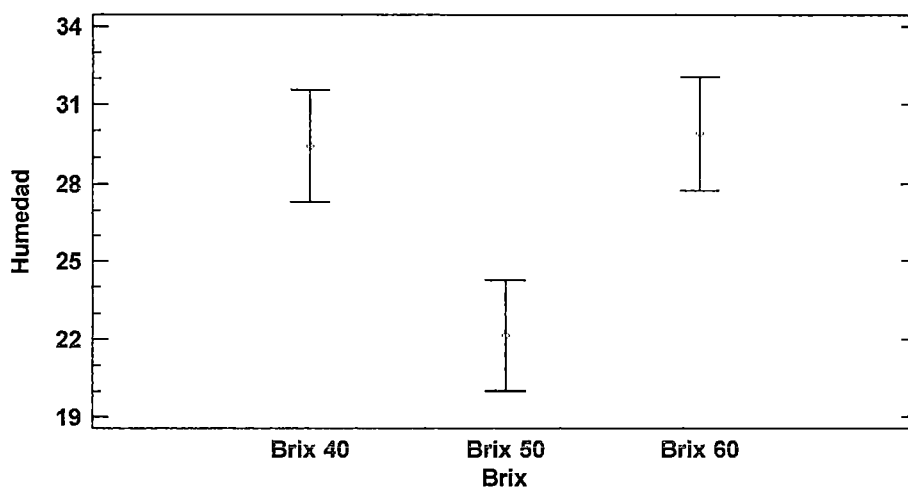


Figura N° 12: Prueba de Tukey de la Humedad

4.4.2 Para la Ganancia de Sólidos

4.4.2.1 Análisis de Varianza de la Ganancia de Sólidos en las Soluciones Osmóticas

El análisis de varianza mostró que si existe diferencia significativa entre las medias de las ganancias de sólidos, la prueba de rangos múltiples para la ganancia de sólidos en el tiempo (Tukey), mostró que el mejor tratamiento fue el de la Azúcar al 50% ya que si presenta diferencia estadística significativa en cuanto a ganancia de sólidos. Los datos específicos del ANOVA se pueden observar en el Anexo X en el ítem 10.1.

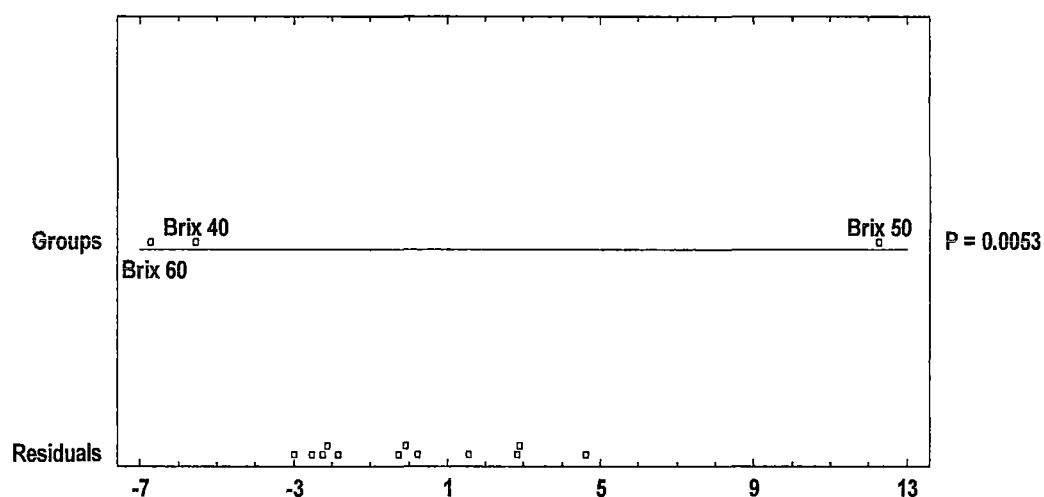
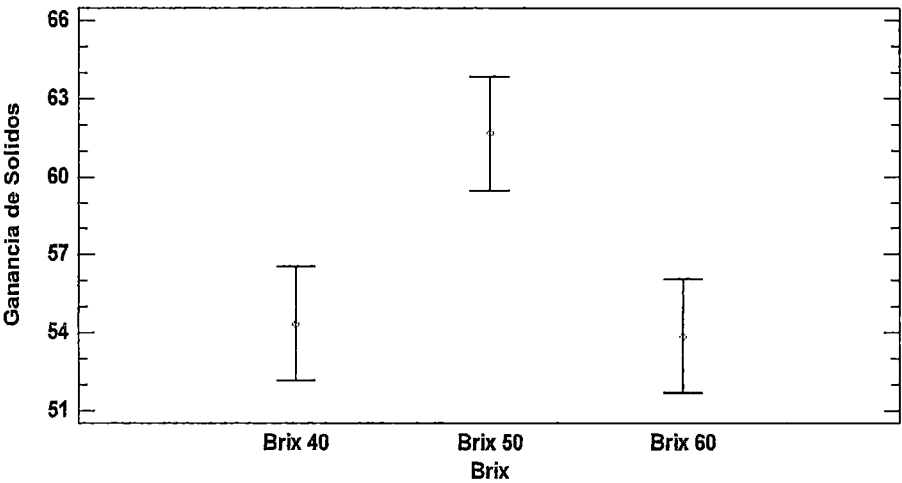


Figura N°13: Análisis de Varianza de la Ganancia de Sólidos

4.4.2.2 Prueba de Tukey para la Ganancia de Sólidos en el Tiempo

Esta prueba se aplica para determinar qué medias son significativamente diferentes de las otras. Los datos específicos de la Prueba de Tukey se pueden observar en el Anexo X en el ítem 10.2.

En la figura N°14, podemos observar que la medias en los tratamientos de 40-60 Brix, no existe diferencia significativa; comparando al tratamiento de 50 Brix, existe una clara diferencia con respecto a la ganancia de sólidos.



Figuran N°14: Prueba de Tukey de la Ganancia de Sólidos

CAPITULO V: CONCLUSIONES

V. CONCLUSIONES

1. Se determinó que el modelo matemático de Peleg presenta un buen nivel de ajuste, lo que determina que se puede predecir el comportamiento durante el proceso del deshidratado osmótico de una manera satisfactoria.
2. Se logró determinar el Índice de madurez de nuestro producto (Piña MD2) estuvo en un estado pintón, también la acidez titulable de la piña MD2 se determinó con un porcentaje de 0.5024% y un 11.8224656 de sólidos solubles totales corregido.
3. Se llegó a determinar que la mejor condición de operación es tratar a los trozos de piña con Azúcar al 50% teniendo en cuenta que sus características iniciales fueron de: 83.7829836 de %Humedad y 11.3175369% de ganancia de sólidos y al final del proceso sus características finales fueron de 22.1427252 de %Humedad y 61.6402584% de ganancia de sólidos.
4. La difusividad másica efectiva de sacarosa en la piña MD2 disminuye a medida que avanza el tiempo de deshidratación siendo los valores obtenidos una vez pasado las 3.5 horas de deshidratado osmótico estos son las siguientes: a 40°Brix 5.73496×10^{-6} m²/s; a 50°Brix 6.55857×10^{-6} m²/s y a 60°Brix 5.68878×10^{-6} m²/s.
5. Se determinó que el modelo de Peleg para la deshidratación osmótica tiene un buen nivel de ajuste, $R_2 \geq 0.979493181$ lo que determina que se puede predecir el tiempo de deshidratación osmótica para diferentes porcentajes de humedad en los trozos de piña, así como la ganancia de sólidos que tiene un nivel de ajuste de, $R_2 \geq 0.998469684$.

6. Se determinó mediante un ANOVA y una prueba de tukey con un 95% de confiabilidad que la concentración y el tipo de soluto usado durante la deshidratación osmótica presentaron diferencias significativas sobre la pérdida de humedad y la ganancia de sólidos a niveles significativos al tratar azúcar al 50% p/v ($P < 0.05$).
7. Se determinó que para predecir el comportamiento de la deshidratación osmótica de la piña MD2, la pérdida de humedad y la ganancia de sólidos en los trozos de piña durante el tiempo deshidratado osmótico usando el modelo Peleg la ecuación queda definida respectivamente:

$$M(t) = M_i \pm \frac{t}{0.052994 + 0.343250 * t}$$

$$SG = \frac{t}{\frac{w_i}{100} (0.036733 + 0.005585 * t)}$$

CAPITULO VI: RECOMENDACIONES

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que al sacar las muestras de las soluciones osmóticas, el uso de un colador u otro material para retirar el exceso de la solución en la piña sea con mucho cuidado sin lastimar, ni presionar con fuerza en las paredes de los trozos de piña.
- Se recomienda a utilizar otros modelos matemáticos comparativos, para determinar si el nivel de correlación es mayor o igual y puede definir mejor el fenómeno de los pequeños trozos de piñas osmodeshidratadas.
- Realizar un estudio de deshidratación osmótica con tratamientos osmóticos de 40, 45 y 50% p/v así como se logre aplazar el tiempo de deshidratación osmótica hasta determinar el punto de equilibrio.
- Evaluar otras variables como diferentes concentraciones de edulcorantes y temperaturas para luego poder observar su efecto en la deshidratación osmótica de cualquier tipo de fruta.

CAPITULO VII: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ✓ Acosta E., Castro A. (2012), Determinación de la difusividad efectiva de la sacarosa en la deshidratación osmótica de la piña Hawaiana (*Ananascomosus*), Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias, UNCP, Facultad de Ciencias Agrarias, UNCP, Huancayo, Perú.
- ✓ Aguilar M., (2011). "Estudio de la Temperatura y Concentración de Azúcar en la Deshidratación Osmótica de Jackfruit (*Artocarpusheterophyllus Lam.*)". Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.
- ✓ Araujo M. Guevara A, Huamán M., (2008). Predicción de la actividad de agua utilizando el modelo matemático de G.A.B. En el proceso de deshidratación osmótica del Capuli (*Physalis peruviana*), UNALM, Perú.
- ✓ Arauz E., (2009); "Efecto del tipo de edulcorante y el tiempo de inmersión en la deshidratación osmótica y por convección de piña (*Ananascomosus*)", Zamorano, Honduras.
- ✓ Arias, J, (2008). Aprovechamiento Agroindustrial de la Uvilla (*Physalis peruviana L.*) para la obtención de productos cristalizados y chips, Escuela Politécnica Nacional, Perú.
- ✓ Arnau, J. (2007). Endulzante natural: La Fructosa. Disponible en www.enbuenasmanos.com/articulos. Consultado el 10 de octubre del 2011.
- ✓ Asociación Macro regional de Productores para la Exportación (AMPEX), (2006).

- ✓ Barat, J. M. (2008). Desarrollo de un modelo de la deshidratación osmótica como operación básica. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. España.
- ✓ Barbosa C. Gustavo. Deshidratación de alimentos. 1ª Edición. Zaragoza (España): Editorial Acribia; (2000). Pág. 235 – 252.
- ✓ BrennamJ.G.; ButtersJ.R.; CowellN.D.; Lilley A. E. V., (2008), Las Operaciones de la Ingeniería de los Alimentos, Editorial Acribia, S.A., 3era Edición, Zaragoza, España, Pág.377 – 388.
- ✓ Buestan E. et al., (2010); Influencia de Pre tratamientos Convencionales en el Proceso de Secado de Piña y en las Características Físicas del Producto Final; Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción; Escuela Superior Politécnica del Litoral, Campus Gustavo Galindo, Km 30.5; Vía Perimetral; Guayaquil, Ecuador.
- ✓ Camacho, G., (2002). DeshidrataciónOsmótica de Frutas, en memorias del curso sobre deshidratación de frutas y hortalizas. Universidad Nacional de Colombia .ICTA. Bogotá.
- ✓ Chafer, M. et al. Kinetics of osmotic dehydration in orange and mandarin peels. J. Food Process Eng., v. 24, n. 4, p. 273-289, (2001).
- ✓ Cheftel J. C., Cheftel H., (2000), Introducción a la Bioquímica y Tecnología de los Alimentos II Volumen, Editorial Acribia, Zaragoza, España Pag 202 – 208.
- ✓ Chenlo, F; Moreira, R; Fernández-Herrero, C; Vázquez, G.; (2006); Mass transfer during osmotic dehydration of chestnut using sodium chloride solutions. Journal of Food Engineering, 73, 164-173.

- ✓ Colina M., (2010), Deshidratación de Alimentos, Editorial Trillas, Mexico. Pag 183 – 193.
- ✓ Conway, J. et al.; (1983); Mass transfer considerations in the osmotic dehydration of apples. **Inst. Food Sci. Technology**, v. 16, n. 1, pages. 25-29.
- ✓ Conway, J. et al. Mass transfer considerations in the osmotic dehydration of banana. **Inst. Food Sci. Technology**, pages. 40-49, (2003).
- ✓ Corporación Colombia Internacional [CCI], Universidad de Los Andes y Departamento de Planeación Nacional. (1994). *Análisis internacional del sector hortofrutícola para Colombia*. Editorial El Diseño. Bogotá.
- ✓ Della P., (2010), Deshidratación osmótica y secado por microondas y aire caliente, Tesis de Maestría en Tecnología de Alimentos, Escuela de Postgrado de Buenos Aires, Buenos Aires.
- ✓ Dong Chen, X.; (2008); Drying Technologies in Food processing, pags. 55-86. FirstEdition.
- ✓ Ertekin, C., Yaldiz, O.; (2004); Draying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model., Journal of food engineering, Vol. 63, No. 3, pags. 349-359.
- ✓ Ferruci F., (2007), "Estudio Global para identificar oportunidades en el mercado de Frutas y Hortalizas de la Region Andina – FRUTHEX, Tomo I (1era Parte), IICA.
- ✓ Flink, J. M. (1980). Dehydrated carrot slices: influence of osmotic concentration on drying 67smotic67 and product quality. In *Food*

Process Engineering, Vol. 1, eds. P. Linko, Y. Malkki, J. Olkku, & J. Larinkari, Elsevier Applied Science, London, pp. 412-18.

- ✓ Forristal, L. (2001). The Murky World of High-Fructose Corn Syrup.
- ✓ García A. et al., (2013); Análisis Comparativo de la Cinética de la Deshidratación Osmótica y por Flujo de Aire Caliente de la Piña (*Ananascomosus*, Variedad *Cayena lisa*).
- ✓ Giraldo G., Chiralt A, Fito P., (2005) "Deshidratación osmótica de mango (*mangifera indica*)".
(<http://ingenieria.univalle.edu.co/revistaingenieria/index.php/incompe/article/view/97>).
- ✓ Genina, P. (2002). Deshidratación Osmótica: alternativa para la conservación de frutas tropicales. [On line] Cinvestav (<http://www.cinvestav.mx/publicaciones/avayper/sepcto2/DESHIDRATACION.PDF>, 01 Dic. 2004).
- ✓ Giraldo Cuartas, C.; Ayala Aponte A.; Serna Cock L., Influencia De La Aplicación De Pulsos De Vacío Sobre La Cinética de Deshidratación Osmótica De Pitahaya Amarilla (*Selenicereus megalanthus*) Vitae, vol. 19, núm. 1, enero-abril, (2012), pp. S69-S71 Universidad de Antioquia Medellín, Colombia.
- ✓ Giraldo, G. et al. Influence of sucrose solution concentration on kinetics and yield during osmotic dehydration of mango. *J. of Food Eng*, v. 58, n. 1, p. 33-43, 2003.
- ✓ Hawkes, J. & Flink, J. M. (1978). Osmotic concentration of fruit slices prior to freeze dehydration. *J. FoodProc. Preserv.*, 2, 265-284.



- ✓ Hernández A., Cornejo F., (2010); Desarrollo de Rodajas deshidratadas de Piña; Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción; Escuela Superior Politécnica del Litoral, (ESPOL), Campus Gustavo Galindo, Km 30.5; Vía Perimetral; Guayaquil, Ecuador.
- ✓ Instituto de Ciencia y Tecnología de alimentos. (1991). Universidad Central de Venezuela. Rebanadas de Mango. En: Desarrollo de Alimentos de Humedad Intermedia Importantes para Iberoamérica. Programa de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. Universidad de las Américas, Puebla. Pp 27-28.
- ✓ Kim, M. H. & Toledo, R. T. (1987). Effect of osmotic dehydration and high temperature fluidized bed drying on properties of dehydrated rabbiteye blueberries. *J. Food Sci.*, 52,98G984.
- ✓ Kowalska, H.; Lenart, A.; (2001); Mass exchange during osmotic pretreatment of vegetables. *J. of Food Eng.*, v. 49, n. 2-3, pags. 137-140.
- ✓ Lazarides, H. N.; Katsanidis, E.; Nickolaidis, A. Mass Transfer Kinetics during osmotic preconcentration aiming at minimal solid uptake. *J. Food Eng.*, v. 25, n. 2, p. 151-166, (1995).
- ✓ Lerici, C. R., Pinnavaia, G., Rosa, M. D. & Bartolucci, L. (1985). Osmotic dehydration of fruit: Influence of osmotic agents on drying behavior and product quality. *J. Food Sci.*, 50, 1217-1226.
- ✓ Maldonado S., Santapaola J. E., Singh J., Torrez M., Garay A., (2008), Cinética de la transferencia de masa durante la deshidratación osmótica de yacón (*Smallanthus sonchifolius*), Laboratorio de investigación de Ingeniería para el Desarrollo Agroindustrial Regional – IdeAR, Centro de Investigación de Tecnología de Alimentos – CITA, Facultad de

Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy, Av. Italia y Martiarena, 4600, San Salvador de Jujuy, Argentina, p. 251 – 256.

- ✓ Manual de la Piña, (2010) “Proyecto: Mejoramiento de la producción del cultivo de la piña mediante sistemas agroforestales en el distrito de Perené – Chanchamayo, Región Junín, Dpto. Ucayali, Perú” http://www.pepp.gob.pe/manuales/manual_de_la_pina.pdf.
- ✓ MarinosKouris D.; Maroulis Z. B. Transport properties in the drying of solids, in Handbook of drying technology. Chapter 4. 3th Ed. (2006).
- ✓ Martínez G., López M., Alcántara M. L. y Mercado J., (2005), Modelos de secado durante la deshidratación osmótica de la fresa y su posterior deshidratación por convección, Departamento de Ingeniería de Alimentos del Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Guanajuato, México.
- ✓ Martinez O. y Aylas A. (2005). Modelos matemáticos en la deshidratación osmótica. Ciencia y Tecnología Alimentaria. Sociedad Nacional de Nutrición y Tecnología de Alimentos. Reynosa, México.
- ✓ Milacatl, V.; (2003); Cambios en atributos sensoriales y degradación de ácido ascórbico en función de la temperatura en puré y néctar de mango. (Tesis de grado). Universidad de las Américas. Puebla, México.
- ✓ Ministerio de Agricultura del Perú (MINAG), (2014)<http://www.minag.gob.pe/>.
- ✓ Montero M., Cerdas M., (2005). Guías Técnicas Del Manejo Pos cosecha para el Mercado Fresco, Ministerio de Agricultura y Ganadería, Centro de Investigaciones Agronómicas Universidad de Costa Rica, Consejo Nacional de Producción Sistema Unificado de Información Institucional, Fundación para el Fomento y Promoción de la

Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria de Costa Rica.

- ✓ Moreira Azoubel P.; Murr, E. X.; (2004); Mass transfer kinetics of osmotic dehydration of cherry tomato. J. Food Eng., v. 61, n. 3, pags. 291-295.
- ✓ Moreno, J., Bugueño, G. Velasco, V., Petzold, G., TabiloMunizaga, G., (2004). Osmotic dehydration and vacuum impregnation on physicochemical properties of Chilean Papaya (*Caricacandamarcensis*). Journal of Food Science 69(3), 102 – 106.
- ✓ Moyano, P. C., Vega, R. E., Bunger, A., Garreton, J. Osorio, F.A. (2002). Effect of combined processes of osmotic dehydration and freezing on papaya preservation. Food Science and Technology International 8(5), 295 – 301.
- ✓ Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1 836:2009.
- ✓ Okos, M.R., Narsimhan G., Singh R.K., and Witnauer, A.C.; (1992); Food dehydration. In: D.R. Heldman and D.B. Lund, (Eds.), Handbook of Food Engineering, Marcel Dekker, New York.
- ✓ Paltrinieri, G. Procesos para la Deshidratación Osmótica. [On line]. Food and Agriculture Organization. (http://www.tecnopoint.com/Obst_Nusse/Obst_getrocknet/Procesos_para_la_deshidratacion_osmotica.html, 01 Dic. 2004).
- ✓ Parjoko, K. A., Rahman, M. S., Buckle, K. A., Perera, C. O. (2006). Osmotic Dehydration kinetics of pineapple wedges using palm sugar. Lebensmittel – Wissenschaft and Technologie 29, 452 – 459.

- ✓ Park, K. J.; Bin, A.; Brod, F.P.R.; Park, T.H.K.B.; (2002a); Osmotic dehydration kinetics of pear d'Anjou (*Pyrus communis* L.). *Journal of Food Engineering*, 52, 293-298.

- ✓ Peleg, M.; (1988); An empirical model for the description of moisture sorption curves. *Journal Food Science*, 53 (4), pages. 1216-1219.

- ✓ Perry (2004). "Manual del Ingeniero Químico", Chile, 7ª edición, McGraw-Hill.
(<http://tecno.cruzfierro.com/formularios/estimacion/difusividad-rev6>).

- ✓ Petrotos, K.; Lazarides, M.; (2001); Osmotic concentration of liquid foods. *J. of Food Eng.*, v. 49, n. 2-3, pages. 201-206.

- ✓ Ramallo L., Schvezov C. Y Mascheroni R., (2010), Transferencia de masa durante la deshidratación osmótica de ananá: un modelo matemático sencillo, tesis de maestría, Universidad Nacional de Misiones.

- ✓ Raoult-Wack, A. Recent advances in the osmotic dehydration of foods. *Trends Food Sci. Technol.* 5: 255-260. (1994).

- ✓ Raquel de Pinho Ferreira Guiné* and Maria João Barroca, Osmotic Dehydration Of Fruits, Department of Food Engineering, Polytechnic Institute of Viseu, Quinta da Alagoa, Estrada de Nelas, Ranhados, (2008).

- ✓ Rastogi, N.K.; Raghavarao, K.S.M.S.; (1995); Kinetics of osmotic dehydration of coconut. *Journal of Food Process Engineering*, 18, 187-197.

- ✓ Rastogi, N. K., Raghavarao, K. S. M. S. (1996). Kinetics of Osmotic Dehydration under Vacuum. *Lebensmittel – Wissenschaft und Technologie*, 29, 669 – 672.
- ✓ Rastogi, N.K.; Raghavarao, K.S.M.S.; (1997); Kinetics of osmotic dehydration of coconut. *Journal of Food Process Engineering*, 20, 103-130.
- ✓ Rastogi, N. K., Raghavarao, K. S. M. S. (2002). Recent developments in osmotic dehydration; methods to enhance mass transfer. *Trends in Food Science and Technology* 13(2), 48 – 59.
- ✓ Rastogi N., Raghavarao K, (2004). Mass transfer during osmotic dehydration of pineapple considering Fickian diffusion in cubical configuration. *LebensmittelWissenschaft and Technologies*, 37 (1), 43-47.
- ✓ Rios M., Marquez C., Ciro H., (2005). Deshidratación osmótica de frutos de papaya hawaiana (*Carica papaya L.*) en cuatro agentes edulcorante. *Facultad Nacional de Agronomía – Medellín*, vol. 58, núm. 2, julio-diciembre, 2005, pp. 2989-3002, Universidad Nacional de Colombia, Colombia
- ✓ Sacchetti, G.; Gianotti, A.; Dalla Rosa, M.; (2001); Sucrose salt combined effects on mass transfer kinetics and product acceptability study on apple osmotic treatments. *Journal of Food Engineering*, v. 49, n. 2-3, pags. 163-173.
- ✓ Salazar N. L. (2003). Obtención de carambola (*Averrhoa carambola L.*) deshidratada por ósmosis. Tesis Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad de Industrias Alimentarias. Lima Perú.

- ✓ Saurel R., Raoult- Wack A., Ríos G., guilbert S.; (1994); Mass transfer phenomena during osmotic dehydration of apple.II.frozenplant tissue. *International Journal of Food Science and Technology*, 29, pags. 531-550.
- ✓ Salvatori, D.; Alzamora, S.; (2000); Structural changes and mass transfer during glucose infusion of apples affected by blanching and process variables. *Drying Technology*, v. 18, n. 1-2, pags. 361 – 382.
- ✓ Schwartz, M. (1993). Conservación de frutas por métodos combinados: Una alternativa de interés para los productores y la agroindustria. 44 Congreso Agronómico, Sociedad Agronómica de Chile.
- ✓ Sethi, V., Sahni, C. K., Sharma, K. D., & Sen, N. (1999). Osmoticdehydration of tropical temperate fruits—a review. *Indian FoodPacker*, 53(1), 34–43.
- ✓ Spiazzi, E., Mascheroni, R. (1997). Mass transfer model for osmotic dehydration of fruits and vegetables. I. Development of the simulation model. *Journal of Food Engineering* 34, 387 – 410.
- ✓ Tabla de Composición de Alimentos FAO, (2002). Los datos fueron recopilados de literatura, de diferentes tablas nacionales de composición de alimentos y de mediciones realizadas por los autores.<http://www.fao.org>.
- ✓ Telis, V.R.N. and Sobral P.J.A.; (2002); Glass transitions for freeze-dried and air-dried tomato, *Food Research International*. 35: pags. 435–443.
- ✓ Torreggiani,(1993) D. Osmotic dehydration in fruit and vegetables processing. *Food Res. Int.* 26: 59-68.

- ✓ Torres D.; Salvador D.; Baltazar R.; Siche R., (2013) "Optimización de las condiciones de deshidratación osmótica de espárrago" (*Asparragus officinalis*) utilizando la metodología de superficie de respuesta"
(<http://hortintl.cals.ncsu.edu/articles/optimizaci-n-de-las-condiciones-de-deshidrataci-n-osm-tica-de-esp-rrago-asparragus-officina>).
- ✓ Van Nieuwenhuijzen, N. H., Zareifard, M. R., Ramaswamy, H. S. (2001). Osmotic drying kinetics of cylindrical Apple slices of different sizes. *Drying Technology* 19(3y4), 525 – 545.
- ✓ Vega A., Palacios M., Boglio F., Pássaro C., Jeréz C., Lemus R., (2007) "Deshidratación osmótica de la papaya chilena (*Vasconcelleapubescens*) e influencia de la temperatura y concentración de la solución sobre la cinética de transferencia de materia" (<http://www.scielo.br/pdf/cta/v27n3/a08v27n3>).
- ✓ Zanoni, B., Pagliarini, E., Foschino R.; (2000); Study of dried tomato halves during shelf-life to minimize oxidative damage. *J. Sci. Food Agric.* 80, pags. 2203-2208.

CAPITULO VIII: ANEXOS

ANEXO I

Materiales para la Investigación

Azúcar blanca

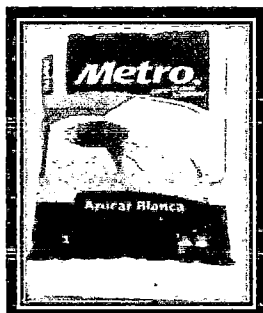


Figura N°15

Selección de la Piña por índice de madurez comprados en el Mercado de Lambayeque

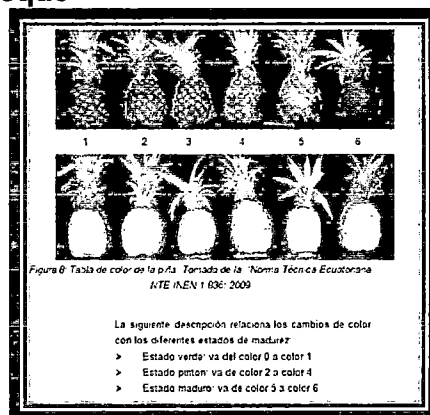


Figura N°16

Pesado de los insumos

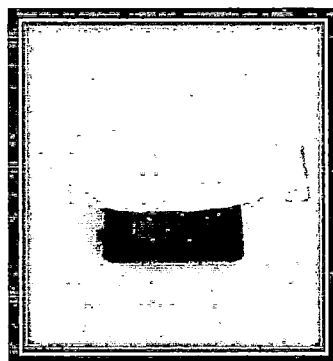


Figura N°17

ANEXO II

Preparación de las Soluciones Habilitación para el mezclado de los insumos



Figura N°18

Mezclado de los insumos para las soluciones



Figura N°19

Rotulado a cada bolsa ziploc (por los tratamientos)

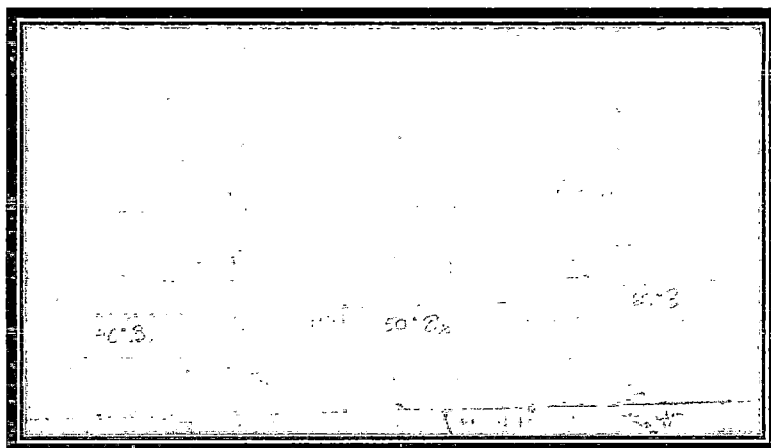


Figura N°20

ANEXO III

Preparación de las Muestras

Cortado de la piña

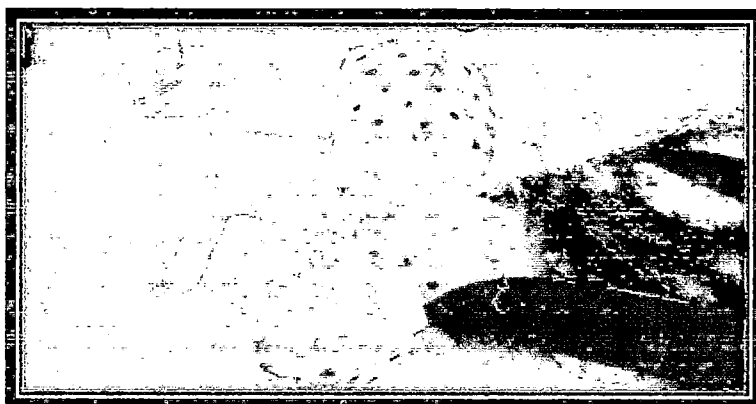


Figura N°21

ANEXO IV

Dimensiones de los Trozos de piña

Dimensiones a cada trozo de piña

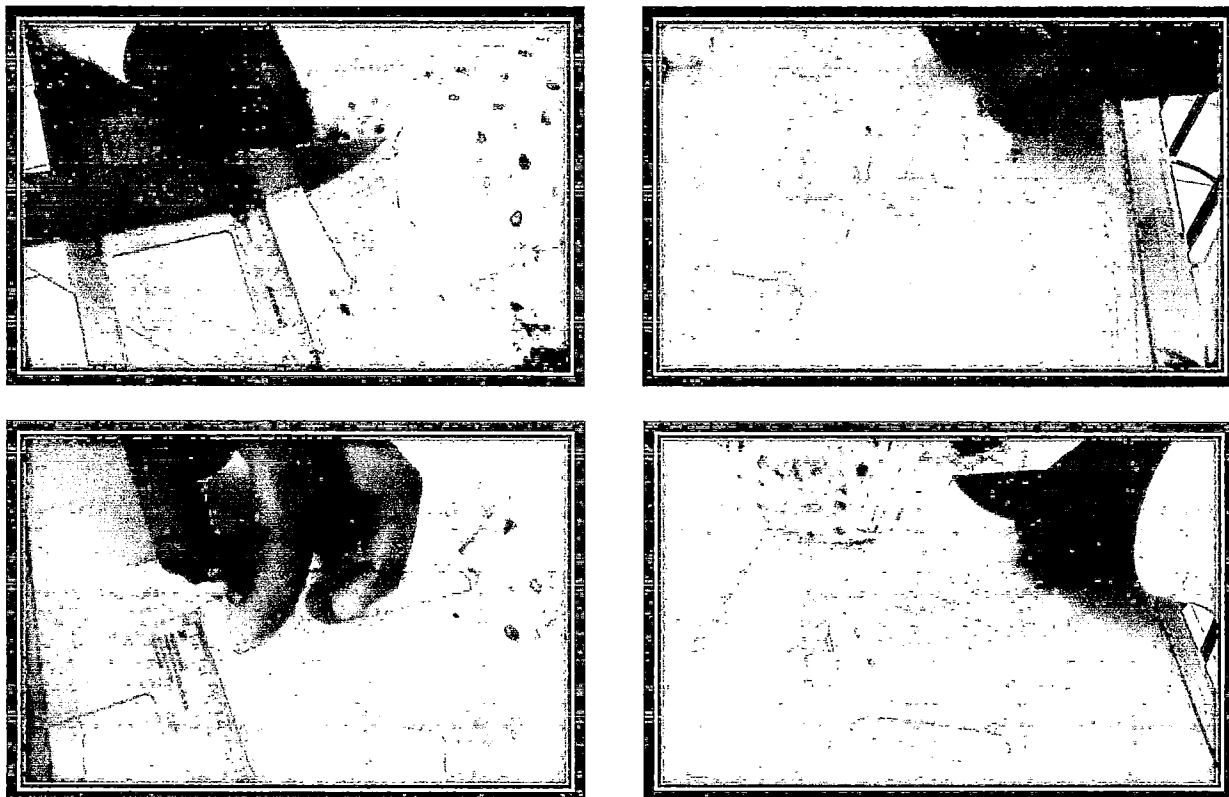


Figura N°22

Pesado a cada trozo de piña

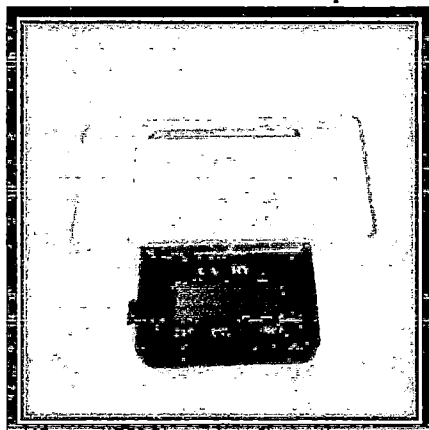


Figura N°23

ANEXO V

Proceso de Deshidratado Osmótico

Llenado de la solución con los trozos de piña



Figura N°24

Trozos de piñas inmersas en soluciones osmóticas

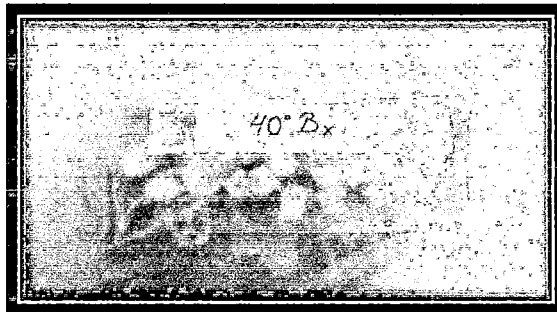


Figura N°25

Extracción del líquido excedente de las soluciones osmóticas y luego son llevados a la estufa para determinar la humedad

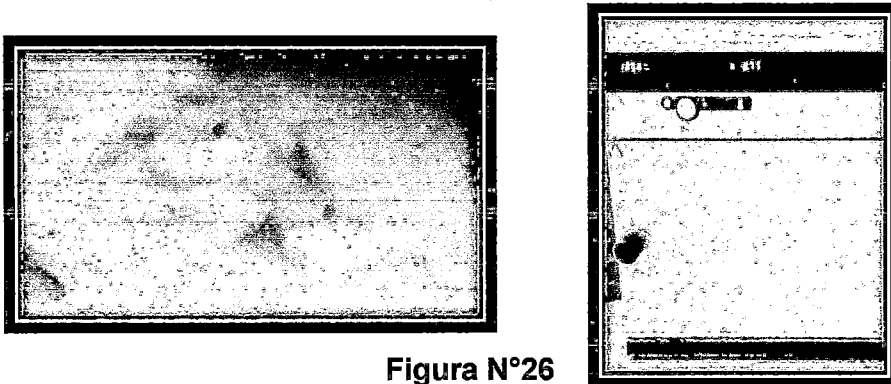


Figura N°26

ANEXO VI

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS

6.1 DETERMINACIÓN DE LA ACIDEZ TITULABLE DE LA PIÑA MD2

Los resultados que se presentan en la siguiente Tabla N°9 corresponden a la acidez obtenida por cada repetición.

TABLA N° 11: PORCENTAJE DE ACIDEZ TITULABLE POR CADA REPETICIÓN

Día (repetición)	Muestra (ml)	Gasto (ml)	Normalidad (N)	K (constante) K= 0.064	% Acidez Titulable
1	5.0	3.8	0.1	0.064	0.4864%
2	5.0	3.8	0.1	0.064	0.4864%
3	5.0	4.2	0.1	0.064	0.5376%
4	5.0	3.9	0.1	0.064	0.4992%
PROMEDIO					0.5024%

Fuente: Autores (2015)

6.2 DETERMINACIÓN DE LOS SÓLIDOS SOLUBLES TOTALES (S.S.T.) DE LA PIÑA MD2

Los resultados que se presentan en la siguiente Tabla N°10 corresponden a los sólidos solubles totales corregido por cada repetición.

TABLA N° 12: SÓLIDOS SOLUBLES TOTALES CORREGIDOS POR CADA REPETICIÓN

Día (repetición)	S.S.T.	% Acidez Titulable	S.S.T. corregido
1	11.9	0.4864	11.9943616
2	11.6	0.4864	11.6943616
3	11.9	0.5376	12.0042944
4	11.5	0.4992	11.5968448
PROMEDIO			11.8224656

Fuente: Autores (2015)

ANEXO VII

HUMEDAD EN EL TIEMPO DURANTE EL DESHIDRATADO OSMÓTICO

7.1 VARIACIÓN DE PORCENTAJE DE HUMEDAD FINAL DURANTE EL OSMODESHIDRATADO DE LA PIÑA MD2 POR CADA REPETICIÓN

Los resultados que se presentan en el siguiente Tabla N°11 corresponden a las humedades obtenidas en el proceso de deshidratación osmótica después de 3.5 horas de inmersión, estos datos constan de cuatro repeticiones en diferentes días.

TABLA N°13: PORCENTAJE DE HUMEDAD DESPUÉS DE 3.5 HORAS DE INMERSIÓN POR REPETICIÓN

REPETICIONES	AZÚCAR 40%	AZÚCAR 50%	AZÚCAR 60%
1	31.1475	23.44976	32.07286
2	29.22346	23.91972	29.19813
3	27.35543	20.12926	26.11397
4	29.99194	21.07217	32.22634
Promedio	28.8569433	21.70705	29.17948
Desv. St.	1.35593034	1.97337305	3.05622768

Fuente: Autores (2015)

7.2 VARIACIÓN DE LA HUMEDAD DURANTE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE LA PIÑA MD2

TABLA N°14: PORCENTAJE DE HUMEDAD EN DIFERENTES SOLUCIONES OSMÓTICAS

T	AZUCAR 40%	AZUCAR 50%	AZÚCAR 60%
0	83.7830	83.7830	83.7830
0.5	75.1816	72.4654	73.3114
1	64.6408	60.3179	61.6590
1.5	54.7564	50.1979	53.5308
2	46.1678	41.6953	46.2525
2.5	40.1340	33.8903	39.5666
3.0	34.6077	27.6778	34.5636
3.5	29.4296	22.1427	29.9028

Fuente: Autores (2015)

**Cada dato de la tabla es un promedio de cuatro repeticiones*

7.2.1 VARIACIÓN DE LA HUMEDAD USANDO AZÚCAR AL 40%

Los datos que se presentan en el Tabla N°13 corresponden al promedio de cuatro repeticiones realizadas en los ensayos para determinar la variación de la humedad usando azúcar al 40%.

En la figura N°27 se observa la esquematización de los datos del Tabla N°13.

TABLA N°15: VARIACIÓN DE LA HUMEDAD EN EL TIEMPO USANDO AZÚCAR AL 40%

T	HBH (%H) 40%
0	83.78298362
0.5	75.18164112
1	64.64078705
1.5	54.75635794
2	46.16779048
2.5	40.1339922
3	34.60769392
3.5	29.42959075

Fuente: Autores (2015)

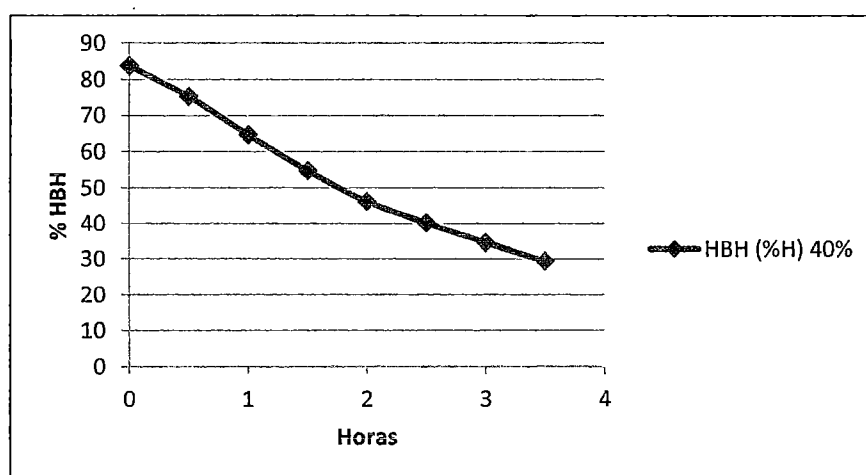


Figura N°27 : Variación del porcentaje de humedad de la piña MD2 osmodeshidratadas con azúcar al 40%

TABLA N°16: NIVEL DE AJUSTE Y CONSTANTES DE SECADO USANDO EL MODELO DE PELEG CON SOLUCIÓN OSMÓTICA AL 40% DE AZÚCAR

SOLUCIÓN OSMÓTICA	NIVEL DE AJUSTE	K ₁	K ₂
AZÚCAR 40%	0.988702141	0.061206	0.493173

Fuente: Autores (2015)

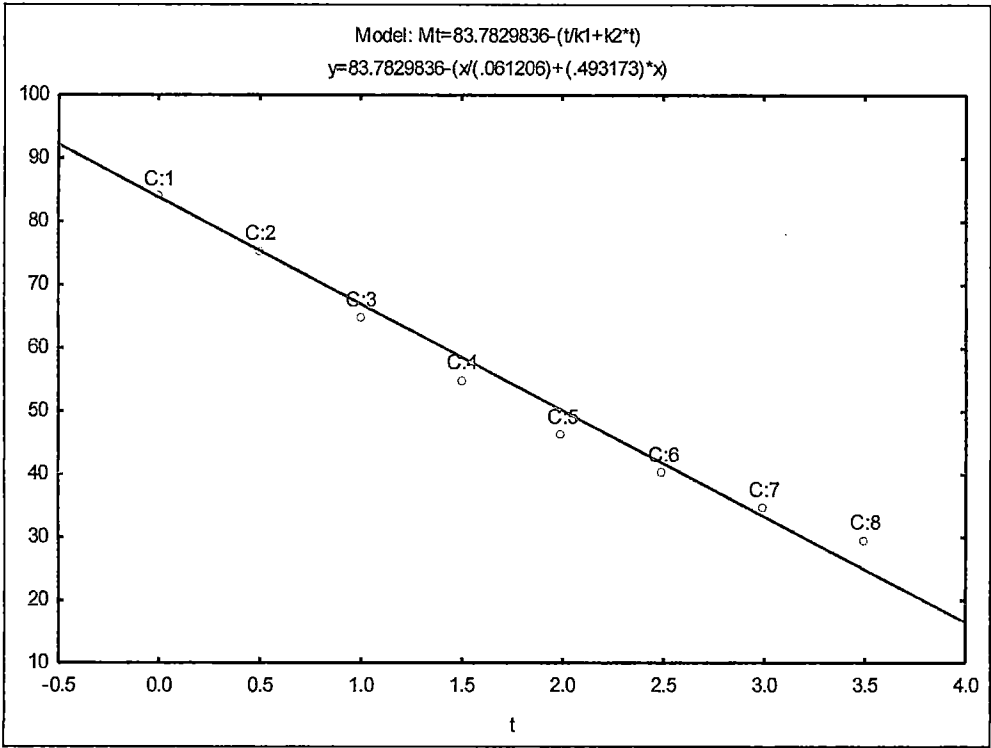


Figura N°28 : Deshidratación osmótica de azúcar al 40% usando el modelo de Peleg

7.2.2 VARIACIÓN DE LA HUMEDAD USANDO AZÚCAR AL 50%

Los datos que se presentan en el Tabla N°15 corresponden al promedio de cuatro repeticiones realizadas en los ensayos para determinar la variación de la humedad usando azúcar al 50%.

En la figura N°29 se observa la esquematización de los datos del Tabla N°15.

TABLA N°17: VARIACIÓN DE LA HUMEDAD EN EL TIEMPO USANDO AZÚCAR AL 50%

T	HBH (%H) 50%
0	83.78298362
0.5	72.4654467
1	60.31790978
1.5	50.19787285
2	41.69533593
2.5	33.89029901
3	27.67776209
3.5	22.14272517

Fuente: Autores (2015)

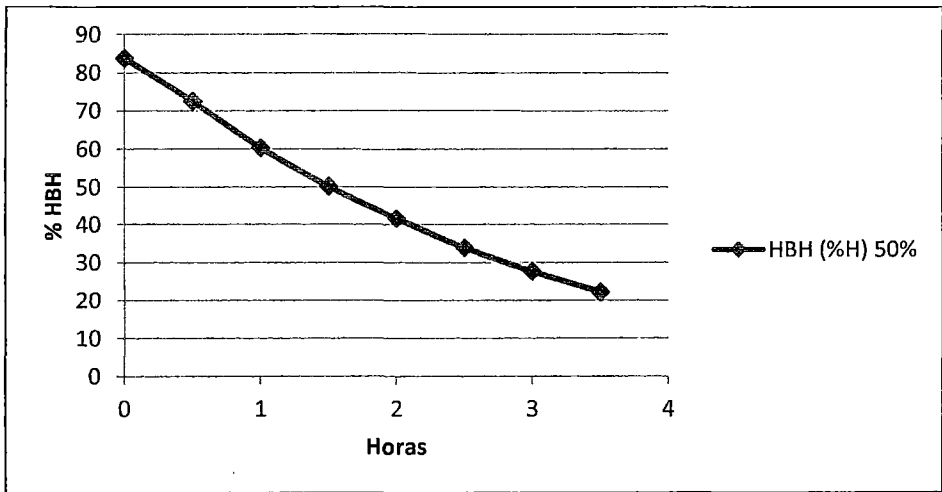
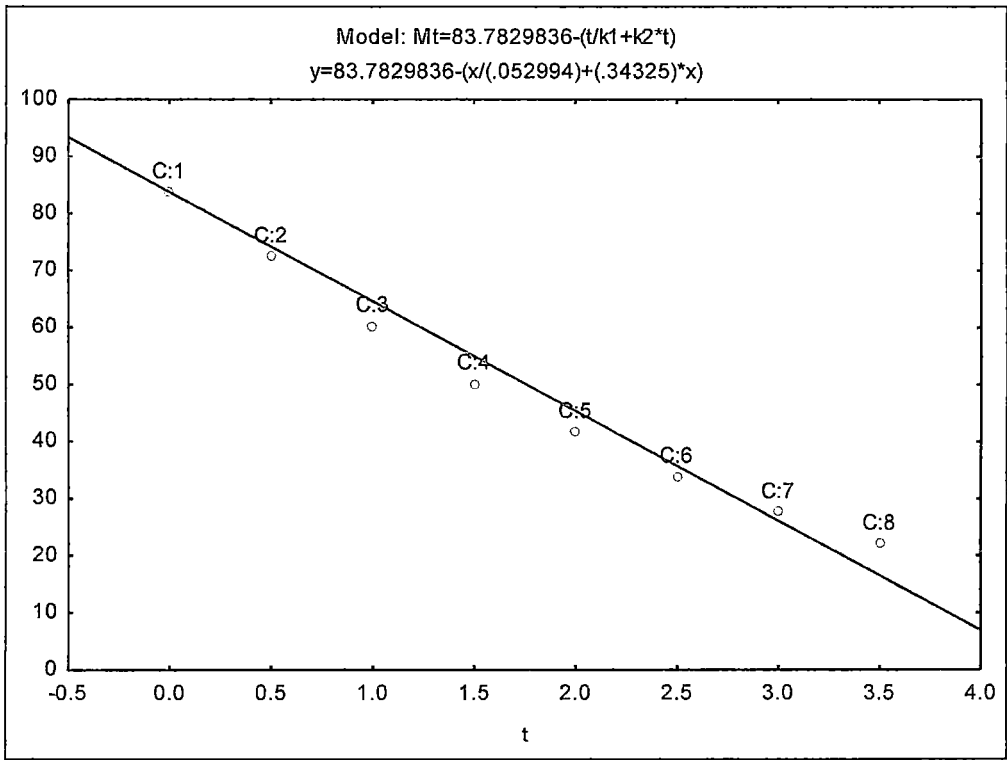


Figura N°29 : Variación del porcentaje de humedad de la piña MD2 osmodeshidratadas con azúcar al 50%

**TABLA N°18 : NIVEL DE AJUSTE Y CONSTANTES DE SECADO USANDO EL
MODELO DE PELEG CON SOLUCIÓN OSMÓTICA AL 50% DE AZÚCAR**

SOLUCIÓN OSMÓTICA	NIVEL DE AJUSTE	K ₁	K ₂
AZÚCAR 50%	0.985805979	0.052994	0.343250

Fuente: Autores (2015)



**Figura N°30 : Deshidratación osmótica de azúcar al 50% usando el modelo
de Peleg**

7.2.3 VARIACIÓN DE LA HUMEDAD USANDO AZÚCAR AL 60%

Los datos que se presentan en el Tabla N°17 corresponden al promedio de cuatro repeticiones realizadas en los ensayos para determinar la variación de la humedad usando azúcar al 60%.

En la figura N°31 se observa la esquematización de los datos del Tabla N°17.

TABLA N°19 : VARIACIÓN DE LA HUMEDAD EN EL TIEMPO USANDO AZÚCAR AL 60%

T	HBH (%H) 60%
0	83.78298362
0.5	73.31136705
1	61.65901017
1.5	53.53077344
2	46.25253672
2.5	39.56664999
3	34.56356327
3.5	29.90282654

Fuente: Autores (2015)

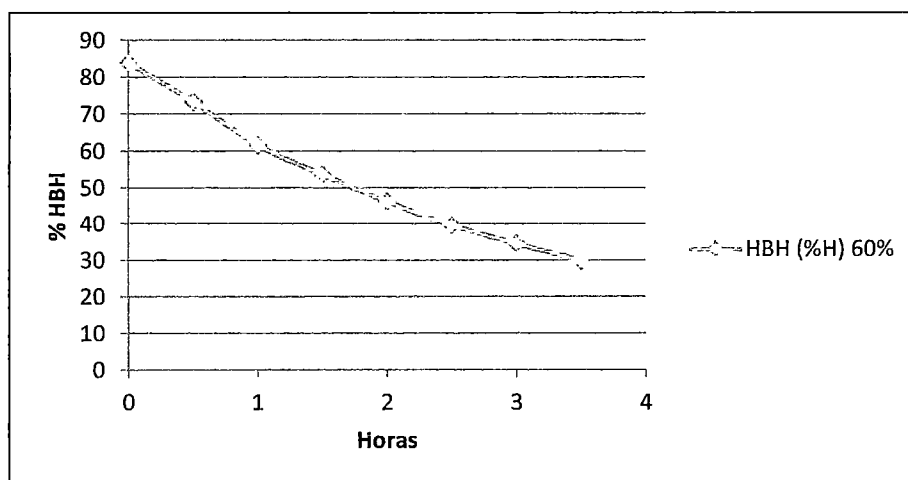


Figura N°31 : Variación del porcentaje de humedad de la piña MD2 osmodeshidratadas con azúcar al 60%

TABLA N°20: NIVEL DE AJUSTE Y CONSTANTES DE SECADO USANDO EL MODELO DE PELEG CON SOLUCIÓN OSMÓTICA AL 60% DE AZÚCAR

SOLUCIÓN OSMÓTICA	NIVEL DE AJUSTE	K ₁	K ₂
AZÚCAR 60%	0.979493181	0.147440	10.20555

Fuente: Autores (2015)

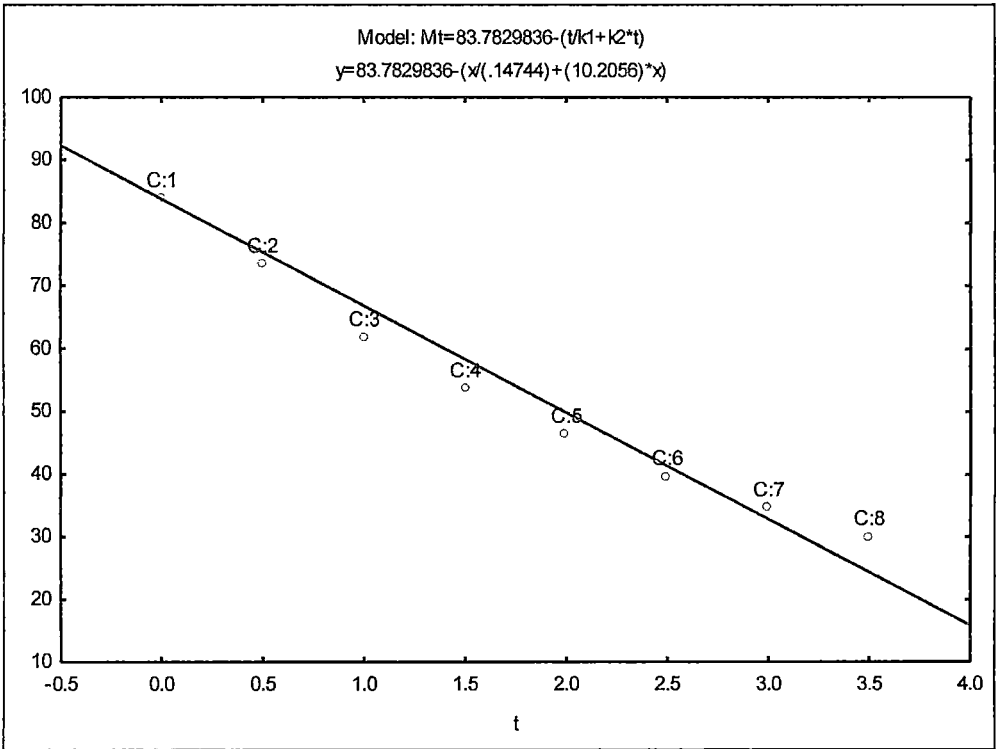


Figura N°32 : Deshidratación osmótica de azúcar al 60% usando el modelo de Peleg

ANEXO VIII

8.1 ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS PORCENTAJES DE HUMEDAD EN LAS SOLUCIONES OSMÓTICAS

En la Tabla N°19 ANOVA descompone la varianza de los porcentajes de Humedad en dos componentes: un componente entre grupos y un componente dentro del grupo. El cociente F, que en este caso es igual a 15,98 es una relación de la estimación entre grupos para la estimación dentro del grupo. Dado que el valor P de la prueba F es menor de 0,05, entonces si hay una diferencia estadísticamente significativa entre la media y %Humedad de un nivel de Soluciones a otro en el nivel de confianza 95.00%.

TABLA N°21: ANOVA PARA PORCENTAJE DE HUMEDAD PASADO LAS 3.5 HORAS INMERSAS EN DIFERENTES SOLUCIONES OSMOTICAS

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	Df	MEDIA CUADRATICA	Cociente F	P evaluado
Entre los grupos	151.387	2	75.6937	15.98	0.0011
Dentro de los grupos	42.6377	9	4.73753		
Total (Corr.)	194.025	11			

Fuente: Autores (2015)

8.2 PRUEBA DE TUKEY PARA EL %HUMEDAD EN EL TIEMPO

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar qué medias son significativamente diferentes de las otras.

La mitad inferior de la salida muestra la diferencia estimada entre cada par de medios. Un asterisco se ha colocado junto a 2 pares, lo que indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas en el nivel de confianza del 95,0%.

En la parte superior de la tabla, dos grupos homogéneos se identifican por una columna de equis. Dentro de cada columna, los niveles que contienen la forma de "X" un grupo de medios dentro de la cual no hay diferencias

estadísticamente significativas. El método que se utiliza actualmente para discriminar entre los medios es el procedimiento de la diferencia honestamente significativa de Tukey (HSD). Con este método, existe un riesgo de 5,0 % de llamar a uno o más pares significativamente diferentes cuando su diferencia real es igual a 0.

TABLA N°22: PRUEBA DE RANGOS MÚLTIPLES PARA PORCENTAJES DE HUMEDAD

MÉTODO DE TUKEY HSD: 95.00%

<i>SOLUCIONES</i>	<i>CONTEO</i>	<i>MEDIAS</i>	<i>GRUPOS HOMOGENEOS</i>
Azúcar 50%	4	22.1427	X
Azúcar 40%	4	29.4296	X
Azúcar 60%	4	29.9028	X

Fuente: Autores (2015)

<i>CONTRASTE</i>	<i>SIG.</i>	<i>DIFERENCIA</i>	<i>+/- LIMITES</i>
Azúcar 40% -Azúcar 50%	*	7.28683	4.29663
Azúcar 40% - Azúcar 60%		-0.47325	4.29663
Azúcar 50% - Azúcar 60%	*	-7.76008	4.29663

*** Indica una diferencia estadísticamente significativa**

Fuente: Autores (2015)

ANEXO IX

GANANCIA DE SÓLIDOS EN EL TIEMPO DURANTE EL DESHIDRATADO OSMÓTICO

9.1 VARIACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS SOLUBLES DURANTE EL OSMODESHIDRATADO DE LA PIÑA MD2 POR CADA REPETICIÓN

Los resultados que se presentan en la siguiente Tabla N°21 corresponden a las ganancias de solutos obtenidas en el proceso de deshidratación osmótica después de 3.5 de inmersión, estos datos constan de cuatro repeticiones en diferentes días.

TABLA N°23: GANANCIA DE SÓLIDOS EN DIFERENTES SOLUCIONES OSMÓTICAS

N° REPETICIÓN	AZÚCAR 40%	AZÚCAR 50%	AZÚCAR 60%
1	51.8198661	59.5176447	50.8945373
2	54.076867	59.3806088	54.1021972
3	57.2495154	64.4756882	58.4909739
4	54.267323	63.1870922	52.0329199
Promedio	54.3533929	61.6402584	53.8801571
Desv. St.	2.22786578	2.58481864	3.34838988

Fuente: Autores (2015)

9.2 VARIACIÓN DE LA GANANCIA DE SÓLIDOS SOLUBLES DURANTE EL DESHIDRATADO OSMÓTICO DE LA PIÑA MD2

TABLA N°24: PROMEDIOS DE LAS GANANCIAS DE SÓLIDOS EN DIFERENTES SOLUCIONES OSMÓTICAS

T	AZUCAR 40%	AZUCAR 50%	AZUCAR 60%
0	0.0000000	0.0000000	0.0000000
0.5	8.6013425	11.31753692	10.47161657
1	19.14219657	23.46507384	22.12397345
1.5	29.02662568	33.58511076	30.25221017
2	37.61519313	42.08764768	37.5304469
2.5	43.64899142	49.8926846	44.21633362
3	49.1752897	56.10522153	49.21942035
3.5	54.35339286	61.64025845	53.88015707

Fuente: Autores (2015)

*Cada dato de la tabla es un promedio de cuatro repeticiones

9.2.1 GANANCIA DE SÓLIDOS UTILIZANDO AZÚCAR AL 40%

Los datos que se presentan en el Tabla N°23 corresponden al promedio de cuatro repeticiones realizadas en los ensayos para determinar la ganancia de sólidos utilizando azúcar al 40%.

En la figura N°33 se observa la esquematización de los datos del Tabla N°23.

TABLA N°25: GANANCIA DE SÓLIDOS EN EL TIEMPO UTILIZANDO AZÚCAR AL 40%

T	SG
0	0
0.5	8.6013425
1	19.1421966
1.5	29.0266257
2	37.6151931
2.5	43.6489914
3	49.1752897
3.5	54.3533929

Fuente: Autores (2015)

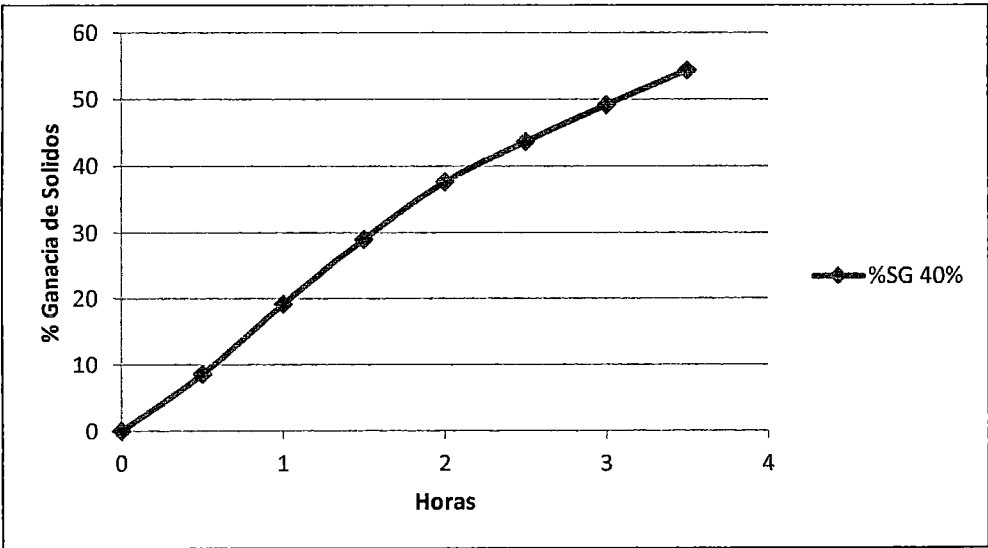


Figura N°33: Ganancia de sólidos en la piña MD2 osmodeshidratada con azúcar al 40%

TABLA N°26: NIVEL DE AJUSTE Y CONSTANTES DE SECADO USANDO EL MODELO DE PELEG CON SOLUCIÓN OSMÓTICA AL 40% DE AZÚCAR

SOLUCIÓN OSMÓTICA	NIVEL DE AJUSTE	K ₁	K ₂
AZÚCAR 40%	0.998469684	0.044348	0.005475

Fuente: Autores (2015)

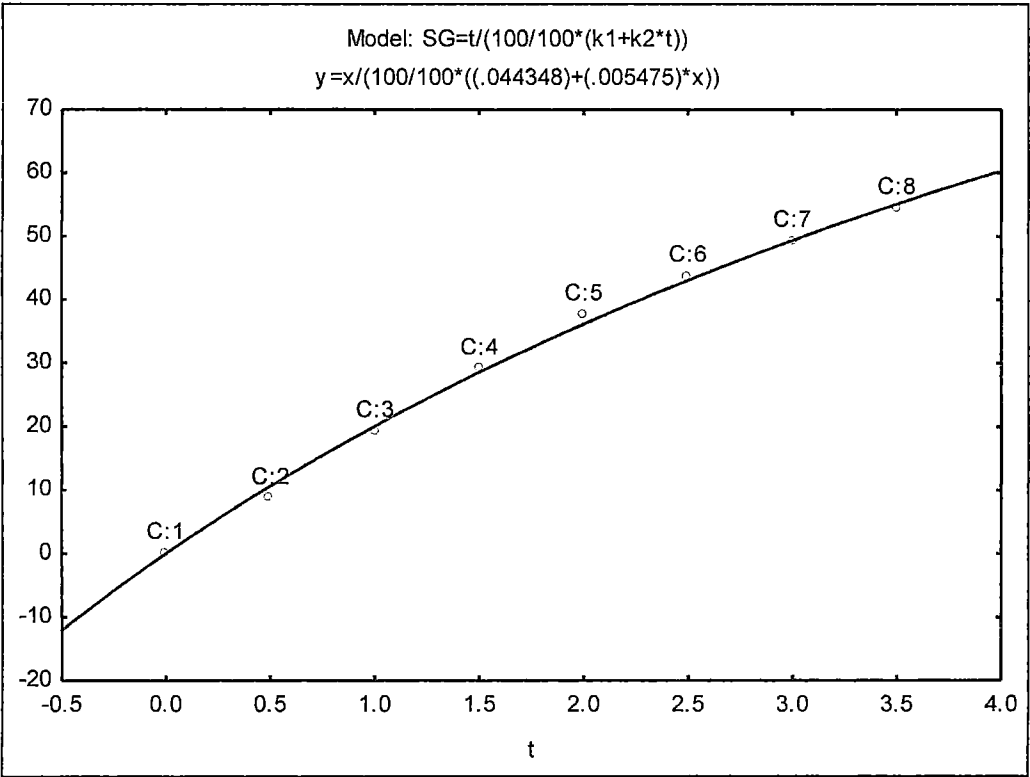


Figura N°34 : Ganancia de Sólidos de azúcar al 40% usando el modelo de Peleg

9.2.2 GANANCIA DE SÓLIDOS UTILIZANDO AZÚCAR AL 50%

Los datos que se presentan en el Tabla N°25 corresponden al promedio de cuatro repeticiones realizadas en los ensayos para determinar la ganancia de sólidos utilizando azúcar al 50%.

En la figura N°35 se observa la esquematización de los datos del Tabla N°25.

TABLA N°27 : GANANCIA DE SÓLIDOS EN EL TIEMPO UTILIZANDO AZÚCAR AL 50%

T	SG
0	0
0.5	11.3175369
1	23.4650738
1.5	33.5851107
2	42.0876476
2.5	49.8926846
3	56.1052215
3.5	61.6402584

Fuente: Autores (2015)

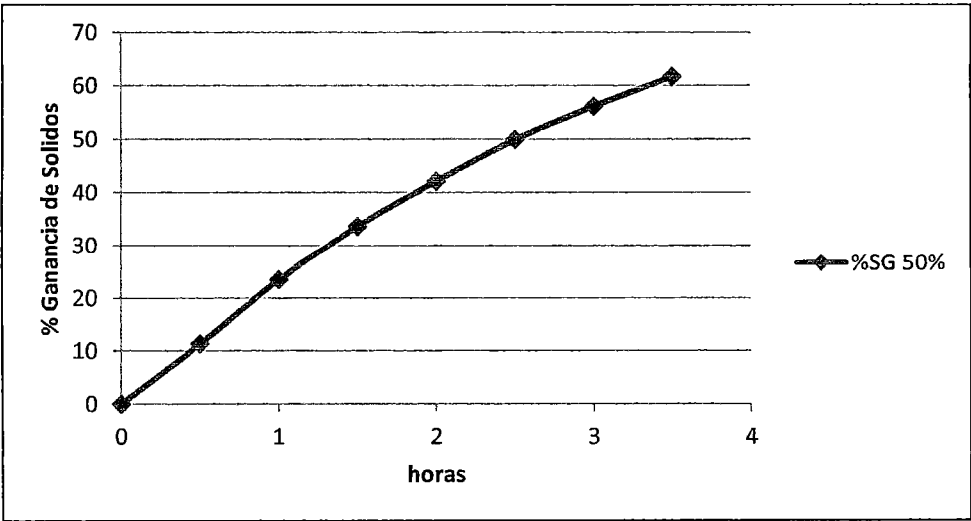


Figura N°35: Ganancia de sólidos en la piña MD2 osmodeshidratada con azúcar al 50%

TABLA N°28: NIVEL DE AJUSTE Y CONSTANTES DE SECADO USANDO EL MODELO DE PELEG CON SOLUCIÓN OSMÓTICA AL 50% DE AZÚCAR

SOLUCIÓN OSMÓTICA	NIVEL DE AJUSTE	K ₁	K ₂
AZÚCAR 50%	0.999602143	0.036733	0.005585

Fuente: Autores (2015)

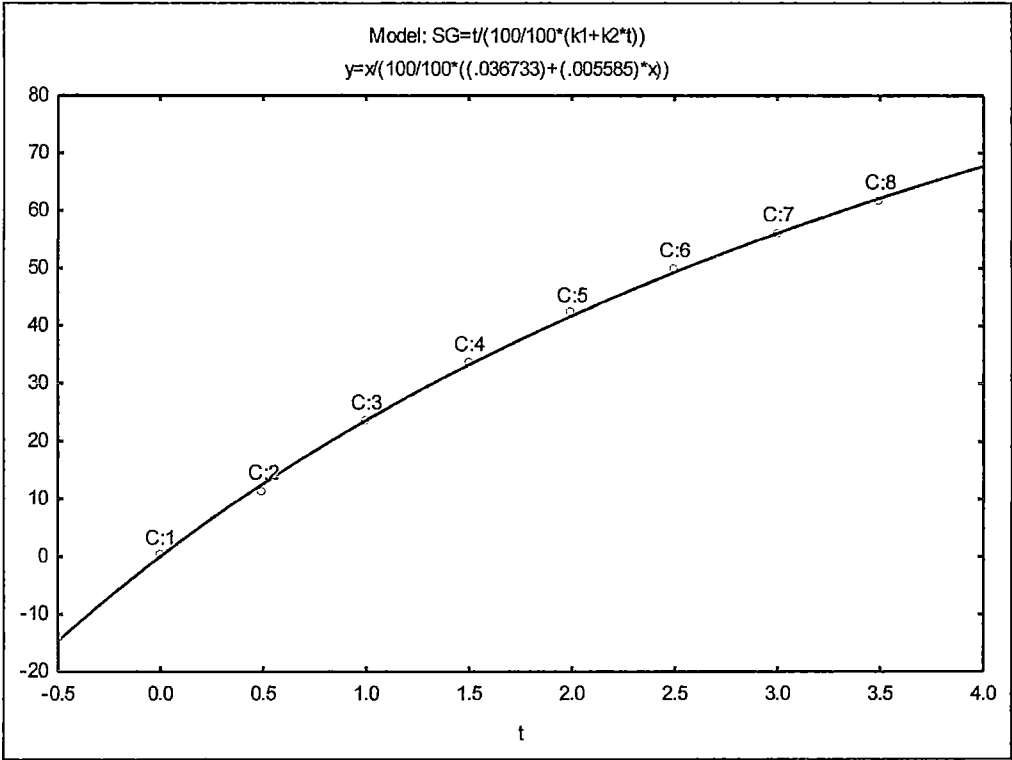


Figura N°36 : Ganancia de Sólidos de azúcar al 50% usando el modelo de Peleg

9.2.3 GANANCIA DE SÓLIDOS UTILIZANDO AZÚCAR AL 60%

Los datos que se presentan en el Tabla N°27 corresponden al promedio de cuatro repeticiones realizadas en los ensayos para determinar la ganancia de sólidos utilizando azúcar al 60%.

En la figura N°37 se observa la esquematización de los datos del Tabla N°27.

TABLA N°29: GANANCIA DE SÓLIDOS EN EL TIEMPO UTILIZANDO AZÚCAR AL 60%

T	SG
0	0
0.5	10.4716166
1	22.1239734
1.5	30.2522102
2	37.5304469
2.5	44.2163336
3	49.2194203
3.5	53.8801571

Fuente: Autores (2015)

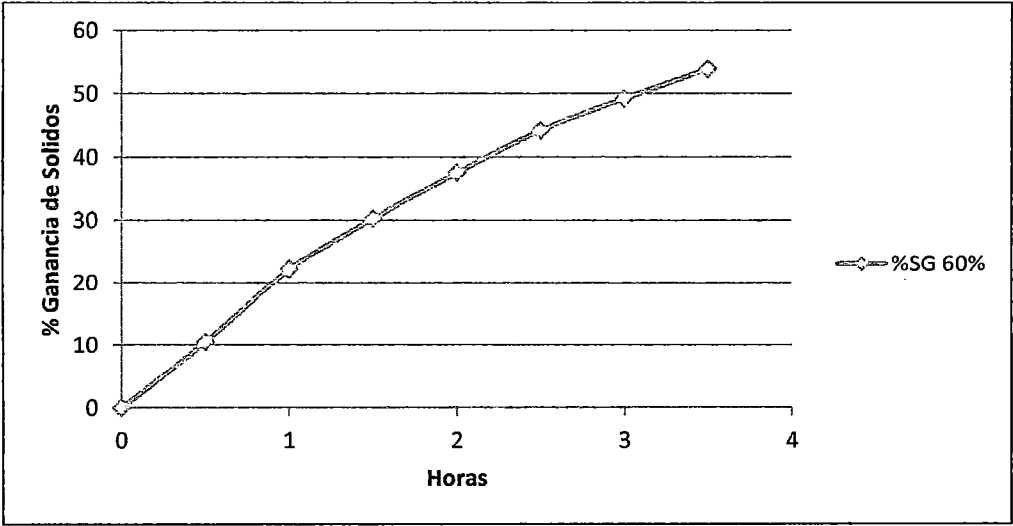


Figura N°37: Ganancia de sólidos en la piña MD2 osmodeshidratada con azúcar al 60%

TABLA N°30: NIVEL DE AJUSTE Y CONSTANTES DE SECADO USANDO EL MODELO DE PELEG CON SOLUCIÓN OSMÓTICA AL 60% DE AZÚCAR

SOLUCIÓN OSMÓTICA	NIVEL DE AJUSTE	K ₁	K ₂
AZÚCAR 60%	0.999542931	0.038696	0.007385

Fuente: Autores (2015)

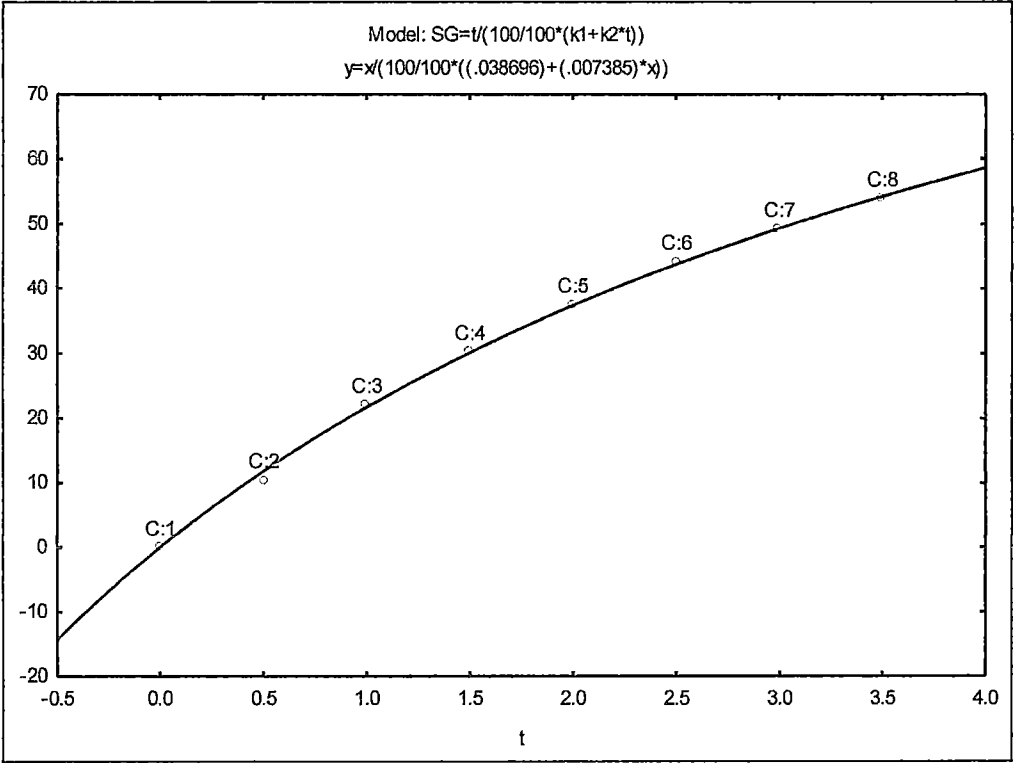


Figura N°38 : Ganancia de Sólidos de azúcar al 60% usando el modelo de Peleg

ANEXO X

10.1 ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA GANANCIA DE SÓLIDOS EN LAS SOLUCIONES OSMÓTICAS.

En la Tabla N°29 ANOVA descompone la varianza de ganancia de sólidos en dos componentes: un componente entre grupos y un componente dentro del grupo. El cociente F, que en este caso es igual a 9.94, es una relación de la estimación entre grupos para la estimación dentro del grupo. Dado que el valor P de la prueba F es menor de 0,05, hay una diferencia estadísticamente significativa entre la media Ganancia de sólidos de un nivel de Soluciones a otro en el nivel de confianza del 95.00%.

TABLA N°31: ANOVA EN GANANCIA DE SÓLIDOS EN LAS SOLUCIONES OSMÓTICAS

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	Df	MEDIA CUADRÁTICA	COCIENTE F	P EVALUADO
<i>Entre los grupos</i>	151.388	2	75.6941	9.94	0.0053
<i>Dentro de los grupos</i>	68.5696	9	7.61885		
<i>Total (Corr.)</i>	219.958	11			

Fuente: Autores (2015)

10.2 PRUEBA DE TUKEY DE LA GANANCIA DE SÓLIDOS EN EL TIEMPO

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar qué medias son significativamente diferentes de las que otros. La mitad inferior de la salida muestra la diferencia estimada entre cada par de medios. Un asterisco se ha colocado junto a 2 pares, lo que indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas en el nivel de confianza del 95,0 %.

En la parte superior de la Tabla, 2 grupos homogéneos se identifican utilizando columnas de equis. Dentro de cada columna, los niveles que contienen la forma de X un grupo de medios dentro de la cual no hay diferencias estadísticamente significativas.

El método que se utiliza actualmente para discriminar entre los medios es el procedimiento de la diferencia honestamente significativa de Tukey (HSD). Con este método, existe un riesgo de 5,0 % de llamar a uno o más pares significativamente diferentes cuando su diferencia real es igual a 0.

TABLA N°32: LAS PRUEBAS DE RANGOS MÚLTIPLES PARA GANANCIA DE SÓLIDOS

METODO DE TUKEY HSD: 95.00%

<i>SOLUCIONES</i>	<i>CONTEO</i>	<i>MEDIAS</i>	<i>GRUPOS HOMOGENEOS</i>
Azúcar 60%	4	53.8802	X
Azúcar 40%	4	54.3534	X
Azúcar 50%	4	61.6402	X

Fuente: Autores (2015)

<i>CONTRASTE</i>	<i>SIG.</i>	<i>DIFERENCIA</i>	<i>+/- LIMITES</i>
Azúcar 40% - Azúcar 50%	*	-7.28684	5.44874
Azúcar 40% - Azúcar 60%		0.473251	5.44874
Azúcar 50% - Azúcar 60%	*	7.76009	5.44874

*** Indica una diferencia estadísticamente significativa**

Fuente: Autores (2015)

ANEXO XI

EFFECTO DE LA DIFUSIVIDAD EFECTIVA EN EL TIEMPO DURANTE EN EL OSMODESHIDRATADO

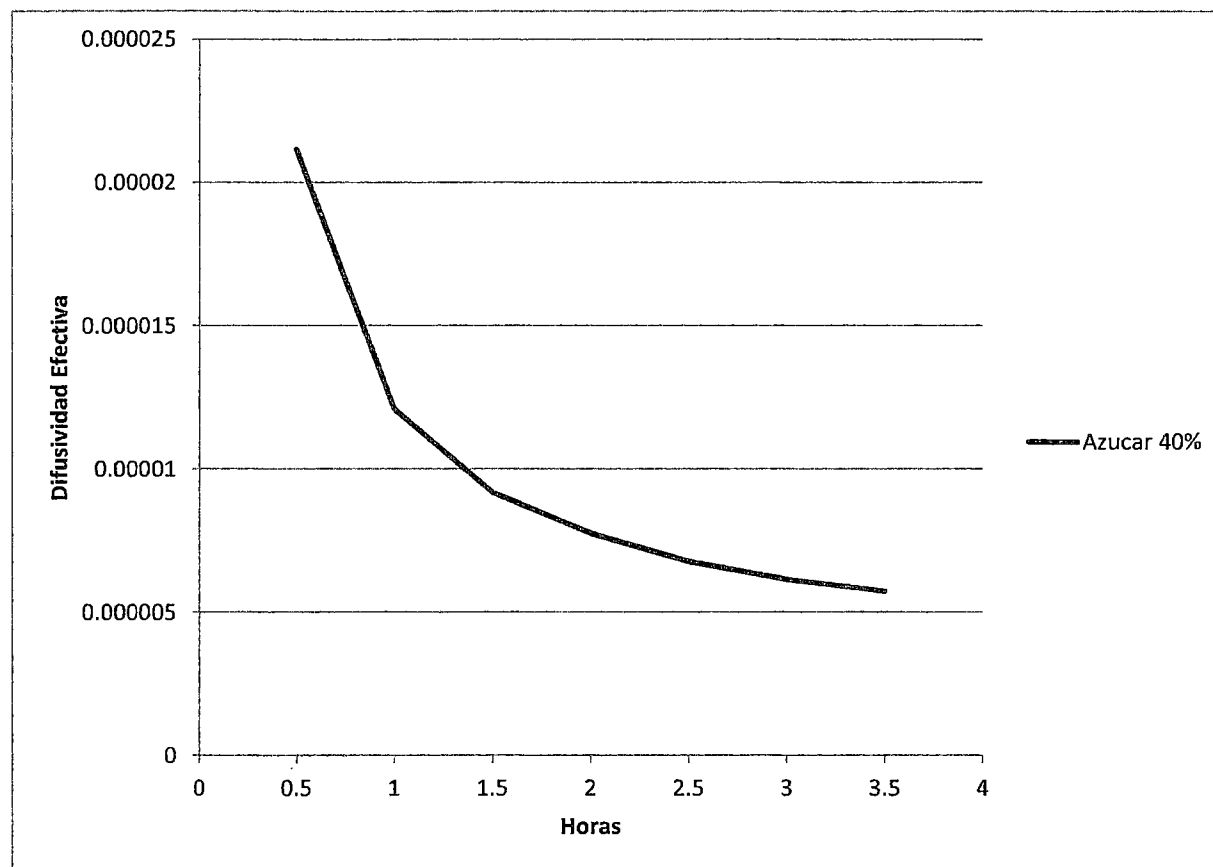
11.1 Solución osmótica al 40% de Azúcar

TABLA N°33: DIFUSIVIDAD EFECTIVA VS TIEMPO CON SOLUCIÓN OSMOTICA AL 40% DE AZUCAR

t (H)	%HBH	M/Mo	Ln (M/Mo)	Ln (8/π)	Ln (8/π)- Ln(M/Mo)	4L ²	π ² *t	D _{eff}
0	83.78298362	1.0000	0	0.934736056	0.934736056	0.0001	0	
0.5	75.18164112	0.89733783	-0.10832286	0.934736056	1.043058916	0.0001	4.93456139	2.11378E-05
1	64.64078705	0.77152644	-0.259384337	0.934736056	1.194120393	0.0001	9.86912278	1.20996E-05
1.5	54.75635794	0.65354987	-0.425336439	0.934736056	1.360072494	0.0001	14.8036842	9.18739E-06
2	46.16779048	0.55104018	-0.595947548	0.934736056	1.530683604	0.0001	19.7382456	7.75491E-06
2.5	40.1339922	0.47902319	-0.736006266	0.934736056	1.670742322	0.0001	24.6728069	6.77159E-06
3	34.60769392	0.41306352	-0.884153903	0.934736056	1.818889958	0.0001	29.6073683	6.14337E-06
3.5	29.42959075	0.35125976	-1.046229271	0.934736056	1.980965327	0.0001	34.5419297	5.73496E-06

Fuente: Autores (2015)

Figura N°39: Efecto de la Difusividad Efectiva en el tiempo durante en el osmodeshidratado con azúcar al 40%



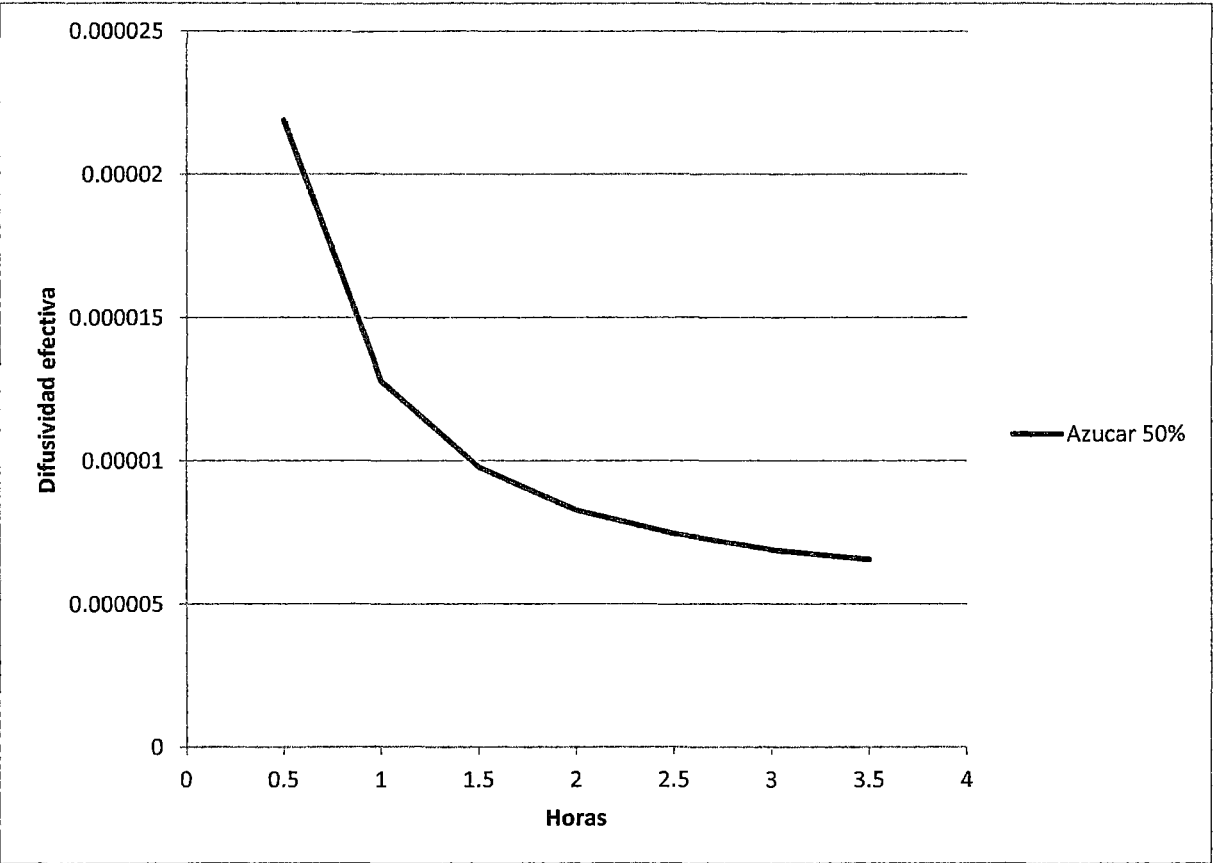
11.2 Solución osmótica al 50% de Azúcar

TABLA N°34: DIFUSIVIDAD EFECTIVA VS TIEMPO CON SOLUCIÓN OSMÓTICA AL 50% DE AZÚCAR

t (H)	%HBH	M/Mo	Ln (M/Mo)	Ln (8/π)	Ln (8/π)- Ln(M/Mo)	4L ²	π ² *t	D _{eff}
0	83.78298362	1.0000	0	0.934736056	0.934736056	0.0001	0	
0.5	72.4654467	0.86491843	-0.145120076	0.934736056	1.079856132	0.0001	4.93456139	2.18835E-05
1	60.31790978	0.71993031	-0.328600857	0.934736056	1.263336912	0.0001	9.86912278	1.28009E-05
1.5	50.19787285	0.59914162	-0.512257275	0.934736056	1.446993331	0.0001	14.8036842	9.77455E-06
2	41.69533593	0.49765876	-0.697840653	0.934736056	1.632576709	0.0001	19.7382456	8.27113E-06
2.5	33.89029901	0.40450098	-0.905101119	0.934736056	1.839837175	0.0001	24.6728069	7.45694E-06
3	27.67776209	0.33035064	-1.107600649	0.934736056	2.042336705	0.0001	29.6073683	6.89807E-06
3.5	22.14272517	0.26428666	-1.33072092	0.934736056	2.265456975	0.0001	34.5419297	6.55857E-06

Fuente: Autores (2015)

Figura N°40 : Efecto de la Difusividad Efectiva en el tiempo durante en el osmodeshidratado con azúcar al 50%



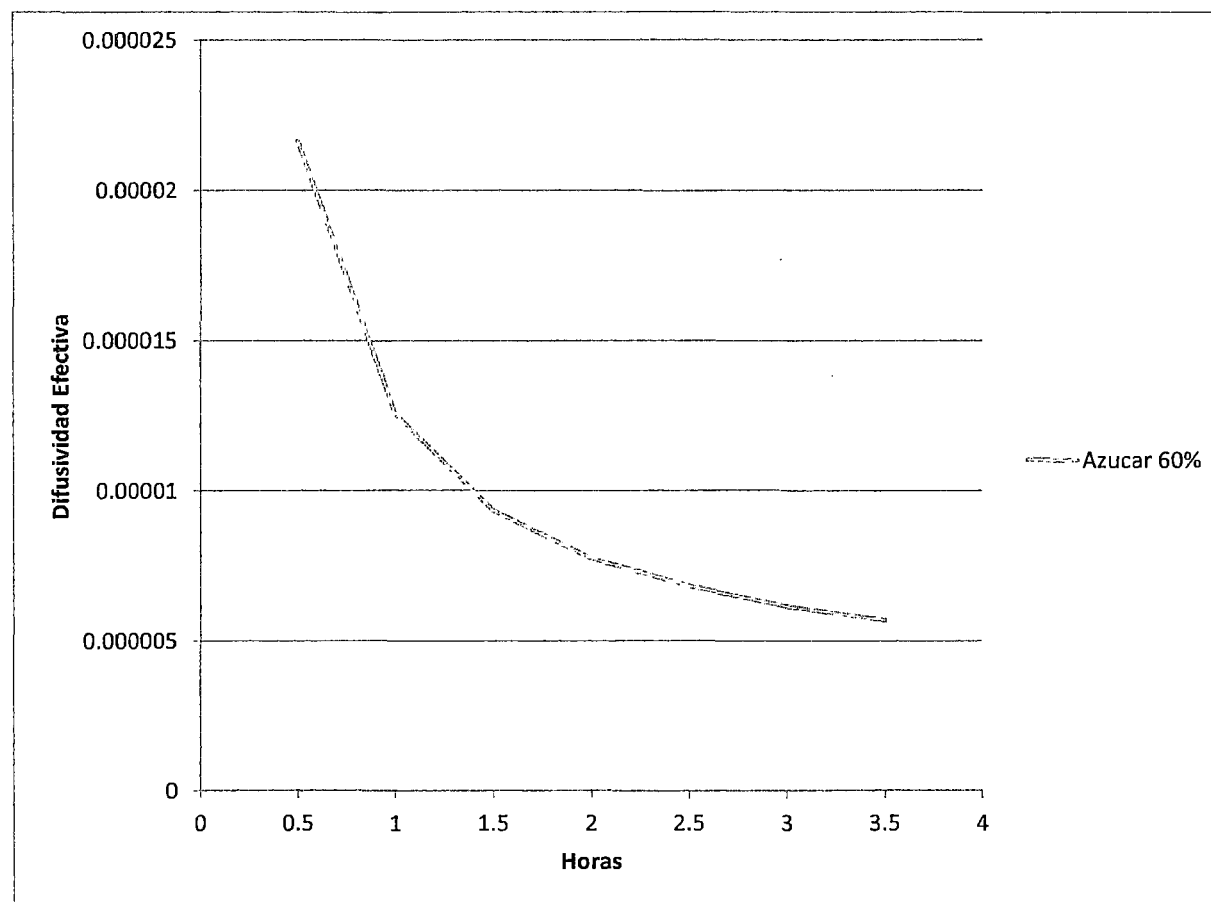
11.3 Solución osmótica al 60% de Azúcar

TABLA N° 35: DIFUSIVIDAD EFECTIVA VS TIEMPO CON SOLUCIÓN OSMOTICA AL 60% DE AZUCAR

t (H)	%HBH	M/Mo	Ln (M/Mo)	Ln (8/π)	Ln (8/π)- Ln(M/Mo)	4L ²	π ² *t	D _{eff}
0	83.78298362	1.0000	0	0.934736056	0.934736056	0.0001	0	
0.5	73.31136705	0.875015	-0.133514255	0.934736056	1.068250311	0.0001	4.93456139	2.16483E ⁻⁰⁵
1	61.65901017	0.73593715	-0.306610558	0.934736056	1.241346614	0.0001	9.86912278	1.25781E ⁻⁰⁵
1.5	53.53077344	0.63892178	-0.447973234	0.934736056	1.38270929	0.0001	14.8036842	9.34031E ⁻⁰⁶
2	46.25253672	0.55205168	-0.594113617	0.934736056	1.528849673	0.0001	19.7382456	7.74562E ⁻⁰⁶
2.5	39.56664999	0.47225162	-0.750243336	0.934736056	1.684979392	0.0001	24.6728069	6.8293E ⁻⁰⁶
3	34.56356327	0.41253679	-0.885429885	0.934736056	1.820165941	0.0001	29.6073683	6.14768E ⁻⁰⁶
3.5	29.90282654	0.35690811	-1.030276918	0.934736056	1.965012974	0.0001	34.5419297	5.68878E ⁻⁰⁶

Fuente: Autores (2015)

Figura N°41 : Efecto de la Difusividad Efectiva en el tiempo durante en el osmodeshidratado con azúcar al 60%



**TABLA 2. Requisitos físico químicos de las piñas
(milagreira, criolla, hawaiana, MD-2 y champaka)
de acuerdo con su estado de madurez**

	MADUREZ DE CONSUMO		METODO DE ENSAYO
	Nin	Max	
Acidez titulable % (ácido cítrico)	-	0,9	NTE INEN 381
Sólidos solubles totales, °Brix	11,0	17,0	NTE INEN 380
Contenido de pulpa, %	50	-	Ver 8.2

Figura N°42: Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN. 1 836:2009

ANEXO XIII

Desarrollo de Rodajas Deshidratadas de Piña, Adriana Hernández Triana, Fabiola Cornejo, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL). Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral. Guayaquil, Ecuador, 2010


Piña seca deshidratada osmóticamente con sacarosa		
Humedad	22±0.5	
Brix	82±1	
pH	3,58±0.025	
Ceniza	6,53±0.6	
Acidez	0,55±0.2	

Figura N°43: Resultados de Desarrollo de Rodajas Deshidratadas de Piña

ANEXO XIV

Cinética de la transferencia de masa durante la deshidratación osmótica de yacón (*Smallanthus sonchifolius*).

Silvina MALDONADO, Julia Eleonora SANTAPAOLA, Judith SINGH, Martín TORREZ, Alejandra GARAY.

Laboratorio de investigación de Ingeniería para el Desarrollo Agroindustrial Regional – IDeAR, Centro de Investigación de

Tecnología de Alimentos – CITA, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy, Av. Italia y Martiarena, 4600,

San Salvador de Jujuy, Argentina, 2008

Resumen

El yacón (*Smallanthus sonchifolius*) es un tubérculo andino de vida útil muy corta bajo condiciones ambientales. Los objetivos de este trabajo fueron determinar: 1) la cinética de deshidratación osmótica de yacón, utilizando sacarosa como soluto; 2) el ajuste de la ecuación de Peleg a los datos experimentales; y 3) el coeficiente de difusión usando la ecuación de Hawkes y Flink. La fruta se peló y cortó en placas de $3 \times 3 \times 0,3$ cm. Se la deshidrató osmóticamente con solución de sacarosa al 40% (p/p), hasta $a_w = 0,97$. El proceso se realizó a temperatura de 25°C y con agitación continua (105 rpm). Se determinó la pérdida de peso de las muestras, la ganancia de sólidos y la retención de agua. Los parámetros obtenidos para el ajuste de pérdida de agua y ganancia de sólidos son respectivamente: $k_1: 8,2 \pm 0,1$ y $k_2: 0,53 \pm 0,06$; $k_1: 234 \pm 8$ y $k_2: 2,6 \pm 0,5$. La mayor transferencia de masa, tanto de agua como de soluto, ocurre durante los primeros 60 a 90 minutos de proceso, lográndose una ganancia media de sólidos de $9,5 \text{ [g.100 g}^{-1}\text{ MF]}$ y una pérdida de agua de $68,8 \text{ [g.100 g}^{-1}\text{ MF]}$. Se puede asegurar que es posible aplicar satisfactoriamente el proceso de deshidratación osmótica en yacón como pre tratamiento de conservación.

Palabras clave: yacón; transferencia de masa; difusión; deshidratación; ósmosis.

Parámetro	k_1	k_2	R^2
WL	$8,2 \pm 0,1$	$0,53 \pm 0,06$	0,9862
SG	234 ± 8	$2,6 \pm 0,5$	0,9837
WR	5 ± 1	$1,2 \pm 0,1$	0,9675

Figura N°44: Resultados del Modelo de Peleg en el yacón osmóticamente deshidratado

ANEXO XV

Determinación de la difusividad efectiva de la sacarosa en la deshidratación osmótica de la piña Hawaiana (Ananascomosus), Edgar Rafael Acosta López, y Angélica Castro Garay. Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias, UNCP, Facultad de Ciencias Agrarias, UNCP, Huancayo, Perú, 2012

Resultados del análisis físicoquímico de la piña Hawaiana deshidratada osmóticamente seguido de un secado por estufa a diferentes concentraciones de jarabe de sacarosa.

Determinación	Piña en trozos	Después de la osmosis		
		40°Dx	50°Dx	60°Dx
Humedad (%)	83,77	66	64,4	63,2
Sólidos solubles (°Brix)	12,5	24,6	25,0	27,0
		Después del secado		
		40°Dx	50°Dx	60°Dx
		25,6	25,0	26,2
		58,4	61	62,4

•La difusividad masica efectiva de sacarosa en la piña disminuye a medida que se incrementa la concentración del jarabe siendo los valores obtenidos en promedio los siguientes: a 40°Brix $5.3998 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$; a 50°Brix $3,70831 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ y a 60°Brix $3.2329 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$. Al realizar el análisis de varianza de la Difusividad másica a diferentes concentraciones y la prueba de comparación de medias de Duncan a un nivel de 0,05, se encontro que entre los tratamientos existe diferencia estadística significativa.

Figura N°45: Resultados de la Piña hawaiana osmodeshidratada

ANEXO XVI

Coeficientes de difusión efectivos obtenidos en diferentes productos hallados en la literatura. Tesis de Maestría en Tecnología de los Alimentos. Tesista: Patricia DellaRocca, Buenos Aires, 2010

Alimento	D_{ew} (m^2/s)	T ($^{\circ}\text{C}$)	Concentración ($^{\circ}\text{Brix}$)	Referencia
Manzana	$15-60 \cdot 10^{-9}$	30-50	-	Conway y col., 1983
Manzana	$0.157-1.046 \cdot 10^{-9}$	20-50	65	Salvatori y col., 1999
Manzana	$0.0332-0.213 \cdot 10^{-9}$	20-50	40-60	Kaymak y col., 2000
Papaya	$0.314-0.655 \cdot 10^{-9}$	30-50	50-70	Rodriguez y col., 2003
Pera	$0.347-1.92 \cdot 10^{-9}$	40-60	40-70	Park y col., 2002
Piña	$1.72 \cdot 10^{-9}$	50-70	50-70	Waliszewski y col., 2002
Piña	$1.48-3.24 \cdot 10^{-9}$	30-50	40-70	Rastogi y col., 2004
Piña	$0.6-2.5 \cdot 10^{-9}$	30-50	50-70	Beristain y col., 1990
Banana	$0.85-2.43 \cdot 10^{-9}$	25-45	40-70	Rastogi y col., 1997
Mango	$0.018-0.077 \cdot 10^{-9}$	30	35-65	Giraldo y col., 2003
Ananá	$0.058-0.222 \cdot 10^{-9}$	30-50	60	Ramallo y Mascheroni

Figura N°46: Coeficientes de difusión efectivos de algunos alimentos

ANEXO XVII

Modelos matemáticos en la deshidratación osmótica. Martínez O. y Aylas A. Ciencia y Tecnología Alimentaria. Sociedad Nacional de Nutrición y Tecnología de Alimentos. Reynosa, México, 2005

Alimento	$D_a(m^2/s)$	Temperatura (°C)	Concentración (°Brix)
Piña	$0.2 \times 10^{-9} - 0.46 \times 10^{-9}$	50 - 70	50 - 70
Piña	$0.53 \times 10^{-9} - 1.54 \times 10^{-9}$	30 - 50	40 - 70

Figura N°47: Resultados de difusividad efectiva de la Piña osmodeshidratada a diferentes parámetros

ANEXO XVIII

Cinética de transferencia de masa de la deshidratación osmótica de tomate cherry. Patricia Moreira Azoubel, Fernanda

Elizabeth Xidieh Murr. Embrapa Semi-Arid, BR 428, km 152, P.O. Box 23, ZIP 56300-970, Petrolina, PE, Brazil b

Department of Food Engineering, College of Food Engineering, State University of Campinas, P.O. Box 6121, ZIP 13083-970, Campinas, SP, Brazil Received 4 June 2002; accepted 13 April 2004

Table I

Values of Peleg's equation parameters for water loss and salt gain

Sample	Water loss				Salt gain			
	k_1	k_2	R^2	$P(\%)$	k_1	k_2	R^2	$P(\%)$
NaCl 10%	3.67	0.04	0.97	6.72	45.19	0.24	0.99	4.15
NaCl 25%	2.08	0.04	0.96	7.48	22.01	0.05	0.98	9.79
NaCl-sucrose 10%	10.61	0.05	0.99	4.24	148.89	0.13	0.95	13.84
NaCl-sucrose 25%	4.36	0.05	0.97	5.92	103.05	-0.09	0.98	12.26

Figura N°48: Resultados del Modelado Matemático de Peleg en el tomate cherry