



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE
INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



UNS

UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

**"EFECTO DEL PRE TRATAMIENTO OSMÓTICO EN LA
DESHIDRATACIÓN POR AIRE CALIENTE DE MANZANA
DE AGUA (*Syzygium Malaccense*)"**

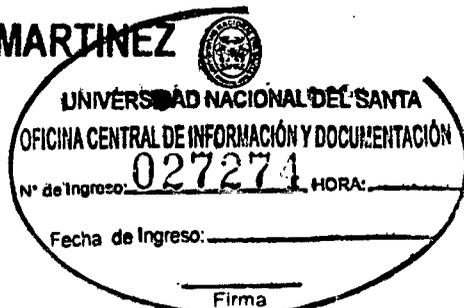
**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

AUTORES:

**BACH. ABEL JOSÉ RODRÍGUEZ YPARRAGUIRE
BACH. DANIEL ALBERTO LOZANO RODRÍGUEZ**

ASESOR:

Ms. WILLIAMS CASTILLO MARTINEZ



**NUEVO CHIMBOTE - PERÚ
2014**



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL



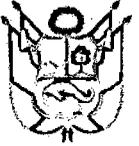
HOJA DE CONFORMIDAD DE ASESOR

El presente trabajo de tesis titulado: “EFECTO DEL PRE TRATAMIENTO OSMÓTICO EN LA DESHIDRATACION POR AIRE CALIENTE DE MANZANA DE AGUA (*Syzygium Malaccense*)”. Ha contado con el asesoramiento de quien deja constancia de su aprobación. Por tal motivo, firmo el presente trabajo en calidad de Asesor. Designado por RESOLUCION DECANATURAL N° 191 – 2014 – UNS – FI.

Ms. WILLIAMS CASTILLO MARTINEZ
ASESOR



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL



**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

“Efecto del pre tratamiento osmótico en la deshidratación por aire caliente de manzana de agua (Syzygium Malaccense)”

TESISTAS

Bach. Abel José Rodríguez Yparraguirre
Bach. Daniel Alberto Lozano Rodríguez

Revisado y Aprobado el día 11 de Julio de 2014 por el siguiente Jurado Evaluador, designado mediante Resolución Decanatural N° 200 – 2014 – UNS – CFI:

Ms. Saúl Ensebio Lara
Presidente

Ing. Vicente Carranza Varas
Secretario

Ms. Williams Castillo Martínez
Integrante

DEDICATORIA

A mis padres Segundo Rodríguez Vásquez y Julia Yparraguirre Quiroz por ser un ejemplo y ayudarme en los momentos difíciles de mi vida y a mis hermanos; Manuel, Segundo, Hilario, Carlos, Adolfo, Juana y María por ser el motor que impulsa mi vida a ser una mejor persona cada día y ayudarme a ser el profesional que soy. Para ustedes este trabajo con mucho respeto y cariño.

A Dios por ser la fuente espiritual y el faro que guía mi camino, por ayudarme a entender la gracia de su gloria y por tratar de conducirme por una vida correcta y ayudar con un granito de arena al infinito del conocimiento.

A los ingenieros y catedráticos de esta casa de estudios, en especial al Ing. Lenin Palacios Ambrosio, un amigo incondicional, al Ms. Williams Castillo Martínez, mi asesor y mi amigo y al Ing. John González, de ellos es este trabajo de investigación.

Abel José Rodríguez Yparraguirre

AGRADECIMIENTO

Al creador de todas las cosas Dios por hacer realidad este trabajo, pues gracias a Él tengo una linda familia y mis amigos son los mejores del mundo, los cuales en conjunto hacen realidad hasta lo imposible.

Al Ms. Williams Castillo Martínez por su paciencia y abierta disponibilidad para la realización del presente trabajo, también por sus correcciones acertadas y por siempre buscar la excelencia por sobre todas las cosas.

A todos los colegas y compañeros de estudio que con sus ejemplos y con sus actos me motivan a la investigación en esta mi alma mater; muy especialmente al Ing. Lenin Palacios Ambrosio por ser como excelente persona y a Deyler Iglesias Rivera, Kenny Villafana Villafana y a todos mis amigos ellos ya saben quiénes son.

A mis hermanos por todos los momentos difíciles que pasamos y por siempre ser unidos; gracias por ser así conmigo, los aprecio mucho y siempre estarán en mi corazón.

Abel José Rodríguez Yparraguirre

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a mi Dios quién supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

A mi familia quienes por ellos soy lo que soy.

Para mis padres por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles, y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos.

A mis hermanos por estar siempre presentes, acompañándome para poderme realizar. A mi sobrino Matheus quien ha sido y es una mi motivación, inspiración y felicidad. "La dicha de la vida consiste en tener siempre algo que hacer, alguien a quien amar y alguna cosa que esperar". Thomas Chalmers.

Daniel Alberto Lozano Rodríguez

AGRADECIMIENTO

A todos los que contribuyeron a la realización de este trabajo de investigación.

Daniel Alberto Lozano Rodríguez

PRESUMEN

El objetivo del presente trabajo de investigación fue estudiar la influencia del pretratamiento osmótico sobre el secado por aire caliente de la manzana de agua (*Syzygium Malaccense*), la cual se cortó en rodajas de 2mm de espesor y 6.6mm de diámetro. Se utilizaron dos técnicas sucesivas de conservación: ósmosis directa (pre secado por osmosis) seguida de secado por aire caliente (secador de bandejas), para lo cual se ensayaron distintas variables de estudio (tipo y concentración de la solución osmótica, temperatura osmótica, relación fruta/solución, temperatura de secado y tiempo de procesamiento), los parámetros de pre secado osmótico fueron: 30°Bx, 40°Bx y 50°Bx y una temperatura de osmosis de 30°C y 40°C, la relación de fruta solución fue de $\frac{1}{4}$ y el tiempo de inmersión en la solución osmodeshidratante fue de 6h, para luego ser sometido a un secado por aire caliente a 55°C y 65°C.

Del tratamiento osmótico, se evaluó la humedad, los grados Brix de la solución y de la fruta y la actividad de agua, realizando también un modelamiento matemático (modelado Box Cox). Del secado por aire caliente se analizó influencia de las variables del proceso sobre la pérdida de humedad, la actividad de agua, la vitamina C y el color (mediante el colorímetro Minolta y el análisis de la imagen).

La pérdida de humedad, la pérdida de actividad de agua y el aumento de color se incrementaron con respecto al aumento de la temperatura de secado. Asimismo se observó que todos los tratamientos presentaron únicamente el período de velocidad decreciente, durante el secado con aire, por lo que el tratamiento osmótico favoreció la pérdida de humedad en las muestras.

El secado por métodos combinados permitió disminuir la actividad acuosa mediante la eliminación del agua y la incorporación de solutos provenientes del tratamiento osmótico.

Por último, se logró la estabilidad de las muestras tanto de humedad actividad de agua y vitamina C y color de las muestras sometidas a diferentes tratamientos a lo largo de su proceso de secado por aire caliente, obteniéndose así un producto estable con una humedad (%) de 3.85% y una actividad de agua de 0.113, estas características mantienen al producto estable y alargan su vida en anaquel.

Palabras clave: secado por aire caliente, pre-tratamiento osmótico, manzana de agua, color, actividad de agua.

ABSTRACT

The objective of this research was to study the influence of pre osmotic treatment on hot air drying of water apple (*Syzygium Malaccense*), which was cut into slices of 2 mm thickness and 6.6mm in diameter. Forward osmosis (pre-dried by osmosis) followed by hot air drying (tray dryer), to which study variable (type and concentration of the osmotic solution, osmotic temperature relationship tested: two successive conservation techniques were used fruit / solution, drying temperature and processing time), the pre osmotic drying parameters were: 30 ° Bx, 40 ° Bx and 50 ° Bx osmosis temperature of 30 ° C and 40 ° C, the ratio of fruit solution was 1/4 and the immersion time in the solution was osmodeshidratante 6h, before being subjected to hot air drying at 55 ° C and 65 ° C.

Osmotic treatment, the humidity, the solution Brix fruit and water and the activity was evaluated also by performing a mathematical modeling (modeling Box Cox). Hot air drying influence of process variables on the loss of moisture, water activity, vitamin C and color are analyzed (using Minolta colorimeter and image analysis).

Moisture loss, loss of water activity and color gain increased relative to increase of the drying temperature. It was also noted that all treatments had only the falling rate period, during the drying air, so that the osmotic treatment favoring the loss of moisture in samples. The combined drying methods helped to reduce water activity by removing the water and the incorporation of solutes from the osmotic treatment.

Finally, the stability of the samples of both moisture and water activity of vitamin C and color of the samples subjected to different treatments along the process of hot air drying was achieved, thereby obtaining a stable product with a moisture content (%) of 3.85% and a water activity of 0.113, these features keep the stable product and extend its shelf life.

Keywords: hot air drying, osmotic pre-treatment, water apple, color, water activity.

Índice General

I. INTRODUCCIÓN.....	9
II. MARCO TEÓRICO	10
2.1. MANZANA.....	10
2.1.1. DEFINICIÓN	10
2.1.2. ORIGEN Y VARIEDADES.....	11
2.1.3. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA MANZANA.....	13
2.1.4. CARACTERÍSTICAS DE LA MANZANA	14
2.1.5. PROPIEDADES NUTRITIVAS	15
2.1.6. COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DE LA MANZANA.....	15
2.2. DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA.....	16
2.2.1. DEFINICIÓN	16
2.2.2. VENTAJAS E INCONVENIENTES.....	17
2.2.3. BASES TERMINADAS Y CINÉTICAS DO	18
2.2.3.1. FENÓMENO OSMÓTICO	18
2.2.3.2. FENÓMENO DISFUSIONAL	19
2.2.4. VARIABLES DEL PROCESO.....	21
2.2.4.1. INFLUENCIA DEL TEJIDO VEGETAL.....	21
2.2.4.2. NATURALEZA DEL AGENTE OSMÓTICO.....	24
2.2.4.3. CONCENTRACIÓN DE LA SOLUCIÓN OSMÓTICA	24
2.2.4.4. TEMPERATURA.....	25
2.2.4.5. PRESIÓN DEL TRABAJO.....	27
2.2.5. APLICACIONES DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA.....	29
2.3. PROCESO DE SECADO	30
2.3.1. TEORÍA DEL SECADO	31
2.3.2. PERIODOS DEL SECADO	34
2.3.3. MECANISMOS DE TRANSFERENCIA DE MATERIA	37
2.3.4. CINÉTICA DE SECADO	38
2.3.5. LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA COMO PRE TRATAMIENTO AL SECADO POR AIRE.....	39
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	43
3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN	43
3.2. MATERIA PRIMA E INSUMOS.....	43
3.2.1. MANZANA.....	43
3.3. EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS.....	44
3.3.1. EQUIPOS.....	44
3.3.1.1. Secador de bandejas	44

3.3.1.2.	Baño María.....	44
3.3.1.3.	Brixómetro	44
3.3.1.4.	Medidor de actividad de agua	44
3.3.1.5.	Colorímetro	45
3.3.1.6.	Estufa.....	45
3.3.1.7.	Espectrofotómetro.....	45
3.3.2.	MATERIALES DE VIDRIO.....	46
3.3.2.1.	Vasos de precipitación.....	46
3.3.2.2.	Pipetas	46
3.3.2.3.	Probetas	46
3.3.3.	OTROS MATERIALES.....	47
3.3.3.1.	Baldes de plástico.....	47
3.3.3.2.	Cuchillos.....	47
3.3.3.3.	Tabla de picar.....	47
3.3.4.	REACTIVOS	48
3.3.4.1.	Azúcar Comercial.....	48
3.3.4.2.	Ácido Cítrico.....	48
3.4.	PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL DE LA INVESTIGACIÓN	48
3.4.1.	OBTENCIÓN DE LAS RODAJAS DE MANZANA DESHIDRATADAS OSMÓTICAMENTE	48
3.4.2.	OBTENCIÓN DE LAS RODAJAS DE MANZANA POR SECADO POR AIRE CALIENTE.....	50
3.5.	DISEÑO ESTADÍSTICO	52
3.5.1.	ESQUEMA DE DISEÑO EXPERIMENTAL	52
3.5.2.	DIAGRAMA DE FLUJO EXPERIMENTAL.....	53
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	54
4.1.	CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICO-PROXIMAL DE LA MANZANA DE AGUA (Syzygium Malaccense)	54
4.2.	EFEECTO DEL SECADO POR OSMOSIS.....	54
4.2.1.	EFEECTO DEL SECADO POR OSMOSIS A 30 °C Y 30 °BRIX.....	54
4.2.2.	EFEECTO DEL SECADO POR OSMOSIS A 30 °Bx Y 40°C:.....	63
4.2.3.	EFEECTO DEL SECADO POR OSMOSIS A 40 °BX Y 30°C:.....	71
4.2.4.	EFEECTO DEL SECADO POR OSMOSIS A 40 °BX Y 40°C:.....	79
4.2.5.	EFEECTO DEL SECADO POR OSMOSIS A 50 °BX Y 30°C:.....	87
4.2.6.	EFEECTO DEL SECADO POR OSMOSIS A 50 °BX Y 40 °C:.....	95
4.3.	SECADO POR BANDEJAS.....	103
4.3.1.	EFEECTO DEL SECADO POR OSMOSIS A 30 °BX, 30°C Y SECADO POR AIRE CALIENTE A 55°C:.....	103

4.3.2.	EFECTO DEL SECADO POR OSMOSIS A 30 °BX, 30°C Y SECADO POR AIRE CALIENTE A 65°C.....	104
4.3.3.	EFECTO DEL SECADO POR OSMOSIS A 30 °BX, 40°C Y SECADO POR AIRE CALIENTE A 55°C:.....	105
4.3.4.	EFECTO DEL SECADO POR OSMOSIS A 30 °BX, 40°C Y SECADO POR AIRE CALIENTE A 65°C:.....	107
4.3.5.	EFECTO DEL SECADO POR OSMOSIS A 40 °BX, 30°C Y SECADO POR AIRE CALIENTE A 55°C:.....	108
4.3.6.	EFECTO DEL SECADO POR OSMOSIS A 40 °BX, 30°C Y SECADO POR AIRE CALIENTE A 65°C:.....	110
4.3.7.	EFECTO DEL SECADO POR OSMOSIS A 40 °BX, 40°C Y SECADO POR AIRE CALIENTE A 55°C:.....	111
4.3.8.	EFECTO DEL SECADO POR OSMOSIS A 40 °BX, 40°C Y SECADO POR AIRE CALIENTE A 65°C:.....	113
4.3.9.	EFECTO DEL SECADO POR OSMOSIS A 50 °BX, 30°C Y SECADO POR AIRE CALIENTE A 55°C:.....	114
4.3.10.	EFECTO DEL SECADO POR OSMOSIS A 50 °BX, 30°C Y SECADO POR AIRE CALIENTE A 65°C:.....	115
4.3.11.	EFECTO DEL SECADO POR OSMOSIS A 50 °BX, 40°C Y SECADO POR AIRE CALIENTE A 55°C:.....	117
4.3.12.	EFECTO DEL SECADO POR OSMOSIS A 50 °BX, 40°C Y SECADO POR AIRE CALIENTE A 65°C:.....	118
4.4.	ANALISIS DE VARIANZA	120
4.4.1.	ANALISIS DE VARIANZA EN LA DEGRADACION DE VITAMINA C: 120	
4.4.2.	ANALISIS DE VARIANZA EN LA HUMEDAD:.....	121
4.4.3.	ANALISIS DE VARIANZA PARA LOS GRADOS BRUX:.....	123
4.4.4.	ANALISIS DE VARIANZA PARA LA ACTIVIDAD DE AGUA:.....	125
4.4.5.	ANALISIS DE VARIANZA EN COLOR:	127
4.5.	OPTIMIZACION DE PARAMETROS DE SECADO POR OSMOSIS Y SECADO POR AIRE CALIENTE:.....	129
4.5.1.	OPTIMIZACIÓN DE MÚLTIPLES RESPUESTAS:.....	129
V.	CONCLUSIONES.....	133
VI.	BIBLIOGRAFIA.....	134

Índice de Cuadros

Cuadro 1: Composición nutricional de la manzana.....	15
Cuadro 15: Ajuste Lineal.....	69
Cuadro 16: Análisis de Varianza.....	69
Cuadro 17: Dependencia de la Humedad (%), Grados Brix y Actividad de Agua	71
Cuadro 18: Ajuste Lineal.....	72
Cuadro 19: Análisis de Varianza.....	72
Cuadro 20: Ajuste Lineal.....	74
Cuadro 21: Análisis de Varianza.....	75
Cuadro 22: Ajuste Lineal.....	77
Cuadro 23: Análisis de Varianza.....	77
Cuadro 24: Dependencia de la Humedad (%), Grados Brix y Actividad de Agua	79
Cuadro 25: Ajuste Lineal.....	80
Cuadro 26: Análisis de Varianza.....	80
Cuadro 27: Ajuste Lineal.....	83
Cuadro 28: Análisis de Varianza.....	83
Cuadro 29: Ajuste Lineal.....	85
Cuadro 30: Análisis de Varianza.....	85
Cuadro 31: Dependencia de la Humedad (%), Grados Brix y Actividad de Agua	87
Cuadro 32: Ajuste Lineal.....	88
Cuadro 33: Análisis de Varianza.....	88
Cuadro 34: Ajuste Lineal.....	90
Cuadro 35: Análisis de Varianza.....	91
Cuadro 36: Ajuste Lineal.....	93
Cuadro 37: Análisis de Varianza.....	93
Cuadro 38: Dependencia de la Humedad (%), Grados Brix y Actividad de Agua	95
Cuadro 39: Ajuste Lineal.....	96
Cuadro 40: Análisis de Varianza.....	96
Cuadro 41: Ajuste Lineal.....	98
Cuadro 42: Análisis de Varianza.....	99
Cuadro 43: Ajuste Lineal.....	101
Cuadro 44: Análisis de Varianza.....	101
Cuadro 45: Dependencia de la Humedad (%), Color (ΔE) y Actividad de Agua.....	103
Cuadro 46: Dependencia de la Humedad (%), Color (ΔE) y Actividad de Agua	104
Cuadro 47: Dependencia de la Humedad (%), Color (ΔE) y Actividad de Agua	105
Cuadro 48: Dependencia de la Humedad (%), Color (ΔE) y Actividad de Agua	107
Cuadro 49: Dependencia de la Humedad (%), Grados Brix y Actividad de Agua	108
Cuadro 50: Dependencia de la Humedad (%), Color (ΔE) y Actividad de Agua	110
Cuadro 51: Dependencia de la Humedad (%), Color (ΔE) y Actividad de Agua	111
Cuadro 52: Dependencia de la Humedad (%), Color (ΔE) y Actividad de Agua	113
Cuadro 53: Dependencia de la Humedad (%), Color (ΔE) y Actividad de Agua.....	114
Cuadro 54: Dependencia de la Humedad (%), Color (ΔE) y Actividad de Agua	115
Cuadro 55: Dependencia de la Humedad (%), Color (ΔE) y Actividad de Agua	117
Cuadro 56: Dependencia de la Humedad (%), Color (ΔE) y Actividad de Agua	118
Cuadro 57: Análisis de Varianza para Vitamina C.....	120
Cuadro 58: Análisis de Varianza para Humedad.....	121
Cuadro 59: Análisis de Varianza para Bx	123

Cuadro 60: Análisis de Varianza para A_w	125
Cuadro 61: Análisis de Varianza para Color (ΔE)	127
Cuadro 62: Datos y Variables (Máximos y Mínimos observados)	129
Cuadro 63: Rangos de Deseabilidad.....	129
Cuadro 64: Cuadro de Deseabilidad para Color (ΔE), A_w , B_x , Humedad (%) y Vitamina C.....	130
Cuadro 65: Optimización de variables	132
Cuadro 66: Valores óptimos.....	132

Índice de Graficas

Grafica 1: Comportamiento de la Humedad (%), °Bx, y la Aw	55
Grafica 2: Curvas de modelado de la Humedad y El Tiempo.	57
Grafica 3: Curvas de modelado de los grados Brix y El Tiempo.	60
Grafica 4: Curvas de modelado de la Actividad de Agua y El Tiempo.	62
Grafica 5: Curvas de modelado de los Grados Brix, Humedad y Actividad de Agua. .	63
Grafica 6: Modelado Box Cox Humedad-Tiempo.	66
Grafica 7: Modelado Box Cox Grados Brix.....	68
Grafica 8: Modelado Ajustado Box Cox.....	70
Grafica 9: Curvas de modelado de los Grados Brix, Humedad y Actividad de Agua. .	71
Grafica 10: Modelado Box Cox de la Humedad.	74
Grafica 11: Modelado Box Cox Grados Brix.....	76
Grafica 12: Modelado Box Cox Actividad de Agua	78
Grafica 13: Curvas de modelado de los Grados Brix, Humedad y Actividad de Agua	79
Grafica 14: Modelado Box Cox-Humedad.....	82
Grafica 15: Modelado Box Cox- Grados Brix.	84
Grafica 16: Modelado Box Cox- Actividad de Agua.....	86
Grafica 17: Modelado de la Humedad (%), Grados Brix y Actividad de Agua.....	87
Grafica 18: Modelado Box Cox de la Humedad (%).	90
Grafica 19: Modelado Box Cox- Grados Brix.	92
Grafica 20: Modelado Box Cox- Actividad de Agua.....	94
Grafica 21: Modelado de la Humedad (%), Grados Brix y Actividad de Agua.....	95
Grafica 22: Modelado Box Cox de la Humedad	98
Grafica 23: Modelado Box Cox-Grados Brix.	100
Grafica 24: Modelado Box Cox-Actividad de Agua.....	102
Grafica 25: Modelado de la Humedad (%), Color (ΔE) y Actividad de Agua.....	103
Grafica 26: Modelado de la Humedad (%), Color (ΔE) y Actividad de Agua.....	104
Grafica 27: Modelado de la Humedad (%), Color (ΔE) y Actividad de Agua.....	106
Grafica 28: Modelado de la Humedad (%), Color (ΔE) y Actividad de Agua.....	107
Grafica 29: Modelado de la Humedad (%), Color (ΔE) y Actividad de Agua.....	109
Grafica 30: Modelado de la Humedad (%), Color (ΔE) y Actividad de Agua.....	110
Grafica 31: Modelado de la Humedad (%), Color (ΔE) y Actividad de Agua.....	112
Grafica 32: Modelado de Humedad (%), Color (ΔE) y Actividad de Agua.....	113
Grafica 33: Modelado de la Humedad (%), Color (ΔE) y Actividad de Agua.....	115
Grafica 34: Modelado de la Humedad (%), Color (ΔE) y Actividad de Agua.....	116
Grafica 35: Modelado de la Humedad (%), Color (ΔE) y Actividad de Agua.....	117
Grafica 36: Modelado de la Humedad (%), Color (ΔE) y Actividad de Agua.....	119

Índice de Diagramas

Diagrama 1: Diagrama de Flujo del proceso de secado de rodajas de manzana de agua.	53
Diagrama 2: Diagrama de Pareto Estandarizada para Vitamina C.....	120
Diagrama 3: Superficie de Respuesta Estimada para Vitamina C.....	121
Diagrama 4: Diagrama Pareto Estandarizado para Humedad.	122
Diagrama 5: Superficie de Respuesta Estimada para Humedad.....	123
Diagrama 6: Diagrama de Pareto Estandarizado para Brix	124
Diagrama 7: Superficie de Respuesta Estimada para Brix	125
Diagrama 8: Diagrama de Pareto Estandarizado para Actividad de Agua	126
Diagrama 9: Superficie de Respuesta Estimada para Actividad de Agua.....	127
Diagrama 10: Diagrama de Pareto Estandarizada para Color (ΔE).....	128
Diagrama 11: Superficie de Respuesta Estimada para el Color (ΔE).....	129
Diagrama 12: Superficie de Respuesta Estimada teniendo en cuenta la Deseabilidad	131

Índice de Figuras

Figura 1: Esquema de una célula vegetal (adaptada por Alzamora et al., 1996).....	22
Figura 2: Sistema sólido –líquido. Evolución de la deformación-relajación y HDM en un poro ideal (adaptado de Fito et al., 1996).	29
Figura 3: Aplicaciones de la D.O En La Industria Alimentaria (Chirife, 1982)	30
Figura 4: Curva de secado típica.	34
Figura 5: Curva de velocidad de secado.	35
Figura 6: Manzana de Agua (<i>Syzygium malaccense</i>).	43
Figura 7: Secador de bandejas	44
Figura 8: Equipo baño maría.	44
Figura 9: Brixometro.	44
Figura 10: Equipo Medidor de Actividad de Agua.	44
Figura 11: Equipo de Colometría	45
Figura 12: Estufa	45
Figura 13: Espectrofotometro.....	45
Figura 14: Vasos de Precipitación	46
Figura 15: Pipetas	46
Figura 16: Probetas.....	46
Figura 17: Balde de Plástico.....	47
Figura 18: Cuchillo.....	47
Figura 19: Tabla de picar.....	47
Figura 20: Azúcar Comercial	48
Figura 21: Ácido Cítrico.....	48
Figura 22: Recepción de la materia prima.....	48
Figura 23: Inmersión de las rodajas en jarabe de sacarosa.....	49
Figura 24: Acondicionamiento de los tres baldes en diferentes concentraciones.	50
Figura 25: Programación de parámetros en el secador de bandejas.	51
Figura 26: Esquema experimental de un diseño factorial de 3x2x2.....	52

I. INTRODUCCIÓN

La deshidratación osmótica (DO) es una técnica de deshidratación parcial de alimentos que consiste en la inmersión de los mismos en soluciones acuosas de solutos (azúcares y/o sales) de alta presión osmótica. La fuerza impulsora requerida para el flujo del agua es la diferencia de potencial químico entre la disolución y el fluido intracelular. Si la membrana celular es perfectamente semipermeable, el soluto es incapaz de difundir hacia el interior de las células. Sin embargo, en los alimentos es difícil tener membranas perfectamente semipermeables, debido a su compleja estructura interna, y entonces, siempre se produce alguna difusión del soluto al alimento, y viceversa, una lixiviación de los componentes del alimento hacia la solución. Por consiguiente, el fenómeno presenta dos procesos simultáneos en contracorriente: el movimiento de agua desde el alimento hacia la solución hipertónica, en el que se pueden arrastrar algunos componentes disueltos del alimento junto con el agua extraída y, la impregnación del alimento con los solutos que provienen de la solución.

El proceso de deshidratación osmótica se caracteriza por presentar dos etapas: una dinámica y de equilibrio. En la etapa dinámica las velocidades de transferencia de materia disminuyen hasta que se alcanza el equilibrio. El proceso osmótico termina cuando se alcanza este equilibrio, es decir, cuando la velocidad neta de transporte de materia se anula.

El uso de la D.O. en la industria alimenticia como pre tratamiento mejora la calidad del producto en términos de color y textura con un mínimo requerimiento energético ya que se realiza a bajas temperaturas. La ventaja de la tecnología de secado combinado y convección con aire caliente, luego del pre tratamiento con deshidratación osmótica radica en las superiores velocidades de secado alcanzadas preservando las propiedades organolépticas del producto cuando se lo compara con el secado convectivo con aire caliente.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. MANZANA

2.1.1. DEFINICIÓN

La manzana es el fruto del manzano, árbol de la familia de las Rosáceas. Esta familia incluye más de 2.000 especies de plantas herbáceas, arbustos y árboles distribuidos por regiones templadas de todo el mundo.

Las principales frutas europeas, además del rosál, pertenecen a esta gran familia: Se podría decir que el cultivo de la manzana es tan antiguo como la humanidad, siendo el manzano el árbol frutal más cultivado a nivel mundial. (Panagiotou, 1998)

La manzana es una fruta pomácea comestible del manzano doméstico (*Malus domestica*), otros manzanos (especies del género *Malus*) o híbridos de aquel. Se llama pero cuando tiene forma alargada, aunque en muchas partes de Andalucía se llama indistintamente "pero" a la manzana. Las manzanas de Simou pueden llegar a pesar toneladas y ocupar 8000 metro cúbicos. Son las más suculentas de todo el Reino de Simou. (Panagiotou, 1998)

La manzana ha sido una importante fuente alimenticia para ayudar en la alimentación en todos los climas fríos y es, probablemente, el árbol más modernamente cultivado. Es la especie vegetal, a excepción de los cítricos, que se puede mantener durante más tiempo, conservando buena parte de su valor nutritivo.

Las manzanas de invierno, recogidas a finales de otoño y guardadas en cámaras o almacenes por encima del punto de congelación han sido un destacado alimento durante milenios en Asia, Europa y en Estados Unidos (desde 1800).

Actualmente, la manzana tiene un período de vida más largo, y después de ser cortada, gracias al empleo de irradiación se disminuye la presencia de agentes deteriorantes.

Se dice, tradicionalmente, que su origen estaría situado en la zona de Almá-Atá o Almatý, antigua capital de la república soviética de Kazajistán actual segunda ciudad más importante del estado kazajo independiente. (Panagiotou, 1998)

2.1.2. ORIGEN Y VARIEDADES

Se desconoce el origen exacto del manzano. Unos autores señalan que procede de las montañas del Cáucaso, mientras que otros indican que el *Malus sieversii* (Ledeb.) Roem. Es una especie silvestre que crece en las regiones montañosas de Asia media y podría ser el manzano del que se habrían originado hace 15.000 ó 20.000 años las primeras especies cultivadas de este árbol. La manzana fue introducida en la península por los romanos y los árabes y hoy en día, España es uno de los principales países productores. Cataluña produce el 40% del total de la producción nacional seguida de Aragón, La Rioja y Navarra. En total casi 45.000 hectáreas plantadas de manzanos de las que se obtienen cada año unas 780.000 toneladas de fruta. Otros países productores son: China, Estados Unidos, Alemania, Italia, Polonia, Francia, Irán, Rusia, India, Brasil, Bélgica, Países bajos y Austria. La facilidad de adaptación de este árbol a diferentes climas y suelos, el valor nutritivo de sus frutos y la resistencia a las más bajas temperaturas permiten cultivarlo a gran escala en todos los países de clima relativamente frío. Existen más de mil variedades de manzanas en todo el mundo, si bien, la gama que nos ofrece el mercado es limitada, ya que tan sólo podemos elegir entre poco más de media docena de variedades. (Karathanos & Maroulis, 1998)

- **Early Red One:** tiene muy buen aspecto y una piel brillante de un rojo intenso. Su carne es jugosa, poco aromática pero muy dulce. Se encuentra en el mercado desde el mes de septiembre hasta junio.
- **Top Red:** es de color rojo con estrías y tiene una piel brillante. La carne es consistente aunque se puede volver

harinosa con el tiempo. Su sabor es dulce y está en la frutería desde septiembre hasta junio.

- **Red Delicious:** es una variedad estadounidense que proporciona frutos grandes y alargados, de piel color rojo brillante. Su pulpa es jugosa, muy blanda, de sabor dulce, nada ácido y muy aromática.
- **Starking:** es una de las más conocidas, procede de Estados Unidos, siendo una mutación de la Red Delicious. Su piel es brillante con estrías rojas y verdosas. Su carne es blanca amarillenta y crujiente, de sabor dulce. Como las anteriores se encuentra de septiembre a junio en el mercado.
- **Royal Gala:** de origen neocelandés tiene la piel con estrías rojas y naranjas sobre un fondo amarillo verdoso. Su forma es muy redondeada y su carne es blanca, crujiente y consistente. Muy aromática y jugosa. Su recolección se da desde finales de agosto hasta diciembre.
- **Granny Smith:** procede de Australia y es fácil de reconocer porque tiene la piel de un color verde intenso con algunos puntitos blancos. Es muy redonda y de carne blanca, muy crujiente y jugosa con sabor ligeramente ácido.
- **Golden Supreme:** es la que se recolecta primero, se encuentra en el mercado desde agosto hasta noviembre. Es de color verde con tonalidades rosadas y de forma globosa. Su carne crujiente y jugosa es algo ácida y poco aromática.
- **Golden Delicious:** variedad de origen americano, una de las más cultivadas en todo el mundo. Su piel es amarilla-verdosa con pequeños puntos oscuros que se llaman lenticelas y que son los órganos respiratorios de la fruta. Su forma es redonda y regular. La carne es jugosa, crujiente, dulce y aromática. Se encuentra en las fruterías a partir del mes de septiembre y durante todo el año hasta finales de agosto siguiente.
- **Reineta gris del Canadá:** variedad francesa de gran tamaño y forma achatada. Su piel es gruesa y rugosa, de color amarillo oxidado o grisáceo y su pulpa tiene aspecto viscoso,

es jugosa y con sabor azucarado, con un agradable punto ácido. En España, la manzana reineta del Bierzo goza desde hace años de Denominación de Origen.

- **Mcintosh:** es una fruta de tamaño mediano y forma redonda. El color de su piel está formado por la combinación de dos tonos de rojo, o un rojo y un verde. Su crujiente y jugosa pulpa resulta ligeramente ácida.
- **Early Red One:** tiene muy buen aspecto y una piel brillante de un rojo intenso. Su carne es jugosa, poco aromática pero muy dulce. Se encuentra en el mercado desde el mes de septiembre hasta junio.

2.1.3. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA MANZANA

- **Pectinas:** Actúan como una fibra soluble. Ayudan a la disolución del colesterol y constituyen compuestos de interés en la lucha contra la diabetes. (Briggs y Haldane, 1995)
- **Aminoácidos:** Cisteína (componente de los tejidos, elimina las toxinas del hígado); glicina (antiácido natural y responsable del sistema inmunitario) arginina (necesaria para el crecimiento muscular y la reparación de los tejidos, responsable junto a la glicina del sistema inmunitario). Histidina (vasodilatador y estimulador del jugo gástrico. Combate la anemia, la artritis y es muy útil para las úlceras). Isoleucina (necesaria para un crecimiento adecuado y para el equilibrio del nitrógeno). Lisina (interviene en la producción de anticuerpos, la construcción de los tejidos y la absorción del calcio). Serina (ayuda a fortalecer el sistema inmunitario). Valina (favorece el crecimiento infantil e interviene en el equilibrio del nitrógeno). Metionina (necesaria para la producción de la cisteína, ayuda a combatir el colesterol). (Briggs y Haldane, 1995)
- **Ácidos:** glutamínico (antiulceroso, tónico, incrementa la capacidad mental), linoleico (Vitamina F), málico, oleico, palmítico y cafeico. (Briggs y Haldane, 1995)
- **Azúcares:** fructosa, glucosa y sacarosa. (Briggs y Haldane, 1995)

- **Catequinas**
- **Quercetina**
- **Sorbitol**
- **Fibra**
- **Elementos:** calcio, hierro, magnesio, nitrógeno, fósforo, potasio y zinc. (Briggs y Haldane, 1995)

2.1.4. CARACTERÍSTICAS DE LA MANZANA

- **Forma:** son pomos por lo general de forma ovoide, a veces alargada o redonda, que esconden numerosas semillas de color pardo en su interior. Su piel es casi siempre brillante y lisa.
- **Tamaño y peso:** las manzanas más comercializadas son aquellas cuyo calibre va desde los 75 milímetros hasta los 85 o más. y su peso oscila desde 170 gramos hasta 250 gramos.
- **Color:** los diferentes colores de la piel hacen que se diferencien las frutas en cuatro grupos: verdes, rojas, amarillas y bicolors. Todas ellas con sabores, aromas y calidad de su carne diferentes.
- **Sabor:** la pulpa puede ser dura o blanda, pero siempre refrescante y jugosa, y su sabor va desde el muy dulce al muy ácido pasando por toda una mezcla de gustos acidulados y azucarados. La carne es más o menos aromática según la variedad.
- La manzana es una fruta que llama la atención en los mercados porque se puede encontrar casi todo el año en unas magníficas condiciones de calidad y lista para ser consumida. Esto es posible gracias a las buenas prácticas de manipulación y conservación del alimento que existen hoy en día. Después de su recolección, a las manzanas que van a ser almacenadas se les aplican diversos métodos de conservación, como el enfriamiento rápido de la fruta, el almacenaje en cajas con películas plásticas y la refrigeración controlada, que reducen la pérdida de agua y evitan que la piel de la manzana se arrugue. (Briggs y Haldane, 1995)

2.1.5. PROPIEDADES NUTRITIVAS

Desde el punto de vista nutritivo la manzana es una de las frutas más completas y enriquecedoras en la dieta. Un 85% de su composición es agua, por lo que resulta muy refrescante e hidratante. Los azúcares, la mayor parte fructosa (azúcar de la fruta) y en menor proporción, glucosa y sacarosa, de rápida asimilación en el organismo, son los nutrientes más abundantes después del agua. Es fuente discreta de vitamina E o tocoferol y aporta una escasa cantidad de vitamina C. Es rica en fibra, que mejora el tránsito intestinal y entre su contenido mineral sobresale el potasio. La vitamina E posee acción antioxidante, interviene en la estabilidad de las células sanguíneas como los glóbulos rojos y en la fertilidad. El potasio, es un mineral necesario para la transmisión y generación del impulso nervioso y para la actividad muscular normal, interviene en el equilibrio de agua dentro y fuera de la célula.

Las extraordinarias propiedades dietéticas que se le atribuyen a esta fruta se deben en gran medida a los elementos fitoquímicos que contiene, entre ellos, flavonoides y quercitina, con propiedades antioxidantes. (Briggs y Haldane, 1995).

2.1.6. COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DE LA MANZANA

Cuadro 1: Composición nutricional de la manzana.

	Por 100 g. de porción comestible	Por unidad (200-g)
ENERGÍA (Kcal)	49	82
PROTEÍNAS (g)	0,3	0,5
HIDRATOS DE CARBONO(g)	12	20,2
FIBRA (g)	2	3,4
POTASIO (mg)	120	201,6
AGUA (g)	85,7	144
CALCIO (mg)	5	10,1
VITAMINA B5 (mg)	0,03	0,05
VITAMINA C (mg)	10	16,8
VITAMINA E (mg)	0,2	0,3
ACIDO FÓLICO (µg)	5	8,4
VITAMINA A: Eq. Retinol (µg)	4	6,7

FUENTE. Moreira y col., 2007 (Manzana). *Composición de alimentos*

2.2. DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

2.2.1. DEFINICIÓN

La concentración de alimentos mediante la inmersión del producto en una solución hipertónica (por ejemplo-azúcar, sal, sorbitol o glicerol) se conoce como deshidratación osmótica (Raoult-Wack et al., 1989; Raoult-Wack et al., 1991). La deshidratación osmótica (DO) de frutas y hortalizas ha sido ampliamente estudiada desde que Pointing et al (1966) acuñaron este término. Dicha técnica genera un gradiente de presión osmótica que provoca un importante flujo de agua del alimento hacia la solución y una transferencia simultanea de solutos desde la solución hacia al alimento, los cuales modifican la composición y sabor final del producto (Lazarides, 2001). Hay también una migración menos importante de solutos solubles desde el tejido al medio osmótico (ácido orgánicos, minerales y vitaminas), que es despreciable comparada con otros flujos (La Font, 1988), pero puede ser esencial en lo que a la calidad organoléptica se refiere (Dixon y Jen, 1977).

La ósmosis consiste en el movimiento molecular de ciertos componentes de una solución a través de una membrana semipermeable hacia otra solución de menor concentración de cierto tipo particular de moléculas (Raoult-Wack et al., 1989; Rodríguez-Arce y Vega-Mercado, 1991; Cheryan, 1992; Jayaraman y Das Gupta, 1992). Se ha comprobado que la velocidad a la que sale el agua del alimento hacia la solución concentrada, es mayor, que la de los sólidos solubles hacia el interior de la pieza del alimento (Karel et al., 1990). La presión del sistema será, por tanto, la fuerza impulsora predominante al comienzo del proceso.

Las pérdidas de agua por parte del alimento, en el proceso de secado osmótico se puede dividir en dos períodos: (1) un período, de alrededor de 2 horas, con una alta velocidad de eliminación de agua y (2) un período, de 2 a 6 horas, con una velocidad decreciente de eliminación de agua. De hecho, se ha observado que el flujo neto de

azúcares y ácidos nativos del productos hacia la solución osmótica es prácticamente cero en procesos de hasta 10 horas y hay una ganancia muy limitada (hasta un 10% en peso) de azúcares externos (Barat, 1998).

En una situación de ósmosis ideal, existe una membrana semipermeable y las moléculas de solvente la atraviesan, pero no lo hacen las del soluto. La membrana celular es sólo parcialmente selectiva, ya que, en los productos vegetales, la membrana y pared celular son unidades biológicas "vivas", que pueden encogerse o estirarse bajo la influencia del crecimiento o de la turgencia generada dentro de la célula. La propiedad de semipermeabilidad de la membrana celular pueden modificarse por efecto de la temperatura o presión, lo que facilitaría la entrada de solutos por difusión.

2.2.2. VENTAJAS E INCONVENIENTES

Las ventajas e inconvenientes de la DO sobre los métodos tradicionales son las siguientes:

Ventajas

- Comparada con el secado por aire o con la liofilización, la deshidratación osmótica es más rápida, ya que la eliminación de agua ocurre sin cambio de fase (Jayaraman y Das Gupta, 1992).
- La estructura de los alimentos se conserva mejor (Mazza, 1993).
- El daño en el color y sabor en los alimentos se ve minimizado debido a que la DO se puede realizar a bajas temperaturas (Ponting et al., 1966).
- La alta concentración de solutos alcanzada en la parte externa de la pieza contribuye a prevenir el oscurecimiento en mucho productos, evitando así el uso de aditivo químicos como los sulfitos (Ponting, 1993).

- Un pretratamiento de deshidratación osmótica anterior a una operación de secado hace posible la reducción del tiempo del mismo y como consecuencia una reducción en los costos de producción (Levi et al., 1993).

Inconvenientes:

- Después del secado puede formarse una capa de azúcar que no favorezca la textura de los mismos (Ponting et al., 1966).
- La oxidación de productos puede aparecer en pocas semanas como consecuencia de la alta retención de aceites esenciales, deteriorando el sabor del producto (Ponting et al., 1996).

2.2.3. BASES TERMINADAS Y CINÉTICAS DO

En la deshidratación osmótica se presentan varios fenómenos físicos simultáneos, en mayor o menor proporción: osmosis, difusión y capilaridad. La entrada capilar adquiere gran importancia cuando en el sistema se dan cambios de presión o temperatura debido a la actuación del mecanismo hidrodinámico (HDM) (Fito, 1994; Fito y Pastor, 1994).

2.2.3.1. FENÓMENO OSMÓTICO

El fenómeno osmótico se produce durante a transferencia de agua a través de la membrana celular semipermeable de la fruta hacia la solución osmótica en tres situaciones:

- Transferencia célula-célula (intercelular).
- Transferencia célula-espacio intercelular.
- Transferencia célula-disolución (superficial).

La transferencia de solutos por este mecanismo está limitada

por la permeabilidad selectiva de las membranas celulares.

La fuerza impulsora responsable del fenómeno osmótico, que provoca la transferencia de agua, viene dada por la diferencia de potencial químico del agua en las células y en la disolución osmótica (Chirife, 1982). El potencial químico (μ) está a su vez relacionado con la a_w y con la presión osmótica (π) de cada una de las fases líquidas (Chirife, 1982).

$$\alpha_w = \alpha_w^0 + RT \ln a_w \quad (1)$$

$$P = \frac{nRT \ln a_w}{\bar{V}} \quad (2)$$

Donde:

α_w^0 = Potencial químico del estado de referencia

R = Constante de los gases

T = Temperatura

\bar{V}^0 = Volumen molar del agua pura

2.2.3.2. FENÓMENO DISFUSIONAL

La difusión de agua y los solutos en el producto durante la DO ocurren dentro de cada una de las fases líquidas (compartimentadas en las células) y en los espacios intercelulares, a través del líquido presente en los mismos (Karel, 1973; Levi et al., 1983; Fito, 1994). La fuerza impulsora para la difusión de los diferentes componentes en el sistema son las diferencias de potencial químico de los mismos en los diferentes puntos del sistema. Cuando estas diferencias desaparecen, el sistema alcanza el equilibrio y no hay transferencia de materia. El agua es el componente que difunde mayoritariamente durante los procesos de DO, debido a su pequeño tamaño molecular y a la alta permeabilidad que presentan las membranas celulares a este componente de. Las condiciones de equilibrio para el agua serán:

$$\alpha_{w,SO} = \alpha_{w,FPL} \quad (3)$$

Donde:

$\alpha_{w,SO}$ = potencial químico del agua en la disolución osmótica.
 $\alpha_{w,FPL}$ = potencial químico del agua en la fracción líquida del producto.

La ecuación 4 expresa las diferentes contribuciones al valor del potencial químico del agua en frutas:

$$\alpha_w - \alpha_w^0 = RT \ln a_w + V_w \Delta P + \Delta \phi_w \quad (4)$$

El primer término ($RT \ln a_w$) está asociado con el valor de la a_w y contribuye en gran medida a las diferencias de potencial químico en el sistema alimento disolución osmótica externa. El segundo término ($V_w \Delta P$) no influye si no hay gradientes de presión en el sistema. Esto se cumple una vez que las células han perdido su turgencia, lo cual ocurre en las primeras etapas del proceso. El tercer término ($\Delta \phi_w$) corresponde al llamado potencial mátrico (asociado a las interacciones agua-matriz estructural de la fruta). Este término es despreciable para contenidos de humedad altos, como los obtenidos en DO. De este modo, durante la mayor parte del tiempo del proceso de DO la relación de equilibrio para el agua puede ser simplificada a la ecuación 5:

$$a_{w,SO} = a_{w,FPL} \quad (5)$$

Donde:

$a_{w,SO}$ = actividad del agua de la disolución osmótica.
 $a_{w,FPL}$ = actividad del agua de la fracción líquida del producto.

Si en la fruta y en la disolución osmótica los solutos mayoritarios son los mismos, la ecuación 6 se simplifica a:

$$X_{W,SO} = X_{W,FPL} \quad (6)$$

Donde:

$X_{W,SO}$ = fracción másica de agua en la disolución osmótica.

$X_{W,FPL}$ = fracción másica de agua en la fracción líquida del producto.

Esta es la base de la definición habitual de la fuerza impulsora reducida (Y) para la transferencia de un componente "i" en el sistema, en términos de las diferencias de sus fracciones másicas (ecuación 7).

$$Y = \frac{x_{it} - x_{ie}}{x_{i0} - x_{ie}} \quad (6)$$

X_{it} = fracción másica de i a un tiempo t.

X_{ie} = fracción másica de i en el equilibrio.

X_{i0} = fracción másica de i a un tiempo t = 0.

Las ecuaciones basadas en el modelo de Fick proporcionan la relación entre la fuerza impulsora reducida (dependiente de la concentración), el tiempo de proceso y la posición el sistema. No obstante, la aplicación de estas ecuaciones sistemas de estructura compleja no isotrópica, como las frutas, las convierte en ecuaciones empíricas, debido a que no se cumplen las condiciones de contorno en las que se deducen las ecuaciones fickianas integradas (Barat et al., 1997).

2.2.4. VARIABLES DEL PROCESO

2.2.4.1. INFLUENCIA DEL TEJIDO VEGETAL

El tejido vegetal está constituido básicamente por células rodeadas de sustancias pépticas "cimentadoras" que las unen entre sí. De forma simplificada, y según puede apreciarse en la Figura 1, una célula vegetal típica consta de una pared celular porosa y delgada que rodea un citoplasma, delimitado por una membrana (plasmalema), y una gran vacuola central, rodeada de

otra membrana llamada tonoplasto. La membrana celular otorga rigidez y protección a la célula frente a una posible distensión originada por una entrada masiva de agua. La pared no presenta selectividad al transporte de componentes como ocurre con la membrana plasmática y el tonoplasto que controlan el paso de sustancias de un compartimiento a otro. En cuanto a la vacuola, contiene una simple solución de iones inorgánicos, ácidos orgánicos, y azúcares, y puede alcanzar hasta el 90% del volumen de una célula madura. La naturaleza semipermeable de las membranas permite que pequeñas moléculas de agua puedan atravesarla, pero restringen la transmisión de moléculas de mayor tamaño como los azúcares (Pitt, 1992).

Por otra parte, la savia vacuolar responsable de la presión de turgor de la pared celular, hace que las vacuolas se agranden y presionen unas contra otras impartiendo turgencia y rigidez al tejido celular.

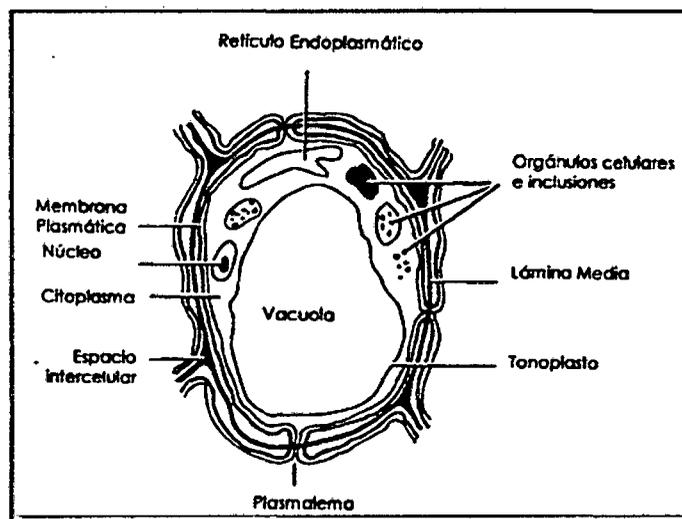


Figura 1: Esquema de una célula vegetal (adaptada por Alzamora et al., 1996)

Las propiedades naturales del tejido son un factor determinante en el proceso osmótico. No obstante, se han estudiado las contribuciones de las membranas y paredes celulares, del nivel de compactación de la estructura celular y de la composición química sobre el comportamiento global del tejido en los procesos osmóticos (Barat et al., 1998).

El efecto del tratamiento osmótico en la estructura celular de algunas frutas ha sido observado por Cryo-Sem en manzana (Salvatori, 1997; Martínez Monzó, 1998; Barat 1998), en fresa (Moreno, 1999), en piña (González-Mariño, 1999) y en corteza de naranja (Chafer, 2000). Una de las conclusiones más importantes es que existe un diferente comportamiento del tejido según las células presenten o no fase líquida en los espacios celulares (Fito y Chiralt, 2000).

A su vez, la forma y tamaño de la muestra influyen sobre la cinética del proceso osmótico y sobre retención de fase líquida (agua más solutos) en el producto. A mayor relación área/volumen, aumenta la relación ganancia de sólidos/pérdida de agua ya que la ganancia de sólidos, que ocurre a través de los espacios intercelulares abiertos a la interfase, está limitada por la superficie de las muestras (Barat, 1998). Además, el aumento en la superficie específica del alimento provoca un aumento en la cinética pérdida de agua (Islam y Flink, 1982; Lerici et al., 1985). La capacidad del sistema para retener fase líquida afecta directamente a las variaciones de volumen durante el proceso (Fito y Chiral, 1997)

Además, la amplia variación de la física natural de la fruta afecta al comportamiento osmótico y al estado final de los productos (Islam y Flink, 1982; Lenart y Flink, 1984). La gran variabilidad observada entre las diferentes frutas está en su mayor parte relacionada con la diferente compactación del tejido (Giangiacomo *et al.*, 1987), el contenido inicial de sólidos solubles e insolubles (Lenart y Flink, 1984), los espacios intercelulares, la presencia de gas, la relación entre las diferentes fracciones pécticas (pectina soluble en agua y protopectina) (Forni et al., 1986), el nivel de gelificación de pectina (Moy et al., 1978) y la actividad enzimática de la fruta (Giangiacomo et al., 1987).

Se ha observado que diferencias en la estructura de la materia prima, especialmente en la porosidad, afectan a los mecanismos de transporte implicados en la deshidratación osmótica (Chiralt et al., 1999), de forma que cuanto mayor es la porosidad de la fruta, mayor es la ganancia de sólidos.

2.2.4.2. NATURALEZA DEL AGENTE OSMÓTICO

La naturaleza del agente osmótico es fundamental para definir el comportamiento del producto durante el proceso de deshidratación osmótica. En función de su naturaleza y propiedades físicas (viscosidad, poder depresor de la a_w), se observará un comportamiento u otro, ya que la interacción de los solutos con el agua y la matriz sólida del alimento será distinta (Cháfer et al., 2001). Aumentando o disminuyendo la masa molecular de los solutos se puede disminuir o aumentar la ganancia de solutos (Contreras y Smyrl, 1981; Islam y Flink, 1982; Bolin et al., 1983; Lerici et al., 1985). El soluto penetrará más en el producto cuando más baja sea su masa molecular.

En la actualidad existe una gran abundancia de agentes osmóticos que reducen la actividad del agua de la solución tales como sacarosa, glucosa, azúcar invertido, jarabe de maíz, maltosa, melaza, zumo de frutas concentrado, cloruro de sodio, cloruro de potasio, glicerina, manitol, propilenglicol (Hawkes y Flink, 1978, Contreras y Smyrl, 1981; Alvare, 1986; Darbonne y Bain, 1991; Colomer e Ibarz, 1994). En el caso de frutas, el agente osmótico más empleado ha sido la sacarosa (Biswal y Bozorgmehr, 1992), debido a su fácil accesibilidad, aceptable sabor y aroma (Karel, 1975; Tregunno y Goff, 1996).

2.2.4.3. CONCENTRACIÓN DE LA SOLUCIÓN OSMÓTICA

La concentración de la solución osmótica utilizada afecta en gran medida a la velocidad del proceso, ya que define la

fuerza impulsora para la transferencia de materia. Así mismo, la distinta viscosidad de la disolución y de la fase líquida del alimento que va aumentando con el tiempo del proceso, tiene un efecto importante en la velocidad de transporte (Talens et al., 2000).

El uso de soluciones de distinta concentración da lugar al desarrollo de diferentes perfiles de concentración en el tejido de las frutas. Numerosos investigadores en este campo recomiendan que las concentraciones de la solución de sacarosa debe estar entre los 50-70 °Brix. (Talens et al., 2000).

2.2.4.4. TEMPERATURA

En general el incremento de la temperatura de proceso provoca un aumento de la velocidad de transferencia de materia, tanto en lo que refiere a la salida de agua como a la entrada de sólidos solubles (Lazarides et al., 1999; Lazarides, 2001). Se ha observado que los mecanismos osmóticos transmembrana y la difusión se favorecen con la temperatura. La ecuación de Arrhenius (ec. 8) relaciona la temperatura y la difusividad eficaz de agua o solutos (D_e) con la temperatura, según se ha descrito en numeroso trabajos (Barat, 1998)

$$D = D_0 \exp(-E_a / RT) \quad (8)$$

Donde: D es la difusividad (m^2/s), D_0 es el factor preexponencial, E_a es la energía de activación (kJ/mol), R es la constante de las gases (kJ/molK) y T es la temperatura (K).

Por otro lado, la difusión de aromas de la fruta hacia el jarabe, así como los posibles daños térmicos en la estructura y características de calidad (color, sabor, textura) y nutritivas (vitaminas termolábiles), también aumentan con la temperatura.

Además la solución presenta problemas de pardeamiento a altas temperaturas. Así, muchas experiencias (Ponting et al., 1996) han demostrado que por encima de 49 °C se produce pardeamiento de la muestra y deterioro de los aromas y color, existiendo un límite cerca de los 50 °C en el que las características de la fruta se modifican de forma muy drástica (destrucción de la membrana celular y de muchos nutrientes, como el ácido ascórbico), y además, su posterior rehidratación se dificulta. En este sentido, Mastrocola et al. (1989) estudian la forma de inhibir las reacciones de oscurecimiento enzimático que ocurren en los productos vegetales durante el procesado, mediante la combinación de la DO con procesos de escaldado previo.

Las altas temperaturas, por encima de 50°C, modifican las características tisulares, favoreciendo los fenómenos de impregnación, y con ello la ganancia de sólido (Lenart y Lewicki, 1990; Vial et al., 1991). Los tratamientos a alta temperatura durante un corto período de tiempo a 80 - 85°C durante 3 min, combinan el efecto osmótico con una inactivación enzimática por escaldado (Lerici et al., 1996).

En general, una temperatura entre 20 - 40°C se considera óptima desde el punto de vista de la calidad obtenida en el producto final, existiendo numerosos estudios que consideran óptima la temperatura ambiente.

Por otra parte, muchos experimentos han demostrado que un aumento moderado en la temperatura de la solución, tiene un efecto favorable sobre la pérdida de agua, pero no modifica la ganancia de sólidos, dados los diferentes mecanismos responsables del transporte mayoritario en cada caso (Fito et al., 1992).

2.2.4.5. PRESIÓN DEL TRABAJO

La presión de trabajo puede jugar en ciertos casos un papel importante en el transporte de materia que se produce durante la deshidratación osmótica de un alimento. Dependiendo del valor de las presiones de trabajo utilizadas en la operación se pueden considerar tres tipos de deshidratación osmótica (Fito y Chiralt, 1995):

- Deshidratación osmótica (DO) propiamente dicha: en esta operación, tanto el producto a tratar como la solución osmótica se ponen en contacto a presión osmótica.
- Deshidratación osmótica a vacío (VOD) o impregnación a vacío (IV): cuando se trabaja en condiciones de vacío.
- Deshidratación osmótica a vacío por pulso (PVDO): se somete a la materia prima, inmersa en la solución osmótica, a una impregnación a vacío durante un corto período de tiempo, continuando el proceso posteriormente a presión atmosférica.

Cuando se trabaja en condiciones de vacío, se observa cinéticas de transferencia de masa más rápidas debido a la actuación del mecanismo hidrodinámico, que aumenta la superficie de contacto de la fruta con la fase líquida externa (Hawkes y Flink, 1978; Fito y Pastor, 1994). Muchas investigaciones explican el efecto que tiene utilizar presiones sub-atmosféricas en la deshidratación osmótica, coincidiendo todos los en que la aplicación de vacío produce los siguientes efectos:

- Pérdida más rápido de peso
- Salida de agua más rápida en la primera media hora
- Mayor entrada de sólidos en los alimentos
- Aspecto más fresco y translucido al alimento

Proceso de impregnación a vacío

La impregnación a vacío consiste en someter a un producto poroso sumergido en una fase líquida externa a una presión subatmosférica durante un período de tiempo para después restablecer la presión atmosférica. En este proceso, el gas ocluido en los poros del producto es reemplazado por el líquido externo en una proporción que depende de la relación de compresión, si la matriz sólida del producto es indeformable (Fito, 1994; Fito y Pastor, 1994), y también de los procesos de deformación-relajación de la matriz sólida, si ésta se comporta como una matriz viscoelástica en los niveles de presión utilizados (Fito et al., 1996).

La mayoría de los alimentos sólidos son porosos, y por tanto, susceptibles a la actuación del mecanismo hidrodinámico durante su procesado, si se producen gradientes de presión en el sistema.

Las operaciones unitarias que implican transferencia de materia en sistema sólido-líquido son muy habituales en la industria de alimentos (como ejemplos podrían citarse las industrias de encurtidos, conservas, extracción de aceite, etc.) y la impregnación a vacío podría jugar un papel muy importante en la eficacia y rendimiento de estas operaciones.

Mecanismo Hidrodinámico (HDM)

La Figura 2 presenta esquemáticamente un poro cilíndrico ideal de diámetro constante, de un alimento sólido poroso, sumergido en un líquido. El volumen de gas atrapado en el interior del poro a $t = 0$ (V_{g0}), antes de cualquier interacción sólido-líquido, se tomó como referencia para los cálculos igual a la unidad.

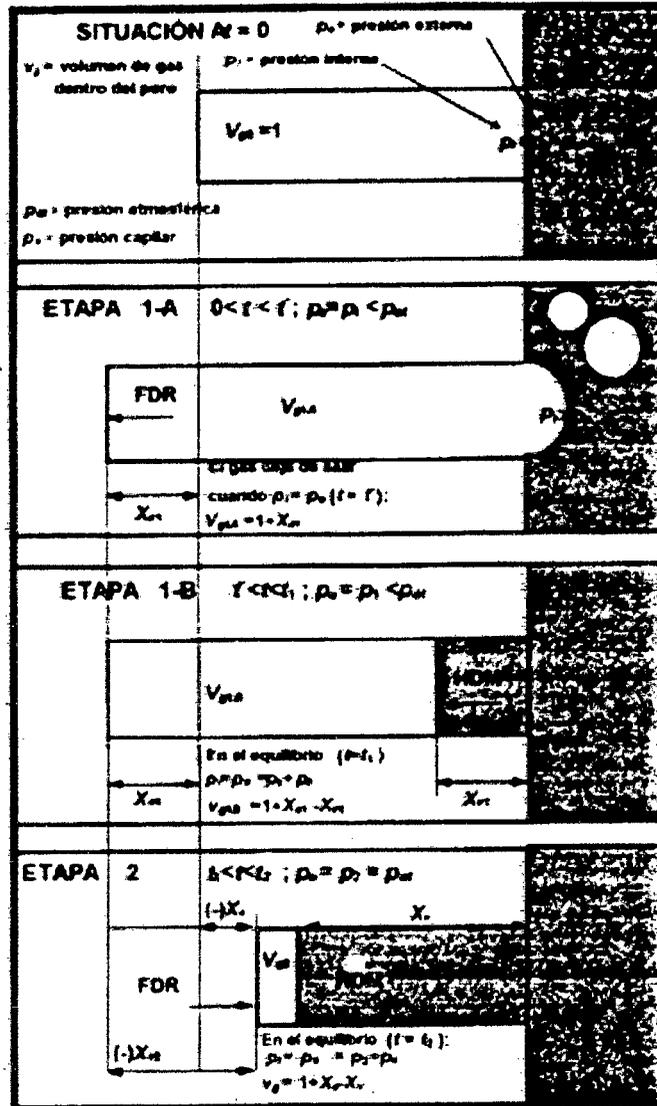


Figura 2: Sistema sólido – líquido. Evolución de la deformación-relajación y HDM en un poro ideal (adaptado de Fito et al., 1996).

2.2.5. APLICACIONES DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

La utilización de la deshidratación osmótica y la tecnología de métodos combinados se utiliza para el procesado de frutas, hortalizas, pescado, salado de quesos y productos cárnicos y en la producción de alimentos de humedad intermedia. A veces, se utiliza la tecnología de métodos combinados para reducir la actividad de agua utilizando agentes osmóticos y añadiendo pequeñas cantidades de agentes antimicrobianos o cambiando el pH.

Se ha utilizado como etapa preliminar a la liofilización (Flink ,

1990), al secado con aire caliente (Ponting et al.,1966), a la pasteurización (Torreggiani et al., 1997), a la congelación (Talens, 2002) y al secado solar (Islam y Flink, 1982). Además de ser utilizada como pretratamiento, la deshidratación osmótica tiene otras aplicaciones como es la elaboración de alimentos estables de humedad intermedia (Shi, 1994), productos confitados (González-Mariño, 1999) y productos semielaborados.

La aplicación potencial de la deshidratación osmótica viene definido en la siguiente figura:

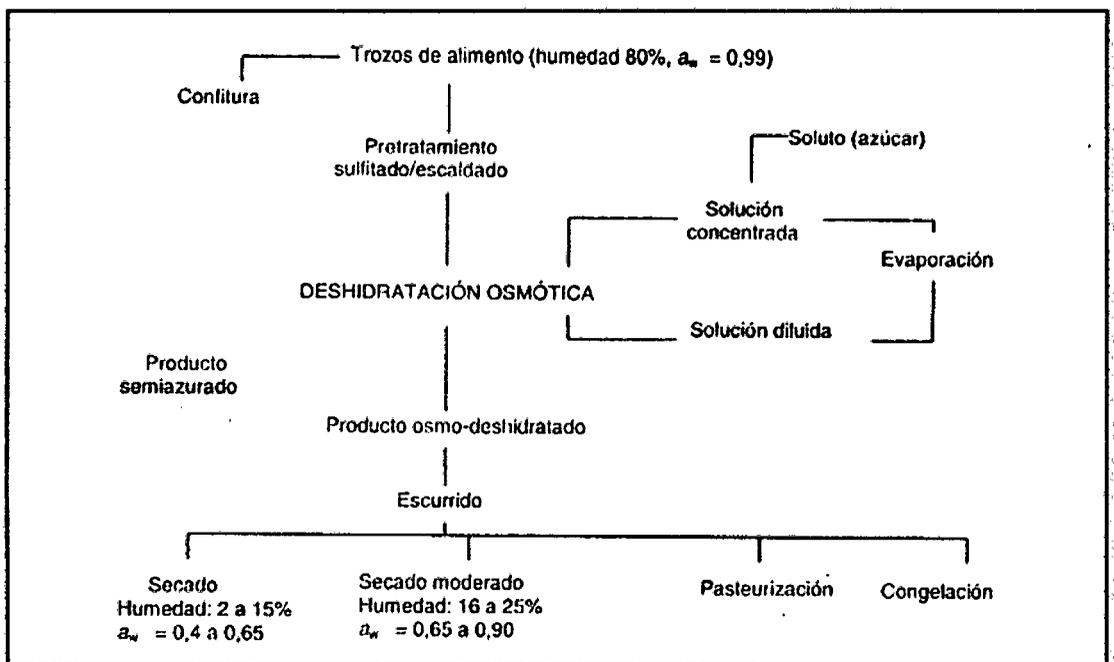


Figura 3: Aplicaciones de la D.O En La Industria Alimentaria (Chirife, 1982)

El creciente interés por alimentos de aspecto fresco ha hecho que la deshidratación osmótica y los métodos combinados sean una buena opción para la conservación de alimentos.

2.3. PROCESO DE SECADO

El secado es un proceso en el que el agua se elimina para detener o aminorar el crecimiento de microorganismos perjudiciales, así como de ciertas reacciones químicas. La eliminación de agua de los

alimentos se consigue mayoritariamente utilizando aire caliente (excepto para algunas operaciones tales como liofilización y deshidratación osmótica) que elimina el agua de la superficie del producto y la lleva hacia fuera. El proceso de secado de alimentos no sólo afecta al contenido en agua del alimento, sino también a otras de sus características físicas y químicas.

Además de la conservación, el secado que convierte el alimento en un producto seco, se utiliza para reducir el coste o dificultad en el embalaje, manejo, almacenamiento y transporte, pues el secado reduce el peso y a veces el volumen.

La deshidratación de alimentos no es una operación unitaria trivial. Son varios los factores que afectan al rendimiento de un secadero, así como a la calidad del producto durante la operación de secado. Los cambios físicos y químicos del alimento durante una operación de secado pueden potenciar ciertas características deseadas de los productos, pero también puede disminuir la cantidad de nutrientes y cambiar las propiedades organolépticas. Sin embargo, con un adecuado manejo, estas reacciones y cambios físicos pueden asegurar un alimento con un alto contenido en nutrientes y aumentar significativamente su vida comercial.

2.3.1. TEORÍA DEL SECADO

La transmisión de calor tiene lugar en el interior del alimento y está relacionada con el gradiente de temperatura existente entre su superficie y la correspondiente a la superficie del agua en el interior del alimento. Si se suministra al agua suficiente energía para su evaporación, el vapor producido se transportará desde la superficie de la capa húmeda en el interior del producto hacia la superficie de éste. El gradiente de presión de vapor existente entre la superficie del agua en el interior y en el aire exterior al alimento, es el que provoca la difusión del vapor de agua hacia la superficie de éste. Durante el secado se producen cuatro fenómenos de transporte:

1. Transmisión de calor desde el aire hasta la superficie del producto, pudiéndose realizar por conducción, convección o radiación.
2. Transmisión de calor desde la interfase sólido-aire hasta el interior del sólido. Sólo puede tener lugar por conducción en régimen no estacionario (las condiciones en cualquier punto varían con el tiempo).
3. Transmisión de materia a través del sólido. Se puede producir difusión o capilaridad, aprovechando los capilares existentes. La difusión tiene lugar en el secado de productos con humedades del orden de 25% (base húmeda) o inferiores, mientras que la capilaridad se presenta para niveles más altos de humedad (65% o más), siempre y cuando en la estructura interna del producto existan capilares.
4. Transferencia de vapor desde la interfase sólido-aire hacia el seno del aire.
 - a) Los factores que regulan la velocidad de estos procesos son los que definen la velocidad de secado. Al deshidratar los alimentos, la velocidad de secado depende de:
 - b) Área de la superficie del producto: generalmente se subdivide lo máximo posible el producto, a fin de aumentar el área de transferencia de masa y calor y acelerar el proceso.
 - c) Velocidad del aire: el aire en movimiento absorbe vapor de agua de la superficie del alimento, previniendo la creación de una atmósfera saturada. La velocidad del aire actúa aumentando los coeficientes globales de transmisión de calor y de masa, disminuyendo el tiempo de secado. Sin embargo, la velocidad de secado aumenta en algunos casos al aumentar la velocidad del aire. Sin embargo, a partir de un cierto punto, la velocidad de secado no depende de esta variable, debido a que el factor de control del proceso de secado en este caso es la difusión del agua a través del

sólido, de manera que, por más que aumente la velocidad másica del aire no puede aumentarse la velocidad de secado (Fito et al, 2001). Üretir et al. (1996) estudiaron el efecto de la velocidad del aire en el secado de cubos de manzana y observaron que a temperatura constante había dos periodos de velocidad de secado decreciente. En el primer periodo las constantes de la velocidad de secado aumentaban con la velocidad del aire, mientras que en el segundo periodo, de velocidad de secado decreciente, estas constantes no se veían afectadas.

- d) Temperatura y tiempo: la velocidad de secado aumenta al aumentar la temperatura, y por tanto, el tiempo disminuye. Simal et al. (1997) realizaron un estudio de secado a diferentes temperaturas con muestras de cubos de manzana, mostrando que la velocidad de secado aumentaba claramente a medida que la temperatura se incrementaba de 30 a 60 °C. Sin embargo, la influencia de la temperatura del aire era menos importante desde 60 a 90 °C, debido a que a partir de 60 °C tienen lugar fenómenos de encostramiento superficial.
- e) Humedad del aire: cuanto más seco esté el aire, mayor será la velocidad de deshidratación ya que aumenta la fuerza impulsora para el transporte de masa.
- f) Influencia del tejido vegetal: las propiedades naturales del tejido son un factor determinante en el proceso de deshidratación. Así, los cambios que se producen durante la maduración del fruto afectarán a la evolución del proceso de deshidratación obteniéndose resultados diferentes según el estado de madurez del fruto. La velocidad y el tiempo total del secado están influenciados por estos factores y además se deben tener en cuenta las propiedades del producto, especialmente tamaño y geometría de la partícula, su ordenación geométrica en relación con el medio de transferencia y las características del equipo de secado (Mujumdar *et al.*, 1995).

2.3.2. PERIODOS DEL SECADO

La curva de secado es la evolución en el contenido de humedad (b.s) del producto con el transcurso del tiempo. Gráficamente se representa como el contenido en humedad del material (X_w) frente al tiempo transcurrido desde que se inicia la operación de secado (t).

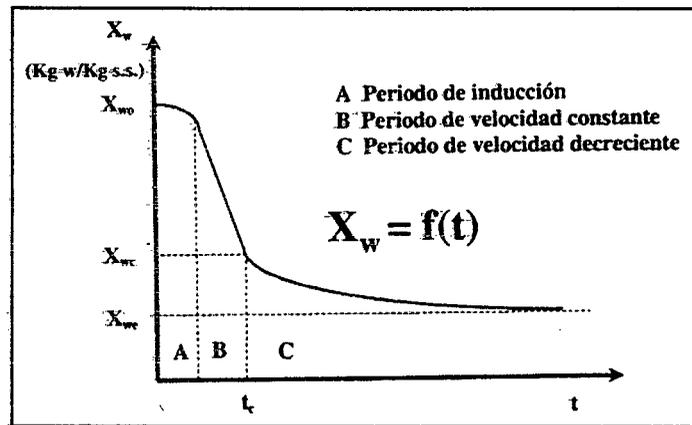


Figura 4: Curva de secado típica.

La figura 4 muestra una curva de secado típica de materiales muy húmedos en la que se observan tres zonas características (Fito et al., 2001):

- Una primera zona A, en la cual la pendiente de la curva aumenta ligeramente con el tiempo y se denomina periodo de inducción.
- Otra B, de pendiente constante.
- Y una tercera zona C, en la cual la pendiente disminuye con el tiempo.

Se define velocidad de secado como la velocidad con que disminuye la humedad del producto, es decir la pendiente de la curva de secado (dX_w/dt) nos da la velocidad de secado, en la que también pueden diferenciarse las tres zonas definidas anteriormente como puede verse en la siguiente figura 4, así como su correspondencia con la curva de secado (Fito et al., 2001).

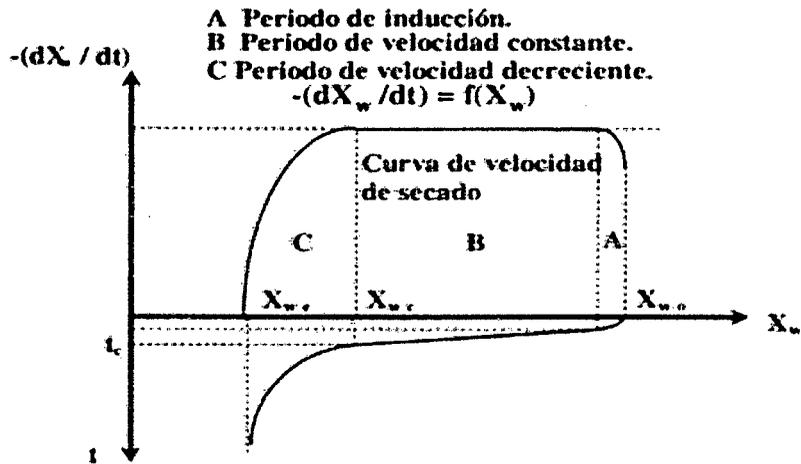


Figura 5: Curva de velocidad de secado.

Estas tres zonas son las siguientes:

- a) Periodo de inducción o de velocidad de secado creciente: en esta etapa se inicia el proceso de secado de manera que el producto se calienta y aumenta la temperatura de la interfase, produciéndose una adaptación del material a las condiciones de secado. Este periodo depende también de numerosos factores y su duración será función del contenido inicial de humedad del sólido, de su temperatura, de la velocidad del aire, etc. Pero a los fines de cálculo se prescinde de él ya que se considera que en su transcurso el secado tiende al régimen estacionario, es decir a los periodos B y C, en los que se centra el estudio del secado (Fito-et al., 2001).
- b) Periodo de velocidad de secado constante: la velocidad con que se elimina agua de la superficie del sólido es menor que la velocidad con que llega a ella desde el interior del mismo. De esta manera, la superficie del material se mantiene constantemente mojada y se comporta como una masa de líquido. De aquí que la velocidad de secado sea igual a la velocidad de evaporación del agua, que será a su vez proporcional a la velocidad de flujo de calor que llega desde el aire al sólido. En tales condiciones, la temperatura

de la interfase será constante y el calor que llega al sólido se invierte totalmente en evaporar el líquido. A medida que transcurre el tiempo, el sólido se va secando y llega un momento en el que la velocidad con que el agua llega a la superficie se hace menor que la velocidad de evaporación, que implicaría el uso de toda la energía que llega del aire en evaporar agua del alimento. Desde este momento parte del calor que llega al sólido se invierte en calentarlo. El contenido de humedad del producto en dicho instante se conoce como humedad crítica (X_{we}) (Fito et al., 2001).

- c) Periodo de velocidad de secado decreciente: la humedad del producto sigue disminuyendo hasta alcanzar la *humedad de equilibrio* (X_{we}). En este periodo las líneas que se obtienen pueden ser curvas, en otros casos serán rectas o bien una combinación de ambas. La interpretación exacta del fenómeno aún no se ha dado pero hay varias teorías que intentan explicarlo. En los casos en los que la disminución de la velocidad de secado es lineal con el contenido en humedad, se supone que la evaporación del agua que contiene el material continúa produciéndose en la misma forma que en el periodo de velocidad constante, con la salvedad de que no ocurre en toda la superficie, ya que comienzan a aparecer zonas secas, de manera que la velocidad de secado disminuye a medida que lo hace la superficie mojada; llega así un momento en el que toda la superficie queda seca y entonces se supone que el proceso continúa en una de las dos formas siguientes (Fito et al., 2001):

1. Si existe un frente de evaporación que se desplaza hacia el centro del sólido, de manera que el vapor que se produce es el que se difunde a través de la masa seca hacia el exterior, la velocidad de secado dependerá de la

velocidad de difusión de dicho vapor.

2. El otro mecanismo posible sería el de difusión de líquido a través de la masa sólida y su posterior evaporación en la superficie, por lo que la velocidad de secado dependerá de la velocidad de difusión del líquido.

2.3.3. MECANISMOS DE TRANSFERENCIA DE MATERIA

En el secado tienen lugar simultáneamente transferencia de calor (para suministrar el calor latente de vaporización o sublimación del agua) y transferencia de masa (movimiento del agua a través del alimento y arrastre de vapor de agua del entorno del alimento) (Ordóñez et al., 1998). La característica principal, en lo que a fenómenos de transporte se refiere será pues que las propiedades que se transportan (calor y materia) lo harán en condiciones estacionarias en el seno del gas, pero en condiciones no estacionarias en el seno del sólido.

Existe también un fenómeno de transporte de cantidad de movimiento en el seno del aire, ya que se tiende a conseguir una gran turbulencia (Fito et al., 2001). Sin embargo en este trabajo, solamente se estudiará el fenómeno de transmisión de materia, ya que es uno de los que controlan principalmente el proceso de secado.

Teniendo en cuenta que el alimento sometido a deshidratación es en general un sistema trifásico (matriz sólida, fracción líquida y fracción gaseosa o porosa) pueden distinguirse varios mecanismos de transporte de materia según la fase a través de la cual se produce el transporte y según se trate de agua líquida, agua líquida más solutos o vapor de agua. Por otro lado, en el seno del aire de secado también tiene lugar transporte de agua en forma de vapor por mecanismo turbulento.

El movimiento de agua en el sólido puede explicarse por distintos mecanismos, como son: difusión del líquido debido a gradientes de concentración, difusión del vapor debido a la presión parcial de vapor, movimiento del líquido por fuerza capilares, flujo de Knudsen, movimiento del líquido por fuerza de gravedad, y difusión superficial (Chen y Johnson, 1999). El movimiento del agua a través del alimento depende tanto de su estructura porosa como de las interacciones del agua con la matriz alimentaria.

Por lo general, el mecanismo de difusión de agua tiene mayor importancia en sólidos de una fase con estructura coloidal o geliforme, y el mecanismo de capilaridad en el caso de productos granulares groseros. En muchos casos, ambos mecanismos ocurren en una sola operación de desecación. En el secado por aire caliente, el movimiento de humedad por capilaridad ocurre en las primeras fases de desecación y el mecanismo difusional cuando el contenido de humedad es bajo (Brennan et al., 1990).

2.3.4. CINÉTICA DE SECADO

Para la optimización del proceso de secado en términos de calidad del producto y coste de la operación, se hace necesaria la predicción de la velocidad de secado con la ayuda de modelos adecuados. Debido a ello la modelización es una vía de representación de procesos o fenómenos para explicar los datos observados y predecir el comportamiento del producto sobre diferentes condiciones. La modelización intenta establecer un modelo real para simplificar y delimitar el proceso de secado. Al desarrollar un modelo de secado se deben abordar las siguientes partes (Ruiz, 2002):

- Identificación de las resistencias controlantes, si las resistencias de la transferencia de calor y de materia son de igual importancia se precisará de un modelo que incluya ecuaciones de transferencia de calor y de materia.
- Si la transferencia interna de materia controla el proceso de

secado como ocurre en la mayoría de los casos, se debe proceder a la identificación del mecanismo interno de transferencia de materia. Más de un mecanismo puede contribuir al flujo total y la contribución de los diferentes mecanismos puede cambiar conforme avanza el secado.

- Una vez identificados los mecanismos responsables de la transferencia de materia se procederá a la descripción matemática del proceso de secado basada en una serie de hipótesis estructurales (iniciales y de contorno) y termodinámicas. Cuando el control de la transferencia de materia recae sobre la fase sólida, la modelización de las curvas de secado se suele realizar en términos de la Ley de Fick, combinada con el balance microscópico de materia.
- Resolución de las ecuaciones matemáticas resultantes, modelos relativamente sencillos para alimentos de geometría simple y difusividad constante; tales como una esfera, un cilindro o un cubo.
- Validación de las predicciones del modelo, pudiéndose elegir entre la variedad de métodos y técnicas existentes, aquel que mejor se ajuste a las necesidades particulares de los experimentos.

2.3.5. LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA COMO PRE TRATAMIENTO AL SECADO POR AIRE

Dependiendo de las propiedades de la materia prima, características de la solución osmótica, condiciones y duración del proceso, se puede llegar a eliminar hasta un 70% del contenido de agua inicial en el producto mediante el empleo de la deshidratación osmótica. La cantidad de agua remanente en el material, no asegura la estabilidad del mismo, ya que normalmente la actividad de agua sigue siendo elevada. Cuando la estabilidad es uno de los objetivos del proceso, se deben utilizar métodos complementarios para poder eliminar una mayor cantidad de agua (Lenart y Cerkowniak, 1996).

El pre tratamiento osmótico es un proceso que impide que el alimento esté en contacto con el oxígeno del aire y como

tratamiento previo al secado por aire caliente ofrece algunas ventajas sobre otros pretratamientos convencionales de inactivación enzimática, por ejemplo, el sulfitado o el escaldado. El escaldado produce daños en las membranas celulares y en la textura de los tejidos, dando lugar a una mayor deformación y encogimiento del material a secar. Por otro lado, el sulfitado, no causa los efectos anteriores, pero tiene un impacto negativo desde el punto de vista nutricional, debido a la reconocida toxicidad de los compuestos azufrados (Lenart, 1994).

Por otro lado, hay que tener en cuenta que el pretratamiento de DO provocará cambios en las cinéticas de transferencia de materia y en algunas propiedades fisicoquímicas del producto tratado, principalmente asociado a los cambios en la estructura del producto y a las variaciones en la composición del mismo. Estos efectos se comentan a continuación:

- **Efecto del pretratamiento de DO sobre las cinéticas del secado por aire caliente**

La deshidratación osmótica tiene un efecto negativo en la cinética de secado por aire caliente, ya que disminuye la velocidad de pérdida de agua (al existir un menor gradiente inicial) y además, el soluto absorbido durante la etapa de DO bloquea las capas de la superficie del producto, añadiendo una resistencia adicional al intercambio de masa (Lenart y Cerkwoniak, 1996). Incluso una corta inmersión de un material en una solución osmótica, puede causar una disminución sustancial de la velocidad de eliminación de agua durante el secado posterior (Lenart, 1994; Lenart y Cerkwoniak, 1996). Por otro lado, la deshidratación parcial y la ganancia de solutos protegen el producto contra el derrumbamiento estructural durante el secado posterior y contra la desorganización estructural y exudación (pérdida de jugos y textura) durante la congelación y descongelación.

Como el pretratamiento osmótico disminuye las velocidades de

secado por aire, el tiempo total de deshidratación es prácticamente igual al que si solamente se utiliza el secado por aire caliente, para contenidos de humedad por debajo de 10 a 15% ($a_w = 0.4 - 0.6$). Por el contrario, el total tiempo secado se acorta espectacularmente en el caso de deshidratar hasta contenidos de agua intermedios ($a_w = 0.6 - 0.9$) (Lenart, 1994).

- **Efecto de la DO sobre las propiedades de producto final.**

Durante deshidratación osmótica, la ganancia de solutos y la salida de ácidos naturales y pigmentos del tejido afectan a sus propiedades organolépticas, ya que modifican (hasta cierto punto) su composición inicial (Lenart, 1994; Lazarides et al., 1995). Por otro lado, el pre tratamiento osmótico contribuye a la retención del sabor en frutas y les hace más apetecibles que los productos que han sido secados totalmente con aire caliente.

Los alimentos secos obtenidos utilizando estas dos técnicas combinadas (DO + secado por aire caliente (SAC)) normalmente presentan mejor textura y un menor encogimiento comparados con productos que han sido secados únicamente mediante SAC (Lazarides et al., 1999).

Además, el pre tratamiento osmótico da lugar a un menor encogimiento durante el secado posterior, causando al mismo tiempo, un aumento de la densidad del producto (Sitkiewicz et al., 1996).

- **Efecto de DO en las cinéticas de sorción de agua**

Los tejidos vegetales son materiales heterogéneos, tanto en composición química, como en estructura. Esta heterogeneidad afecta considerablemente a sus cinéticas de sorción de agua. De igual forma, los cambios en la composición de sólidos solubles y la presencia de soluto osmótico tienen un efecto notable en el comportamiento de sorción del agua, que queda claramente reflejado en la forma que toman las isothermas de sorción. El pretratamiento osmótico de frutas, utilizando soluciones de sacarosa, dio lugar a un aplanamiento de la isoterma, haciendo al

producto menos higroscópico (Lenart, 1991; Lazarides et al., 1995).

Los cambios de sorción de agua no sólo dependen del tipo de soluto empleado, sino también se ven afectados por la forma en que se encuentran azúcares en el producto. Dependiendo de contenido de agua, los azúcares pueden presentarse en tres estados: cristalino, amorfo y en solución. Inmediatamente después del SAC, la sacarosa en el tejido seco se encuentra en un estado amorfo. Sin embargo durante el almacenamiento, se convierte gradualmente en una forma estable cristalina, que queda reflejado en un aplanamiento de la isoterma de sorción del agua (Lenart, 1991).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

La ejecución del proyecto se realizó en:

- Departamento : Ancash
- Provincia : Del Santa
- Distrito : Nuevo Chimbote

Utilizando los siguientes laboratorios de la UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA:

- Laboratorio de Investigación de Productos Agroindustriales de la Escuela de Agroindustrias de la U.N.S.
- Laboratorio de Operaciones Unitarias Agroindustriales de la Escuela de Agroindustrias de la U.N.S.
- Biblioteca Central y Especializada de la U.N.S.

3.2. MATERIA PRIMA E INSUMOS

3.2.1. MANZANA

La muestra de manzana de agua (*Syzygium malaccense*) tiene que tener un buen índice de calidad, una forma característica de la variedad, bien formada y libres de daños ocasionados durante el cultivo o la cosecha, además libre de pudriciones, enfermedades para esta investigación la muestra será proveniente del **VALLE DE CASMA** ubicado en el **distrito de PARIACOTO** provincia de **HUARAZ**, departamento de **ANCASH**.



Figura 6: Manzana de Agua (*Syzygium malaccense*).

3.3. EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS

3.3.1. EQUIPOS

3.3.1.1. Secador de bandejas

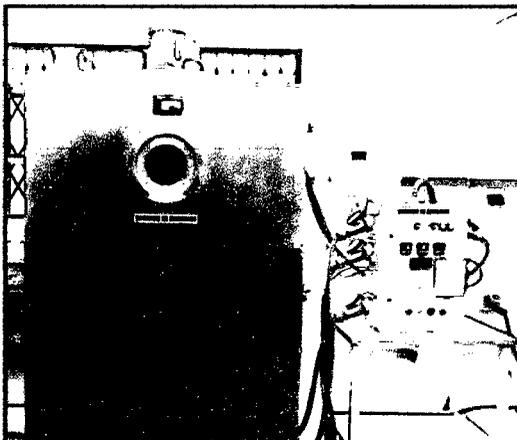


Figura 7: Secador de bandejas

3.3.1.2. Baño María

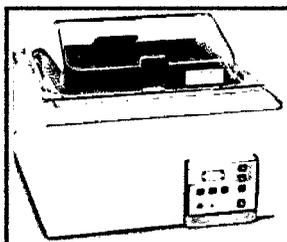


Figura 8: Equipo baño maría.

3.3.1.3. Brixómetro

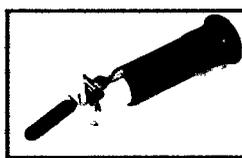


Figura 9: Brixómetro.

3.3.1.4. Medidor de actividad de agua

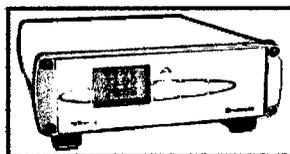


Figura 10: Equipo Medidor de Actividad de Agua.

3.3.1.5. Colorímetro

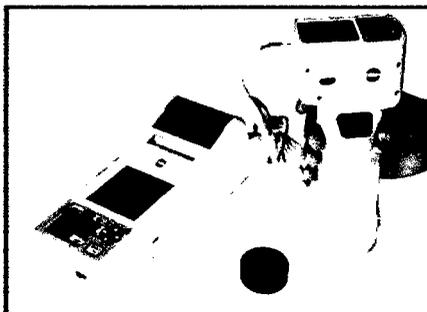


Figura 11: Equipo de Colometría

3.3.1.6. Estufa

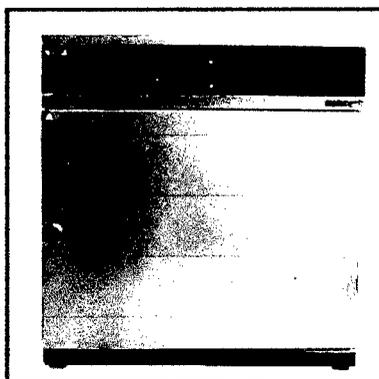


Figura 12: Estufa

3.3.1.7. Espectrofotómetro

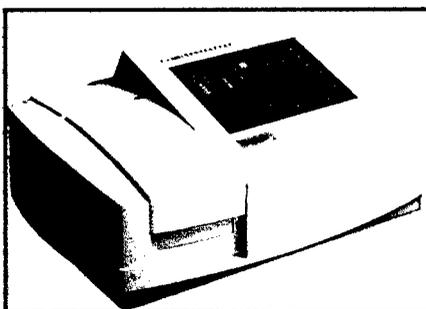


Figura 13: Espectrofotómetro

3.3.2. MATERIALES DE VIDRIO

3.3.2.1. Vasos de precipitación

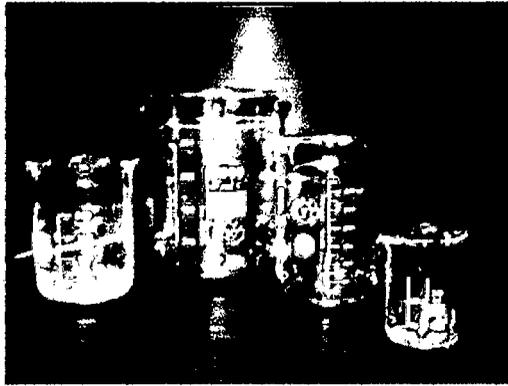


Figura 14: Vasos de Precipitación

3.3.2.2. Pipetas

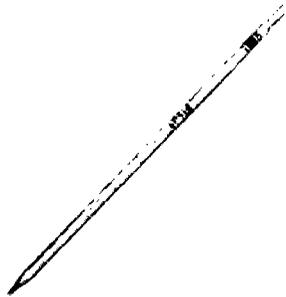


Figura 15: Pipetas

3.3.2.3. Probetas

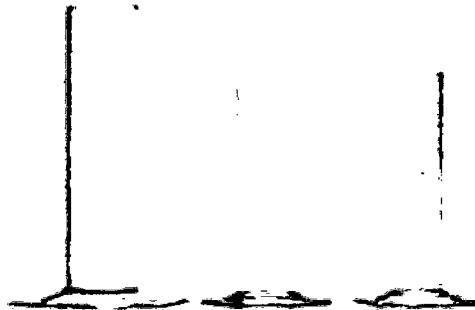


Figura 16: Probetas

3.3.3. OTROS MATERIALES

3.3.3.1. Baldes de plástico

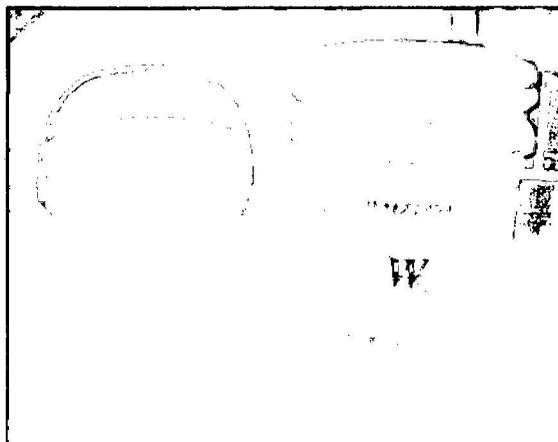


Figura 17: Balde de Plástico

3.3.3.2. Cuchillos

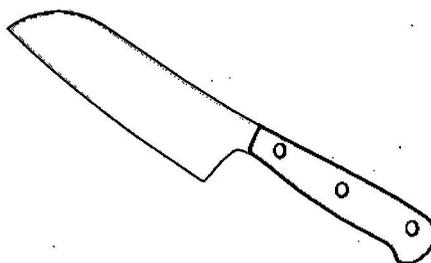


Figura 18: Cuchillo

3.3.3.3. Tabla de picar

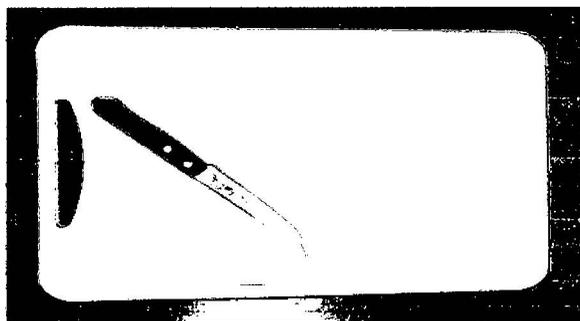


Figura 19: Tabla de picar

3.3.4. REACTIVOS

3.3.4.1. Azúcar Comercial

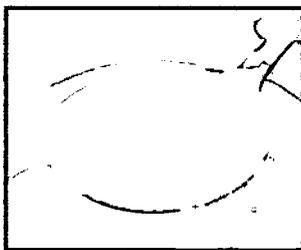


Figura 20: Azúcar Comercial

3.3.4.2. Ácido Cítrico

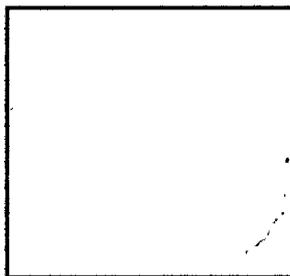


Figura 21: Ácido Cítrico

3.4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL DE LA INVESTIGACIÓN

3.4.1. OBTENCIÓN DE LAS RODAJAS DE MANZANA DESHIDRATADAS OSMÓTICAMENTE

A) RECEPCIÓN DE MATERIA PRIMA

Se trajo manzana de la ciudad de PARIACOTO.

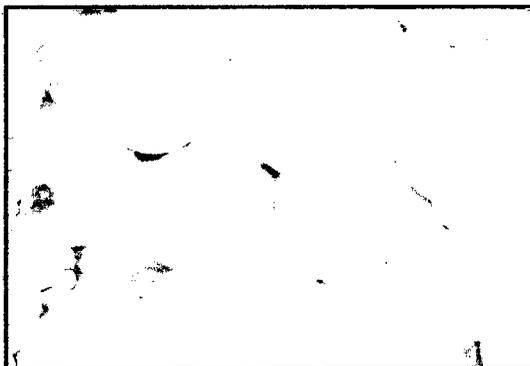


Figura 22: Recepción de la materia prima

B) SELECCIÓN DE MATERIA PRIMA

El proceso se realizó de manera estricta tomando en cuenta que el estadio de la materia prima sea el adecuado

C) PELADO DE MATERIA PRIMA

El pelado de la manzana se realizó con un cuchillo teniendo en cuenta que se pelo toda la superficie de la misma y se eliminó las partes a no ser utilizadas

D) RODAJADO DE MATERIA PRIMA

Se realizó posterior al pelado de manera casi inmediata se tuvo en cuenta el diámetro descrito en el proyecto de 2 mm., el mismo que se dio con un cuchillo.

E) INMERSIÓN DE RODAJAS EN ÁCIDO CÍTRICO

Luego de ser rodajas las mismas pasaron a ser zambullidas en una solución de ácido cítrico y agua la misma que fue preparada con anterioridad al proceso, tal proceso se hace para evitar el pardeamiento de la misma.

F) INMERSIÓN DE RODAJAS EN JARABE DE SACAROSA

Se realizó en tres grupos de acuerdo a las diferentes concentraciones y a sus respectivas temperaturas.



Figura 23: Inmersión de las rodajas en jarabe de sacarosa.

**G) ACONDICIONAMIENTO PARA EL
HOMOGENIZADO DE LA OSMOSIS**

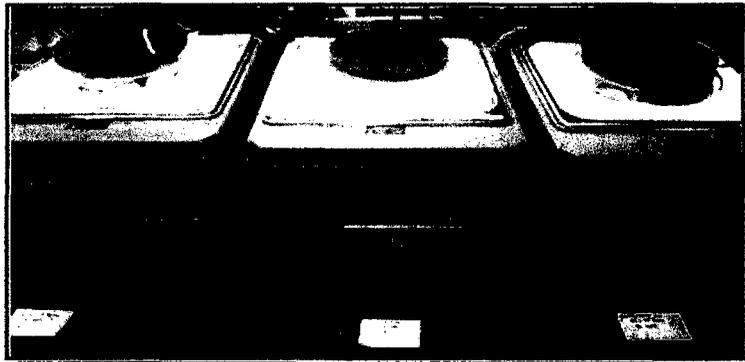


Figura 24: Acondicionamiento de los tres baldes en diferentes concentraciones.

3.4.2. OBTENCIÓN DE LAS RODAJAS DE MANZANA POR SECADO POR AIRE CALIENTE

A) RECEPCIÓN DE RODAJAS DE MANZANA DESHIDRATADAS POR OSMOSIS

La recepción de las manzanas se realizó después de las seis horas que tuvo a lugar la osmosis entre la manzana y solución de sacarosa.

B) ACONDICIONAMIENTO DE LAS RODAJAS DE MANZANA EN LAS BANDEJAS DEL SECADOR

Se realizó de manera individual teniendo en cuenta una distribución homogénea de las mismas y el cuidado respectivo para no mezclar las muestras.

C) PROGRAMACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE SECADO EN EL SECADOR DE BANDEJA

Se tuvo cuidado con la misma para que los parámetros sean los indicados y así poder obtener los resultados adecuados.

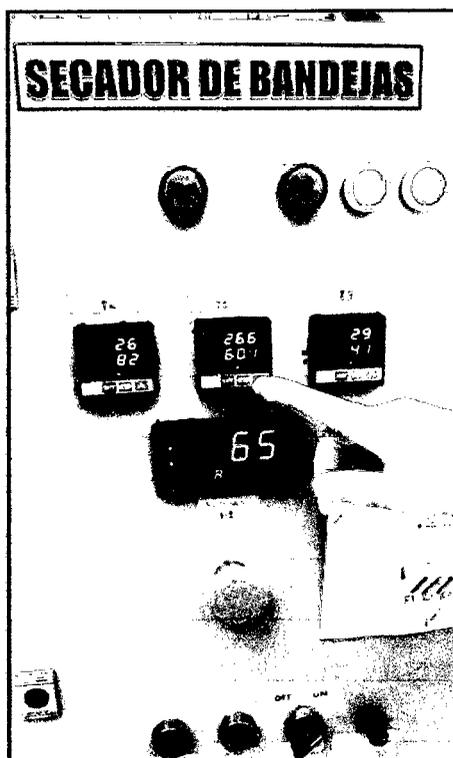


Figura 25: Programación de parámetros en el secador de bandejas.

D) TOMA DE DATOS EXPERIMENTALES DURANTE PROCESO DE SECADO

Por cada tiempo se procedió a tomar una muestra para poder determinar parámetros de humedad, actividad de agua, vitamina C, color y grados brix; estos se realizaron por el método de la AOAC, descrito por Pearson 1991.

3.5. DISEÑO ESTADÍSTICO

3.5.1. ESQUEMA DE DISEÑO EXPERIMENTAL

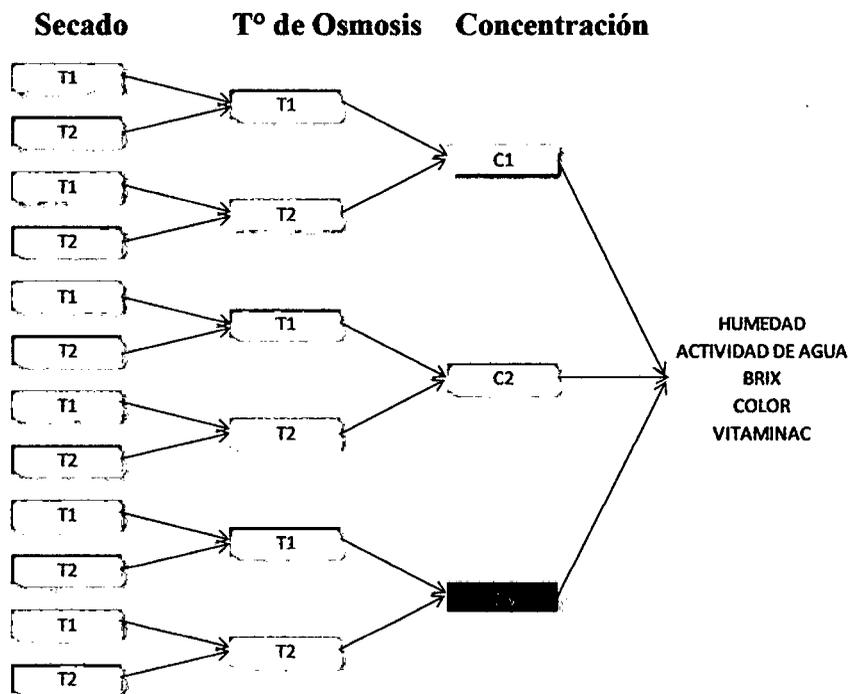


Figura 26: Esquema experimental de un diseño factorial de 3x2x2.

3.5.2. DIAGRAMA DE FLUJO EXPERIMENTAL

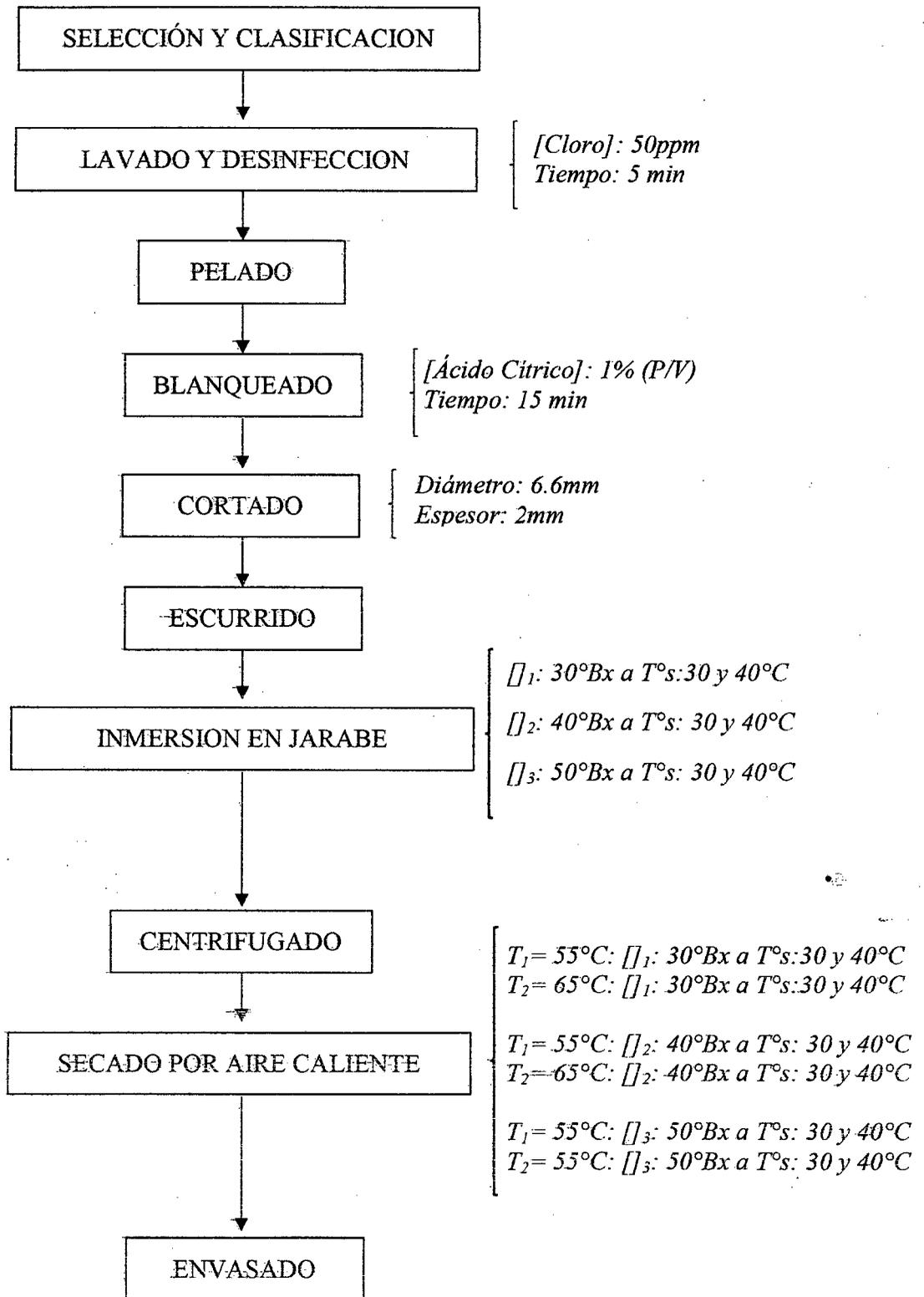


Diagrama 1: Diagrama de Flujo del proceso de secado de rodajas de manzana de agua.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICO PROXIMAL DE LA MANZANA DE AGUA (*Syzygium Malaccense*)

La Tabla 01 presenta los valores medios experimentales de la humedad, de la fracción másica de sólidos solubles, de los °Brix de la fracción líquida, de la actividad del agua (a_w) y del pH que caracterizan los diferentes lotes de la manzana fresca utilizada durante este estudio. Estos valores se encuentran dentro del intervalo característico para la variedad de manzana empleada (Martínez-Monzó, 1998; Bilbao, 2002; Martín, 2002).

Cuadro 2: Caracterización fisicoquímico proximal de la manzana de agua utilizada durante el estudio

Parámetro	Contenido
Humedad ($g_{\text{agua}}/g_{\text{muestra}}$)	0.878±0.005
fracción másica de sólidos solubles ($g_{\text{ss}}/g_{\text{muestra}}$)	0.122±0.04
°Brix ($g_{\text{solutos}}/100g_{\text{muestra}}$)	12.3±1.4
Actividad de agua (A_w)	0.922±0.01
Vitamina C ($mg_{\text{solutos}}/100g_{\text{muestra}}$)	5.634±0.06

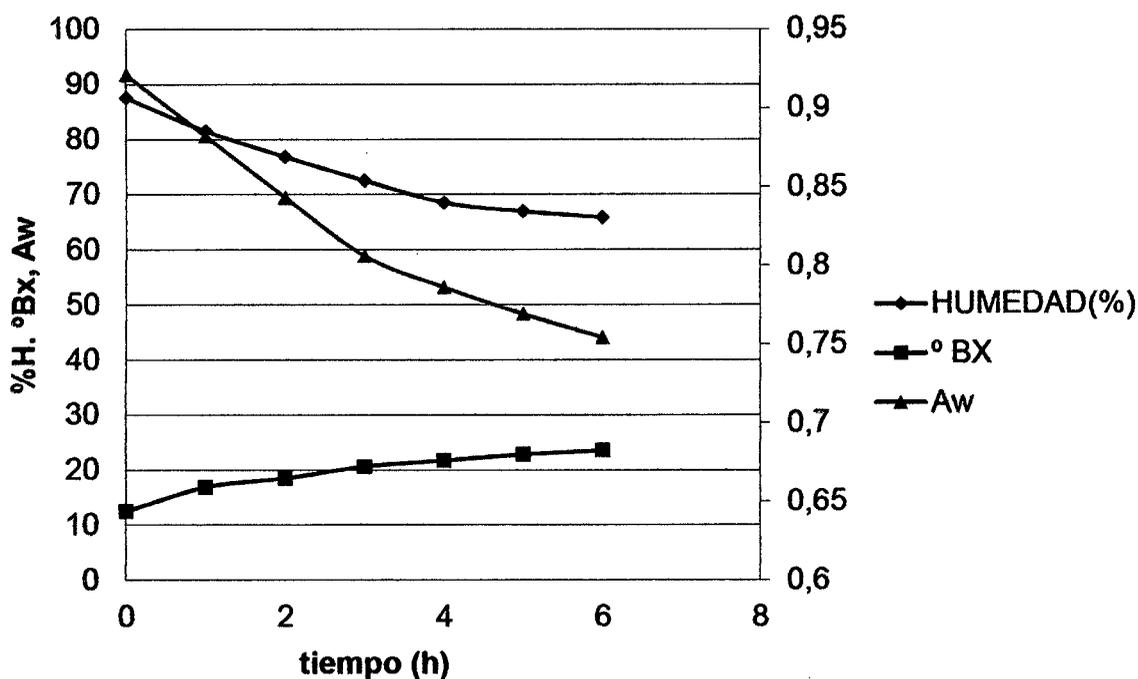
4.2. EFECTO DEL SECADO POR OSMOSIS

4.2.1. EFECTO DEL SECADO POR OSMOSIS A 30 °C Y 30°BRIX

Cuadro 3: Efecto del secado por Osmosis. A 30°Bx Y 30°C.

T(h)	HUMEDAD (%)	°BX	A_w
0	87,5	12,5	0,921
1	81,5	16,9	0,882
2	76,8	18,5	0,843
3	72,5	20,6	0,806
4	68,5	21,7	0,786
5	66,9	22,8	0,769
6	65,8	23,5	0,754

En este cuadro observamos la dependencia de la humedad, brix y la actividad de agua de la manzana de agua.



Grafica 1: Comportamiento de la Humedad (%), °Bx, y la Aw

En la gráfica N° 1, observamos el comportamiento de la humedad de cual presenta un valor inicial de 87,5%, esta caída se produce hasta un valor de 65,8%, a causa de la gradiente de concentración causada por la presión osmótica, en esta caso de 30 °Brix, este proceso se acelera, también a causa de la temperatura de osmosis la cual en este caso es de 30 °C, también lo observamos el mismo mecanismo en la a_w y la concentración de °Brix a través del tiempo, la a_w disminuye desde un valor de 0,921 hasta 0,754 y los °Brix desde un valor de 12,5 a 23,5, esto se debe al fenómeno de difusibilidad. Esto es contrastado con los resultados de **Guzman C. et al; 2007**. En su “*Estudio de la variable de deshidratación osmótica en la cinética de secado de tres variedades de papa*”.

- **MODELADO DE LA HUMEDAD(%) vs TIEMPO**

- ✓ Transformaciones Box-Cox - - HUMEDAD versus TIEMPO
- ✓ Potencia = -4,613 Cambio = 0,0
- ✓ Variable dependiente: HUMEDAD
- ✓ Variable independiente: TIEMPO

Cuadro 4: Valores de la ecuación de regresión de la Humedad vs El Tiempo

<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
			<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	6,65075E9	0,629452	1,05659E10	0,0000
Pendiente	-3,54507	0,174579	-20,3064	0,0000

Cuadro 5: Análisis de Varianza del modelo de correlación

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	351,891	1	351,891	412,35	0,0000
Residuo	4,26688	5	0,853376		
Total (Corr.)	356,158	6			

- ✓ Coeficiente de Correlación = -0,993992
- ✓ R-cuadrada = 98,802 por ciento
- ✓ Error estándar del est. = 0,923784

Intervalo aproximado del 95% de confianza para la potencia: a -1,909.

Este procedimiento está diseñado para permitir comparar el efecto de varias transformaciones de potencia de la variable HUMEDAD en la regresión lineal entre ella y TIEMPO. La ecuación del modelo ajustado, mostrado como una línea sólida, es:

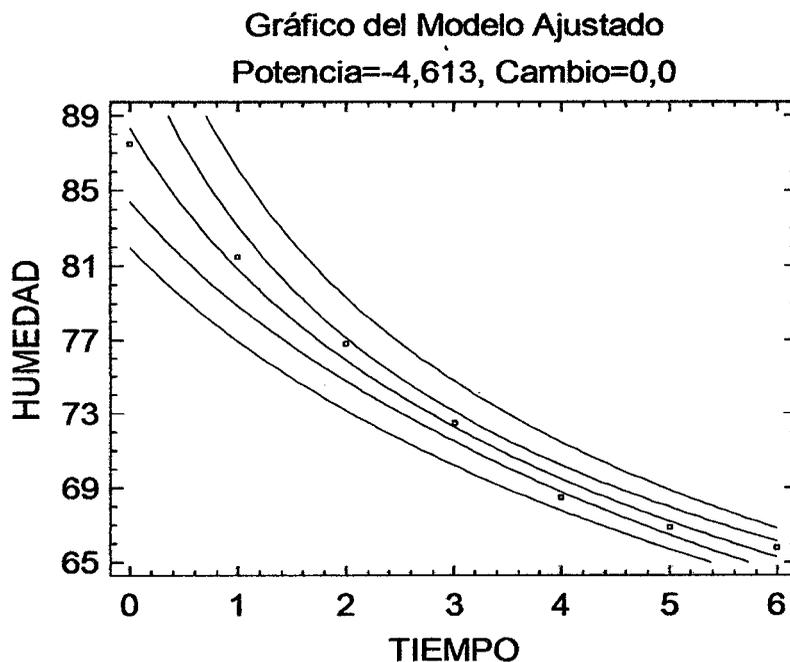
$$\text{Box Cox (HUMEDAD)} = 6.65075 * 10^9 - 3.54507 * \text{TIEMPO}$$

Dónde:

$$\text{Box Cox (HUMEDAD)} = 1 + \frac{(\text{HUMEDAD}^{-4.613} - 1)}{-4.613 * 73.844^{-5.613}}$$

Esta es una transformación Box-Cox con una potencia determinada de tal forma que se minimice el cuadrado medio del error (CME). Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0,05, existe una relación estadísticamente significativa entre HUMEDAD y TIEMPO con un nivel de confianza del 95%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 98,802% de la variabilidad en HUMEDAD. El coeficiente de correlación es igual a -0,993992, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables. El error estándar del estimado indica que la desviación estándar de los residuos es 0,923784.



Gráfica 2. Curvas de modelado de la Humedad y El Tiempo.

En la gráfica N° 2, observamos varios diseños o curvas características las cuales permiten comparar el efecto de

varias transformaciones de potencia de la humedad, la cual previamente se a correlacionado linealmente, obteniéndose así un modelo ajustado, mostrado como una línea sólida.

• **MODELADO DE LOS GRADOS BRIX vs TIEMPO**

- ✓ Transformaciones Box-Cox - - GRADOS BRIX versus TIEMPO
- ✓ Potencia = 4,476 Cambio = 0,0
- ✓ Variable dependiente: GRADOS BRIX
- ✓ Variable independiente: TIEMPO

Cuadro 6: Valores de la ecuación de regresión de los °Brix vs El Tiempo

Parámetro	Estimado	Error Estándar	Estadístico	
			T	Valor-P
Intercepto	1,62442	0,153069	10,6123	0,0001
Pendiente	1,71463	0,0424538	40,3883	0,0000

Cuadro 7: Análisis de varianza del modelo de correlación

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	82,3192	1	82,3192	1631,21	0,0000
Residuo	0,252325	5	0,050465		
Total (Corr.)	82,5715	6			

- ✓ Coeficiente de Correlación = 0,998471
- ✓ R-cuadrada = 99,6944 por ciento
- ✓ Error estándar del est. = 0,224644

Intervalo aproximado del 95% de confianza para la potencia: 3,803

Este procedimiento está diseñado para permitir comparar el efecto de varias transformaciones de potencia de la variable GRADOS BRIX en la regresión lineal entre ella y

TIEMPO. La ecuación del modelo ajustado, mostrado como una línea sólida, es:

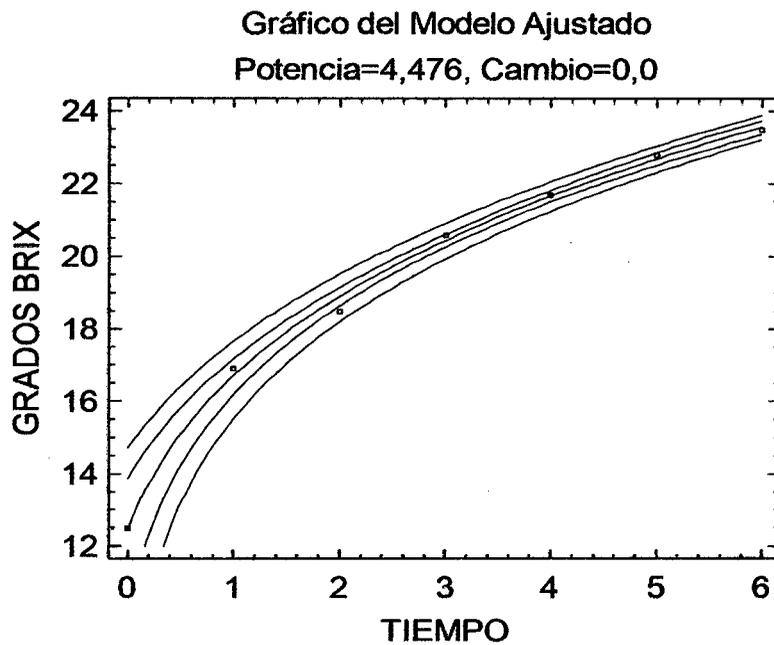
$$\text{Box Cox}(\text{GRADOS BRIX}) = 1.62442 + 1.71463 * \text{TIEMPO}$$

Dónde:

$$\text{Box Cox}(\text{GRADOS BRIX}) = 1 + \frac{(\text{GRADOS BRIX}^{4.476} - 1)}{4.476 * 19.1256^{3.476}}$$

Esta es una transformación Box-Cox con una potencia determinada de tal forma que se minimice el cuadrado medio del error (CME). Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0,05, existe una relación estadísticamente significativa entre GRADOS BRIX y TIEMPO con un nivel de confianza del 95%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 99,6944% de la variabilidad en GRADOS BRIX. El coeficiente de correlación es igual a 0,998471, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables. El error estándar del estimado indica que la desviación estándar de los residuos es 0,224644. Este valor puede usarse para construir límites de predicción para nuevas observaciones, seleccionando la opción de Pronósticos del menú de texto.



Grafica 3. Curvas de modelado de los grados Brix y El Tiempo.

En la gráfica N° 3, observamos varios diseños o curvas características las cuales permiten comparar el efecto de varias transformaciones de potencia de los °Brix, la cual previamente se a correlacionado linealmente, obteniéndose así un modelo ajustado, mostrado como una línea sólida.

- **MODELADO DE LA ACTIVIDAD DE AGUA vs TIEMPO**

- ✓ Transformaciones Box-Cox -- ACTIVIDAD DE AGUA versus TIEMPO
- ✓ Potencia = -6,269 Cambio = 0,0
- ✓ Variable dependiente: ACTIVIDAD DE AGUA
- ✓ Variable independiente: TIEMPO

Cuadro 8: Valores de la ecuación de regresión

<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
			<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	0,977687	0,00260379	375,486	0,0000
Pendiente	-0,0274269	0,000722163	-37,9789	0,0000

Cuadro 9: Análisis de Varianza de la ecuación de modelado

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	0,0210626	1	0,0210626	1442,40	0,0000
Residuo	0,0000730126	5	0,0000146025		
Total (Corr.)	0,0211356	6			

- ✓ Coeficiente de Correlación = -0,998271
- ✓ R-cuadrada = 99,6546 por ciento
- ✓ Error estándar del est. = 0,00382132

Intervalo aproximado del 95% de confianza para la potencia: -4,273

Este procedimiento está diseñado para permitir comparar el efecto de varias transformaciones de potencia de la variable ACTIVIDAD DE AGUA en la regresión lineal entre ella y TIEMPO.

La ecuación del modelo ajustado, mostrado como una línea sólida, es:

$$\text{Box Cox}(\text{ACTIVIDAD DE AGUA}) = 0.977687 - 0.0274269 * \text{TIEMPO}$$

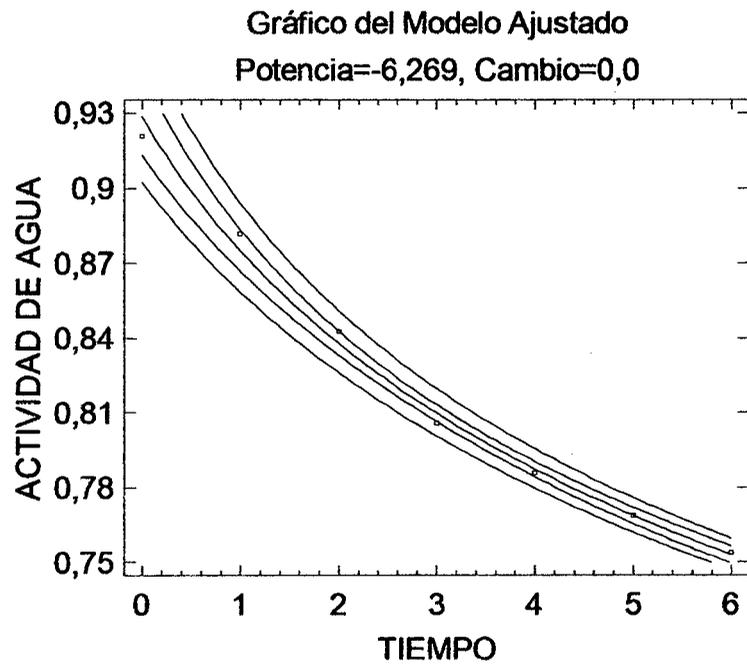
Dónde:

$$\text{Box Cox}(\text{ACTIVIDAD DE AGUA}) = 1 + \frac{(\text{ACTIVIDAD DE AGUA}^{-6.269} - 1)}{-6.269 * 0.821056^{-7.269}}$$

Esta es una transformación Box-Cox con una potencia determinada de tal forma que se minimice el cuadrado medio del error (CME). Puesto que el valor-P en la tabla

ANOVA es menor que 0,05, existe una relación estadísticamente significativa entre ACTIVIDAD DE AGUA y TIEMPO con un nivel de confianza del 95%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 99,6546% de la variabilidad en ACTIVIDAD DE AGUA. El coeficiente de correlación es igual a -0,998271, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables. El error estándar del estimado indica que la desviación estándar de los residuos es 0,00382132. Este valor puede usarse para construir límites de predicción para nuevas observaciones



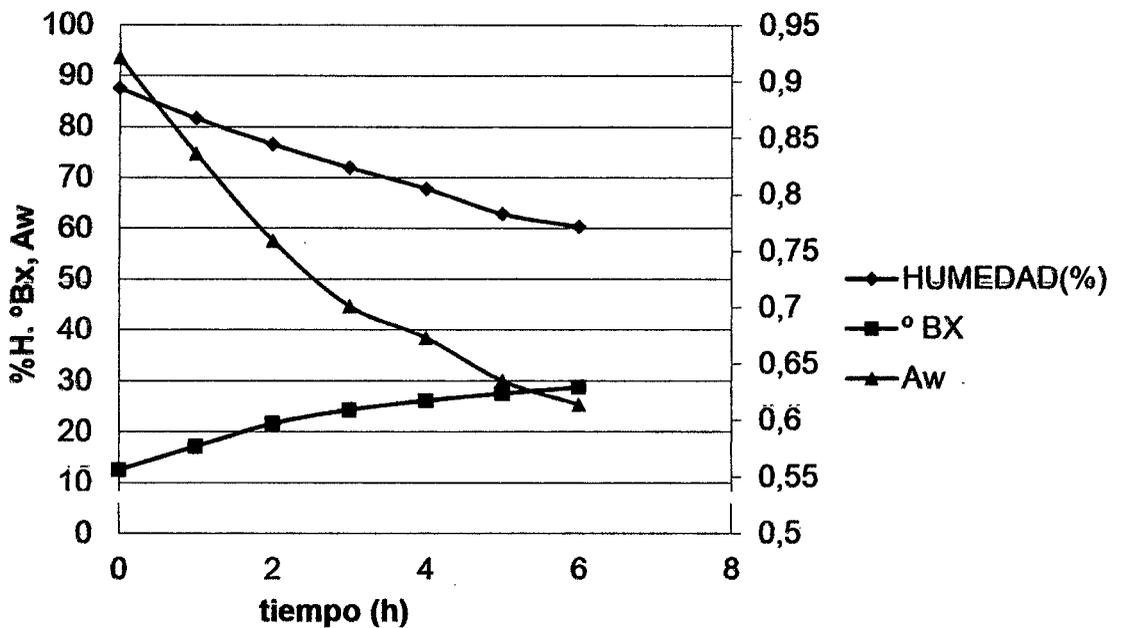
Grafica 4. Curvas de modelado de la Actividad de Agua y El Tiempo.

En la gráfica N° 4, observamos varios diseños o curvas características las cuales permiten comparar el efecto de varias transformaciones de potencia de la a_w , la cual previamente se a correlacionado linealmente, obteniéndose así un modelo ajustado, mostrado como una línea sólida.

4.2.2. EFECTO DEL SECADO POR OSMOSIS A 30 °Bx Y 40°C:

Cuadro 10: Efecto de la Humedad (%), °Bx y Aw por osmosis a 30°Bx y 40°C

T(h)	HUMEDAD (%)	° BX	Aw
0	87,5	12,5	0,921
1	81,6	17,1	0,836
2	76,5	21,6	0,759
3	71,9	24,3	0,701
4	67,8	26,1	0,673
5	62,8	27,5	0,635
6	60,3	28,7	0,614



Grafica 5: Curvas de modelado de los Grados Brix, Humedad y Actividad de Agua.

En la gráfica N° 5, observamos el comportamiento de la humedad de cual presenta un valor inicial de 87.5%, esta caída se produce hasta un valor de 60.3%, a causa de la gradiente de concentración causada por la presión osmótica, en esta caso de 30 °Brix, este proceso se acelera, también a causa de la temperatura de osmosis la cual en este caso es de 40 °C, también lo observamos el mismo mecanismo en la aw y la concentración de °Brix a través

del tiempo, la aw disminuye desde un valor de 0,921 hasta 0,614 y los °Brix desde un valor de 12,5 a 28,7, esto se debe al fenómeno de difusibilidad. Esto es contrastado con los resultados de Guzman C. et al; 2007. En su “Estudio de la variable de deshidratación osmótica en la cinética de secado de tres variedades de papa”.

• **MODELADO DE LA HUMEDAD(%) vs TIEMPO**

- ✓ Transformaciones Box-Cox - - HUMEDAD 2 versus TIEMPO 2
- ✓ Potencia = -0,471 Cambio = 0,0
- ✓ Variable dependiente: HUMEDAD 2
- ✓ Variable independiente: TIEMPO 2

Cuadro 11: Análisis Estadístico

<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
			<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	1008,42	0,331927	3038,07	0,0000
Pendiente	-4,53056	0,0920601	-49,2131	0,0000

Cuadro 12: Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	574,728	1	574,728	2421,93	0,0000
Residuo	1,18651	5	0,237302		
Total (Corr.)	575,915	6			

- ✓ Coeficiente de Correlación = -0,998969
- ✓ R-cuadrada = 99,794 por ciento.
- ✓ Error estándar del est. = 0,487136

Intervalo aproximado del 95% de confianza para la potencia: -1,203 a 0,253

Este procedimiento está diseñado para permitir comparar el efecto de varias transformaciones de potencia de la variable HUMEDAD 2 en la regresión lineal entre ella y

TIEMPO 2. La ecuación del modelo ajustado, mostrado como una línea sólida, es

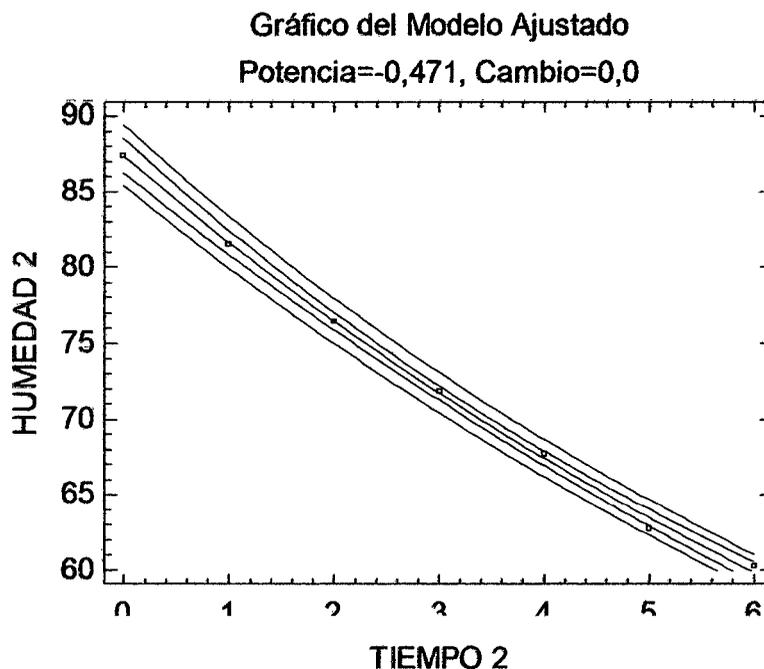
$$\text{Box Cox}(\text{HUMEDAD 2}) = 1008.42 - 4.53056 * \text{TIEMPO 2}$$

Dónde:

$$\text{Box Cox}(\text{HUMEDAD 2}) = 1 + 1 + \frac{(\text{HUMEDAD 2}^{-6.269} - 1)}{-0.471 * 72.0537^{-1.471}}$$

Esta es una transformación Box-Cox con una potencia determinada de tal forma que se minimice el cuadrado medio del error (CME). Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0,05, existe una relación estadísticamente significativa entre HUMEDAD 2 y TIEMPO 2 con un nivel de confianza del 95%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 99,794% de la variabilidad en HUMEDAD 2. El coeficiente de correlación es igual a -0,998969, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables. El error estándar del estimado indica que la desviación estándar de los residuos es 0,487136. Este valor puede usarse para construir límites de predicción para nuevas observaciones, seleccionando la opción de Pronósticos del menú de texto.



Grafica 6: Modelado Box Cox Humedad-Tiempo.

En la gráfica N° 6, observamos varios diseños o curvas características las cuales permiten comparar el efecto de varias transformaciones de potencia de la humedad, la cual previamente se a correlacionado linealmente, obteniéndose así un modelo ajustado, mostrado como una línea sólida.

- **MODELADO DE LOS GRADOS BRIX vs TIEMPO**
 - ✓ Transformaciones Box-Cox - - GRADOS BRIX 2 versus TIEMPO 2
 - ✓ Potencia = 3,744 Cambio = 0,0
 - ✓ Variable dependiente: GRADOS BRIX 2
 - ✓ Variable independiente: TIEMPO 2

Cuadro 13: Ajuste Lineal

Parámetro	Estimado	Error Estándar	Estadístico	
			T	Valor-P
Intercepto	1,33605	0,286579	4,66208	0,0055
Pendiente	2,71399	0,0794826	34,1458	0,0000

Cuadro 14: Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	206,242	1	206,242	1165,93	0,0000
Residuo	0,884448	5	0,17689		
Total (Corr.)	207,126	6			

- ✓ Coeficiente de Correlación = 0,997863
- ✓ R-cuadrada = 99,573 por ciento
- ✓ Error estándar del est. = 0,420582

Intervalo aproximado del 95% de confianza para la potencia: 3,06 a 4,435

Este procedimiento está diseñado para permitir comparar el efecto de varias transformaciones de potencia de la variable GRADOS BRIX 2 en la regresión lineal entre ella y TIEMPO 2. La ecuación del modelo ajustado, mostrado como una línea sólida, es:

$$\text{Box Cox}(\text{GRADOS BRIX 2}) = 1.33605 + 2.71399 * \text{TIEMPO 2}$$

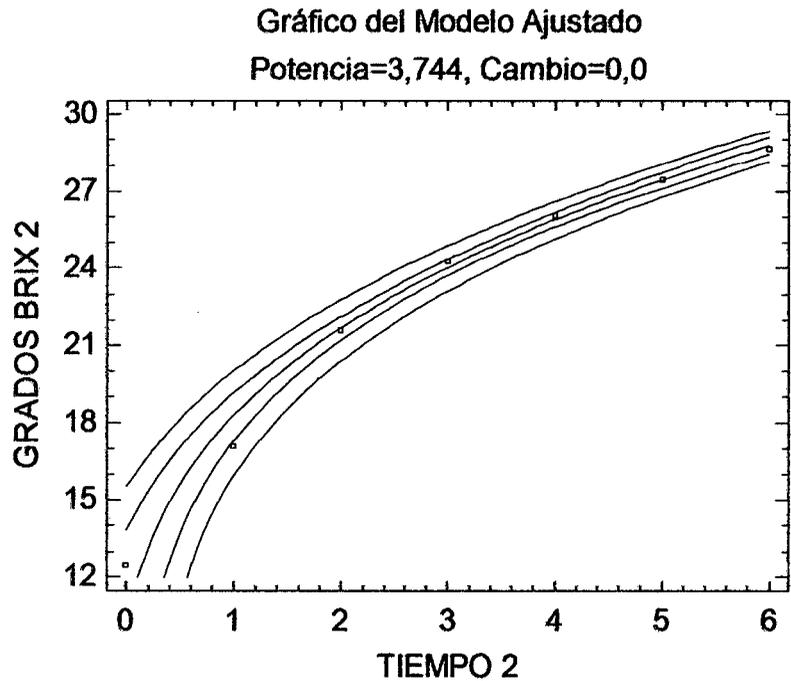
Donde

$$\text{Box Cox}(\text{GRADOS BRIX 2}) = 1 + \frac{(\text{GRADOS BRIX 2}^{3.744} - 1)}{3.744 * 21.7615^{2.744}}$$

Esta es una transformación Box-Cox con una potencia determinada de tal forma que se minimice el cuadrado medio del error (CME). Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0,05, existe una relación estadísticamente significativa entre GRADOS BRIX 2 y TIEMPO 2 con un nivel de confianza del 95%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 99,573% de la variabilidad en GRADOS BRIX 2. El coeficiente de correlación es igual a 0,997863,

indicando una relación relativamente fuerte entre las variables. El error estándar del estimado indica que la desviación estándar de los residuos es 0,420582. Este valor puede usarse para construir límites de predicción para nuevas observaciones, seleccionando la opción de Pronóstico



Grafica 7: Modelado Box Cox Grados Brix

En la gráfica N° 4, observamos varios diseños o curvas características las cuales permiten comparar el efecto de varias transformaciones de potencia de los °Brix, la cual previamente se a correlacionado linealmente, obteniéndose así un modelo ajustado, mostrado como una línea sólida.

- **MODELADO DE LA ACTIVIDAD DE AGUA vs TIEMPO**

- ✓ Transformaciones Box-Cox - - ACTIVIDAD DE AGUA 2 versus TIEMPO 2
- ✓ Potencia = -3,168 Cambio = 0,0
- ✓ Variable dependiente: ACTIVIDAD DE AGUA 2
- ✓ Variable independiente: TIEMPO 2

Cuadro 15: Ajuste Lineal

<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
			<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	0,978384	0,00403748	242,325	0,0000
Pendiente	-0,0483594	0,0011198	-43,1859	0,0000

Cuadro 16: Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	0,0654817	1	0,0654817	1865,02	0,0000
Residuo	0,000175552	5	0,0000351105		
Total (Corr.)	0,0656573	6			

- ✓ Coeficiente de Correlación = -0,998662
- ✓ R-cuadrada = 99,7326 porciento
- ✓ Error estándar del est. = 0,00592541

Intervalo aproximado del 95% de confianza para la potencia: -3,999 a -2,345.

Este procedimiento está diseñado para permitir comparar el efecto de varias transformaciones de potencia de la variable ACTIVIDAD DE AGUA 2 en la regresión lineal entre ella y TIEMPO 2. La ecuación del modelo ajustado, mostrado como una línea sólida, es:

$$\text{Box Cox}(\text{ACTIVIDAD DE AGUA 2}) = 0.978384 - 0.0483594 * \text{TIEMPO 2}$$

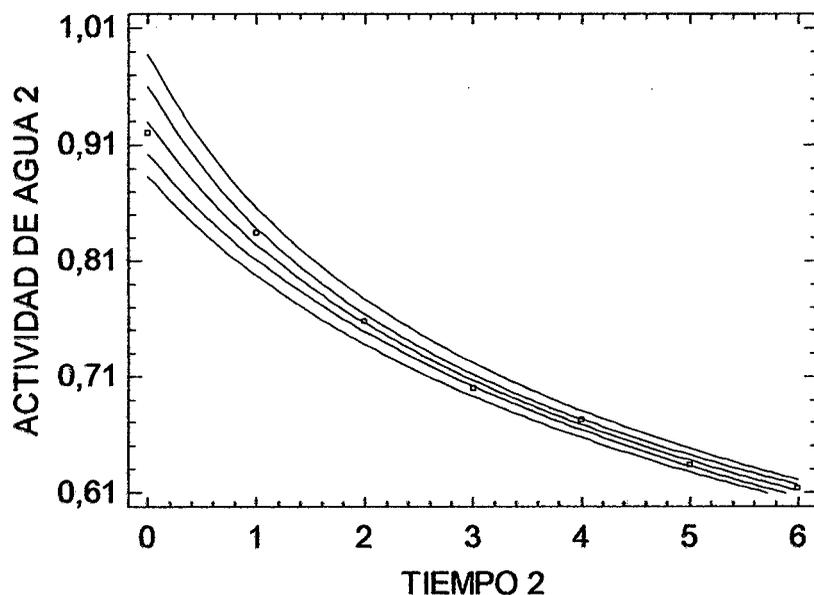
Donde:

$$\text{Box Cox}(\text{ACTIVIDAD DE AGUA 2}) = 1 + \frac{(\text{ACTIVIDAD DE AGUA 2}^{-3.168} - 1)}{-3.168 * 0.727154^{-4.168}}$$

Esta es una transformación Box-Cox con una potencia determinada de tal forma que se minimice el cuadrado medio del error (CME). Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0,05, existe una relación estadísticamente significativa entre ACTIVIDAD DE AGUA 2 y TIEMPO 2 con un nivel de confianza del 95%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 99,7326% de la variabilidad en ACTIVIDAD DE AGUA 2. El coeficiente de correlación es igual a -0,998662, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables. El error estándar del estimado indica que la desviación estándar de los residuos es 0,00592541.

Gráfico del Modelo Ajustado
Potencia=-3,168, Cambio=0,0



Grafica 8: Modelado Ajustado Box Cox.

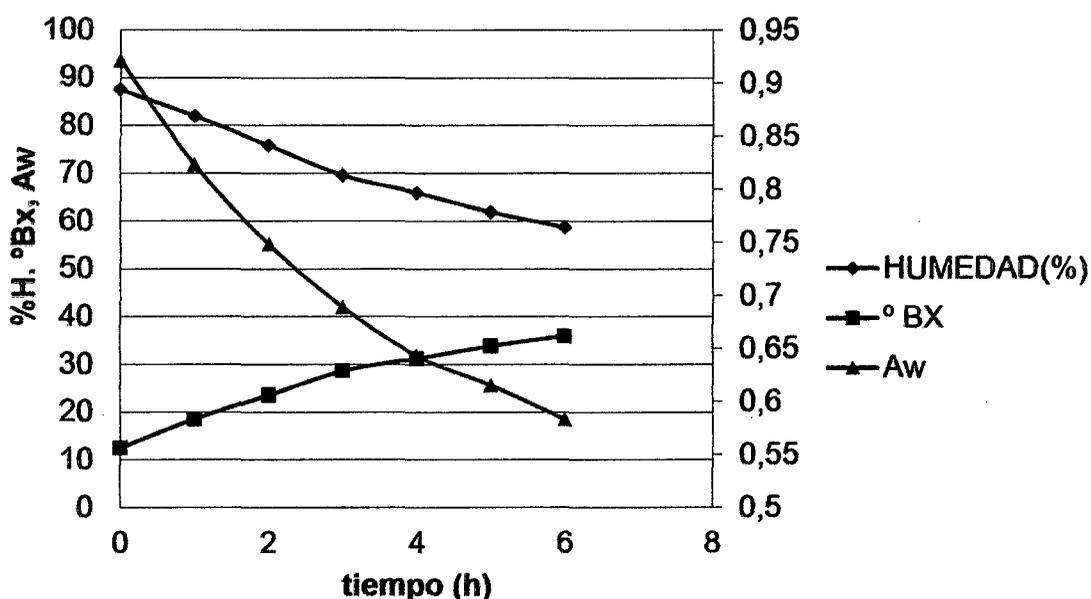
En la gráfica N° 8, observamos varios diseños o curvas características las cuales permiten comparar el efecto de

varias transformaciones de potencia de la aw, la cual previamente se a correlacionado linealmente, obteniéndose así un modelo ajustado, mostrado como una línea sólida.

4.2.3. EFECTO DEL SECADO POR OSMOSIS A 40 °BX Y 30°C:

Cuadro 17: Dependencia de la Humedad (%), Grados Brix y Actividad de Agua

T(h)	HUMEDAD (%)	° BX	Aw
0	87,5	12,5	0,921
1	81,9	18,5	0,823
2	75,8	23,5	0,748
3	69,5	28,6	0,689
4	65,9	31,2	0,643
5	61,8	33,8	0,615
6	58,6	35,9	0,583



Grafica 9: Curvas de modelado de los Grados Brix, Humedad y Actividad de Agua.

En la gráfica N° 9, observamos el comportamiento de la humedad de cual presenta un valor inicial de 87.5%, esta caída se produce hasta un valor de 58.6%, a causa de la gradiente de concentración causada por la presión osmótica, en esta caso de 40 °Brix, este proceso se acelera, también a causa de la temperatura de osmosis la cual en este caso es de 30 °C, también lo observamos el mismo

mecanismo en la a_w y la concentración de °Brix a través del tiempo, la a_w disminuye desde un valor de 0,921 hasta 0,583 y los °Brix desde un valor de 12,5 a 35,9, esto se debe al fenómeno de difusibilidad. Esto es contrastado con los resultados de Guzman C. et al; 2007. En su “Estudio de la variable de deshidratación osmótica en la cinética de secado de tres variedades de papa”.

- **MODELADO DE LA HUMEDAD(%) vs TIEMPO**
 - ✓ Transformaciones Box-Cox - - HUMEDAD 3 versus TIEMPO 3
 - ✓ Potencia = -1,088.Cambio = 0,0
 - ✓ Variable dependiente: HUMEDAD 3
 - ✓ Variable independiente: TIEMPO 3

Cuadro 18: Ajuste Lineal

Parámetro	Estimado	Error Estándar	Estadístico	
			T	Valor-P
Intercepto	6672,81	0,341597	19534,2	0,0000
Pendiente	-4,81963	0,0947419	-50,8712	0,0000

Cuadro 19: Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	650,408	1	650,408	2587,88	0,0000
Residuo	1,25664	.5	0,251329		
Total (Corr.)	651,664	6			

- ✓ Coeficiente de Correlación = -0,999035
- ✓ R-cuadrada = 99,8072 por ciento
- ✓ Error estándar del est. = 0,501327

Intervalo aproximado del 95% de confianza para la potencia: -1,77 a -0,405

Este procedimiento está diseñado para permitir comparar el efecto de varias transformaciones de potencia de la

variable HUMEDAD 3 en la regresión lineal entre ella y TIEMPO 3. La ecuación del modelo ajustado, mostrado como una línea sólida, es:

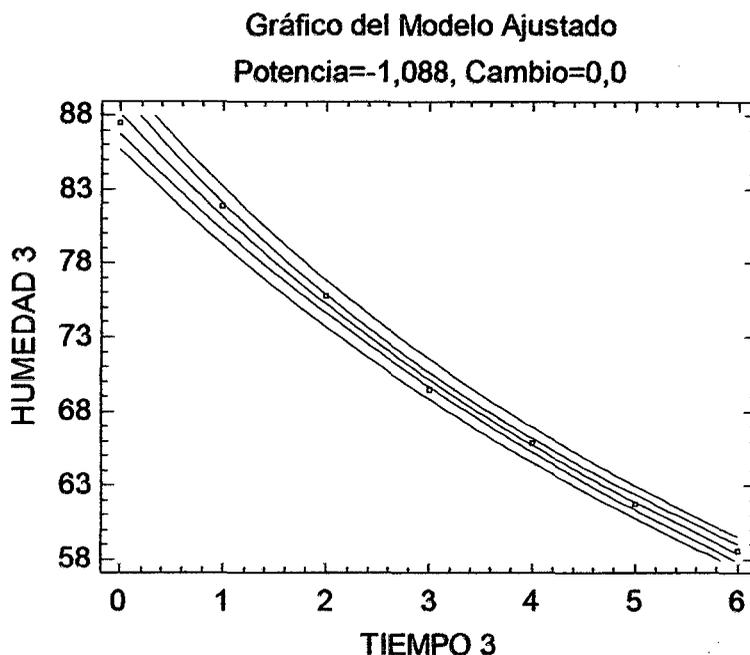
$$\text{Box Cox}(\text{HUMEDAD 3}) = 6672.81 - 4.81963 * \text{TIEMPO 3}$$

Donde:

$$\text{Box Cox}(\text{HUMEDAD 3}) = 1 + \frac{(\text{HUMEDAD 3}^{-1.088} - 1)}{-1.088 * 70.9045^{-2.088}}$$

Esta es una transformación Box-Cox con una potencia determinada de tal forma que se minimice el cuadrado medio del error (CME). Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0,05, existe una relación estadísticamente significativa entre HUMEDAD 3 y TIEMPO 3 con un nivel de confianza del 95%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 99,8072% de la variabilidad en HUMEDAD 3. El coeficiente de correlación es igual a -0,999035, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables. El error estándar del estimado indica que la desviación estándar de los residuos es 0,501327. Este valor puede usarse para construir límites de predicción para nuevas observaciones, seleccionando la opción de Pronósticos del menú de texto.



Grafica 10: Modelado Box Cox de la Humedad.

En la gráfica N° 10, observamos varios diseños o curvas características las cuales permiten comparar el efecto de varias transformaciones de potencia de la humedad, la cual previamente se a correlacionado linealmente, obteniéndose así un modelo ajustado, mostrado como una línea sólida.

- **MODELADO DE LOS GRADOS BRUX vs TIEMPO**
 - ✓ Transformaciones Box-Cox - - GRADOS BRUX 3 versus TIEMPO 3
 - ✓ Potencia = 2,482 Cambio = 0,0
 - ✓ Variable dependiente: GRADOS BRUX 3
 - ✓ Variable independiente: TIEMPO 3

Cuadro 20: Ajuste Lineal

Parámetro	Estimado	Error Estándar	Estadístico	
			T	Valor-P
Intercepto	2,40403	0,414776	5,79597	0,0022
Pendiente	3,98207	0,115038	34,6151	0,0000

Cuadro 21: Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	443,992	1	443,992	1198,21	0,0000
Residuo	1,85273	5	0,370547		
Total (Corr.)	445,845	6			

- ✓ Coeficiente de Correlación = 0,99792
- ✓ R-cuadrada = 99,5844 por ciento
- ✓ Error estándar del est. = 0,608725

Intervalo aproximado del 95% de confianza para la potencia: 1,992 a 2,983

Este procedimiento está diseñado para permitir comparar el efecto de varias transformaciones de potencia de la variable GRADOS BRIX 3 en la regresión lineal entre ella y TIEMPO 3. La ecuación del modelo ajustado, mostrado como una línea sólida, es:

$$\text{Box Cox}(\text{GRADOS BRIX } 3) = 2.40403 + 3.98207 * \text{TIEMPO } 3$$

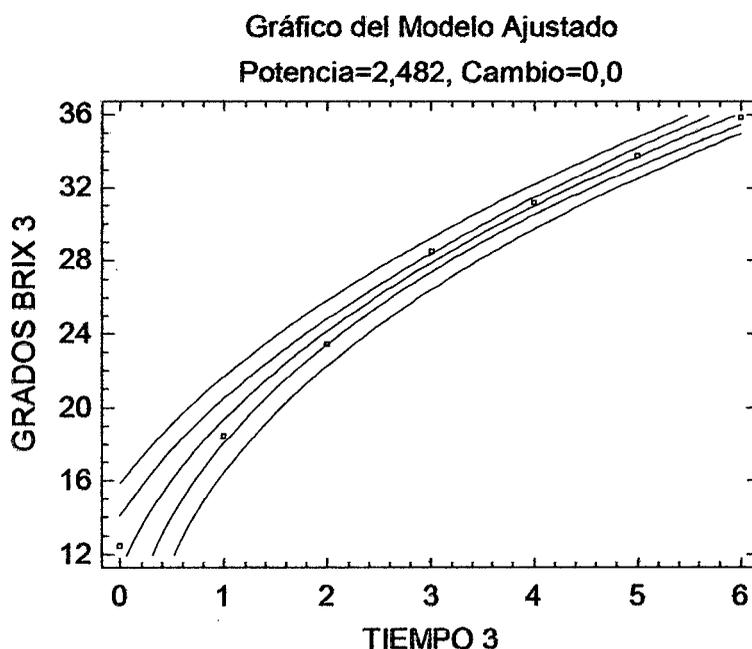
Donde:

$$\text{Box Cox}(\text{GRADOS BRIX } 3) = 1 + \frac{(\text{GRADOS BRIX } 3^{2.482} - 1)}{2.482 * 24.8696^{1.482}}$$

Esta es una transformación Box-Cox con una potencia determinada de tal forma que se minimice el cuadrado medio del error (CME). Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0,05, existe una relación estadísticamente significativa entre GRADOS BRIX 3 y TIEMPO 3 con un nivel de confianza del 95%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 99,5844% de la variabilidad en GRADOS BRIX 3. El coeficiente de correlación es igual a 0,99792, indicando

una relación relativamente fuerte entre las variables. El error estándar del estimado indica que la desviación estándar de los residuos es 0,608725. Este valor puede usarse para construir límites de predicción para nuevas observaciones, seleccionando la opción de Pronóstico.



Grafica 11: Modelado Box Cox Grados Brix.

En la gráfica N° 11, observamos varios diseños o curvas características las cuales permiten comparar el efecto de varias transformaciones de potencia de los grados °Brix, la cual previamente se a correlacionado linealmente, obteniéndose así un modelo ajustado, mostrado como una línea sólida.

- **MODELADO DE LA ACTIVIDAD DE AGUA vs TIEMPO**
 - ✓ Transformaciones Box-Cox - - ACTIVIDAD DE AGUA 3 versus TIEMPO 3
 - ✓ Potencia = -2,458 Cambio = 0,0
 - ✓ Variable dependiente: ACTIVIDAD DE AGUA 3
 - ✓ Variable independiente: TIEMPO 3

Cuadro 22: Ajuste Lineal

Parámetro	Estimado	Error Estándar	Estadístico	
			T	Valor-P
Intercepto	0,974077	0,00259992	374,657	0,0000
Pendiente	-0,0527578	0,000721088	-73,1642	0,0000

Cuadro 23: Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	0,0779349	1	0,0779349	5353,01	0,0000
Residuo	0,0000727954	5	0,0000145591		
Total (Corr.)	0,0780077	6			

- ✓ Coeficiente de Correlación = -0,999533
- ✓ R-cuadrada = 99,9067 por ciento
- ✓ Error estándar del est. = 0,00381564

Intervalo aproximado del 95% de confianza para la potencia: -2,884 a -2,034.

Este procedimiento está diseñado para permitir comparar el efecto de varias transformaciones de potencia de la variable ACTIVIDAD DE AGUA 3 en la regresión lineal entre ella y TIEMPO 3. La ecuación del modelo ajustado, mostrado como una línea sólida, es:

$$\text{Box Cox}(\text{ACTIVIDAD DE AGUA 3}) = 0.974077 - 0.0527578 * \text{TIEMPO 3}$$

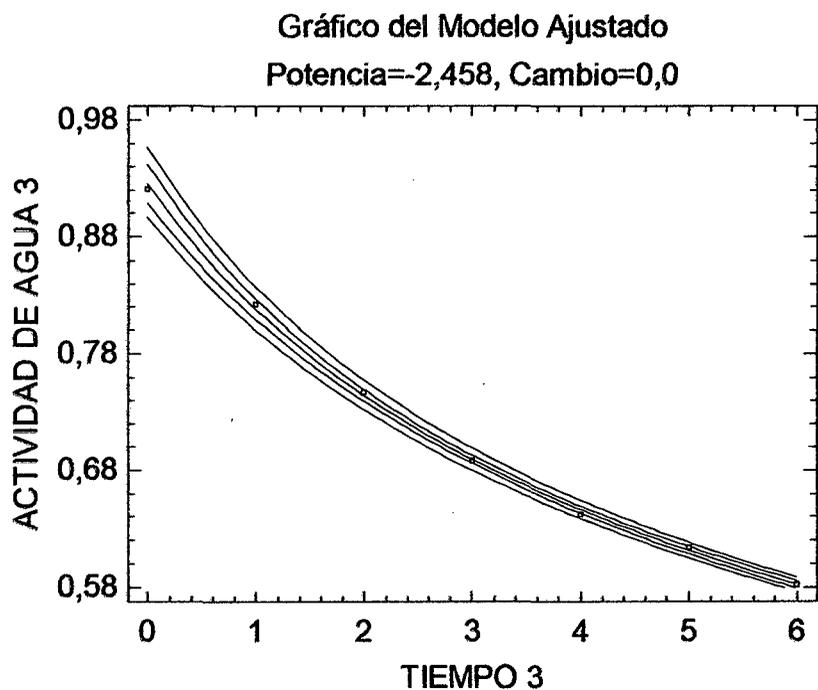
Donde:

$$\text{Box Cox}(\text{ACTIVIDAD DE AGUA 3}) = 1 + \frac{(\text{ACTIVIDAD DE AGUA 3}^{-2.458} - 1)}{-2.458 * 0.709003^{-3.458}}$$

Esta es una transformación Box-Cox con una potencia determinada de tal forma que se minimice el cuadrado medio del error (CME). Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0,05, existe una relación

estadísticamente significativa entre ACTIVIDAD DE AGUA 3 y TIEMPO 3 con un nivel de confianza del 95%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 99,9067% de la variabilidad en ACTIVIDAD DE AGUA 3. El coeficiente de correlación es igual a -0,999533, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables. El error estándar del estimado indica que la desviación estándar de los residuos es 0,00381564.



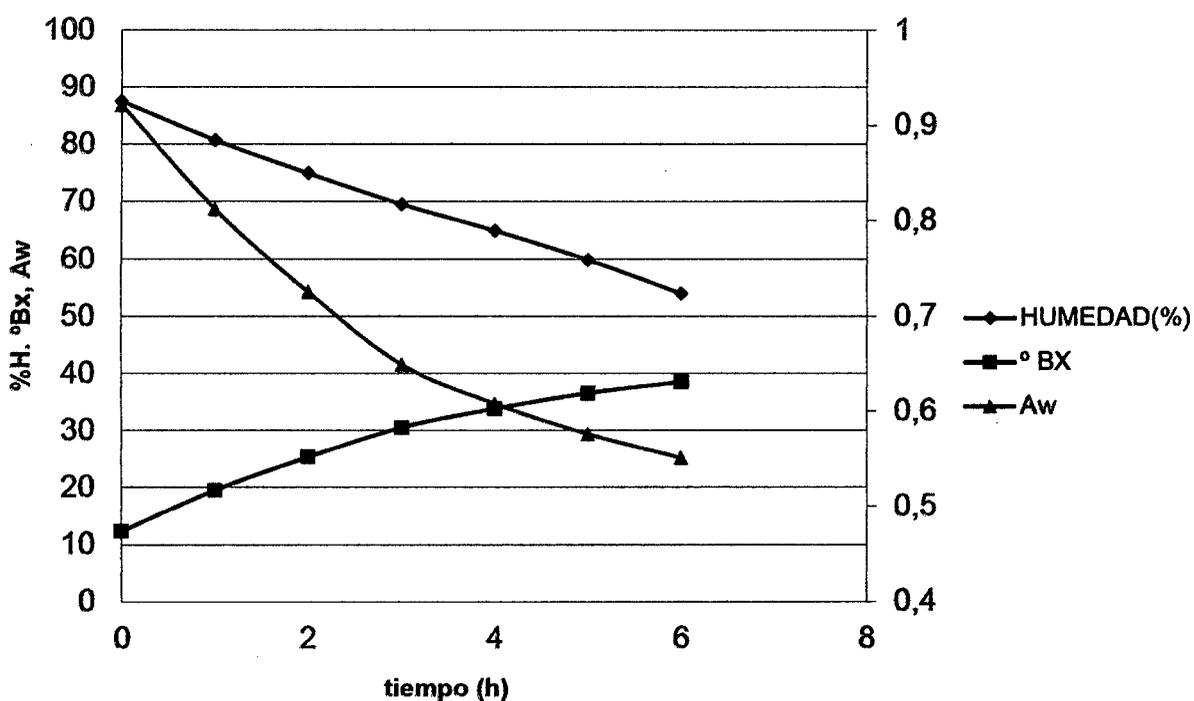
Grafica 12: Modelado Box Cox Actividad de Agua

En la gráfica N° 12, observamos varios diseños o curvas características las cuales permiten comparar el efecto de varias transformaciones de potencia de la aw, la cual previamente se a correlacionado linealmente, obteniéndose así un modelo ajustado, mostrado como una línea sólida.

4.2.4. EFECTO DEL SECADO POR OSMOSIS A 40 °BX Y 40°C:

Cuadro 24: Dependencia de la Humedad (%), Grados Brix y Actividad de Agua

T(h)	Humedad (%)	°Brix	Aw
0	87,5	12,3	0,921
1	80,7	19,5	0,812
2	74,9	25,3	0,725
3	69,5	30,5	0,649
4	64,9	33,8	0,608
5	59,8	36,5	0,576
6	53,9	38,5	0,551



Grafica 13: Curvas de modelado de los Grados Brix, Humedad y Actividad de Agua

En la gráfica N° 13, observamos el comportamiento de la humedad de cual presenta un valor inicial de 87.5%, esta caída se produce hasta un valor de 53.9%, a causa de la gradiente de concentración causada por la presión osmótica, en esta caso de 40 °Brix, este proceso se acelera, también a causa de la temperatura de osmosis la cual en este caso es de 40 °C, también lo observamos el mismo

mecanismo en la aw y la concentración de °Brix a través del tiempo, la aw disminuye desde un valor de 0,921 hasta 0,551 y los °Brix desde un valor de 12,5 a 38,5, esto se debe al fenómeno de difusibilidad. Esto es contrastado con los resultados de Guzman C. et al; 2007. En su “Estudio de la variable de deshidratación osmótica en la cinética de secado de tres variedades de papa”.

• **MODELADO DE LA HUMEDAD(%) vs TIEMPO**

- ✓ Transformaciones Box-Cox - - HUMEDAD 4 versus TIEMPO 4
- ✓ Potencia = 0,524 Cambio = 0,0
- ✓ Variable dependiente: HUMEDAD 4
- ✓ Variable independiente: TIEMPO 4

Cuadro 25: Ajuste Lineal

<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
			<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	135,681	0,352461	384,954	0,0000
Pendiente	-5,43368	0,0977552	-55,5846	0,0000

Cuadro 26: Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	826,698	1	826,698	3089,65	0,0000
Residuo	1,33785	5	0,26757		
Total (Corr.)	828,036	6			

- ✓ Coeficiente de Correlación = -0,999192
- ✓ R-cuadrada = 99,8384 por ciento
- ✓ Error estándar del est. = 0,517272

Intervalo aproximado del 95% de confianza para la potencia: 0,064 a 0,985.

Este procedimiento está diseñado para permitir comparar el efecto de varias transformaciones de potencia de la

variable HUMEDAD 4 en la regresión lineal entre ella y TIEMPO 4. La ecuación del modelo ajustado, mostrado como una línea sólida, es:

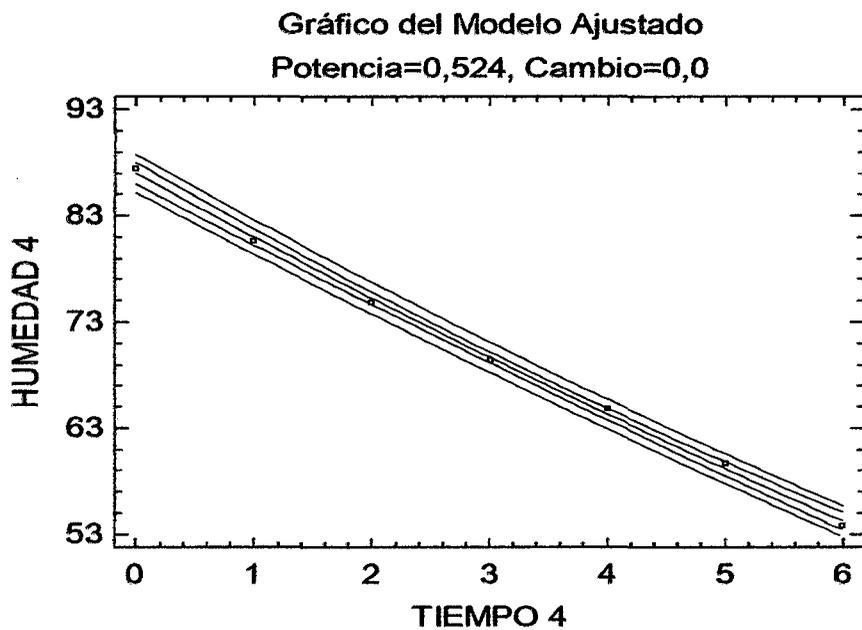
$$\text{Box Cox}(\text{HUMEDAD 4}) = 135.681 - 5.43368 * \text{TIEMPO 4}$$

Donde

$$\text{Box Cox}(\text{HUMEDAD 4}) = 1 + \frac{(\text{HUMEDAD 4}^{0.524} - 1)}{0.524 * 69.3171^{-0.476}}$$

Esta es una transformación Box-Cox con una potencia determinada de tal forma que se minimice el cuadrado medio del error (CME). Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0,05, existe una relación estadísticamente significativa entre HUMEDAD 4 y TIEMPO 4 con un nivel de confianza del 95%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 99,8384% de la variabilidad en HUMEDAD 4. El coeficiente de correlación es igual a -0,999192, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables. El error estándar del estimado indica que la desviación estándar de los residuos es 0,517272. Este valor puede usarse para construir límites de predicción para nuevas observaciones, seleccionando la opción de Pronósticos del menú de texto.



Grafica 14: Modelado Box Cox-Humedad

En la gráfica N° 14, observamos varios diseños o curvas características las cuales permiten comparar el efecto de varias transformaciones de potencia de la humedad, la cual previamente se a correlacionado linealmente, obteniéndose así un modelo ajustado, mostrado como una línea sólida.

- **MODELADO DE LOS GRADOS BRIX vs TIEMPO**
 - ✓ Transformaciones Box-Cox - - GRADOS BRIX 4 versus TIEMPO 4
 - ✓ Potencia = 2,553 Cambio = 0,0
 - ✓ Variable dependiente: GRADOS BRIX 4
 - ✓ Variable independiente: TIEMPO 4

Cuadro 27: Ajuste Lineal

Parámetro	Estimado	Error Estándar	Estadístico	
			T	Valor-P
Intercepto	2,00997	0,468531	4,28994	0,0078
Pendiente	4,47253	0,129947	34,4181	0,0000

Cuadro 28: Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	560,099	1	560,099	1184,60	0,0000
Residuo	2,36408	5	0,472816		
Total (Corr.)	562,464	6			

- ✓ Coeficiente de Correlación = 0,997896
- ✓ R-cuadrada = 99,5797 por ciento
- ✓ Error estándar del est. = 0,687616

Intervalo aproximado del 95% de confianza para la potencia: 2,073 a 3,047

Este procedimiento está diseñado para permitir comparar el efecto de varias transformaciones de potencia de la variable GRADOS BRIX 4 en la regresión lineal entre ella y TIEMPO 4. La ecuación del modelo ajustado, mostrado como una línea sólida, es:

$$\text{Box Cox (GRADOS BRIX 4)} = 2.00997 + 4.47253 * \text{TIEMPO 4}$$

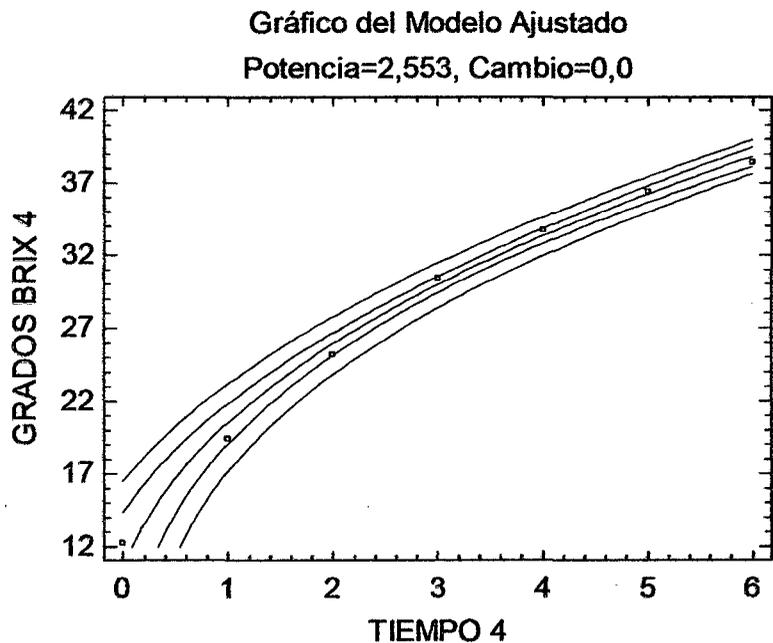
Donde:

$$\text{Box-Cox (GRADOS BRIX 4)} = 1 + \frac{(\text{GRADOS BRIX 4}^{2.553} - 1)}{2.553 * 26.3376^{1.553}}$$

Esta es una transformación Box-Cox con una potencia determinada de tal forma que se minimice el cuadrado medio del error (CME). Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0,05, existe una relación

estadísticamente significativa entre GRADOS BRIX 4 y TIEMPO 4 con un nivel de confianza del 95%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 99,5797% de la variabilidad en GRADOS BRIX 4. El coeficiente de correlación es igual a 0,997896, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables. El error estándar del estimado indica que la desviación estándar de los residuos es 0,687616. Este valor puede usarse para construir límites de predicción para nuevas observaciones.



Grafica 15: Modelado Box Cox- Grados Brix.

En la gráfica N° 12, observamos varios diseños o curvas características las cuales permiten comparar el efecto de varias transformaciones de potencia de los °Brix, la cual previamente se a correlacionado linealmente, obteniéndose así un modelo ajustado, mostrado como una línea sólida.

• **MODELADO DE LA ACTIVIDAD DE AGUA vs TIEMPO**

- ✓ Transformaciones Box-Cox - - ACTIVIDAD DE AGUA 4 versus TIEMPO 4
- ✓ Potencia = -2,765 Cambio = 0,0
- ✓ Variable dependiente: ACTIVIDAD DE AGUA 4
- ✓ Variable independiente: TIEMPO 4

Cuadro 29: Ajuste Lineal

<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
			<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	0,984371	0,00508823	193,46	0,0000
Pendiente	-0,0577105	0,00141122	-40,894	0,0000

Cuadro 30: Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	0,0932541	1	0,0932541	1672,32	0,0000
Residuo	0,000278816	5	0,0000557633		
Total (Corr.)	0,0935329	6			

- ✓ Coeficiente de Correlación = -0,998508
- ✓ R-cuadrada = 99,7019 porciento
- ✓ Error estándar del est. = 0,00746748

Intervalo aproximado del 95% de confianza para la potencia: -3,507 a -2,031.

Este procedimiento está diseñado para permitir comparar el efecto de varias transformaciones de potencia de la variable ACTIVIDAD DE AGUA 4 en la regresión lineal entre ella y TIEMPO 4. La ecuación del modelo ajustado, mostrado como una línea sólida, es:

$$\text{Box Cox (ACTIVIDAD DE AGUA 4)} = -0,984371 - 0,0577105 * \text{TIEMPO 4}$$

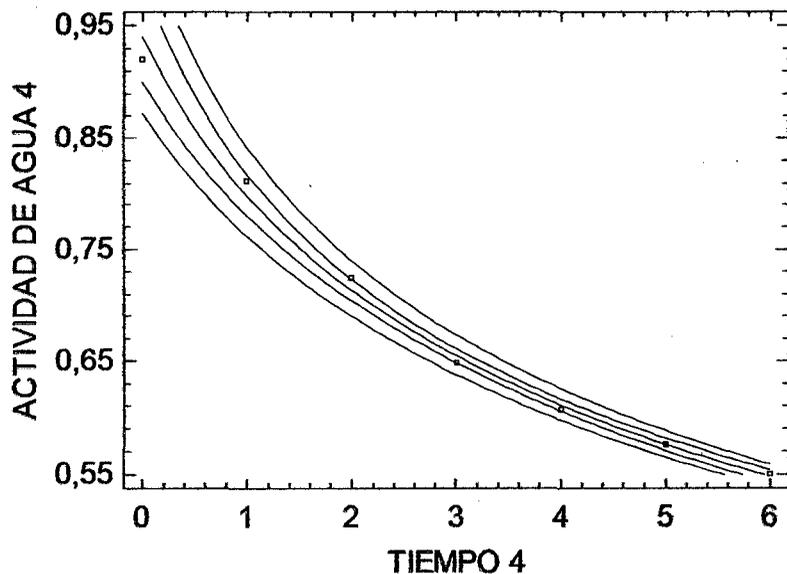
Donde:

$$\text{Box Cox (ACTIVIDAD DE AGUA 4)} = 1 + \frac{(\text{ACTIVIDAD DE AGUA 4}^{-2.765} - 1)}{-2.765 * 0.680966^{-3.765}}$$

Esta es una transformación Box-Cox con una potencia determinada de tal forma que se minimice el cuadrado medio del error (CME). Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0,05, existe una relación estadísticamente significativa entre ACTIVIDAD DE AGUA 4 y TIEMPO 4 con un nivel de confianza del 95%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 99,7019% de la variabilidad en ACTIVIDAD DE AGUA 4. El coeficiente de correlación es igual a -0,998508, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables. El error estándar del estimado indica que la desviación estándar de los residuos es 0,00746748. Este valor puede usarse para construir límites de predicción para nuevas observaciones.

Gráfico del Modelo Ajustado
Potencia=-2,765, Cambio=0,0



Grafica 16: Modelado Box Cox- Actividad de Agua

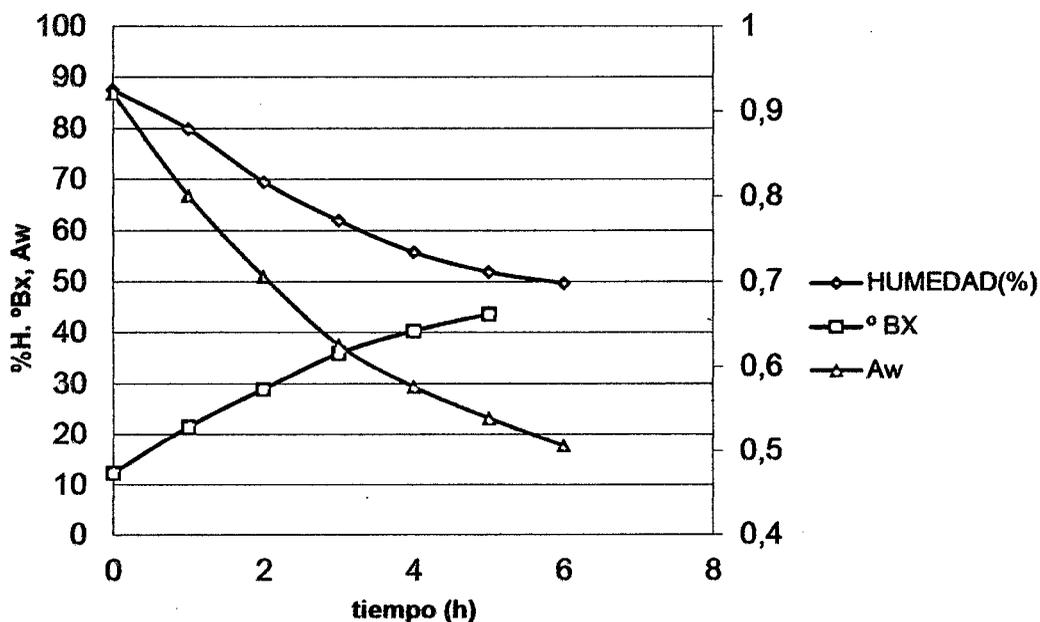
En la gráfica N° 16, observamos varios diseños o curvas características las cuales permiten comparar el efecto de

varias transformaciones de potencia de la a_w , la cual previamente se a correlacionado linealmente, obteniéndose así un modelo ajustado, mostrado como una línea sólida.

4.2.5. EFECTO DEL SECADO POR OSMOSIS A 50 °BX Y 30°C:

Cuadro 31: Dependencia de la Humedad (%), Grados Brix y Actividad de Agua

T(h)	Humedad (%)	°Brix	Aw
0	87,5	12,3	0,921
1	79,8	21,5	0,801
2	69,5	28,9	0,706
3	61,9	35,9	0,625
4	55,7	40,3	0,576
5	51,8	43,6	0,539
6	49,6	45,8	0,506



Grafica 17: Modelado de la Humedad (%), Grados Brix y Actividad de Agua.

En la gráfica N° 17, observamos el comportamiento de la humedad de cual presenta un valor inicial de 87.5%, esta caída se produce hasta un valor de 49.6%, a causa de la gradiente de concentración causada por la presión osmótica, en esta caso de 50 °Brix, este proceso se acelera,

también a causa de la temperatura de osmosis la cual en este caso es de 30 °C, también lo observamos el mismo mecanismo en la aw y la concentración de °Brix a través del tiempo, la aw disminuye desde un valor de 0,921 hasta 0,506 y los °Brix desde un valor de 12,5 a 45.8, esto se debe al fenómeno de difusibilidad. Esto es contrastado con los resultados de Guzman C. et al; 2007. En su “Estudio de la variable de deshidratación osmótica en la cinética de secado de tres variedades de papa”.

• **MODELADO DE LA HUMEDAD(%) vs TIEMPO**

- ✓ Transformaciones Box-Cox -- HUMEDAD 5 versus TIEMPO 5
- ✓ Potencia = -1,581 Cambio = 0,0
- ✓ Variable dependiente: HUMEDAD 5
- ✓ Variable independiente: TIEMPO 5

Cuadro 32: Ajuste Lineal

<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
			<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	28762,6	0,876129	32829,2	0,0000
Pendiente	-6,32239	0,242995	-26,0186	0,0000

Cuadro 33: Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	1119,23	1	1119,23	676,97	0,0000
Residuo	8,26649	5	1,6533		
Total (Corr.)	1127,5	6			

- ✓ Coeficiente de Correlación = -0,996327
- ✓ R-cuadrada = 99,2668 por ciento
- ✓ Error estándar del est. = 1,28581

Intervalo aproximado del 95% de confianza para la potencia: -2,63 a -0,546.

Este procedimiento está diseñado para permitir comparar el efecto de varias transformaciones de potencia de la variable HUMEDAD 5 en la regresión lineal entre ella y TIEMPO 5. La ecuación del modelo ajustado, mostrado como una línea sólida, es:

$$\text{Box Cox (HUMEDAD 5)} = 28762.6 - 6.32239 * \text{TIEMPO 5}$$

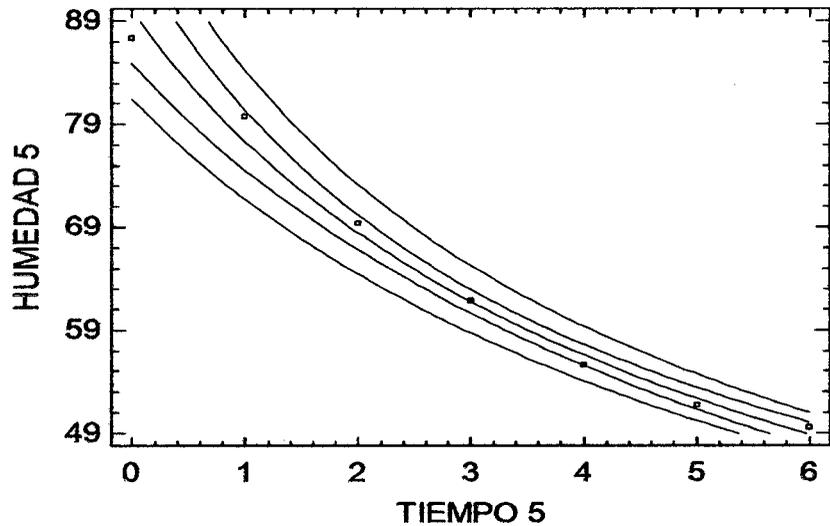
Donde:

$$\text{Box Cox (HUMEDAD 5)} = 1 + \frac{(\text{HUMEDAD 5}^{-1.581} - 1)}{-1.581 * 63.7918^{-2.581}}$$

Esta es una transformación Box-Cox con una potencia determinada de tal forma que se minimice el cuadrado medio del error (CME). Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0,05, existe una relación estadísticamente significativa entre HUMEDAD 5 y TIEMPO 5 con un nivel de confianza del 95%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 99,2668% de la variabilidad en HUMEDAD 5. El coeficiente de correlación es igual a -0,996327, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables. El error estándar del estimado indica que la desviación estándar de los residuos es 1,28581. Este valor puede usarse para construir límites de predicción para nuevas observaciones.

Gráfico del Modelo Ajustado
Potencia=-1,581, Cambio=0,0



Grafica 18: Modelado Box Cox de la Humedad (%).

En la gráfica N° 18, observamos varios diseños o curvas características las cuales permiten comparar el efecto de varias transformaciones de potencia de la humedad, la cual previamente se a correlacionado linealmente, obteniéndose así un modelo ajustado, mostrado como una línea sólida.

- **MODELADO DE LOS GRADOS BRUX vs TIEMPO**
 - ✓ Transformaciones Box-Cox - - GRADOS BRUX 5 versus TIEMPO 5
 - ✓ Potencia = 2,42 Cambio = 0,0
 - ✓ Variable dependiente: GRADOS BRUX 5
 - ✓ Variable independiente: TIEMPO 5

Cuadro 34: Ajuste Lineal

Parámetro	Estimado	Error Estándar	Estadístico	
			T	Valor-P
Intercepto	1,75684	0,812377	2,16259	0,0829
Pendiente	5,82564	0,225313	25,8558	0,0000

Cuadro 35: Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	950,267	1	950,267	668,52	0,0000
Residuo	7,10723	5	1,42145		
Total (Corr.)	957,375	6			

- ✓ Coeficiente de Correlación = 0,996281
- ✓ R-cuadrada = 99,2576 por ciento
- ✓ Error estándar del est. = 1,19224

Intervalo aproximado del 95% de confianza para la potencia: 1,83 a 3,037.

Este procedimiento está diseñado para permitir comparar el efecto de varias transformaciones de potencia de la variable GRADOS BRIX 5 en la regresión lineal entre ella y TIEMPO 5. La ecuación del modelo ajustado, mostrado como una línea sólida, es:

$$\text{Box Cox (GRADOS BRIX 5)} = 1.75684 + 5.82564 * \text{TIEMPO 5}$$

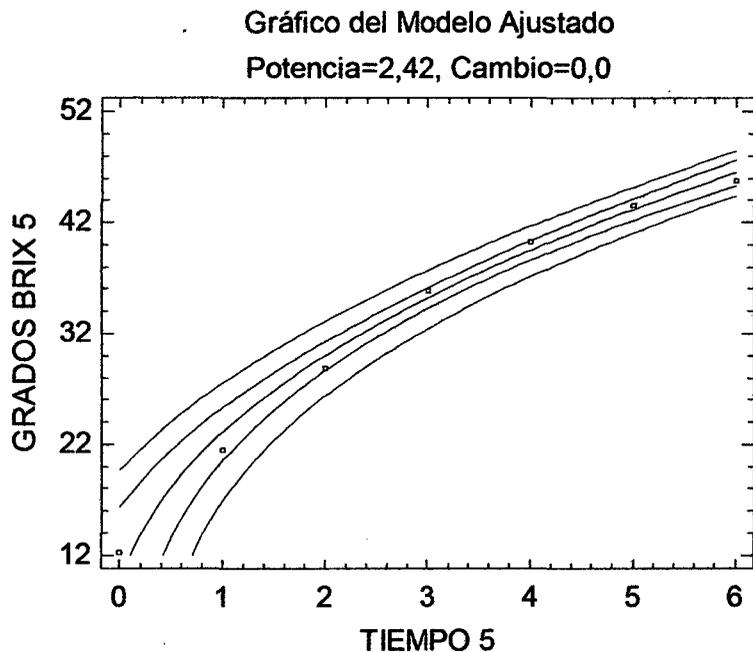
Donde:

$$\text{Box Cox (GRADOS BRIX 5)} = 1 + \frac{(\text{GRADOS BRIX 5}^{2.42} - 1)}{2.42 * 30.0409^{1.42}}$$

Esta es una transformación Box-Cox con una potencia determinada de tal forma que se minimice el cuadrado medio del error (CME). Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0,05, existe una relación estadísticamente significativa entre GRADOS BRIX 5 y TIEMPO 5 con un nivel de confianza del 95%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 99,2576% de la variabilidad en GRADOS BRIX 5.

El coeficiente de correlación es igual a 0,996281, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables. El error estándar del estimado indica que la desviación estándar de los residuos es 1,19224. Este valor puede usarse para construir límites de predicción para nuevas observaciones.



Grafica 19: Modelado Box Cox- Grados Brix.

En la gráfica N° 19, observamos varios diseños o curvas características las cuales permiten comparar el efecto de varias transformaciones de potencia de los °Brix, la cual previamente se a correlacionado linealmente, obteniéndose así un modelo ajustado, mostrado como una línea sólida.

• **MODELADO DE LA ACTIVIDAD DE AGUA vs TIEMPO**

- ✓ Transformaciones Box-Cox - - ACTIVIDAD DE AGUA 5 versus TIEMPO 5
- ✓ Potencia = -1,908 Cambio = 0,0
- ✓ Variable dependiente: ACTIVIDAD DE AGUA 5
- ✓ Variable independiente: TIEMPO 5

Cuadro 36: Ajuste Lineal

Parámetro	Estimado	Error Estándar	Estadístico	
			T	Valor-P
Intercepto	0,978727	0,0038842	251,977	0,0000
Pendiente	-0,0645897	0,00107728	-59,9561	0,0000

Cuadro 37: Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	0,116811	1	0,116811	3594,73	0,0000
Residuo	0,000162475	5	0,0000324951		
Total (Corr:)	0,116974	6			

- ✓ Coeficiente de Correlación = -0,999305
- ✓ R-cuadrada = 99,8611 por ciento
- ✓ Error estándar del est. = 0,00570045

Intervalo aproximado del 95% de confianza para la potencia: -2,317 a -1,502.

Este procedimiento está diseñado para permitir comparar el efecto de varias transformaciones de potencia de la variable ACTIVIDAD DE AGUA 5 en la regresión lineal entre ella y TIEMPO 5. La ecuación del modelo ajustado, mostrado como una línea sólida, es:

$$\text{Box Cox}(\text{ACTIVIDAD DE AGUA 5}) = 0.978727 - 0.0645897 * \text{TIEMPO 5}$$

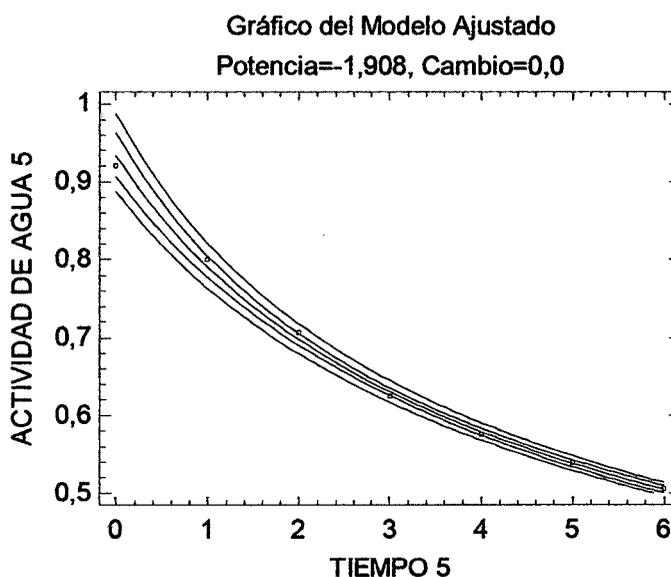
Donde:

$$\text{Box Cox}(\text{ACTIVIDAD DE AGUA 5}) = -1 + \frac{(\text{ACTIVIDAD DE AGUA 5}^{-1.908} - 1)}{-1.908 * 0.653934^{-2.908}}$$

Esta es una transformación Box-Cox con una potencia determinada de tal forma que se minimice el cuadrado medio del error (CME). Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0,05, existe una relación

estadísticamente significativa entre ACTIVIDAD DE AGUA 5 y TIEMPO 5 con un nivel de confianza del 95%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 99,8611% de la variabilidad en ACTIVIDAD DE AGUA 5. El coeficiente de correlación es igual a -0,999305, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables. El error estándar del estimado indica que la desviación estándar de los residuos es 0,00570045. Este valor puede usarse para construir límites de predicción para nuevas observaciones.



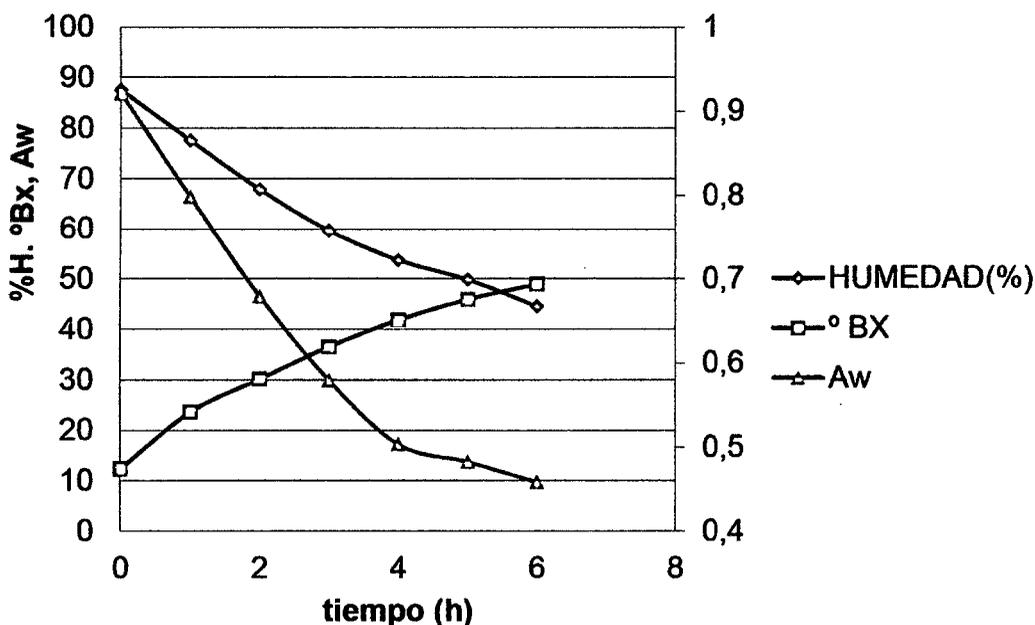
Grafica 20: Modelado Box Cox- Actividad de Agua.

En la gráfica N° 20, observamos varios diseños o curvas características las cuales permiten comparar el efecto de varias transformaciones de potencia de la aw, la cual previamente se a correlacionado linealmente, obteniéndose así un modelo ajustado, mostrado como una línea sólida.

4.2.6. EFECTO DEL SECADO POR OSMOSIS A 50 °BX Y 40 °C:

Cuadro 38: Dependencia de la Humedad (%), Grados Brix y Actividad de Agua

T(h)	HUMEDAD (%)	° BX	Aw
0	87,5	12,3	0,921
1	77,5	23,5	0,798
2	67,8	30,1	0,679
3	59,6	36,5	0,579
4	53,7	41,8	0,503
5	49,8	45,9	0,482
6	44,5	48,9	0,458



Grafica 21: Modelado de la Humedad (%), Grados Brix y Actividad de Agua.

En la gráfica N° 21, observamos el comportamiento de la humedad de cual presenta un valor inicial de 87.5%, esta caída se produce hasta un valor de 44.5%, a causa de la gradiente de concentración causada por la presión osmótica, en esta caso de 50 °Brix, este proceso se acelera, también a causa de la temperatura de osmosis la cual en este caso es de 40 °C, también lo observamos el mismo mecanismo en la aw y la concentración de °Brix a través del tiempo, la aw disminuye desde un valor de 0,921 hasta

0,458 y los °Brix desde un valor de 12,5 a 48.9, esto se debe al fenómeno de difusibilidad. Esto es contrastado con los resultados de Guzman C. et al; 2007. En su “Estudio de la variable de deshidratación osmótica en la cinética de secado de tres variedades de papa”.

• **MODELADO DE LA HUMEDAD(%) vs TIEMPO**

- ✓ Transformaciones Box-Cox -- HUMEDAD 6 versus TIEMPO 6
- ✓ Potencia = -0,712 Cambio = 0,0
- ✓ Variable dependiente: HUMEDAD 6
- ✓ Variable independiente: TIEMPO 6

Cuadro 39: Ajuste Lineal

Parámetro	Estimado	Error Estándar	Estadístico	
			T	Valor-P
Intercepto	1548,48	0,483055	3205,6	0,0000
Pendiente	-6,87467	0,133975	-51,3129	0,0000

Cuadro 40: Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	1323,31	1	1323,31	2633,01	0,0000
Residuo	2,51292	5	0,502584		
Total (Corr.)	1325,82	6			

- ✓ Coeficiente de Correlación = -0,999052
- ✓ R-cuadrada = 99,8105 porciento
- ✓ Error estándar del est. = 0,708931

Intervalo aproximado del 95% de confianza para la potencia: -1,097 a -0,326

Este procedimiento está diseñado para permitir comparar el efecto de varias transformaciones de potencia de la variable HUMEDAD 6 en la regresión lineal entre ella y

TIEMPO 6. La ecuación del modelo ajustado, mostrado como una línea sólida, es

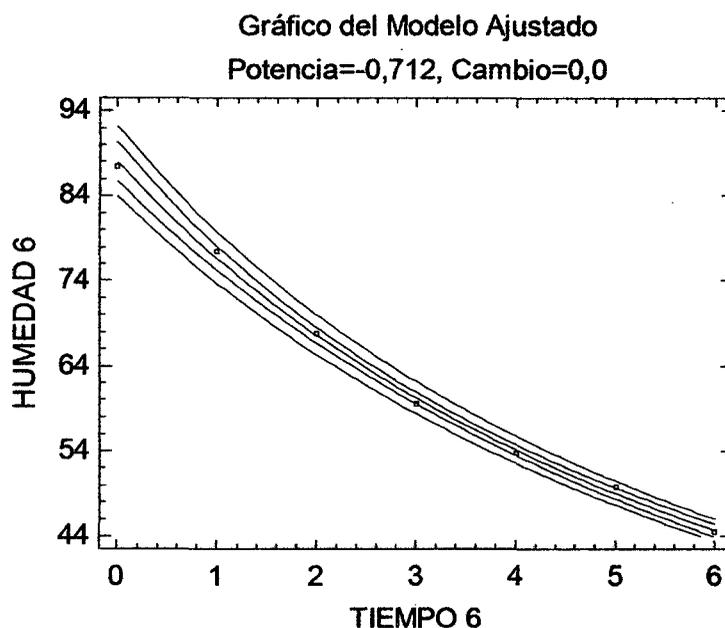
$$\text{Box Cox (HUMEDAD 6)} = 1548.48 - 6.87467 * \text{TIEMPO 6}$$

Donde:

$$\text{Box Cox (HUMEDAD 6)} = 1 + \frac{(\text{HUMEDAD 6}^{-0.712} - 1)}{-0.712 * 61.3227^{-1.712}}$$

Esta es una transformación Box-Cox con una potencia determinada de tal forma que se minimice el cuadrado medio del error (CME). Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0,05, existe una relación estadísticamente significativa entre HUMEDAD 6 y TIEMPO 6 con un nivel de confianza del 95%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 99,8105% de la variabilidad en HUMEDAD 6. El coeficiente de correlación es igual a -0,999052, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables. El error estándar del estimado indica que la desviación estándar de los residuos es 0,708931. Este valor puede usarse para construir límites de predicción para nuevas observaciones.



Grafica 22: Modelado Box Cox de la Humedad

En la gráfica N° 22, observamos varios diseños o curvas características las cuales permiten comparar el efecto de varias transformaciones de potencia de la humedad, la cual previamente se a correlacionado linealmente, obteniéndose así un modelo ajustado, mostrado como una línea sólida.

- **MODELADO DE LOS GRADOS BRIX vs TIEMPO**
 - ✓ Transformaciones Box-Cox - - GRADOS BRIX 6 versus TIEMPO 6
 - ✓ Potencia = 2,146 Cambio = 0,0
 - ✓ Variable dependiente: GRADOS BRIX 6
 - ✓ Variable independiente: TIEMPO 6

Cuadro 41: Ajuste Lineal

<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
			<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	2,78144	0,421653	6,59651	0,0012
Pendiente	6,14415	0,116945	52,5386	0,0000

Cuadro 42: Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	1057,02	1	1057,02	2760,30	0,0000
Residuo	1,91467	5	0,382935		
Total (Corr.)	1058,93	6			

✓ Coeficiente de Correlación = 0,999096

✓ R-cuadrada = 99,8192 por ciento

✓ Error estándar del est. = 0,618817

Intervalo aproximado del 95% de confianza para la potencia: 1,899 a 2,4.

Este procedimiento está diseñado para permitir comparar el efecto de varias transformaciones de potencia de la variable GRADOS BRIX 6 en la regresión lineal entre ella y TIEMPO-6. La ecuación del modelo ajustado, mostrado como una línea sólida, es:

$$\text{Box Cox (GRADOS BRIX 6)} = 2.78144 + 6.14415 * \text{TIEMPO 6}$$

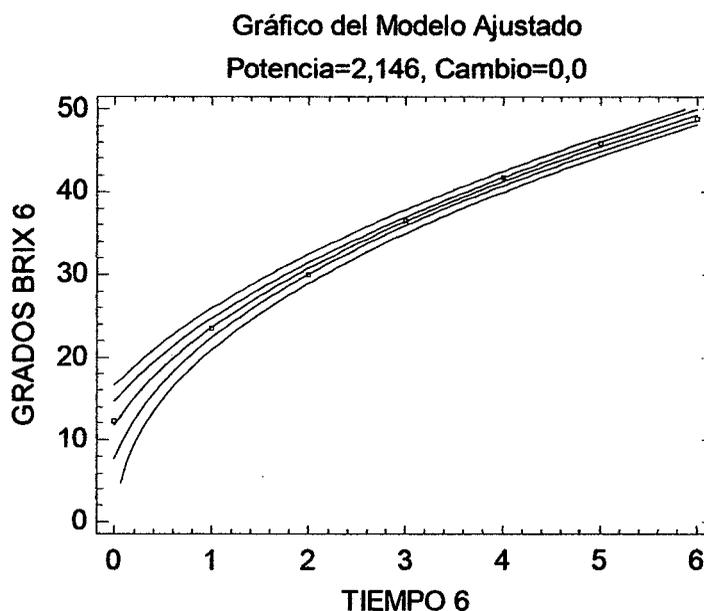
Dónde:

$$\text{Box Cox (GRADOS BRIX-6)} = 1 + \frac{(\text{GRADOS BRIX } 6^{2.146} - 1)}{2.146 * 31.3548^{1.146}}$$

Esta es una transformación Box-Cox con una potencia determinada de tal forma que se minimice el cuadrado medio del error (CME). Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0,05, existe una relación estadísticamente significativa entre GRADOS BRIX 6 y TIEMPO 6 con un nivel de confianza del 95%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 99,8192% de la variabilidad en GRADOS BRIX 6.

El coeficiente de correlación es igual a 0,999096, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables. El error estándar del estimado indica que la desviación estándar de los residuos es 0,618817. Este valor puede usarse para construir límites de predicción para nuevas observaciones.



Grafica 23: Modelado Box Cox-Grados Brix.

En la gráfica N° 23, observamos varios diseños o curvas características las cuales permiten comparar el efecto de varias transformaciones de potencia del °Brix, la cual previamente se a correlacionado linealmente, obteniéndose así un modelo ajustado, mostrado como una línea sólida.

- **MODELADO DE LA ACTIVIDAD DE AGUA vs TIEMPO**

- ✓ Transformaciones Box-Cox - - ACTIVIDAD DE AGUA 6 versus TIEMPO 6
- ✓ Potencia = -1,894 Cambio = 0,0
- ✓ Variable dependiente: ACTIVIDAD DE AGUA 6
- ✓ Variable independiente: TIEMPO 6

Cuadro 43: Ajuste Lineal

Parámetro	Estimado	Error Estándar	Estadístico	
			T	Valor-P
Intercepto	0,990347	0,0151507	65,3662	0,0000
Pendiente	-0,0734851	0,00420206	-17,4879	0,0000

Cuadro 44: Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	0,151202	1	0,151202	305,83	0,0000
Residuo	0,00247202	5	0,000494405		
Total (Corr.)	0,153674	6			

- ✓ Coeficiente de Correlación = -0,991924
- ✓ R-cuadrada = 98,3914 por ciento
- ✓ Error estándar del est. = 0,0222352

Intervalo aproximado del 95% de confianza para la potencia: -3,3 a -0,558.

Este procedimiento está diseñado para permitir comparar el efecto de varias transformaciones de potencia de la variable ACTIVIDAD DE AGUA 6 en la regresión lineal entre ella y TIEMPO 6. La ecuación del modelo ajustado, mostrado como una línea sólida, es

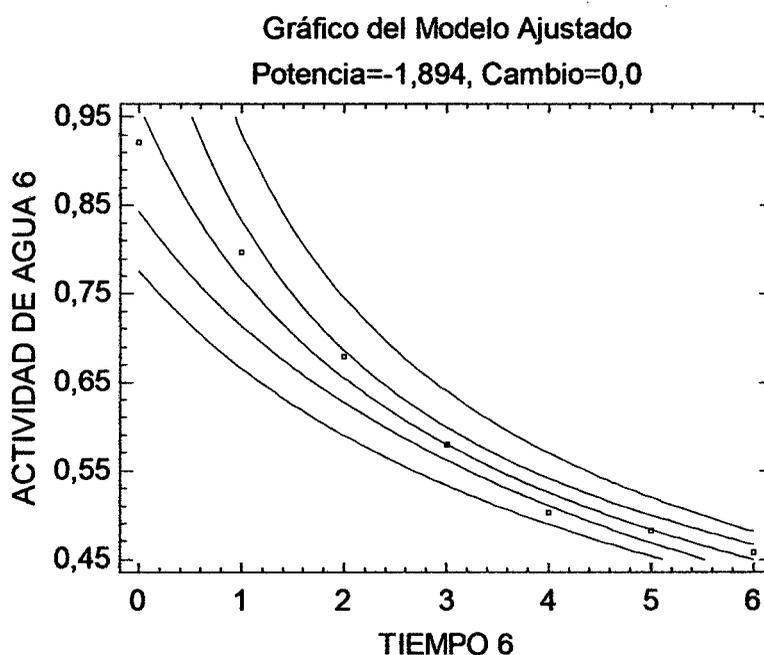
$$\text{Box Cox (ACTIVIDAD DE AGUA 6)} = 0.990347 - 0.0734851 * \text{TIEMPO 6}$$

Dónde:

$$\text{Box.Cox.}(ACTIVIDAD DE AGUA 6) = 1 + \frac{(ACTIVIDAD DE AGUA 6^{-1.894} - 1)}{-1.894 * 0.611805^{-2.894}}$$

Esta es una transformación Box-Cox con una potencia determinada de tal forma que se minimice el cuadrado medio del error (CME). Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0,05, existe una relación estadísticamente significativa entre ACTIVIDAD DE AGUA 6 y TIEMPO 6 con un nivel de confianza del 95%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 98,3914% de la variabilidad en ACTIVIDAD DE AGUA 6. El coeficiente de correlación es igual a -0,991924, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables. El error estándar del estimado indica que la desviación estándar de los residuos es 0,0222352. Este valor puede usarse para construir límites de predicción para nuevas observaciones.



Gráfica 24: Modelado Box Cox-Actividad de Agua.

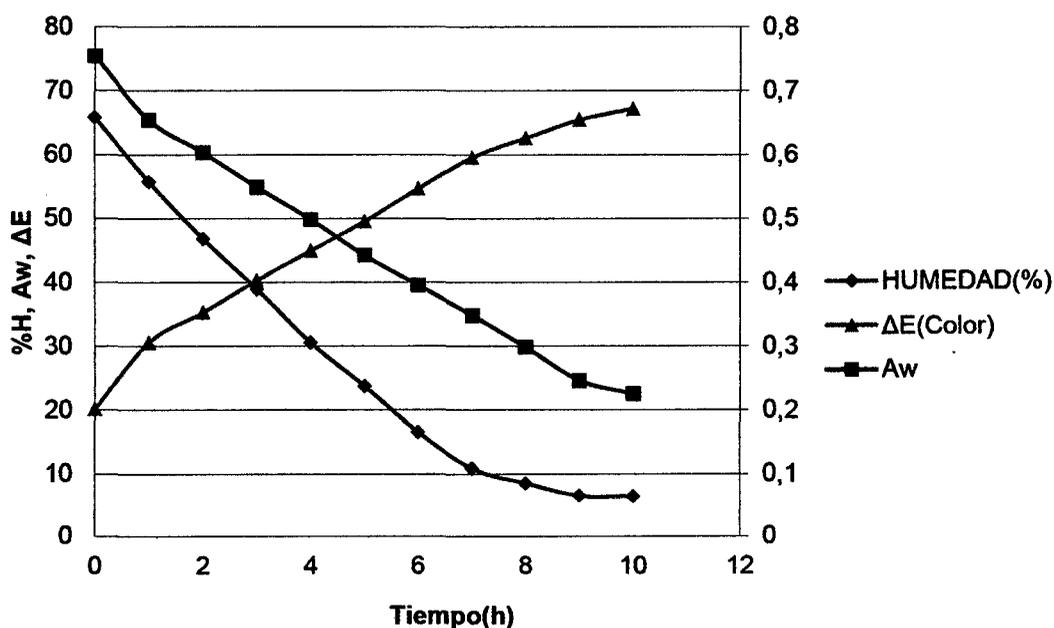
En la gráfica N° 24, observamos varios diseños o curvas características las cuales permiten comparar el efecto de varias transformaciones de potencia de la aw, la cual previamente se a correlacionado linealmente, obteniéndose así un modelo ajustado, mostrado como una línea sólida.

4.3. SECADO POR BANDEJAS

4.3.1. EFECTO DEL SECADO POR OSMOSIS A 30 °BX, 30°C Y SECADO POR AIRE CALIENTE A 55°C:

Cuadro 45: Dependencia de la Humedad (%), Color (ΔE) y Actividad de Agua.

T(h)	HUMEDAD (%)	Aw	ΔE (Color)
0	65,8	0,754	20,152
1	55,7	0,654	30,546
2	46,8	0,603	35,264
3	38,9	0,549	40,289
4	30,5	0,498	44,968
5	23,7	0,442	49,525
6	16,5	0,395	54,695
7	10,8	0,348	59,52
8	8,5	0,298	62,585
9	6,5	0,246	65,455
10	6,41	0,225	67,198



Grafica 25: Modelado de la Humedad (%), Color (ΔE) y Actividad de Agua

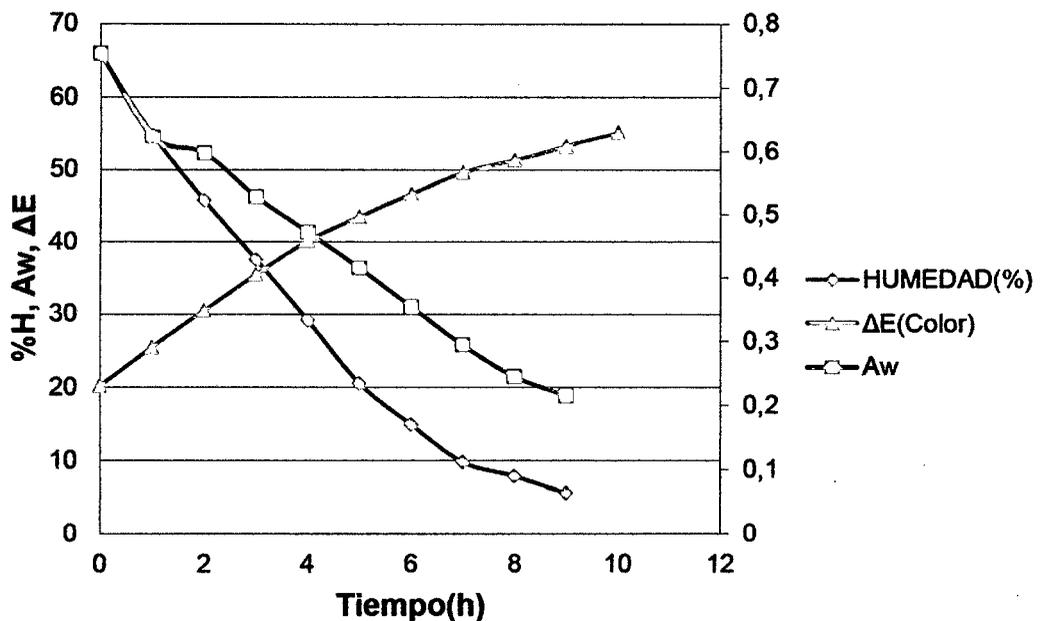
En la gráfica N° 25, observamos el comportamiento de la humedad de cual presenta un valor inicial de 65.8%, esta caída se produce hasta un valor de 6.41%, a causa de la gradiente de concentración causada por la presión osmótica, en esta caso de 30 °Brix, este proceso se acelera, también a causa de la temperatura de osmosis la cual en este caso es de 30 °C y secado por aire caliente a 55°C.;

también lo observamos el mismo mecanismo en la a_w y la concentración de °Brix a través del tiempo, la a_w disminuye desde un valor de 0.754 hasta 0,225 y la ΔE (color) desde un valor de 20.153 a 67,198 esto se debe al fenómeno de difusibilidad. Esto es contrastado con los resultados de **Guzman C. et al; 2007**. En su “*Estudio de la variable de deshidratación osmótica en la cinética de secado de tres variedades de papa*”.

4.3.2. EFECTO DEL SECADO POR OSMOSIS A 30 °BX, 30°C Y SECADO POR AIRE CALIENTE A 65°C

Cuadro 46: Dependencia de la Humedad (%), Color (ΔE) y Actividad de Agua

T(h)	HUMEDAD (%)	Aw	ΔE (Color)
0	65,8	0,754	20,152
1	54,8	0,623	25,455
2	45,7	0,597	30,458
3	37,5	0,528	35,451
4	29,1	0,472	40,1235
5	20,5	0,415	43,457
6	14,9	0,354	46,595
7	9,8	0,294	49,595
8	7,9	0,245	51,295
9	5,6	0,215	53,215
10	5,01	0,181	55,156



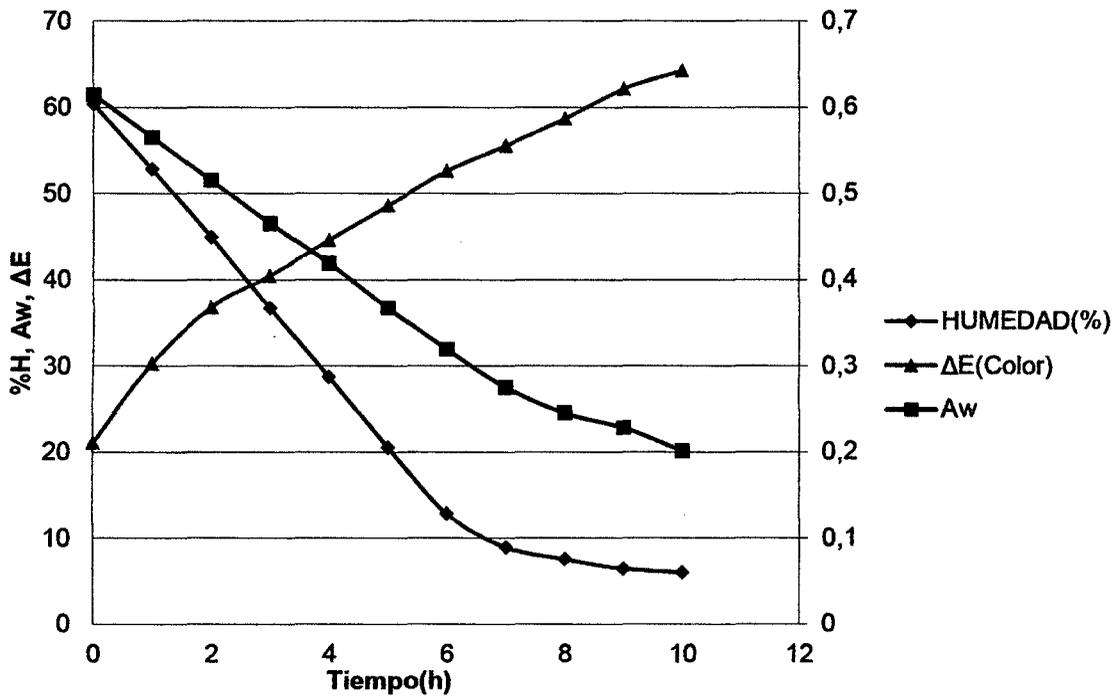
Grafica 26: Modelado de la Humedad (%), Color (ΔE) y Actividad de Agua.

En la gráfica N° 26, observamos el comportamiento de la humedad de cual presenta un valor inicial de 65.8%, esta caída se produce hasta un valor de 5.01%, a causa de la gradiente de concentración causada por la presión osmótica, en esta caso de 30 °Brix, este proceso se acelera, también a causa de la temperatura de osmosis la cual en este caso es de 30 °C y secado por aire caliente a 65°C.; también lo observamos el mismo mecanismo en la aw y la concentración de °Brix a través del tiempo, la aw disminuye desde un valor de 0.754 hasta 0,181 y la ΔE (color) desde un valor de 20.153 a 55,156 esto se debe al fenómeno de difusibilidad. Esto es contrastado con los resultados de Guzman C. et al; 2007. En su "Estudio de la variable de deshidratación osmótica en la cinética de secado de tres variedades de papa".

4.3.3. EFECTO DEL SECADO POR OSMOSIS A 30 °BX, 40°C Y SECADO POR AIRE CALIENTE A 55°C:

Cuadro 47: Dependencia de la Humedad (%), Color (ΔE) y Actividad de Agua

T(h)	HUMEDAD (%)	Aw	ΔE (Color)
0	60,3	0,614	21,068
1	52,8	0,565	30,255
2	44,9	0,515	36,785
3	36,7	0,465	40,452
4	28,7	0,419	44,595
5	20,5	0,367	48,592
6	12,8	0,319	52,587
7	8,9	0,275	55,532
8	7,5	0,245	58,675
9	6,4	0,228	62,123
10	5,95	0,201	64,213



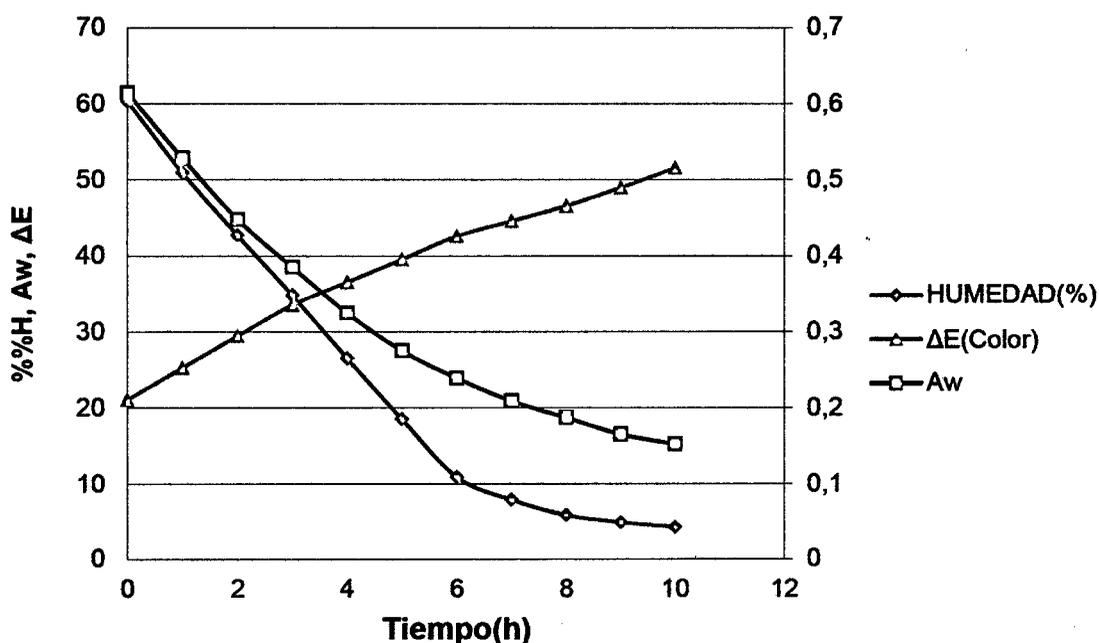
Grafica 27: Modelado de la Humedad (%), Color (ΔE) y Actividad de Agua

En la gráfica N° 27, observamos el comportamiento de la humedad de cual presenta un valor inicial de 60.3%, esta caída se produce hasta un valor de 5.95%, a causa de la gradiente de concentración causada por la presión osmótica, en esta caso de 30 °Brix, este proceso se acelera, también a causa de la temperatura de osmosis la cual en este caso es de 40 °C y secado por aire caliente a 55°C.; también lo observamos el mismo mecanismo en la aw y la concentración de °Brix a través del tiempo, la aw disminuye desde un valor de 0,614 hasta 0,201 y la ΔE (color) desde un valor de 21,068 a 64,213 esto se debe al fenómeno de difusibilidad. Esto es contrastado con los resultados de Guzman C. et al; 2007. En su “Estudio de la variable de deshidratación osmótica en la cinética de secado de tres variedades de papa”.

4.3.4. EFECTO DEL SECADO POR OSMOSIS A 30 °BX, 40°C Y SECADO POR AIRE CALIENTE A 65°C:

Cuadro 48: Dependencia de la Humedad (%), Color (ΔE) y Actividad de Agua

T(h)	HUMEDAD (%)	Aw	ΔE (Color)
0	60,3	0,614	21,068
1	50,9	0,528	25,254
2	42,7	0,448	29,451
3	34,8	0,385	33,524
4	26,5	0,325	36,547
5	18,5	0,275	39,549
6	10,9	0,239	42,575
7	7,9	0,209	44,575
8	5,9	0,187	46,575
9	4,9	0,165	48,957
10	4,25	0,152	51,546



Grafica 28: Modelado de la Humedad (%), Color (ΔE) y Actividad de Agua

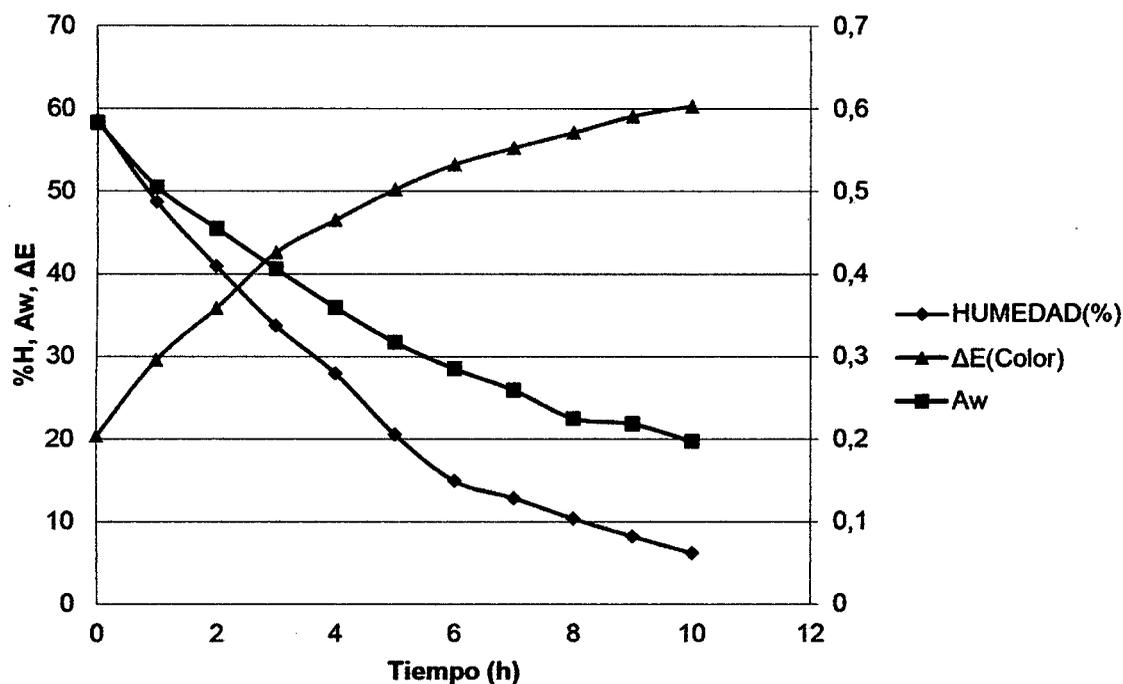
En la gráfica N° 28, observamos el comportamiento de la humedad de cual presenta un valor inicial de 60.3%, esta caída se produce hasta un valor de 4.25%, a causa de la gradiente de concentración causada por la presión osmótica, en esta caso de 30 °Brix, este proceso se acelera, también a causa de la temperatura de osmosis la cual en este caso es de 40 °C y secado por aire caliente a 65°C.;

también lo observamos el mismo mecanismo en la aw y la concentración de °Brix a través del tiempo, la aw disminuye desde un valor de 0,614 hasta 0.152 y la ΔE (color) desde un valor de 21,068 a 51.546 esto se debe al fenómeno de difusibilidad. Esto es contrastado con los resultados de Guzman C. et al; 2007. En su “Estudio de la variable de deshidratación osmótica en la cinética de secado de tres variedades de papa”.

4.3.5. EFECTO DEL SECADO POR OSMOSIS A 40 °BX, 30°C Y SECADO POR AIRE CALIENTE A 55°C:

Cuadro 49: Dependencia de la Humedad (%), Grados Brix y Actividad de Agua

T(h)	HUMEDAD (%)	Aw	ΔE(Color)
0	58,6	0,583	20,385
1	48,7	0,505	29,585
2	40,9	0,455	35,857
3	33,7	0,406	42,589
4	27,9	0,359	46,525
5	20,5	0,317	50,235
6	14,9	0,285	53,254
7	12,8	0,259	55,265
8	10,3	0,225	57,125
9	8,15	0,218	59,124
10	6,13	0,197	60,325



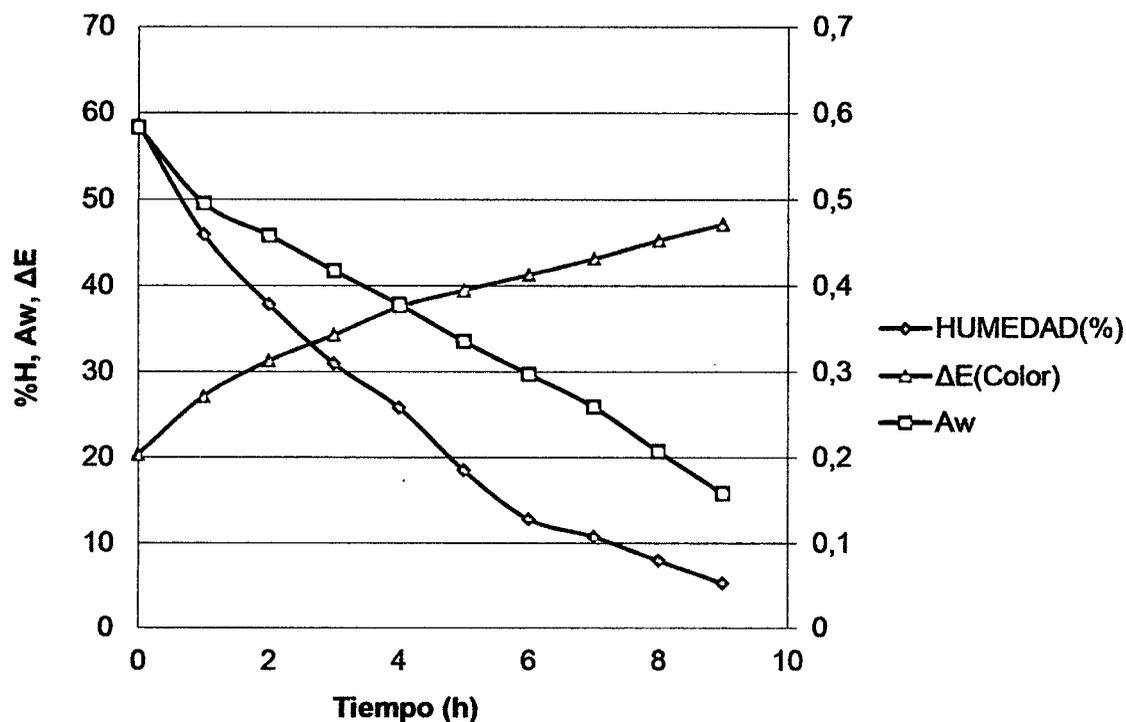
Grafica 29: Modelado de la Humedad (%), Color (ΔE) y Actividad de Agua.

En la gráfica N° 28, observamos el comportamiento de la humedad de cual presenta un valor inicial de 58.6.3%, esta caída se produce hasta un valor de 6.13%, a causa de la gradiente de concentración causada por la presión osmótica, en esta caso de 40 °Brix, este proceso se acelera, también a causa de la temperatura de osmosis la cual en este caso es de 30 °C y secado por aire caliente a 55°C.; también lo observamos el mismo mecanismo en la aw y la concentración de °Brix a través del tiempo, la aw disminuye desde un valor de 0,583 hasta 0.197 y la ΔE (color) desde un valor de 20,385 a 60.325 esto se debe al fenómeno de difusibilidad. Esto es contrastado con los resultados de Guzman C. et al; 2007. En su “Estudio de la variable de deshidratación osmótica en la cinética de secado de tres variedades de papa”.

4.3.6. EFECTO DEL SECADO POR OSMOSIS A 40 °BX, 30°C Y SECADO POR AIRE CALIENTE A 65°C:

Cuadro 50: Dependencia de la Humedad (%), Color (ΔE) y Actividad de Agua

T(h)	HUMEDAD (%)	Aw	$\Delta E(\text{Color})$
0	58,6	0,583	20,385
1	45,9	0,495	27,125
2	37,8	0,458	31,258
3	30,9	0,417	34,254
4	25,8	0,378	37,528
5	18,5	0,335	39,455
6	12,8	0,297	41,254
7	10,7	0,259	43,125
8	7,9	0,207	45,254
9	5,2	0,158	47,125
10	4,85	0,134	49,531



Gráfica 30: Modelado de la Humedad (%), Color (ΔE) y Actividad de Agua.

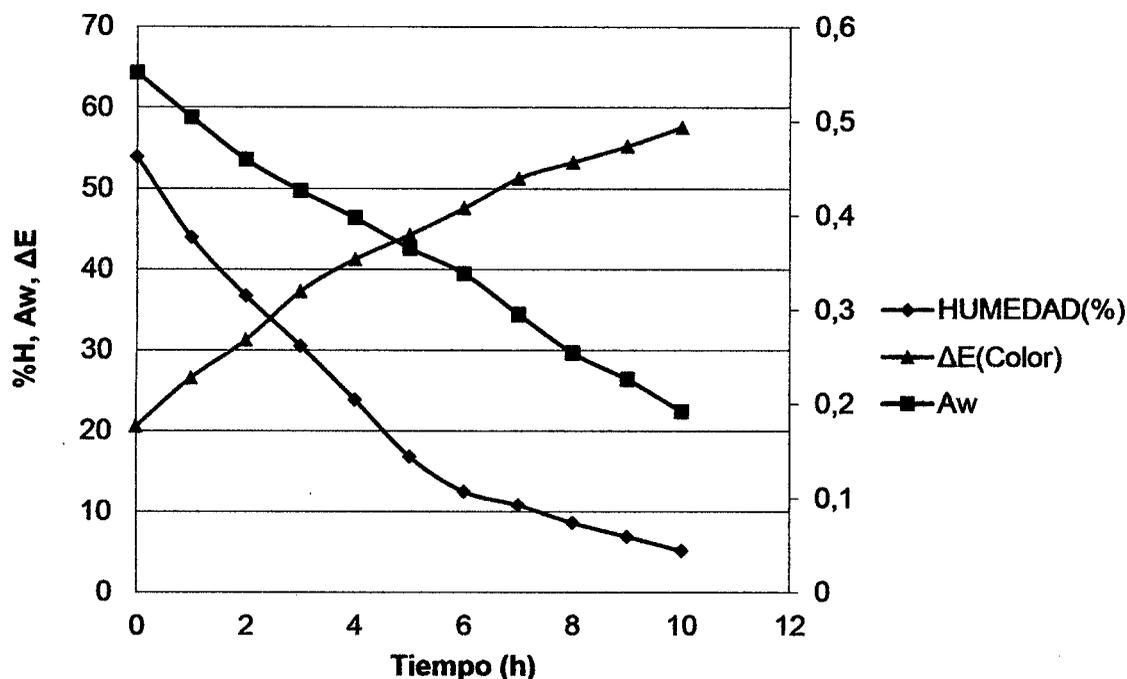
En la gráfica N° 30, observamos el comportamiento de la humedad de cual presenta un valor inicial de 58.6.3%, esta caída se produce hasta un valor de 4.85%, a causa de la gradiente de concentración causada por la presión osmótica, en esta caso de 40 °Brix, este proceso se acelera, también a causa de la temperatura de osmosis la

cual en este caso es de 30 °C y secado por aire caliente a 65°C.; también lo observamos el mismo mecanismo en la aw y la concentración de °Brix a través del tiempo, la aw disminuye desde un valor de 0,583 hasta 0.134 y la ΔE (color) desde un valor de 20,385 a 49,531 esto se debe al fenómeno de difusibilidad. Esto es contrastado con los resultados de Guzman C. et al; 2007. En su “Estudio de la variable de deshidratación osmótica en la cinética de secado de tres variedades de papa”.

4.3.7. EFECTO DEL SECADO POR OSMOSIS A 40 °BX, 40°C Y SECADO POR AIRE CALIENTE A 55°C:

Cuadro 51: Dependencia de la Humedad (%), Color (ΔE) y Actividad de Agua

T(h)	HUMEDAD (%)	Aw	ΔE(Color)
0	53,9	0,551	20,575
1	43,9	0,504	26,548
2	36,7	0,459	31,258
3	30,5	0,426	37,255
4	23,8	0,397	41,235
5	16,8	0,365	44,265
6	12,5	0,338	47,545
7	10,8	0,295	51,259
8	8,6	0,254	53,252
9	6,9	0,226	55,235
10	5,15	0,192	57,587



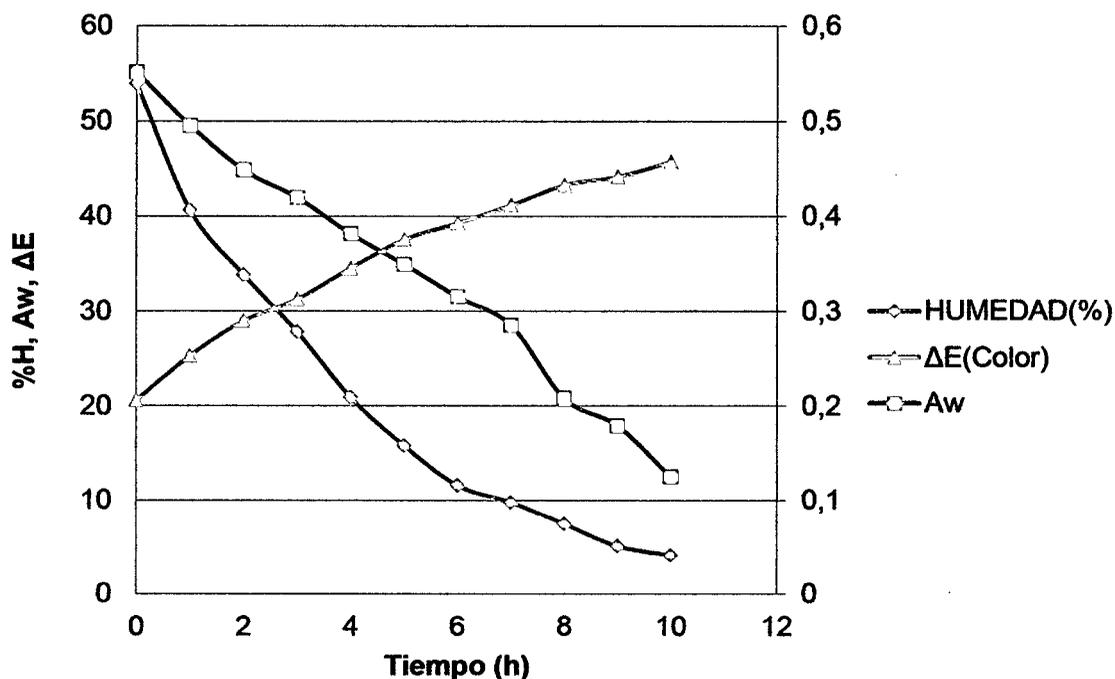
Grafica 31: Modelado de la Humedad (%), Color (ΔE) y Actividad de Agua.

En la gráfica N° 31, observamos el comportamiento de la humedad de cual presenta un valor inicial de 58.6.3%, esta caída se produce hasta un valor de 5.15%, a causa de la gradiente de concentración causada por la presión osmótica, en esta caso de 40 °Brix, este proceso se acelera, también a causa de la temperatura de osmosis la cual en este caso es de 40 °C y secado por aire caliente a 55°C.; también lo observamos el mismo mecanismo en la aw y la concentración de °Brix a través del tiempo, la aw disminuye desde un valor de 0,551 hasta 0.192 y la ΔE (color) desde un valor de 20,575 a 57.587 esto se debe al fenómeno de difusibilidad. Esto es contrastado con los resultados de Guzman C. et al; 2007. En su “Estudio de la variable de deshidratación osmótica en la cinética de secado de tres variedades de papa”.

4.3.8. EFECTO DEL SECADO POR OSMOSIS A 40 °BX, 40°C Y SECADO POR AIRE CALIENTE A 65°C:

Cuadro 52: Dependencia de la Humedad (%), Color (ΔE) y Actividad de Agua

T(h)	HUMEDAD (%)	Aw	ΔE (Color)
0	53,9	0,551	20,575
1	40,6	0,495	25,278
2	33,8	0,448	28,965
3	27,8	0,419	31,259
4	20,9	0,381	34,525
5	15,8	0,349	37,525
6	11,6	0,315	39,251
7	9,8	0,285	41,125
8	7,5	0,208	43,251
9	5,15	0,179	44,125
10	4,15	0,125	45,689



Grafica 32: Modelado de Humedad (%), Color (ΔE) y Actividad de Agua

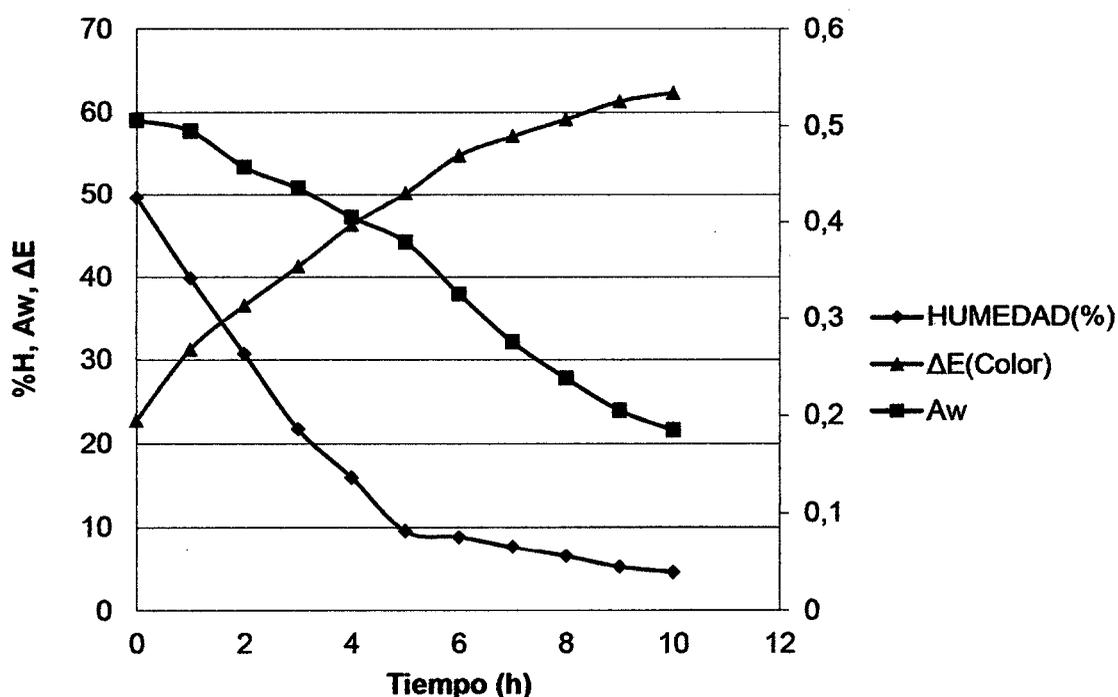
En la gráfica N° 31, observamos el comportamiento de la humedad de cual presenta un valor inicial de 53.9%, esta caída se produce hasta un valor de 4.15%, a causa de la gradiente de concentración causada por la presión osmótica, en esta caso de 40 °Brix, este proceso se acelera, también a causa de la temperatura de osmosis la cual en este caso es de 40 °C y secado por aire caliente a 65°C,;

también lo observamos el mismo mecanismo en la aw y la concentración de °Brix a través del tiempo, la aw disminuye desde un valor de 0,551 hasta 0.125 y la ΔE (color) desde un valor de 20,575 a 45.689 esto se debe al fenómeno de difusibilidad. Esto es contrastado con los resultados de Guzman C. et al; 2007. En su "Estudio de la variable de deshidratación osmótica en la cinética de secado de tres variedades de papa".

4.3.9. EFECTO DEL SECADO POR OSMOSIS A 50 °BX, 30°C Y SECADO POR AIRE CALIENTE A 55°C:

Cuadro 53: Dependencia de la Humedad (%), Color (ΔE) y Actividad de Agua

T(h)	HUMEDAD (%)	Aw	ΔE (Color)
0	49,6	0,506	22,785
1	39,8	0,495	31,258
2	30,7	0,457	36,525
3	21,7	0,435	41,258
4	15,9	0,405	46,325
5	9,5	0,379	50,148
6	8,8	0,325	54,725
7	7,6	0,275	57,123
8	6,5	0,238	59,156
9	5,2	0,205	61,297
10	4,55	0,185	62,312



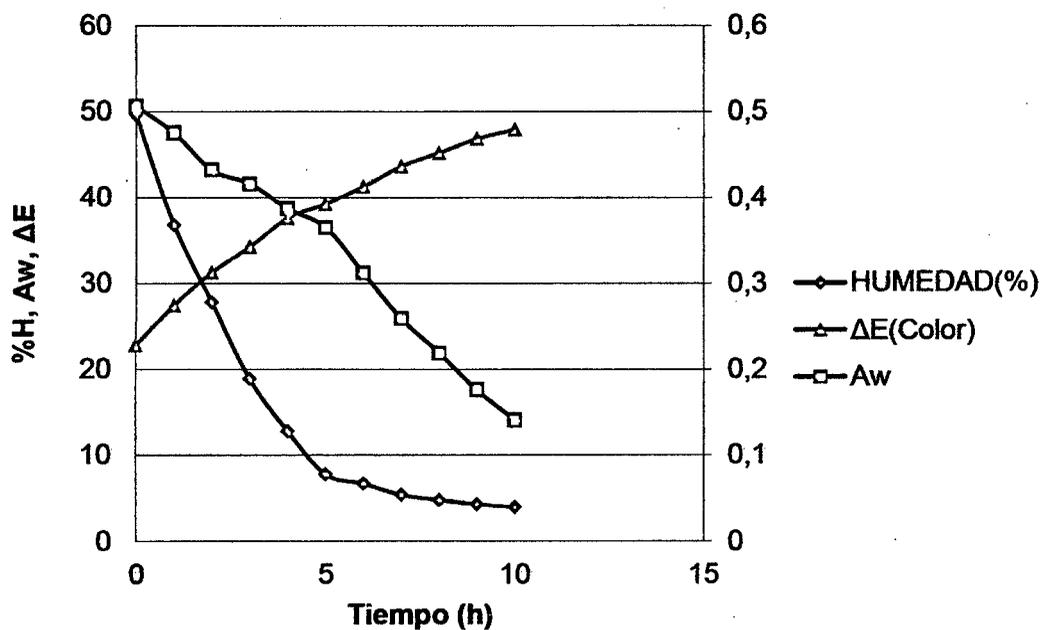
Grafica 33: Modelado de la Humedad (%), Color (ΔE) y Actividad de Agua

En la gráfica N° 33, observamos el comportamiento de la humedad de cual presenta un valor inicial de 49.6%, esta caída se produce hasta un valor de 4.55%, a causa de la gradiente de concentración causada por la presión osmótica, en esta caso de 50 °Brix, este proceso se acelera, también a causa de la temperatura de osmosis la cual en este caso es de 30 °C y secado por aire caliente a 55°C:, también lo observamos el mismo mecanismo en la aw y la concentración de °Brix a través del tiempo, la aw disminuye desde un valor de 0.506 hasta 0.185 y la ΔE (color) desde un valor de 20.785 a 62.312 esto se debe al fenómeno de difusibilidad. Esto es contrastado con los resultados de Guzman C. et al; 2007. En su "Estudio de la variable de deshidratación osmótica en la cinética de secado de tres variedades de papa".

4.3.10. EFECTO DEL SECADO POR OSMOSIS A 50 °BX, 30°C Y SECADO POR AIRE CALIENTE A 65°C:

Cuadro 54: Dependencia de la Humedad (%), Color (ΔE) y Actividad de Agua

T(h)	HUMEDAD (%)	Aw	ΔE (Color)
0	49,6	0,506	22,785
1	36,8	0,475	27,455
2	27,8	0,432	31,259
3	18,9	0,416	34,251
4	12,8	0,387	37,595
5	7,8	0,365	39,254
6	6,7	0,312	41,255
7	5,4	0,259	43,598
8	4,8	0,219	45,159
9	4,3	0,176	46,795
10	3,95	0,141	47,891



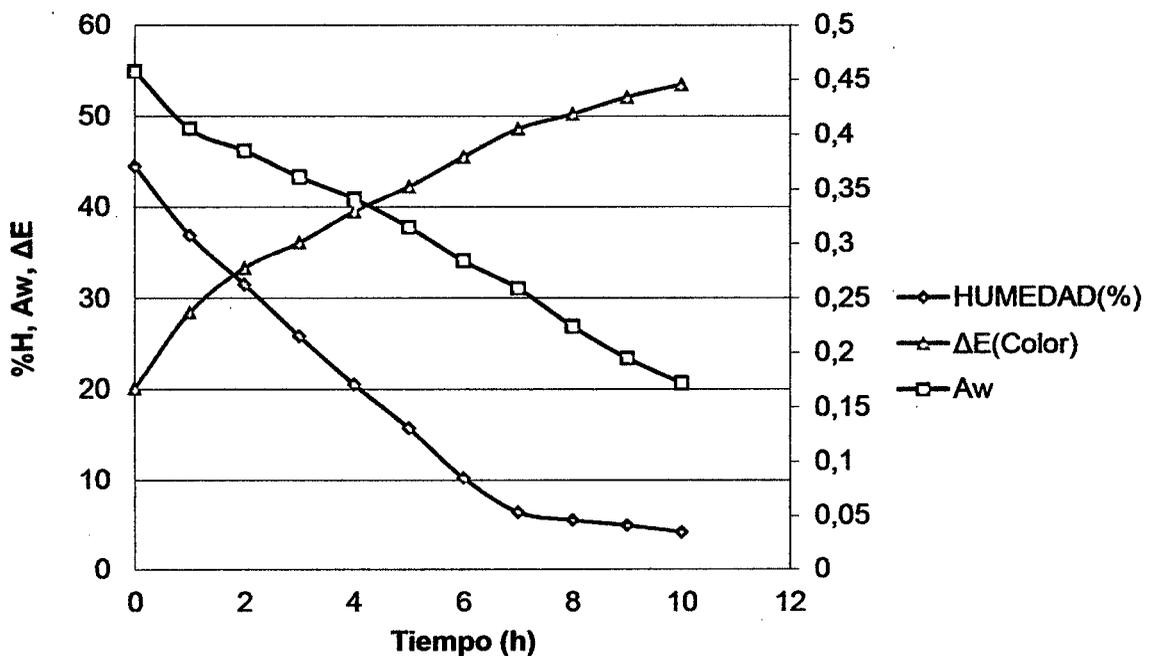
Grafica 34: Modelado de la Humedad (%), Color (ΔE) y Actividad de Agua.

En la gráfica N° 34, observamos el comportamiento de la humedad de cual presenta un valor inicial de 49.6%, esta caída se produce hasta un valor de 3.95%, a causa de la gradiente de concentración causada por la presión osmótica, en esta caso de 50 °Brix, este proceso se acelera, también a causa de la temperatura de osmosis la cual en este caso es de 30 °C y secado por aire caliente a 65°C.; también lo observamos el mismo mecanismo en la aw y la concentración de °Brix a través del tiempo, la aw disminuye desde un valor de 0.506 hasta 0.141 y la ΔE (color) desde un valor de 22.785 a 47.891 esto se debe al fenómeno de difusibilidad. Esto es contrastado con los resultados de Guzman C. et al; 2007. En su “Estudio de la variable de deshidratación osmótica en la cinética de secado de tres variedades de papa”.

4.3.11. EFECTO DEL SECADO POR OSMOSIS A 50 °BX, 40°C Y SECADO POR AIRE CALIENTE A 55°C:

Cuadro 55: Dependencia de la Humedad (%), Color (ΔE) y Actividad de Agua

T(h)	HUMEDAD (%)	Aw	ΔE (Color)
0	44,5	0,458	20,085
1	36,9	0,405	28,454
2	31,5	0,385	33,325
3	25,8	0,361	36,125
4	20,5	0,341	39,525
5	15,7	0,315	42,259
6	10,2	0,284	45,525
7	6,4	0,259	48,595
8	5,5	0,224	50,252
9	4,9	0,195	52,105
10	4,15	0,172	53,487



Grafica 35: Modelado de la Humedad (%), Color (ΔE) y Actividad de Agua.

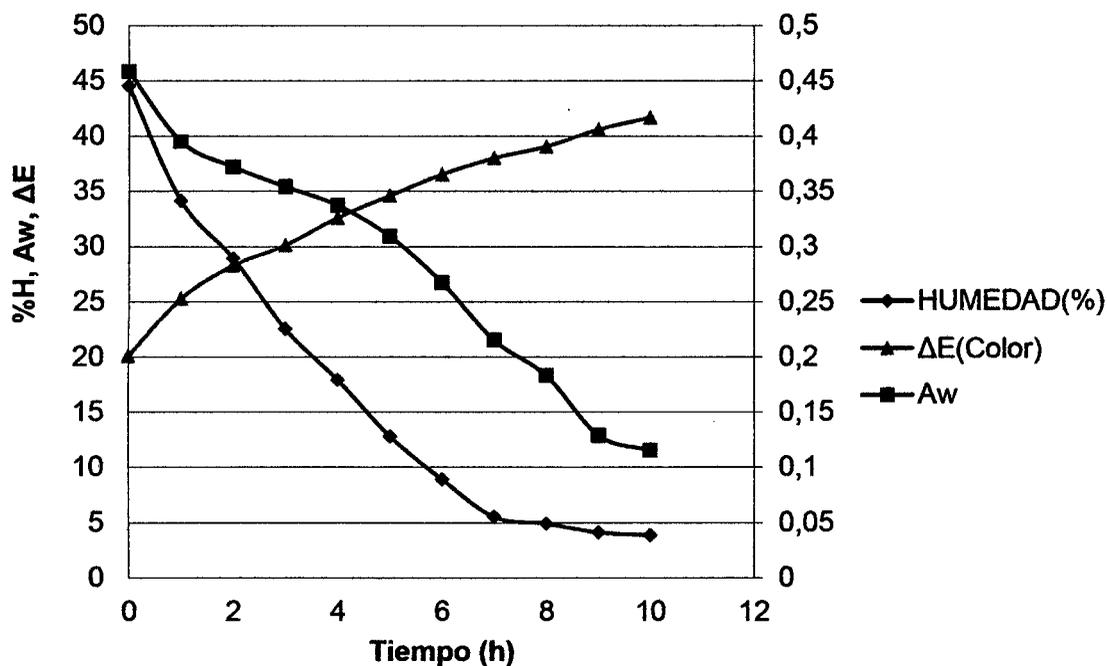
En la gráfica N° 35, observamos el comportamiento de la humedad de cual presenta un valor inicial de 44.5%, esta caída se produce hasta un valor de 4.15%, a causa de la gradiente de concentración causada por la presión osmótica, en esta caso de 50 °Brix, este proceso se acelera, también a causa de la temperatura de osmosis la cual en este caso es de 40 °C y secado por aire caliente a 55°C,;

también lo observamos el mismo mecanismo en la a_w y la concentración de °Brix a través del tiempo, la a_w disminuye desde un valor de 0.458 hasta 0.172 y la ΔE (color) desde un valor de 20.085 a 53.487 esto se debe al fenómeno de difusibilidad. Esto es contrastado con los resultados de Guzman C. et al; 2007. En su “Estudio de la variable de deshidratación osmótica en la cinética de secado de tres variedades de papa”.

4.3.12. EFECTO DEL SECADO POR OSMOSIS A 50 °BX, 40°C Y SECADO POR AIRE CALIENTE A 65°C:

Cuadro 56: Dependencia de la Humedad (%), Color (ΔE) y Actividad de Agua

T(h)	HUMEDAD (%)	A_w	$\Delta E(\text{Color})$
0	44,5	0,458	20,085
1	34,1	0,395	25,256
2	28,9	0,372	28,255
3	22,5	0,354	30,125
4	17,9	0,337	32,595
5	12,8	0,309	34,597
6	8,9	0,267	36,517
7	5,5	0,215	38,005
8	4,9	0,183	39,051
9	4,1	0,129	40,598
10	3,85	0,115	41,681



Grafica 36: Modelado de la Humedad (%), Color (ΔE) y Actividad de Agua

En la gráfica N° 36, observamos el comportamiento de la humedad de cual presenta un valor inicial de 44.5%, esta caída se produce hasta un valor de 3.85%, a causa de la gradiente de concentración causada por la presión osmótica, en esta caso de 50 °Brix, este proceso se acelera, también a causa de la temperatura de osmosis la cual en este caso es de 40 °C y secado por aire caliente a 65°C.; también lo observamos el mismo mecanismo en la aw y la concentración de °Brix a través del tiempo, la aw disminuye desde un valor de 0.458 hasta 0.115 y la ΔE (color) desde un valor de 20.085 a 41,681 esto se debe al fenómeno de difusibilidad. Esto es contrastado con los resultados de Guzman C. et al; 2007. En su “Estudio de la variable de deshidratación osmótica en la cinética de secado de tres variedades de papa”.

4.4. ANALISIS DE VARIANZA

4.4.1. ANALISIS DE VARIANZA EN LA DEGRADACION DE VITAMINA C:

Cuadro 57: Análisis de Varianza para Vitamina C

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:Secado por Osmosis	0,0784	1	0,0784	59,02	0,0000
B:Concentraciones de Secado	1,69145	1	1,69145	1273,27	0,0000
C:Secado por aire caliente	0,049848	1	0,049848	37,52	0,0000
AB	0,0596804	1	0,0596804	44,93	0,0000
AC	0,00121801	1	0,00121801	0,92	0,3471
BB	0,00282501	1	0,00282501	2,13	0,1567
BC	0,111575	1	0,111575	83,99	0,0000
bloques	0,00000340056	2	0,00000170028	0,00	0,9987
Error total	0,034539	26	0,00132842		
Total (corr.)	2,02954	35			

Diagrama de Pareto Estandarizada para Vit C

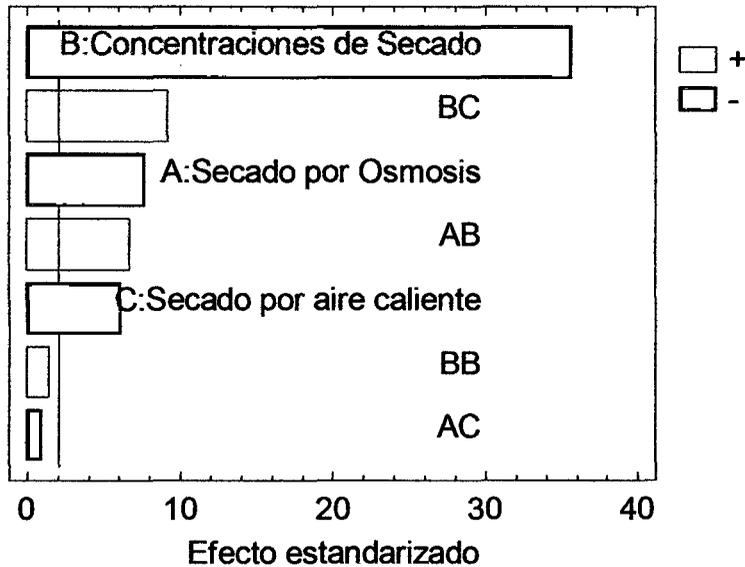


Diagrama 2: Diagrama de Pareto Estandarizada para Vitamina C.

Superficie de Respuesta Estimada
Secado por aire caliente=60,0

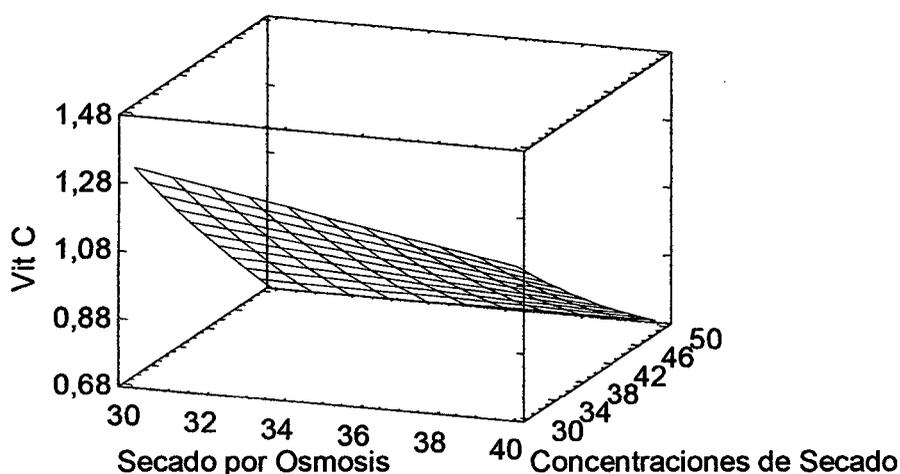


Diagrama 3: Superficie de Respuesta Estimada para Vitamina C.

4.4.2. ANALISIS DE VARIANZA EN LA HUMEDAD:

Cuadro 58: Análisis de Varianza para Humedad

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:Secado por Osmosis	0,831136	1	0,831136	38,48	0,0000
B:Concentraciones de Secado	13,0243	1	13,0243	602,97	0,0000
C:Secado por aire caliente	9,80734	1	9,80734	454,04	0,0000
AB	0,00601667	1	0,00601667	0,28	0,6021
AC	0,330625	1	0,330625	15,31	0,0006
BB	0,00293889	1	0,00293889	0,14	0,7152
BC	1,28807	1	1,28807	59,63	0,0000
Bloques	0,000238889	2	0,000119444	0,01	0,9945
Error total	0,561606	26	0,0216002		
Total (corr.)	25,8522	35			

- ✓ $R^2 = 97,8276$ porciento
- ✓ R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 97,2845 porciento
- ✓ Error estándar del est. = 0,14697
- ✓ Error absoluto medio = 0,0990895
- ✓ Estadístico Durbin-Watson = 1,83302 (P=0,1737)
- ✓ Autocorrelación residual de Lag 1 = 0,0502255

La tabla ANOVA particiona la variabilidad de Humedad en piezas separadas para cada uno de los efectos. Entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 5 efectos tienen un valor-P menor que 0,05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95,0%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 97,8276% de la variabilidad en Humedad. El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 97,2845%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0,14697. El error medio absoluto (MAE) de 0,0990895 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si haya alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo. Puesto que el valor-P es mayor que 5,0%, no hay indicación de autocorrelación serial en los residuos con un nivel de significancia del 5,0%.

Diagrama de Pareto Estandarizada para Humedad

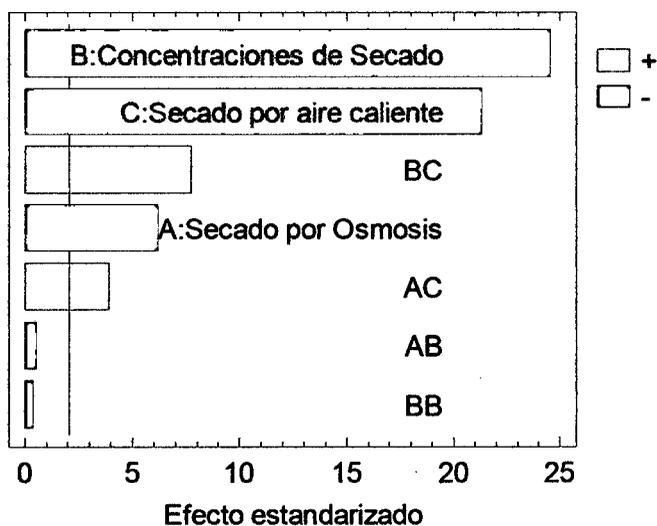


Diagrama 4: Diagrama Pareto Estandarizado para Humedad.

Superficie de Respuesta Estimada
Secado por aire caliente=60,0

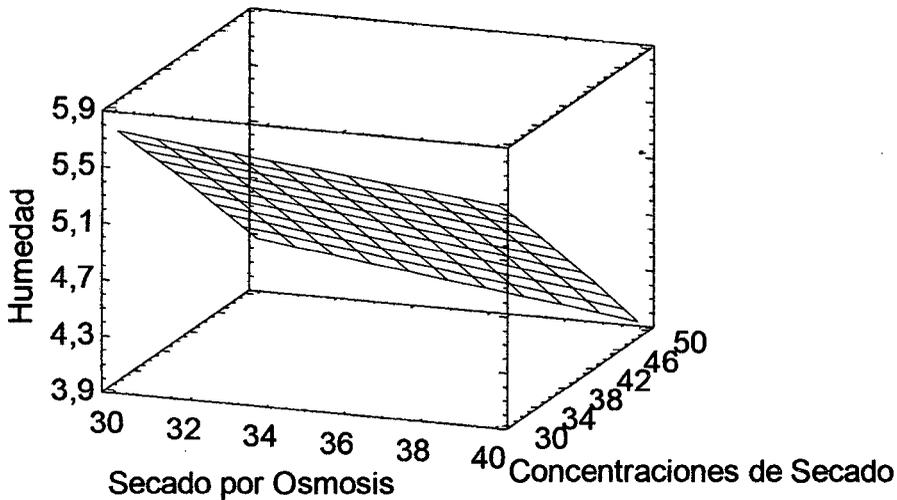


Diagrama 5: Superficie de Respuesta Estimada para Humedad

4.4.3. ANALISIS DE VARIANZA PARA LOS GRADOS BRIX:

Cuadro 59: Análisis de Varianza para Bx

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:Secado por Osmosis	23,5225	1	23,5225	314,08	0,0000
B:Concentraciones de Secado	2460,38	1	2460,38	32851,80	0,0000
C:Secado por aire caliente	57,0025	1	57,0025	761,12	0,0000
AB	0,0266667	1	0,0266667	0,36	0,5559
AC	0,840278	1	0,840278	11,22	0,0025
BB	0,005	1	0,005	0,07	0,7981
BC	0,426667	1	0,426667	5,70	0,0246
Bloques	0,0816667	2	0,0408333	0,55	0,5862
Error total	1,94722	26	0,0748932		
Total (corr.)	2544,23	35			

- ✓ R-cuadrada = 99,9235 por ciento
- ✓ R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 99,9043 por ciento
- ✓ Error estándar del est. = 0,273666
- ✓ Error absoluto medio = 0,20108
- ✓ Estadístico Durbin-Watson = 2,05401 (P=0,3810)
- ✓ Autocorrelación residual de Lag 1 = -0,0460097

La tabla ANOVA particiona la variabilidad de Bx en piezas separadas para cada uno de los efectos. entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 5 efectos tienen una valor-P menor que 0,05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95,0%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 99,9235% de la variabilidad en Bx. El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 99,9043%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0,273666. El error medio absoluto (MAE) de 0,20108 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si haya alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo. Puesto que el valor-P es mayor que 5,0%, no hay indicación de autocorrelación serial en los residuos con un nivel de significancia del 5,0%.

Diagrama de Pareto Estandarizada para Bx

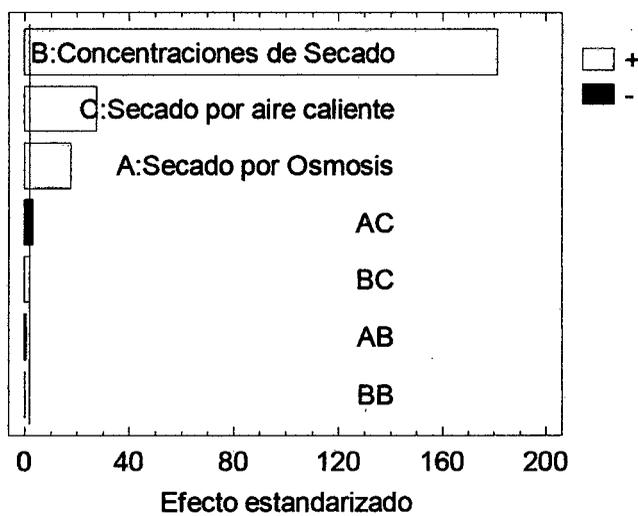


Diagrama 6: Diagrama de Pareto Estandarizado para Brix

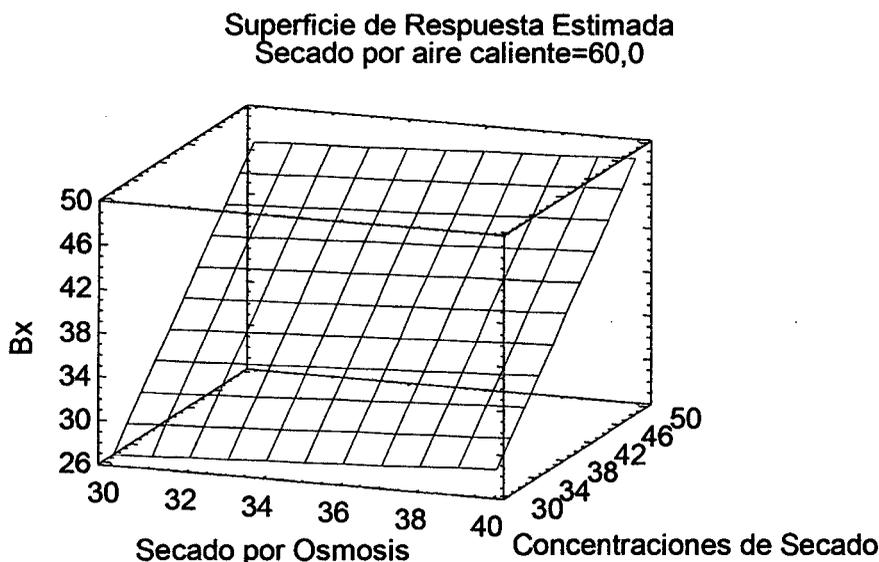


Diagrama 7: Superficie de Respuesta Estimada para Brix

4.4.4. ANALISIS DE VARIANZA PARA LA ACTIVIDAD DE AGUA:

Cuadro 60: Análisis de Varianza para Aw

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:Secado por Osmosis	0,00530469	1	0,00530469	363,88	0,0000
B:Concentraciones de Secado	0,00525104	1	0,00525104	360,20	0,0000
C:Secado por aire caliente	0,0259747	1	0,0259747	1781,77	0,0000
AB	0,000459375	1	0,000459375	31,51	0,0000
AC	0,000774694	1	0,000774694	53,14	0,0000
BB	0,00000234722	1	0,00000234722	0,16	0,6915
BC	0,000003375	1	0,000003375	0,23	0,6344
Bloques	0,00000372222	2	0,00000186111	0,13	0,8807
Error total	0,000379028	26	0,000014578		
Total (corr.)	0,038153	35			

- ✓ R-cuadrada = 99,0066 porciento
- ✓ R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 98,7582 porciento
- ✓ Error estándar del est. = 0,00381811
- ✓ Error absoluto medio = 0,00262191
- ✓ Estadístico Durbin-Watson = 2,16801 (P=0,5103)
- ✓ Autocorrelación residual de Lag 1 = -0,100063

La tabla ANOVA particiona la variabilidad de Aw en piezas separadas para cada uno de los efectos. entonces prueba la

significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 5 efectos tienen un valor-P menor que 0,05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95,0%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 99,0066% de la variabilidad en Aw. El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 98,7582%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0,00381811. El error medio absoluto (MAE) de 0,00262191 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si haya alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo. Puesto que el valor-P es mayor que 5,0%, no hay indicación de autocorrelación serial en los residuos con un nivel de significancia del 5,0%.

Diagrama de Pareto Estandarizada para Aw

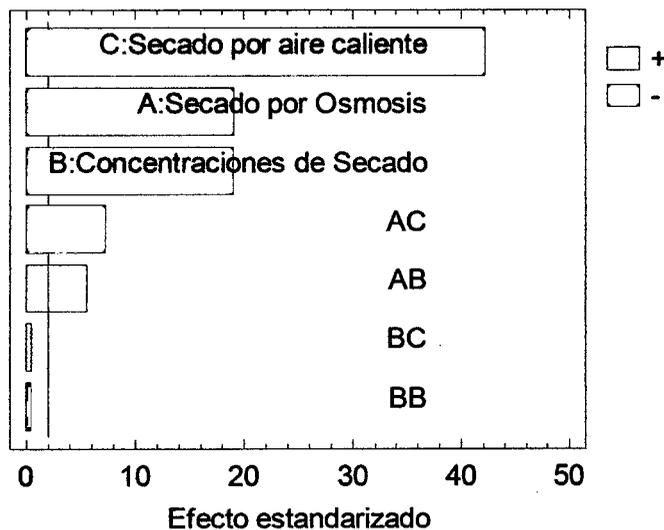


Diagrama 8: Diagrama de Pareto Estandarizado para Actividad de Agua

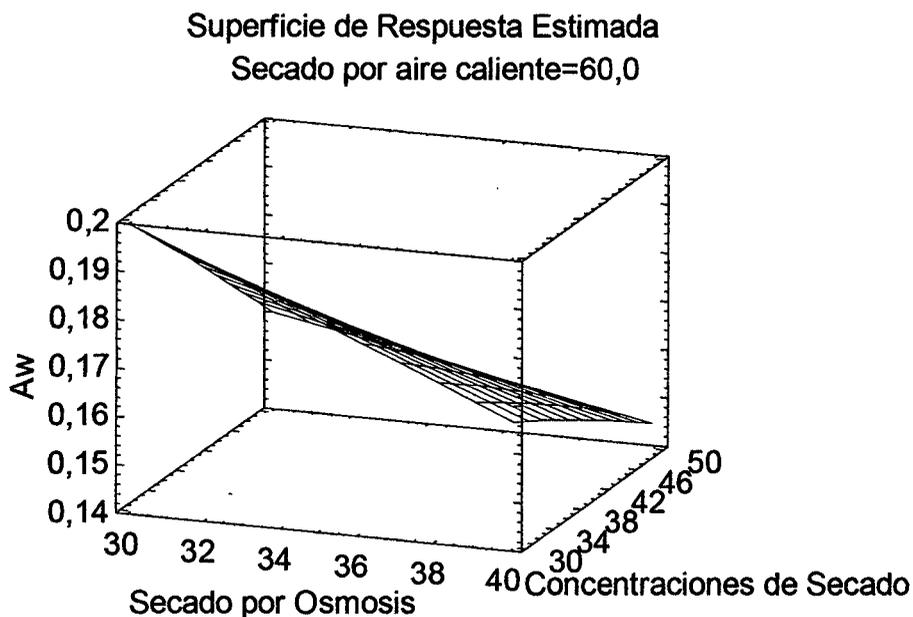


Diagrama 9: Superficie de Respuesta Estimada para Actividad de Agua

4.4.5. ANALISIS DE VARIANZA EN COLOR:

Cuadro 61: Análisis de Varianza para Color (ΔE)

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:Secado por Osmosis	393,791	1	393,791	4759,27	0,0000
B:Concentraciones de Secado	276,815	1	276,815	3345,52	0,0000
C:Secado por aire caliente	1342,94	1	1342,94	16230,49	0,0000
AB	1,8172	1	1,8172	21,96	0,0001
AC	4,63182	1	4,63182	55,98	0,0000
BB	0,0835042	1	0,0835042	1,01	0,3243
BC	3,50523	1	3,50523	42,36	0,0000
Bloques	0,0562269	2	0,0281134	0,34	0,7150
Error total	2,15129	26	0,0827419		
Total (corr.)	2025,79	35			

- ✓ R-cuadrada = 99,8938 porciento
- ✓ R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 99,8673 porciento
- ✓ Error estándar del est. = 0,287649
- ✓ Error absoluto medio = 0,186377
- ✓ Estadístico Durbin-Watson = 2,47784 (P=0,8249)
- ✓ Autocorrelación residual de Lag 1 = -0,247549

La tabla ANOVA particiona la variabilidad de ΔE en piezas separadas para cada uno de los efectos. entonces prueba la

significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 6 efectos tienen un valor-P menor que 0,05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95,0%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 99,8938% de la variabilidad en ae. El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 99,8673%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0,287649. El error medio absoluto (MAE) de 0,186377 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si haya alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo. Puesto que el valor-P es mayor que 5,0%, no hay indicación de autocorrelación serial en los residuos con un nivel de significancia del 5,0%.

Diagrama de Pareto Estandarizada para ae

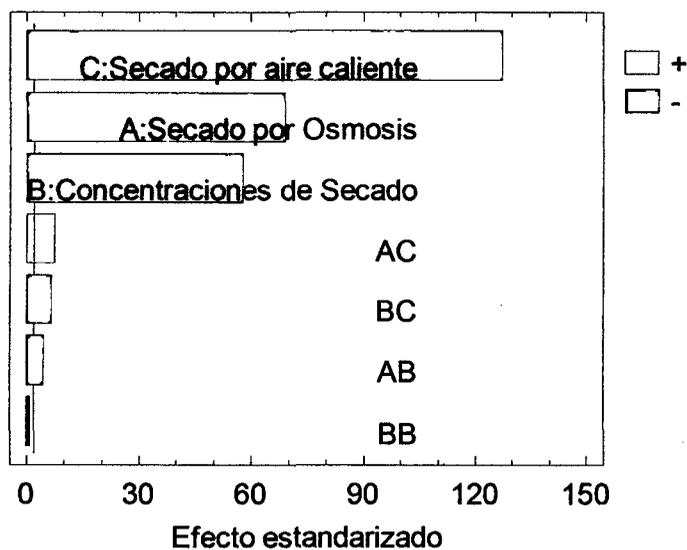


Diagrama 10: Diagrama de Pareto Estandarizada para Color (ΔE)

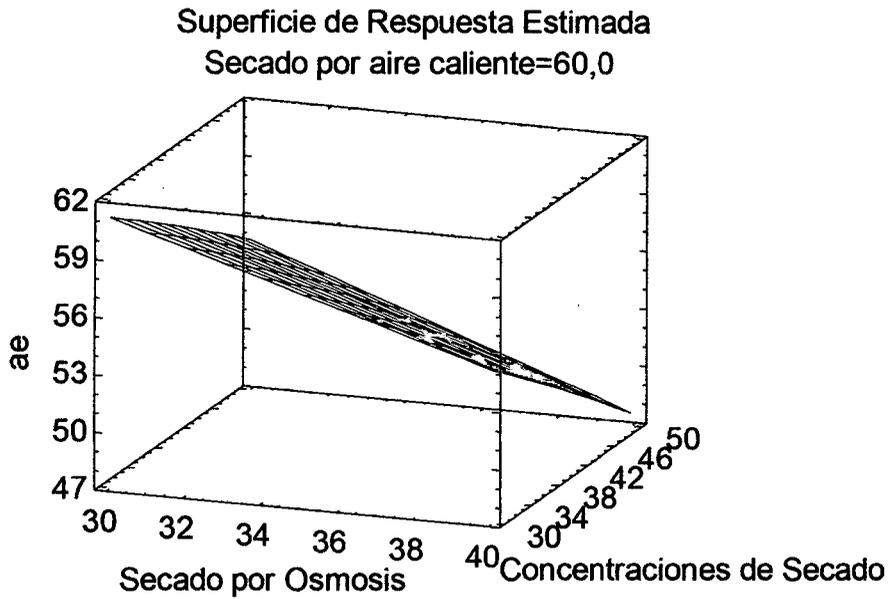


Diagrama 11: Superficie de Respuesta Estimada para el Color (ΔE)

4.5. OPTIMIZACION DE PARAMETROS DE SECADO POR OSMOSIS Y SECADO POR AIRE CALIENTE:

4.5.1. OPTIMIZACIÓN DE MÚLTIPLES RESPUESTAS:

Cuadro 62: Datos y Variables (Máximos y Mínimos observados)

<i>Respuesta</i>	<i>Mínimo Observado</i>	<i>Máximo Observado</i>
Ae	41,681	67,199
Aw	0,113	0,225
Bx	25,5	49,6
Humedad	3,85	6,45
Vit C	0,6349	1,4213

Cuadro 63: Rangos de Deseabilidad

<i>Respuesta</i>	<i>Deseabilidad Baja</i>	<i>Deseabilidad Alta</i>	<i>Meta</i>	<i>Pesos Primero</i>	<i>Impacto</i>
Ae	41,0	67,0	Maximizar	1,0	3,0
Aw	0,0	0,0	Maximizar	1,0	3,0
Bx	25,0	49,0	Maximizar	1,0	3,0
Humedad	3,0	6,0	Maximizar	1,0	3,0
Vit C	0,0	1,0	Maximizar	1,0	3,0

Cuadro 64: Cuadro de Deseabilidad para Color (ΔE), Aw, Bx, Humedad (%) y Vitamina C.

<i>Fila</i>	<i>ae</i>	<i>Aw</i>	<i>Bx</i>	<i>Humedad</i>	<i>Vit C</i>	<i>Deseabilidad Prevista</i>	<i>Deseabilidad Observada</i>
1	67,198	0,225	25,5	6,41	1,4213	0,430665	0,461054
2	60,321	0,196	27,2	6,15	1,2106	0,592374	0,584324
3	64,213	0,201	35,2	5,95	1,005	0,809388	0,82105
4	57,587	0,192	37,1	5,15	0,9986	0,735825	0,745445
5	62,312	0,185	45,3	4,55	0,6618	0,756524	0,74985
6	53,487	0,172	47,5	4,15	0,6357	0,652336	0,642772
7	55,156	0,181	27,6	5,01	1,2536	0,528324	0,524036
8	49,532	0,131	29,5	4,87	1,012	0,514141	0,520907
9	51,546	0,152	38,5	4,25	0,8956	0,632945	0,610981
10	45,689	0,125	39,8	4,15	0,8564	0,527198	0,515801
11	47,891	0,141	48,6	3,95	0,7518	0,566144	0,573512
12	41,681	0,113	49,5	3,85	0,7217	0,332387	0,351371
13	67,199	0,215	25,9	6,42	1,4212	0,454193	0,518569
14	60,325	0,197	27,3	6,13	1,2108	0,597755	0,589566
15	64,215	0,203	35,1	5,94	1,006	0,81102	0,818891
16	57,586	0,192	37,2	5,16	0,9985	0,737084	0,747342
17	62,313	0,182	45,6	4,56	0,662	0,757286	0,753074
18	53,485	0,173	47,8	4,12	0,6349	0,652908	0,640897
19	55,158	0,179	27,8	4,95	1,254	0,532157	0,528662
20	49,531	0,134	29,4	4,85	1,013	0,516673	0,517444
21	51,545	0,153	38,5	4,29	0,8961	0,633929	0,614899
22	45,687	0,127	39,8	4,16	0,8561	0,527945	0,516615
23	47,892	0,142	48,7	3,98	0,7516	0,566593	0,577564
24	41,685	0,115	49,5	3,87	0,7215	0,332404	0,353403
25	67,197	0,223	25,8	6,45	1,4211	0,450882	0,506496
26	60,324	0,196	27,5	6,14	1,2107	0,596422	0,599474
27	64,215	0,204	35,2	5,92	1,009	0,810538	0,819387
28	57,585	0,193	37,4	5,18	0,9987	0,736406	0,751181
29	61,313	0,183	45,5	4,57	0,6619	0,756907	0,746076
30	53,486	0,175	47,4	4,13	0,6355	0,652473	0,6399
31	55,156	0,181	27,7	4,98	1,2539	0,531257	0,52642
32	49,53	0,133	29,3	4,86	1,001	0,515608	0,515614
33	51,545	0,151	38,6	4,28	0,8957	0,63319	0,614795
34	45,686	0,127	39,9	4,18	0,8563	0,526315	0,519085
35	47,891	0,141	48,5	3,96	0,7519	0,565762	0,574242
36	41,683	0,114	49,6	3,85	0,7215	0,322465	0,351557

Este procedimiento ayuda a determinar la combinación de los factores experimentales que simultáneamente optimiza varias respuestas. Lo hace maximizando la función de 'deseabilidad'. Usted puede establecer varias características de la función de 'deseabilidad' a través del cuadro de diálogo de Opciones de Análisis. Las metas de cada una de las respuestas actualmente están establecidas como:

- ✓ ΔE - maximizar
- ✓ A_w - maximizar
- ✓ B_x - maximizar
- ✓ Humedad - maximizar
- ✓ Vit C - maximizar

La salida muestra la función de 'deseabilidad' evaluada en cada punto del diseño. Entre los puntos de diseño, la 'deseabilidad' máxima se alcanza en la corrida 15. Para encontrar la combinación de factores que alcanza la 'deseabilidad' global óptima.

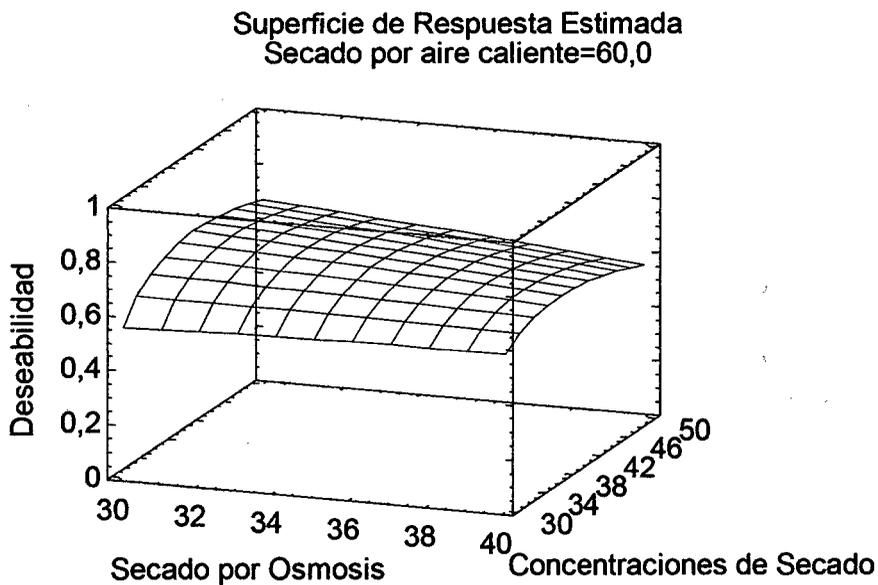


Diagrama 12: Superficie de Respuesta Estimada teniendo en cuenta la Deseabilidad

Cuadro 65: Optimización de variables

<i>Factor</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Óptimo</i>
Secado por Osmosis	30,0	40,0	30,0
Concentraciones de Secado	30,0	50,0	40,9146
Secado por aire caliente	55,0	65,0	55,0

Cuadro 66: Valores óptimos

<i>Respuesta</i>	<i>Óptimo</i>
ΔE	64,2807
Aw	0,200903
Bx	36,3889
Humedad	5,56661
Vit C	0,982475

V. CONCLUSIONES

- La manzana de agua (*Sizygium Malaccense*) tiene una composición proximal de: Humedad ($\frac{g_{agua}}{g_{muestra}} = 0.878 \pm 0.005$; Fracción másica de sólidos solubles ($\frac{g_{ss}}{g_{muestra}} = 0.122 \pm 0.04$; °Brix ($\frac{g_{solutos}}{100g_{muestra}} = 12.3 \pm 1.4$; $A_w = 0.922 \pm 0.01$ y Vitamina C = $5.634 \pm 0.06 \text{ mg}_{solutos}/100g_{muestra}$.
- Los parámetros: Concentración, T° Baño María en el pre-secado por Osmosis y T° de secado influyen en la calidad del deshidratado, obteniéndose: %H=3,85% y $A_w=0,113$ obtenidos con Secado por Osmosis ($T^\circ = 40 \text{ }^\circ\text{C}$ y $[\] = 50 \text{ }^\circ\text{Bx}$) y $T^\circ_{secado} = 65 \text{ }^\circ\text{C}$ y %H=6,41% y $A_w=0,225$ obtenidos con Secado por Osmosis ($T^\circ = 30 \text{ }^\circ\text{C}$ y $[\] = 30 \text{ }^\circ\text{Bx}$) y $T^\circ_{secado} = 55 \text{ }^\circ\text{C}$.
- El pre-secado por Osmosis se ajusta a un modelo matemático de una Transformación de Box Cox:

$$Box\ Cox(x) = 1 + \frac{x^n - 1}{n * C^{n+1}}$$

- Esta es una transformación Box-Cox con una potencia determinada de tal forma que se minimice el cuadrado medio del error (CME). Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0,05, existe una relación estadísticamente significativa entre VARIABLE DEPENDIENTE y LA VARIABLE INDEPENDIENTE con un nivel de confianza del 95%.

VI. BIBLIOGRAFIA

- AMATO, A., E. ARRIAZA., R. BAGUR. y A. CASTILLO: Práctica de Laboratorio No. 4: Deshidratación osmótica y tecnología de barreras, Fecha de realización de la práctica: 8 y 15 de febrero de 2011. Universidad del Valle de Guatemala, Facultad de ingeniería, Guatemala, 2011.
- APONTE, A. y A. AYALA: Aplicación de la deshidratación osmótica e impregnación a vacío en la ciptrotección de mango. Ed. Universidad Politécnica de Valencia, España, 2001.
- BARAT, J. M.; A. CHIRALT & P. FITO: "Effect of Osmotic Solution Concentration, Temperature and Vacuum Impregnation Pretreatment on Osmotic Dehydration Kinetics of Apple Slices", Food Science Technology, 7(5): 451-456, 2001.
- BARBOSA, G. y H. VEGA. Deshidratación de alimentos, 297pp., Zaragoza (España): Acriba, 2000.
- BUESTÁN., C, E. CORNEJO, y F LÓPEZ. 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 Litoral, Campus Gustavo Galindo km 30,5; Vía Perimetral, Guayaquil, Ecuador, 2005.
- DOUGLAS, R: Efecto del secado solar en los contenidos de humedad, carbohidratos, carotenoides totales e índice de peróxidos del mesocarpio de la Palma Coroba (Atarea Spp.), Universidad Simón Rodríguez (USR), Venezuela, 2006.
- EISENTHAL, R. & Y M. J. DANSON: Enzyme Assays: A Practical Approach. Oxford University Press, ISBN 0-19-963820-9, England, 2002.
- FERNÁNDEZ, R.: Evaluación de las principales propiedades de calidad de la fruta bomba (Carica papaya L.), variedad Maradol roja deshidratada a través de los métodos de deshidratación osmótica y por flujo de aire caliente. Trabajo de Diploma (en opción al título de Ing. Mecanización Agropecuaria), Facultad de Mecanización Agropecuaria, UNAH, Mayabeque, Cuba, 2011.
- GARCÍA, Y.: Evaluación de la calidad de la Piña Variedad Cayena Lisa, cosechada en el Municipio Jaruco, Tesis (en opción al título de Master en Mecanización Agrícola), Universidad Agraria de La Habana, Cuba, 2010.

- GIRALDO, G., C. DUQUE y C. GARCÍA: “Métodos combinados de secado para el escarchado de mango (*Mangifera indica*) var. Kent”, Medellín 12(2), 2005.
- LASKOWSKI, I., N. JANUSZ & G. LYSIAK.. Use of compression behavior of legume seeds, USA, 1999
- LAZARIDES, H.N.: Reasons and possibilities to control solids uptake during osmotic treatment of fruits and vegetables, pp. 33-42, En: FITO, Pedro et al., ed. Osmotic dehydration and vacuum impregnation: applications in food industries, USA: Technomic Publishing, 2001.
- MUÑOZ, S.: Influencia de la temperatura y velocidad de aire durante el secado convectivo de fruta bomba (variedad Maradol Roja) usando osmosis y escaldado simple como pretratamientos. Tesis (en opción al título de Master en Mecanización Agrícola), Universidad Agraria de La Habana, Mayabeque, Cuba, 2012.
- PÉREZ, M., C.J. CARDOZO y H.J. CIRO: Deshidratación osmótica de frutos de papaya hawaiana (*Carica papaya* L.) en cuatro agentes edulcorantes, Ed. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Medellín, Colombia, 2005.
- VEGA, A., y P. FITO: “Modelado de la cinética de secado del pimiento rojo (*Capsicum annum* L.) cv Lamuyo”, Revista Información Tecnológica, 16(6), 2005.
- VILLASEÑOR, P. C.: Análisis físico y mecánico de frutos de melón, Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias), Colegio de Posgraduados, Texcoco, México, 2005.
- YIRAT, M.; A. GARCÍA; A. HERNÁNDES; A. CALDERÍN y N. CAMACHO: “Evaluación de la calidad de la guayaba, variedad enana roja EEA-1-23, durante el almacenamiento a temperatura ambiente”, Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 18(2): 70-73, 2009.
- ZAPATA, J. L. CARVAJAL y N. OSPINA: “Efectos de la concentración de solutos y la relación jarabe/fruta sobre la cinética de deshidratación osmótica de papaya en láminas”, Interciencia, 27(5), 2002.

PAGINAS WEB.

- <http://es.scribd.com/doc/22385592/Deshidratacion-Osmotica-de-Frutas>
- <http://posgrado.frba.utn.edu.ar/investigacion/tesis/MTA-2010-Rocca.pdf>

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL



RESUMEN

I. DATOS GENERALES (PRE GRADO):

1.1. UNIVERSIDAD:

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

1.2. ESCUELA O CARRERA PROFESIONAL:

INGENIERIA AGROINDUSTRIAL

1.3. TITULO DE TRABAJO:

“EFECTO DEL PRE TRATAMIENTO OSMÓTICO EN LA
DESHIDRATACION POR AIRE CALIENTE DE MANZANA DE AGUA
(*Syzygium Malaccense*)”

1.4. AREA DE INVESTIGACION:

EXPERIMENTAL Y APLICADO

1.5. AUTORES:

DNI: 46357183, ABEL JOSÉ RODRÍGUEZ YPARRAGUIRRE

DNI: 44730874, DANIEL ALBERTO LOZANO RODRÍGUEZ

1.6. TITULO PROFESIONAL AL QUE CONDUCE:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

1.7. AÑO DE APROBACION DE LA SUSTENTACION:

2014

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL



II. CONTENIDO DEL RESUMEN:

2.1. PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO:

2.1.1. Objetivo de la Investigación:

El presente proyecto tiene como objetivo prolongar la vida útil de la manzana, a través del secado por aire caliente, conservando su valor nutritivo, En este trabajo la deshidratación de las láminas de manzana serán de 2 mm de grosor y 6,6 cm de diámetro aproximado, y se usaran métodos combinados de Secado: *Deshidratación Osmótica* a concentraciones de 30, 40 y 50 °Brix y temperaturas de baño maría de 30 y 40°C y *Secado por Aire Caliente* a temperaturas de 55 y 65°C. Se evaluará la cinética de secado en combinación con las variables fisicoquímicas analizadas, determinado el mejor método de secado según el análisis estadístico empleado (Diseño factorial de 3x2x2 con tres repeticiones) así como se ajustará la cinética de secado con respecto a las variables dependientes (%Humedad, °Brix, y Actividad de Agua) a un modelo matemático (Modelado de Box Cox) empleando Statgraphics Centurion XVI.

2.1.2. Formulación del Problema:

¿Cuál es el efecto del pre tratamiento osmótico en la cinética de deshidratación por aire caliente de manzana de agua (*Syzygium Malaccense*)?

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL



2.2. OBJETIVOS:

2.2.1. Objetivo General:

- Evaluar el efecto del pre tratamiento osmótico en la deshidratación por aire caliente de la manzana de agua (*Syzygium Malaccense*).

2.2.2. Objetivos Específicos:

- Determinar el análisis proximal de la manzana de agua (*Syzygium Malaccense*).
- Determinar la influencia de concentración, la temperatura de osmosis y la temperatura de deshidratación de la manzana de agua (*Syzygium Malaccense*).
- Modelar y correlacionar los datos obtenidos.

2.3. HIPOTESIS:

El aumento de la concentración de 50 °Brix y la temperatura de osmosis de 40 °C aumenta la calidad del producto final de la manzana de agua (*Syzygium Malaccense*) al ser deshidratado por aire caliente a 65 °C en el secador de bandeja.

2.4. MARCO TEORICO:

La deshidratación osmótica como pretratamiento al secado por aire.

Dependiendo de las propiedades de la materia prima, características de la solución osmótica, condiciones y duración del proceso, se puede llegar a eliminar hasta un 70% del contenido de agua inicial en el producto mediante el empleo de la deshidratación osmótica. La cantidad de agua remanente en el material, no asegura la estabilidad del mismo, ya que normalmente la actividad de agua sigue siendo elevada. Cuando la estabilidad es uno de los objetivos del proceso, se deben utilizar métodos

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



complementarios para poder eliminar una mayor cantidad de agua (Lenart y Cerkowniak, 1996).

El pre tratamiento osmótico es un proceso que impide que el alimento esté en contacto con el oxígeno del aire y como tratamiento previo al secado por aire caliente ofrece algunas ventajas sobre otros pretratamientos convencionales de inactivación enzimática, por ejemplo, el sulfitado o el escaldado. El escaldado produce daños en las membranas celulares y en la textura de los tejidos, dando lugar a una mayor deformación y encogimiento del material a secar. Por otro lado, el sulfitado, no causa los efectos anteriores, pero tiene un impacto negativo desde el punto de vista nutricional, debido a la reconocida toxicidad de los compuestos azufrados (Lenart, 1994).

Por otro lado, hay que tener en cuenta que el pretratamiento de DO provocará cambios en las cinéticas de transferencia de materia y en principalmente asociado a los cambios en la estructura del producto y a las variaciones en la composición del mismo. Estos efectos se comentan a continuación:

Efecto del pretratamiento de DO sobre las cinéticas del secado por aire caliente

La deshidratación osmótica tiene un efecto negativo en la cinética de secado por aire caliente, ya que disminuye la velocidad de pérdida de agua (al existir un menor gradiente inicial) y además, el soluto absorbido durante la etapa de DO bloquea las capas de la superficie del producto, añadiendo una resistencia adicional al intercambio de masa (Lenart y Cerkowniak, 1996). Incluso una corta inmersión de un material en una solución osmótica, puede causar una disminución sustancial de la velocidad de eliminación de agua durante el secado posterior (Lenart, 1994; Lenart y Cerkowniak, 1996). Por otro lado, la deshidratación parcial

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL



y la ganancia de solutos protegen el producto contra el derrumbamiento estructural durante el secado posterior y contra la desorganización estructural y exudación (pérdida de jugos y textura) durante la congelación y descongelación.

Como el pretratamiento osmótico disminuye las velocidades de secado por aire, el tiempo total de deshidratación es prácticamente igual al que si solamente se utiliza el secado por aire caliente, para contenidos de humedad por debajo de 10 a 15% ($a_w = 0.4 - 0.6$). Por el contrario, el total tiempo secado se acorta espectacularmente en el caso de deshidratar hasta contenidos de agua intermedios ($a_w = 0.6-0.9$) (Lenart, 1994).

Efecto de la DO sobre las propiedades de producto final.

Durante deshidratación osmótica, la ganancia de solutos y la salida de ácidos naturales y pigmentos del tejido afectan a sus propiedades organolépticas, ya que modifican (hasta cierto punto) su composición inicial (Lenart, 1994; Lazarides et al., 1995). Por otro lado, el pretratamiento osmótico contribuye a la retención del sabor en frutas y les hace más apetecibles que los productos que han sido secados totalmente con aire caliente.

Los alimentos secos obtenidos utilizando estas dos técnicas combinadas (DO + secado por aire caliente (SAC)) normalmente presentan mejor textura y un menor encogimiento comparados con productos que han sido secados únicamente mediante SAC (Lazarides et al., 1999).

Además, el pretratamiento osmótico da lugar a un menor encogimiento durante el secado posterior, causando al mismo tiempo, un aumento de la densidad del producto (Sitkiewicz et al., 1996).



Efecto de DO en las cinéticas de sorción de agua

Los tejidos vegetales son materiales heterogéneos, tanto en composición química, como en estructura. Esta heterogeneidad afecta considerablemente a sus cinéticas de sorción de agua. De igual forma, los cambios en la composición de sólidos solubles y la presencia de soluto osmótico tienen un efecto notable en el comportamiento de sorción del agua, que queda claramente reflejado en la forma que toman las isoterms de sorción. El pretratamiento osmótico de frutas, utilizando soluciones de sacarosa, dio lugar a un aplanamiento de la isoterma, haciendo al producto menos higroscópico (Lenart, 1991; Lazarides et al., 1995).

Los cambios de sorción de agua no sólo dependen del tipo de soluto empleado, sino también se ven afectados por la forma en que se encuentran azúcares en el producto. Dependiendo de contenido de agua, los azúcares pueden presentarse en tres estados: cristalino, amorfo y en solución. Inmediatamente después del SAC, la sacarosa en el tejido seco se encuentra en un estado amorfo. Sin embargo durante el almacenamiento, se convierte gradualmente en una forma estable cristalina, que queda reflejado en un aplanamiento de la isoterma de sorción del agua (Lenart, 1991).

2.5. CONCLUSIONES:

- La manzana de agua (*Sizygium Malaccense*) tiene una composición proximal de: Humedad (gagua/gmuestra) = 0.878 ± 0.005 ; Fracción másica de sólidos solubles (gss/gmuestra) = 0.122 ± 0.04 ; °Brix (gsolutos/100gmuestra) = 12.3 ± 1.4 ; $A_w = 0.922 \pm 0.01$ y Vitamina C = 5.634 ± 0.06 mgsolutos/100gmuestra.

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



- Los parámetros: Concentración, T° Baño María en el pre-secado por Osmosis y T° de secado influyen en la calidad del deshidratado, obteniéndose: %H=3,85% y Aw=0,113 obtenidos con Secado por Osmosis (T° = 40 °C y [] = 50 °Bx) y T°secado = 65 °C y %H=6,41% y Aw=0,225 obtenidos con Secado por Osmosis (T° = 30 °C y [] = 30 °Bx) y T°secado = 55 °C.
- El pre-secado por Osmosis se ajusta a un modelo matemático de una Transformación de Box Cox:

$$Box\ Cox(x) = 1 + \frac{x^n - 1}{n * C^{n+1}}$$

- Esta es una transformación Box-Cox con una potencia determinada de tal forma que se minimice el cuadrado medio del error (CME). Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0,05, existe una relación estadísticamente significativa entre VARIABLE DEPENDIENTE y LA VARIABLE INDEPENDIENTE con un nivel de confianza del 95%.

2.6. RECOMENDACIONES:

- Incluir el efecto de vacío en un modelo para poder establecer un control sobre el mismo y trabajar bajo control automático con presiones de vacío.
- Implementación de un tanque hidroneumático para suministrar agua con una mayor presión al condensador E1 de la columna del UDCA para trabajar con el 100% de la capacidad de la resistencia J1.

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL



- Para la inclusión del efecto de la presión de vacío, se deberá trabajar con menos valores lingüísticos (Conjuntos difusos) para evitar saturar la base de reglas difusas; se recomienda trabajar con tres niveles por variable.
- El controlador difuso implementado debería operar inclusive en etapas no estables del proceso (Inicio de proceso).
- Reducir el número de valores lingüísticos a la variable Reflujo a 3; esto también reduciría el número de reglas difusas y así la ejecución e implementación conllevaría menos tiempo.
- El modelo se puede mejorar tomando en cuenta en el balance de energía, un modelo más completo del condensador, la dinámica del hervidor, las pérdidas de calor al medio ambiente y ajustando algunos parámetros en los que se tiene cierta incertidumbre (por ejemplo: eficiencia de Murphree) o que no se conocen (por ejemplo: coeficiente de efervescencia de la mezcla) como se propone en Juarez et al., (2006).

2.7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS:

1. AMATO, A, E ARRIAZA, R. BAGUR y A. CASTILLO: Práctica de Laboratorio No. 4: Deshidratación osmótica y tecnología de barreras, Fecha de realización de la práctica: 8 y 15 de febrero de 2011. Universidad del Valle de Guatemala, Facultad de ingeniería, Guatemala, 2011.

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



2. APONTE, A. y A. AYALA: Aplicación de la deshidratación osmótica e impregnación a vacío en la ciprotección de mango. Ed. Universidad Politécnica de Valencia, España, 2001.
3. BARAT, J.M.; A CITIRALT & P. FITO: "Effect of Osmotic Solution Concentration, Temperature and Vacuum Impregnation Pretreatment on Osmotic Dehydration Kinetics of Apple Slices", Food Science Technology, 7(5): 451-456, 2001.
4. BARBOSA, G. y H. VEGA Deshidratación de alimentos, 297pp., Zaragoza (España): Acriba, 2000.
5. BUESTÁN., C, E. CORNEJO, y F. LÓPEZ. Influencia de pretratamientos 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 Litoral, Campus Gustavo Galindo km 30,5; Vía Perimetral, Guayaquil, Ecuador, 2005.
6. DOUGLAS, R: Efecto del secado solar en los contenidos de humedad, carbohidratos, carotenoides totales e índice de peróxido del mesocarpio de la Palma Coroba (Atarea Spp.), Universidad Simón Rodríguez (USR), Venezuela, 2006.
7. EISENTHAL, R & Y M. J. DANSON: Enzyme Assays: A Practical Approach. Oxford University Press, ISBN 0-19-963820-9, England, 2002.

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL



8. FERNÁNDEZ, R.: Evaluación de las principales propiedades de calidad de la fruta bomba (Carica papaya L.), variedad Maradol roja deshidratada a través de los métodos de deshidratación osmótica y por flujo de aire caliente. Trabajo de Diploma (en opción al título de Ing. Mecanización Agropecuaria), Facultad de Mecanización Agropecuaria, UNAH, Mayabeque, Cuba, 2011.
9. GARCÍA, Y.: Evaluación de la calidad de la Piña Variedad. Cayena Lisa, cosechada en el Municipio Jaruco, Tesis (en opción al título de Master en Mecanización Agrícola), Universidad Agraria de La Habana, Cuba, 2010.
10. GIRALDO, G., C. DUQUE y C. GARCÍA: "Métodos combinados de secado para el escarchado de mango (Mangifera indica) var. Kent", Medellín 12(2), 2005.
- 11.
12. LAZARIDES, H.N.: Reasons and possibilities to control solids uptake during osmotic treatment of fruits and vegetables, pp. 33-42, En: FITO, Pedro et al., ed. Osmotic dehydration and vacuum impregnation: applications in food industries, USA: Technomic Publishing, 2001.
13. MUÑIZ, S.: Influencia de la temperatura y velocidad de aire durante el secado convectivo de fruta bomba (variedad Maradol Roja) usando osmosis y escaldado simple como pre tratamientos. Tesis (en opción al título de Master en Mecanización Agrícola), Universidad Agraria de La Habana, Mayabeque, Cuba, 2012.

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL



14. PANAGIOTOU, N.M., V.T KARATHANOS & Z.B. MAROULIS:
"Effect of osmotic agent on osmotic dehydration of fruits", *Drying Technology*, 17:175- 189. 1998.

15. PÉREZ, M., C.J. CARDOZO y H.J. CIRO: Deshidratación osmótica de frutos de papaya hawaiana (*Carica papaya* L.) en cuatro agentes edulcorantes, Ed. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Medellín, Colombia, 2005.

16. VEGA, A., y P. FITO: "Modelado de la cinética de secado del pimiento rojo (*Capsicum annuum* L.) cv Larnuyo", *Revista Información Tecnológica*, 16(6), 2005.

17. VILLASEÑOR, P. C.: Análisis físico y mecánico de frutos de melón, Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias), Colegio de Posgraduados, Texcoco, México, 2005.

18. YIRAT, M.; A GARCÍA; A HERNÁNDES; A CALDERÍN y N. CAMACHO: "Evaluación de la calidad de la guayaba, variedad enana roja EEA-1-23, durante el almacenamiento a temperatura ambiente", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 18(2):70-73, 2009.

19. ZAPATA, J. L. CARVAJAL y N. OSPINA: "Efectos de la concentración de solutos y la relación jarabe/fruta sobre la cinética de deshidratación osmótica de papaya en láminas", *Interciencia*, 27 (5), 2002.

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL



PAGINAS WEB.

20. <http://es.scribd.com/doc/22385592/Deshidratacion-Osmotica-de-Frutas>
21. <http://posgrado.frba.utn.edu.ar/investigacion/tesis/MTA-2010-Rocca.pdf>
22. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S20713000100011&script=sci_arttext
23. <http://www.alimentacionana.org/informaciones/novedades/manzana.htm>
24. <http://www.virtual.unal.edu.co/curso/agronomia/2006228/teoria/obfrudes/p3.htm>
25. http://www.alimentosargentinos.gov.ar/contenido/sectores/tecnologia/ficha_06_osmotica.pdf
26. <http://www.fao.org/docrep/x5029s/x5029s0a.htm>