



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS**

**AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES**

**CARRERA DE AGROINDUSTRIA**

**EFFECTO DEL CLORURO DE CALCIO Y EL PROCESO DE  
SECADO SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS  
DE LAS HOJUELAS OSMODESHIDRATADAS DE MELOCOTÓN**  
*Prunus pérsica.*

**Tesis presentada como requisito para optar por el Título de: Ingeniero  
Agroindustrial.**

**Autor:**

**ALEJANDRA ESTEFANÍA BENAVIDES BASTIDAS.**

**Director:**

**ING. NICOLAS PINTO. M.Sc.**

**IBARRA – ECUADOR**

**2017**

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

### CARRERA DE AGROINDUSTRIA

#### EFECTO DEL CLORURO DE CALCIO Y EL PROCESO DE SECADO SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS DE LAS HOJUELAS OSMODESHIDRATADAS DE MELOCOTÓN *Prunus pérsica*

Tesis revisada por los miembros del tribunal, por lo cual se autoriza su presentación  
como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO/A AGROINDUSTRIAL**

**APROBADA:**

Ing. Nicolás Pinto Mosquera, M.Sc

**DIRECTOR DE TESIS**



**FIRMA**

Ing. Juan Carlos de la Vega, M.Sc

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



**FIRMA**

Dra. Lucía Toromoreno, M.Sc

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



**FIRMA**

Ing. Luis Armando Manosalvas, M.Sc

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



**FIRMA**



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

### AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

#### 1. IDENTIFICACION DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	100328725-5		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Benavides Bastidas Alejandra Estefanía		
<b>DIRECCIÓN:</b>	Ibarra, Ave. Atahualpa		
<b>EMAIL:</b>	ale92_b@hotmail.com		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	06 2652 – 628	<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0979055183
DATOS DE LA OBRA			
<b>TÍTULO:</b>	Efecto del cloruro de calcio y el proceso de secado sobre las características organolépticas de las hojuelas osmodeshidratadas de melocotón <i>Prunus pérsica</i> .		
<b>AUTOR:</b>	Benavides Bastidas Alejandra Estefanía		
<b>FECHA:</b>	año mes día		
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO			
<b>PROGRAMA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/>	PREGRADO	<input type="checkbox"/> POSTGRADO
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	Ingeniero Agroindustrial		
<b>ASESOR / DIRECTOR:</b>	Ing. Nicolás Pinto Mosquera M.Sc.		

## **2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD**

Yo, Alejandra Estefanía Benavides Bastidas, con cédula de identidad número 100328725-5, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

## **3. CONSTANCIAS**

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 30 días del mes de Enero de 2017

**EL AUTOR:**



-----  
**Benavides Bastidas Alejandra**

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por la señorita Benavides Bastidas Alejandra Estefanía, bajo mi supervisión.

---



Ing. Nicolás Pinto Mosquera  
DIRECTOR DE TESIS

## DECLARACIÓN

Manifiesto que la presente obra es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros; por lo tanto, es original y que soy el titular de los derechos patrimoniales; por lo que asumo la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldré en defensa de la Universidad Técnica del Norte en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 01 días del mes de Febrero de 2017



---

Alejandra Estefanía Benavides Bastidas

## **CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

Yo, Alejandra Estefanía Benavides Bastidas, con cédula de identidad Nro. 100328725-5, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor de la obra o trabajo de grado denominado: **EFEECTO DEL CLORURO DE CALCIO Y EL PROCESO DE SECADO SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS DE LAS HOJUELAS OSMODESHIDRATADAS DE MELOCOTÓN *Prunus pérsica***, que ha sido desarrollado para optar por el título de: **INGENIERO AGROINDUSTRIAL** en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, a los 01 días del mes de Febrero de 2017



\_\_\_\_\_  
Alejandra Estefanía Benavides Bastidas

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de investigación a mis padres, a Luis Eduardo quien con sus consejos, ayuda incondicional y comprensión siempre me apoyo en mis estudios, a Rosa Elvira por ser una madre justa, buena y trabajadora, un ejemplo que emprenderé por el resto de mi vida, por convertirse en mi mejor amiga y confidente, por su paciencia y gran esfuerzo para luchar por un futuro mejor; a ellos por brindarme el amor y cariño de familia que me enseñaron que hay sacrificios en la vida con grandes recompensas.

A mi querido hijo José Edu, porque eres la razón de esforzarme cada día por un sueño, y en días duros de afrontar tu presencia tu sonrisa es mi motivación para continuar.

***Alejandra Estefanía Benavides Bastidas.***



## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por sus innumerables bendiciones, y guiarme en cada paso permitiendo llegar hasta este punto en mi vida, culminar mis estudios universitarios.

A la Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la Universidad Técnica del Norte, a todos los profesores por permitirme adquirir importantes conocimientos para mi futura vida profesional.

Por su apoyo y colaboración incondicional como Director de Tesis, mi sincero agradecimiento al Ing. Nicolás Pinto.

De igual manera un especial agradecimiento por su valiosa ayuda y conocimientos al Ing. Juan De la Vega, Ing. Luis Armando Manosalvas y Dra. Lucía Toromoreno, quienes me asesoraron y colaboraron en el momento preciso para llegar a la culminación de esta investigación.

A todos aquellos que estuvieron presentes de forma directa e indirecta apoyándome e impulsándome a continuar, mi familia y amigos.

***Alejandra Estefanía Benavides Bastidas.***

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE CONTENIDO.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xv
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xvii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xviii
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS.....	xx
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xxi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xxi
RESUMEN.....	xxii
SUMARY.....	xxiii

## CONTENIDO

<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>2</b>
<b>1.2. OBJETIVOS .....</b>	<b>3</b>
1.3.1 OBJETIVO GENERAL .....	3
1.3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO.....	3
<b>1.3. HIPOTESIS DE TRABAJO .....</b>	<b>4</b>
1.4.1 HIPÓTESIS NULA .....	4
1.4.2 HIPÓTESIS ALTERNATIVA.....	4
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>5</b>
<b>2. MARCO DE REFERENCIA.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1. MELOCOTÓN <i>PRUNUS PÉRSICA</i>.....</b>	<b>5</b>
<b>2.2 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA DE MELOCOTÓN.....</b>	<b>5</b>
2.2.1 VALOR NUTRICIONAL.....	6
2.2.2 USOS Y CONSERVACIÓN.....	7
2.2.3 PRODUCCIÓN EN IMBABURA .....	8

<b>2.3</b>	<b>DESHIDRATACIÓN EN FRUTAS.....</b>	<b>9</b>
2.3.1	NORMATIVA PARA PRODUCTOS DESHIDRATADOS.....	9
<b>2.4</b>	<b>DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA .....</b>	<b>9</b>
2.4.1	VENTAJAS DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA .....	10
2.4.2	CINÉTICA DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA.....	11
2.4.3	CONTENIDO DE HUMEDAD .....	11
2.4.4	ISOTERMAS DE SORCIÓN.....	12
2.4.4.1	Tipos de Isotermas.....	16
2.4.5	RELACIÓN DE ACTIVIDAD DE AGUA Y PRESIÓN OSMÓTICA EN SOLUCIONES OSMÓTICAS. ....	19
2.4.5.1	Actividad de agua. ....	19
2.4.5.2	Presión osmótica.....	20
2.4.6	FACTORES QUE INFLUYEN EN DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA .....	21
2.4.6.1	Velocidad de transferencia de masa.....	21
2.4.6.2	Sustancias osmodeshidratantes .....	22
<b>2.5</b>	<b>SALES DE CALCIO .....</b>	<b>24</b>
<b>2.6</b>	<b>DESHIDRATACIÓN .....</b>	<b>25</b>
2.6.1	PSICROMETRÍA.....	26
2.6.1.1	Diagrama psicrométrico.....	26
2.6.2	TIPOS DE SECADORES .....	30
2.6.3	SECADOR DE BANDEJAS.....	30
2.6.4	FACTORES QUE AFECTAN EL SECADO .....	31
2.6.5	PRINCIPIOS DE SECADO.....	32
2.6.6	ACTIVIDAD DE AGUA .....	36
<b>2.7</b>	<b>MECANISMO Y CINÉTICA EN EL PROCESO DE SECADO.....</b>	<b>39</b>
2.7.1	CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO .....	44
2.7.2	PERIODOS DE SECADO .....	47
2.7.2.1	Período a velocidad constante.....	48
2.7.2.2	Periodo de velocidad decreciente .....	49
2.7.3	Teoría Capilar.....	51
2.7.4	Teoría de difusión.....	53
2.7.5	Teoría de la evaporación – condensación.....	55
<b>CAPITULO III.....</b>		<b>52</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>52</b>

<b>3.1</b>	<b>CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO .....</b>	<b>52</b>
3.1.1	CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES DEL AIRE DE SECADO Y DEL SECADOR DE BANDEJAS .....	53
3.1.1.1	Temperatura ambiente .....	53
3.1.1.2	Temperaturas de secado.....	54
3.1.1	UBICACIÓN DEL EXPERIMENTO .....	55
<b>3.2</b>	<b>MATERIALES Y EQUIPOS.....</b>	<b>56</b>
3.2.1	MATERIA PRIMA E INSUMOS.....	56
3.2.2	MATERIALES Y EQUIPOS DE LABORATORIO .....	56
<b>3.3</b>	<b>MÉTODOS.....</b>	<b>56</b>
3.3.1	EVALUAR EL PROCESO DE OSMODESHIDRATACIÓN .....	56
3.3.1.1	Efecto de la impregnación de cloruro de calcio en las hojuelas de melocotón .....	56
3.3.1.2	Actividad de agua y humedad en las hojuelas de melocotón.....	57
3.3.2	EFECTO DE TEMPERATURA Y LA VELOCIDAD DE AIRE EN EL PROCESO DE SECADO.....	57
3.3.3	FACTORES EN ESTUDIO .....	58
3.3.4	TRATAMIENTOS .....	58
3.3.5	DISEÑO EXPERIMENTAL.....	59
3.3.6	CARACTERÍSTICAS DEL EXPERIMENTO.....	59
3.3.7	CARACTERÍSTICAS DE LA UNIDAD EXPERIMENTAL.....	59
3.3.8	ANÁLISIS DE VARIANZA.....	60
3.3.9	ANÁLISIS FUNCIONAL.....	60
<b>3.4</b>	<b>EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL PRODUCTO TERMINADO .....</b>	<b>60</b>
3.4.1	VARIABLES CUANTITATIVAS .....	60
3.4.1.1	Análisis Físico-químicos.....	60
3.4.1.2	Análisis microbiológicos .....	61
3.4.2	MÉTODOS DE EVALUACIÓN: VARIABLES CUANTITATIVAS.....	61
3.4.3	VARIABLES CUALITATIVAS .....	63
3.4.3.1	Métodos de evaluación: Variables cualitativas.....	63
<b>3.5</b>	<b>MANEJO ESPECÍFICO DEL EXPERIMENTO .....</b>	<b>67</b>
3.5.1	MÉTODO DE PROCESAMIENTO .....	67
3.5.2	DIAGRAMA DE FLUJO.....	68
3.5.3	DESCRIPCIÓN DE PROCESO.....	69
<b>CAPÍTULO IV</b>	<b>.....</b>	<b>75</b>

<b>4.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIONES .....</b>	<b>75</b>
<b>4.1</b>	<b>PROCESO DE OSMODESHIDRATACIÓN .....</b>	<b>75</b>
4.1.1	ACTIVIDAD DE AGUA EN PRODUCTO DURANTE ÓSMOSIS .....	75
4.1.2	HUMEDAD EN PRODUCTO DURANTE ÓSMOSIS.....	77
4.1.3	ISOTERMAS DE DESORSIÓN.....	78
4.1.4	ACTIVIDAD DE AGUA EN SOLUCIONES OSMODESHIDRATADORAS ..	81
4.1.5	PRESIÓN OSMÓTICA EN SOLUCIONES OSMODESHIDRATADORAS. ....	83
<b>4.2</b>	<b>PROCESO DE SECADO.....</b>	<b>84</b>
4.2.1	Cinética de secado para T1 (0% Concentración de CaCl <sub>2</sub> , Temperatura 45°C, Velocidad de aire 2.5 m/s).....	84
4.2.1.1	Curva de secado para T1.....	85
4.2.1.2	Curva de velocidad de secado para T1 .....	86
4.2.1.3	Tiempo total de secado para T1 .....	87
4.2.2	Cinética de secado para T2 (0% Concentración de CaCl <sub>2</sub> , Temperatura 45°C, Velocidad de aire 4 m/s).....	88
4.2.2.1	Curva de secado para T2.....	88
4.2.2.2	Curva de velocidad de secado para T2 .....	89
4.2.2.3	Tiempo total de secado para T2.....	91
4.2.3	Cinética de secado para T3 (0% Concentración de CaCl <sub>2</sub> , Temperatura 60°C, Velocidad de aire 2.5 m/s).....	92
4.2.3.1	Curva de secado para T3.....	92
4.2.3.2	Curva de velocidad de secado para T3 .....	93
4.2.3.3	Tiempo total de secado para T3.....	95
4.2.4	Cinética de secado para T4 (0% Concentración de CaCl <sub>2</sub> , Temperatura 60°C, Velocidad de aire 4 m/s).....	96
4.2.4.1	Curva de secado para T4.....	96
4.2.4.2	Curva de velocidad de secado para T4 .....	97
4.2.4.3	Tiempo total de secado para T4.....	99
4.2.5	Cinética de secado para T5 (2.5% Concentración de CaCl <sub>2</sub> , Temperatura 45°C, Velocidad de aire 2.5 m/s).....	100
4.2.5.1	Curva de secado para T5.....	100
4.2.5.2	Curva de velocidad de secado para T5 .....	101
4.2.5.3	Tiempo total de secado para T5.....	103
4.2.6	Cinética de secado para T6 (2.5% Concentración de CaCl <sub>2</sub> , Temperatura 45°C, Velocidad de aire 4 m/s).....	104
4.2.6.1	Curva de secado para T6.....	104

4.2.6.2	Curva de velocidad de secado para T6 .....	105
4.2.6.3	Tiempo total de secado para T6.....	107
4.2.7	Cinética de secado para T7 (2.5% Concentración de CaCl <sub>2</sub> , Temperatura 60°C, Velocidad de aire 2.5 m/s).....	108
4.2.7.1	Curva de secado para T7.....	108
4.2.7.2	Curva de velocidad de secado para T7 .....	110
4.2.7.3	Tiempo total de secado para T7.....	111
4.2.8	Cinética de secado para T8 (2.5% Concentración de CaCl <sub>2</sub> , Temperatura 60°C, Velocidad de aire 4 m/s).....	112
4.2.8.1	Curva de secado para T8.....	112
4.2.8.2	Curva de velocidad de secado para T8 .....	113
4.2.8.3	Tiempo total de secado para T8.....	116
4.2.9	Cinética de secado para T9 (5% Concentración de CaCl <sub>2</sub> , Temperatura 45°C, Velocidad de aire 2.5 m/s).....	116
4.2.9.1	Curva de secado para T9.....	117
4.2.9.2	Curva de velocidad de secado para T9 .....	118
4.2.9.3	Tiempo total de secado para T9.....	120
4.2.10	Cinética de secado para T10 (5% Concentración de CaCl <sub>2</sub> , Temperatura 45°C, Velocidad de aire 4 m/s).....	120
4.2.10.1	Curva de secado para T10.....	121
4.2.10.2	Curva de velocidad de secado para T10 .....	122
4.2.10.3	Tiempo total de secado para T10.....	124
4.2.11	Cinética de secado para T11 (5% Concentración de CaCl <sub>2</sub> , Temperatura 60°C, Velocidad de aire 2.5 m/s).....	124
4.2.11.1	Curva de secado para T11.....	125
4.2.11.2	Curva de velocidad de secado para T11 .....	126
4.2.11.3	Tiempo total de secado para T11 .....	128
4.2.12	Cinética de secado para T12 (5% Concentración de CaCl <sub>2</sub> , Temperatura 60°C, Velocidad de aire 4 m/s).....	128
4.2.12.1	Curva de secado para T12.....	129
4.2.12.2	Curva de velocidad de secado para T12 .....	130
4.2.12.3	Tiempo total de secado para T12.....	132
<b>4.3</b>	<b>SÓLIDOS SOLUBLES EN PRODUCTO TERMINADO.....</b>	<b>132</b>
<b>4.4</b>	<b>pH EN PRODUCTO TERMINADO .....</b>	<b>137</b>
<b>4.5</b>	<b>HUMEDAD EN PRODUCTO TERMINADO.....</b>	<b>143</b>

<b>4.6</b>	<b>ACTIVIDAD DE AGUA (Aw) EN PRODUCTO TERMINADO .....</b>	<b>146</b>
<b>4.7</b>	<b>EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL PRODUCTO TERMINADO .....</b>	<b>153</b>
<b>4.8</b>	<b>ANÁLISIS ORGANOLÉPTICO.....</b>	<b>153</b>
4.8.1	COLOR .....	154
4.8.2	AROMA .....	156
4.8.3	SABOR.....	158
4.8.4	TEXTURA (Dureza) .....	160
4.8.5	ACEPTABILIDAD .....	162
<b>4.9</b>	<b>DETERMINACIÓN DE MEJORES TRATAMIENTOS EN PRODUCTO FINAL .....</b>	<b>164</b>
<b>4.10</b>	<b>ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO A LOS MEJORES TRATAMIENTOS.....</b>	<b>165</b>
<b>4.11</b>	<b>ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO A LOS MEJORES TRATAMIENTOS.....</b>	<b>165</b>
<b>4.12</b>	<b>BALANCE DE MATERIALES PARA EL MEJOR TRATAMIENTO T8 (A2B2C2) .....</b>	<b>167</b>
<b>4.13</b>	<b>RENDIMIENTO DEL MEJOR TRATAMIENTO.....</b>	<b>168</b>
<b>4.14</b>	<b>COSTOS DE PRODUCCIÓN AL MEJOR TRATAMIENTO.....</b>	<b>168</b>
<b>4.15</b>	<b>BALANCE DE ENERGÍA.....</b>	<b>169</b>
<b>CAPÍTULO V.....</b>		<b>172</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>		<b>172</b>
<b>5.1</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>172</b>
<b>5.2</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>178</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>		<b>179</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>183</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición nutricional fruto Melocotón por cada 100gr. ....	7
Tabla 2. Fracciones molares de los solutos: .....	19
Tabla 3: Condiciones ambientales de la Ciudad de Ibarra. ....	52
Tabla 4. Temperatura bulbo seco y temperatura de bulbo húmedo. ....	53
Tabla 5: Condiciones ambientales a temperatura ambiente .....	54
Tabla 6: Propiedades de la temperatura de secado a 45°C.....	54
Tabla 7: Propiedades del aire de salida a 43°C .....	54
Tabla 8: Propiedades de la temperatura de secado a 60°C.....	55
Tabla 9: Propiedades del aire de salida a 55°C .....	55
Tabla 10. Materia prima e insumos .....	56
Tabla 11. Materiales y equipos de laboratorio. ....	56
Tabla 12. Descripción de tratamientos .....	59
Tabla 13. Esquema del ADEVA .....	60
Tabla 14. Evaluación Análisis Físico-químicos .....	61
Tabla 15. Análisis microbiológico .....	61
Tabla 16. Evaluación sensorial del color.....	63
Tabla 17. Evaluación sensorial del aroma.....	64
Tabla 18. Evaluación sensorial del sabor. ....	64
Tabla 19. Evaluación sensorial de textura (dureza) .....	65
Tabla 20. Escala de aceptabilidad para los consumidores.....	66
Tabla 21. Evaluación de parámetros de Humedad y Actividad de agua. ....	75
Tabla 22. Actividad de agua en soluciones osmóticas de sacarosa con Cl <sub>2</sub> Ca.....	82
Tabla 23. Presión osmótica en soluciones osmóticas de sacarosa con Cl <sub>2</sub> Ca.....	83
Tabla 24: Valor de humedad y velocidad de secado para el tratamiento T1.....	84
Tabla 25: Valor de humedad y velocidad de secado para el tratamiento T2.....	88
Tabla 26: Valor de humedad y velocidad de secado para el tratamiento T3.....	92
Tabla 27: Valor de humedad y velocidad de secado para el tratamiento T4.....	96
Tabla 28: Valor de humedad y velocidad de secado para el tratamiento T5.....	100
Tabla 29: Valor de humedad y velocidad de secado para el tratamiento T6.....	104
Tabla 30: Valor de humedad y velocidad de secado para el tratamiento T7.....	108
Tabla 31: Valor de humedad y velocidad de secado para el tratamiento T8.....	112
Tabla 32: Valor de humedad y velocidad de secado para el tratamiento T9.....	116
Tabla 33: Valor de humedad y velocidad de secado para el tratamiento T10.....	120
Tabla 34: Valor de humedad y velocidad de secado para el tratamiento T11.....	124
Tabla 35: Valor de humedad y velocidad de secado para el tratamiento T12.....	128



Tabla 36: Sólidos Solubles (°Brix) de hojuelas osmodeshidratadas de melocotón.....	133
Tabla 37: Análisis de varianza de sólidos solubles (°Brix).....	133
Tabla 38: Prueba de tukey para tratamientos variable sólidos solubles (°Brix).....	134
Tabla 39: Prueba de DMS para factores A variables sólidos solubles (°Brix).....	134
Tabla 40: Prueba de DMS para factores C variables sólidos solubles (°Brix).....	135
Tabla 41: Valores de pH de hojuelas osmodeshidratadas de melocotón.....	137
Tabla 42: Análisis de varianza de pH.....	138
Tabla 43: Prueba de Tukey para tratamientos variable pH. ....	139
Tabla 44: Prueba de DMS para los factores A de la variable pH.....	139
Tabla 45: Prueba de DMS para los factores B de la variable pH.....	139
Tabla 46: Prueba de DMS para los factores C de la variable pH.....	140
Tabla 47: Valores de la humedad de hojuelas osmodeshidratadas de melocotón. ....	143
Tabla 48: Análisis de varianza de Humedad.....	143
Tabla 49 Prueba de tukey para tratamientos de la variable humedad. ....	144
Tabla 50: Actividad de agua (%) de hojuelas osmodeshidratadas de melocotón.....	147
Tabla 51: Análisis de varianza de actividad de agua Aw.....	147
Tabla 52: Prueba de tukey para tratamientos de la variable Aw.....	148
Tabla 53: Prueba de DMS para los factores A de la variable Actividad de agua (Aw). ....	148
Tabla 54: Prueba de DMS para los factores B de la variable Actividad de agua (Aw). ....	149
Tabla 55: Prueba de DMS para los factores C de la variable Actividad de agua (Aw). ....	149
Tabla 56: Variables Independientes vs Variables Dependientes.....	153
Tabla 57: Rangos del color.....	154
Tabla 58. Valor tabulado de Friedman para Color.....	154
Tabla 59: Rangos de aroma.....	156
Tabla 60. Valor tabulado de Friedman para Aroma.....	156
Tabla 61: Rangos de sabor.....	158
Tabla 62. Valor tabulado de Friedman para Sabor.....	158
Tabla 63: Rangos de textura.....	160
Tabla 64. Valor tabulado de Friedman para Textura.....	160
Tabla 65: Rangos de aceptabilidad.....	162
Tabla 66. Valor tabulado de Friedman para Aceptabilidad.....	162
Tabla 67. Determinación de mejores tratamientos. ....	164
Tabla 68: Resultado de análisis físico-químico de hojuelas osmodeshidratadas de melocotón.	165
Tabla 69 Requisitos microbiológicos para productos deshidratados.....	166
Tabla 70: Resultado de análisis microbiológico de hojuelas osmodeshidratadas de melocotón. .....	166

Tabla 71. Costos de producción al mejor tratamiento.....	168
Tabla 72. Eficiencia energética de maquinaria. ....	171

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Melocotón Prunus pérsica.....	5
Figura 2. Proceso de deshidratación osmótica .....	9
Figura 3. Isotherma de adsorción y desorción de humedad de los alimentos (histéresis).....	12
Figura 4. Isotherma de sorción de humedad.....	13
Figura 5. Influencia de la temperatura en las isotermas de equilibrio.....	14
Figura 6. Mapa de estabilidad de los alimentos en función de la Aw .....	15
Figura 7. Tipos de Isothermas de sorción propuestas Brunauer (1940).....	17
Figura 8. Clasificación de los principales tipos de secadores. ....	30
Figura 9. Agua en la materia orgánica .....	36
Figura 10. Influencia de la Actividad de agua (Aw) y el pH en la estabilidad de los alimentos.	38
Figura 11. Proceso básico de secado.....	43
Figura 12. Visión esquemática de la transferencia de masa y calor en el secado. ....	44
Figura 13. Gráfica de los datos de humedad libre en función del tiempo .....	45
Figura 14. Curva de velocidad de secado en función del contenido de humedad libre.....	46
Figura 15. Períodos de Deseccación .....	47
Figura 16. Periodo de velocidad constante.....	49
Figura 17. Periodo de secado .....	50
Figura 18. Periodos de velocidad decreciente .....	51
Figura 19. Disposición relativa de agua y partículas en el secado durante las diversas etapas del secado.....	52
Figura 20. Trayectoria de vapor de agua durante la deshidratación.....	54
Figura 21. Relación entre el contenido de humedad y difusividad. ....	55
Figura 22: Diagrama de bloques de hojuelas deshidratadas de Melocotón.....	67
Figura 23: Diagrama Ingenieril de hojuelas osmodeshidratadas de melocotón. ....	68
Figura 24: Diagrama de bloques al mejor tratamiento. ....	167
Figura 25. Rating Scale for Translucency of Pineapples .....	187
Figura 26. Evaluación del color en pulpa de tomates deshidratados dulces para la elaboración de confituras.....	187

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Propiedades psicométricas del aire de la Ciudad de Ibarra.....	53
Gráfico 2. Pérdida de Actividad de Agua (Aw).....	76
Gráfico 3. Pérdida de Humedad.....	77
Gráfico 4. Isotherma de Desorción 0% CaCl <sub>2</sub> .....	79
Gráfico 5. Isotherma de Desorción 2.5% CaCl <sub>2</sub> .....	79
Gráfico 6. Isotherma de Desorción 5% CaCl <sub>2</sub> .....	80
Gráfico 7: Curva de secado T1.....	85
Gráfico 8: Curva de velocidad de secado T1.....	86
Gráfico 9. Mecanismo de eliminación de humedad T1.....	87
Gráfico 10: Curva de secado T2.....	89
Gráfico 11: Curva de velocidad de secado T2.....	90
Gráfico 12. Mecanismo de eliminación de humedad T2.....	91
Gráfico 13: Curva de secado T3.....	93
Gráfico 14: Curva de velocidad de secado T3.....	94
Gráfico 15. Mecanismo de eliminación de humedad T3.....	95
Gráfico 16: Curva de secado T4.....	97
Gráfico 17: Curva de velocidad de secado T4.....	98
Gráfico 18. Mecanismo de eliminación de humedad T4.....	99
Gráfico 19: Curva de secado T5.....	101
Gráfico 20: Curva de velocidad de secado T5.....	102
Gráfico 21. Mecanismo de eliminación de humedad T5.....	103
Gráfico 22: Curva de secado T6.....	105
Gráfico 23: Curva de velocidad de secado T6.....	106
Gráfico 24. Mecanismo de eliminación de humedad T6.....	107
Gráfico 25: Curva de secado T7.....	109
Gráfico 26: Curva de velocidad de secado T7.....	110
Gráfico 27. Mecanismo de eliminación de humedad.....	111
Gráfico 28: Curva de secado T8.....	113
Gráfico 29: Curva de velocidad de secado T8.....	114
Gráfico 30. Mecanismo de eliminación de humedad T8.....	115
Gráfico 31: Curva de secado T9.....	117
Gráfico 32: Curva de velocidad de secado T9.....	118
Gráfico 33. Mecanismo de eliminación de humedad T9.....	119
Gráfico 34: Curva de secado T10.....	121
Gráfico 35: Curva de velocidad de secado T10.....	122

Gráfico 36. Mecanismo de eliminación de humedad T10.....	123
Gráfico 37: Curva de secado T11.....	125
Gráfico 38: Curva de velocidad de secado T11 .....	126
Gráfico 39. Mecanismo de eliminación de humedad T11.....	127
Gráfico 40: Curva de secado T12.....	129
Gráfico 41: Curva de velocidad de secado T12 .....	130
Gráfico 42. Mecanismo de eliminación de humedad T12.....	131
Gráfico 43: Interacción de los factores A (Concentraciones de CaCl <sub>2</sub> ) y C (Velocidad de aire) en la variable Sólidos solubles .....	135
Gráfico 44: Representación gráfica de la variable Sólidos solubles hojuelas osmodeshidratadas de melocotón.....	136
Gráfico 45: Interacción de los factores A (Concentraciones de CaCl <sub>2</sub> ) y B (temperatura °C) en la variable pH.....	140
Gráfico 46: Interacción de los factores A (Concentraciones de CaCl <sub>2</sub> ) y C (Velocidad de aire) en la variable pH.....	141
Gráfico 47: Interacción de los factores B (temperatura °C) y C (Velocidad de aire) en la variable pH.....	141
Gráfico 48: Representación gráfica de la variable pH de hojuelas osmodeshidratadas de melocotón.....	142
Gráfico 49: Representación gráfica de la variable Humedad de hojuelas osmodeshidratadas de melocotón.....	145
Gráfico 50: Interacción de los factores A (Concentraciones de CaCl <sub>2</sub> ) y B (temperatura °C) en la variable Actividad de agua (A <sub>w</sub> ).....	149
Gráfico 51: Interacción de los factores A (Concentraciones de CaCl <sub>2</sub> ) y C (Velocidad de aire) en la variable Actividad de agua (A <sub>w</sub> ).....	150
Gráfico 52: Interacción de los factores B (temperatura °C) y C (Velocidad de aire) en la variable Actividad de agua (A <sub>w</sub> ).....	150
Gráfico 53: Representación gráfica de la variable Actividad de agua (A <sub>w</sub> ) de hojuelas osmodeshidratadas de melocotón.....	151
Gráfico 54: Promedio de color por tratamiento.....	155
Gráfico 55: Promedio de Aroma por tratamientos .....	157
Gráfico 56: Promedio de sabor por tratamientos.....	159
Gráfico 57: Promedio de textura por tratamiento.....	161
Gráfico 58: Promedio de aceptabilidad por tratamientos.....	163

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Recepción del fruto de melocotón.....	69
Fotografía 2. Selección.....	69
Fotografía 3. Pesado 1.....	69
Fotografía 4. Fruta lavada.....	70
Fotografía 7. Escaldado.....	70
Fotografía 8. Ecurrido.....	70
Fotografía 5. Pelado.....	71
Fotografía 9. Troceado.....	71
Fotografía 6. Pesado 2.....	71
Fotografía 10. Pre-tratamiento osmótico.....	72
Fotografía 11. Ecurrido.....	72
Fotografía 12. Pesado 3.....	72
Fotografía 13. Secado.....	73
Fotografía 14. Enfriamiento.....	73
Fotografía 15. Pesado 4.....	73
Fotografía 16. Empacado.....	74
Fotografía 17. Almacenamiento.....	74

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Ecuación “BET” .....	14
Ecuación 2. Ecuación de Norrish .....	19
Ecuación 3. Ecuación de Presión osmótica. ....	20
Ecuación 4. Humedad de un sólido .....	32
Ecuación 5. Humedad en base seca.....	32
Ecuación 6. Humedad en base húmeda. ....	32
Ecuación 7. Porcentaje de humedad.....	33
Ecuación 8. Peso de sólidos secos.....	44
Ecuación 9. Humedad libre. ....	45
Ecuación 10. Velocidad de secado.....	46
Ecuación 11: Friedman.....	66
Ecuación 12. Transferencia de calor .....	170

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexos 1 : Cálculo de Actividad de agua en soluciones osmóticas.....	183
Anexos 2. Cálculo de presiones osmótica en soluciones osmóticas. ....	185
Anexos 3. Volumen de la disolución para determinación de presión osmótica. ....	186
Anexos 4. Área total para determinar la cantidad de calor.....	186
Anexos 5. Características técnicas y estructura del equipo deshidratador. ....	186
Anexos 6. Referencia de color para variable cualitativa Color .....	187
Anexos 7. Reglamento Técnico Ecuatoriano 2996 .....	188
Anexos 8. Análisis fisicoquímicos y microbiológicos en mejores tratamientos. ....	194
Anexos 9. Evaluación sensorial de hojuelas osmodeshidratadas de melocotón. ....	196

## RESUMEN

Esta investigación presentó como objetivo la evaluación sobre las características organolépticas de las hojuelas osmodeshidratadas de melocotón *prunus pérsica*, en los procesos de ósmosis y secado utilizando factores de estudio como las concentraciones de cloruro de calcio, temperatura de secado y velocidad de aire.

Las hojuelas de melocotón fueron inmersas en un pretratamiento osmótico de sacarosa con cloruro de calcio a concentraciones de 0%, 2.5% y 5%, durante un periodo de 6 horas a temperatura ambiente 20°C. Los factores en el proceso de secado son temperatura a 45 °C y 60 °C, y velocidad de aire de 2.5m/s y 4 m/s.

Se aplicó un diseño completamente al azar, con arreglo factorial AxBxC con doce tratamientos y tres repeticiones, con un total de 36 unidades experimentales. Para el análisis funcional se empleó la prueba de Tukey al 5% para tratamientos y Diferencia Media Significativa (DMS) al 5% para factores.

Las variables cuantitativas evaluadas fueron: humedad y actividad de agua durante el proceso de ósmosis; sólidos solubles, pH, actividad de agua, humedad en el producto terminado para determinar a los mejores tratamientos. De la misma manera, para medir las variables cualitativas se evaluó olor, color, sabor, textura (dureza) y aceptabilidad.

El efecto de las concentraciones de cloruro de calcio al 2.5% y 5%, influyo en la pérdida del contenido de humedad y actividad de agua durante el proceso de ósmosis, y junto con los factores de temperatura 60 °C y velocidad de aire 4 m/s presentaron mejores resultados en los análisis fisicoquímicos, microbiológicos y organolépticos; determinando al T8 concentración de cloruro de calcio al 2.5%, temperatura 60°C y velocidad de aire 4 m/s, como el mejor tratamiento; ya que como producto terminado contiene un bajo contenido de actividad de agua, de humedad, una textura moderadamente dura y es aceptable de acuerdo a los degustadores.

## ABSTRACT

This research presented as objective evaluation of the organoleptic characteristics of peach prunus Persian osmodeshidratadas flakes, in the processes of osmosis and drying using study factors such as concentrations of calcium chloride, drying temperature and air velocity.

Peach flakes were immersed in a sucrose osmotic pretreatment with calcium chloride at concentrations of 0%, 2.5% and 5%, for a period of 6 hours at temperature 20° c ambient. Factors in the drying process are temperature at 45 ° C and 60 ° C, and speed of 2.5 m/s air and 4 m/s.

Applied a design completely at random, in accordance with factorial AxBxC twelve treatments with three repetitions, with a total of 36 experimental units. Functional analysis used the Tukey test for treatments and significant mean difference (DMS) 5% 5% for factors.

The quantitative variables evaluated were: moisture and water during the process of osmosis activity; soluble solids, pH, water activity, moisture in the product to determine the best treatments. Of the same way, to measure the variable qualitative is evaluated smell, color, flavor, texture (hardness) and acceptability.

The effect of the concentrations of chloride of calcium to the 2.5% and 5%, influenced in the loss of the content of humidity and activity of water during the process of osmosis, and together with them factors of temperature 60 ° C and speed of air 4 m/s presented best results in them analysis physico-chemical, microbiological and organoleptic; the T8 determining concentration of chloride of calcium to 2.5%, temperature 60° C and air speed 4 m/s, as the best treatment; as a finished product, it contains a low content of activity of water, moisture, texture moderately hard and is acceptable according to the tasters.

**Keywords:** Peaches, osmosis process, humidity, water activity, chloride and calcium, drying process.



# **CAPÍTULO I**

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA**

El cambio del estilo de vida en la sociedad actual, está principalmente reflejada en la escasez de tiempo para la preparación de comidas, lo cual ha dado espacio a la introducción de nuevos productos en la variedad de snacks saludables de fruta, ya que el consumidor busca incorporar en su dieta diaria el consumo de productos nutritivos como snacks de frutas deshidratadas, que contengan un alto contenido nutricional.

Por otro lado, este país es un prestigioso productor de fruta fresca deliciosa y de alta calidad, rigiéndose a las normas de producción para exportación; pero con la fruta de rechazo que normalmente se consume en este mercado también hay un potencial para desarrollar nuevos productos, y en este caso el melocotonero es la especie de mayor dinamismo varietal dentro de los frutales, en el cual se ha comprobado numerosos beneficios nutricionales y funcionales. (Sánchez-Campillo, 2012)

El contenido de las propiedades nutritivas de las hojuelas osmodeshidratadas de melocotón debe mantenerse igual o superior al que se encuentra en la composición nutricional de la fruta en estado fresco. El producto se evaluará con respecto a los parámetros de humedad, actividad de agua, textura y aceptabilidad, atributos muy importantes para la conservación y determinación del tiempo de vida útil de este producto, y para su aceptabilidad por parte de los consumidores.

## 1.2 JUSTIFICACIÓN

Con el objetivo de promover el consumo de alimentos sanos y de óptima calidad, es necesario utilizar tecnologías que permitan la conservación de alimentos, sobre todo de frutas climatéricas, que son sensibles a la temperatura de procesamiento y almacenamiento. Por lo que es importante diseñar nuevos productos funcionales a base de frutas, en donde no sea importante solamente prolongar la vida útil de la fruta, sino que también contenga la mayoría de sus propiedades nutritivas. Además, es muy importante que cumplan con las exigencias del consumidor para el crecimiento de la agroindustria a nivel nacional.

El melocotón es un fruto climatérico, que se destaca por presentar componentes fisiológicamente activos muy importantes. En el medio en el que se encuentra este tipo de fruta no constituye una mayor rentabilidad en el proceso de comercialización, ya que los productores se sujetan al precio que imponen los intermediarios (Calderón, 2012), de tal manera que se requieren estrategias diferentes para aumentar su rentabilidad. La ventaja de un alimento deshidratado es que puede aumentar en un 50% su periodo de consumo más que un alimento en fresco, de tal manera que se ampliaría el grupo de consumidores; y con ello, se lograría contribuir al aprovechamiento, comercialización, conservación e industrialización del fruto de melocotón en esta provincia y país.

Durante el proceso de secado uno de los cambios más importantes que sufre la fruta es el cambio textural y estructural presentando ablandamiento por el efecto de la temperatura y la pérdida de turgencia celular; de manera que la influencia de cloruro de calcio en el pretratamiento osmótico ayudará a mejorar la textura de la fruta; además, aumenta la pérdida de agua en el alimento y facilita el proceso de secado.

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el efecto del cloruro de calcio y el proceso de secado sobre las características organolépticas de las hojuelas osmodeshidratadas de melocotón *prunus pérsica*.

### **1.3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO**

- Evaluar el proceso de osmodeshidratación mediante una solución de cloruro de calcio y sacarosa en las hojuelas de melocotón *prunus pérsica*.
- Analizar el efecto de temperatura y de velocidad de aire en el proceso de secado por bandejas, de melocotón osmodeshidratado con cloruro de calcio.
- Evaluar la calidad del producto terminado mediante análisis Físicoquímico, microbiológico y organoléptico.

### **1.3. HIPOTESIS DE TRABAJO**

#### **1.4.1 HIPÓTESIS NULA**

Las concentraciones de cloruro de calcio en la solución osmótica, temperatura y la velocidad de aire en el secado, no influyen en la calidad físicoquímica y organoléptica de las hojuelas de melocotón osmodeshidratado

#### **1.4.2 HIPÓTESIS ALTERNATIVA**

Las concentraciones de cloruro de calcio en la solución osmótica, temperatura y la velocidad de aire en el secado, mejora la calidad físicoquímica y organoléptica de las hojuelas de melocotón osmodeshidratado.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO DE REFERENCIA

#### 2.1. MELOCOTÓN *PRUNUS PÉRSICA*



**Figura 1.** Melocotón *Prunus pérsica*  
**Fuente:** (Botanical 2006)

El melocotón es un fruto de pulpa jugosa de sabor dulce, aroma agradable, con piel lisa y aterciopelada, aunque estas características cambian de una variedad a otra. Es un fruto climatérico, rico en vitaminas y ofrece muchos beneficios para la salud.

#### 2.2 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA DE MELOCOTÓN

**Sinonimia hispánica:** durazno, fresquilla, paraguaya, nectarina, griñón, pavía, guaytamba.

**Descripción:** Fruto del melocotonero *Prunus pérsica* árbol de la familia de las Rosáceas. El fruto es una drupa típica: pulpa carnosa con un hueso duro en el centro, tiene como característica que acumula poco almidón.

El melocotón *prunus pérsica* es originario de China y durante la Edad Media, su cultivo se extendió por toda Europa, Asia y otros lugares de América como Chile y Brasil; fue introducido al Ecuador por los españoles durante la época de la Colonia, se encuentra distribuido por las regiones templadas de todo el mundo. Calderón (2012) indica que en este país, la siembra de esta fruta se acopló mejor en las provincias de Azuay, Tungurahua, Cotopaxi, Chimborazo y en los valles interandinos próximos a la región amazónica, en donde influye el clima templado y la altura que se encuentra entre los 1 600 y 3 200 metros sobre el nivel del mar.

El melocotón es el fruto del melocotonero, árbol de la familia de las rosáceas que puede alcanzar 6m de altura. Las hojas del melocotonero son lanceoladas, su limbo es liso o ligeramente ondulado y los bordes son aserrados. El fruto es una drupa redondeada de gran tamaño. El calibre del melocotón puede oscilar, según la variedad, entre 55 y 85 mm. (Gil, 2010)

La siembra de esta fruta, se realiza de julio y agosto generalmente; la cosecha empieza en septiembre en las zonas más bajas y hasta abril en las más altas. En Ecuador hay una variedad de especies de duraznos como por ejemplo el melocotón, que han sido segmentados en cuatro grupos. Son los priscos o abridores, los no abridores, los nectarinos y la peladilla, dijo Jorge Fabara, de la Universidad Técnica de Ambato. (EL COMERCIO, 2011)

### **2.2.1 VALOR NUTRICIONAL**

Los melocotones son ricos en fibra, con predominio a la fibra insoluble (que mejora la función intestinal), y entre los minerales destaca su riqueza en potasio, lo cual, lo hace un alimento apropiado para personas hipertensas.

La composición química de los melocotones presenta sobretodo cumarinas, compuestos con acción protectora vascular debido a su capacidad de disminuir la permeabilidad de los capilares y aumentar su resistencia. Benefician la microcirculación venosa, mejoran la tonicidad de las paredes capilares y además son ricos en carotenos. (Viñas Almenar, y otros, 2013)

A continuación, se describe los componentes que contiene el fruto de melocotón por cada 100g de parte comestible cruda. % de la CDR (cantidad diaria recomendada).

**Tabla 1.** Composición nutricional fruto Melocotón por cada 100gr.

<b>Componentes</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>
Energía	Kcal / kJ	43.0 / 180
Proteínas	G	0.700
Carbohidratos	G	9.10
Fibra	G	2.00
Hierro	mg	0.110
Fósforo	mg	12.0
Potasio	mg	197
Calcio	mg	5.00
Magnesio	mg	7.00
Vitamina A	µg ER	54.0
Vitamina C	mg	6.60
Vitamina B2	mg	0.041

**Fuente:** (Pamplona, 2006)

## 2.2.2 USOS Y CONSERVACIÓN

Esta fruta es consumida de manera general en estado fresco, pero también se la puede procesar y obtener de ellas distintos productos tales como frutas en almíbar, mermeladas, pulpa concentrada y una gran variedad de productos agroindustriales.

Según Gil (2010) “los melocotones de carne blanda, con pulpa sin adherencia al endocarpio, se destinan para consumo en fresco. Los melocotones de carne dura, con pulpa fuertemente adherida, se utilizan tanto para consumo de mesa como para la industria.”

Muchos factores externos pueden afectar negativamente la conservación de los frutos con hueso y entre los varios tratamientos que se han aplicado en anteriores investigaciones como la conservación por frío, calor intermitente y almacenamiento en atmósferas controladas han causado pardeamiento, una textura seca y arenosa cuando está maduro, pérdida del aroma característico y de la composición química del fruto, minerales como potasio, magnesio y calcio.

El calcio reduce la tasa de respiración y la producción de etileno, lo cual permite alargar el periodo de conservación. El contenido de calcio muestra a su vez una correlación positiva con la firmeza y negativa con la acidez hasta los 4 meses de conservación frigorífica. (Viñas Almenar, y otros, 2013)

Durante la conservación de frutos en seco ya sea con calor natural o artificial se prolonga su tiempo de vida útil, se proporciona una concentración azúcares en la fruta y se reduce al máximo el contenido de agua que contiene la fruta en fresco, con el fin de detener el desarrollo de los microorganismos que requieren de humedad para desarrollarse.

### **2.2.3 PRODUCCIÓN EN IMBABURA**

Según Calderón (2012) El melocotón o durazno se lo cultiva y comercializa a través de pequeños comerciantes intermediarios que distribuyen a diferentes sectores de la Provincia únicamente como materia prima para la elaboración de batidos, enlatados, gaseosas, mermeladas, vinos, etc.

De tal manera que en la provincia de Imbabura, inicialmente en el cantón Pimampiro por ser el sector con mayor desarrollo en esta variedad de fruto y por el clima que presenta, los procesos de producción del cultivo se realizan de forma tradicional con la ayuda de asesores técnicos especializados en el área que garantizan una buena cosecha y una optimización adecuada de los recursos existentes.

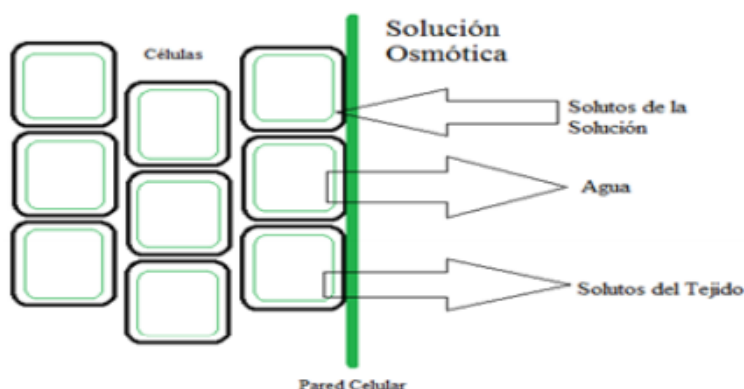


## 2.3 DESHIDRATACIÓN EN FRUTAS

### 2.3.1 NORMATIVA PARA PRODUCTOS DESHIDRATADOS.

El Servicio Ecuatoriano de Normalización se responsabiliza sobre la documentación de la normativa vigente que indican los parámetros óptimos de calidad que debe tener un producto en el momento de procesarse, pero a falta de una norma específica sobre la fruta de melocotón en fresco y fruta deshidratada se trabajará con NTE INEN 1 751:96 FRUTAS FRESCAS, NTE INEN 2996 PRODUCTOS DESHIDRATADOS. ZANAHORIA, ZAPALLO, UVILLA. REQUISITOS que servirá como guía para los contenidos de humedad similar al fruto melocotón y también se utilizará una guía de normas internacionales como las del CODEX ALIMENTARIUS, la norma CODE OF HYGIENIC PRACTICE FOR DRIED FRUITS (CAC/RCP 3-1969).

## 2.4 DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA



**Figura 2.** Proceso de deshidratación osmótica

**Fuente:** (Tapia & Rangel, 2012)

La deshidratación osmótica es el proceso en el cual se extrae una cantidad determinada de agua contenida en los alimentos sólidos mediante su inmersión en soluciones concentradas (hipertónicas) de sólidos solubles, las cuales poseen mayor presión osmótica y menor actividad de agua que el alimento.

Según Colina Irezabal (2010) El soluto de la solución hipertónica atraviesa la membrana celular hacia el interior de las células, cuya concentración del soluto es inferior al de la

solución, con la consecuente salida de agua y sustancias de bajo peso molecular hacia la solución.

La deshidratación osmótica también puede utilizarse como pre-tratamiento en el procesamiento de frutas, antes de la congelación y el secado de frutas, mejorando significativamente las propiedades del producto final.

La aplicación del fenómeno de ósmosis en la deshidratación de frutas se puede lograr ya que las frutas cuentan con elementos necesarios para inducir la ósmosis. Estos elementos corresponden a la pulpa, en donde se encuentra una estructura celular más o menos rígida que actúa como membrana semipermeable, detrás de ella se encuentran el jugo, que es una solución diluida, donde se hallan disueltos sólidos que oscilan entre el 5 a 18% de concentración. Si esta fruta entera o en trozos se sumerge en una solución o jarabe de azúcar de 70%, se tendría un sistema donde se presentaría el fenómeno de ósmosis. (Aguaisa & Carlosama, 2007)

En la investigación de Alvarado (2010) afirma que la pérdida de agua durante la deshidratación osmótica se divide en: periodo de alta velocidad constante de pérdida de agua que dura aproximadamente 2 horas seguido del periodo de velocidad decreciente que va de 2 a 6 horas en promedio.

#### **2.4.1 VENTAJAS DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA**

Colina Irezabal (2010) señala que entre las ventajas se encuentra: mejorar el sabor, color y textura del producto, disminuye el tiempo de deshidratación requerido, reduce los costos energéticos del proceso de deshidratación y prolonga la vida de anaquel del producto.

El proceso es atractivo desde el punto de vista económico, debido a que, como pre-tratamiento, disminuirá considerablemente el tiempo de los procesos unitarios ya conocidos (secado, congelación, refrigeración, liofilización, entre otros) para el desarrollo de un producto mínimamente procesado, reduciendo de esta manera la cantidad de energía requerida para su producción. (Alvarado, 2010)

La práctica de este tratamiento consiste en estabilizar de manera más rápida la Aw (Actividad de Agua), a un punto en que los microorganismos junto con las reacciones que causan deterioro no se puedan desarrollar de manera rápida. Una de las ventajas más importante, es que, se puede disminuir costos de producción dentro del consumo energético, costo de mano de obra, entre otros.

#### **2.4.2 CINÉTICA DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA**

Según Quijano (2011) la cinética de deshidratación se ha analizado desde varios puntos de vista teniendo en cuenta varios fenómenos como: pérdida de agua, ganancia de sólidos, cambio de volumen y pérdida de peso, además García, Muñiz, Hernández Gómez, & Fernández señalan que dentro de estos fenómenos también se comprende la composición de la fracción líquida de la fruta, que producen cambios morfológicos de textura, calidad y estabilidad del producto, que determinan la rentabilidad del proceso. (2013)

Entre los procesos de deshidratación osmótica, se observa un mejor comportamiento en los tratamientos con disoluciones de alta concentración. (Giraldo-Duque, 2007). La pérdida de agua en la deshidratación osmótica ocurre principalmente en las dos primeras horas, mientras que alrededor de los primeros 30 min del tratamiento ocurre la mayor ganancia de sólidos. Pasado este tiempo aproximadamente el paso de flujos entre la parte interna y externa se hacen más lentos hasta llegar al equilibrio.

Ramón (2013) La velocidad de transferencia de masa de otras sustancias hidrosolubles (sales, ácidos orgánicos, minerales, azúcares, etc.) es tan lenta que puede considerarse despreciable.

#### **2.4.3 CONTENIDO DE HUMEDAD**

Hay diferentes técnicas que eliminan el contenido de agua en los alimentos que varían en costos, pero las que más afectan la calidad de los alimentos son las de menor costo; por lo que se debe tener muy presente que el contenido de agua en los alimentos tiene vital importancia tanto para su consumo en estado fresco o para su futuro deterioro, por lo que,

al disminuir el contenido de agua en los alimentos se minimiza los posibles mecanismos de deterioro o alteración biológica.

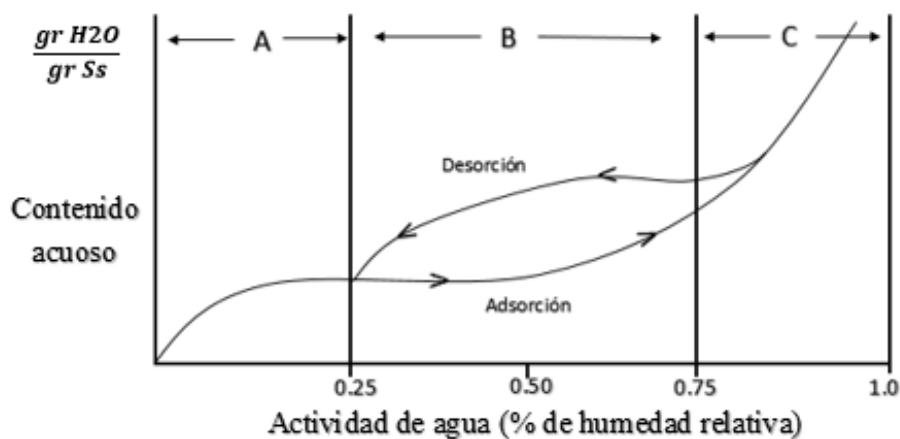
Casp Vanaclocha & Requena (2008) indican que además, de prolongar la vida útil de un alimento eliminando la mayor cantidad de agua, también se disminuye el peso de los mismos con el fin de ahorrar costos en almacenamiento y transporte.

Mediante la utilización de la deshidratación osmótica existe influencia en la pérdida de humedad libre, junto con el tiempo de exposición del producto en el proceso para alcanzar su estabilidad.

#### 2.4.4 ISOTERMAS DE SORCIÓN

La isoterma de sorción de humedad es la expresión de la relación funcional entre el contenido de humedad y la  $A_w$ . Báez (2011). La isoterma de adsorción de humedad permite conocer el contenido de humedad de equilibrio de un alimento que se halla expuesto a un ambiente de humedad relativa y temperaturas conocidas.

En la figura 3 se presentan las isotermas de adsorción y desorción en función de la relación entre la actividad de agua y el contenido de agua.



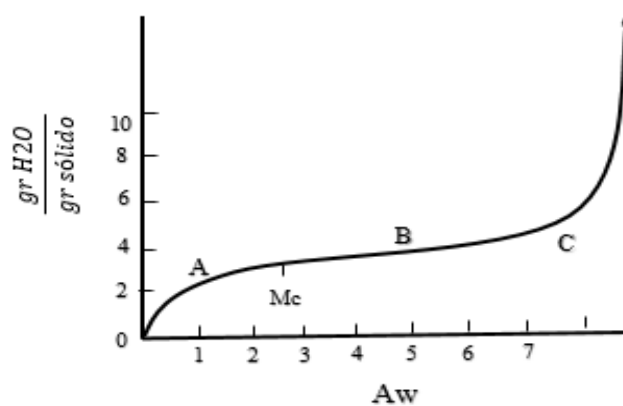
**Figura 3.** Isotherma de adsorción y desorción de humedad de los alimentos (histéresis).  
**Fuente:** (Bello, 2008)

También se aprecia que para un contenido de humedad determinado, la actividad del agua es menor durante la desorción que en la adsorción o que para una  $A_w$  determinada la

humedad es mayor en el secado que en la hidratación. Se observa también que estos procesos opuestos no son reversibles por un camino común, fenómeno que recibe el nombre genérico de histéresis. (Badui Dergal, 2013)

A consecuencia de la histéresis, para un valor dado de  $A_w$ , el contenido de humedad en la desorción es mayor que en la adsorción.

La isoterma de adsorción representa la cinética con la que un alimento adsorbe humedad y se hidrata y es importante conocerla ya que refleja el comportamiento de los deshidratados almacenados en atmósferas húmedas (higroscopicidad). De manera semejante, la de desorción equivale al proceso de deshidratación y refleja la forma como pierde agua. Con base en ambas curvas se diseñan los sistemas de almacenamiento, de secado, de rehidratación, etc., además de que ayudan a predecir la estabilidad de los alimentos almacenados en distintas condiciones. (Badui Dergal, 2013)



**Figura 4.** Isoterma de sorción de humedad.

Isoterma de sorción de humedad, mostrando las regiones A, B y C; el punto  $m_c$  corresponde a la monocapa.

En la figura 4 la región A corresponde a la adsorción de agua hasta la monocapa (una sola capa de moléculas de agua que cubre la totalidad de la superficie del alimento); la región B corresponde a la adsorción de agua en multicapas, la región C corresponde a la condensación de agua, en forma líquida, dentro de los poros capilares del alimento. En la región C se produce la disolución de microsolutos del alimento.

Existen muchas ecuaciones para describir las isothermas de adsorción de humedad de los alimentos y obtener el valor de la monocapa; de las cuales la de “BET” es de mayor aplicación.

**Ecuación 1.** Ecuación “BET”

$$\frac{a}{M(1-a)} = \frac{1}{M_m} C + \frac{a(C-1)}{M_m C}$$

En donde:

M: es el contenido de humedad expresado en gramos de agua por gramo de sólido seco.

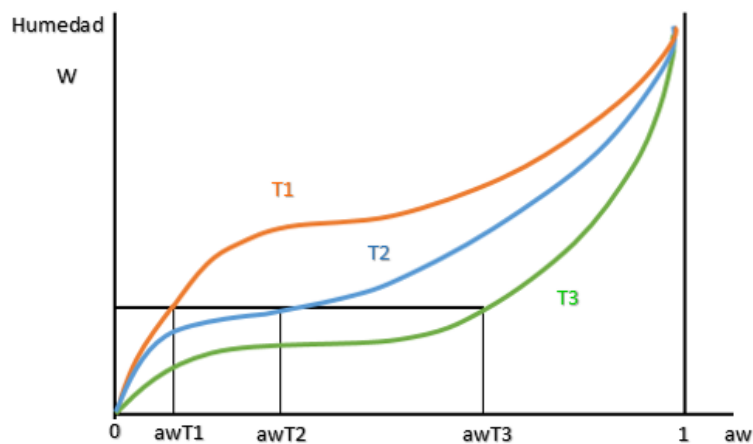
M<sub>m</sub>: es el contenido de humedad correspondiente a la monocapa.

a: es la actividad acuosa.

C: es una constante que depende del calor de adsorción.

La teoría de BET no es enteramente correcta para todas las isothermas, la ecuación correspondiente es aplicable principalmente para actividades acuosas de 0.1 a 0.5.

Báez (2011) explica que el agua ligada es aquella que se encuentra adsorbida en el alimento hasta la monocapa, y el punto de máxima estabilidad de cualquier alimento es el de la monocapa. Al eliminar esta capa de moléculas, en general se desnaturaliza o destruye el alimento. Sus valores oscilan entre 2 a 9 % de agua en función del alimento.

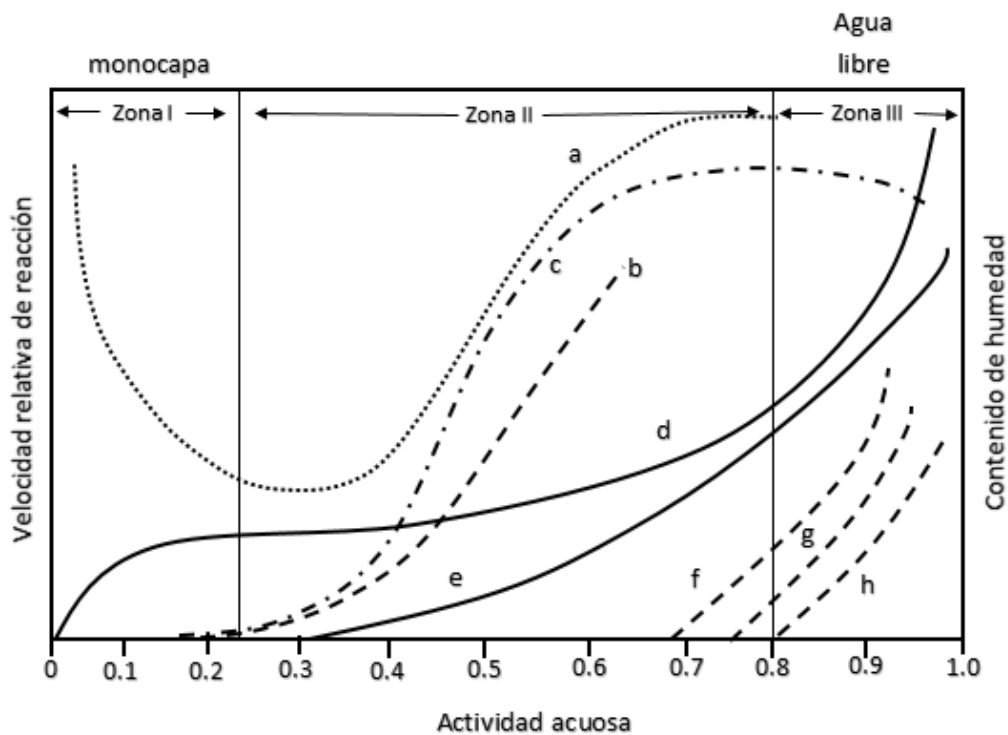


**Figura 5.** Influencia de la temperatura en las isothermas de equilibrio.

**Fuente:** (Casp Vanaclocha & Requena, 2008)

Una isoterma de adsorción es la representación de la relación, en el equilibrio, entre la cantidad adsorbida y la presión a una temperatura constante, por lo que si hay variaciones de temperaturas en los productos deshidratados puede haber alteraciones químicas o físicas.

El mapa de estabilidad de los alimentos resume el punto de máxima estabilidad de cualquier alimento con el valor de la monocapa.



**Figura 6.** Mapa de estabilidad de los alimentos en función de la Aw  
Cambios que ocurren en los alimentos en función de la actividad del agua.  
a) Oxidación de lípidos; b) reacciones hidrolíticas; c) oscurecimiento no enzimático; d) isoterma de adsorción; e) actividad enzimática; f) crecimiento de hongos; g) crecimiento de levaduras, y h) crecimiento de bacterias. **Fuente:** (Badui, 2013)

La figura 6 representa un mapa general de la estabilidad de los alimentos en función de la actividad del agua, ilustrando el comportamiento de las distintas reacciones de deterioro y crecimiento microbiano en los mismos. Se observa que la habilidad del agua para actuar como solvente, medio o reactante se incrementa al incrementarse la actividad del agua. Con la determinación de la actividad del agua de los alimentos es posible predecir qué

microorganismos pueden causar deterioro y enfermedades, por lo que se considera una importante propiedad desde el punto de vista de inocuidad alimentaria.

La zona III a diferencia de la zona II constituye el agua débilmente ligada, la cual es más difícil de eliminar que el agua libre, este tipo de agua imposibilita el crecimiento microbiano, evita las reacciones químicas y enzimáticas, por lo tanto, la actividad de agua en esta zona es alrededor de 0,25. Mientras, en la zona I el agua ligada se encuentra presente, por consiguiente, su eliminación es sumamente difícil. La eliminación del agua ligada requiere mayor energía y deteriora el alimento. (Colina, Irezabal, 2010).

La actividad del agua puede además jugar un papel clave en la actividad enzimática y vitamínica en los alimentos, así como en propiedades físicas como la textura y el tiempo de vencimiento de los mismos.

#### **2.4.4.1 Tipos de Isotermas**

Pueden presentarse diferentes tipos de isotermas de sorción. Las más comunes se obtienen para sistemas en los cuales la adsorción conduce a la deposición de una capa simple de moléculas de soluto en la superficie del sólido. Ocasionalmente se forman capas multimoleculares en la superficie del sólido. Por lo tanto, deben utilizarse modelos de adsorción más complejos para una adecuada descripción del fenómeno. (Cortés, 2007)

Las isotermas de sorción son muy útiles para la caracterización de sólidos porosos. La IUPAC reconoce 6 tipos de isotermas de sorción. En la Figura 7 se muestra un esquema de cada una de ellas.



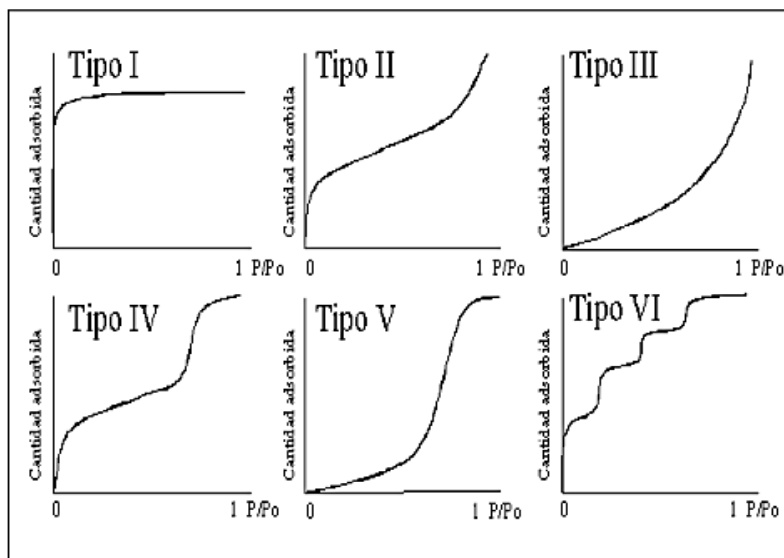


Figura 7. Tipos de Isotermas de sorción propuestas Brunauer (1940)  
Fuente: (Enriquez Pozo, 2013)

Los tipos de isotermas son:

**Isoterma tipo I o de Langmuir.** Se caracteriza porque la adsorción se produce a presiones relativas bajas y es la que muestran los sólidos micro porosos (por ejemplo zeolitas y carbones activados). (Corilloclla, 2016) La isoterma de I es típica de agentes antiaglutinantes, éste tipo de ingrediente adsorbe agua en sitios específicos, pero la unión de enlaces es muy fuerte, por lo tanto disminuye la actividad de agua drásticamente. Cuando todos los sitios en los cuales el agua se puede unir están ocupados, cualquier incremento de la humedad causa un incremento grande en la actividad de agua. (Enriquez Pozo, 2013)

**Isoterma tipo II.** Menciona (Corilloclla, 2016) que es característica de sólidos macro porosos o no porosos, tales como negros de carbón. Se muestra la formación de la capa adsorbida, cuyo espesor aumenta con la presión. La mayoría de los materiales siguen la forma sigmoidea, característica de éste tipo de isoterma. La curva resultante es causada por los efectos capilares e interacciones agua – superficie. Este tipo de isoterma se puede ajustar a la ecuación llamada BET, desarrollada por Brunauer, Emmett y Teller. (Enriquez Pozo, 2013)

**Isoterma tipo III o Flory Huggins.** Ocurre cuando la interacción adsorbato-adsorbente

es baja. Muestra la forma de sorción en sustancias puras y cristalinas. Muestra una muy pequeña ganancia de humedad hasta que la actividad de agua llega a 0.7 – 0.8 en donde la humedad sube en gran medida. A bajas  $A_w$  el efecto dieléctrico del agua no es muy fuerte para romper las moléculas del material, pero a altas  $a_w$  se produce una disociación de las moléculas del material y más agua penetra en los cristales. (Enriquez Pozo, 2013)

**Isoterma tipo IV.** Es característica de sólidos mesoporosos. Presenta un incremento de la cantidad adsorbida importante a presiones relativas intermedias y ocurre mediante un mecanismo de llenado en multicapas. (Corilloclla, 2016) . (Enriquez Pozo, 2013) Indica que en este caso el comportamiento inicial es semejante al de la isoterma tipo II, pero a presiones medias comienza la condensación capilar en mesoporos. A partir de la rama de desorción de estas isotermas se puede determinar la distribución de tamaños de los poros. Las sílices y alúminas son ejemplos representativos

**Isoterma tipo V,** al igual que la isoterma tipo III es característica de interacciones adsorbato-adsorbente débiles, pero se diferencia de la anterior en que el tramo final no es asintótico. (Corilloclla, 2016) En este caso el comportamiento inicial consiste en formar una multicapa hasta alcanzar un "espesor de multicapa" máximo. Este comportamiento se justifica postulando un adsorbente rugoso, como en el caso IV, y un adsorbato que interactúa débilmente con el adsorbente. (Enriquez Pozo, 2013)

**Isoterma tipo VI.** Es poco frecuente este tipo de isoterma ocurre sólo para sólidos con una superficie no porosa muy uniforme. Este tipo de isoterma se ha observado en la adsorción de gases nobles en carbón grafitizado. Es un tipo particular de isotermas en forma de escalones derivada de la adsorción de agua a nivel de monocapa, se presenta para adsorbentes con superficies muy uniformes y homogéneas. (Enriquez Pozo, 2013)

## 2.4.5 RELACIÓN DE ACTIVIDAD DE AGUA Y PRESIÓN OSMÓTICA EN SOLUCIONES OSMÓTICAS.

### 2.4.5.1 Actividad de agua.

(Badui Dergal, 2013) Explica que el agua libre es la que da origen al término actividad del agua ( $A_w$ ) y es con base en este parámetro, y no el contenido total de agua, que se puede predecir la estabilidad y la vida útil de un producto.

Para el caso de alimentos constituidos por agua y solutos iónicos, su actividad de agua puede determinarse usando las ecuaciones propuestas por Norrish. La ecuación de Norrish se usa cuando sólo hay un tipo de soluto presente en el alimento o cuando hay varios solutos. (Talens Oliag, 2005)

**Ecuación Norrish (1966):** se puede escribir como propuso Chirife et al, 1980.

**Ecuación 2.** Ecuación de Norrish

$$A_w = X_w * \exp(-K * X_s^2)$$

Donde:

$X_w$ : es la fracción molar del agua en el sistema.

$X_s$ : es la fracción molar del soluto.

K: es una constante.

**Tabla 2.** Fracciones molares de los solutos:

SOLUTO	VALORES DE K
Sacarosa	6.47
Glucosa	2.25
Fructosa	2.25
Sorbitol	1.65
Azúcar invertido	2.25
Glicerol	1.16

**Fuente:** (Chirife y col., 1980) (Chirife y Favetto, 1992)

El contenido de actividad de agua está relacionada con el punto de congelación y con el de ebullición, así como con la humedad relativa en equilibrio (ERH) y la presión osmótica. La transferencia de agua se puede detener aplicando a la disolución una presión, además de la presión atmosférica. El valor de esta presión adicional necesaria para detener el paso de agua recibe el nombre de PRESIÓN OSMÓTICA de la disolución

#### **2.4.5.2 Presión osmótica.**

(Della Rocca, 2010) Indica que la fuerza impulsora para la difusión del agua desde los tejidos a la solución es la diferencia de actividad acuosa (presión osmótica) entre el alimento y la solución.

La presión osmótica está relacionada con la actividad de agua a través de la expresión.

**Ecuación 3.** Ecuación de Presión osmótica.

$$\text{Presión osmótica} = \frac{-RT \log_e a_w}{V}$$

Donde:

Presión osmótica = presión osmótica (Pa).

R = constante universal de los gases = 8.31 J/(mol °K)

T = temperatura (°K)

$\log_e a_w$  = logaritmo natural de la actividad de agua.

V = volumen de la disolución ( $m^3$ )

El uso de la presión osmótica presupone la presencia de una membrana con unas características de permeabilidad adecuadas. Conforme aumente la concentración de soluto, se puede observar que aumenta la presión osmótica de la solución y con esto la pérdida de agua.

## 2.4.6 FACTORES QUE INFLUYEN EN DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

Dentro del proceso de osmodeshidratación existen factores que afectan en este proceso para obtener los resultados esperados, tanto en la velocidad de transferencia de masa del producto como en los jarabes o sustancias osmodeshidratadoras.

### 2.4.6.1 Velocidad de transferencia de masa

La transferencia de masa durante la deshidratación osmótica ocurre a través de las membranas y paredes celulares. El estado de las membranas celulares puede variar de parcialmente a totalmente permeable. Este fenómeno puede llevar a cambios significativos en la arquitectura de los tejidos. (Della Rocca, 2010)

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

**Características y naturaleza de los solutos en la solución:** Se debe considerar la geometría, peso molecular, polaridad y permeabilidad del producto; el área superficial influye directamente sobre la eficiencia de la transferencia de masa, el corte o troceado deben realizarse para maximizar el área disponible.

**Concentración de los solutos en las soluciones osmóticas:** Una solución con mayor peso molecular tendrá mejor efecto osmótico que una solución con bajo peso molecular. Una solución con bajo peso molecular favorecerá el ingreso de soluto al producto más que la salida de agua desde el producto. (Gavica & Terán, 2011)

**Relación de solución osmótica/masa de producto:** La pérdida de agua y la ganancia de solutos aumentan con un incremento de la relación masa de solución a masa de producto empleada en la experiencia. (Della Rocca, 2010)

**Presión del sistema (vacío o atmosférico):** De acuerdo a la investigación realizada por (Tapia & Rangel, 2012) explica sobre la disminución de la presión atmosférica mediante

aplicación de vacío al sistema. Esta técnica permite la salida de gases ocluidos en el interior de las paredes de la fruta los cuales son una barrera para la osmodeshidratación. Además la disminución de la presión permite una salida más rápida del agua por la ausencia parcial de la barrera que ejerce la fuerza de la gravedad sobre la pared celular.

Los tratamientos con una aplicación de presión al vacío aumentan el flujo capilar, incrementando la transferencia de agua pero no influyen en la ganancia de solutos. El flujo capilar de agua depende de la porosidad y de la fracción de espacios huecos del producto. (Della Rocca, 2010)

**Tiempo de inmersión del producto en la solución:** El proceso de difusión es un proceso en estado no estacionario, por lo que el tiempo de inmersión (hasta antes de alcanzar el equilibrio) es una variable importante para definir la cantidad de agua removida o la cantidad de sólidos ganados. (Colina, Irezabal, 2010)

#### **2.4.6.2 Sustancias osmodeshidratantes**

El agente o sustancias osmodeshidratantes deben ser compatible con los alimentos como el azúcar (sacarosa), jarabes concentrados de miel. También se han utilizado combinaciones de jarabes de sacarosa – almidón, jarabes de: azúcar invertido con glicerol, lactosa, glucosa con glicerol o cloruro de calcio, jarabe de panela, entre muchos otros. Según Camacho (2008), pueden utilizarse cloruro de sodio, etanol, Cloruro de calcio, etilenglicol, glicerol, fructosa, glucosa, sacarosa, todo dependerá de la disponibilidad y rentabilidad del soluto.

Se pueden realizar varias combinaciones que permitan obtener mayor pérdida en el contenido de humedad, mejorar las propiedades sensoriales, ganancia de sólidos y el menor costo de la solución. Aumentando la masa molar de los solutos se obtiene baja ganancia de sólidos y alta pérdida de humedad, disminuyendo la masa molar de los solutos (usando glucosa, fructosa y sorbitol) se obtiene aumento de sólidos, por mayor penetración de las moléculas.

Para seleccionar cual solución osmótica se puede usar se debe tomar en cuenta lo siguiente:

**Tipo de agente osmótico:** De acuerdo a la investigación realizada por (Della Rocca, 2010) indica que los más comúnmente usados son la sacarosa para frutas y el cloruro de sodio para vegetales, pescados y carnes; o también se han probado distintas mezclas de solutos (Hawkes, Islam y Flink, Wais y col., 2005). Otros agentes osmóticos pueden ser: glucosa, fructosa, dextrosa, lactosa, maltosa, polisacáridos, maltodextrina, jarabes de almidón de maíz y sus mezclas. Sus usos dependerán de factores tales como costos, compatibilidades organolépticas con el producto terminado y preservación adicional otorgada por el soluto al producto final.

**Concentración de la solución osmótica:** El contenido de pérdida de agua y la velocidad de secado aumentan con el incremento de la concentración de la solución osmótica, ya que la actividad de agua de la solución decrece con un aumento en la concentración de solutos. (Della Rocca, 2010) Se ha probado en otras investigaciones la combinación de mezclas de sacarosa y sal, en donde la fuerza impulsora para la transferencia de masa aumenta al bajando el contenido la actividad de agua de la solución.

**Temperatura de la solución osmótica:** Es un parámetro importante ya que afecta la cinética de pérdida de agua y la ganancia de solutos. La temperatura presenta dos efectos, su aumento favorece la agitación molecular y mejora la velocidad de difusión, y el otro es la modificación de la permeabilidad de la membrana celular con un incremento de la temperatura. (Tapia & Rangel, 2012) (Della Rocca, 2010)

**pH de la solución:** En la investigación de (Tapia & Rangel, 2012) menciona que la acidez de la solución aumenta la pérdida de agua debido a que se producen cambios en las propiedades tisulares y consecuentemente cambios en la textura de las frutas y vegetales que facilitan la eliminación de agua.

**Agitación de la solución osmótica:** La agitación disminuye la resistencia a la transferencia de masa en la superficie del producto, además de uniformizar la temperatura

y la concentración de solutos en la solución. (Della Rocca, 2010) Sin embargo existen casos en que puede dañarse el producto y debe evitarse.

Según (Tapia & Rangel, 2012) La agitación produce aumento en la velocidad de deshidratación, ya que a medida que avanza el tiempo de contacto de la fruta con el jarabe, esta se va rodeando de su propia agua, la cual se va difundiendo lentamente por el jarabe concentrado.

## **2.5 SALES DE CALCIO**

Dentro de estructura básica de vegetales y frutos contienen protopectinas que son moléculas altamente esterificadas, muy insolubles en agua, que se encuentran en los tejidos inmaduros de los frutos y son responsables de su textura rígida; sin embargo, la acción de la enzima protopectinasa hace que se conviertan en pectinas solubles en un proceso que ocurre durante la maduración y que trae consigo el ablandamiento del fruto. (Badui Dergal, 2013)

La utilización de sales de calcio en soluciones osmóticas aumenta ligeramente la pérdida de agua en el alimento y disminuye la ganancia de soluto. Este efecto se atribuye a una asociación de calcio que penetra en la fruta con pectinas de las paredes celulares, con la que se fortalece la textura de la fruta y se crea un enlace tipo unión cruzada.

Se ha comprobado que la adición de sustancias de bajo peso molecular tales como cloruro sódico, ácido málico, ácido clorhídrico y cloruro de calcio en concentraciones de 1 a 5% a soluciones de azúcar mejora el proceso de deshidratación osmótica. (Espinoza, Landaeta, Méndez, & Nuñez., 2006)

(Badui Dergal, 2013) Explica que durante un tratamiento térmico, por ejemplo en el enlatado, las pectinas se pueden dañar y los vegetales pierden consistencia. Lo mismo ocurre cuando las frutas y verduras están muy maduras y se corre el riesgo que se desintegren con el calentamiento industrial. Para corregir esto se añade calcio antes de la esterilización, lo que fortalece la pared celular al formar puentes entre los grupos carboxilo de las pectinas.



El calcio cumple con la función de proteger y mantener la integridad de la membrana celular de la fruta, evitando daños e impidiendo la salida de sustancias intracelulares o jugos con elementos enriquecedores.

## **2.6 DESHIDRATACIÓN**

El término deshidratación se define cuando se utiliza los métodos de desecación en los que la eliminación del agua se realiza bajo condiciones reguladas de temperatura, humedad, velocidad del aire, etc. en equipos especiales.

Este procedimiento es adoptado para eliminar el líquido de un producto, bien por evaporación o bien por vaporización, por lo general con ayuda de calor. En una acepción más amplia del término, pueden considerarse como métodos de secado aquellos en que el agua, sin cambiar de estado, se extrae por medios mecánicos: presión filtrada o centrifugación. (Bagué Serrano & Álvarez Cruz, 2012)

(Rincón Martínez & Silva Lora, 2014) Explican que el proceso de secado se refiere a la eliminación de la humedad en una sustancia o material aprovechando la vaporización del agua por efecto de la temperatura o la acción de un medio inerte que puede ser aire, gases o vapor de agua.

En la conservación de frutas y verduras, el proceso de deshidratación es una operación básica que consiste en la transferencia de masa y calor entre el producto y el fluido a su alrededor, hasta reducir el contenido de humedad a un nivel tan bajo, que no permite el desarrollo de microorganismos. Un alimento es considerado seco cuando su contenido de humedad es de 10 a 12%, mientras que un material deshidratado tiene únicamente de 4 a 6% de humedad.

Existen muchas formas de deshidratar alimentos y cada una es juzgada por su eficiencia energética, tiempo de secado, calidad de producto alcanzado, etc, dependiendo de las necesidades del mercado, un balance en conjunto con estos factores, es la parte económica.

El procedimiento de deshidratación se lleva a cabo de diferentes maneras, según el tipo de fruta. Cuando se va a desecar albaricoques o melocotones, la separación de la piel se facilita sumergiéndolos alternativamente en agua caliente y fría, luego se cortan por mitades, se deshuesan y se desecan a 65 - 70 °C. El rendimiento final es del 10 – 15%, dependiendo del tamaño de la fruta. (Gil, 2010)

Para realizar un proceso eficiente de secado se debe trabajar estableciendo condiciones básicas o factores que afectan a este proceso, de tal manera para que el tiempo en el que se lleva a cabo el proceso debe ser mínimo relacionado con la eficiencia energética el equipo.

### **2.6.1 PSICROMETRÍA**

ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers) define la psicrometría como el estudio de las propiedades termodinámicas del aire húmedo y la utilización de estas propiedades para el análisis de las condiciones y de los procesos en los que interviene el aire húmedo.

Según Kader (2002) La psicrometría es la medición del calor y las propiedades del vapor de agua del aire. Fellows (2007) indica que los factores que controlan la capacidad del aire para eliminar agua de un alimento son:

- La cantidad de vapor de agua en el aire.
- La temperatura del aire.
- La cantidad de aire que pasa sobre el alimento.

#### **2.6.1.1 Diagrama psicrométrico**

Las distintas magnitudes que se han de representar en un diagrama psicométrico son las siguientes:

**Entalpia (h):** (Mermet, 2005) define que es el contenido de calor total de la mezcla aire vapor, y es la suma del calor sensible del aire más el calor sensible del agua, más el calor latente del agua evaporada.

Utilizando la presión atmosférica como referencia es posible utilizar la siguiente ecuación para calcular la entalpia específica:

$$H = 1,005(Ta - To)$$

Donde:

**H** = Entalpia del aire seco (kJ/kg)

**Ta** = temperatura de bulbo seco (°C) y

**To** = temperatura de referencia, generalmente 0°C.

**Humedad absoluta (Xa):** (Méndez, Sánchez, & Urbano, 2011) indica que la humedad absoluta del aire para cualquier condición dada, es la masa de vapor de agua por unidad de volumen de aire a dicha condición.

$$Xa = \frac{m}{V} \text{ Kg/m}^3 \text{ de la mezcla}$$

Donde:

**Xa**= humedad absoluta

**m**= peso en kilogramos de aire seco.

**V**= volumen en metros cúbicos.

También se le conoce como humedad específica. La escala de la humedad absoluta, es la escala vertical (ordenada) que se encuentra al lado derecho de la carta psicrométrica. Las líneas de humedad absoluta, corren horizontalmente de derecha a izquierda, y son paralelas a las líneas de punto de rocío y coinciden con éstas. Así pues, podemos ver que la cantidad de humedad en el aire, depende del punto de rocío del aire.

**Humedad relativa (HR):** (Galarza, 2014) Indica que es la relación entre la presión parcial del vapor de agua contenida en el aire ( $P_w$ ), y la presión del vapor saturante a la misma temperatura ( $P_{ws}$ ), se explica a partir de la siguiente relación:

$$Hr = \frac{P_w}{P_{ws}}$$

La humedad relativa se expresa en porcentaje pero de acuerdo a la ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineer), una definición más técnica de la Hr, sería la relación de la fracción mol del vapor de agua presente en el aire, con la fracción mol del vapor de agua presente en el aire saturado, a la misma temperatura y presión.

**Temperatura punto de rocío:** (Castells X. , 2012) indica que es la temperatura que alcanza la masa de aire húmedo en la saturación por enfriamiento a presión constante. Para una presión atmosférica dada, es la temperatura de saturación a la cual comienza la humedad a depositarse en forma de pequeñas gotas de agua o rocío, cuya máximo contenido de HR es equivalente a la presión de saturación. Para esta condición, la temperatura del aire es igual a la temperatura de saturación y se dice que el aire está saturado. (Galarza, 2014)

**Volumen específico (Ve):** (Mermet, 2005) Indica que este es el valor recíproco de la densidad y está dado en ( $m^3/kg$  de aire). (Lucas Martinez, 2004) Expresa que el volumen específico húmedo es el volumen que corresponde a kg de aire seco más los kg de vapor de agua que le acompañan en el aire húmedo a la temperatura y presión de éste. El volumen específico saturado es el volumen húmedo que corresponde a un aire saturado.

**Temperatura de bulbo seco (Tbs):** es aquella temperatura del ambiente (aire seco más vapor de agua), se mide con instrumentación ordinaria como un termómetro de mercurio. (Galarza, 2014) Indica que es la temperatura del medio ambiente. En Ecuador, en la

región Litoral se registra temperatura del bulbo seco mayor que en la Sierra, lo que influye en los procesos de acondicionamiento.

**Temperatura de bulbo húmedo (Tbh):** (Galarza, 2014) indica que es la medida de un termómetro húmedo sometido a una corriente de aire, donde al entrar en contacto con el aire no saturado se produce una diferencia de temperatura y presión, entre el vapor de agua en el aire y en la del pábilo hasta un equilibrio termodinámico y másico entre la corriente de aire y el bulbo húmedo, denominado temperatura de saturación adiabática.

**Calor húmedo: (Cs)** Se define como la cantidad de calor (KJ) que es necesario aplicar para aumentar la temperatura de 1 kg de aire seco más la de vapor de agua presente en el mismo. Se toma en cuenta el calor específico del aire seco 1,005 KJ (kg de aire seco °K) y la del agua 1.88 KJ (kg de agua °K), por lo tanto:

$$Cs = 1,005 + 1,88 X$$

Donde:

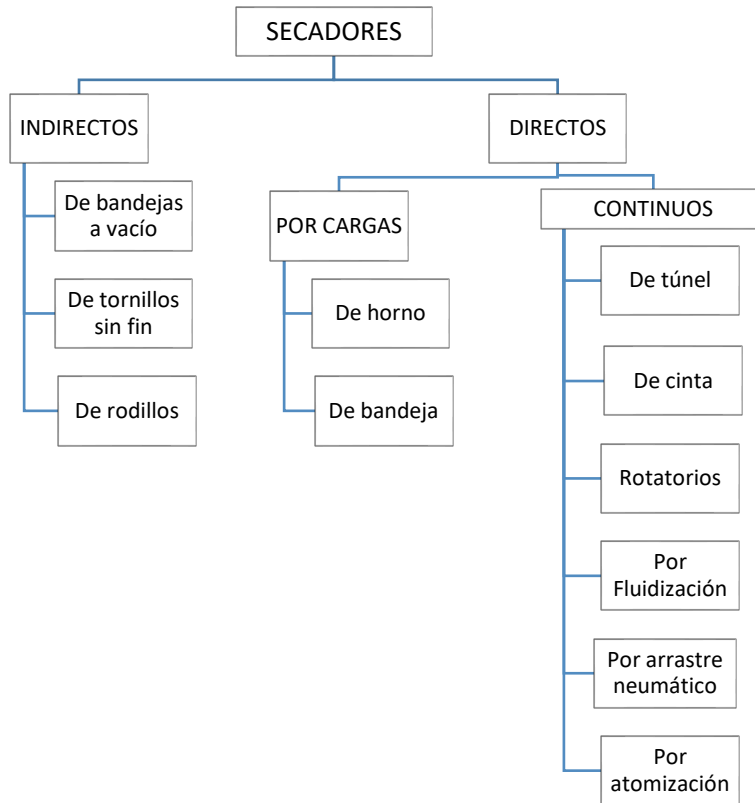
**Cs** = calor húmedo del aire húmedo KJ (kg de aire seco))

**X** = humedad (kg de agua/ kg de aire seco)

**Calor sensible del aire:** Una explicación simple de calor sensible, es la variación de la temperatura de base seca, de una sustancia cuando se añadido o quitado calor. Esta expresión se puede establecerse en términos de flujo másico de aire y variación de temperatura. (Galarza, 2014)

## 2.6.2 TIPOS DE SECADORES

En la siguiente figura se describe de manera simplificada la clasificación de los principales tipos de secadores que se utilizan en el proceso de secado, con el uso de calor directo e indirecto.



**Figura 8.** Clasificación de los principales tipos de secadores.  
**Fuente:** (Casp A, 2003)

## 2.6.3 SECADOR DE BANDEJAS

Este equipo está formado por una estructura metálica que en su interior dispone de bandejas móviles perforadas, las bandejas pueden ser cuadradas o rectangulares con una superficie de 0,5 a 1  $m^2$ /bandeja., el calor del medio se transmite por convección y el aire debe recircular mediante un flujo a través de las bandejas y sobre la superficie del producto, se podrán usar distintas velocidades de aire (m/s).

El ventilador colocado en la parte superior hace circular el aire por los calentadores y después entre las bandejas, con la ayuda de unos deflectores montados convenientemente.

El calentador está constituido por un haz de tubos en cuyo interior circula normalmente vapor de agua. Por el conducto de salida se evacua constantemente aire húmedo, mientras que, a través de la abertura, aire fresco. (Casp Vanaclocha & Requena, Proceso de conservación de alimentos, 2008)

#### **2.6.4 FACTORES QUE AFECTAN EL SECADO**

Los siguientes factores afectan significativamente la velocidad de secado y la calidad del material seco son:

**Temperatura:** El incremento de la temperatura aumenta la difusividad del agua dentro del producto, acelerando de esta forma el proceso. Para la mayoría de los productos, la temperatura de secamiento no debe exceder los 70°C. Existen diversos niveles de temperaturas que se mantienen durante el proceso técnico de secado: Temperatura de bulbo seco, Temperatura superficial: es la de la especie a secar, generalmente se mide por medio de un sensor infrarrojo, Temperatura de bulbo húmedo.

**Carga de las bandejas:** Cuando las bandejas se colocan en hileras, debe dejarse un espacio libre no menos de 4 cm entre el material que contienen y la base de la que está inmediatamente encima. Las bandejas se pueden llenar completamente, con trozos tocándose, pero nunca superponiéndose.

**Espesor de la pieza:** El alimento que se va a secar puede ser colocado en delgadas capas, trozos u hojuelas y estas pueden variar la medida del espesor desde 0.3 cm hasta 6 cm, o también el material a secar puede estar colocado en las bandejas en forma sólida, en puré o líquida, de tal manera que cubra toda el área de la bandeja.

**Humedad relativa del aire:** Se define como la razón de la presión de vapor de agua presente en ese momento, con respecto a la presión de saturación de vapor de agua a la misma temperatura. Se expresa en porcentaje (%), a medida que se incrementa la temperatura del aire aumenta su capacidad de absorción de humedad y viceversa.

**Velocidad del Aire:** La velocidad del aire en el interior de los secaderos es un parámetro técnico y específico de los fabricantes de equipos. No obstante, por considerar que este tema es de interés general, seguidamente se exponen unas reglas de carácter genérico. Castells (2012) indica que la resistencia que opone la capa límite de aire que se encuentra en la superficie de los productos a la transferencia de materia y energía depende de la velocidad del aire. A medida que aumenta la velocidad del aire, disminuye el espesor de la capa límite, la resistencia se reduce y la velocidad de secado aumenta.

## 2.6.5 PRINCIPIOS DE SECADO.

**Contenido de humedad de un sólido:** Se expresa generalmente como la cantidad de humedad por unidad de peso de sólido seco o húmedo. (Rincón Martínez & Silva Lora, 2014)

**Ecuación 4.** Humedad de un sólido

$$M_T = M_S + M_{H_2O}$$

En donde:

$M_T$ : Masa total.

$M_S$ : Masa del sólido.

$M_{h_2O}$ : Masa húmeda.

**Contenido de humedad en base húmeda:** Colina Irezabal (2010) indica que el contenido de humedad de un alimento, es la cantidad de agua total que contiene y puede expresarse de tres formas diferentes, el contenido de humedad en base húmeda ( $X_{bh}$ ) puede expresarse mediante la siguiente ecuación:

**Ecuación 5.** Humedad en base húmeda.

$$X_{bh} = \frac{\text{Masa de agua de un producto}}{\text{Masa total del producto húmedo (kg producto húmedo)}}$$

El porcentaje de humedad es la forma más común de expresar la cantidad de agua de un alimento y puede calcularse con la siguiente expresión.



**Ecuación 6.** Porcentaje de humedad.

$$\text{Porcentaje de humedad} = \frac{\text{Masa de agua de un producto (kg)}}{\text{Masa total de producto húmedo (kg)}} \times 100$$

Martines (2010) indica que este contenido de humedad representa el porcentaje de masa de agua que contiene la muestra respecto a su masa total ( $M_T$ ).

**Contenido de humedad en base seca:** (Bagué Serrano & Álvarez Cruz, 2012) define esta humedad como la relación entre la masa de la humedad respecto a la masa del sólido (medio). Colina Irezabal (2010) indica que esta forma de expresión del contenido de humedad de un alimento se utiliza en la construcción de curvas de secado, así como en los cálculos de tiempo y velocidad de secado, donde puede determinarse mediante la siguiente ecuación:

**Ecuación 7.** Humedad en base seca

$$X_{bs} = \frac{\text{Masa de agua de un producto (kg agua)}}{\text{Masa total de sólido seco (kg sólidos secos)}}$$

**Humedad de equilibrio:** También es llamado: contenido mínimo de humedad higroscópica. (Terán Soto, 2014) Indica que es la humedad alcanzada por el sólido en equilibrio con el aire en condiciones dadas. La humedad de equilibrio,  $X^*$ , es el límite al que se puede llevar el contenido de humedad de una sustancia por contacto con aire de humedad y temperaturas determinadas.

**Humedad ligada:** Según (Montoya, 2014) la humedad ligada es asociada al contenido de agua que se encuentra en el interior de los capilares y poros de las estructuras celulares. (Bagué Serrano & Álvarez Cruz, 2012) Explica que la humedad ligada se presenta cuando el contenido de humedad es igual o es de menor concentración que la humedad en equilibrio con el aire saturado, debido a que ejerce una presión de vapor menor que la del agua líquida a la misma temperatura. Por eso se dice que el agua está ligada al sólido por fuerzas mecánicas o fisicoquímicas que impiden su evaporación.

**Humedad no ligada:** (Enriquez Pozo, 2013) Expresa que es la diferencia de humedad del sólido y la humedad ligada; o bien la humedad libre del sólido en contacto con aire

saturado. El material se comporta como un cuerpo húmedo y la cantidad de agua no ligada que posee no se ve afectada por el sólido, logrando evaporarse como si no estuviera en contacto con el mismo. (Bagué Serrano & Álvarez Cruz, 2012)

**Contenido de humedad libre (X):** Según (Rincón Martínez & Silva Lora, 2014) es la cantidad de líquido contenida en el material y que se puede eliminar, partiendo de las condiciones de temperatura y humedades dadas. (Montoya, 2014) Indica que la humedad libre hace referencia a la humedad que esta adsorbida en la parte externa de las biomásas, la cual es lograda por el equilibrio de difusión del agua entre el aire atmosférico y la partícula sólida.

**Contenido crítico de humedad (Xc):** Según (Rincón Martínez & Silva Lora, 2014) es el contenido de humedad promedio del material cuando concluye el periodo de velocidad de secado constante. (Dávila Nava, 2004) Indica que es una humedad característica en donde ocurre un cambio en las condiciones de secado en las cuales para del secado a velocidad constante a la velocidad decreciente de secado.

**Contenido máximo de humedad higroscópica:** (maximum hygroscopic moisture content). Según (Dávila Nava, 2004) Explica que este contenido máximo de humedad higroscópico es el equilibrio en el contenido de humedad del sólido cuando la humedad del ambiente está saturada.

**Humedad de saturación:** (Huerta Ochoa, 2005) Explica que esta humedad ocurre cuando la mezcla aire-agua está saturada a cierta temperatura y presión, cuando la presión parcial del agua en la mezcla es igual a la presión de vapor del agua pura de tal manera que:

$$H_s = \left( \frac{P_{AS}}{P_T - P_{AS}} \right)$$

Donde  $P_{AS}$  es la presión de vapor del agua pura a la temperatura y presión dadas y  $H_s$  es la humedad de saturación.

**Tipos de humedad en sólidos:**

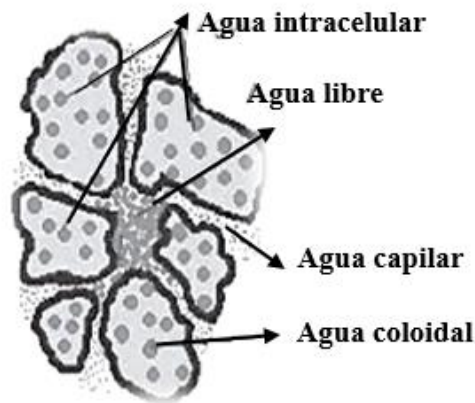
**Humedad superficial:** Es el contenido de humedad que se encuentra en la capa externa del sólido. (Dávila Nava, 2004) Indica que es el líquido que existe en la capa externa del material debido a los efectos de tensión superficial. Cuando en el periodo de secado se llega a la humedad crítica la humedad superficial es insuficiente para mantener una película continua que cubra toda el área de secado. (Castells X. , 2009)

**Humedad, desatado, libre o capilar:** es la humedad contenida en un material por encima del contenido de humedad de equilibrio. Puesto que el contenido en humedad de equilibrio es el límite hasta el que puede secarse un material bajo una serie de condiciones determinadas, la humedad que contenga por encima de este punto es la humedad que puede extraerse por el proceso de secado, no el contenido total de humedad. (Bagué Serrano & Álvarez Cruz, 2012)

**Humedad atada, higroscópica o disuelta:** Este es el líquido el cual ejerce presión de vapor menor que la de puro líquido a cierta temperatura provocada por la retención en poros pequeños, solución en paredes celulares, químicas o adsorción física. (Dávila Nava, 2004)

**La naturaleza del material al secar:**

(Castells X. , 2012) Indica que aunque las etapas de secado son sensiblemente iguales en todos los materiales, la naturaleza del material a secar condiciona el sistema de secado. Los materiales de naturaleza inorgánica son más fáciles de secar puesto que la red capilar es muy primitiva y el agua puede fluir fácilmente a la superficie. En los materiales de naturaleza orgánica como en la figura 9, y en partículas en los higroscópicos la red capilar es muy extensa y el agua es difícil de extraer puesto que está retenida por fuerzas de adsorción y osmóticas.



**Figura 9.** Agua en la materia orgánica  
**MICELA DE FANGO ORGÁNICO.**  
**Fuente:** (Castells X. , 2012)

**Transporte de migración de humedad:**

**Difusión a través de una membrana semipermeable:** una membrana semipermeable deja pasar las moléculas del disolvente, pero no las moléculas del soluto. (Moreno Benavides, 2011) Explica que el índice del paso de las moléculas depende de la presión ejercida, la concentración de partículas de soluto, la temperatura de las moléculas y la permeabilidad de la membrana para cada soluto.

**Transporte por presión osmótica:** se denomina presión osmótica a la sobrepresión de la disolución con respecto a la del disolvente puro en la situación de equilibrio. Es la especie de impulso de la naturaleza que obliga líquido a pasar de un lado al otro. (Moreno Benavides, 2011)

**2.6.6 ACTIVIDAD DE AGUA**

Según (Hurtado, 2013) Todos los alimentos contienen agua, sin embargo, no toda el agua se encuentra disponible para poder ser usada por los microorganismos. La actividad de agua se emplea para determinar el agua que está disponible. De esta manera, se dice que un alimento tiene una elevada actividad de agua cuando buena parte de su contenido en agua está disponible y, por tanto, podrá ser aprovechada por los microorganismos. (Ejemplo: carnes y pescados frescos, frutas y hortalizas).

Osorio, Torres, & Sánchez (2011) explica que la actividad de agua es una medida de la humedad libre de un producto y es el cociente de la presión de vapor de agua de la sustancia, dividida por la presión de vapor de agua pura a la misma temperatura.

$$A_w = \frac{P}{P_0}$$

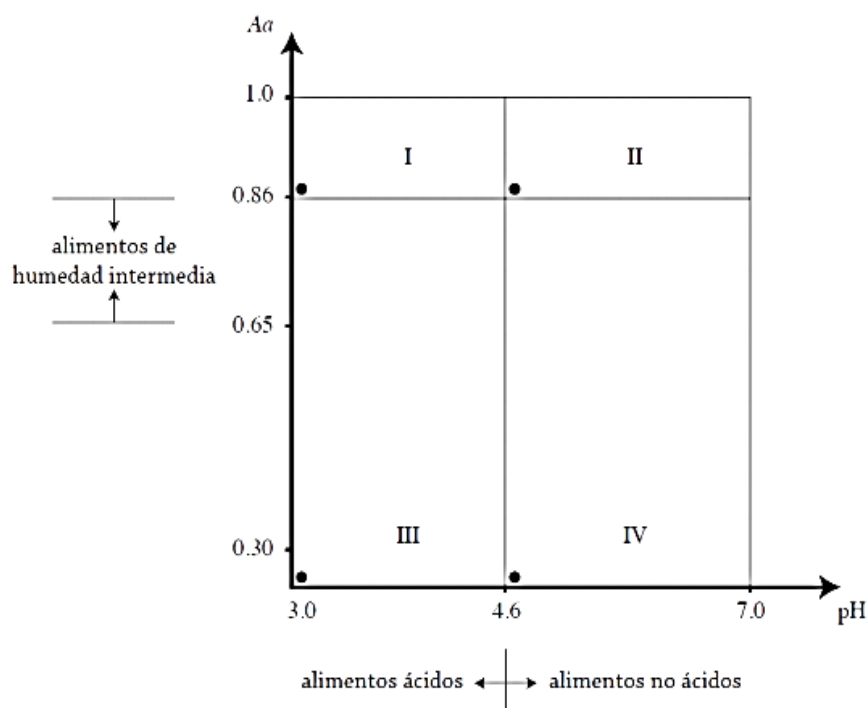
El secado o la adición de sales o de azúcares reducen la cantidad de agua disponible de los alimentos, limitando las posibilidades de desarrollo de muchos microorganismos, los que se ha empleado tradicionalmente como técnica de conservación de alimentos. En los alimentos la actividad de agua influye selectivamente tanto sobre multiplicación de microorganismos patógenos transmitidos por ellos como sobre la naturaleza de la flora alterante. (Varó Galván & Segura Beneyto, 2009)

Un gran contenido de investigaciones se han realizado sobre los efectos de actividad de agua en la textura de los alimentos, reconociendo que esta propiedad tiene un alto efecto entre la textura y el control de los problemas microbiológicos, lo cual todavía se requiere de aun más investigaciones para aplicar la teoría acerca de  $A_w$ , directamente a problemas industriales ya sea aplicando proceso de deshidratación, controlar parámetros de humedad o estabilizar las características organolépticas del producto en proceso.

La actividad de agua de un producto es siempre inferior a 1, esto significa que los constituyentes del producto fijan parcialmente el agua disminuyendo así su capacidad de vaporizarse. Se habla entonces de agua ligada, más o menos fijada al producto por adsorción. Un producto alimentario contiene en general simultáneamente varias formas de agua: agua libre, agua débilmente ligada y agua fuertemente ligada, estas últimas están retenidas a las moléculas de materia seca. (Casp Vanaclocha & Requena, 2008)

Rahman (2009) indica que las frutas y verduras mínimamente deshidratadas, así como las de humedad intermedia, normalmente tienen una actividad de agua mayor a 0.6 por lo que es necesario que sean conservadas combinando factores como pH reducido y algún tipo de conservante, debido a que normalmente se almacenan a temperatura ambiente.

De acuerdo a la descripción que hace Badui (2013) sobre la actividad de agua y relación con el pH con respecto a la resistencia de los alimentos contra los microorganismos patógenos en la (figura 10), explica que en la zona I están los alimentos con alto contenido de agua: vegetales frescos, jugos y alimentos acidificados como purés y encurtidos; debido a que los hongos crecen en estas condiciones, su conservación requiere de un moderado tratamiento térmico, por ejemplo a 100 °C o menos, de refrigeración o de la adición de conservadores fúngicos. La zona II es la más vulnerable por su alta  $a_w$  y pH mayor a 4.6 que favorece los patógenos e incluye cárnicos, leche y pescados; su conservación implica fuertes tratamientos térmicos de hasta 120 °C, o bien refrigeración, congelación y aditivos. La zona III es de alimentos muy estables por su bajo pH y  $a_w$ , como frutas deshidratadas, mayonesas, mermeladas y otros alimentos de humedad intermedia. En la IV están los polvos tipo harina, gelatinas y leche, o bien los productos evaporados; su baja acidez los hace sensibles a reacciones de deterioro.



**Figura 10.** Influencia de la Actividad de agua ( $A_w$ ) y el pH en la estabilidad de los alimentos.  
**Fuente:** (Badui Dergal, 2013)

Existe un valor crítico de actividad de agua a partir del cual los microorganismos no se pueden desarrollar; este valor es de aproximadamente 0.6. La mayoría de las bacterias patógenas dejan de crecer a un valor de actividad de agua de 0.85, mientras la mayoría de mohos y levaduras son más tolerantes a valores más bajos dejando de crecer a valores de actividad de agua de 0.62. (Ceballos Ortiz & Jiménez Munguía, 2012)

## 2.7 MECANISMO Y CINÉTICA EN EL PROCESO DE SECADO

Cuando se hace pasar aire caliente sobre un alimento húmedo, el vapor de agua se difunde a través de una capa límite de aire que rodea el alimento, para posteriormente ser arrastrado por la corriente de aire. Se establece un gradiente de presiones de vapor desde el interior del alimento húmedo hasta el aire seco. Este gradiente constituye la fuerza impulsora para la eliminación del agua del alimento. (Fellows, 2007)

Según (Ibarz & Barbosa Cánovas, 2014) explica que en los mecanismos de transferencia de agua en el producto que se está secando se los realiza mediante el movimiento de agua bajo fuerzas capilares, difusión del líquido por gradientes de concentración, difusión superficial, difusión del vapor de agua de los poros llenos de aire, flujo debido a gradientes de fuerzas capilares son responsables de la retención de agua en los poros de los sólidos de construcción rígida.

En el mecanismo de secado se incluye dos procesos fundamentales:

### TRANSFERENCIA DE CALOR:

#### 1.- Transmisión de calor desde el gas hasta la superficie del producto.

(Marcilla, 2000) Indica que el transporte de calor hacia la interfase puede tener lugar por conducción, convección y radiación. Dentro del sólido el transporte tendrá lugar por conducción.

- **Conducción:** La ecuación que rige el transporte molecular por conducción en una dirección es:

$$q_k = \frac{-kAdt}{dh}$$

Donde  $q_k$  es el caudal de calor transferido en J/s,  $k$  es la conductividad del medio en J/(smK),  $A$  es la superficie a través de la cual tiene lugar la transferencia ( $m^2$ ),  $t$  es la temperatura en K, y  $h$  la distancia en la dirección en la que tiene lugar la transferencia (m).

- **Convección:** El aire caliente se pone en contacto con el material húmedo a secar para facilitar la transferencia de calor y masa, siendo la convección el mecanismo principalmente implicado. La ecuación general en régimen estacionario es la siguiente:

$$q_c = -hA'(t - t_i)$$

Donde  $q_c$  es el caudal de calor transferido por convección,  $h$  es el coeficiente individual de transferencia de calor en  $(J/(sm^2K))$  y  $A'$  es la superficie de transferencia por convección ( $m^2$ ).

- **Radiación:** La ecuación general es del mismo tipo que las anteriores:

$$q_R = -h_R A''(t_R - t_i)$$

Donde  $q_R$  es el flujo de calor transferido por radiación,  $h_R$  es el coeficiente de transmisión de calor por radiación  $(J/(sm^2K))$ , que viene dado por la expresión:

$$h_R = \frac{5.72F \left( \left( \frac{t_R}{100} \right)^4 - \left( \frac{t_i}{100} \right)^4 \right)}{(t_R - t_i)}$$

$A''$  es el área de ( $m^2$ ) que recibe la radiación,  $t_R$  es la temperatura de la superficie radiante en K-, y  $F$  es el factor gris.

El calor total que llega a la superficie será la suma de los anteriores:

$$q = q_K + q_c + q_R = hA_q(t - t_i)$$

Donde  $A_q$  representa el área efectiva para la transmisión global y  $h$  un coeficiente que engloba tres mecanismos.

**2.- Transmisión de calor desde la interfase sólido-gas hasta el interior del sólido.** Sólo puede tener lugar por conducción, en régimen no estacionario (las condiciones varían con el tiempo).



- **Conducción a través del sólido:** (Marcilla, 2000) Explica que en este caso el régimen de transferencia no es estacionario, ya que el material aumenta continuamente su temperatura. Considerando que se trata de un sólido isotrópico, con la misma conductividad en todas las direcciones, e independiente de la temperatura, se puede escribir:

$$\delta t / \delta \theta = k / (\rho c_p) (\delta t^2 / \delta x^2 + \delta t^2 / \delta y^2 + \delta t^2 / \delta z^2)$$

Donde  $\theta$  es el tiempo (s),  $c_p$  la capacidad calorífica del sólido en J/(kgK) y  $\rho$  la densidad (kg/m<sup>3</sup>).

### TRANSPORTE DE MATERIA:

El transporte de materia tiene lugar en sentido opuesto a la transmisión de calor y puede manifestarse por capilaridad y/o difusión a través del sólido y por difusión desde la interfase hacia el seno de la fase gaseosa. (Marcilla, 2000)

3. *Transmisión de materia a través del sólido.* Se puede producir por difusión o capilaridad, aprovechando los capilares existentes. La difusión tiene lugar en el secado de productos con humedades de orden de 25% (base húmeda) o inferiores, mientras que la capilaridad se presenta para niveles altos de humedad (65% o más), siempre y cuando en la estructura interna del producto existan capilares.

- **Transporte en el seno del sólido:**

a) por capilaridad: El proceso viene regido por la ecuación de Görling:

$$N_w = -k_w p_s dX/dz$$

Con  $N_w$  en kg de agua/(sm<sup>2</sup>),  $k_w$  es el coeficiente de transferencia de materia por capilaridad en m<sup>2</sup>/s,  $p_s$  es la densidad aparente del sólido seco en kg/m<sup>3</sup>, X es la humedad del sólido en kg de agua/kg sólido seco y z es la distancia medida en el sentido de circulación del agua por capilaridad (m). El signo negativo indica que la transferencia tiene lugar en el sentido de las humedades decrecientes.

b) por difusión: La ecuación es en este caso:

$$N_w = -Dp_s dX/dz$$

Donde D es la difusividad del agua a través del sólido, en  $m^2/s$ . Las ecuaciones de capilaridad y difusión son similares y en muchas ocasiones resulta muy difícil distinguir entre ambos mecanismos de transferencia.

**4.- Transferencia de vapor desde la interfase sólido-gas hacia el seno del gas.** Los equipos de deshidratación utilizarán por tanto para la transferencia de energía, procesos basados en la convección, conducción o radiación desde la fuente de calor hasta el alimento. Los sistemas más usuales emplean la convección como mecanismo de transferencia de calor y aire como vehículo de esta energía, por lo tanto, la transferencia de calor dependerá, en este caso, de la temperatura del aire, de su humedad, de su caudal, de la superficie expuesta del alimento y de presión.

• **Transporte desde la interfase al gas:** La ecuación representativa es:

$$N_w = k_G(p_i - p)$$

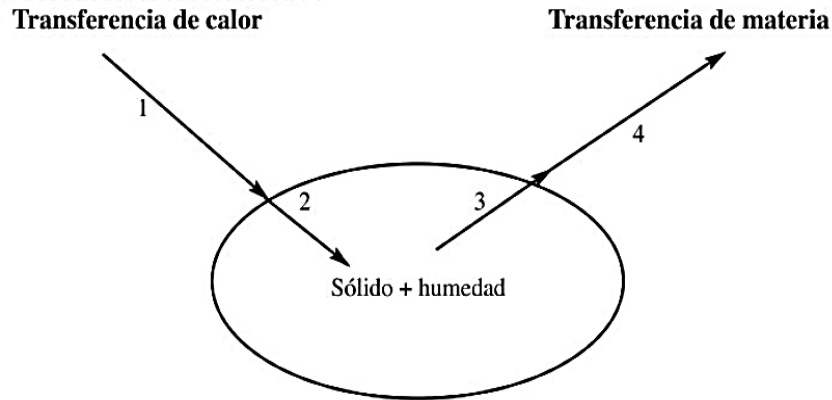
Donde  $N_w$  es la densidad de flujo de transferencia de materia ( $\text{mol kg agua}/(\text{s m}^2)$ ),  $k_G$  es el coeficiente individual de transferencia de materia ( $\text{mol kg agua}/(\text{s N})$ ),  $p_i$  es la presión parcial de agua en la interfase ( $\text{N}/\text{m}^2$ ) y p es la presión en el seno de la fase gaseosa ( $\text{N}/\text{m}^2$ ).

Esta ecuación se puede expresar en función de las humedades absolutas:

$$N'_w = k'(Y_i - Y)$$

Con  $N'_w$  en  $\text{kg de agua}/(\text{s m}^2)$ ,  $k'$  en  $\text{kg de agua}/(\text{s m}^2 \Delta Y)$ , e Y las humedades del aire en  $\text{kg agua}/\text{kg aire seco}$ .

Conocer los fundamentos de transmisión del calor nos permitirá determinar las ganancias y pérdidas que se producen durante el proceso.

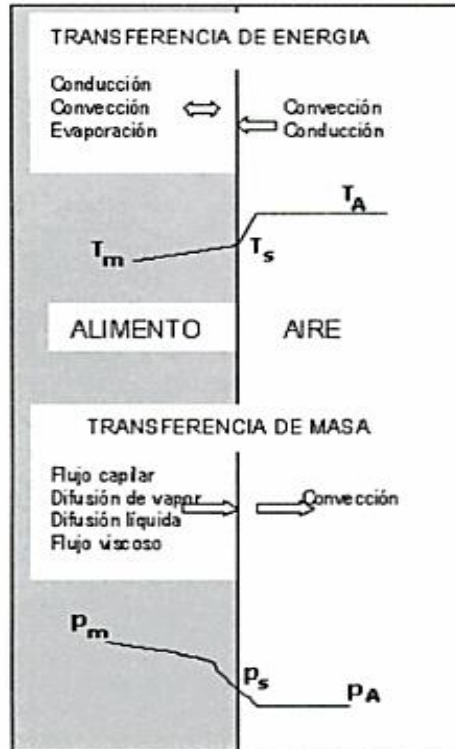


**Figura 11.** Proceso básico de secado  
Fuente: (Casp Vanaclocha & Abril Renquena, 2008)

(Nonhebel & Moss, 2002) Explica que la velocidad de secado en un secador por conducción es en gran parte independiente de la transferencia de materia desde la sustancia, pero en el caso de secado por convección es distinto. El coeficiente de transferencia de calor suele ser grande y no varía mayormente durante el transcurso del secado. Por lo que la limitación de la velocidad de secado está dado principalmente por el coeficiente de transferencia de materia.

Por lo tanto, durante el secado se producen cuatro procesos de transporte, figura 11: Es necesario tener en cuenta los cuatro procesos de transporte citados, puesto que la velocidad de secado será mayor en el proceso de transporte más lento. En la mayoría de los casos los procesos limitantes serán los de transporte de materia y calor en el interior del alimento. (Casp Vanaclocha & Requena, 2008)

El agua se elimina de los alimentos por medio de su difusión, en fase líquida y/o vapor, a través de su estructura interior. Al movimiento del agua líquida le seguirá su evaporación en algún punto del alimento, para lo cual es necesario calor, por lo tanto, el proceso supone realmente un transporte simultaneo de materia y calor.



**Figura 12.** Visión esquemática de la transferencia de masa y calor en el secado.

**Fuente:** (Orrego Alzate, 2003)

La transferencia de masa desde el producto hacia los alrededores se hace principalmente por convección causada en gradientes de presión de vapor; la evaporación directa se produce en la superficie cuando se iguala su presión de vapor a la atmosférica como es el caso del secado al vacío y la liofilización. (Orrego Alzate, 2003)

### 2.7.1 CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO

Para calcular la velocidad de secado, se determina primero el peso de sólidos secos por medio de la siguiente relación:

**Ecuación 5.** Peso de sólidos secos

$$W_s = m (\%s.s.)$$

Dónde:

$W_s$ = Peso de sólidos secos.

$m$ = masa inicial de la muestra

$\%s.s.$ = porcentaje de sólidos secos en la muestra.

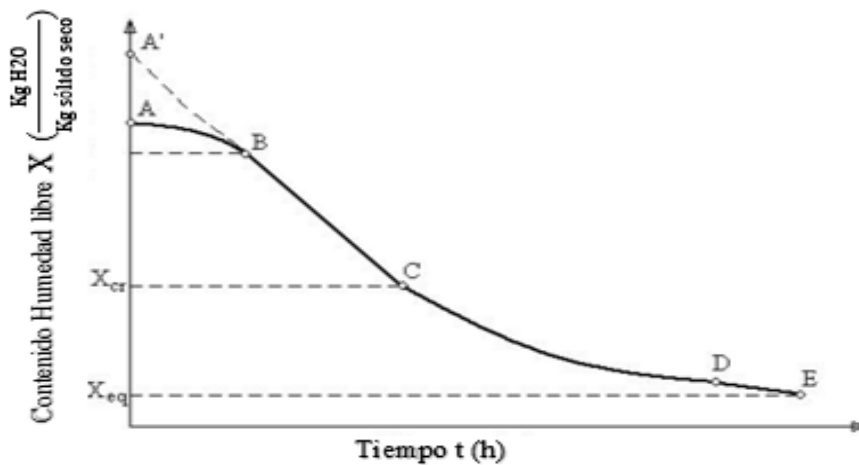
Los datos que se obtienen del experimento de secado generalmente se expresan como peso total  $W$  del sólido húmedo (sólido seco más humedad) a diferentes tiempos de  $t$  horas o minutos en el período de secado (Geankoplis, 1998).

Después de establecer las condiciones de secado constante, se determina el contenido de humedad de equilibrio,  $X^*$  Kg. de humedad de equilibrio/Kg. de sólido seco, que está dada por la humedad relativa del aire caliente. Con el cual se procede a calcular el valor de humedad libre  $X$  en Kg. de agua libre/Kg. de sólido seco para cada valor de  $X_t$ .

**Ecuación 6.** Humedad libre.

$$X = X_T - X^*$$

Al sustituir los datos en la ecuación de humedad libre, se traza una gráfica llamada Curva de secado con respecto al contenido de humedad libre  $X$  en función del tiempo  $t$  en minutos u horas, como se muestra en la figura 13.



**Figura 13.** Gráfica de los datos de humedad libre en función del tiempo

Huerta Ochoa (2005) explica que la velocidad de secado determina el tiempo para llevar a cabo la operación que depende de la velocidad de transferencia de calor y de la velocidad de evaporación. (Mujumdar, 2000) La velocidad y uniformidad del secado, son dos factores importantes que afectan la calidad de proceso y evitan las pérdidas físicas, estructurales, químicas y nutricionales del alimento.

Para obtener una curva de velocidad de secado a partir de la figura 13, se miden las pendientes de las tangentes a la curva, lo cual proporciona valores de  $dx/dt$  para ciertos valores de  $t$ . La velocidad de secado se calcula mediante la ecuación:

**Ecuación 7.** Velocidad de secado

$$R = \frac{W_t - W_{t + \Delta t}}{A * \Delta t}$$

En donde:

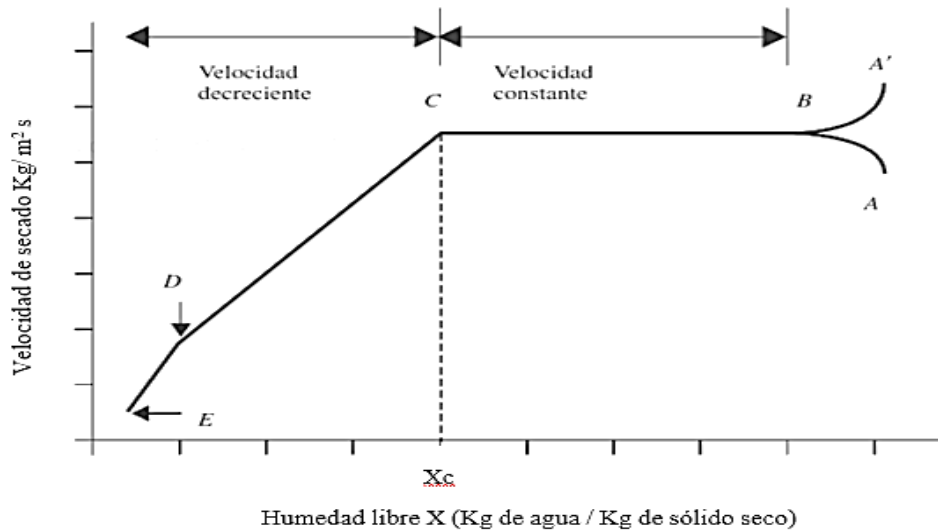
R: Velocidad de secado

$W_t$ : Peso de (muestra+ humedad) en el instante  $t$ .

$W_t + \Delta t$ : Peso de (muestra + humedad) en el instante  $\Delta t$

A: área de la muestra expuesta al secado

Entonces, la curva de velocidad de secado se obtiene graficando  $R$  en función del contenido de humedad como se muestra en la figura 14.



**Figura 14.** Curva de velocidad de secado en función del contenido de humedad libre  
**Fuente:** Ibarz & Barbosa Cánovas, (2014)

**Factores que favorecen la velocidad de secado:**

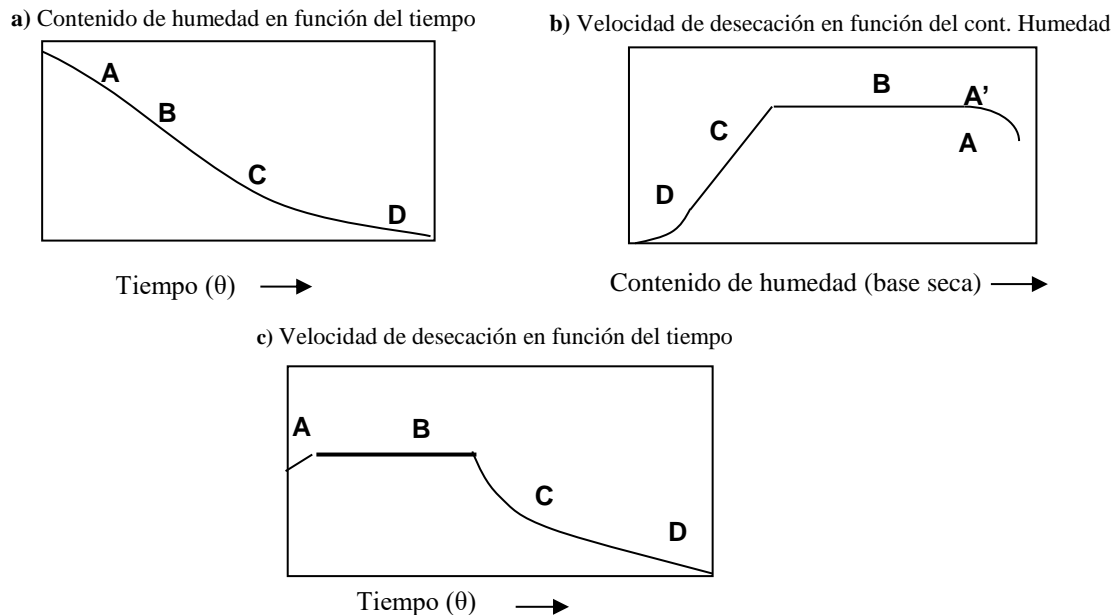
- Baja presión de vapor en el aire que rodea al sólido (bajo contenido de humedad y alta temperatura).
- Elevada superficie de contacto sólido-aire.

- Alto nivel de renovación de la superficie de sólido y contacto con la fuente de calor. (Castells X. , 2012)

## 2.7.2 PERIODOS DE SECADO

En la investigación de (Alvarado, 2010) Establece tres períodos bien definidos representado en la gráfica 15, en donde se observa:

**Período (A-B):** es un período de precalentamiento del sólido en donde se presenta una humedad alta, el producto a secar al principio está frío, su presión de vapor es igualmente baja, por lo tanto la velocidad de transferencia de masa es muy lenta. Este periodo es muy corto a comparación con el tiempo total del secado. Seguido de un **Período (B – C):** es un periodo de velocidad constante, se produce en corto tiempo, y en este, el agua se evapora libremente desde la superficie del sólido por mecanismos de difusión. Dicho período se caracteriza por el movimiento de la humedad dentro del sólido de forma acelerada con el fin de mantener una condición saturada en la superficie. El período de velocidad constante, es en el que se produce la mayor parte del secado.



**Figura 15.** Períodos de Desecación

**Fuente:** Deshidratación de Alimentos, (Barbosa Cánovas & Vega Mercado, 2000)

**Período (C-D):** el período de velocidad decreciente es muy complejo ya que son varios los mecanismos que están involucrados en el mismo, mecanismos que se enlistarán a continuación:

- Movimiento del líquido por fuerzas capilares
- Difusión del líquido
- Difusión superficial

Y finalmente, difusión agua-vapor

Sin embargo, muchos de los materiales no presentan los dos primeros periodos ya que existen ocasiones en las que el periodo de velocidad constante es tan breve que no aparece sobre la gráfica. (Bagué Serrano & Álvarez Cruz, 2012)

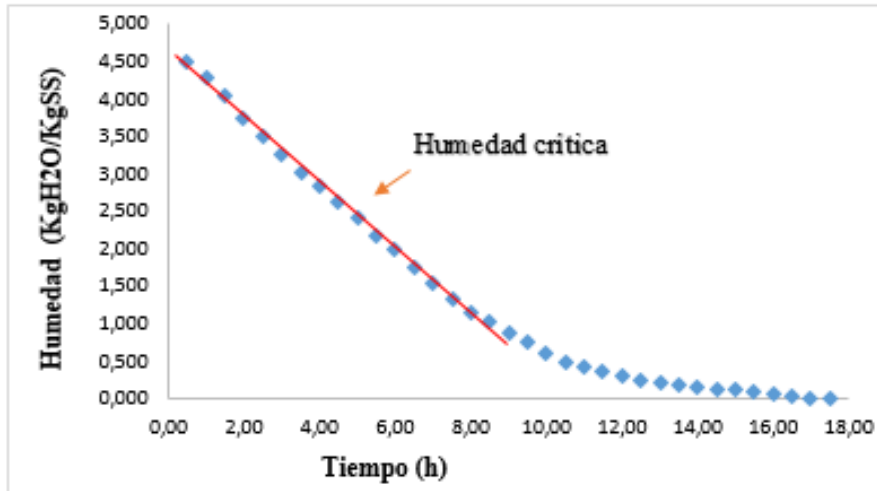
**Período (D):** es un periodo de equilibrio, en el punto D se representa el período de equilibrio. La humedad en estado libre se anula, es decir que la humedad de la semilla es igual a la de equilibrio con el aire de secado. (Vian & Ocon, 2008)

#### **2.7.2.1 Período a velocidad constante**

Se caracteriza porque la velocidad de secado es independiente de la humedad del sólido. Durante este período, la superficie del sólido está tan húmeda que existe una película continua de agua sobre toda la superficie de secado y el agua se comporta como si el sólido no existiera. La presión parcial del líquido que se está evaporando en la superficie del material es igual a la presión de vapor a la temperatura de operación. El agua emigra desde el interior hacia la superficie, eliminándose el agua retenida por capilaridad. (Castells X. , 2012)

En la curva de secado este período deberá ajustarse a una recta como se señala en la figura 16.





**Figura 16.** Periodo de velocidad constante  
Fuente: (Casp Vanaclocha, (2008)

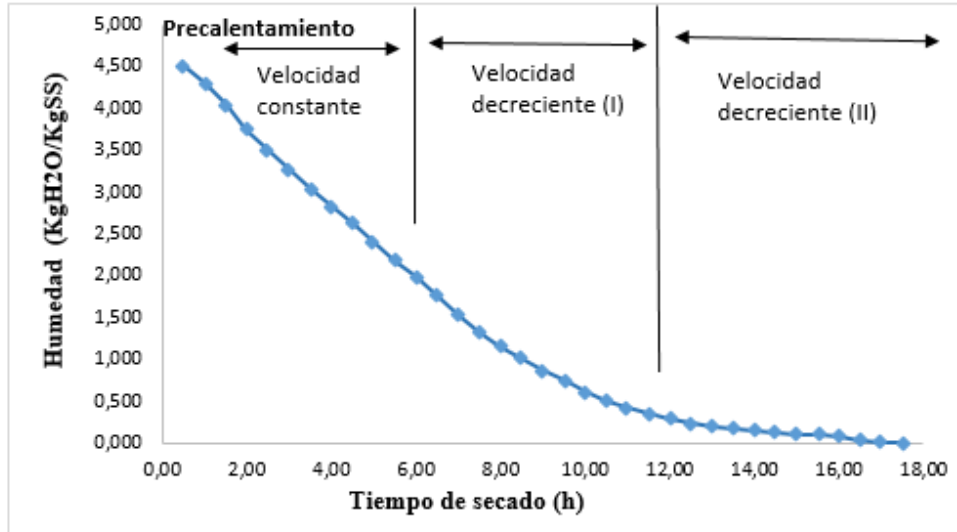
Al instante en que acaba este período se denomina punto crítico. Este punto marca el instante en que el agua líquida que está sobre la superficie es insuficiente para mantener una película continua que cubra toda el área de secado. En sólidos porosos, este punto se alcanza cuando la velocidad de evaporación supera a la velocidad de flujo hacia la superficie. Si la humedad inicial del sólido es inferior a la velocidad crítica, no puede darse el periodo de velocidad constante. La humedad crítica varía con el espesor del material y con la velocidad de secado, consecuentemente no es una propiedad del material. (Castells X. , 2012)

En el período de velocidad constante el principal mecanismo de transporte de masa es el flujo capilar de agua líquida, aunque puede existir alguna difusión de líquido, el flujo de humedad no afecta a la velocidad de secado, en este periodo es el entorno secante el aire, el cual impone la velocidad de secado, que se incrementa al hacerlo la temperatura.

### **2.7.2.2 Periodo de velocidad decreciente**

Es un lapso de desecación durante el cual la velocidad instantánea de secado disminuye en forma continua, es decir, que en los mismos intervalos cada vez es menos la humedad evaporada con el transcurso del tiempo. (Rincón Martínez & Silva Lora, 2014). El vapor formado se difunde a través de la capa límite superficial. La forma de la curva depende del tipo de material. (Castells X. , 2012). La importancia del período de velocidad

decreciente radica esencialmente en la eliminación de la humedad ligada o adherida al interior del sólido a tratar.

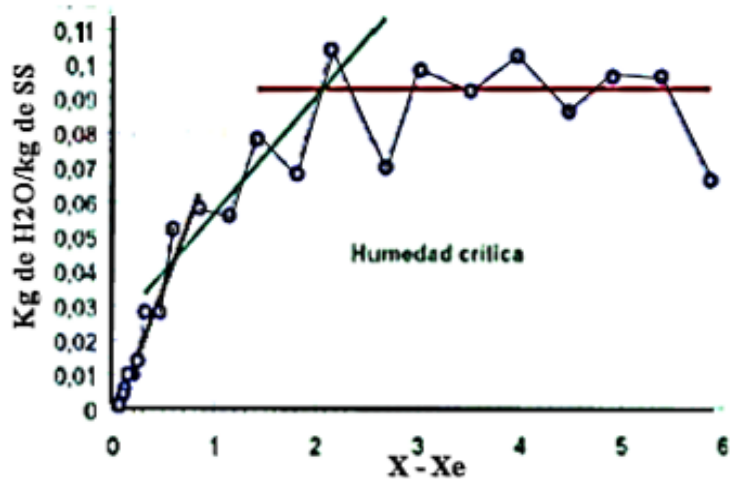


**Figura 17.** Periodo de secado  
**Fuente:** (Casp Vanaclocha, (2008))

Durante esta fase, el agua extraída tiene una mayor energía de enlace. Los poros más grandes tienden a vaciarse antes que los poros más pequeños. En estos últimos las fuerzas que se desarrollan por capilaridad son mucho mayores. Además, el área disponible para la transferencia de materia disminuye. La velocidad también disminuye continuamente mientras aumenta la superficie seca.

Para materiales higroscópicos, en los que el agua contenida está retenida esencialmente por fuerzas de adsorción u osmóticas, la zona de velocidad decreciente es la más representativa del proceso de secado. (Castells X. , 2012)

Cuando se trata de materiales higroscópicos se obtiene un segundo periodo de velocidad decreciente o periodos de velocidad final, en donde el flujo másico se reduce más rápidamente que en el periodo anterior. En este periodo, el producto está en dominio de la higroscopia en el alimento no queda más que agua ligada, que se evacua muy lentamente (difusión, desorción). Esta fase se termina cuando el producto alcanza su humedad de equilibrio, que depende como es lógico de las condiciones de secado.



**Figura 18.** Periodos de velocidad decreciente  
**Fuente:** (Casp Vanaclocha, (2008))

(Fellows, 2007) Explica que durante este periodo, los factores que controlan la velocidad de secado cambian. Inicialmente los factores a tener en cuenta son similares a los del periodo de velocidad constante, pero gradualmente la velocidad de movimiento del agua (la transferencia de masa) llega a ser el factor controlante. El agua se mueve desde el interior del alimento hasta la superficie del mismo mediante los siguientes mecanismos:

- Movimiento del líquido mediante fuerzas capilares, particularmente en alimentos porosos.
- Difusión de líquido, causado por las diferencias de concentración de solutos en la superficie y en el interior del alimento.
- Difusión de líquido adsorbido en la superficie de los componentes sólidos del alimento.
- Difusión de vapor de agua presente en los espacios de aire en el interior del alimento causados por gradientes de presión de vapor.

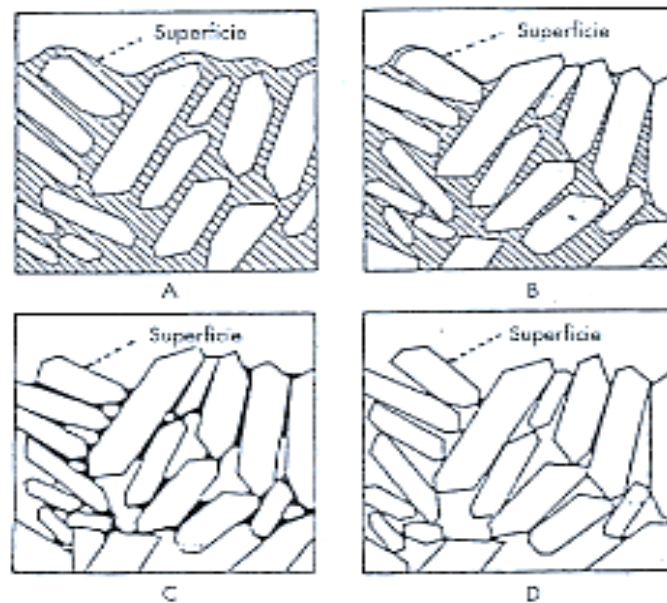
### 2.7.3 Teoría Capilar

El flujo de un líquido a través de los espacios y sobre la superficie de un sólido debido a la atracción molecular entre el líquido y el sólido se denomina capilaridad, por lo que el flujo capilar ha sido aceptado como uno de los mecanismos clave de secado.

### Tipo de capilaridades: microcapilares, macrocapilares

Según (Dávila Nava, 2004) explica que debido a los mecanismos de movimiento de fases de líquidos y gases, se dividen las capilaridades en dos tipos: **microcapilares** con radio a  $10^{-7}$  m. El valor de  $10^{-7}$  es del mismo orden de las líneas de flujo libre del vapor de agua a presión atmosférica. En microcapilares en el cual las líneas de flujo son mayores que el radio de capilaridad, el gas es transportado por difusión ordinaria. Los tubos capilares son llenados con líquido debido a la adsorción del vapor en paredes capilares con una capa monomolecular alrededor de  $10^{-7}$  m de espesor. Y los **macrocapilares** los cuales son llenados con líquido solo cuando estos están en contacto directo con el líquido, esto quiere decir que no adsorben agua del ambiente, por el contrario, liberan la humedad al ambiente.

Un sólido poroso contiene poros y canales interconectados de diversos tamaños, por lo que a medida que se evapora el agua se origina las fuerzas capilares por la tensión interfacial entre el agua y el sólido. (Fonseca Vigoyo, 2012) Estas fuerzas constituyen el impulso para desplazar el agua a través de los poros hasta la superficie. Los poros pequeños desarrollan fuerzas mayores que los poros más grandes.



**Figura 19.** Disposición relativa de agua y partículas en el secado durante las diversas etapas del secado.

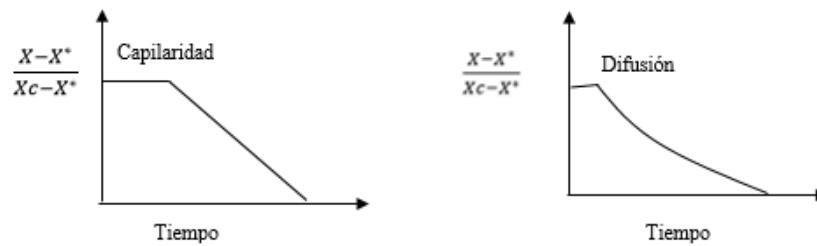
**Fuente:** (Castells X. , 2012)

(Castells X. , 2012) Explica la disposición relativa de agua y partículas en el secado durante las diversas etapas del secado, en donde dice que durante la primera etapa de

secado, cuando los poros están llenos de agua y las partículas sólidas están rodeadas de una película de líquido, la pieza presenta una contracción que en volumen es igual a la cantidad de agua evaporada en la superficie. Progresivamente las partículas se van aproximando y la contracción aumenta, aunque esta característica no es universal.

En una segunda etapa (dibujos C y D de la figura) el agua se halla en el interior de los poros. La migración de agua no tiene lugar si la superficie no está seca y el interior es húmedo. En esta etapa se precisa más energía para hacer migrar la partícula de agua del interior hasta la superficie.

(Colina, Irezabal, 2010) indica que para conocer el mecanismo por el que se elimina la humedad en un producto determinado, puede graficarse el cociente  $(X - X^* / X_c - X^*)$  contra el tiempo de secado como se muestra a continuación:



De acuerdo a esta gráfica si se obtiene una línea recta uniforme, puede asumirse que el agua se elimina por capilaridad. Si la línea se hace asintótica a una línea recta, conforme aumenta el tiempo, se considera difusión y el coeficiente de difusividad másica puede calcularse a partir de la pendiente de dicha línea.

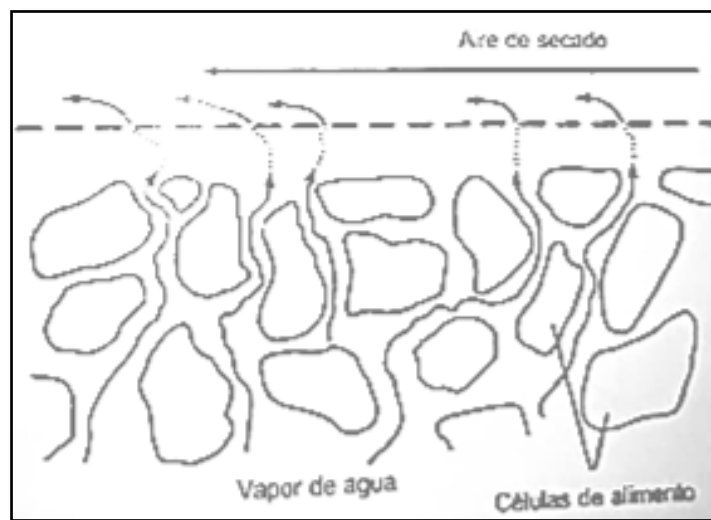
$X_c$  puede determinarse a partir de las curvas de deshidratación para el producto en cuestión y  $X^*$  debe determinarse de la curva de sorción de dicho producto.

#### 2.7.4 Teoría de difusión

(Coulson., Richardson, Backhurst, & Harker, 2003) Explica cómo se desplaza la humedad hacia la superficie de secado durante el periodo de velocidad decreciente, en donde en la

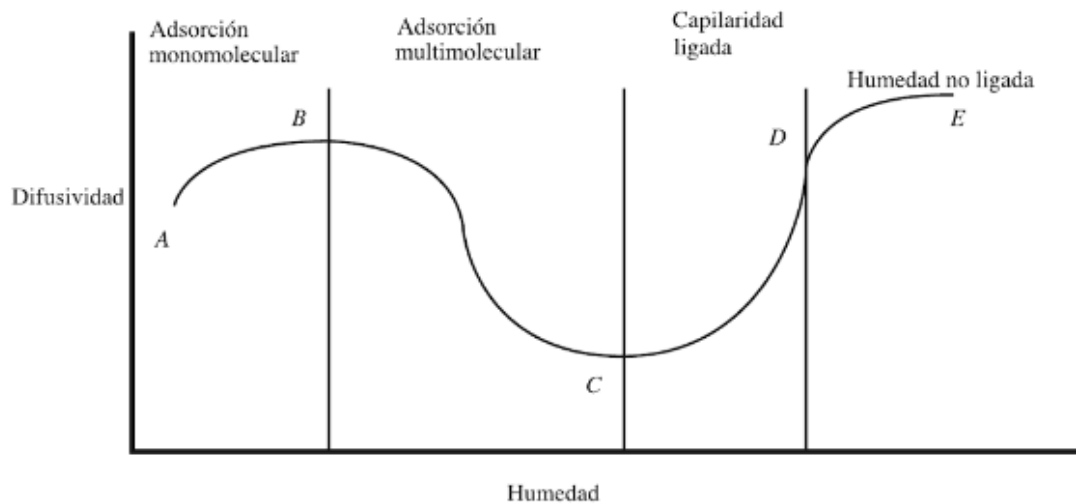
teoría de la difusión se supone que la velocidad de desplazamiento del agua hacia la interfase con el aire está gobernada por ecuaciones de la velocidad similares a las que existen para la transferencia de calor, mientras que en la teoría de la capilaridad se supone que las fuerzas que controlan el movimiento del agua son de tipo capilar, originándose en los diminutos espacios existentes entre las partículas individuales.

La difusión de la humedad líquida se verifica cuando existe una diferencia de concentración entre el interior del sólido y la superficie. Este método de transporte de humedad casi siempre se presenta con sólidos no porosos, en los que se forman soluciones de una sola fase con la humedad, como en una pasta, un jabón, una gelatina y pegamento. En el secado de muchos materiales alimenticios, el movimiento del agua durante el periodo de velocidad decreciente se verifica por difusión.



**Figura 20.** Trayectoria de vapor de agua durante la deshidratación  
**Fuente:** (Fellows, 2007)

En los sólidos granulares y porosos predomina el movimiento del agua por capilaridad, mientras que en aquellos que presentan una estructura más continua prevalece la difusión del líquido por gradientes de concentración. (Aguado, y otros, 2002)



**Figura 21.** Relación entre el contenido de humedad y difusividad.  
**Fuente:** (adaptado de Barbosa-Cánovas y Vega-Mercado, 1996)

(Ibarz, 2005) Explica la relación entre la difusividad y la humedad tal como se presenta en la figura 21. La región A-B representa la adsorción monomolecular en la superficie del sólido que consiste en el movimiento del agua por difusión de la fase vapor. La región B-C cubre la desorción multimolecular donde la humedad empieza el movimiento en la fase líquida. En la región C-D juega un papel importante el micro capilaridad, donde la humedad emigra fácilmente en los poros llenos de agua. En la región D-E la humedad ejerce su máxima presión de vapor y la migración de humedad es debida primordialmente a la capilaridad.

### 2.7.5 Teoría de la evaporación – condensación

(Rodríguez & Quinto, 2005) Indica que esta teoría no está limitada al vapor como única sustancia difusiva, la mayoría de los trabajos y los modelos basados en esta teoría consideran que la humedad fluye enteramente en fase gaseosa. Esta teoría toma en cuenta la difusión simultánea de calor y masa, y asume que los poros forman una red continua de espacios incluidos en el sólido. Además, también asume que la cantidad de vapor varía en forma lineal con la concentración de vapor y temperatura, tal y como se representa por el sistema de ecuaciones siguiente:

- transferencia de masa:

$$\gamma \frac{\partial M}{\partial t} = K_v \nabla^2 M_v - \frac{\partial M_v}{\partial t}$$

- transferencia de calor:

$$\varepsilon \frac{\partial M}{\partial t} = k \nabla^2 T - \frac{\partial T}{\partial t}$$

Posteriormente, con el desarrollo de una teoría para la transferencia simultánea de calor y masa para el segundo periodo de secado en un sólido poroso, se hace la consideración de que las fases líquida y gaseosa del sistema poroso están tan finamente distribuidas desde el punto de vista macroscópico, que el sistema puede tomarse como de una sola fase. Otros modelos basados en esta teoría, consideran una dependencia lineal entre presión, contenido de humedad y temperatura.

El vapor de agua en el producto es condensado cerca de la superficie. Esto supone que la velocidad de condensación es igual a la velocidad de evaporación en la superficie del producto y permite que no exista acumulación de agua en los poros cerca de la superficie. (Keqing, 2004)



## CAPITULO III

### 3 METODOLOGÍA

#### 3.1 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La presente investigación se desarrolló en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería de Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la Universidad Técnica del Norte (Unidades Edu-productivas de la Escuela de Ingeniería Agroindustrial).

**Tabla 3:** Condiciones ambientales de la Ciudad de Ibarra.

Provincia	Imbabura
Cantón	Ibarra
Parroquia	El Sagrario
Sitio	Unidades productivas de la Escuela de Ingeniería Agroindustrial
Latitud geográfica	00° 19' 47" N
Longitud geográfica	78° 07' 56" W
Temperatura media	18 <sup>0</sup> C
Altitud	2250m.s.n.m.
HR. Promedio	62%
Pluviosidad	503 – 1000 mm. Año

Fuente: (INAHMI, 2015)

### 3.1.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES DEL AIRE DE SECADO Y DEL SECADOR DE BANDEJAS

#### 3.1.1.1 Temperatura ambiente

Tabla 4. Temperatura bulbo seco y temperatura de bulbo húmedo.

Día	Tratamiento	temperatura bulbo seco °C	temperatura de bulbo húmedo °C
1	1	20	17
2	2	20	16
3	3	21	18
4	4	20	17
5	5	19	16
6	6	19	16
7	7	20	17
8	8	21	18
9	9	20	17
10	10	20	18
11	11	21	17
12	12	20	17
$\Sigma$		241	204
$\bar{X} =$		20	17

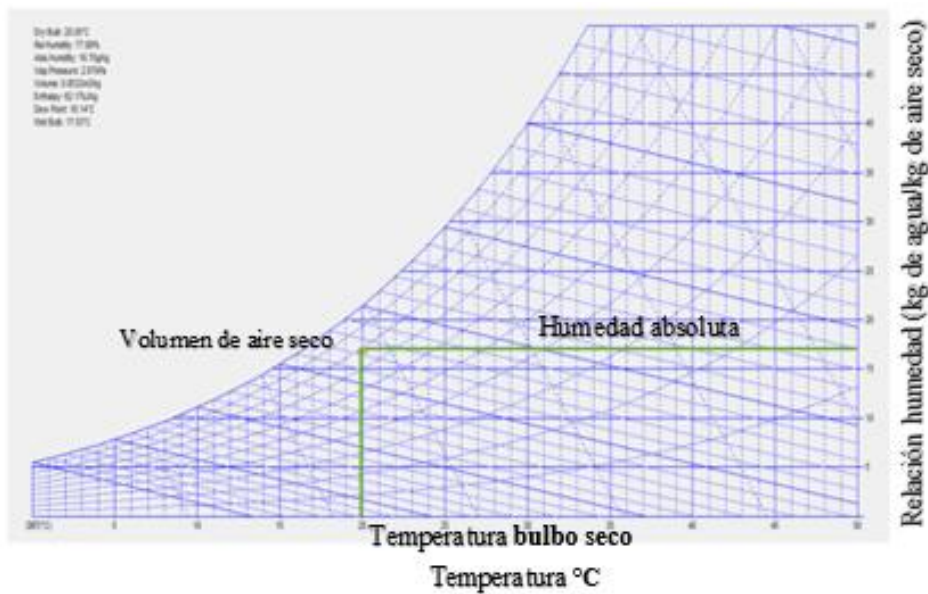


Gráfico 1. Propiedades psicrométricas del aire de la Ciudad de Ibarra.

Ciudad Ibarra = Presión (atm) 0.76259

**Tabla 5:** Condiciones ambientales a temperatura ambiente

<b>PROPIEDADES TEMPERATURA AMBIENTE 20°C</b>	
Bulbo seco	20°C
Humedad relativa	77.88 %
Humedad absoluta	16.70 g/Kgss
Presión de vapor	2.67 kPa
Volumen	0.85 m <sup>3</sup> /kg
Entalpía	62.17 KJ/Kgss
Punto de rocío	16.14 °C
Bulbo húmedo	17 °C

### 3.1.1.2 Temperaturas de secado.

**Tabla 6:** Propiedades de la temperatura de secado a 45°C

<b>PROPIEDADES DEL AIRE DE SECADO A 45°C</b>	
<b>PROPIEDADES</b>	<b>TEMPERATURA SECADO 50°C</b>
Bulbo seco	45°C
Bulbo húmedo	39 °C
Humedad relativa	67.95 %
Humedad absoluta	66.90 g/Kg
Presión de vapor	10.70 kpa
Volumen	0,99 m <sup>3</sup> /Kg
Entalpía	213.94 KJ/Kg
Punto de rocío	38.51 °C

**Tabla 7:** Propiedades del aire de salida a 43°C

<b>PROPIEDADES DEL AIRE DE SALIDA 43°C</b>	
<b>PROPIEDADES</b>	<b>TEMPERATURA DE SALIDA 43°C</b>
Bulbo seco	43°C
Bulbo humedo	35 °C
Humedad relativa	58.35 %
Humedad absoluta	51.00g/Kg
Presión de vapor	8.16 kpa
Volumen	0.97 m <sup>3</sup> /Kg
Entalpía	171.79 KJ/Kg
Punto de rocío	33.98 °C

**Tabla 8:** Propiedades de la temperatura de secado a 60°C

<b>PROPIEDADES DEL AIRE DE SECADO A 60°C</b>	
<b>PROPIEDADES</b>	<b>TEMPERATURA SECADO 60°C</b>
Bulbo seco	60°C
Bulbo humedo	55°C
Humedad relativa	72.23 %
Humedad absoluta	178.30 g/Kg
Presión de vapor	28.53 kpa
Volumen	1.19 m <sup>3</sup> /Kg
Entalpía	510.25 KJ/Kg
Punto de rocío	54.84 °C

**Tabla 9:** Propiedades del aire de salida a 55°C

<b>PROPIEDADES DEL AIRE DE SALIDA 56°C</b>	
<b>PROPIEDADES</b>	<b>TEMPERATURA DE SALIDA 56°C</b>
Bulbo seco	56°C
Bulbo humedo	51 °C
Humedad relativa	73.24 %
Humedad absoluta	140.30 g/Kg
Presión de vapor	22.45 kpa
Volumen	1.13 m <sup>3</sup> /Kg
Entalpía	410.29 KJ/Kg
Punto de rocío	50.91 °C

### **3.1.1 UBICACIÓN DEL EXPERIMENTO**

La presente investigación se la realizó en la ciudad de Ibarra. El desarrollo de la fase experimental se realizó en el laboratorio de deshidratación de la Escuela de Ingeniería Agroindustrial de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales. Las condiciones ambientales del aire de secado y del secador de bandejas se pueden ver en el anexo 1.

Los análisis físicoquímicos y microbiológicos se realizaron en los Laboratorios de Control de Calidad de la Universidad Técnica del Norte.

## 3.2 MATERIALES Y EQUIPOS

### 3.2.1 MATERIA PRIMA E INSUMOS

Tabla 10. Materia prima e insumos

Materia prima	Insumos
Melocotón (Prunus pérsica)	Hipoclorito de sodio 0,1 %
Agua	Cloruro de Calcio
Azúcar	Ácido ascórbico
	Fundas polietileno

### 3.2.2 MATERIALES Y EQUIPOS DE LABORATORIO

Tabla 11. Materiales y equipos de laboratorio.

Materiales	Equipos de laboratorio
Cuchillos	Balanza electrónica de capacidad 500 g y 1000 g
Mesa de trabajo	Balanza de capacidad 15 kg
Coladores metálicos	Secador eléctrico
Selladora	Termómetro de bulbo húmedo
Ollas	Refractómetro (escala 58 a 90 °Brix) Resolución 0.5 %
Mascarillas	Refractómetro (escala 32 a 58 °Brix ) Resolución 0.5 %
Gorros	Termómetro (escala -10 °C- 150 °C)
Mandil	Probeta (1000 ml)

## 3.3 MÉTODOS

### 3.3.1 EVALUAR EL PROCESO DE OSMODESHIDRATACIÓN

#### 3.3.1.1 Efecto de la impregnación de cloruro de calcio en las hojuelas de melocotón

Se trabajará en un pretratamiento osmótico ya establecido, con una solución de jarabe de sacarosa a una concentración de 60°Brix y ácido ascórbico al 0.2% como inhibidor de posibles alteraciones enzimáticas, la fruta será inmersa en el jarabe, en relaciones jarabe/fruta de 1/1, durante un tiempo de impregnación de 6 horas a temperatura ambiente

(20°C); al cabo de las cuales se tomaron lecturas en las muestras de actividad de agua (Aw) y humedad.

A continuación, a este jarabe previamente preparado se procederá a aplicar los factores en estudio establecidos en esta investigación:

**FACTOR A:** Solución de jarabe de sacarosa a 60°Brix con diferentes concentraciones de CaCl<sub>2</sub>.

**A1:** 0%

**A2:** 2.5%

**A3:** 5%.

Estos resultados permitirán observar cómo influye la presencia de cloruro de calcio en las hojuelas osmodeshidratadas, que a diferencia de procedimientos realizados sin la aplicación del pretratamiento osmótico puede variar luego en los tiempos en el proceso de secado.

### **3.3.1.2 Actividad de agua y humedad en las hojuelas de melocotón**

El análisis de la actividad de agua y humedad se medirá durante el tiempo en el que transcurre la impregnación en el jarabe osmótico, tomando datos cada dos horas para conocer cómo influye en el proceso de osmodeshidratación con respecto a contenido de actividad de agua y humedad para a continuación, graficar las isotermas de desorción.

### **3.3.2 EFECTO DE TEMPERATURA Y LA VELOCIDAD DE AIRE EN EL PROCESO DE SECADO.**

El melocotón previamente osmodeshidratado en cloruro de calcio, se someterá a un proceso de secado en un deshidratador de bandejas, con el cuál se trabajará probando distintas temperaturas y variaciones de velocidad.

### 3.3.3 FACTORES EN ESTUDIO

Para esta evaluación se utilizará un diseño AxBxC que a continuación se describe con los factores en estudio.

Detalle de factores:

**FACTOR A:** Concentraciones de cloruro de calcio, (Proceso ósmosis).

**A1:** 0%

**A2:** 2.5%

**A3:** 5%.

**FACTOR B:** Temperatura de secado (°C), (Proceso secado).

**B1:** 45 (°C)

**B2:** 60 (°C)

**FACTOR C:** Velocidad de aire de secado (m/s), (Proceso secado).

**C1:** 2.5m/s

**C2:** 4m/s

### 3.3.4 TRATAMIENTOS

Se evaluarán 12 tratamientos, resultantes de la combinación de tres niveles de concentración de cloruro de calcio en la solución osmótica, dos temperaturas en el interior del secador y dos niveles de velocidad de aire, los cuales se detallan a continuación

**Tabla 12.** Descripción de tratamientos

<b>Tratamientos</b>	<b>Identificación</b>	<b>Combinaciones</b>
T1	A1B1C1	0% + 45°C + 2.5m/s
T2	A1B1C2	0% + 45°C + 4m/s
T3	A1B2C1	0% + 60°C + 2.5m/s
T4	A1B2C2	0% + 60°C + 4m/s
T5	A2B1C1	2.5% + 45°C + 2.5m/s
T6	A2B1C2	2.5% + 45°C + 4m/s
T7	A2B2C1	2.5% + 60°C + 2.5m/s
T8	A2B2C2	2.5% + 60°C + 4m/s
T9	A3B1C1	5% + 45°C + 2.5m/s
T10	A3B1C2	5% + 45°C + 4m/s
T11	A3B2C1	5% + 60°C + 2.5m/s
T12	A3B2C2	5% + 60°C + 4m/s

### **3.3.5 DISEÑO EXPERIMENTAL**

Se utiliza un Diseño Completamente al Azar (DCA), con tres repeticiones con un arreglo factorial  $A \times B \times C$ , donde el Factor A (Concentraciones de cloruro de calcio), Factor B (Temperatura de secado) y Factor C (Velocidad de aire de secado).

### **3.3.6 CARACTERÍSTICAS DEL EXPERIMENTO**

Tratamientos: 12

Repeticiones: 3

Unidades experimentales: 36

### **3.3.7 CARACTERÍSTICAS DE LA UNIDAD EXPERIMENTAL**

La unidad experimental estará compuesta por 500 gr de hojuelas de Melocotón (Prunus pérsica).



### 3.3.8 ANÁLISIS DE VARIANZA

Tabla 13. Esquema del ADEVA

FUENTE DE VARIACION	GL
Total	35
Tratamientos	11
A= Concentraciones de CaCl <sub>2</sub>	3
B= Temperatura en el interior del secador (°C)	2
C= Velocidad de aire (m/s)	2
A x B	4
A x C	4
B x C	4
A x B x C	8
Error experimental	24

### 3.3.9 ANÁLISIS FUNCIONAL

- Tratamientos: Tukey al 5%
- Factores: DMS (Diferencia Mínima Significativa) 5%
- Variables no paramétricas: Friedman al 5%

## 3.4 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL PRODUCTO TERMINADO

### 3.4.1 VARIABLES CUANTITATIVAS

#### 3.4.1.1 Análisis Físico-químicos

**Tabla 14.** Evaluación Análisis Físico-químicos

TIPO	UNIDAD	MÉTODO
Sólidos solubles	%	AOAC 925.14
Humedad	%	Método d Methel;(AOAC 24:2003).
Actividad de agua	%	Aw meter.
pH	-	Método N° 981,12.de la A.O.A.C
Azúcares Totales	%	AOAC 906.03
Carbohidratos Totales	%	Cálculo
Fibra Total	%	AOAC 978.10
Calcio	mg/100g	Espectrofotometría de A.A.
Potasio	mg/100g	Espectrofotometría de A.A.
Cenizas	%	AOAC 923.03
Vitamina C	mg/100g	AOAC 967.21

### 3.4.1.2 Análisis microbiológicos

**Tabla 15.** Análisis microbiológico

VARIABLES	UNIDAD	MÉTODO
Recuento de mohos.	UFM/g	AOAC 997.02
Recuento de levaduras	UFL/g	AOAC 997.02

### 3.4.2 MÉTODOS DE EVALUACIÓN: VARIABLES CUANTITATIVAS

Se realizará estos procedimientos en el laboratorio de Análisis Físicoquímico de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la Universidad Técnica del Norte.

- **Peso (gramos):** Se utilizará una balanza electrónica, con la finalidad de establecer la cantidad exacta del peso de la fruta al inicio y al final del proceso de las hojuelas deshidratadas.
- **pH (unidades pH):** Se empleará un potenciómetro para evaluar la variación del pH de la pulpa, este contará con una resolución de  $\pm 0.01$ , indicando la concentración de iones hidrógeno en una disolución.

- **Humedad (%):** Para la determinación de humedad se practicará el método de cápsula abierta en estufa y balanza infrarroja. De acuerdo al método de la (AOAC 1995.), con el fin de conocer que cantidad de agua está presente antes y después de la deshidratación.
- **Sólidos solubles (°Brix):** La medición de los grados brix, se realizará para conocer los sólidos solubles de la solución, se determinó al inicio del pretratamiento osmótico; para esto se utilizó un Brixómetro.
- **Actividad de agua:** La actividad de agua ( $A_w$ ) se refiere a la humedad relativa de equilibrio (HRE) que alcanza la atmósfera del sistema de ensayo al exponerse la muestra.
- **Análisis físico-químico:** Se tomará una muestra de 100 g de hojuelas osmodeshidratadas de melocotón de los tres mejores tratamientos evaluados, y se analizarán en el laboratorio con la siguiente metodología. Ver tabla 14.
- **Análisis microbiológico:** El análisis microbiológico se lo realizará en el producto terminado de las hojuelas de melocotón osmodeshidratadas a los mejores tratamientos evaluados con la siguiente metodología. Ver tabla 15.
- **Curvas de secado:** El análisis de la curva de velocidad de secado se realizará una vez que se obtenga los datos mediante el control de parámetros de secado cada 10 minutos durante la primera hora y luego cada 30 minutos hasta terminar el proceso en cada tratamiento, esto se medirá con una balanza electrónica, para determinar la pérdida cuantitativa de agua de las hojuelas deshidratadas en el secador de bandejas. Las curvas de mayor interés en la cinética de secado que se medirán son: la humedad libre vs tiempo y velocidad de secado vs humedad libre.

Una vez determinado los datos se podrá calcular cada una de estas ecuaciones y así poder establecer los datos en el diagrama psicrométrico.

Peso de sólidos secos:  $W_s = m$  (%s.s.)

$$\text{Humedad libre: } X = X_T - X^*$$

$$\text{Velocidad de secado: } R = \frac{W_t - W_{t+\Delta t}}{A \cdot \Delta t}$$

### 3.4.3 VARIABLES CUALITATIVAS

#### 3.4.3.1 Métodos de evaluación: Variables cualitativas

A continuación se define cada una de las variables cualitativas para el análisis de organoléptico para 12 degustadores, los cuales recibirán 25 gr de hojuelas osmodeshidratadas de melocotón de cada tratamiento. Esto se realizará en las instalaciones de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la Universidad Técnica del Norte.

- **Color:** La vista comprueba la apariencia, la forma, el tamaño, la densidad, el deterioro físico y el color, principalmente.

Tabla 16. Evaluación sensorial del color.

ESCALA	PARÁMETROS DE EVALUACIÓN	TRATAMIENTOS											
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
5	Muy claro												
4	Ligeramente claro												
3	Muestra igual al estándar												
2	Ligeramente más oscuro												
1	Muy oscuro												

Los valores que se usarán para calificar el color de las hojuelas son:

Un color muy claro se le calificará con 5; un color ligeramente claro con 4; el color igual a la fruta se calificará con 3; un color ligeramente oscuro 2 y si es muy oscuro con manchas o de color extraño en la hojuela de la fruta se calificará con 1. Ver tabla 16 y Ver Anexo 6 para la referencia de color.

- **Aroma:** El olfato se estimula ante las sustancias volátiles (aromáticas), que perciben cuando se transmiten por el aire. Los elementos primarios de los olores son la intensidad, tipo y variedad.

**Tabla 17.** Evaluación sensorial del aroma.

ESCALA	PARÁMETROS DE EVALUACIÓN	TRATAMIENTOS											
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
5	Muy agradable												
4	Agradable												
3	Poco agradable												
2	Desagradable												
1	Muy desagradable												

Los valores que se usarán para calificar la muestra según el aroma son los siguientes:

Un aroma muy agradable igual a la fruta será calificado con 5, 4 si el aroma es agradable, 3 si es poco agradable, 2 si es desagradable y 1 si es muy desagradable. Ver tabla 17

- **Sabor:** El gusto lo que se percibe como sabor es en realidad la combinación del olor, gusto y textura.

**Tabla 18.** Evaluación sensorial del sabor.

ESCALA	PARÁMETROS DE EVALUACIÓN	TRATAMIENTOS											
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
5	Muy agradable												
4	Agradable												
3	Poco agradable												
2	Desagradable												
1	Muy desagradable												

Los valores que se usarán para calificar las hojuelas de acuerdo al sabor son los siguientes:

Un sabor dulce característico a la frutas se le asignará la calificación de 5, si tiene un sabor agradable con 4, 3 si la diferencia de sabor es poco agradable, 2 si es desagradable y 1 punto si es muy desagradable o con sabor fuerte. Ver tabla 18.

- **Textura (dureza):** La fase de masticación es la más importante para cuando se está catando un producto alimenticio, ya que cuando se está realizando este proceso se envía información al cerebro a través de impulsos nerviosos, el cual la relaciona con la información almacenada, emitiendo una respuesta sobre la textura del alimento que se está masticando (Hernandez, 2005).

**Tabla 19.** Evaluación sensorial de textura (dureza)

ESCALA	PARÁMETROS DE EVALUACIÓN	TRATAMIENTOS											
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
1	Sumamente blando												
2	Muy blando												
3	Ligeramente firme												
4	Moderadamente firme												
5	Muy firme												
6	Moderadamente duro												
7	Bastante duro												
8	Muy duro												
9	Sumamente duro												

Los valores que se usarán para calificar la textura (dureza) de las hojuelas son:

Si la textura (dureza) de las hojuelas es sumamente blanda se le asigna la calificación 1, muy blando 2, ligeramente firme 3, moderadamente firme 4, muy firme 5, moderadamente duro 6, bastante duro 7, muy duro 8, sumamente duro 9. Ver tabla 19.

- **Aceptabilidad:** Las pruebas de aceptabilidad se emplean para determinar el grado de aceptación de un producto por parte de los consumidores. Para determinar la aceptabilidad de un producto se pueden usar escalas categorizadas, pruebas de ordenamiento y pruebas de comparación pareada.

**Tabla 20.** Escala de aceptabilidad para los consumidores.

ESCALA	PARÁMETROS DE EVALUACIÓN	TRATAMIENTOS											
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
5	Le gusta mucho												
4	Le gusta poco												
3	Ni le gusta, ni le disgusta												
2	Le disgusta un poco												
1	Le disgusta mucho												

Los valores que se asignarán a cada uno de los parámetros son los siguientes:

Se le asignará el valor de 5 si le gusta mucho, si le gusta poco de 4, si no le gusta ni le disgusta será de 3, le disgusta de 2 y si le disgusta mucho será de 1. Ver tabla 20.

Los datos obtenidos serán procesados a través de las pruebas paramétricas de Friedman.

- **Prueba de Friedman:** Al 5 %. Los datos registrados se los evaluarán a través de las pruebas no paramétricas de FRIEDMAN, basada en la siguiente fórmula:

**Ecuación 8:** Friedman.

$$X^2 = \frac{12}{rxt(t+1)} \Sigma R^2 - 3r(t+1)$$

Dónde:

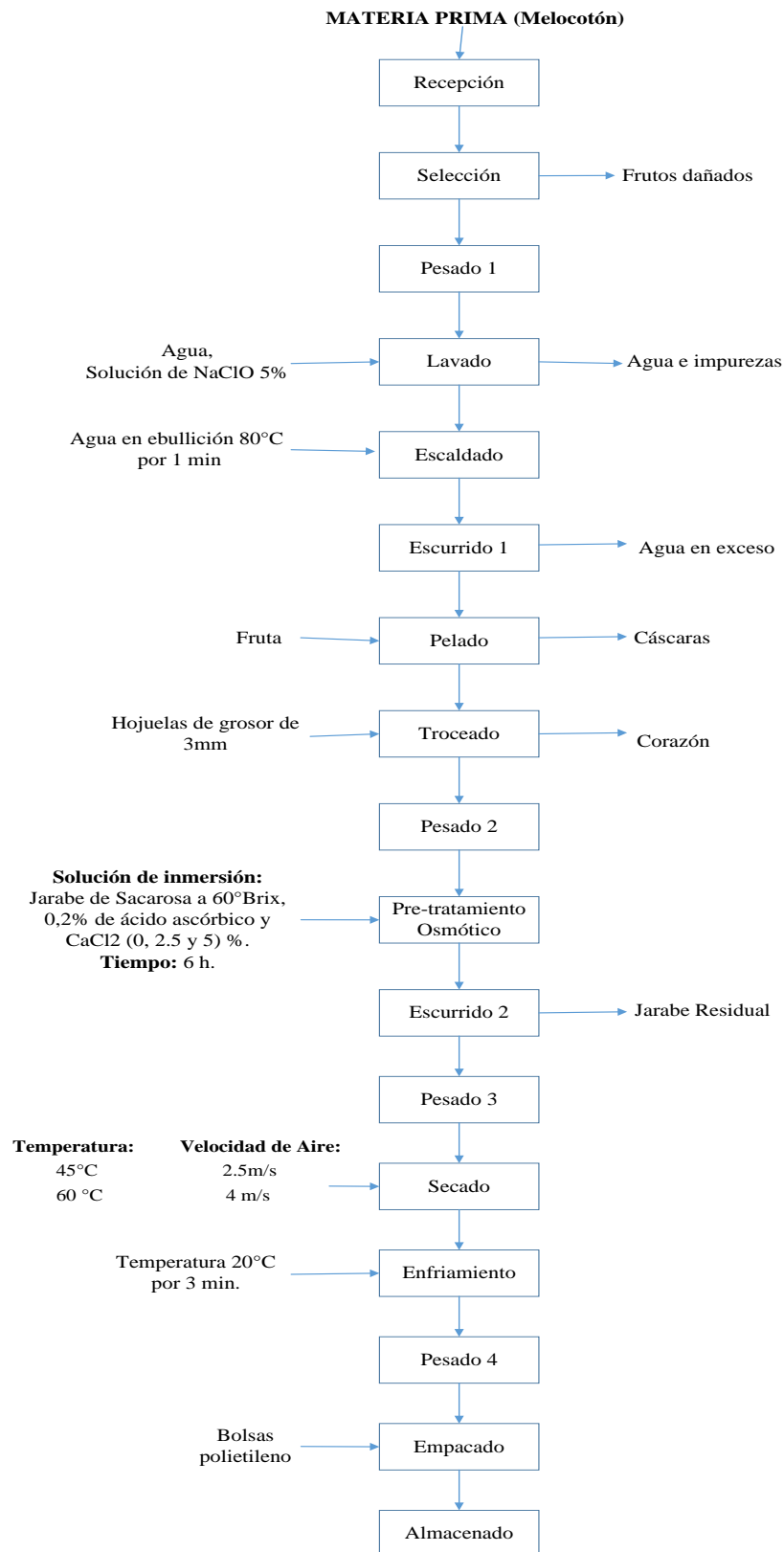
r = número de degustadores

t = tratamientos

$\Sigma R^2$  = Sumatoria de los rangos al cuadrado

## 3.5 MANEJO ESPECÍFICO DEL EXPERIMENTO

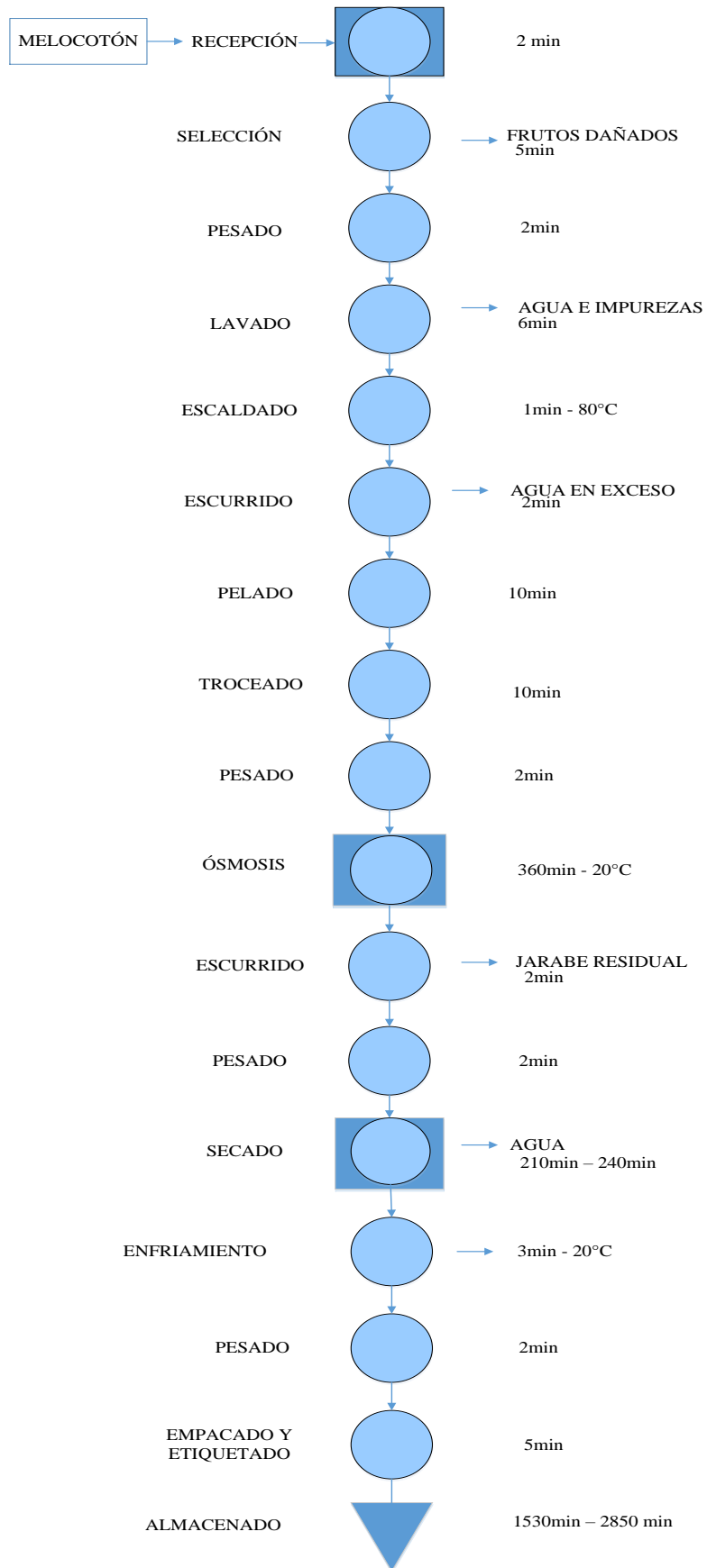
### 3.5.1 MÉTODO DE PROCESAMIENTO



**Figura 22:** Diagrama de bloques de hojuelas deshidratadas de Melocotón.



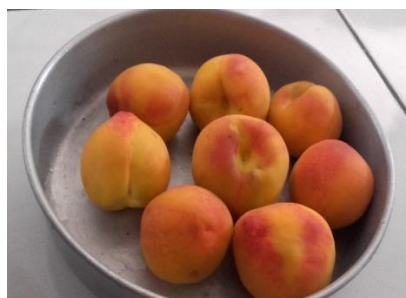
### 3.5.2 DIAGRAMA DE FLUJO



**Figura 23:** Diagrama Ingenieril de hojuelas osmodeshidratadas de melocotón.

### 3.5.3 DESCRIPCIÓN DE PROCESO

**Recepción.** La materia prima debe tener un estado de madurez comercial con una cantidad de 12°Brix, debe estar sana, libre de heridas y enfermedades para garantizar la calidad del producto final. La fruta proviene de productores de la provincia.



**Fotografía 1.** Recepción del fruto de melocotón.

**Selección.** En esta operación se realiza un control de calidad y se rechazará la fruta que no cumpla con los parámetros requeridos.



**Fotografía 2.** Selección

**Pesado 1.** La fruta seleccionada se pesará determinando la cantidad de 500 gramos para cada unidad experimental a utilizar en el proceso.



**Fotografía 3.** Pesado 1

**Lavado.** Las frutas se lavarán en una pila o recipiente con agua y solución de NaClO 5% por dos minutos.



**Fotografía 4.** Fruta lavada

**Escaldado.** Se somete a la fruta a un breve escaldado durante 1 min, en agua en ebullición a 80°C para inactivar las enzimas que causan alteraciones en el color y textura.



**Fotografía 5.** Escaldado

**Escurrido 1.** Luego del proceso de escaldado se escurrirá la fruta brevemente para retirar la cantidad de agua en exceso.



**Fotografía 6.** Escurrido

**Pelado.** De forma manual, se procede a retirar la cáscara para poder manipular la fruta fácilmente.



**Fotografía 7.** Pelado

**Troceado.** Los melocotones serán troceados en forma de hojuelas con un grosor de 3 mm.



**Fotografía 8.** Troceado

**Pesado 2.** Se procederá a pesar las hojuelas de melocotón en una balanza gramera para conocer la cantidad que se va a utilizar en el proceso de ósmosis.



**Fotografía 9.** Pesado 2

**Pre-tratamiento Osmótico.-** El jarabe osmótico de sacarosa contendrá 60 °Brix, 0,20% de ácido ascórbico y CaCl<sub>2</sub> a distintas concentraciones de 0%, 2.5% y 5%. Tiempo de impregnación 6 horas.



**Fotografía 10.** Pre-tratamiento osmótico

**Escurrido 2.** - Al término del proceso osmótico la fruta rápidamente se escurrirá con la finalidad de eliminar el jarabe residual y así evitar una posterior cristalización durante el secado.



**Fotografía 11.** Escurrido

**Pesado 3.** Las hojuelas de melocotón se pesarán para determinar el rendimiento con el cuál se trabajará.



**Fotografía 12.** Pesado 3



**Secado.** Mediante este procedimiento se pretende alcanzar una mayor estabilidad del producto deshidratado, el mismo que se realizará con dos temperaturas de 45°C y 60°C con velocidades de aire de 2.5 m/s y 4 m/s.



**Fotografía 13.** Secado

**Enfriamiento.** - Se dejará reposar a temperatura ambiente de la ciudad de Ibarra 20°C durante 3 minutos.



**Fotografía 14.** Enfriamiento

**Pesado 4.** Una vez obtenida las hojuelas de fruta osmodeshidratadas se pesará para determinar el rendimiento final del proceso.



**Fotografía 15.** Pesado 4

**Empacado.** Se realizará de forma manual, utilizando bolsas de polietileno y un sellado posterior.



**Fotografía 16.** Empacado

**Almacenamiento.** Se almacenará el producto final en un lugar adecuado a temperatura ambiente, con buena ventilación y de preferencia sin exposición a la luz.



**Fotografía 17.** Almacenamiento

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 4.1 PROCESO DE OSMODESHIDRATACIÓN

El procedimiento se realizó en condiciones controladas de laboratorio en un periodo de 6 horas, en donde la fruta se sumergió en un pre-tratamiento osmótico a 60 °Brix, junto con las diferentes concentraciones de cloruro de calcio de 0%, 2.5% y 5%; tomando muestras cada dos horas para evaluar los parámetros de humedad y actividad de agua ( $A_w$ ).

**Tabla 21.** Evaluación de parámetros de Humedad y Actividad de agua.

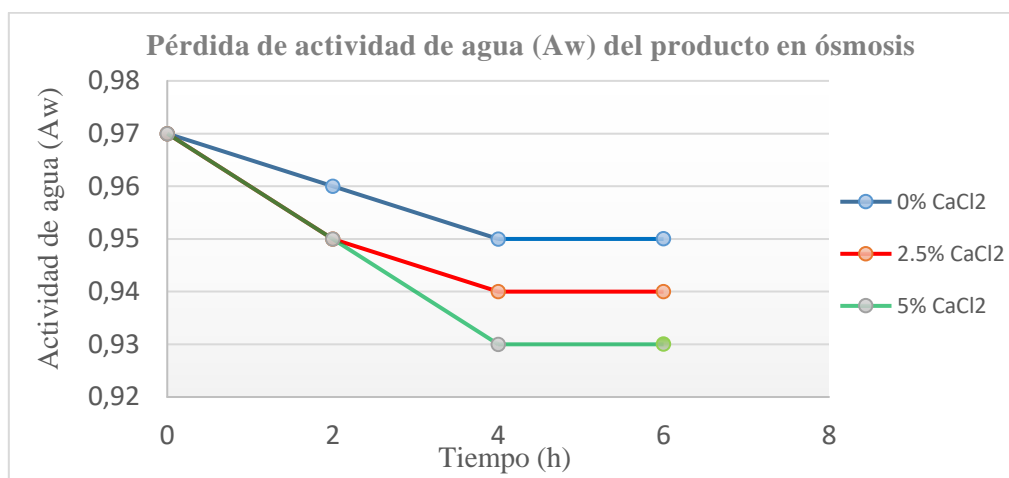
Tiempo (h)	Concentración de CaCl <sub>2</sub> 0%			Concentración de CaCl <sub>2</sub> 2,5%			Concentración de CaCl <sub>2</sub> 5%		
	$A_w$	Humedad B.H. KgH <sub>2</sub> O/Kg producto	Humedad B.S. KgH <sub>2</sub> O/KgSs	$A_w$	Humedad B.H. KgH <sub>2</sub> O/Kg producto	Humedad B.S. KgH <sub>2</sub> O/KgSs	$A_w$	Humedad B.H. KgH <sub>2</sub> O/Kg producto	Humedad B.S. KgH <sub>2</sub> O/KgSs
0	0,97	0,85	5,49	0,97	0,85	5,49	0,97	0,85	5,49
2	0,96	0,66	1,94	0,95	0,58	1,38	0,95	0,52	1,09
4	0,95	0,58	1,37	0,94	0,48	0,92	0,93	0,45	0,82
6	0,95	0,55	1,19	0,94	0,43	0,75	0,93	0,38	0,60

##### 4.1.1 ACTIVIDAD DE AGUA EN PRODUCTO DURANTE ÓSMOSIS

De acuerdo a los datos obtenidos durante el proceso de osmodeshidratación en donde inicialmente la fruta tenía un valor de 0.97 en actividad de agua, se puede determinar que una vez aplicado el pretratamiento osmótico en cada tratamiento durante un periodo de 6 horas, los valores de actividad de agua disminuyen en un 0.95, 0.94 y 0.93 para las concentraciones de 0%, 2.5% y 5% de cloruro de calcio respectivamente; valores con los



cuales se trabajará luego para iniciar el procedimiento de secado de las hojuelas de Melocotón.



**Gráfico 2.** Pérdida de Actividad de Agua ( $A_w$ ) del producto durante proceso de ósmosis.

En el gráfico 2 se puede observar cómo influye el descenso del contenido de actividad de agua de la fruta sumergida en las soluciones osmóticas de sacarosa con concentraciones 0%, 2.5% y 5% de cloruro de calcio, en donde el contenido de actividad de agua baja en todos los tratamientos durante las dos primeras horas, pero las soluciones osmóticas con mayor concentración de cloruro de calcio al 5% se produce una mayor disminución del contenido de actividad de agua a 0.93, a diferencia de los tratamientos inmersos en la solución con 0% de cloruro de calcio que presentaron 0.95; el contenido de actividad de agua se mantiene con valores constantes hasta un tiempo de 6 horas para todos los tratamientos, por lo que el tiempo estimado para bajar el contenido de agua mediante el proceso osmótico fue de 4 horas en donde encontró su equilibrio.

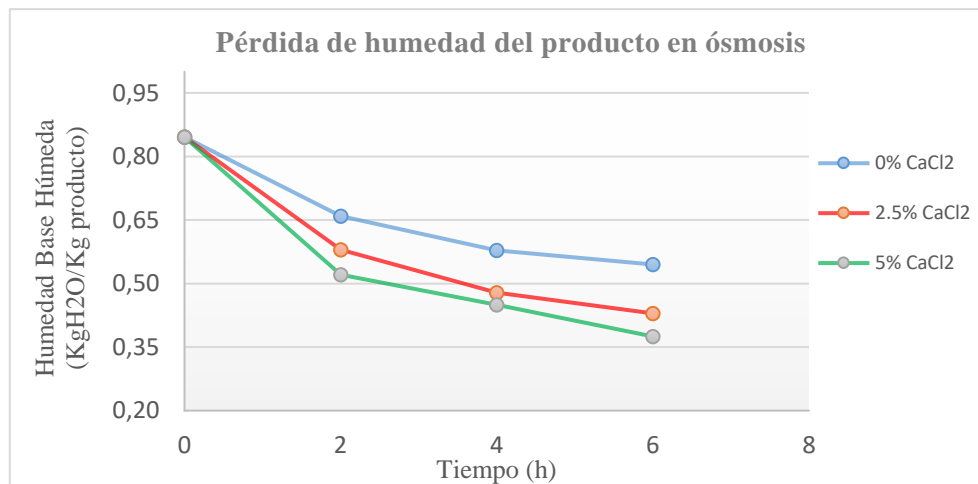
Comparando los valores obtenidos con la investigación realizada por Espinoza, Landaeta, & Núñez (2006), en donde todas las mitades de fruta alcanzaron el equilibrio osmótico a las 48 horas; este tiempo mayor puede deberse al tamaño de la pieza y a la matriz de la fruta, ya que es posible que la difusión del agua y del soluto haya impedido el paso al interior de la fruta, por lo que se requirió más tiempo para que las piezas perdieran agua por efecto de las soluciones osmóticas.

Según Casp Vanaclocha, (2008) A temperatura constante y bajo condiciones de equilibrio, existe una única relación entre el contenido de humedad y la actividad de agua

o la humedad relativa de equilibrio de un alimento dependiendo de que el equilibrio se alcance por adsorción o por desorción. Esta relación se conoce como isoterma de equilibrio. La actividad de agua disminuye al mismo tiempo que lo hace el contenido de agua (W), la curva  $W = f(a_w)$  es generalmente sigmoïdal, como resultado de varios mecanismos básicos de interacción del agua ligada.

#### 4.1.2 HUMEDAD EN PRODUCTO DURANTE ÓSMOSIS

De acuerdo a los datos obtenidos durante el proceso de osmódeshidratación en donde inicialmente la fruta tenía un valor de 84.58% en humedad, se puede determinar que una vez aplicado el pretratamiento osmótico en los tratamientos durante un periodo de 6 horas, los valores del contenido de humedad libre disminuyen en un 30%, 41% y 47% para las concentraciones de 0%, 2.5% y 5% de cloruro de calcio respectivamente; valores con los cuales se trabajará luego para iniciar el procedimiento de secado de las hojuelas de Melocotón.



**Gráfico 3.** Pérdida de Humedad del producto durante proceso de ósmosis.

En el gráfico 3 se puede observar cómo influye el descenso del contenido de humedad en la fruta sumergida en las soluciones osmóticas de sacarosa con concentraciones 0%, 2.5% y 5% de cloruro de calcio, en donde la pérdida de humedad libre baja en todos los tratamientos durante las dos primeras horas, pero las soluciones osmóticas con mayor concentración de cloruro de calcio al 5% se produce una mayor pérdida del contenido de humedad libre en un 47%, a diferencia de los tratamientos inmersos en la solución con

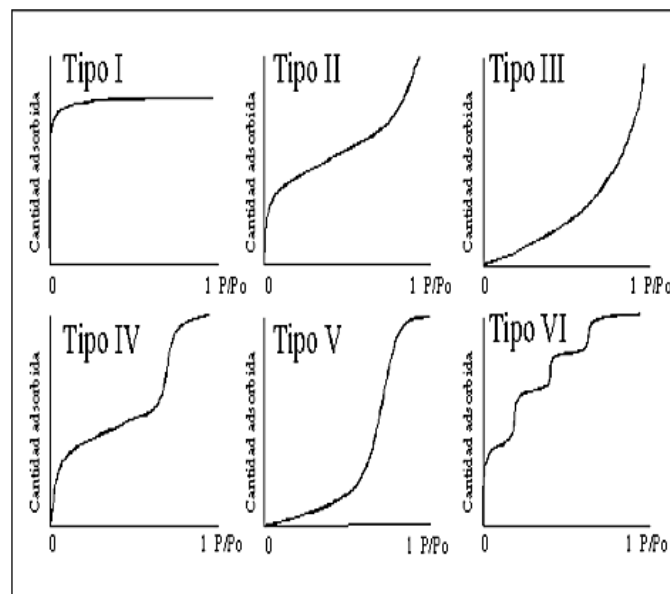
0% de cloruro de calcio que presentaron mayor resistencia en la pérdida de humedad; el contenido de humedad se mantiene con valores constantes hasta un tiempo estimado de 6 horas para todos los tratamientos en donde encontraron su equilibrio.

Resultados similares fueron observados en la investigación de Zapata-Montoya et al. (2002), En donde se realizó un experimento para optimizar la relación jarabe/fruta y la concentración de una mezcla de sacarosa y cloruro de calcio para la deshidratación osmótica de láminas de papaya hawaiana (*Carica papaya*); encontraron que la pérdida de humedad depende significativamente de la sacarosa, del  $\text{CaCl}_2$  y de la relación jarabe/fruta, todos con efectos positivos sobre la pérdida de humedad.

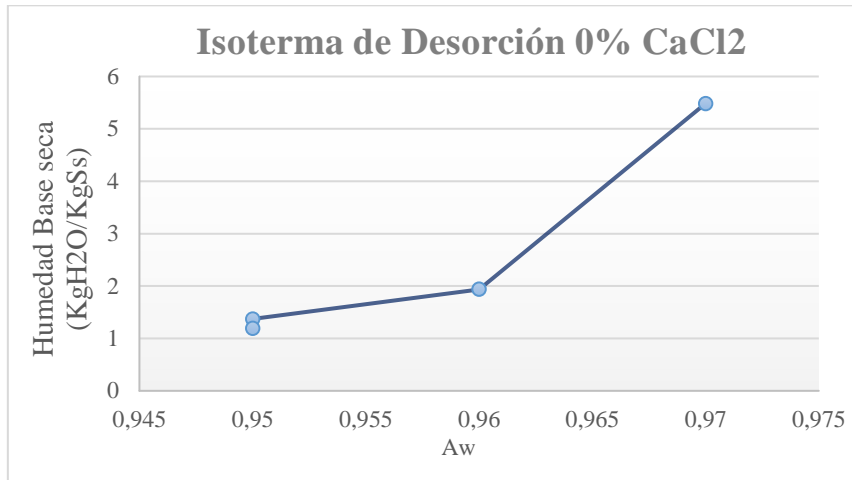
En la investigación de (Lemus, Suárez, & Galvis, 2010) indica que el incremento en la concentración de soluciones de alginato y cloruro de calcio aumentó el comportamiento cinético de la manzana variedad Anna con respecto a la pérdida de humedad.

#### 4.1.3 ISOTERMAS DE DESORSIÓN

De acuerdo a los 6 tipos de isotermas de sorción que existen para la caracterización de sólidos porosos, se establecerá en esta investigación el tipo de isoterma de desorción obtenida de acuerdo al comportamiento que presente.

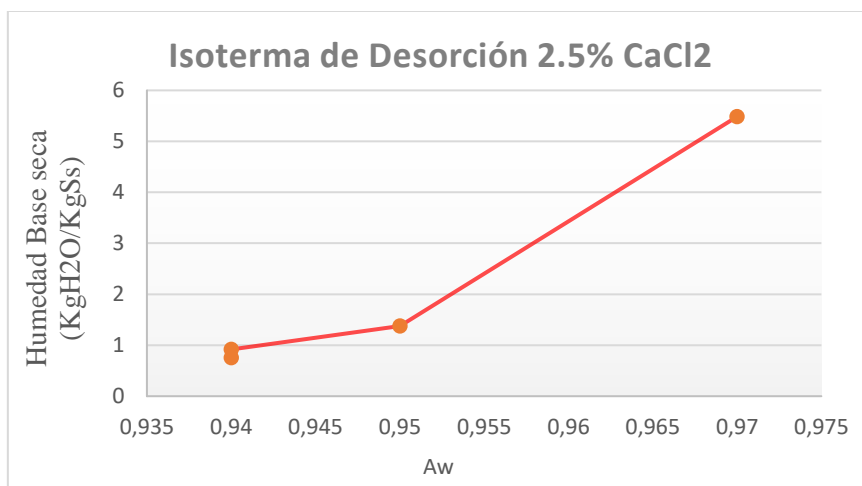


En la gráfica 4 se muestra la isoterma de desorción para los tratamientos inmersos en una solución osmótica de sacarosa con una concentración de 0% de cloruro de calcio durante 6 horas, de acuerdo al comportamiento obtenido sobre el tipo de isothermas de desorción se puede determinar que esta gráfica es la isoterma tipo III la cual se produce cuando la interacción entre adsorbato y adsorbente es baja.



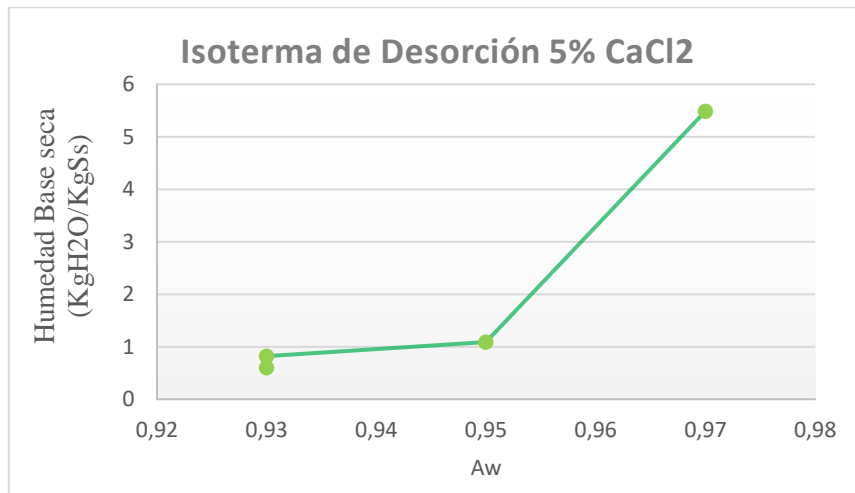
**Gráfico 4.** Isotherma de Desorción 0% CaCl2

En la gráfica 5 se muestra la isoterma de desorción para los tratamientos inmersos en una solución osmótica de sacarosa con una concentración de 2.5% de cloruro de calcio durante 6 horas, de acuerdo al comportamiento obtenido sobre el tipo de isothermas de desorción se puede determinar que esta gráfica es la isoterma tipo III la cual se produce cuando la interacción entre adsorbato y adsorbente es baja.



**Gráfico 5.** Isotherma de Desorción 2.5% CaCl2

En la gráfica 6 se muestra la isoterma de desorción para los tratamientos inmersos en una solución osmótica de sacarosa con una concentración de 5% de cloruro de calcio durante 6 horas, de acuerdo al comportamiento obtenido sobre el tipo de isoterma de desorción se puede determinar que esta gráfica es la isoterma tipo III la cual se produce cuando la interacción entre adsorbato y adsorbente es baja.



**Gráfico 6.** Isoterma de Desorción 5% CaCl<sub>2</sub>

De acuerdo a las isotermas de desorción graficadas se concluye que en la gráfica 4 la disminución de humedad libre es baja a comparación de las gráficas 5 y 6, que pierden mayor humedad libre motivo en el que influye las concentraciones de cloruro de calcio de 2.5% y 5%, por lo que el contenido que presentan al terminar el proceso osmótico sobre el actividad de agua también es bajo.

El tipo de isoterma de desorción para las tres gráficas que se obtuvo con respecto a su comportamiento es el Tipo III, en donde el adsorbato presenta aproximadamente la misma afinidad por el adsorbente y por sí mismo, o es ligeramente más afín a sí mismo que al adsorbente, por lo cual una vez que se ha adsorbido una molécula de agua, ésta actúe también en forma libre para que otra molécula se adsorba. Esto conduce a un recubrimiento desigual, con partes limpias, partes cubiertas con monocapa y partes cubiertas con multicapa. (Rosas García, 2009)

Los valores obtenidos con las isotermas de desorción dentro del proceso de osmodeshidratación permite conocer cómo influye la estabilidad en el producto

terminado de acuerdo a las concentraciones de la solución osmótica con cloruro de calcio, y nos indicarán el comportamiento a futuro del producto final de acuerdo al mapa de estabilidad de los alimentos en función del contenido de agua, ya que si las moléculas de agua se encuentran más unidas al alimento estas no se encontrarán disponibles para futuras alteraciones microbiológicas obteniendo productos de calidad.

#### **4.1.4 ACTIVIDAD DE AGUA EN SOLUCIONES DE SACAROSA**

La determinación del contenido de actividad de agua para cada solución osmótica se realizó mediante la aplicación de la Ecuación de Norrish:

$$A_w = X_w * \exp(-K * X_s^2)$$

Donde se utilizó los datos que se describen a continuación:

##### **Contenido molar:**

Moles (agua): 33.33 moles

Moles (sacarosa): 2.63 moles

Moles (CaCl<sub>2</sub> al 2.5%): 0.11 moles

Moles (CaCl<sub>2</sub> al 5%): 0.23 moles

K: es una constante = 6.47

Para calcular el contenido de fracción molar del solvente y fracción molar del soluto, se utilizó los valores de las moles del solvente y moles de soluto correspondientes para cada solución osmodeshidratadora, que se aplicó a cada tratamiento de las hojuelas de melocotón durante el tiempo de 6 horas. Ver Anexo 1.

**Tabla 22.** Actividad de agua en soluciones osmóticas de sacarosa con  $\text{CaCl}_2$

<b>Solución osmótica de sacarosa con:</b>	<b>Actividad de agua</b>
Solución osmótica $\text{CaCl}_2$ al 0%	$A_w = 0.8953$
Solución osmótica $\text{CaCl}_2$ al 2.5%	$A_w = 0.8928$
Solución osmótica $\text{CaCl}_2$ al 5%)	$A_w = 0.8902$

De acuerdo al contenido de actividad de agua calculado para cada solución osmótica con concentraciones de 0%, 2.5% y 5% de cloruro de calcio, en donde fueron inmersas las hojuelas de melocotón para cada tratamiento durante un tiempo de 6 horas, se puede determinar que a medida que la concentración en la solución osmótica aumenta con respecto a la sal osmódeshidratante de cloruro de calcio el contenido actividad de agua va disminuyendo.

También conforme se aumenta las concentraciones de cloruro de calcio en las soluciones osmóticas el contenido de humedad libre de la fruta se retira conforme aumenta las concentraciones de 0%, 2.5% y 5% de cloruro de calcio, en un 30%, 41, y 47% respectivamente.

(Zapata, Carvajal, & Ospina, 2002) Menciona que en la investigación que observaron por (Lenard y Flink, s.f.) entre diversas soluciones evaluadas, las que mejor efecto tenían sobre el contenido de  $A_w$ , eran las que contenían mezclas de jarabe y  $\text{CaCl}_2$ . El efecto combinado del azúcar y la sal osmótica sobre la disminución de la actividad acuosa, se atribuye a la mayor concentración molar de la solución de sacarosa-sal osmótica. En esta mezcla, la solución de sacarosa es la sustancia con mayor peso molecular y actúa incrementando el gradiente de concentración que resulta en una mayor pérdida de agua, mientras que la sal osmótica puede penetrar fácilmente en el tejido y da un descenso de actividad acuosa al igual que de sólidos totales.

Una solución de sal al 10% tiene casi la misma concentración molar que una solución de sacarosa al 50%, debido a la diferencia en el peso molecular de los dos solutos, pero la solución de sal produce una reducción considerablemente mayor en la  $A_w$ , comparada con la solución de sacarosa. (Colina, Irezabal, 2010)

#### 4.1.5 PRESIÓN OSMÓTICA EN SOLUCIONES OSMODESHIDRATADORAS.

Para calcular la presión osmótica de una disolución se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{Presión osmótica} = \frac{-RT \log_e a_w}{V}$$

Para conocer la presión osmótica de esta solución que contiene jarabe de sacarosa con 60° Brix a diferentes concentraciones CaCl<sub>2</sub>, se utilizó los datos que se describen a continuación:

Presión osmótica = presión osmótica (Pa).

T= 291.15 °K

R = 8.31 J/(mol °K)

log<sub>e</sub> a<sub>w</sub> de Solución osmótica (sacarosa y CaCl<sub>2</sub> al 0%): -0.1105

log<sub>e</sub> a<sub>w</sub> de Solución osmótica (sacarosa y CaCl<sub>2</sub> al 2.5%): -0.1133

log<sub>e</sub> a<sub>w</sub> de Solución osmótica (sacarosa y CaCl<sub>2</sub> al 5%): -0.1163

V= 0.0036m<sup>3</sup>

**Tabla 23.** Presión osmótica en soluciones osmóticas de sacarosa con Cl<sub>2</sub>Ca

<b>Solución osmótica de sacarosa con:</b>	<b>Presión osmótica</b>
Solución osmótica CaCl <sub>2</sub> al 0%	74263.87 Pa
Solución osmótica CaCl <sub>2</sub> al 2.5%	76145.67 Pa
Solución osmótica CaCl <sub>2</sub> al 5%)	78161.88 Pa.

(Colina, Irezabal, 2010) Explica sobre los mecanismos involucrados en la transferencia de masa durante la deshidratación osmótica de tejidos celulares dependen del nivel estructural del tejido. Las células externas rotas pueden impregnarse fácilmente con la solución externa, y en los espacios intercelulares ocurre un flujo de solución y la difusión de agua y solutos. La presión capilar en procesos llevados a cabo a presión atmosférica promueve el flujo, pero a diferencia de los fenómenos de impregnación y deformación,



ocurridos cuando se aplica en el proceso de deshidratación osmótica presiones de pulso de vacío en donde se incrementan los valores del coeficiente de difusión.

De acuerdo a las presiones calculadas para cada solución osmótica con concentraciones de 0%, 2.5% y 5% de cloruro de calcio, en donde fueron inmersas las hojuelas de melocotón para cada tratamiento durante un tiempo de 6 horas, se puede determinar que a medida que la concentración en la solución osmótica aumenta con respecto a la sal osmodeshidratante de cloruro de calcio el contenido de presión osmótico también aumenta de tal manera que se ejerce una presión capilar que promueve el flujo de difusión de agua y solutos.

## 4.2 PROCESO DE SECADO

Las curvas de secado se realizaron para cada tratamiento hasta la obtención de la humedad de equilibrio, en condiciones controladas de laboratorio.

### 4.2.1 Cinética de secado para T1 (0% Concentración de CaCl<sub>2</sub>, Temperatura 45°C, Velocidad de aire 2.5 m/s).

Tabla 24: Valor de humedad y velocidad de secado para el tratamiento T1.

TIEMPO	PESO	PESO BASE SECA	HUMEDAD	HUMEDAD MEDIA	VELOCIDAD	$X - X^* / X_c - X^*$
horas	Kg	Kg SS	KgH <sub>2</sub> O/KgSS	( $\bar{x}$ )	KgH <sub>2</sub> O/hm <sup>2</sup> .	
0,00	0,410	0,171	1,398			
0,16	0,357	0,171	1,088	1,243	0,516	0,875
0,33	0,315	0,171	0,842	0,965	0,463	0,676
0,50	0,275	0,171	0,608	0,725	0,289	0,487
0,66	0,250	0,171	0,462	0,535	0,209	0,369
0,83	0,233	0,171	0,363	0,412	0,208	0,288
1,00	0,215	0,171	0,257	0,310	0,116	0,203
1,50	0,205	0,171	0,199	0,228	0,079	0,156
2,00	0,185	0,171	0,082	0,140	0,020	0,061
2,50	0,180	0,171	0,053	0,067	0,020	0,038
3,00	0,175	0,171	0,023	0,038	0,012	0,014
3,50	0,172	0,171	0,006	0,015	0,012	0,002
4,00	0,171	0,171	0,006	0,006	0,004	0,002

#### 4.2.1.1 Curva de secado para T1.

La curva de secado se realizó hasta obtener de la humedad de equilibrio, en condiciones controladas de laboratorio.

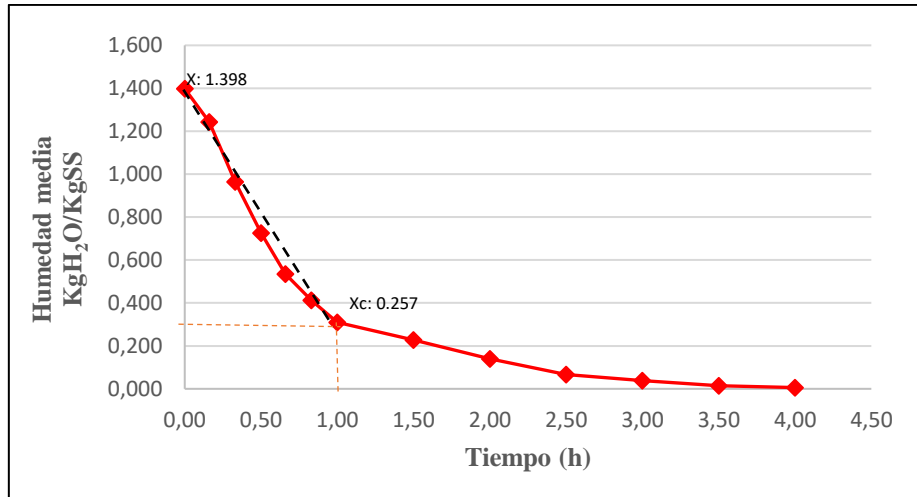


Gráfico 7: Curva de secado T1.

En la elaboración de hojuelas osmódeshidratadas de melocotón de acuerdo al T1 con el fin de cumplir con el requerimiento de la norma INEN 2996 para productos deshidratados, se presentó un proceso con duración de 4 horas de secado, hasta la obtención de la humedad de equilibrio.

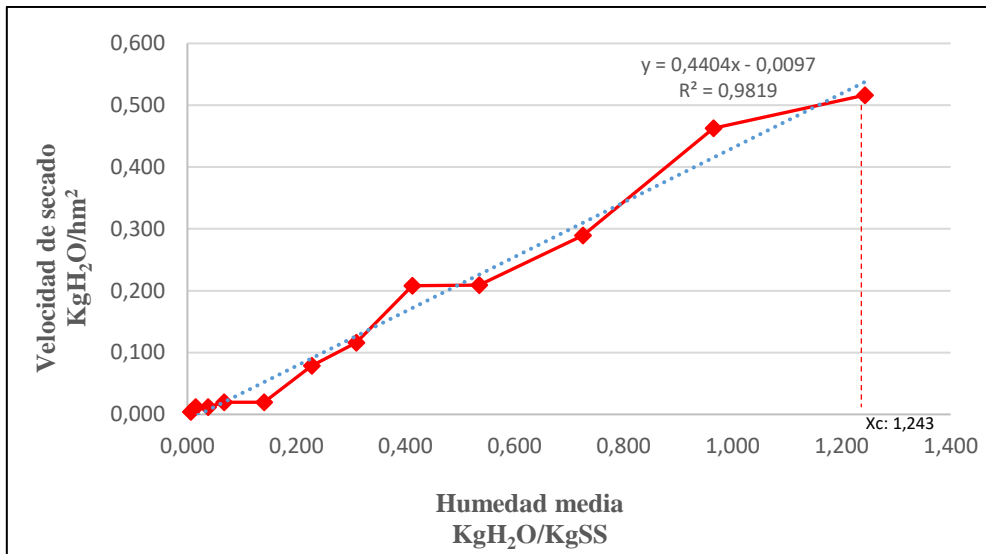
Las hojuelas de melocotón en el proceso de deshidratación presentan una estructura mas continua donde prevalece la difusión de líquido por gradientes de concentración a diferencia de los sólidos con estructura granular y porosa en donde predomina el movimiento capilar del agua. (Aguado, y otros, 2002). Por lo que la evaporación del agua es rápida como se puede observar en la pendiente de la gráfica 7, obteniendo un contenido de humedad en el producto final de 6.76%

El manejo de la utilización de un pretratamiento osmótico de sacarosa con una concentración de 60°Brix durante 6 horas previamente hecho, permite retirar la humedad libre en la fruta en un 30%, de manera que en el proceso de secado con los factores de temperatura de 45°C y velocidad de aire de 2.5 m/s el resto de contenido de humedad libre se evapora de una forma mas rápida, por lo que la variación del contenido humedad

y el mecanismo de difusión interno del líquido en las hojuelas de melocotón determinarán la velocidad de secado.

#### 4.2.1.2 Curva de velocidad de secado para T1

A continuación se describe la humedad en ( $\text{KgH}_2\text{O}/\text{KgSS}$ ) y la velocidad del secado en ( $\text{KgH}_2\text{O}/\text{hm}^2$ ) obtenidas para el T1.



**Gráfico 8:** Curva de velocidad de secado T1.

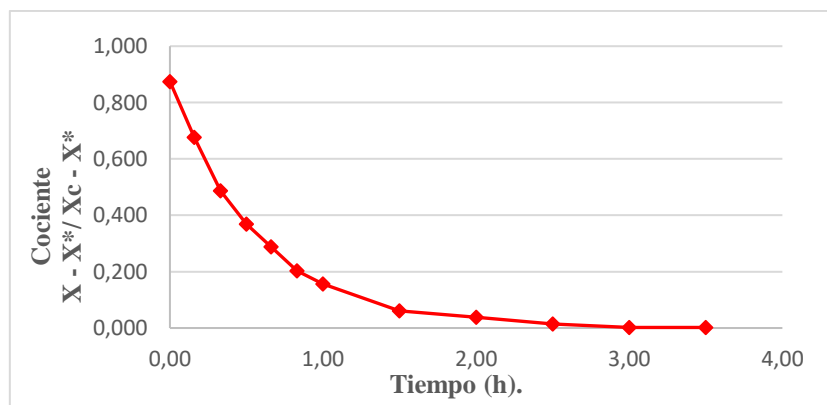
Según el gráfico 8 se puede observar un periodo de velocidad decreciente en un tiempo postcrítico de 4,00 horas, el cual empieza a partir de la humedad crítica  $X_c = 1,243$   $\text{kgH}_2\text{O}/\text{kgss}$ , con una velocidad de secado  $W_c = 0,516$   $\text{KgH}_2\text{O}/\text{hm}^2$ . Luego conforme transcurre este periodo de velocidad decreciente, se alcanza una humedad final  $X_f = 0,015$   $\text{kgH}_2\text{O}/\text{kgss}$ , y una humedad de equilibrio  $X^* = 0,006$   $\text{kgH}_2\text{O}/\text{kgss}$ , en donde la velocidad de secado también disminuye  $W_f = 0,004$   $\text{KgH}_2\text{O}/\text{hm}^2$ .

En la curva de velocidad de secado del T1 se obtuvo un periodo de velocidad decreciente que está controlado por el mecanismo de difusión interna del líquido a través del sólido del alimento, por lo que como resultado se observa un leve incremento de velocidad de secado en donde hay dos puntos de inflexión, en el primero existe una primera etapa de difusión de líquido causado por la diferencia de concentraciones de solutos en la

superficie, luego en el segundo punto de inflexión existe una difusión del líquido adsorbido en la superficie de los componentes sólidos de las hojuelas de melocotón osmodeshidratadas, en donde también puede influir el tamaño de los trozos de la fruta que esta expuesta en la superficie que permite eliminar la mayor cantidad de agua. (Casp Vanaclocha, (2008) Explica que mientras más pequeños sean los trozos y estén en capa delgada el producto alcanzará antes la temperatura en la cual el secado es efectivo.

Al final de este periodo se establece una gradiente de presiones de vapor desde el interior del alimento húmedo hasta el aire seco. Este gradiente constituye la fuerza impulsora para la eliminación del agua del alimento (Fellows, 2007).

También se graficó el cociente  $X - X^* / X_c - X^*$  contra el tiempo de secado en donde se determina el mecanismo que elimina la humedad en las hojuelas de melocotón osmodeshidratadas, y como se puede observar en la gráfica 9, la línea se hace asintótica a una línea recta conforme aumenta el tiempo, lo cual confirma que el proceso de secado es por mecanismo de difusión. (Keqing, 2004) indica que la difusión se da en sólidos de estructura fina con poros pequeños llenos con vapor.



**Gráfico 9.** Mecanismo de eliminación de humedad T1

#### 4.2.1.3 Tiempo total de secado para T1

Para la determinación del tiempo total de secado dentro de un periodo postcrítico para el tratamiento 1, se utilizó los siguientes datos:

$$S = 0.171$$

$$X_c = 1.243$$

$$W_c = 0.516$$

$$A_s = 0.499$$

$$X_f = 0.015$$

$$W_f = 0.004$$

### TIEMPO POSTCRÍTICO:

$$T_p = \left(\frac{S}{A_s}\right) \left(\frac{X_c - X_f}{W_c - W_f}\right) \left(\ln \frac{W_c}{W_f}\right)$$

$$\frac{S}{A_s} = 0.343$$

$$\frac{X_c - X_f}{W_c - W_f} = 2.397$$

$$\ln \frac{W_c}{W_f} = 4.9$$

$$T_p = 4.03$$

El tiempo total calculado es de 4.03 horas, valor aproximado al tiempo tomado experimentalmente de 4.00 horas.

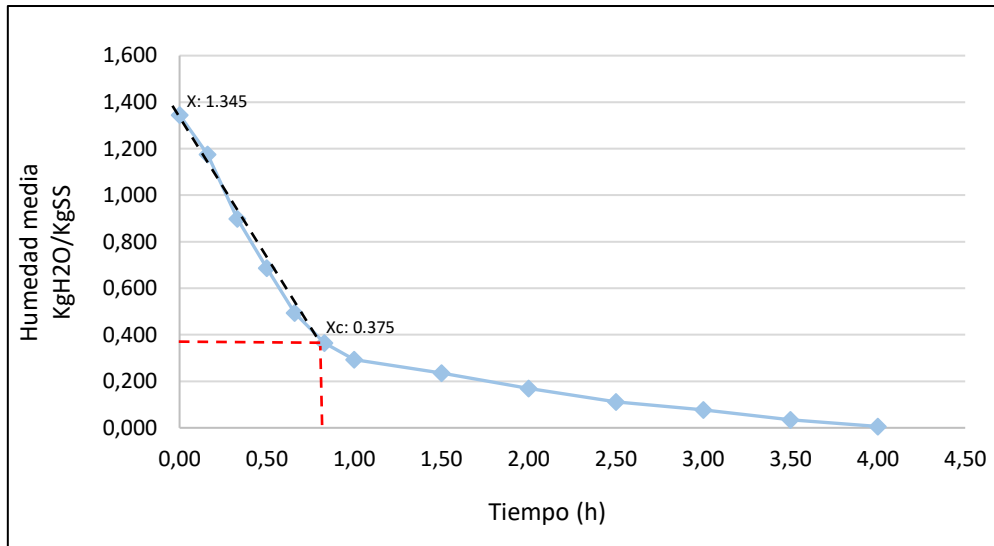
#### 4.2.2 Cinética de secado para T2 (0% Concentración de CaCl<sub>2</sub>, Temperatura 45°C, Velocidad de aire 4 m/s).

**Tabla 25:** Valor de humedad y velocidad de secado para el tratamiento T2.

TIEMPO	PESO	PESO BASE SECA	HUMEDAD	HUMEDAD MEDIA	VELOCIDAD	X - X*/ Xc - X*
horas	Kg	Kg SS	KgH <sub>2</sub> O/KgSS	( $\bar{x}$ )	KgH <sub>2</sub> O/hm <sup>2</sup> .	
0,00	0,408	0,174	1,345			
0,16	0,349	0,174	1,006	1,175	0,474	0,855
0,33	0,312	0,174	0,793	0,899	0,446	0,673
0,50	0,275	0,174	0,580	0,687	0,361	0,491
0,66	0,245	0,174	0,408	0,494	0,192	0,344
0,83	0,230	0,174	0,322	0,365	0,120	0,270
1,00	0,220	0,174	0,264	0,293	0,120	0,221
1,50	0,210	0,174	0,207	0,236	0,053	0,172
2,00	0,197	0,174	0,132	0,170	0,029	0,108
2,50	0,190	0,174	0,092	0,112	0,020	0,074
3,00	0,185	0,174	0,063	0,078	0,041	0,049
3,50	0,175	0,174	0,006	0,034	0,004	0,003
4,00	0,174	0,174	0,006	0,006	0,004	0,003

##### 4.2.2.1 Curva de secado para T2

Luego de la elaboración de hojuelas osmodeshidratadas de melocotón mediante condiciones controladas de acuerdo al tratamiento 2, se realizó la curva de secado.



**Gráfico 10:** Curva de secado T2.

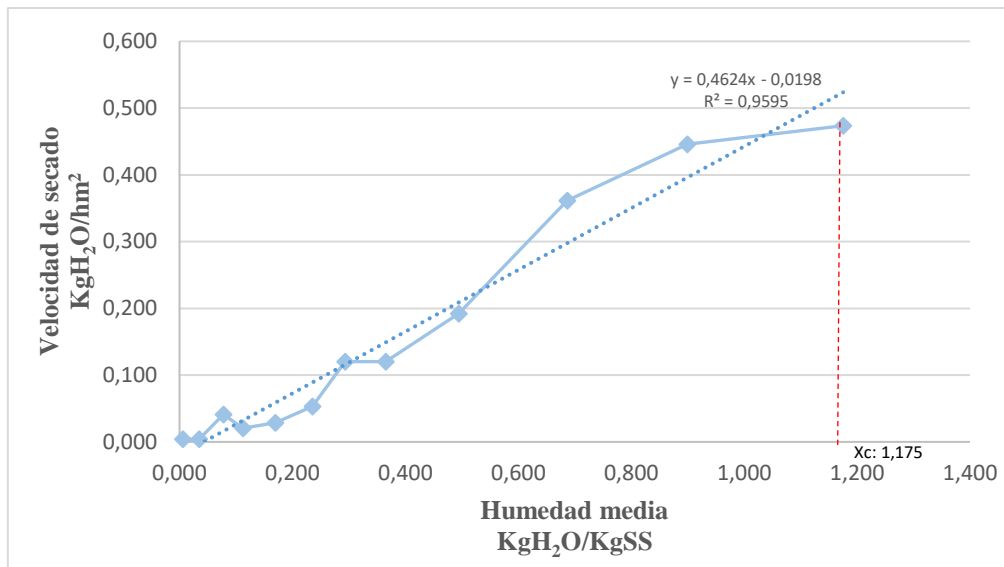
De acuerdo al T2 para la elaboración de hojuelas osmodeshidratadas de melocotón, se obtuvo una duración de 4 horas de secado hasta llegar a la humedad de equilibrio, dando como resultado un contenido 5.35% de humedad en producto final, con el fin de cumplir con el requerimiento de la norma INEN 2996 para productos deshidratados.

Como se puede observar en la gráfica 10 sobre la curva de secado, se obtiene una disminución de humedad debido a que el T2 fue sometido previamente a una solución osmótica de sacarosa con una concentración 60°Brix durante 6 horas, en donde se retiró en un 30% el contenido de humedad libre de la fruta.

La forma en la que se representa la curva de secado puede depender de la estructura de las hojuelas de melocotón y el contenido crítico de humedad, donde prevalece la difusión interna por gradientes de concentración de líquido como se observa en la pendiente de la gráfica de la curva de secado del T2.

#### 4.2.2.2 Curva de velocidad de secado para T2

A continuación se describe la humedad en (KgH<sub>2</sub>O/KgSS) y la velocidad del secado en (KgH<sub>2</sub>O /hm<sup>2</sup>) obtenidas para el T2.



**Gráfico 11:** Curva de velocidad de secado T2

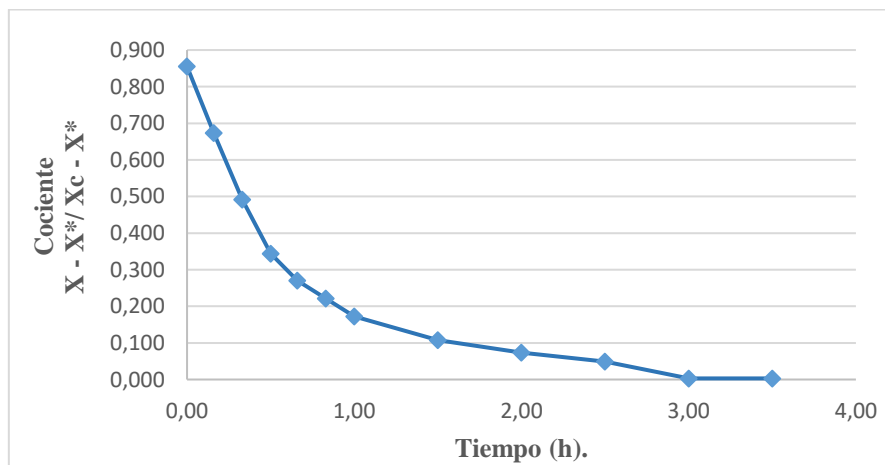
En el gráfico 11 se puede observar un periodo de velocidad decreciente en un tiempo postcrítico de 4,00 horas, el cual empieza a partir de la humedad crítica  $X_c = 1,175$   $\text{kgH}_2\text{O}/\text{kgss}$ , con una velocidad de secado  $W_c = 0,474$   $\text{KgH}_2\text{O}/\text{hm}^2$ . Continuando con el periodo de velocidad decreciente se llega a una humedad final  $X_f = 0,034$   $\text{kgH}_2\text{O}/\text{kgss}$ , una humedad de equilibrio  $X^* = 0,006$   $\text{kgH}_2\text{O}/\text{kgss}$ , y la velocidad de movimiento de humedad interna también disminuye  $W_f = 0,004$   $\text{KgH}_2\text{O}/\text{hm}^2$ .

De acuerdo a la curva de velocidad de secado, se puede observar que predomina un periodo de velocidad decreciente que está controlado por un mecanismo de difusión interna del líquido a través del sólido en donde se obtuvo un incremento de velocidad de secado presentando cuatro puntos de inflexión, en los dos primeros existe una difusión de líquido causado por las diferencias de concentración de solutos en la superficie y en el interior de las hojuelas de melocotón, en el tercer punto de inflexión existe una difusión de líquido adsorbido en la superficie de los componentes sólidos de las hojuelas de melocotón, debido a que el T2 fue inmerso en jarabe osmótico de sacarosa por 6 horas, y el cuarto punto de inflexión ocurre una difusión de vapor de agua que se encuentra presente en los espacios de aire en el interior de las hojuelas de melocotón causados por gradientes de presión de vapor, la difusión de vapor puede dominar hacia el final del periodo de velocidad decreciente cuando sólo pequeños paquetes de humedad permanecen en la estructura sólida. (Mazariegos, 2006)

El leve incremento de velocidad de secado que se observa dentro del periodo postcrítico del T2 puede deberse a la influencia por el aumento de la velocidad de aire de 4 m/s, ya que es un factor limitante que determina principalmente la velocidad de secado por lo que al pasar mayor cantidad de aire caliente, el vapor de agua se puede difundir a través de una capa límite de aire que rodea a las hojuelas de melocotón osmodeshidratadas.

En el periodo de velocidad decreciente el producto está en dominio de la higroscopia y en el alimento no queda más agua ligada que se evacue muy lentamente (difusión desorción). Esta fase se termina cuando el producto alcanza su humedad de equilibrio. (Casp A., 2011)

Se graficó el cociente  $X - X^*/ X_c - X^*$  contra el tiempo de secado para determinar el mecanismo que elimina la humedad en las hojuelas de melocotón osmodeshidratadas, y de acuerdo a la gráfica 12, la línea se hace asintótica a una línea recta conforme aumenta el tiempo, lo cual confirma que el proceso de secado es por un mecanismo de difusión de líquido.



**Gráfico 12.** Mecanismo de eliminación de humedad T2

#### 4.2.2.3 Tiempo total de secado para T2.

Para la determinación del tiempo total de secado dentro de un periodo postcrítico para el tratamiento 2, se utilizó los siguientes datos:

$$S = 0.174$$

$$X_c = 1.175$$

$$W_c = 0.474$$

$$A_s = 0.499$$

$$X_f = 0.034$$

$$W_f = 0.004$$



### TIEMPO POSTCRÍTICO:

$$T_p = \left(\frac{S}{AS}\right) \left(\frac{X_c - X_f}{W_c - W_f}\right) \left(\ln \frac{W_c}{W_f}\right)$$

$$\frac{S}{AS} = 0.349$$

$$\frac{X_c - X_f}{W_c - W_f} = 2.431$$

$$\ln \frac{W_c}{W_f} = 4.77$$

$$T_p = 4.04$$

El tiempo total calculado es de 4.04 horas, valor aproximado al tiempo tomado experimentalmente de 4.00 horas.

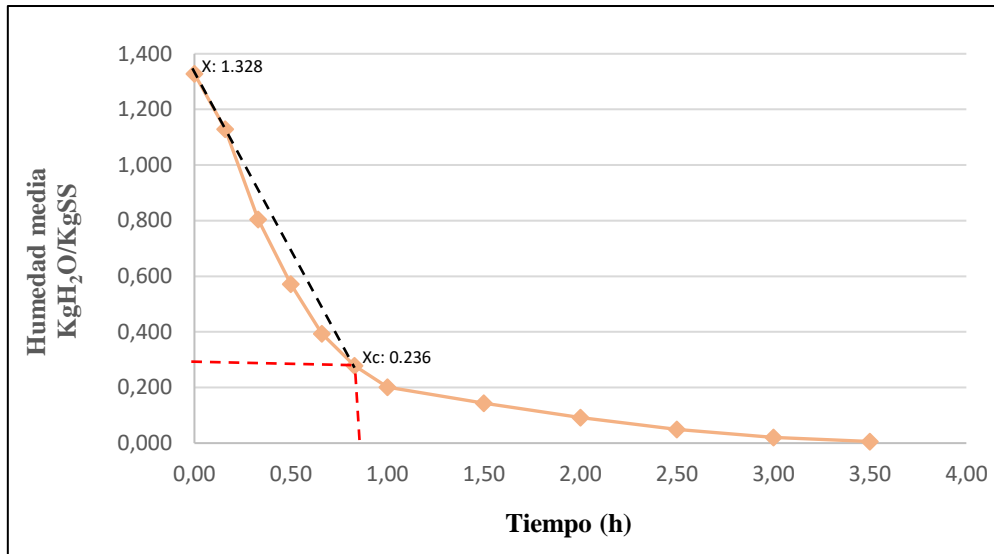
### 4.2.3 Cinética de secado para T3 (0% Concentración de CaCl<sub>2</sub>, Temperatura 60°C, Velocidad de aire 2.5 m/s).

Tabla 26: Valor de humedad y velocidad de secado para el tratamiento T3.

TIEMPO	PESO	PESO BASE SECA	HUMEDAD	HUMEDAD MEDIA	VELOCIDAD	X - X*/ Xc - X*
horas	Kg	Kg SS	KgH <sub>2</sub> O/KgSS	( $\bar{x}$ )	KgH <sub>2</sub> O/hm <sup>2</sup>	
0,00	0,405	0,174	1,328			
0,16	0,336	0,174	0,931	1,129	0,522	0,824
0,33	0,292	0,174	0,678	0,805	0,413	0,598
0,50	0,255	0,174	0,466	0,572	0,279	0,409
0,66	0,230	0,174	0,322	0,394	0,178	0,281
0,83	0,215	0,174	0,236	0,279	0,134	0,205
1,00	0,203	0,174	0,167	0,201	0,089	0,143
1,50	0,195	0,174	0,121	0,144	0,038	0,102
2,00	0,185	0,174	0,063	0,092	0,019	0,051
2,50	0,180	0,174	0,034	0,049	0,019	0,025
3,00	0,175	0,174	0,006	0,020	0,004	0,003
3,50	0,174	0,174	0,006	0,006	0,004	0,003

#### 4.2.3.1 Curva de secado para T3

La curva de secado se realizó hasta obtener de la humedad de equilibrio, en condiciones controladas de laboratorio para la elaboración de hojuelas osmodeshidratadas de melocotón.



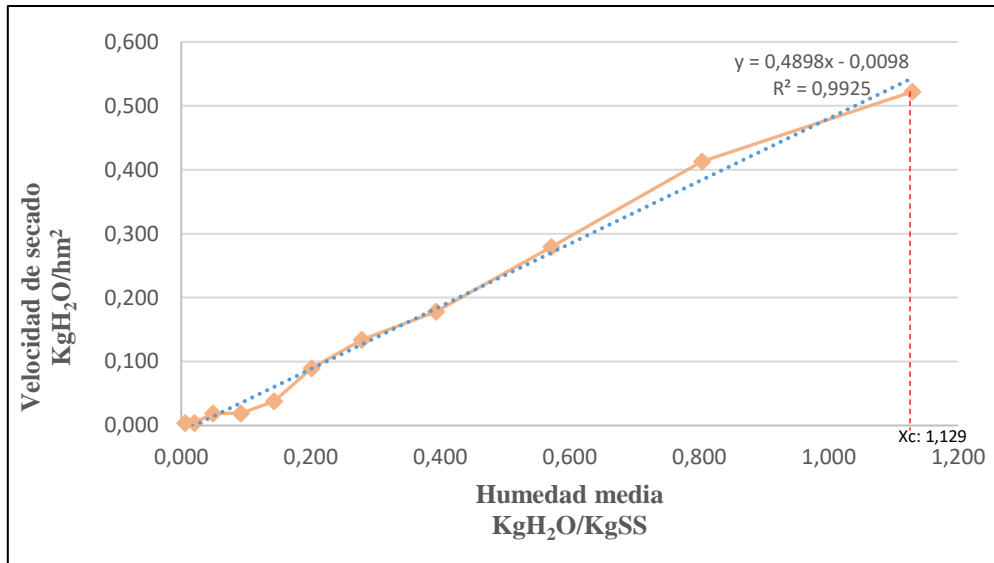
**Gráfico 13:** Curva de secado T3.

Con el fin de cumplir con el requerimiento de la norma INEN 2996 para productos deshidratados en la elaboración de hojuelas osmodeshidratadas de melocotón de acuerdo al T3, se obtuvo como resultados un proceso con duración de 3.50 horas, hasta la obtención de la humedad de equilibrio dando como resultado 5.02 % de humedad en el producto final.

De acuerdo a la gráfica 13 se observa que la humedad disminuye en forma rápida, conforme al tiempo de secado, obteniendo así mayor pérdida del humedad libre en la fruta de un 30% para el T3, el cual previamente fue sometido a un proceso de pre-tratamiento osmótico de sacarosa con una concentración de 60°Brix durante 6 horas, de manera que en el proceso de secado con los factores de temperatura de 60°C y una de velocidad de aire de 2.5 m/s los cuales influirán para que el resto de contenido de humedad libre se evapore, 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. (Keqing, 2004)

#### 4.2.3.2 Curva de velocidad de secado para T3

A continuación se describe la humedad en (KgH<sub>2</sub>O/KgSS) y la velocidad del secado en (KgH<sub>2</sub>O /hm<sup>2</sup>) obtenidas para el T3.



**Gráfico 14:** Curva de velocidad de secado T3

De acuerdo al gráfico 14 se puede observar un periodo de velocidad decreciente en un tiempo postcrítico de 3,50 horas, el cual empieza a partir de la humedad crítica  $X_c = 1,129$  kgH<sub>2</sub>O/kgss, con una velocidad de secado  $W_c = 0,522$  KgH<sub>2</sub>O/hm<sup>2</sup>, al terminar este periodo de velocidad decreciente se obtiene una humedad final  $X_f = 0,020$  kgH<sub>2</sub>O/kgss, una humedad de equilibrio  $X^* = 0,006$  kgH<sub>2</sub>O/kgss, y la velocidad final también disminuye  $W_f = 0,004$  KgH<sub>2</sub>O/hm<sup>2</sup>.

Conforme a los resultados de acuerdo a la investigación de melocotón osmodeshidratado se observa que en el proceso de secado del tratamiento 3, a medida que se aumenta la transmisión de calor a una temperatura de 60°C se incrementa la difusión de la humedad intraparticular hacia la superficie externa, durante este periodo de velocidad decreciente la velocidad de la operación estará controlada por la difusión interna del líquido de las hojuelas de melocotón, en donde al final el alimento solo contiene agua ligada que se evacua muy lentamente y termina cuando el producto alcanza la humedad de equilibrio que depende de las condiciones de secado (Casp Vanaclocha & Abril Renquena, 2008).

(Castells X. , 2012) Menciona que la forma en la que se representa la velocidad en la curva de secado depende del tipo de materiales higroscópicos, como es en el caso de las hojuelas de melocotón que previamente fueron inmersas en un jarabe osmótico, en los

que el agua contenida está retenida esencialmente por fuerzas de adsorción u osmóticas, por lo que la zona de velocidad decreciente es la más representativa del proceso de secado.

Para determinar el mecanismo que elimina la humedad en las hojuelas de melocotón osmodeshidratadas, se graficó el cociente  $X - X^* / X_c - X^*$  contra el tiempo de secado en donde se obtuvo una línea se hace asintótica a una línea recta conforme aumenta el tiempo, lo cual confirma que el mecanismo de difusión gobierna el proceso de secado debido a la naturaleza del producto y condiciones de secado. (Colina, Irezabal, 2010).

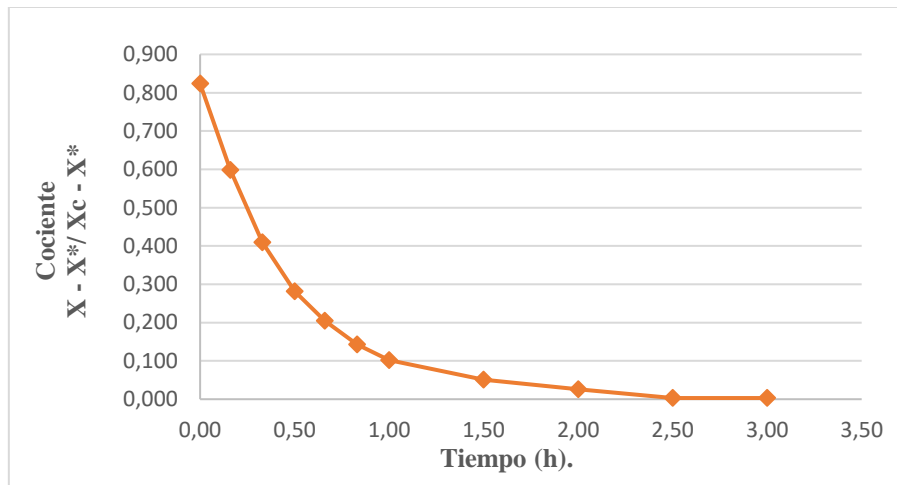


Gráfico 15. Mecanismo de eliminación de humedad T3

#### 4.2.3.3 Tiempo total de secado para T3

Para la determinación del tiempo total de secado dentro de un periodo postcrítico para el tratamiento 3, se utilizó los siguientes datos:

$$S = 0.174$$

$$X_c = 1.129$$

$$W_c = 0.522$$

$$A_s = 0.499$$

$$X_f = 0.020$$

$$W_f = 0.004$$

#### TIEMPO POSTCRÍTICO:

$$T_p = \left( \frac{S}{A_s} \right) \left( \frac{X_c - X_f}{W_c - W_f} \right) \left( \ln \frac{W_c}{W_f} \right)$$

$$\frac{S}{A_s} = 0.349$$

$$\frac{X_c - X_f}{W_c - W_f} = 2.141$$

$$\ln \frac{W_c}{W_f} = 4.87$$

**T<sub>p</sub>**= 3.63

El tiempo total calculado es de 3.63 horas, valor aproximado al tiempo tomado experimentalmente de 3.50 horas.

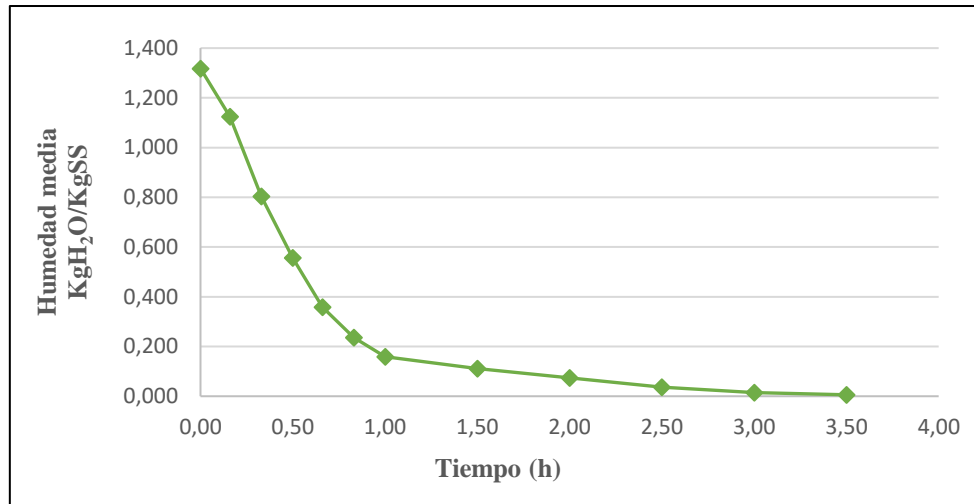
#### 4.2.4 Cinética de secado para T4 (0% Concentración de CaCl<sub>2</sub>, Temperatura 60°C, Velocidad de aire 4 m/s).

**Tabla 27:** Valor de humedad y velocidad de secado para el tratamiento T4.

TIEMPO	PESO	PESO BASE SECA	HUMEDAD	HUMEDAD MEDIA	VELOCIDAD	$X - X^* / X_c - X^*$
horas	Kg	Kg SS	KgH <sub>2</sub> O/KgSS	( $\bar{x}$ )	KgH <sub>2</sub> O/hm <sup>2</sup>	
0,00	0,408	0,176	1,318			
0,16	0,340	0,176	0,932	1,125	0,534	0,827
0,33	0,295	0,176	0,676	0,804	0,469	0,599
0,50	0,253	0,176	0,438	0,557	0,313	0,386
0,66	0,225	0,176	0,278	0,358	0,178	0,244
0,83	0,210	0,176	0,193	0,236	0,134	0,167
1,00	0,198	0,176	0,125	0,159	0,056	0,106
1,50	0,193	0,176	0,097	0,111	0,030	0,081
2,00	0,185	0,176	0,051	0,074	0,019	0,040
2,50	0,180	0,176	0,023	0,037	0,011	0,015
3,00	0,177	0,176	0,006	0,014	0,004	0,003
3,50	0,176	0,176	0,006	0,006	0,004	0,003

##### 4.2.4.1 Curva de secado para T4

La curva de secado se realizó hasta obtener de la humedad de equilibrio, en condiciones controladas de laboratorio para la elaboración de hojuelas osmodeshidratadas de melocotón.



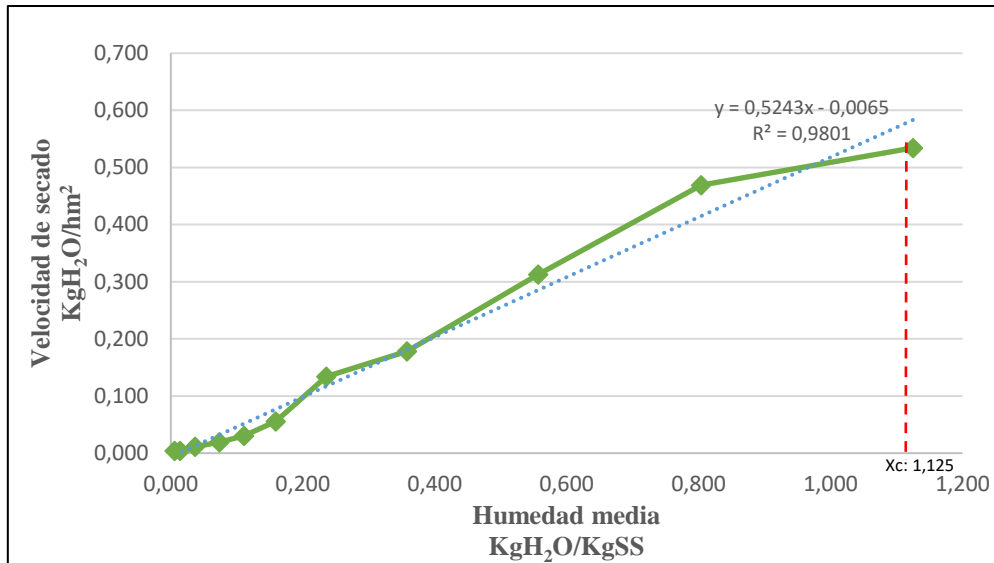
**Gráfico 16:** Curva de secado T4

En la elaboración de hojuelas osmodeshidratadas de melocotón de acuerdo al T4, se presentó un proceso con duración de 3.50 horas, hasta la obtención de la humedad de equilibrio, y con el fin de cumplir con el requerimiento de la norma INEN 2996 para productos deshidratados

Como se puede observar en la gráfica 16 el contenido de humedad disminuye en forma rápida conforme al tiempo de secado, obteniendo así un porcentaje de humedad en producto final de 6.17 % para el T4, tratamiento que previamente fue sometido a un proceso de pre-tratamiento osmótico de sacarosa con una concentración de 60°Brix durante 6 horas, en donde la pérdida humedad fue de un 30% de humedad libre, de manera que en el proceso de secado con los factores de temperatura de 60°C y una de velocidad de aire de 4 m/s influirán para que el resto del contenido de humedad libre se evapore, ya que al incrementar la temperatura del aire caliente y la velocidad de aire estos actúan aumentando los coeficientes globales de trasmisión de calor y de masa, disminuyendo el tiempo de secado.

#### **4.2.4.2 Curva de velocidad de secado para T4**

A continuación se describe la humedad en (KgH<sub>2</sub>O/KgSS) y la velocidad del secado en (KgH<sub>2</sub>O /hm<sup>2</sup>) obtenidas para el T4.



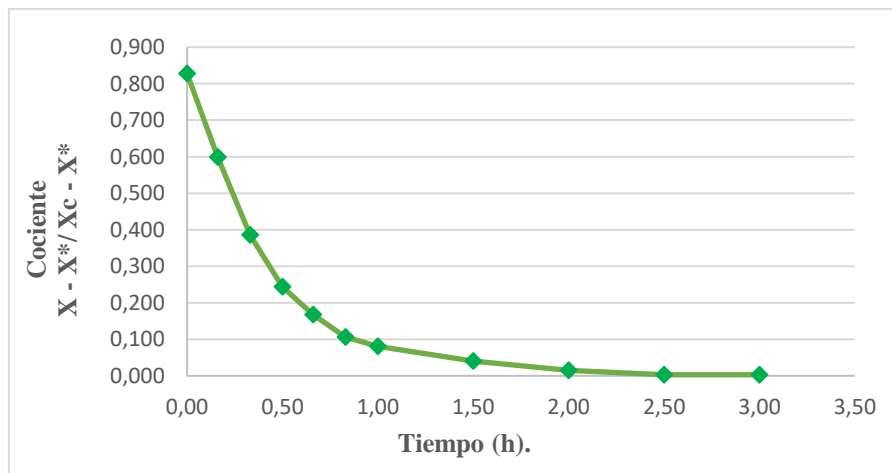
**Gráfico 17:** Curva de velocidad de secado T4

En el gráfico 17 se puede observar un periodo de velocidad decreciente en un tiempo postcrítico de 3,50 horas, el cual empieza a partir de la humedad crítica  $X_c = 1,125$   $\text{kgH}_2\text{O}/\text{kgss}$ , con una velocidad de secado  $W_c = 0,534$   $\text{KgH}_2\text{O}/\text{hm}^2$  al finalizar el periodo de velocidad decreciente se obtiene un contenido de humedad final  $X_f = 0,014$   $\text{kgH}_2\text{O}/\text{kgss}$ , una humedad de equilibrio  $X^* = 0,006$   $\text{kgH}_2\text{O}/\text{kgss}$ , y la velocidad de secado en la humedad interna también disminuye  $W_f = 0,004$   $\text{KgH}_2\text{O}/\text{hm}^2$ .

La curva de velocidad de secado que se presenta en la gráfica 17 indica que está controlado por un mecanismo de difusión de líquido con un punto de inflexión, en donde se observa un leve incremento de la velocidad de secado presentando una difusión de líquido adsorbido en la superficie de los componentes sólidos de las hojuelas de melocotón osmodeshidratadas, la velocidad de secado es influenciada por la transmisión de calor, debido a que se aumentó la temperatura a  $60^\circ\text{C}$  produciéndose una mayor difusión del líquido hacia la superficie externa y por tal motivo el tiempo de secado disminuye, también puede haber influido el aumento de la velocidad de aire a  $4\text{m/s}$ , ya que al pasar aire caliente el vapor de agua se difunde a través de una capa límite de aire que rodea el alimento y el espesor de la capa límite viene determinado principalmente por la velocidad de aire. (Fellows, 2007)

(Cabrera, 2004) Indica que la velocidad de secado en la cual la humedad puede pasar a través del sólido como resultado de la concentración de gradientes desde las partes más profundas y la superficie, es el paso a controlar, debido a que el contenido de humedad y la conductividad de calor sobre el material a secar influirán en la velocidad de secado durante el proceso.

Se graficó el cociente  $X - X^* / X_c - X^*$  contra el tiempo de secado para determinar el mecanismo que elimina la humedad en las hojuelas de melocotón osmodeshidratadas, y como se puede observar en la gráfica 18, la línea se hace asintótica a una línea recta conforme aumenta el tiempo, lo cual confirma que el proceso de secado es por difusión, la difusión se da en sólidos de estructura fina con poros y pequeños huecos llenos con vapor. (Keqing, 2004)



**Gráfico 18.** Mecanismo de eliminación de humedad T4

#### 4.2.4.3 Tiempo total de secado para T4

Para la determinación del tiempo total de secado dentro de un periodo postcrítico para el tratamiento 4, se utilizó los siguientes datos:

$$S = 0.176$$

$$X_c = 1.125$$

$$W_c = 0.534$$

$$A_s = 0.499$$

$$X_f = 0.014$$

$$W_f = 0.004$$



### TIEMPO POSTCRÍTICO:

$$T_p = \left(\frac{S}{A_s}\right) \left(\frac{X_c - X_f}{W_c - W_f}\right) \left(\ln \frac{W_c}{W_f}\right)$$

$$\frac{S}{A_s} = 0.353$$

$$\frac{X_c - X_f}{W_c - W_f} = 2.095$$

$$\ln \frac{W_c}{W_f} = 4.89$$

$$T_p = 3.61$$

El tiempo total calculado es de 3.61 horas, valor aproximado al tiempo tomado experimentalmente de 3.50 horas.

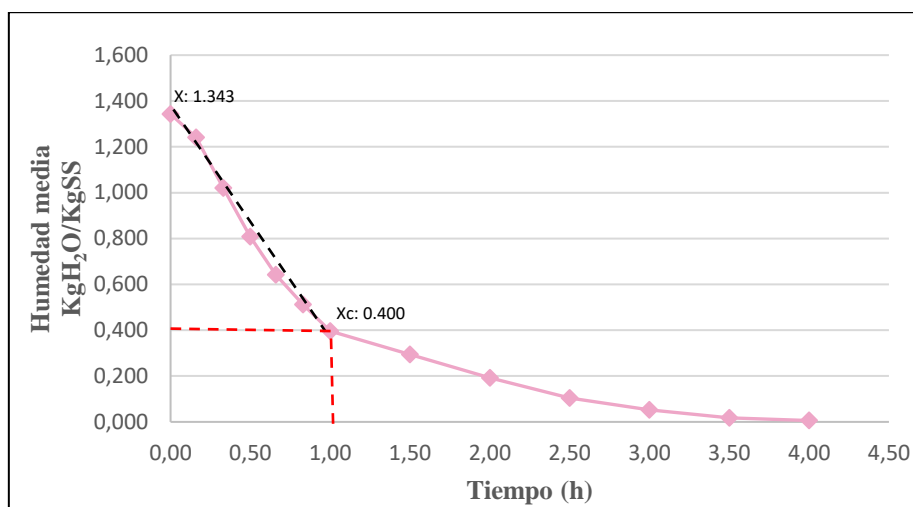
#### 4.2.5 Cinética de secado para T5 (2.5% Concentración de CaCl<sub>2</sub>, Temperatura 45°C, Velocidad de aire 2.5 m/s).

Tabla 28: Valor de humedad y velocidad de secado para el tratamiento T5

TIEMPO	PESO	PESO BASE SECA	HUMEDAD	HUMEDAD MEDIA	VELOCIDAD	X - X* / Xc - X*
horas	Kg	Kg SS	KgH <sub>2</sub> O/KgSS	( $\bar{x}$ )	KgH <sub>2</sub> O/hm <sup>2</sup>	
0,00	0,403	0,172	1,343			
0,16	0,368	0,172	1,140	1,241	0,486	0,918
0,33	0,327	0,172	0,901	1,020	0,357	0,725
0,50	0,295	0,172	0,715	0,808	0,279	0,574
0,66	0,270	0,172	0,570	0,642	0,237	0,456
0,83	0,250	0,172	0,453	0,512	0,223	0,362
1,00	0,230	0,172	0,337	0,395	0,167	0,268
1,50	0,215	0,172	0,250	0,294	0,076	0,198
2,00	0,195	0,172	0,134	0,192	0,038	0,103
2,50	0,185	0,172	0,076	0,105	0,030	0,056
3,00	0,177	0,172	0,029	0,052	0,015	0,019
3,50	0,173	0,172	0,006	0,017	0,004	0,002
4,00	0,172	0,172	0,006	0,006	0,004	0,002

##### 4.2.5.1 Curva de secado para T5

La curva de secado se realizó hasta obtener de la humedad de equilibrio, en condiciones controladas de laboratorio para la elaboración de hojuelas osmodeshidratadas de melocotón.



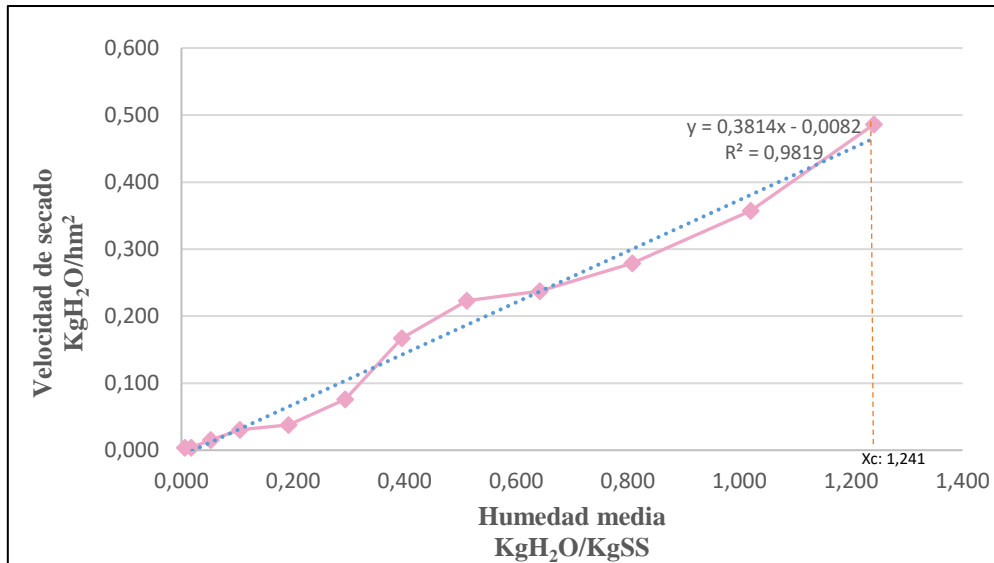
**Gráfico 19:** Curva de secado T5

Para la obtención de hojuelas osmodeshidratadas de melocotón con el fin de cumplir con el requerimiento de la norma INEN 2996 para productos deshidratados de acuerdo al T5, se presentó como resultados un proceso con duración de 4.00 horas, hasta la obtención de la humedad de equilibrio.

Por la forma estructural y la composición que presenta las hojuelas de melocotón osmodeshidratadas, como se observa en la gráfica 19 que en la curva de secado prevalece una difusión interna por gradientes de concentración de líquido presentando una disminución humedad ya que el tratamiento 5 fue sometido previamente a un proceso de pre-tratamiento osmótico de sacarosa con una concentración de 60°Brix junto con CaCl<sub>2</sub> a una concentración del 2.5%, durante 6 horas en donde se retiró un mayor contenido de humedad libre en la fruta de 41%, de manera que en el proceso de secado con los factores de temperatura de 45°C y una velocidad de aire de 2.5 m/s influyeron para que el contenido de humedad libre se evapore mediante el mecanismo de difusión interna del líquido obteniendo en el producto final de 5.04 % de humedad.

#### 4.2.5.2 Curva de velocidad de secado para T5

A continuación se describe la humedad en (KgH<sub>2</sub>O/KgSS) y la velocidad del secado en (KgH<sub>2</sub>O /hm<sup>2</sup>) obtenidas para el T5.



**Gráfico 20:** Curva de velocidad de secado T5

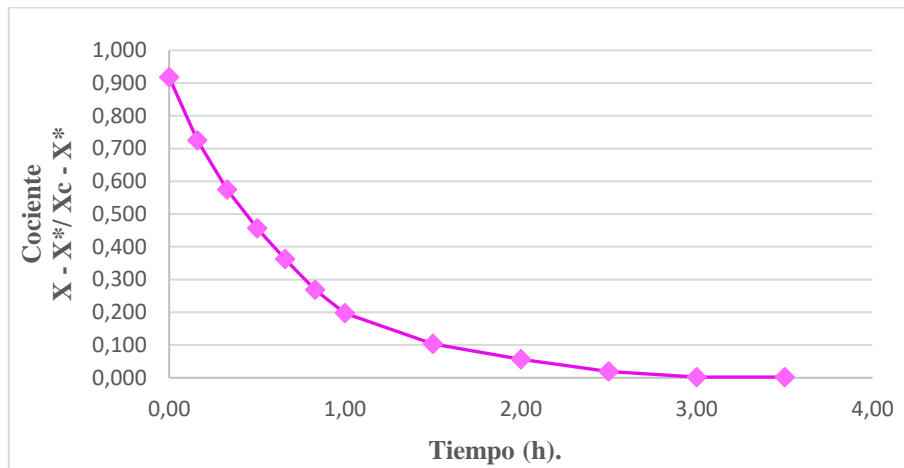
Se puede observar en el gráfico 20 un periodo de velocidad decreciente en un tiempo postcrítico de 4,00 horas, el cual empieza a partir de la humedad crítica  $X_c = 1,241$   $\text{kgH}_2\text{O}/\text{kgss}$ , con una velocidad de secado  $W_c = 0,486$   $\text{KgH}_2\text{O}/\text{hm}^2$  al concluir con el periodo de velocidad decreciente se llegó a una humedad final  $X_f = 0,017$   $\text{kgH}_2\text{O}/\text{kgss}$ , una humedad de equilibrio  $X^* = 0,006$   $\text{kgH}_2\text{O}/\text{kgss}$ , y la velocidad de secado en la humedad interna también disminuye  $W_f = 0,004$   $\text{KgH}_2\text{O}/\text{hm}^2$ .

Conforme se representa la curva de velocidad de secado para el T5 en la gráfica 20 se observa un leve incremento de velocidad de secado con dos puntos de inflexión en donde se presenta una difusión del líquido adsorbido en la superficie de los componentes sólidos de las hojuelas de melocotón osmodeshidratado es decir, que solo pequeños paquetes de humedad permanecen en los poros de la fruta, ya que este tratamiento estuvo inmerso en una solución osmótica de sacarosa con una concentración de 2.5% de cloruro de calcio durante 6 horas, de tal manera que la migración del agua desde el interior de las hojuelas hacia la capa externa es cada vez más difícil por lo que como consecuencia la transferencia de masa se convierte en el factor limitante.

Menciona (Otero, 2014) que la velocidad de secado está regida conforme se va evaporando el contenido de agua sobre la fracción de superficie mojada y esta fracción disminuye continuamente hasta que al final de este período la superficie este seca.

En el periodo de velocidad decreciente el producto está en dominio de la higroscopia y en el alimento no queda más agua ligada que se evacue muy lentamente (difusión desorción). Esta fase se termina cuando el producto alcanza su humedad de equilibrio. (Casp A., 2011)

Para conocer el mecanismo que elimina la humedad en las hojuelas de melocotón osmodeshidratadas se graficó el cociente  $X - X^*/ X_c - X^*$  contra el tiempo de secado como se puede observar en la gráfica 21, la línea se hace asintótica a una línea recta conforme aumenta el tiempo, lo cual confirma que el proceso de secado es por mecanismo de difusión.



**Gráfico 21.** Mecanismo de eliminación de humedad T5

#### 4.2.5.3 Tiempo total de secado para T5

Para la determinación del tiempo total de secado dentro de un periodo postcrítico para el tratamiento 5, se utilizó los siguientes datos:

$$S = 0.172$$

$$X_c = 1.241$$

$$W_c = 0.486$$

$$A_s = 0.499$$

$$X_f = 0.017$$

$$W_f = 0.004$$

#### TIEMPO POSTCRÍTICO:

$$T_p = \left( \frac{S}{A_s} \right) \left( \frac{X_c - X_f}{W_c - W_f} \right) \left( \ln \frac{W_c}{W_f} \right)$$

$$\frac{S}{As} = 0.345$$

$$\frac{Xc-Xf}{Wc-Wf} = 2.538$$

$$\ln \frac{Wc}{Wf} = 4.7$$

$$Tp = 4.11$$

El tiempo total calculado es de 4.11 horas, valor aproximado al tiempo tomado experimentalmente de 4.00 horas.

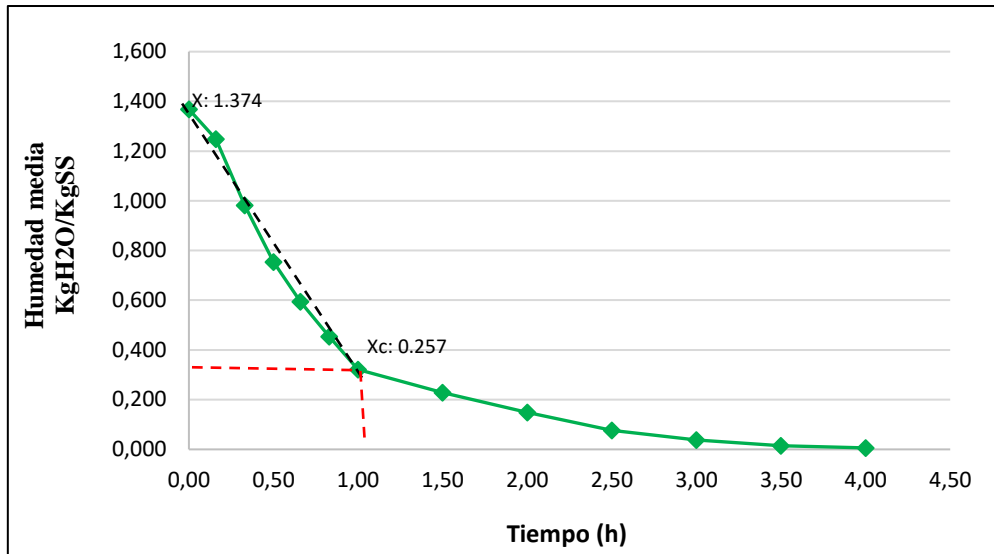
#### 4.2.6 Cinética de secado para T6 (2.5% Concentración de CaCl<sub>2</sub>, Temperatura 45°C, Velocidad de aire 4 m/s).

Tabla 29: Valor de humedad y velocidad de secado para el tratamiento T6

TIEMPO	PESO	PESO BASE SECA	HUMEDAD	HUMEDAD MEDIA	VELOCIDAD	X - X*/ Xc - X*
horas	Kg	Kg SS	KgH <sub>2</sub> O/KgSS	( $\bar{x}$ )	KgH <sub>2</sub> O/hm <sup>2</sup>	
0,00	0,406	0,171	1,374			
0,16	0,363	0,171	1,123	1,249	0,527	0,899
0,33	0,315	0,171	0,842	0,982	0,310	0,673
0,50	0,285	0,171	0,667	0,754	0,258	0,532
0,66	0,260	0,171	0,520	0,594	0,252	0,414
0,83	0,237	0,171	0,386	0,453	0,227	0,306
1,00	0,215	0,171	0,257	0,322	0,103	0,202
1,50	0,205	0,171	0,199	0,228	0,060	0,155
2,00	0,188	0,171	0,099	0,149	0,028	0,075
2,50	0,180	0,171	0,053	0,076	0,018	0,038
3,00	0,175	0,171	0,023	0,038	0,011	0,014
3,50	0,172	0,171	0,006	0,015	0,004	0,002
4,00	0,171	0,171	0,006	0,006	0,004	0,002

##### 4.2.6.1 Curva de secado para T6

La curva de secado se realizó hasta obtener de la humedad de equilibrio, en condiciones controladas de laboratorio para la elaboración de hojuelas osmodeshidratadas de melocotón.



**Gráfico 22:** Curva de secado T6

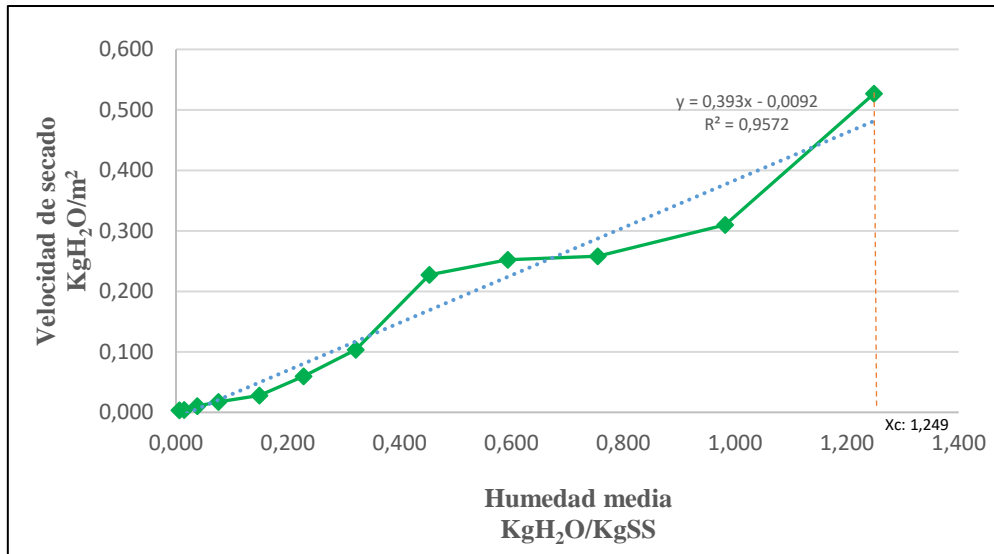
Con el fin de cumplir con los requerimientos de la norma INEN 2996 para productos deshidratados de acuerdo al T6 para la elaboración de hojuelas osmodeshidratadas de melocotón, se presentó un proceso con duración de 4.00 horas, hasta la obtención de la humedad de equilibrio

De acuerdo a la gráfica 22 se puede observar que la humedad disminuye en forma rápida, conforme al tiempo de secado, obteniendo así un porcentaje de humedad en el producto final de 6.15 %.

La influencia del uso de una solución osmótica de sacarosa con una concentración de 60°Brix como pretratamiento junto con CaCl<sub>2</sub> al 2.5% durante 6 horas en este tratamiento, permitió la pérdida de humedad libre en un 41%, de modo que cuando se continua con el proceso de secado con los factores de temperatura de 45°C y una de velocidad de aire de 4 m/s, el resto de humedad libre contenida en las hojuelas de la fruta se continúe disminuyendo debido al mecanismo de difusión interna del líquido.

#### 4.2.6.2 Curva de velocidad de secado para T6

A continuación se describe la humedad en (KgH<sub>2</sub>O/KgSS) y la velocidad del secado en (KgH<sub>2</sub>O /hm<sup>2</sup>) obtenidas para el T6.



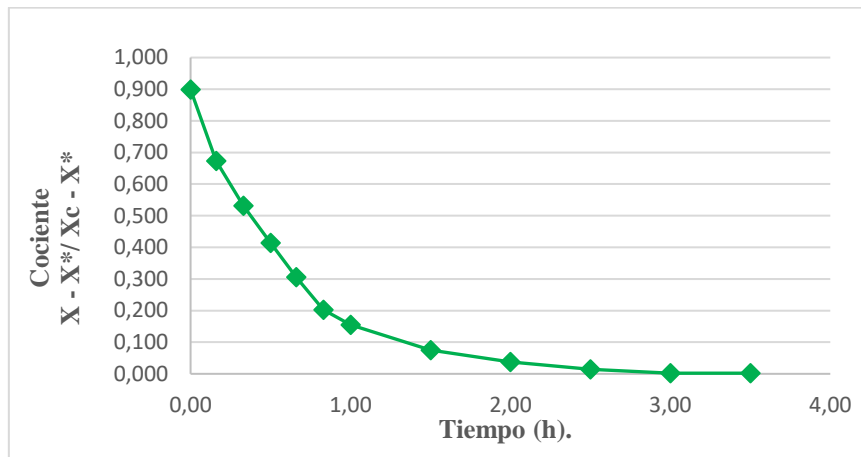
**Gráfico 23:** Curva de velocidad de secado T6

De acuerdo al gráfico 23 se puede observar un periodo de velocidad decreciente en un tiempo postcrítico de 4,00 horas, el cual empieza a partir de la humedad crítica  $X_c = 1,249$  kgH<sub>2</sub>O/kgss, con una velocidad de secado  $W_c = 0,527$  KgH<sub>2</sub>O/hm<sup>2</sup> al finalizar el periodo de velocidad decreciente se alcanzó a una humedad final  $X_f = 0,015$  kgH<sub>2</sub>O/kgss, y una humedad de equilibrio  $X^* = 0,006$ kgH<sub>2</sub>O/kgss, en donde la velocidad de secado es  $W_f = 0,004$  KgH<sub>2</sub>O/hm<sup>2</sup>.

Según la pendiente del gráfico 23 en la curva de velocidad de secado, se puede observar que predomina un periodo de velocidad decreciente que está controlado por el mecanismo de difusión interna del líquido a través del sólido, en donde se observa una disminución de velocidad de secado presentando dos puntos de inflexión, en el primero existe una difusión de líquido, causado por las diferencias de concentración de solutos en la superficie y en el interior de las hojuelas de melocotón, debido a que este tratamiento estuvo inmerso en una solución osmótica de sacarosa con cloruro de calcio al 2.5% durante 6 horas, produciendo que la migración del líquido sea cada vez más difícil, por tal motivo la transferencia de masa se convertiría en un factor limitante, y en el segundo punto de inflexión se presenta un aumento de velocidad de secado en donde existe una difusión de vapor de agua presente en los espacios de aire en el interior del alimento causados por gradientes de presión de vapor. La difusión de vapor puede dominar hacia el final del periodo de velocidad decreciente cuando sólo pequeños paquetes de humedad permanecen en la estructura sólida. (Mazariegos, 2006)

La disminución y el leve incremento de velocidad de secado que se observa dentro de este periodo postcrítico también puede deberse al aumento de la velocidad de aire de 4 m/s, ya que es un factor limitante que determina principalmente la velocidad de secado por lo que al pasar mayor cantidad de aire caliente, el vapor de agua se difunde a través de una capa límite de aire que rodea a las hojuelas de melocotón osmodeshidratadas.

Para determinar el mecanismo que elimina la humedad en las hojuelas de melocotón osmodeshidratadas, se graficó el cociente  $X - X^* / X_c - X^*$  contra el tiempo de secado en donde se obtuvo una línea que se hace asintótica a una línea recta conforme aumenta el tiempo, lo cual confirma que el mecanismo de difusión gobierna el proceso de secado debido a la naturaleza del producto y condiciones de secado. (Colina, Irezabal, 2010).



**Gráfico 24.** Mecanismo de eliminación de humedad T6

#### 4.2.6.3 Tiempo total de secado para T6

Para la determinación del tiempo total de secado dentro de un periodo postcrítico para el tratamiento 6, se utilizó los siguientes datos:

$$S = 0.171$$

$$X_c = 1.249$$

$$W_c = 0.527$$

$$A_s = 0.499$$

$$X_f = 0.015$$

$$W_f = 0.004$$



### TIEMPO POSTCRÍTICO:

$$T_p = \left(\frac{S}{A_s}\right) \left(\frac{X_c - X_f}{W_c - W_f}\right) \left(\ln \frac{W_c}{W_f}\right)$$

$$\frac{S}{A_s} = 0.343$$

$$\frac{X_c - X_f}{W_c - W_f} = 2.358$$

$$\ln \frac{W_c}{W_f} = 4.9$$

$$T_p = 3.96$$

El tiempo total calculado es de 3.96 horas, valor aproximado al tiempo tomado experimentalmente de 4.00 horas.

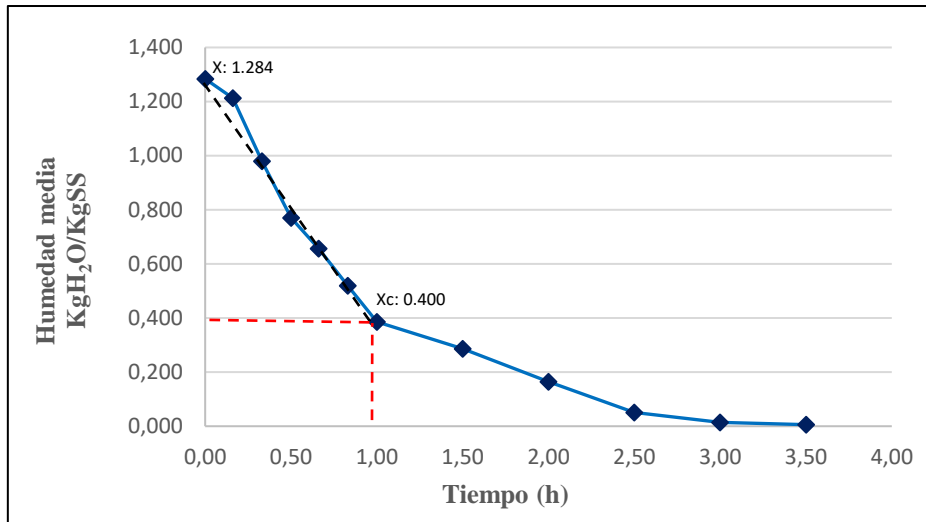
#### 4.2.7 Cinética de secado para T7 (2.5% Concentración de CaCl<sub>2</sub>, Temperatura 60°C, Velocidad de aire 2.5 m/s).

Tabla 30: Valor de humedad y velocidad de secado para el tratamiento T7

TIEMPO	PESO	PESO BASE SECA	HUMEDAD	HUMEDAD MEDIA	VELOCIDAD	X - X*/ Xc - X*
horas	Kg	Kg SS	KgH <sub>2</sub> O/KgSS	( $\bar{x}$ )	KgH <sub>2</sub> O/hm <sup>2</sup>	
0,00	0,402	0,176	1,284			
0,16	0,377	0,176	1,142	1,213	0,620	0,941
0,33	0,320	0,176	0,818	0,980	0,174	0,673
0,50	0,303	0,176	0,722	0,770	0,235	0,593
0,66	0,280	0,176	0,591	0,656	0,272	0,485
0,83	0,255	0,176	0,449	0,520	0,225	0,367
1,00	0,233	0,176	0,324	0,386	0,133	0,263
1,50	0,220	0,176	0,250	0,287	0,104	0,202
2,00	0,190	0,176	0,080	0,165	0,035	0,061
2,50	0,180	0,176	0,023	0,051	0,010	0,014
3,00	0,177	0,176	0,006	0,014	0,003	0,002
3,50	0,176	0,176	0,006	0,006	0,003	0,002

##### 4.2.7.1 Curva de secado para T7

La curva de secado se realizó hasta obtener de la humedad de equilibrio, en condiciones controladas de laboratorio para la elaboración de hojuelas osmodeshidratadas de melocotón.



**Gráfico 25:** Curva de secado T7

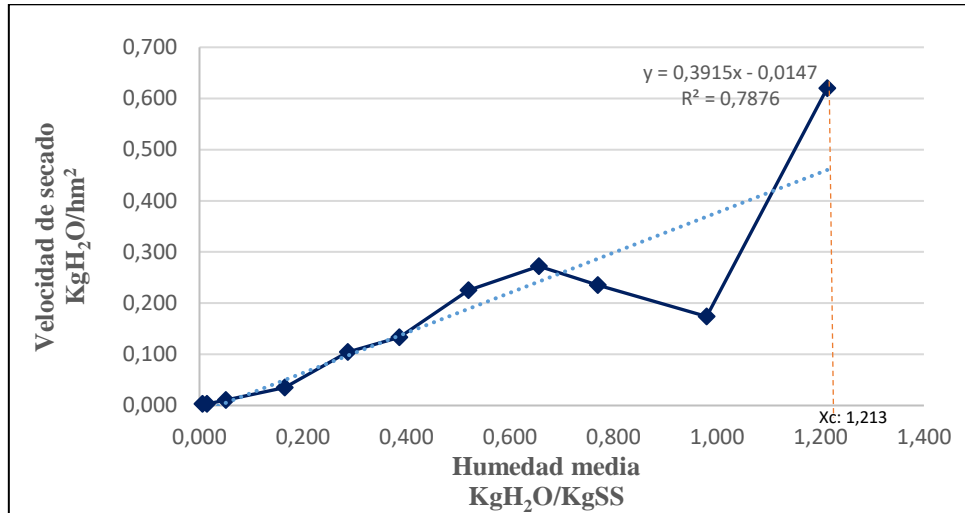
En la elaboración de hojuelas osmodeshidratadas de melocotón de acuerdo al T7, se presentó un proceso con duración de 3.50 horas, hasta la obtención de la humedad de equilibrio, y con el fin de cumplir con el requerimiento de la norma INEN 2996 para productos deshidratados

Las hojuelas de melocotón en el proceso de deshidratación presentan una estructura mas continua donde prevalece la difusión de líquido por gradientes de concentración a diferencia de los sólidos con estructura granular y porosa en donde predomina el movimiento capilar del agua. (Aguado, y otros, 2002). Por lo que la evaporación del agua es rápida como se puede observar en la pendiente de la gráfica 25, obteniendo un contenido de humedad en el producto final de 6.04%

El manejo de la utilización de un pretratamiento osmótico de sacarosa con una concentración de 60°Brix como pre-tratamiento junto con CaCl<sub>2</sub> al 2.5% durante 6 horas, permite retirar la humedad libre en la fruta en un 41%, de manera que en el proceso de secado con los factores de temperatura de 60°C y velocidad de aire de 2.5 m/s el resto de contenido de humedad libre se evapora de una forma mas rápida, por lo que la variación del contenido humedad y el mecanismo de difusión interno del liquido en las hojuelas de melocotón determinarán la velocidad de secado.

#### 4.2.7.2 Curva de velocidad de secado para T7

A continuación se describe la humedad en ( $\text{KgH}_2\text{O}/\text{KgSS}$ ) y la velocidad del secado en ( $\text{KgH}_2\text{O}/\text{hm}^2$ ) obtenidas para el T7.



**Gráfico 26:** Curva de velocidad de secado T7

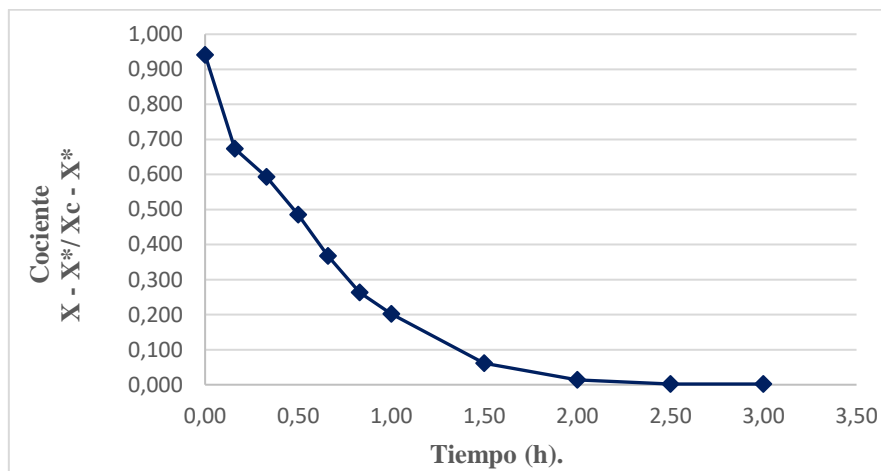
Se puede observar en el gráfico 26 un periodo de velocidad decreciente en un tiempo postcrítico de 3,50 horas, el cual empieza a partir de la humedad crítica  $X_c = 1,213$   $\text{kgH}_2\text{O}/\text{kgss}$ , con una velocidad de secado  $W_c = 0,620$   $\text{KgH}_2\text{O}/\text{hm}^2$ , al concluir con el periodo de velocidad decreciente se obtiene la humedad final  $X_f = 0,014$   $\text{kgH}_2\text{O}/\text{kgss}$ , y una humedad de equilibrio  $X^* = 0,006$   $\text{kgH}_2\text{O}/\text{kgss}$ , en donde la velocidad de secado puede llegar a ser nula  $W_f = 0,003$   $\text{KgH}_2\text{O}/\text{hm}^2$ .

De acuerdo a los resultados obtenidos sobre las hojuelas de melocotón se observa en la pendiente de la gráfica 26, que predomina un periodo de velocidad decreciente que está controlado por el mecanismo de difusión interna del líquido con tres puntos de inflexión, en el primero se observa una disminución de velocidad de secado en donde se produce una difusión de líquido, causado por las diferencias de concentración de solutos en la superficie y en el interior de las hojuelas de melocotón esto puede deberse a que el tratamiento 7 previamente estuvo inmerso en una solución osmótica con cloruro de calcio al 2,5%, dejando a los poros llenos superficialmente y produciéndose una mayor migración del agua hacia la superficie externa en donde también influye el aumento de temperatura, en el segundo punto de inflexión se presenta un incremento de velocidad de

secado en donde existe una difusión del líquido adsorbido en la superficie de la capa externa de las hojuelas de melocotón y en el tercer punto de inflexión se produce una difusión de vapor de agua produciéndose una acción intraparticular a través de la estructura interna de la fruta hacia la superficie externa de las hojuelas de melocotón osmodeshidratadas.

Al final el alimento solo contiene agua ligada que se evacua muy lentamente y termina cuando el producto alcanza la humedad de equilibrio que depende de las condiciones de secado (Casp Vanaclocha & Abril Renquena, Proceso de Conservación de Alimentos, 2008).

Se graficó el cociente  $X - X^* / X_c - X^*$  contra el tiempo de secado para conocer el mecanismo que elimina la humedad en las hojuelas de melocotón osmodeshidratadas y se puede observar en la gráfica 27, que la línea se hace asintótica a una línea recta conforme aumenta el tiempo, lo cual confirma que el proceso de secado es por un mecanismo de difusión, la difusión se da en sólidos de estructura fina con poros pequeños que contienen vapor.



**Gráfico 27.** Mecanismo de eliminación de humedad.

#### 4.2.7.3 Tiempo total de secado para T7

Para la determinación del tiempo total de secado dentro de un periodo postcrítico para el tratamiento 7, se utilizó los siguientes datos:

$$S = 0.176$$

$$A_s = 0.499$$

$$X_c = 1.213$$

$$X_f = 0.014$$

$$W_c = 0.620$$

$$W_f = 0.003$$

**TIEMPO POSTCRÍTICO:**

$$T_p = \left(\frac{S}{A_s}\right) \left(\frac{X_c - X_f}{W_c - W_f}\right) \left(\ln \frac{W_c}{W_f}\right)$$

$$\frac{S}{A_s} = 0.353$$

$$\frac{X_c - X_f}{W_c - W_f} = 1.957$$

$$\ln \frac{W_c}{W_f} = 5.04$$

$$T_p = 3.5$$

El tiempo total calculado es de 3.5 horas, valor aproximado al tiempo tomado experimentalmente de 3.50 horas.

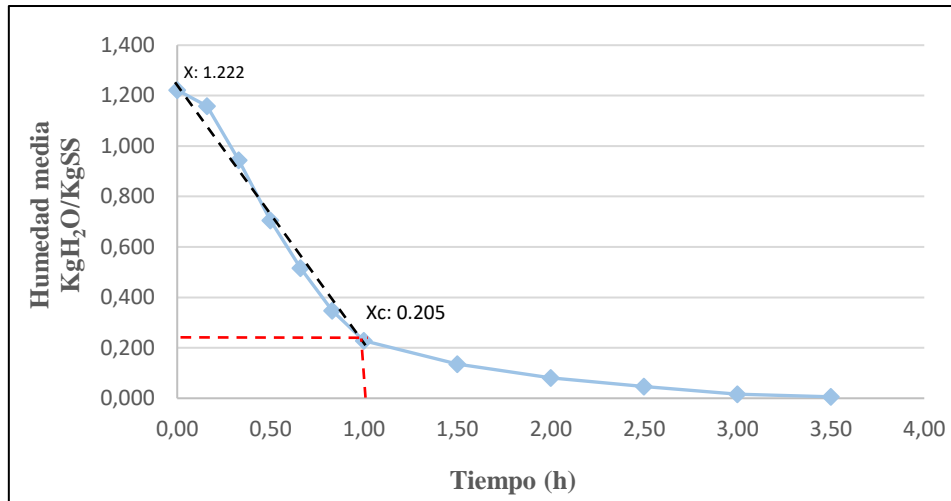
**4.2.8 Cinética de secado para T8 (2.5% Concentración de CaCl<sub>2</sub>, Temperatura 60°C, Velocidad de aire 4 m/s).**

**Tabla 31:** Valor de humedad y velocidad de secado para el tratamiento T8.

TIEMPO	PESO	PESO BASE SECA	HUMEDAD	HUMEDAD MEDIA	VELOCIDAD	X - X* / Xc - X*
horas	Kg	Kg SS	KgH <sub>2</sub> O/KgSS	(x̄)	KgH <sub>2</sub> O/hm <sup>2</sup>	
0,00	0,400	0,180	1,222			
0,16	0,377	0,180	1,094	1,158	0,582	0,945
0,33	0,323	0,180	0,794	0,944	0,325	0,684
0,50	0,291	0,180	0,617	0,706	0,365	0,530
0,66	0,255	0,180	0,417	0,517	0,269	0,357
0,83	0,230	0,180	0,278	0,347	0,183	0,236
1,00	0,212	0,180	0,178	0,228	0,152	0,149
1,50	0,197	0,180	0,094	0,136	0,017	0,077
2,00	0,192	0,180	0,067	0,081	0,024	0,053
2,50	0,185	0,180	0,028	0,047	0,014	0,019
3,00	0,181	0,180	0,006	0,017	0,004	0,003
3,50	0,180	0,180	0,006	0,006	0,004	0,003

**4.2.8.1 Curva de secado para T8**

La curva de secado se realizó hasta obtener de la humedad de equilibrio, en condiciones controladas de laboratorio para la elaboración de hojuelas osmodeshidratadas de melocotón.



**Gráfico 28:** Curva de secado T8.

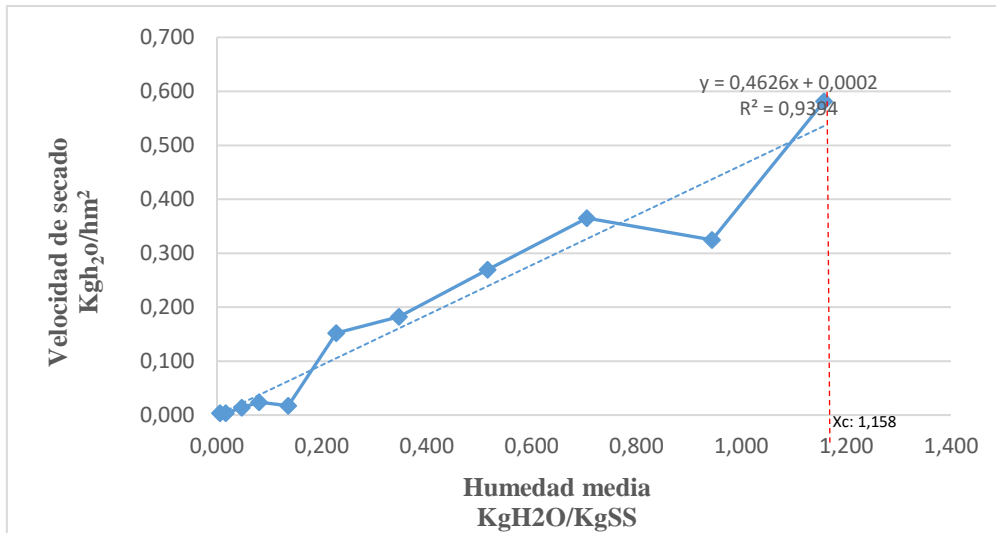
De acuerdo al T8 para la elaboración de hojuelas osmodeshidratadas de melocotón, se obtuvo una duración de 3:50 horas de secado hasta llegar a la humedad de equilibrio, con el fin de cumplir con el requerimiento de la norma INEN 2996 para productos deshidratados, dando como resultado un contenido 5.80% de humedad en producto final.

La forma en la que se representa la curva de secado puede depender de la estructura de las hojuelas de melocotón y el contenido crítico de humedad, donde prevalece la difusión interna de líquido y vapor como se puede observar en la pendiente de la gráfica 28.

El T8 fue sometido previamente a una solución osmótica de sacarosa con una concentración 60°Brix junto con CaCl<sub>2</sub> al 2.5% durante 6 horas, en donde se retiró en un 41% el contenido de humedad libre de la fruta, de manera que en el proceso de secado con los factores de temperatura de 60°C y una de velocidad de aire de 4 m/s también influirán para que el contenido de humedad libre se evapore rápidamente, (Keqing, 2004) indica que el vapor que se produce es el que se difunde a través de la masa seca hacia el exterior, por lo que la velocidad de secado dependerá de la velocidad de difusión de dicho vapor.

#### 4.2.8.2 Curva de velocidad de secado para T8

A continuación se describe la humedad en (KgH<sub>2</sub>O/KgSS) y la velocidad del secado en (KgH<sub>2</sub>O /hm<sup>2</sup>) obtenidas para el T8.



**Gráfico 29:** Curva de velocidad de secado T8

En el gráfico 29 se puede observar un periodo de velocidad decreciente en un tiempo postcrítico de 3,50 horas, el cual empieza a partir de la humedad crítica  $X_c = 1,158$  kgH<sub>2</sub>O/kgss, con una velocidad de secado  $W_c = 0,582$  KgH<sub>2</sub>O /hm<sup>2</sup> al finalizar con el periodo de velocidad decreciente se alcanzó una humedad final  $X_f = 0,017$  kgH<sub>2</sub>O/kgss, y una humedad de equilibrio  $X^* = 0,006$ kgH<sub>2</sub>O/kgss, en donde la velocidad de secado disminuyó a  $W_f = 0,004$  KgH<sub>2</sub>O/hm<sup>2</sup>.

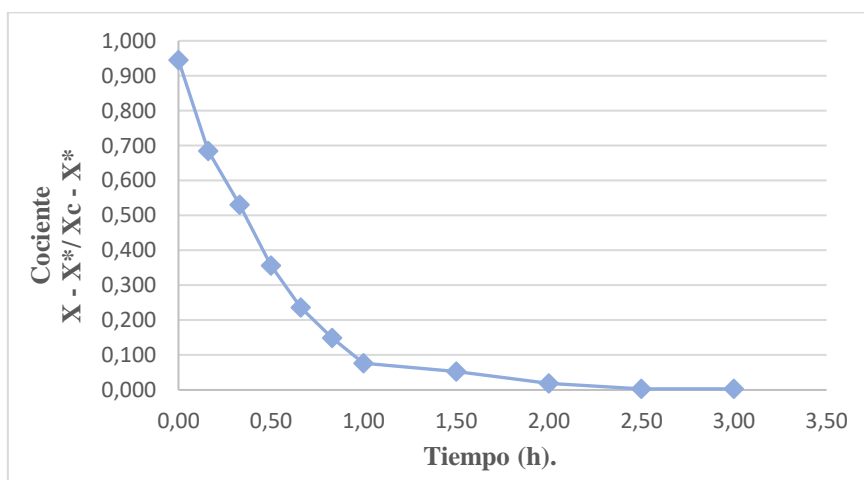
De acuerdo a la curva de velocidad de secado, se puede observar que predomina un periodo de velocidad decreciente que está controlado por el mecanismo de difusión interna del líquido a través del sólido presentando tres puntos de inflexión, en el primero se observa una disminución de la velocidad de secado en donde se produce una difusión de líquido, causado por las diferencias de concentración de solutos en la superficie y en el interior de la fruta esto puede deberse a que el tratamiento 8 previamente estuvo inmerso en una solución osmótica con cloruro de calcio al 2.5%, dejando a los poros llenos superficialmente y produciéndose una mayor migración del agua hacia la superficie externa, también debido al aumento de temperatura y velocidad de aire en el proceso de secado, en el segundo punto de inflexión se observa un incremento de velocidad de secado en donde existe una difusión del líquido adsorbido en la superficie de los componentes sólidos de las hojuelas de melocotón, y en el tercer punto de inflexión se observa que disminuye la velocidad de secado indicando que sólo pequeños paquetes de humedad permanecen en la estructura sólida, y produciéndose una difusión de vapor de agua en los

espacios de aire internos causados por gradientes de presión de vapor en las hojuelas de fruta hacia la superficie externa.

La disminución y el leve incremento de velocidad de secado que se observa dentro de este periodo postcrítico también puede haber influido por el aumento de la velocidad de aire de 4 m/s, ya que al pasar aire caliente el vapor de agua se difunde a través de una capa límite de aire que rodea el alimento, y el espesor de la capa límite viene determinado principalmente por la velocidad de aire. (Fellows, 2007).

En el periodo de velocidad decreciente el producto está en dominio de la higroscopia y en el alimento no queda más agua ligada que se evacue muy lentamente (difusión desorción). Esta fase se termina cuando el producto alcanza su humedad de equilibrio. (Casp A., 2011)

Para determinar el mecanismo que elimina la humedad en las hojuelas de melocotón osmodeshidratadas, se graficó el cociente  $\frac{X - X^*}{X_c - X^*}$  contra el tiempo de secado en donde se obtuvo una línea que se hace asintótica a una línea recta conforme aumenta el tiempo, lo cual confirma que el mecanismo de difusión gobierna el proceso de secado debido a la naturaleza del producto y condiciones de secado. (Colina, Irezabal, 2010).



**Gráfico 30.** Mecanismo de eliminación de humedad T8.



#### 4.2.8.3 Tiempo total de secado para T8

Para la determinación del tiempo total de secado dentro de un periodo postcrítico para el tratamiento 8, se utilizó los siguientes datos:

$$S = 0.180$$

$$X_c = 1.158$$

$$W_c = 0.582$$

$$A_s = 0.499$$

$$X_f = 0.017$$

$$W_f = 0.004$$

#### TIEMPO POSTCRÍTICO:

$$T_p = \left(\frac{S}{A_s}\right) \left(\frac{X_c - X_f}{W_c - W_f}\right) \left(\ln \frac{W_c}{W_f}\right)$$

$$\frac{S}{A_s} = 0.361$$

$$\frac{X_c - X_f}{W_c - W_f} = 1.975$$

$$\ln \frac{W_c}{W_f} = 4.98$$

$$T_p = 3.54$$

El tiempo total es de 3.54 horas, valor aproximado al tiempo tomado experimentalmente de 3.5 horas.

#### 4.2.9 Cinética de secado para T9 (5% Concentración de CaCl<sub>2</sub>, Temperatura 45°C, Velocidad de aire 2.5 m/s).

Tabla 32: Valor de humedad y velocidad de secado para el tratamiento T9

TIEMPO	PESO	PESO BASE SECA	HUMEDAD	HUMEDAD MEDIA	VELOCIDAD	X - X*/ Xc - X*
horas	Kg	Kg SS	KgH <sub>2</sub> O/KgSS	( $\bar{x}$ )	KgH <sub>2</sub> O/hm <sup>2</sup>	
0,00	0,403	0,175	1,303			
0,16	0,372	0,175	1,126	1,214	0,629	0,927
0,33	0,310	0,175	0,771	0,949	0,220	0,634
0,50	0,287	0,175	0,640	0,706	0,258	0,525
0,66	0,260	0,175	0,486	0,563	0,234	0,397
0,83	0,237	0,175	0,354	0,420	0,191	0,288
1,00	0,217	0,175	0,240	0,297	0,210	0,194
1,50	0,195	0,175	0,114	0,177	0,032	0,090
2,00	0,185	0,175	0,057	0,086	0,016	0,042
2,50	0,180	0,175	0,029	0,043	0,013	0,019
3,00	0,176	0,175	0,006	0,017	0,003	0,002
3,50	0,175	0,175	0,006	0,006	0,003	0,002

#### 4.2.9.1 Curva de secado para T9

La curva de secado se realizó hasta obtener de la humedad de equilibrio, en condiciones controladas de laboratorio para la elaboración de hojuelas osmodeshidratadas de melocotón.

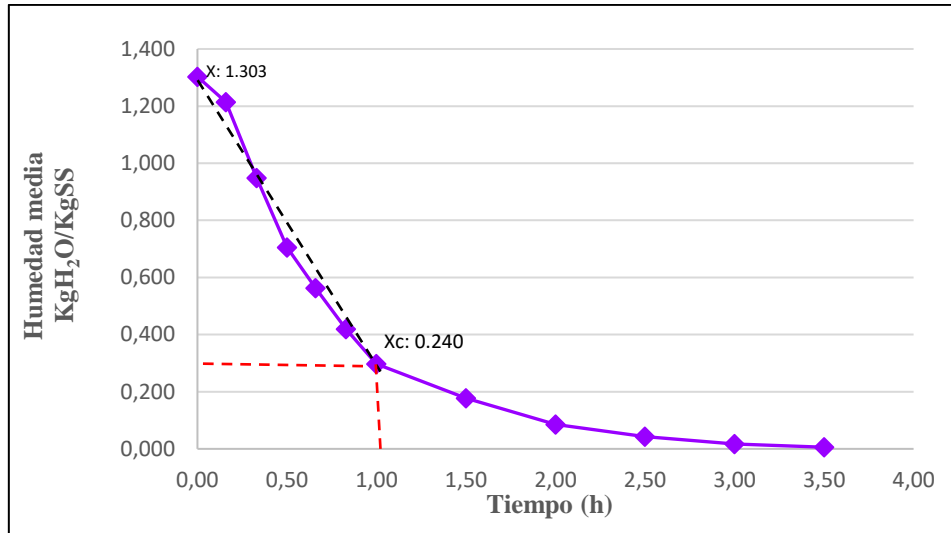


Gráfico 31: Curva de secado T9

De acuerdo a los resultados obtenidos sobre el T9 con el fin de cumplir con el requerimiento de la norma INEN 2996 para productos deshidratados, se presentó un proceso con duración de 3.50 horas, hasta la obtención de la humedad de equilibrio en la elaboración de hojuelas osmodeshidratadas de melocotón obteniendo así un porcentaje de humedad en el producto final de 5.64 %

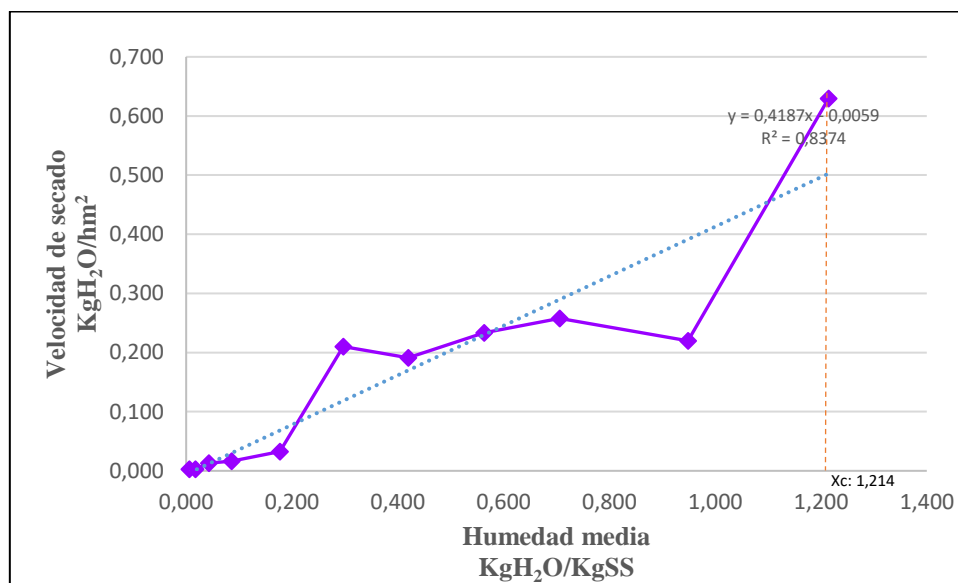
La forma en la que se representa la curva de secado indica que las vías de transporte para la difusión del líquido desde el interior de la hojuela hacia la superficie y la disminución del peso por evaporación del agua es rápida, como se puede observar en la pendiente del gráfico 31.

El proceso de pretratamiento osmótico que se aplicó al T9 fue un jarabe de sacarosa con una concentración de 60°Brix junto con CaCl<sub>2</sub> al 5% durante 6 horas, en donde la mayor pérdida de la humedad libre en la fruta fue de un 47%, de manera que en el proceso de secado con los factores de temperatura de 45°C y una de velocidad de aire de 2.5 m/s influirán para que el contenido de humedad libre se evapore rápidamente, debido a que el

tamaño o estructura de los poros de las hojuelas de melocotón permiten la difusión interna del líquido estos factores junto con la transmisión de calor controlarán la velocidad de secado.

#### 4.2.9.2 Curva de velocidad de secado para T9

A continuación se describe la humedad en ( $\text{KgH}_2\text{O}/\text{KgSS}$ ) y la velocidad del secado en ( $\text{KgH}_2\text{O}/\text{hm}^2$ ) obtenidas para el T9.



**Gráfico 32:** Curva de velocidad de secado T9

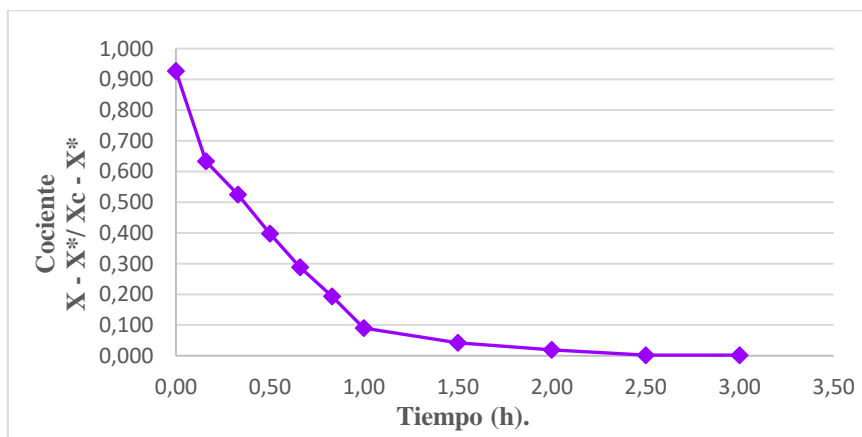
En el gráfico 32 se puede observar un periodo de velocidad decreciente en un tiempo postcrítico de 3,50 horas, el cual empieza a partir de la humedad crítica  $X_c = 1,214 \text{ kgH}_2\text{O}/\text{kgss}$ , con una velocidad de secado  $W_c = 0,629 \text{ KgH}_2\text{O}/\text{hm}^2$ , al concluir con el periodo de velocidad decreciente se obtuvo una humedad final  $X_f = 0,017 \text{ kgH}_2\text{O}/\text{kgss}$ , y una humedad de equilibrio  $X^* = 0,006 \text{ kgH}_2\text{O}/\text{kgss}$ , en donde la velocidad también disminuye  $W_f = 0,003 \text{ KgH}_2\text{O}/\text{hm}^2$ .

Conforme a los resultados de acuerdo a la investigación de melocotón osmodeshidratado se observa que en el proceso de secado del tratamiento 9 en la gráfica 32, en la curva de velocidad de secado predomina un periodo de velocidad decreciente que está controlado por el mecanismo de difusión interna de líquido a través del sólido presentando dos puntos

de inflexión, en el primero se obtiene una disminución de la velocidad de secado en donde se produce una difusión de líquido, causado por las diferencias de concentración de solutos en la superficie y en el interior de las hojuelas de melocotón que puede predominar durante las etapas tempranas del periodo de velocidad decreciente cuando los poros están relativamente llenos ya que el tratamiento 9 fue previamente osmodeshidratado en una solución de cloruro de calcio al 5%, y en el segundo punto de inflexión se observa un incremento de velocidad de secado en donde existe una difusión de vapor de agua presente en los espacios de aire en el interior del alimento causados por gradientes de presión de vapor, este comportamiento se puede deber a la acción intraparticular a través de las superficies internas hacia la superficie externa de las hojuelas de melocotón.

La forma en la que se representa la velocidad en la curva de secado depende del tipo de materiales higroscópicos, como es el caso de las hojuelas de melocotón previamente inmersas en un jarabe osmótico al 5% con cloruro de calcio, en los que el agua contenida está retenida esencialmente por fuerzas de adsorción u osmóticas, por lo que la zona de velocidad decreciente es la más representativa del proceso de secado. (Castells X. , 2012)

Para conocer el mecanismo que elimina la humedad en las hojuelas de melocotón osmodeshidratadas, se graficó el cociente  $X - X^* / X_c - X^*$  contra el tiempo de secado en la gráfica 33, se puede observar que la línea se hace asintótica a una línea recta conforme aumenta el tiempo, lo cual confirma que el proceso de secado es por difusión, la difusión se da en sólidos de estructura fina con poros y pequeños huecos llenos con vapor. (Keqing, 2004)



**Gráfico 33.** Mecanismo de eliminación de humedad T9

#### 4.2.9.3 Tiempo total de secado para T9

Para la determinación del tiempo total de secado dentro de un periodo postcrítico para el tratamiento 9, se utilizó los siguientes datos:

$$\begin{array}{lll}
 S= 0.178 & X_c= 1.214 & W_c= 0.629 \\
 A_s= 0.499 & X_f= 0.017 & W_f= 0.003
 \end{array}$$

#### TIEMPO POSTCRÍTICO:

$$T_p = \left(\frac{S}{A_s}\right) \left(\frac{X_c - X_f}{W_c - W_f}\right) \left(\ln \frac{W_c}{W_f}\right)$$

$$\frac{S}{A_s} = 0.351$$

$$\frac{X_c - X_f}{W_c - W_f} = 1.911$$

$$\ln \frac{W_c}{W_f} = 5.3$$

$$T_p = 3.55$$

El tiempo total es de 3.55 horas, valor aproximado al tiempo tomado experimentalmente de 3.5 horas.

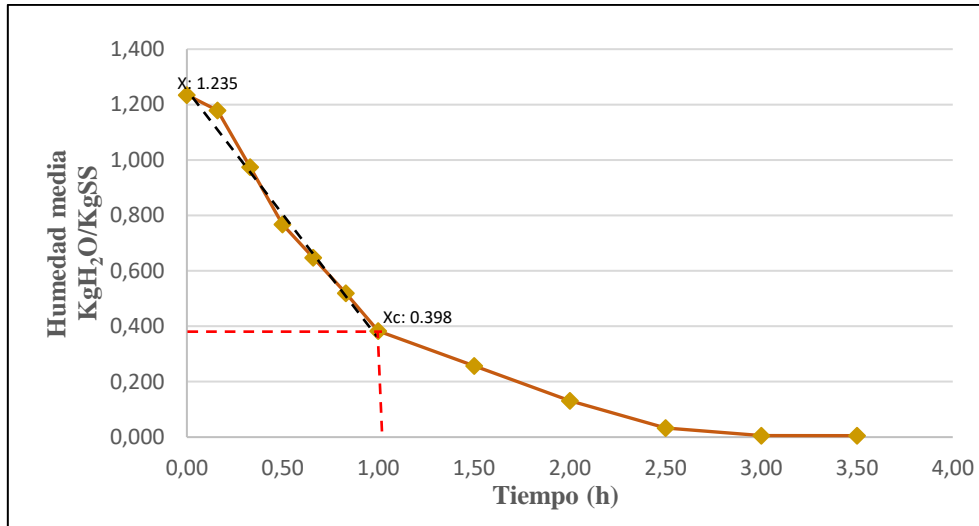
#### 4.2.10 Cinética de secado para T10 (5% Concentración de CaCl<sub>2</sub>, Temperatura 45°C, Velocidad de aire 4 m/s).

Tabla 33: Valor de humedad y velocidad de secado para el tratamiento T10.

TIEMPO	PESO	PESO BASE SECA	HUMEDAD	HUMEDAD MEDIA	VELOCIDAD	X - X*/ Xc - X*
horas	Kg	Kg SS	KgH <sub>2</sub> O/KgSS	(x̄)	KgH <sub>2</sub> O/hm <sup>2</sup>	
0,00	0,400	0,179	1,235			
0,16	0,380	0,179	1,123	1,179	0,585	0,952
0,33	0,327	0,179	0,827	0,975	0,218	0,700
0,50	0,306	0,179	0,709	0,768	0,229	0,600
0,66	0,284	0,179	0,587	0,648	0,265	0,495
0,83	0,260	0,179	0,453	0,520	0,260	0,381
1,00	0,235	0,179	0,313	0,383	0,208	0,262
1,50	0,215	0,179	0,201	0,257	0,088	0,167
2,00	0,190	0,179	0,061	0,131	0,035	0,047
2,50	0,180	0,179	0,006	0,034	0,004	0,003
3,00	0,180	0,179	0,006	0,006	0,004	0,003
3,50	0,179	0,179	0,006	0,006	0,004	0,002

#### 4.2.10.1 Curva de secado para T10

La curva de secado se realizó hasta obtener de la humedad de equilibrio, en condiciones controladas de laboratorio para la elaboración de hojuelas osmodeshidratadas de melocotón.



**Gráfico 34:** Curva de secado T10

Con el fin de cumplir con el requerimiento de la norma INEN 2996 para productos deshidratados en la elaboración de hojuelas osmodeshidratadas de melocotón de acuerdo al T10, se presentó un proceso con duración de 3.50 horas, hasta la obtención de la humedad de equilibrio obteniendo así un porcentaje de humedad en el producto final de 5.59 %.

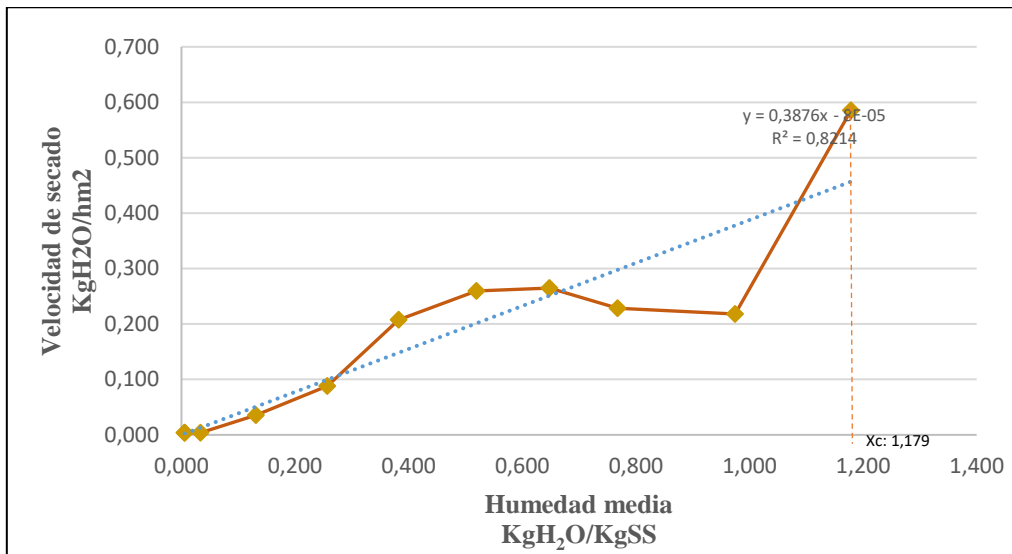
Las hojuelas de melocotón en el proceso de deshidratación presentan una estructura mas continua donde prevalece la difusión de líquido por gradientes de concentración a diferencia de los sólidos granulares y porosos en donde predomina el movimiento capilar del agua. (Aguado, y otros, 2002). por lo que la evaporación del agua es rápida como se puede observar en la pendiente de la gráfica 34.

La influencia del uso de una solución osmótica de sacarosa con una concentración de 60°Brix como pretratamiento junto con CaCl<sub>2</sub> al 5% durante 6 horas en el tratamiento 10, permitió la pérdida de humedad libre en un 47%, de modo que cuando se continua con el proceso de secado con los factores de temperatura de 45°C y una de velocidad de

aire de 4 m/s, el resto de humedad libre contenida en las hojuelas de la fruta se continua evaporando, la transmisión de calor y el contenido de humedad determinaran la velocidad de secado.

#### 4.2.10.2 Curva de velocidad de secado para T10

A continuación se describe la humedad en ( $\text{KgH}_2\text{O}/\text{KgSS}$ ) y la velocidad del secado en ( $\text{KgH}_2\text{O}/\text{hm}^2$ ) obtenidas para el T10.



**Gráfico 35:** Curva de velocidad de secado T10

En el gráfico 35 se puede observar un periodo de velocidad decreciente en un tiempo postcrítico de 3,50 horas, el cual empieza a partir de la humedad crítica  $X_c = 1,179 \text{ kgH}_2\text{O}/\text{kgss}$ , con una velocidad de secado  $W_c = 0,585 \text{ KgH}_2\text{O}/\text{hm}^2$ , al terminar con el periodo de velocidad decreciente se alcanzó una humedad final  $X_f = 0,006 \text{ kgH}_2\text{O}/\text{kgss}$ , y una humedad de equilibrio  $X^* = 0,006 \text{ kgH}_2\text{O}/\text{kgss}$ , en donde la velocidad de secado es  $W_f = 0,004 \text{ KgH}_2\text{O}/\text{hm}^2$ .

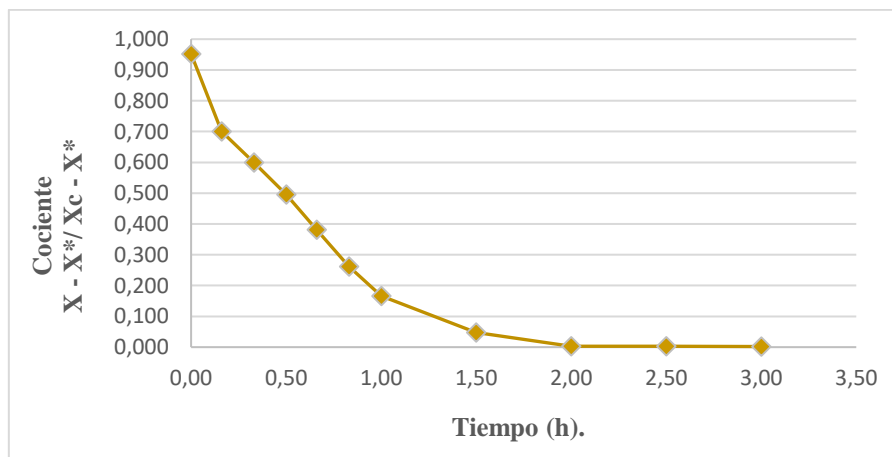
Se puede observar en la gráfica 35 que predomina un periodo de velocidad decreciente que está controlado por el mecanismo de difusión interna del líquido a través del sólido con tres puntos de inflexión, en el primero se obtiene una disminución de velocidad de secado en donde se produce una difusión de líquido, causado por las diferencias de concentración de solutos en la superficie y en el interior de las hojuelas de melocotón, que puede predominar durante las etapas tempranas del periodo de velocidad decreciente

cuando los poros están relativamente llenos ya que el tratamiento 10 fue previamente inmerso en una solución con cloruro de calcio al 5%, en el segundo punto de inflexión se presenta un incremento de velocidad de secado en donde existe una difusión del líquido, adsorbido en la superficie de los componentes sólidos del alimento, y en el tercer punto de inflexión se produce una difusión de vapor de agua presente en los espacios de aire en el interior del alimento causados por gradientes de presión de vapor.

La disminución y el leve incremento de velocidad de secado que se observa dentro de este periodo poscrítico también puede haber influido el aumento de la velocidad de aire de 4 m/s, ya que al pasar aire caliente el vapor de agua se difunde a través de una capa límite de aire que rodea el alimento y el espesor de la capa límite viene determinado principalmente por la velocidad de aire. (Fellows, 2007)

La velocidad de secado está regida por la evaporación del agua sobre la fracción de superficie mojada; esta fracción disminuye continuamente hasta que al final de este período la superficie está seca. (Otero, 2014)

También se graficó el cociente  $\frac{X - X^*}{X_c - X^*}$  contra el tiempo de secado para determinar el mecanismo que elimina la humedad en las hojuelas de melocotón osmodeshidratadas, y como se puede observar en la gráfica 36, la línea se hace asintótica a una línea recta conforme aumenta el tiempo, lo cual confirma que el proceso de secado es por un mecanismo de difusión de líquido.



**Gráfico 36.** Mecanismo de eliminación de humedad T10



#### 4.2.10.3 Tiempo total de secado para T10

Para la determinación del tiempo total de secado dentro de un periodo postcrítico para el tratamiento 10, se utilizó los siguientes datos:

$$\begin{array}{lll}
 S= 0.179 & X_c= 1.179 & W_c= 0.585 \\
 A_s= 0.499 & X_f= 0.006 & W_f= 0.004
 \end{array}$$

#### TIEMPO POSTCRÍTICO:

$$T_p = \left(\frac{S}{A_s}\right) \left(\frac{X_c - X_f}{W_c - W_f}\right) \left(\ln \frac{W_c}{W_f}\right)$$

$$\frac{S}{A_s} = 0.359$$

$$\frac{X_c - X_f}{W_c - W_f} = 2.017$$

$$\ln \frac{W_c}{W_f} = 4.9$$

$$T_p = 3.54$$

El tiempo total es de 3.54 horas, valor aproximado al tiempo tomado experimentalmente de 3.5 horas.

#### 4.2.11 Cinética de secado para T11 (5% Concentración de CaCl<sub>2</sub>, Temperatura 60°C, Velocidad de aire 2.5 m/s).

Tabla 34: Valor de humedad y velocidad de secado para el tratamiento T11

TIEMPO	PESO	PESO BASE SECA	HUMEDAD	HUMEDAD MEDIA	VELOCIDAD	X - X*/ Xc - X*
horas	Kg	Kg SS	KgH <sub>2</sub> O/KgSS	(x̄)	KgH <sub>2</sub> O/hm <sup>2</sup>	
0,00	0,405	0,177	1,288			
0,16	0,360	0,177	1,034	1,161	0,679	0,890
0,33	0,300	0,177	0,695	0,864	0,234	0,597
0,50	0,278	0,177	0,571	0,633	0,330	0,489
0,66	0,247	0,177	0,395	0,483	0,283	0,337
0,83	0,222	0,177	0,254	0,325	0,181	0,215
1,00	0,205	0,177	0,158	0,206	0,160	0,132
1,50	0,190	0,177	0,073	0,116	0,018	0,059
2,00	0,185	0,177	0,045	0,059	0,025	0,034
2,50	0,178	0,177	0,006	0,025	0,004	0,002
3,00	0,177	0,177	0,006	0,006	0,004	0,002

#### 4.2.11.1 Curva de secado para T11

La curva de secado se realizó hasta obtener de la humedad de equilibrio, en condiciones controladas de laboratorio para la elaboración de hojuelas osmodeshidratadas de melocotón.

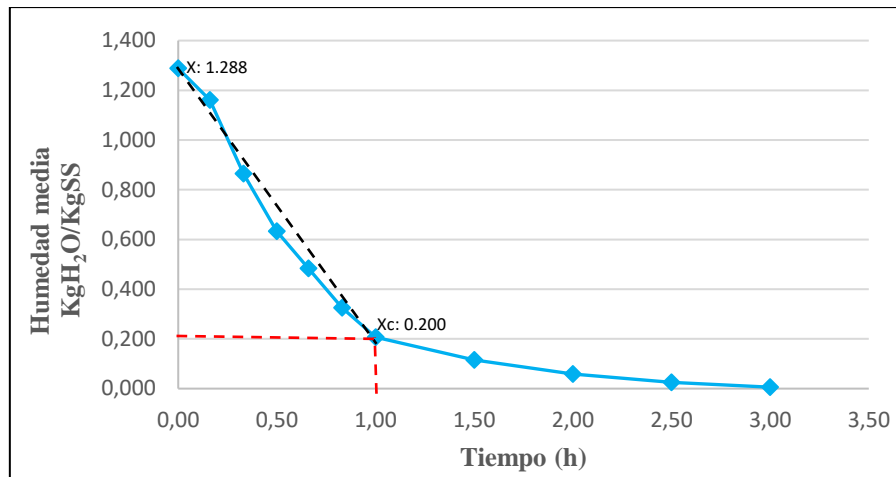


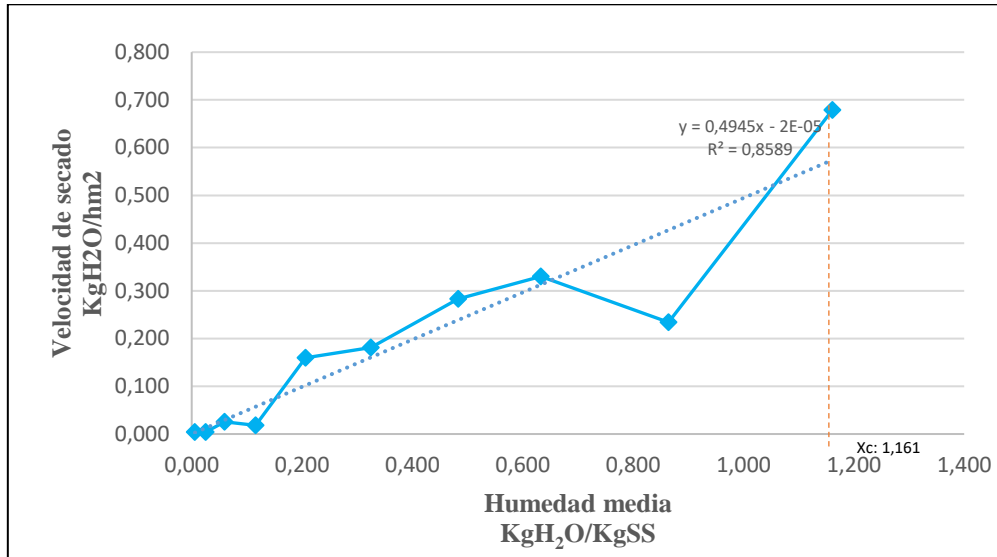
Gráfico 37: Curva de secado T11

De acuerdo a los resultados sobre al T11 para la elaboración de hojuelas osmodeshidratadas de melocotón de acuerdo, con el fin de cumplir con el requerimiento de la norma INEN 2996 para productos deshidratados se presentó un proceso con duración de 3.00 horas, hasta la obtención de la humedad de equilibrio.

Por la forma estructural y la composición que presenta las hojuelas de melocotón osmodeshidratadas, como se observa en la gráfica 37 que en la curva de secado prevalece una difusión interna por gradientes de concentración de líquido presentando una disminución humedad ya que el tratamiento 11 fue sometido previamente a un proceso de pre-tratamiento osmótico de sacarosa con una concentración de 60°Brix junto con CaCl<sub>2</sub> a una concentración del 5%, durante 6 horas en donde se retiró un mayor contenido de humedad libre en la fruta de 47%, de manera que en el proceso de secado con los factores de temperatura de 60°C y una velocidad de aire de 2.5 m/s influyeron para que el contenido de humedad libre se evapore mediante el mecanismo de difusión interna del líquido obteniendo en el producto final de 5.99 % de humedad.

#### 4.2.11.2 Curva de velocidad de secado para T11

A continuación se describe la humedad en ( $\text{KgH}_2\text{O}/\text{KgSS}$ ) y la velocidad del secado en ( $\text{KgH}_2\text{O}/\text{hm}^2$ ) obtenidas para el T11.



**Gráfico 38:** Curva de velocidad de secado T11

En el gráfico 38 se puede observar un periodo de velocidad decreciente en un tiempo postcrítico de 3,00 horas, el cual empieza a partir de la humedad crítica  $X_c = 1,161$   $\text{kgH}_2\text{O}/\text{kgss}$ , con una velocidad de secado  $W_c = 0,679$   $\text{KgH}_2\text{O}/\text{hm}^2$  al culminar con el periodo de velocidad decreciente se obtuvo una humedad final  $X_f = 0,025$   $\text{kgH}_2\text{O}/\text{kgss}$ , y una humedad de equilibrio  $X^* = 0,006$   $\text{kgH}_2\text{O}/\text{kgss}$ , en donde la velocidad de secado es  $W_f = 0,004$   $\text{KgH}_2\text{O}/\text{hm}^2$ .

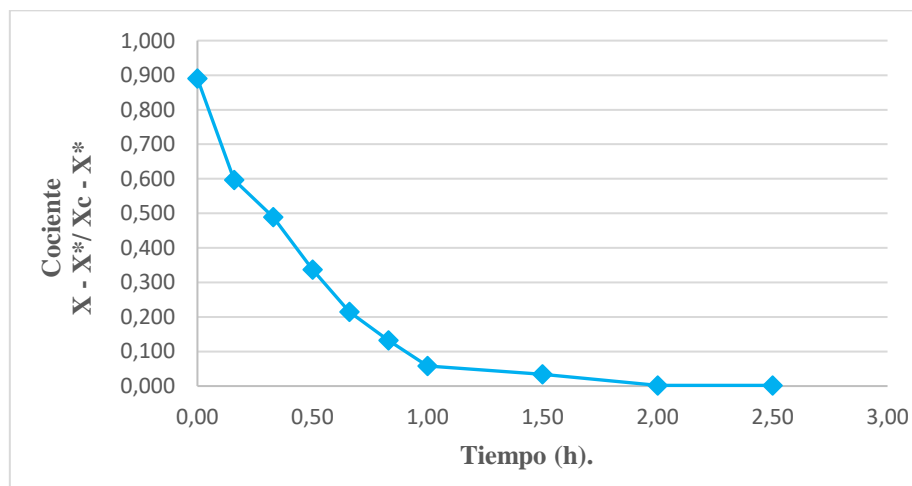
De acuerdo a la curva de velocidad de secado en el gráfico 38, se puede observar que predomina un periodo de velocidad decreciente que está controlado por el mecanismo de difusión interna del líquido a través del sólido presentando tres puntos de inflexión, en el primero se obtiene una disminución de velocidad de secado en donde se produce difusión de líquido, causado por las diferencias de concentración de solutos en la superficie y en el interior del alimento, esto puede deberse a la elevación de la temperatura a  $60^\circ\text{C}$  en el tratamiento 11 previamente osmodeshidratado en una solución de cloruro de calcio al 5%, produciendo una mayor migración del agua hacia la superficie externa, en el segundo punto de inflexión se observa un incremento de velocidad de secado en donde existe una

difusión del líquido, adsorbido en la superficie de los componentes sólidos de las hojuelas de melocotón, y en el tercer punto de inflexión existe una difusión de vapor de agua en donde se observa un leve incremento de velocidad que indica que sólo pequeños paquetes de humedad permanecen en la estructura sólida.

Como lo indica (Mazariegos, 2006) la difusión de vapor puede dominar hacia el final del periodo de velocidad decreciente cuando sólo pequeños paquetes de humedad permanecen en la estructura sólida.

En el periodo de velocidad decreciente el producto está en dominio de la higroscopia y en el alimento no queda más agua ligada que se evacue muy lentamente (difusión desorción). Esta fase se termina cuando el producto alcanza su humedad de equilibrio. (Casp A., 2011)

Para determinar el mecanismo que elimina la humedad en las hojuelas de melocotón osmodeshidratadas, se graficó el cociente  $X - X^* / X_c - X^*$  contra el tiempo de secado en donde se obtuvo una línea se hace asintótica a una línea recta conforme aumenta el tiempo, lo cual confirma que el mecanismo de difusión gobierna el proceso de secado debido a la naturaleza del producto y condiciones de secado. (Colina, Irezabal, 2010).



**Gráfico 39.** Mecanismo de eliminación de humedad T11

#### 4.2.11.3 Tiempo total de secado para T11

Para la determinación del tiempo total de secado dentro de un periodo postcrítico para el tratamiento 11, se utilizó los siguientes datos:

$$\begin{array}{lll}
 S= 0.177 & X_c= 1.161 & W_c= 0.679 \\
 A_s= 0.499 & X_f= 0.025 & W_f= 0.004
 \end{array}$$

#### TIEMPO POSTCRÍTICO:

$$T_p = \left(\frac{S}{A_s}\right) \left(\frac{X_c - X_f}{W_c - W_f}\right) \left(\ln \frac{W_c}{W_f}\right)$$

$$\frac{S}{A_s} = 0.355 \qquad \frac{X_c - X_f}{W_c - W_f} = 1.683 \qquad \ln \frac{W_c}{W_f} = 5.13$$

$$T_p = 3.06$$

El tiempo total es de 3.06 horas, valor aproximado al tiempo tomado experimentalmente de 3.0 horas.

#### 4.2.12 Cinética de secado para T12 (5% Concentración de CaCl<sub>2</sub>, Temperatura 60°C, Velocidad de aire 4 m/s).

Tabla 35: Valor de humedad y velocidad de secado para el tratamiento T12

TIEMPO	PESO	PESO BASE SECA	HUMEDAD	HUMEDAD MEDIA	VELOCIDAD	X - X*/ Xc - X*
horas	Kg	Kg SS	KgH <sub>2</sub> O/KgSS	(x̄)	KgH <sub>2</sub> O/hm <sup>2</sup>	
0,00	0,400	0,180	1,222			
0,16	0,353	0,180	0,961	1,092	0,631	0,880
0,33	0,297	0,180	0,650	0,806	0,180	0,593
0,50	0,280	0,180	0,556	0,603	0,212	0,506
0,66	0,260	0,180	0,444	0,500	0,259	0,404
0,83	0,237	0,180	0,317	0,381	0,212	0,286
1,00	0,217	0,180	0,206	0,261	0,148	0,184
1,50	0,203	0,180	0,128	0,167	0,065	0,112
2,00	0,185	0,180	0,028	0,078	0,014	0,020
2,50	0,181	0,180	0,006	0,017	0,004	0,002
3,00	0,180	0,180	0,006	0,006	0,004	0,002

#### 4.2.12.1 Curva de secado para T12

La curva de secado se realizó hasta obtener de la humedad de equilibrio, en condiciones controladas de laboratorio para la elaboración de hojuelas osmodeshidratadas de melocotón.

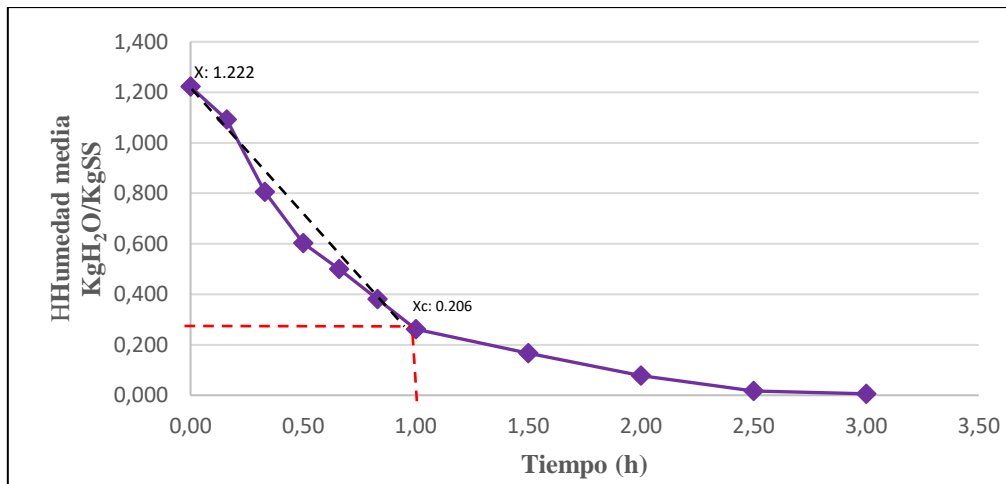


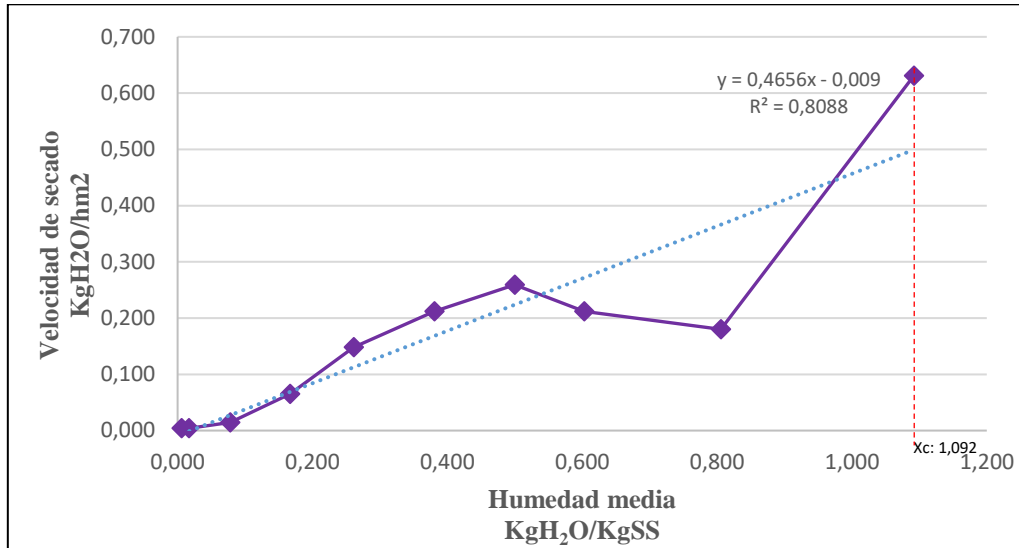
Gráfico 40: Curva de secado T12

Cumpliendo con el requerimiento de la norma INEN 2996 para productos deshidratados para el T12 para la elaboración de hojuelas osmodeshidratadas de melocotón, se presentó un proceso con duración de 3.00 horas, hasta la obtención de la humedad de equilibrio obteniendo así un porcentaje de humedad en el producto final de 6.02 %

De acuerdo a la gráfica 40 se puede observar que la influencia del uso de una solución osmótica de sacarosa con una concentración de 60°Brix como pretratamiento junto con CaCl<sub>2</sub> al 5% durante 6 horas en el tratamiento 12, permitió la pérdida de humedad libre en un 47%, de modo que cuando se continúa con el proceso de secado con los factores de temperatura de 60°C y una velocidad de aire de 4 m/s, el resto de humedad libre contenida en las hojuelas de la fruta continúa evaporándose, debido a que el tamaño o estructura de los poros de las hojuelas de melocotón permiten la difusión interna del líquido. Estos factores junto con la transmisión de calor controlarán la velocidad de secado.

#### 4.2.12.2 Curva de velocidad de secado para T12

A continuación se describe la humedad en ( $\text{KgH}_2\text{O}/\text{KgSS}$ ) y la velocidad del secado en ( $\text{KgH}_2\text{O}/\text{hm}^2$ ) obtenidas para el T12.



**Gráfico 41:** Curva de velocidad de secado T12

De acuerdo al gráfico 41 se puede observar un periodo de velocidad decreciente en un tiempo postcrítico de 3,00 horas, el cual empieza a partir de la humedad crítica  $X_c = 1,092$   $\text{kgH}_2\text{O}/\text{kgss}$ , con una velocidad de secado  $W_c = 0,631$   $\text{KgH}_2\text{O}/\text{hm}^2$ , al finalizar con el periodo de velocidad decreciente se obtuvo una humedad final  $X_f = 0,017$   $\text{kgH}_2\text{O}/\text{kgss}$ , y una humedad de equilibrio  $X^* = 0,006$   $\text{kgH}_2\text{O}/\text{kgss}$ , en donde la velocidad de secado es  $W_f = 0,004$   $\text{KgH}_2\text{O}/\text{hm}^2$ .

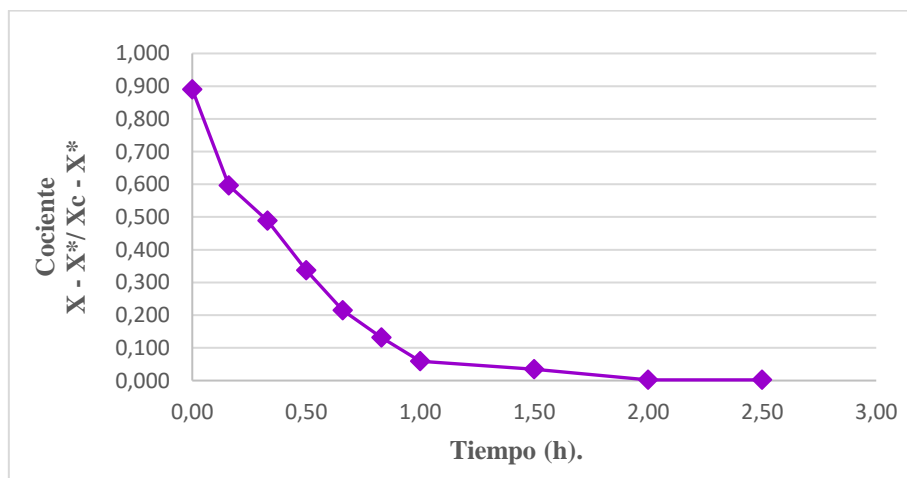
Según la pendiente de la gráfica 41 en la curva de velocidad de secado, se puede observar que predomina un periodo de velocidad decreciente que está controlado por el mecanismo de difusión interna del líquido a través del sólido con dos puntos de inflexión, en el primero se obtiene una disminución de la velocidad de secado en donde se produce el difusión de líquido, causado por las diferencias de concentración de solutos en la superficie y en el interior del alimento esto puede deberse a la elevación de la temperatura a  $60^\circ\text{C}$  en el tratamiento 12 previamente osmodeshidratado en una solución de cloruro de calcio al 5%, produciendo una mayor migración del agua hacia la superficie externa, en

el segundo punto de inflexión se presenta un aumento de velocidad de secado en donde existe una difusión del líquido adsorbido en la superficie de los componentes sólidos de las hojuelas de melocotón.

Al final el alimento solo contiene agua ligada que se evacua muy lentamente y termina cuando el producto alcanza la humedad de equilibrio que depende de las condiciones de secado (Casp Vanaclocha & Abril Renquena, 2008).

La forma en la que se representa la velocidad en la curva de secado depende del tipo de materiales higroscópicos, como es el caso de las hojuelas de melocotón previamente inmersas en un jarabe osmótico al 5% con cloruro de calcio, en los que el agua contenida está retenida esencialmente por fuerzas de adsorción u osmóticas, por lo que la zona de velocidad decreciente es la más representativa del proceso de secado. (Castells X. , 2012)

También se graficó el cociente  $X - X^* / X_c - X^*$  contra el tiempo de secado para determinar el mecanismo que elimina la humedad en las hojuelas de melocotón osmodeshidratadas, y como se puede observar en la gráfica 42, la línea se hace asintótica a una línea recta con forme aumenta el tiempo, lo cual confirma que el proceso de secado fue por un mecanismo de difusión, (Keqing, 2004) indica que la difusión se da en sólidos de estructura fina con pequeños poros llenos con vapor.



**Gráfico 42.** Mecanismo de eliminación de humedad T12



#### 4.2.12.3 Tiempo total de secado para T12

Para la determinación del tiempo total de secado dentro de un periodo postcrítico para el tratamiento 12, se utilizó los siguientes datos:

$$S= 0.180$$

$$X_c= 1.092$$

$$W_c= 0.631$$

$$A_s= 0.499$$

$$X_f= 0.017$$

$$W_f= 0.004$$

#### TIEMPO POSTCRÍTICO:

$$T_p= \left(\frac{S}{A_s}\right) \left(\frac{X_c-X_f}{W_c-W_f}\right) \left(\ln \frac{W_c}{W_f}\right)$$

$$\frac{S}{A_s}= 0.361$$

$$\frac{X_c-X_f}{W_c-W_f}= 1.716$$

$$\ln \frac{W_c}{W_f}= 5.0$$

$$T_p= 3.09$$

El tiempo total es de 3.09 horas, valor aproximado al tiempo tomado experimentalmente de 3.0 horas.

### 4.3 SÓLIDOS SOLUBLES EN PRODUCTO TERMINADO.

Esta variable se determinó en el laboratorio mediante la utilización de un refractómetro digital °Brix, utilizando de 5gr de muestra de producto terminado.

A continuación, se detallan las medias obtenidas de cada tratamiento para realizar su respectivo análisis estadístico de la variable sólidos solubles (°Brix).

**Tabla 36:** Sólidos Solubles (°Brix) de hojuelas osmodeshidratadas de melocotón.

Sólidos Solubles (°Brix)					
Tratamientos	R1	R2	R3	Σ TOTAL	Media
T1	84,48	83,96	85,72	254,16	84,72
T2	83,26	87,05	83,1	253,41	84,47
T3	85,82	86,33	86,93	259,08	86,36
T4	81,04	80,85	76,02	237,91	79,30
T5	78,97	75,46	76,25	230,68	76,89
T6	77,26	80,97	73,88	232,11	77,37
T7	76,92	77,7	75,17	229,79	76,60
T8	77,32	79,95	79,51	236,78	78,93
T9	82,11	89,08	85,36	256,55	85,52
T10	73,16	79,09	65,46	217,71	72,57
T11	85,99	83,21	81,98	251,18	83,73
T12	81,85	83,95	77,83	243,63	81,21

**Tabla 37:** Análisis de varianza de sólidos solubles (°Brix).

Resultados para el Análisis de Varianza (ADEVA)						
F.V	SC	GL	CM	F. cal	F. Tab 5%	F. Tab 1%
<b>Total</b>	839	35				
<b>Trata.</b>	625,78	11	56,89	6,4**	2.22	3.10
<b>A</b>	235.87	2	117.94	13.28**	3.40	5.61
<b>B</b>	5,25	1	5,25	0,59 ns	4.26	7.82
<b>C</b>	99,63	1	99,63	11,21**	4.26	7.82
<b>A*B</b>	40,46	2	20,23	2,28ns	3.40	5.61
<b>B*C</b>	7,5	1	7,5	0,84ns	4.26	7.82
<b>A*C</b>	125,65	2	62,83	7,07**	3.40	5.61
<b>A*B*C</b>	111,41	2	55,71	6,27**	3.40	5.61
<b>Error</b>	213,22	24	8,88			

CV: 3.05%

\*\* : Alta significancia

\* : Significancia

NS: no significancia

Al realizar el análisis de varianza efectuado para la variable Sólidos solubles en las hojuelas de melocotón *Prunus pérsica* osmodeshidratadas, se observa que existe alta significación estadística para tratamientos, para el **factor A** (concentraciones de CaCl<sub>2</sub>), **factor C** (velocidad de aire de secado), en la interacción **A\*C** (concentraciones de CaCl<sub>2</sub> y velocidad de aire de secado) y en la interacción **A\*B\*C** (concentraciones de CaCl<sub>2</sub>, temperatura de deshidratación y velocidad de aire de secado) de tal manera que los °Brix

del producto final depende tanto de las concentraciones de CaCl<sub>2</sub>, temperatura de deshidratación y velocidad de aire de secado.

Se trabaja con un coeficiente de variación de 3.05% valor aceptable dentro de este tipo de investigaciones, puesto que se ejecutan en condiciones controladas en el laboratorio. Luego se realiza las pruebas correspondientes de Tukey para tratamientos, Diferencia Mínima Significativa para los factores y las correspondientes gráficas de interacción.

**Tabla 38:** Prueba de tukey para tratamientos variable sólidos solubles (°Brix).

Tratamientos	Medias	Tukey			
<b>T3</b>	86,36	a			
<b>T9</b>	85,52	a	b		
<b>T1</b>	84,72	a	b	c	
<b>T2</b>	84,47	a	b	c	
<b>T11</b>	83,73	a	b	c	
<b>T12</b>	81,21	a	b	c	d
<b>T4</b>	79,30	a	b	c	d
<b>T8</b>	78,93	a	b	c	d
<b>T6</b>	77,37		b	c	d
<b>T5</b>	76,89		b	c	d
<b>T7</b>	76,60			c	d
<b>T10</b>	72,57				d

Para este tipo de investigación se realizó pruebas de significación TUKEY al 5%, para determinar los mejores tratamientos analizados con respecto a la variable Sólidos solubles después del proceso de secado, encontrándose significación estadística en los doce rangos con un comportamiento diferente, se representa como mejor media al tratamiento con el rango “a”, en este caso se determinó como mejor tratamiento al **T3**, (0% CaCl<sub>2</sub>, 60°C, 2.5 m/s) con 86,36 en sólidos solubles ya que presenta la mayor concentración de demostrando que es el mejor tratamiento que respondió tanto el en proceso del pre-tratamiento osmótico como en el proceso de secado.

**Tabla 39:** Prueba de DMS para factores A variables sólidos solubles (°Brix)

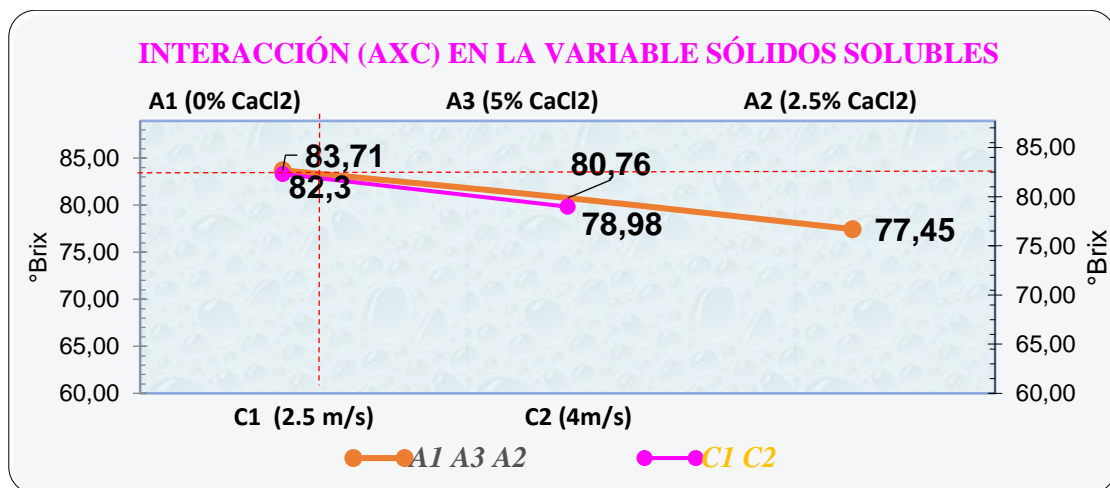
Rangos para el factor (A)		
Tratamientos	Medias	DMS
<b>A1</b>	83,71	a
<b>A3</b>	80,76	a
<b>A2</b>	77,45	b

En la prueba de Diferencia Mínima Significativa al 5% para el factor A, se puede observar que A1 (0% de CaCl<sub>2</sub>) y A3 (5% de CaCl<sub>2</sub>) presentan la mayor media y corresponden al rango “a”, lo que significa que en estas concentraciones de CaCl<sub>2</sub> son las que más influyeron en el contenido de sólidos solubles del producto final.

**Tabla 40:** Prueba de DMS para factores C variables sólidos solubles (°Brix)

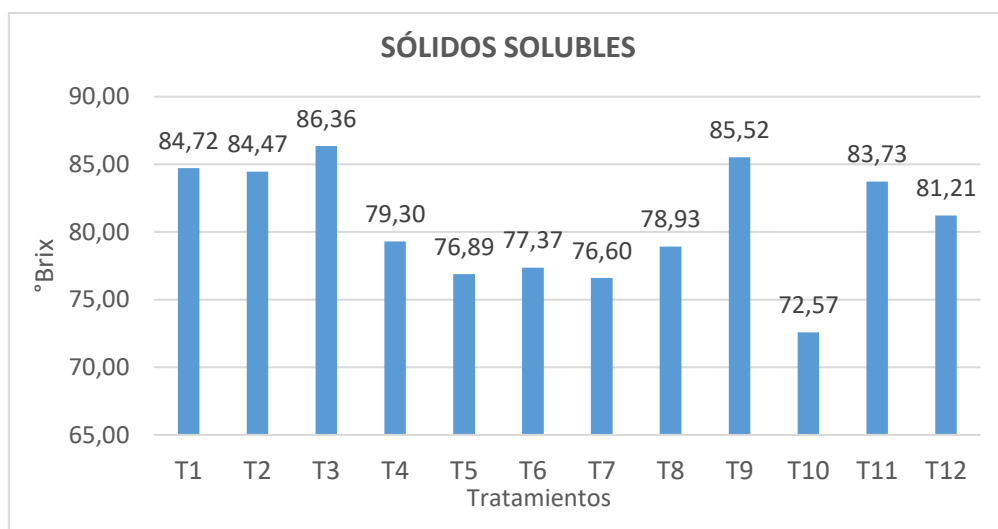
Rangos para el factor (C)		
Tratamientos	Medias	DMS
C1	82.30	a
C2	78.98	b

En la prueba de Diferencia Mínima Significativa al 5% para el factor C, se observa que C1 (velocidad de secado 2.5 m/s), presentan la mayor media y corresponden al rango “a”, determinando que esta velocidad de aire influye en la concentración de sólidos solubles del producto final.



**Gráfico 43:** Interacción de los factores A (Concentraciones de CaCl<sub>2</sub>) y C (Velocidad de aire) en la variable Sólidos solubles

En el gráfico 43, se observa que el punto crítico de la interacción entre los factores A (concentración de CaCl<sub>2</sub>) y C (velocidad del aire de secado) en la variable sólidos solubles del producto terminado es 83.00 °Brix. Es decir, que en este valor es donde interactúa directamente entre el nivel A1 (0% en la concentración de CaCl<sub>2</sub>) y C1 (en la velocidad de aire de 2.5 m/s).



**Gráfico 44:** Representación gráfica de la variable Sólidos solubles hojuelas osmodeshidratadas de melocotón.

En gráfico 44, se puede observar que el **T3** es el tratamiento que mayor concentración de sólidos solubles presenta en la composición del producto terminado con un valor de 86.36 °Brix con relación a los demás tratamientos, seguido del tratamiento **T9** con 85.52 °Brix y al **T1** con 85.00 °Brix son los tratamientos recomendables por su mayor contenido de Sólidos solubles, en donde influye las concentraciones de cloruro de calcio 0% y 5%, temperatura de 45 °C y 60°C, y la velocidad de air de 2.5 m/s.

En la investigación realizada por (Castro & Jurado, 2008) se observa a los tres mejores tratamientos con respecto a la variable sólidos solubles del producto terminado donde uno de ellos presenta al **T14** pepino dulce con 81.68 °Brix , tratamiento que fue sometido en una solución osmótica (sacarosa) de 60 °Brix, a diferencia de los tres mejores tratamientos en esta investigación en donde el **T3** melocotón con 86.36 °Brix, **T9** con 85.52 °Brix y el **T1** con 85.00 °Brix, en donde influyen en los resultando el tipo de solución de jarabe osmótica (sacarosa) de 60°Brix pero con distintas concentraciones de CaCl<sub>2</sub> junto con los factores de secado se obtuvo mayor ganancia de sólidos.

El contenido de sólidos solubles aumenta a medida que el contenido de humedad disminuye durante el tiempo de proceso osmótico y haciendo una comparación con el contenido inicial de la fruta de melocotón de 12°Brix en estado de madurez fisiológico, con el valor obtenido al final de la investigación que fue de 86.36°Brix, en donde se

consiguió una mayor ganancia de sólidos debido al pretratamiento osmótico durante el tiempo de 6 horas y luego con un proceso de secado.

De acuerdo a la investigación de (Sanjinez, Branco, Takito, & Corbari, 2010) en donde el aumento de sólidos solubles fue evidente en el proceso de deshidratación osmótica. Resultado esperado debido a la transferencia de masa entre el soluto (ingreso de la sacarosa en la fruta) y el solvente (salida del agua del interior de la fruta) durante la osmosis. Las muestras deshidratadas con adición del cloruro de calcio presentaron resultados semejantes a las muestras sometidas solamente a la deshidratación osmótica.

La concentración de azúcares en la fruta que se presente después del proceso de secado, es muy importante porque también influye en la calidad del producto, dando como resultado alteraciones en el color y firmeza, produciendo cristalización de azúcares debido al proceso de ósmosis.

#### 4.4 pH EN PRODUCTO TERMINADO

Para determinar los valores sobre la variable pH se evaluó en el laboratorio, mediante un pH-metro digital estandarizado utilizando 5gr de muestra, con el fin de conocer si el producto final se encuentra dentro del rango en donde inhibe su crecimiento.

A continuación, se detallan las medias obtenidas para realizar su respectivo análisis estadístico de la variable pH.

**Tabla 41:** Valores de pH de hojuelas osmodeshidratadas de melocotón.

Tratamientos	pH			Σ TOTAL	Media
	R1	R2	R3		
T1	4,4	4,4	4,36	13,16	4,39
T2	4,36	4,43	4,39	13,18	4,39
T3	3,7	3,65	3,66	11,01	3,67
T4	3,6	3,51	3,51	10,62	3,54
T5	3,59	3,61	3,63	10,83	3,61
T6	3,55	3,55	3,57	10,67	3,56
T7	3,53	3,52	3,62	10,67	3,56
T8	3,56	3,55	3,55	10,66	3,55
T9	4,43	4,35	4,48	13,26	4,42
T10	3,59	3,60	3,59	10,78	3,59
T11	3,89	4,29	3,84	12,02	4,01
T12	4,22	4,23	4,31	12,76	4,25

Tabla 42: Análisis de varianza de pH

Resultados para el Análisis de Varianza (ADEVA)						
F.V	SC	GL	CM	F. cal	F. Tab 5%	F. Tab 1%
<b>Total</b>	4,95	35				
<b>Trata.</b>	4,79	11	0,44	68,47**	2.22	3.10
<b>A</b>	1,75	2	0,88	137,54**	3.40	5.61
<b>B</b>	0,48	1	0,48	74,81**	4.26	7.82
<b>C</b>	0,14	1	0,14	22,69**	4.26	7.82
<b>A*B</b>	1,42	2	0,71	111,62**	3.40	5.61
<b>B*C</b>	0,24	1	0,24	38,24**	4.26	7.82
<b>A*C</b>	0,12	2	0,06	9,56**	3.40	5.61
<b>A*B*C</b>	0,64	2	0,32	50,01**	3.40	5.61
<b>Error</b>	0,15	24	0.006			

CV: 2.06%

\*\* : Alta significancia

\* : Significancia

NS: no significancia

Al realizar el análisis de varianza efectuado para la variable pH en las hojuelas de melocotón *Prunus pérsica* osmodeshidratadas, se observa que existe alta significación estadística para tratamientos, para el **factor A** (concentraciones de CaCl<sub>2</sub>), **factor B** (temperatura °C), **factor C** (velocidad de aire de secado), en la interacción **A\*B** (concentraciones de CaCl<sub>2</sub> y temperatura °C), interacción **B\*C** (temperatura °C y velocidad de aire de secado), interacción **A\*C** (concentraciones de CaCl<sub>2</sub> y velocidad de aire de secado) y en la interacción **A\*B\*C** (concentraciones de CaCl<sub>2</sub>, temperatura de deshidratación y velocidad de aire de secado) de tal manera que la variable pH del producto final depende tanto de las concentraciones de CaCl<sub>2</sub>, temperatura de deshidratación y velocidad de aire de secado.

Se trabaja con un coeficiente de variación de 2.06 % valor aceptable dentro de este tipo de investigaciones, puesto que se ejecutan en condiciones controladas en el laboratorio. Luego se realiza las pruebas correspondientes de Tukey para tratamientos, Diferencia Mínima Significativa para los factores y las correspondientes gráficas de interacción.

**Tabla 43:** Prueba de Tukey para tratamientos variable pH.

Tratamientos	Medias	Tukey
<b>T4</b>	3,54	a
<b>T8</b>	3,55	a
<b>T6</b>	3,56	a
<b>T7</b>	3,56	a
<b>T10</b>	3,59	a
<b>T5</b>	3,61	a
<b>T3</b>	3,67	a
<b>T11</b>	4,01	b
<b>T12</b>	4,25	c
<b>T1</b>	4,39	c
<b>T2</b>	4,39	c
<b>T9</b>	4,42	c

Para este tipo de investigación se realizó pruebas de significación TUKEY al 5%, para determinar los mejores tratamientos analizados con respecto a la variable pH después del proceso de secado, encontrándose significación estadística en los doce rangos con un comportamiento diferente, se representa como mejor media al tratamiento con el rango “a”, en este caso se determinó como mejores tratamientos al **T4, T8, T6** ya que presentan menor disminución de pH, en la composición del producto terminado.

**Tabla 44:** Prueba de DMS para los factores A de la variable pH

Rangos para el factor (A)		
Tratamientos	Medias	DMS
<b>A2</b>	3,57	a
<b>A1</b>	4,00	b
<b>A3</b>	4,07	b

En la prueba de Diferencia Mínima Significativa al 5% para el factor A, se puede observar como A2 (2.5% de CaCl<sub>2</sub>), presentan la mayor media y corresponden al rango “a”, lo que significa que en esta concentración de CaCl<sub>2</sub> es en donde más influye el menor contenido de pH del producto final.

**Tabla 45:** Prueba de DMS para los factores B de la variable pH

Rangos para el factor (B)		
Tratamientos	Medias	DMS
<b>B2</b>	3,76	a
<b>B1</b>	3,99	b

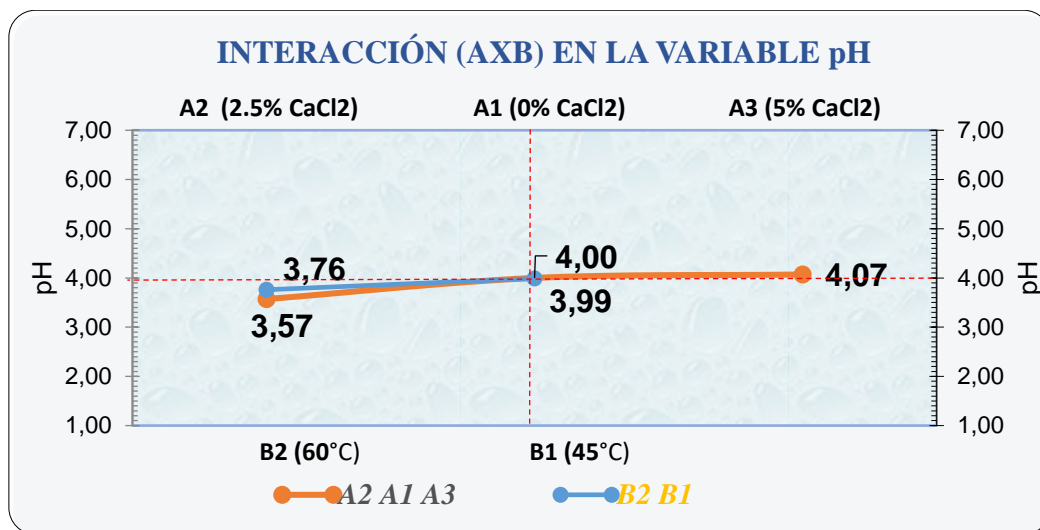


En la prueba de Diferencia Mínima Significativa al 5% para el factor B, se puede observar que B2 (temperatura 60°C), presentan la mayor media y corresponden al rango “a”, lo que significa que en esta temperatura es en donde más influye en el menor contenido de pH del producto final.

**Tabla 46:** Prueba de DMS para los factores C de la variable pH

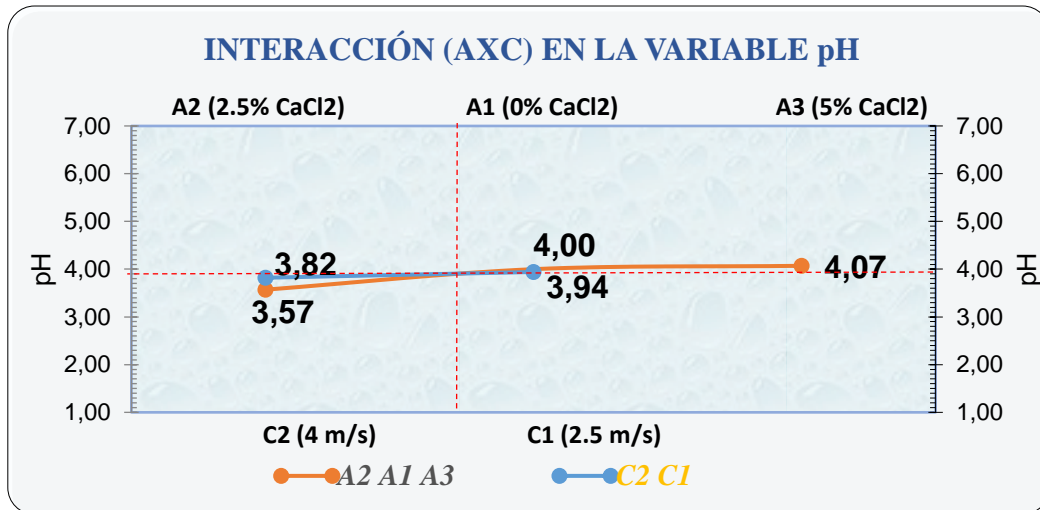
Rangos para el factor (C)		
Tratamientos	Medias	DMS
C2	3,82	a
C1	3,94	b

En la prueba de Diferencia Mínima Significativa al 5% para el factor C, se observa que C2 (velocidad de secado 4 m/s), presentan la mayor media y corresponden al rango “a”, determinando que esta velocidad de aire influye el menor contenido de pH en el producto final.



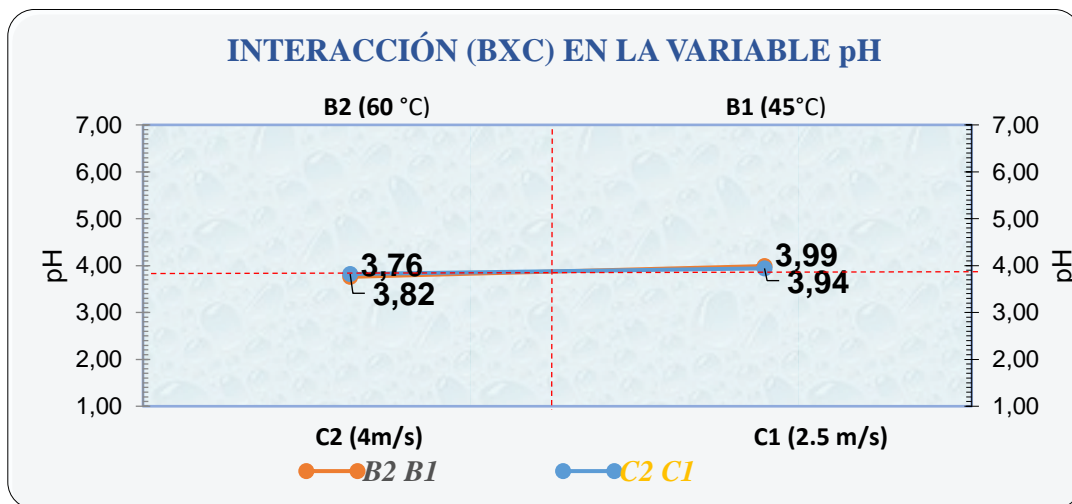
**Gráfico 45:** Interacción de los factores A (Concentraciones de CaCl2) y B (temperatura °C) en la variable pH.

En el gráfico 45, se observa que el punto crítico de la interacción entre los factores A (concentración de CaCl2) y B (temperatura °C) en la variable pH del producto terminado es 4.0. Es decir, que en este valor es donde interactúa directamente entre el nivel A1 (0% en la concentración de CaCl2) y B1 (temperatura de 45 °C).



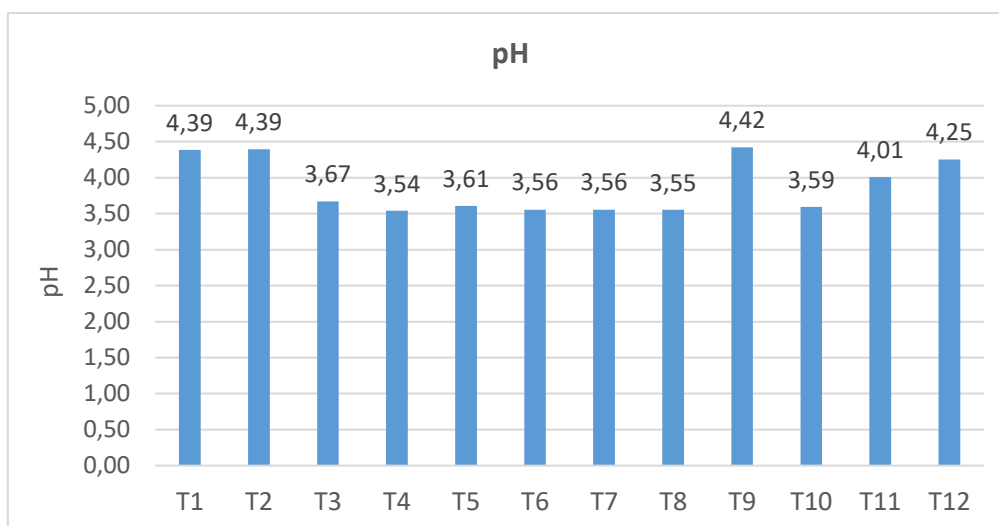
**Gráfico 46:** Interacción de los factores A (Concentraciones de CaCl<sub>2</sub>) y C (Velocidad de aire) en la variable pH.

En el gráfico 46, se observa que el punto crítico de la interacción entre los factores A (concentración de CaCl<sub>2</sub>) y C (velocidad del aire de secado) en la variable pH del producto terminado es 3.9. Es decir, que en este valor es donde interactúa directamente entre el nivel A1 (0% en la concentración de CaCl<sub>2</sub>) y C1 (velocidad del aire de 2.5 m/s).



**Gráfico 47:** Interacción de los factores B (temperatura °C) y C (Velocidad de aire) en la variable pH.

En el gráfico 47, se observa que el punto crítico de la interacción entre los factores B (temperatura °C) y C (velocidad del aire de secado) en la pH del producto terminado es 3.99. Es decir, que en estos valores interactúan directamente las temperaturas de 60°C y 45°C junto con las velocidades del aire de secado de 4m/s y 2.5m/s.



**Gráfico 48:** Representación gráfica de la variable pH de hojuelas osmodeshidratadas de melocotón.

En el gráfico 48, se puede observar que el **T4** es el tratamiento que menor contenido de pH presenta con un valor de 3.54 con relación a los demás tratamientos, seguido del tratamiento **T8** con 3.55 y **T6** con 3.56 que son los tratamientos que presentaron menor contenido de pH con respecto a la composición del producto terminado, en donde influyó las concentraciones de cloruro de calcio 0% y 2.5% y 5%, temperatura de 45 °C y 60°C, y la velocidad de air de 4m/s. También la composición de la fruta influyó a lo largo del proceso de deshidratación osmótica, en estado fresco la fruta contiene 3.57 en pH.

Durante el proceso de secado se produce una disminución en la acidez de la fruta por lo que hay una fracción de ácidos que se esterifican y pueden formar sales, esto hace que se neutralicen y por lo tanto la acidez baje. (Sagñay, 2009). Los microorganismos tienen un pH óptimo para su desarrollo, cuando los microorganismos patógenos se encuentran en un medio ácido (pH <4.5) habitualmente inhiben su crecimiento. (Salas-Salvado, 2008)

Dentro de esta investigación los valores obtenidos en todos los tratamientos presentaron una mayor influencia con respecto a las concentraciones de cloruro de calcio, las temperaturas y las velocidades de aire de secado con respecto a la variable pH encontrándose bajo el rango (pH <4.5), en donde de acuerdo al departamento de Agricultura de la FAO determina que disminuir el pH debajo de 4,2 es una forma efectiva de lograr la inocuidad de algunos alimentos debido a la alta sensibilidad al pH de las bacterias patógenas.

## 4.5 HUMEDAD EN PRODUCTO TERMINADO

Para la determinación del porcentaje de humedad se coloca la muestra de 1gr en una balanza infrarroja la cual arroja el porcentaje de humedad presente en el producto.

En el siguiente cuadro se detallan el análisis estadístico de la variable humedad en el producto terminado.

**Tabla 47:** Valores de la humedad (%) de hojuelas osmodeshidratadas de melocotón.

Tratamientos	Humedad (%)			$\Sigma$ TOTAL	Media
	R1	R2	R3		
T1	7,12	6,08	7,09	20,29	6,76
T2	6,32	4,71	5,03	16,06	5,35
T3	5,39	5,02	4,65	15,06	5,02
T4	5,52	7,44	5,54	18,50	6,17
T5	4,51	5,63	4,99	15,13	5,04
T6	6,65	5,55	6,24	18,44	6,15
T7	6,49	5,59	6,04	18,12	6,04
T8	6,25	5,15	6,00	17,40	5,80
T9	6,67	5,01	5,23	16,91	5,64
T10	5,99	5,25	5,53	16,77	5,59
T11	6,11	6,41	5,46	17,98	5,99
T12	5,93	6,06	6,07	18,06	6,02

**Tabla 48:** Análisis de varianza de Humedad (%)

Resultados para el Análisis de Varianza (ADEVA)						
F.V	SC	GL	CM	F. cal	F. Tab 5%	F. Tab 1%
<b>Total</b>	17,9	35				
<b>Trata.</b>	8,33	11	0,76	1,9 ns	2.22	3.10
<b>A</b>	0,03	2	0,02	0,04 ns	3.40	5.61
<b>B</b>	0,06	1	0,06	0,16 ns	4.26	7.82
<b>C</b>	0,08	1	0,08	0,21 ns	4.26	7.82
<b>A*B</b>	1,37	2	0,68	1,71 ns	3.40	5.61
<b>B*C</b>	0,41	1	0,41	1,04 ns	4.26	7.82
<b>A*C</b>	0,53	2	0,26	0,66 ns	3.40	5.61
<b>A*B*C</b>	5,85	2	2,92	7,33**	3.40	5.61
<b>Error</b>	9,57	24	0,4			

CV: 10.04%

\*\* : Alta significancia

\* : Significancia

NS : no significancia

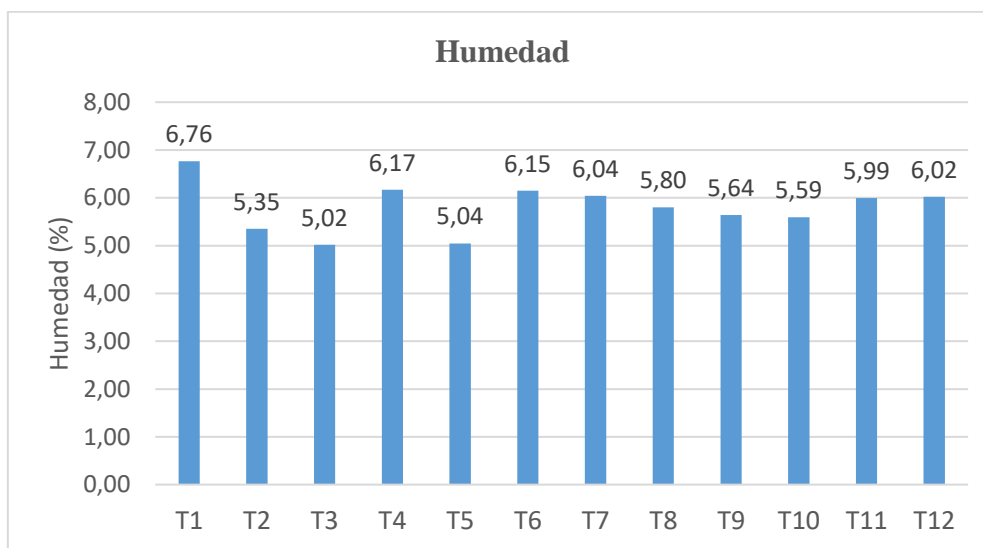
Al realizar el análisis de varianza efectuado para la variable Humedad en las hojuelas de melocotón *Prunus pérsica* osmodeshidratadas, se observa que no existe significación estadística para tratamientos ni para los diferentes factores y sus interacciones, pero si existe alta significación estadística en la interacción **A\*B\*C** (concentraciones de CaCl<sub>2</sub>, temperatura de deshidratación y velocidad de aire de secado) de tal manera que la variable Humedad del producto final depende tanto de las concentraciones de CaCl<sub>2</sub>, temperatura de deshidratación y velocidad de aire de secado.

Se trabaja con un coeficiente de variación de 10.04 % el cual es un valor aceptable para este tipo de investigación realizada en condiciones controladas de laboratorio, este valor se debe a los cambios de temperatura en el ambiente y a los tiempos en el proceso de osmosis y secado durante la fase experimental, otros factores que pudieron influir son durante el proceso de escurrimiento y el almacenamiento de las muestras previo al análisis. Luego se realiza las pruebas correspondientes de Tukey al 5% para tratamientos y Diferencia mínima significativa para los factores.

**Tabla 49** Prueba de tukey para tratamientos de la variable humedad (%).

<b>Tratamientos</b>	<b>Medias</b>	<b>Tukey</b>
<b>T1</b>	6,76	a
<b>T4</b>	6,17	a
<b>T6</b>	6,15	a
<b>T7</b>	6,04	a
<b>T12</b>	6,02	a
<b>T11</b>	5,99	a
<b>T8</b>	5,80	a
<b>T9</b>	5,64	a
<b>T10</b>	5,59	a
<b>T2</b>	5,35	a
<b>T5</b>	5,04	a
<b>T3</b>	5,02	a

Para este tipo de investigación se realizó pruebas de significación TUKEY al 5%, para determinar los mejores tratamientos analizados con respecto a la variable Humedad después del proceso de secado, encontrándose significación estadística en los doce rangos pero con un mínimo diferencia estadística, representando con las mejores medias a los tratamientos con el rango “a”, en este caso se determinó como mejor tratamiento al **T7**, **T12** , **T11** y **T8**, ya que están dentro del rango de humedad máxima en productos deshidratados respondiendo tanto al proceso de pre-tratamiento osmótico y al proceso de secado.



**Gráfico 49:** Representación gráfica de la variable Humedad (%) de hojuelas osmodeshidratadas de melocotón.

En el gráfico 49, se puede observar el valor de las medias de los doce tratamientos de la investigación, la humedad debe mantenerse dentro de un rango que no exceda el 6.00% de humedad como indica la norma en alimentos deshidratados, los mejores tratamientos son los que se con su media se acerca al valor de 6.00% de humedad, son el **T7**, **T12**, **T11** y **T8**, tratamientos en los que influye las mayores concentraciones de cloruro de calcio 2.5% y 5%, temperatura de 60°C y las velocidades de aires de 2.5 m/s y 4m/s.

Los resultados fueron comparados con la norma INEN 2996, para productos deshidratados, tomando los límites de humedad de zanahoria (6 % m/m) a temperatura de 60°C como temperatura máxima, por lo cual la humedad obtenida con respecto a las hojuelas osmodeshidratadas de melocotón se encuentra dentro de los límites establecidos en dicha norma.

La utilización del pretratamiento osmótico con el factor (concentraciones de cloruro de calcio a mayores concentraciones 2.5% y 5%), en esta investigación permitió reducir el contenido de agua libre en un 41% y 47%, juntamente con el proceso de secado por aire caliente con los factores (temperaturas y velocidades de aire de secado) que también tuvieron influencia para la pérdida de humedad libre, obteniendo como resultado 6.04 % en el contenido de humedad del producto final.

Resultados similares se observa en la investigación realizada por (Espinoza, Landaeta, Méndez, & Nuñez., 2006) en donde hubo un descenso en el porcentaje de humedad en las mitades de fruta osmodeshidratadas sometidas a los tres niveles de  $\text{CaCl}_2$ , encontrándose que las mitades sumergidas en la solución osmótica con 5%  $\text{CaCl}_2$ , por las primeras 8 horas de deshidratación resultaron con un porcentaje de pérdida de humedad de aproximadamente 29 %, en comparación con las mitades sumergidas en las soluciones con niveles de 1 y 3 %  $\text{CaCl}_2$ , con una pérdida de humedad de aproximadamente 24 %. En la investigación de Zapata-Montoya, (2002) realizaron un experimento para optimizar la relación jarabe/fruta y la concentración de una mezcla de sacarosa y cloruro de calcio (para la deshidratación osmótica de láminas de papaya hawaiana (Carica papaya) se observa que la pérdida de humedad dependió significativamente de la sacarosa, del  $\text{CaCl}_2$  y de la relación jarabe/fruta, todos con efectos positivos sobre la pérdida de humedad, además se observó un efecto positivo del término cúbico del  $\text{CaCl}_2$ .

#### **4.6 ACTIVIDAD DE AGUA ( $A_w$ ) EN PRODUCTO TERMINADO**

Para la obtención de la variable actividad de agua se tomó 1gr de muestra seca del producto, colocándola en un equipo  $A_w$ -WERT-MESSER durante dos horas para cada uno de los tratamientos, entre menor sea el valor de actividad de agua, la conservación del producto será mayor.

A continuación, se describen los valores medidos para su respectivo análisis estadístico.

**Tabla 50:** Actividad de agua de hojuelas osmodeshidratadas de melocotón.

Tratamientos	Aw			Σ TOTAL	Media
	R1	R2	R3		
T1	0,71	0,70	0,72	2,13	0,71
T2	0,72	0,70	0,70	2,12	0,71
T3	0,63	0,64	0,63	1,90	0,63
T4	0,63	0,64	0,65	1,92	0,64
T5	0,63	0,62	0,64	1,89	0,63
T6	0,64	0,63	0,64	1,91	0,64
T7	0,63	0,63	0,62	1,88	0,63
T8	0,54	0,55	0,54	1,63	0,54
T9	0,67	0,66	0,68	2,01	0,67
T10	0,63	0,63	0,62	1,88	0,63
T11	0,53	0,54	0,53	1,60	0,53
T12	0,53	0,52	0,52	1,57	0,52

**Tabla 51:** Análisis de varianza de actividad de agua Aw

Resultados para el Análisis de Varianza (ADEVA)						
F.V	SC	GL	CM	F. cal	F. Tab 5%	F. Tab 1%
<b>Total</b>	0,13	35				
<b>Trata.</b>	0,12	11	0,01	175,76**	2.22	3.10
<b>A</b>	0,05	2	0,02	363,17**	3.40	5.61
<b>B</b>	0,06	1	0,06	876,7**	4.26	7.82
<b>C</b>	0,004	1	0,004	62,78**	4.26	7.82
<b>A*B</b>	0,01	2	0,0039	60,3**	3.40	5.61
<b>B*C</b>	0,00054	1	0,00054	8,52**	4.26	7.82
<b>A*C</b>	0,0023	2	0,0011	17,78**	3.40	5.61
<b>A*B*C</b>	0,01	2	0,0033	51,43**	3.40	5.61
<b>Error</b>	0,0015	24	0,000064			

**CV:** 2.28%

\*\* : Alta significancia

\* : Significancia

NS: no significancia

Al realizar el análisis de varianza efectuado para la variable Aw en las hojuelas de melocotón *Prunus pérsica* osmodeshidratadas, se observa que existe alta significación estadística para tratamientos, para el **factor A** (concentraciones de CaCl<sub>2</sub>), **factor B** (temperatura °C), **factor C** (velocidad de aire de secado), en la interacción **A\*B** (concentraciones de CaCl<sub>2</sub> y temperatura °C), interacción **B\*C** (temperatura °C y velocidad de aire de secado), interacción **A\*C** (concentraciones de CaCl<sub>2</sub> y velocidad de aire de secado) y en la interacción **A\*B\*C** (concentraciones de CaCl<sub>2</sub>, temperatura de



deshidratación y velocidad de aire de secado) de tal manera que la variable Actividad de agua del producto final depende tanto de las concentraciones de CaCl<sub>2</sub>, temperatura de deshidratación y velocidad de aire de secado.

Se trabaja con un coeficiente de variación de 2.28 %, valor aceptable dentro de este tipo de investigaciones, puesto que se ejecutan en condiciones controladas en el laboratorio. Luego se realiza las pruebas correspondientes de Tukey para tratamientos, Diferencia Mínima Significativa para los factores y las correspondientes gráficas de interacción.

**Tabla 52:** Prueba de tukey para tratamientos de la variable Aw

Tratamientos	Medias	Tukey
<b>T12</b>	0,52	a
<b>T11</b>	0,53	a
<b>T8</b>	0,54	a
<b>T7</b>	0,63	b
<b>T10</b>	0,63	b
<b>T5</b>	0,63	b
<b>T3</b>	0,63	b
<b>T6</b>	0,64	b
<b>T4</b>	0,64	b
<b>T9</b>	0,67	c
<b>T2</b>	0,71	d
<b>T1</b>	0,71	d

Para este tipo de investigación se realizó pruebas de significación TUKEY al 5%, para determinar los mejores tratamientos analizados con respecto a la variable Actividad de agua después del proceso de secado, encontrándose significación estadística en los doce rangos pero con una mínima diferencia estadística, representando con las mejores medias a los tratamientos con el rango “a”, en este caso se determinó como mejor tratamiento al **T12** (5% de CaCl<sub>2</sub>, 60°C, 4 m/s), **T11** (5% de CaCl<sub>2</sub>, 60°C, 2.5 m/s) y **T8** (2.5% de CaCl<sub>2</sub>, 60°C, 4 m/s), ya que está dentro del rango de actividad de agua máxima en productos deshidratados respondiendo tanto al proceso de pre-tratamiento osmótico y al proceso de secado.

**Tabla 53:** Prueba de DMS para los factores A de la variable Actividad de agua (Aw).

Rangos para el factor (A)		
Tratamientos	Medias	DMS
<b>A3</b>	0,59	a
<b>A2</b>	0,61	b
<b>A1</b>	0,67	c

En la prueba de significación Diferencia Mínima Significativa al 5% para el factor A, se puede observar que A3 (5% de CaCl<sub>2</sub>) presenta la mayor media y corresponden al rango “a”, lo que significa que esta concentración de CaCl<sub>2</sub> influye en el menor contenido de actividad de agua del producto final.

**Tabla 54:** Prueba de DMS para los factores B de la variable Actividad de agua (Aw).

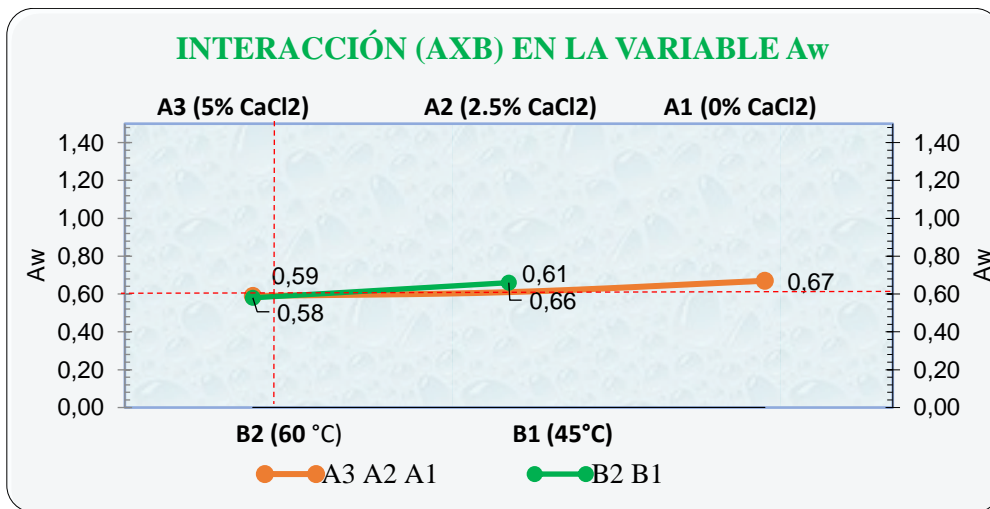
Rangos para el factor (B)		
Tratamientos	Medias	DMS
B2	0,58	a
B1	0,66	b

Al realizar Diferencia Mínima Significativa al 5% para el factor B, se observa que B2 (temperatura 60°C) presenta la mayor media y corresponden al rango “a”, lo que significa que esta temperatura influye en el menor contenido de actividad de agua del producto final.

**Tabla 55:** Prueba de DMS para los factores C de la variable Actividad de agua (Aw).

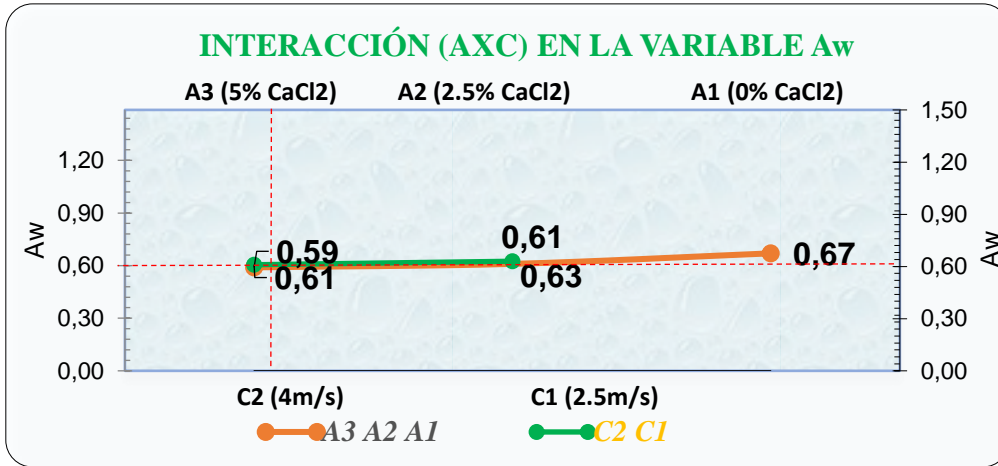
Rangos para el factor (C)		
Tratamientos	Medias	DMS
C2	0,61	a
C1	0,63	b

En la prueba de Diferencia Mínima Significativa al 5% para el factor C, se observa que C2 (velocidad de secado 4 m/s), presentan la mayor media y corresponden al rango “a”, determinando que en esta velocidad de aire influye en el menor contenido de actividad de agua del producto final.



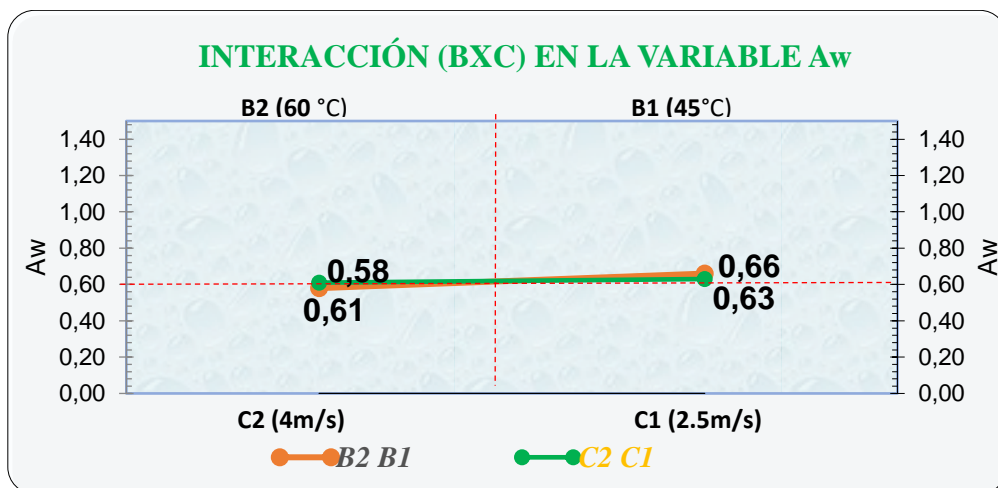
**Gráfico 50:** Interacción de los factores A (Concentraciones de CaCl<sub>2</sub>) y B (temperatura °C) en la variable Actividad de agua (Aw).

En el gráfico 50, se observa que el punto crítico de la interacción entre los factores A (concentración de CaCl<sub>2</sub>) y B (temperatura °C) en la variable Actividad de agua (Aw) del producto terminado es 0.60. Es decir, que en este valor es donde interactúa directamente entre el nivel A3 (5% en la concentración de CaCl<sub>2</sub>) y B2 (temperatura de 60°C).



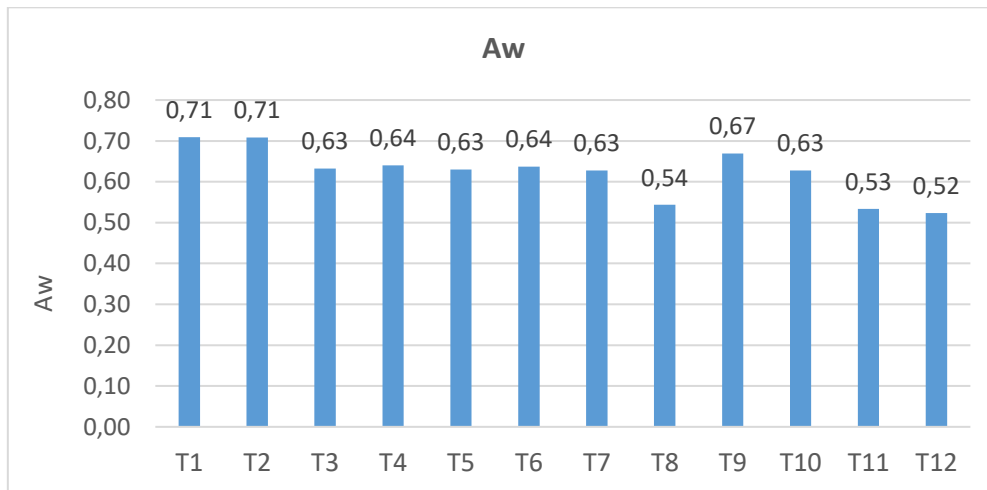
**Gráfico 51:** Interacción de los factores A (Concentraciones de CaCl<sub>2</sub>) y C (Velocidad de aire) en la variable Actividad de agua (Aw).

En el gráfico 51, se observa que el punto crítico de la interacción entre los factores A (concentración de CaCl<sub>2</sub>) y C (velocidad del aire de secado) en la variable Actividad de agua (Aw) del producto terminado es 0.60. Es decir, que en este valor es donde interactúa directamente entre los niveles de 5% y 2.5% en la concentración de CaCl<sub>2</sub> junto con los niveles de velocidad de aire de secado de 4 m/s y 2.5 m/s.



**Gráfico 52:** Interacción de los factores B (temperatura °C) y C (Velocidad de aire) en la variable Actividad de agua (Aw).

En el gráfico 52, se observa que el punto crítico de la interacción entre los factores B (temperatura °C) y C (velocidad del aire de secado) en la variable Actividad de agua ( $A_w$ ) del producto terminado es 0.60. Es decir, que en este valor es donde interactúa directamente entre las temperaturas de 60 y 45 °C junto con los niveles de velocidad de aire de secado de 4 m/s y 2.5 m/s.



**Gráfico 53:** Representación gráfica de la variable Actividad de agua ( $A_w$ ) de hojuelas osmohidratadas de melocotón.

En la gráfica 53, se puede observar que el tratamiento **T12** presenta el menor contenido de actividad de agua con un valor de 0.52 en relación con los demás tratamientos, seguido de los tratamientos **T11** con 0.53 y del **T8** con 0.54, tratamientos en los cuales influye las mayores concentraciones de cloruro de calcio 2.5% y 5%, temperatura de 60°C y las velocidades de aires de 2.5 m/s y 4m/s, para mantenerse bajo los requerimiento de  $A_w$  para la conservación de los alimentos, a diferencia del resto de tratamientos que presentaron valores mayores a 0.6.

Los alimentos deshidratados con una actividad de agua menor a 0.6, son microbiológicamente estables; la vida útil de estos alimentos no está limitada por el deterioro microbiano, siempre y cuando permanezcan secos. (Ceballos Ortiz & Jiménez Munguía, 2012)

El departamento de Agricultura de la FAO determina que, para conservar un alimento utilizando como factor de estrés sólo la reducción de  $A_w$ , este debería disminuirse a 0,60

para controlar no sólo el crecimiento microbiano sino también otras reacciones de deterioro.

La aplicación de una sal osmodeshidratadora como el cloruro de calcio permite bajar los niveles de contenido de  $A_w$  lo que es favorable para estabilizar el alimento y evitar alteraciones microbiológicas, de acuerdo a la investigación realizada por (Espinoza, Landaeta, Méndez, & Nuñez., 2006) en donde resultados similares se observó un descenso de la  $A_w$  en las mitades de fruta osmodeshidratadas sometidas a los tres niveles de  $CaCl_2$  (1, 3, y 5 %), encontrándose que las mitades presentaron un descenso lineal de la  $A_w$  con un valor aproximado de 0,92 para los tres tratamientos, disminuyendo la  $A_w$  de las mitades a un valor de aproximadamente 0,85. A esta  $A_w$  las mitades de duraznos se consideran un alimento de humedad intermedia, donde no hay crecimiento bacteriano y el pardeamiento enzimático es disminuido.

La concentración del tipo de agente osmodeshidratante y el tamaño de las piezas del alimento que se procesará, favorece la pérdida de contenido de actividad de agua, disminuyendo el período de exposición.

El contenido de actividad de agua también está relacionado con la textura de los alimentos, si el contenido de actividad de agua aumenta, la textura cambia, produciéndose el reblandecimiento del producto terminado, y cuando el contenido de actividad de agua es muy bajo el producto terminado es quebradizo.

## 4.7 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL PRODUCTO TERMINADO

**Tabla 56:** Variables Independientes vs Variables Dependientes

VARIABLES INDEPENDIENTES				VARIABLES DEPENDIENTES			
Tratamientos	A Concentraciones de CaCl <sub>2</sub> .	B °T de deshidratación	C Velocidad del aire de secado	°Brix	Aw	PH	Humedad
T1	0%	45°C	2.5m/s	84,72	0,71	4,39	6,76
T2			4m/s	84,47	0,71	4,39	5,35
T3	2.5%	60°C	2.5m/s	86,36	0,63	3,67	5,02
T4			4m/s	79,30	0,64	3,54	6,17
T5	5%	45°C	2.5m/s	76,89	0,63	3,61	5,04
T6			4m/s	77,37	0,64	3,56	6,15
T7	60°C	2.5m/s	76,60	0,63	3,56	6,04	
T8			4m/s	78,93	0,54	3,55	5,80
T9	4m/s	45°C	2.5m/s	85,52	0,67	4,42	5,64
T10			72,57	0,63	3,59	5,59	
T11	60°C	2.5m/s	83,73	0,53	4,01	5,99	
T12			4m/s	81,21	0,52	4,25	6,02

Para la evaluación de la calidad del producto terminado se realizó un análisis físicoquímico a las hojuelas de melocotón osmodeshidratado, en donde se comparó los resultados obtenidos por cada tratamiento y se determinó a los tratamientos que se encontrarán dentro del rango para las hojuelas de melocotón osmodeshidratadas, y fueron los tratamientos T8 (2.5% de CaCl<sub>2</sub>, 60°C, 4m/s), T11 (5% de CaCl<sub>2</sub>, 60°C, 2.5m/s) y T12 (5% de CaCl<sub>2</sub>, 60°C, 4m/s) por que presentaron mejor resultado con respecto a un bajo contenido de Aw, bajo pH, presentaron ganancia de sólidos solubles y se mantienen dentro del rango de humedad de acuerdo a la norma NTE INEN 2996; para productos deshidratados. Zanahoria, zapallo, uvilla.

## 4.8 ANÁLISIS ORGANOLÉPTICO

Las variables cualitativas analizadas fueron color, aroma, sabor, textura y aceptabilidad. El análisis sensorial se realizó en todos los análisis con un panel de 12 degustadores, conformado por 12 estudiantes de la Universidad Técnica del Norte, utilizando fichas de evaluación organoléptica.

#### 4.8.1 COLOR

**Tabla 57:** Rangos del color

TRATAMIENTOS												
COLOR	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
$\sum$	96	77	80,5	67,5	58,5	60	75	76	110,5	64	100	71
$\sum^2$	9216	5929	6480,25	4556,25	3422,25	3600	5625	5776	12210,25	4096	10000	5041
X	8,00	6,42	6,71	5,63	4,88	5,00	6,25	6,33	9,21	5,33	8,33	5,92

Para la evaluación de los datos registrados, se aplicó la prueba no paramétrica de Friedman, donde:

Ecuación Friedman: 
$$x^2 = \frac{12}{rxt(t+1)} \sum R^2 - 3r(t+1)$$

K= tratamientos 
$$X^2 = \frac{12}{12(12)} \cdot (75952) - 3(12)(13)$$

r= degustadores 
$$12(12)(12+1)$$

R= rangos 
$$X^2 = 18.87$$

➤ **Valor tabulado de Friedman**

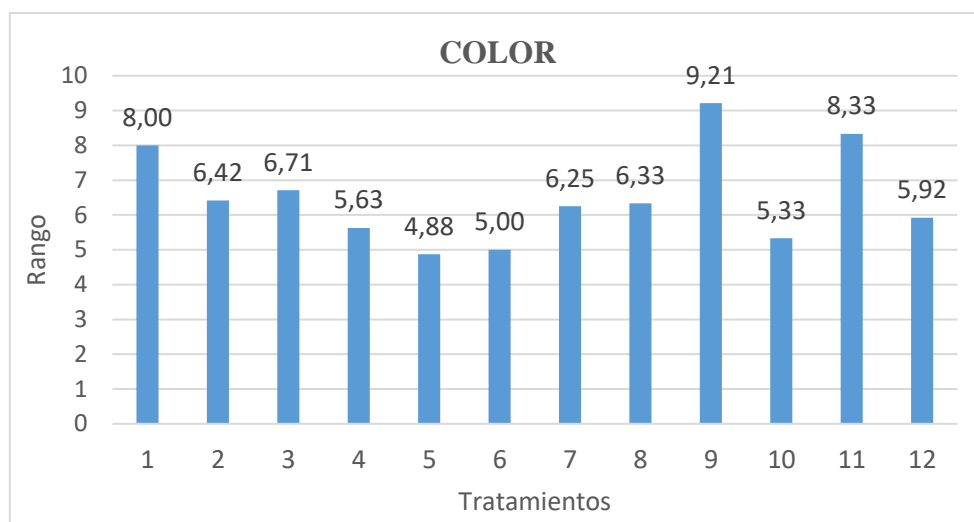
GL= (T-1)

GL=11

**Tabla 58.** Valor tabulado de Friedman para Color.

Variable Cualitativa	X <sup>2</sup> Calculado	X <sup>2</sup> Tabulado	
		5%=	1%=
<b>Color</b>	18.87 ns	19.67	24.72

No existe significancia estadística en la variable color entre el X<sup>2</sup> Calculado y el X<sup>2</sup> Tabulado, con respecto a los doce tratamientos es decir que no presentan mayor diferencia entre ellos, excepto los tres primero que tuvieron mayor aceptabilidad a la vista de los panelistas.



**Gráfico 54:** Promedio de color por tratamiento

Una vez realizado un promedio sobre las valoraciones en función de la escala descriptiva medida se determinó que los tratamientos con mayor puntuación fueron el **T9** con 9,21, seguido por **T11** con 8,33 y el **T1** con 8,00, ya que presentaron colores muy claros, ligeramente claro o colores igual a la muestra estándar, a diferencia del resto de tratamientos que de acuerdo a su apariencia e intensidad del color obtuvieron menor puntaje al presentarse ligeramente oscuros, oscuros o con manchas de color extraño en las hojuelas de las fruta. (Ver tabla 16 y Anexo 6).

En la investigación de (Benamara y Chekroune, 2009) explica que el cambio de color observado puede ser debido a la alta concentración de azúcares en la fruta, tomando en cuenta la habilidad de estos compuestos para formar compuestos oscuros responsables de la alteración del color.

En otras investigaciones se encuentra como la velocidad de aire también está mayormente correlacionada con el oscurecimiento de las muestras (valores de Luminosidad más pequeños) para cualquier temperatura de secado (de 65 a 87°C). Esto puede deberse a los largo periodos del proceso y favoreciendo a las reacciones de Maillard (Ceballos Ortiz & Jiménez Munguía, 2012)

El efecto del cloruro de calcio y el proceso de secado sobre el color en las hojuelas osmodeshidratadas de melocotón, influyeron en los tratamientos que presentaron un mejores resultados con colores claros o iguales a las muestra estándar, debido a que en la



solución osmótica de la fruta contenía la mayor concentración de cloruro de calcio 5%, las temperaturas de 45°C y 60 °C y una baja velocidad de aire de 2.5m/s dentro del secador.

#### 4.8.2 AROMA

**Tabla 59:** Rangos de aroma

TRATAMIENTOS												
AROMA	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
$\sum$	74	75	79,5	81,5	67,5	70	78,5	85,5	79,5	92	70,5	82,5
$\sum 2$	5476	5625	6320,25	6642,25	4556,25	4900	6162,25	7310,25	6320,25	8464	4970,25	6806,25
$\bar{X}$	6,17	6,25	6,63	6,79	5,63	5,83	6,54	7,13	6,63	7,67	5,88	6,88

Para la evaluación de los datos registrados, se aplicó la prueba no paramétrica de Friedman, donde:

Ecuación Friedman: 
$$x^2 = \frac{12}{rxt(t+1)} \sum R^2 - 3r(t+1)$$

K= tratamientos 
$$X^2 = \frac{12}{12} \cdot (73553) - 3(12) (13)$$

r= degustadores 
$$12(12) (12+1)$$

R= rangos 
$$X^2 = 3.49$$

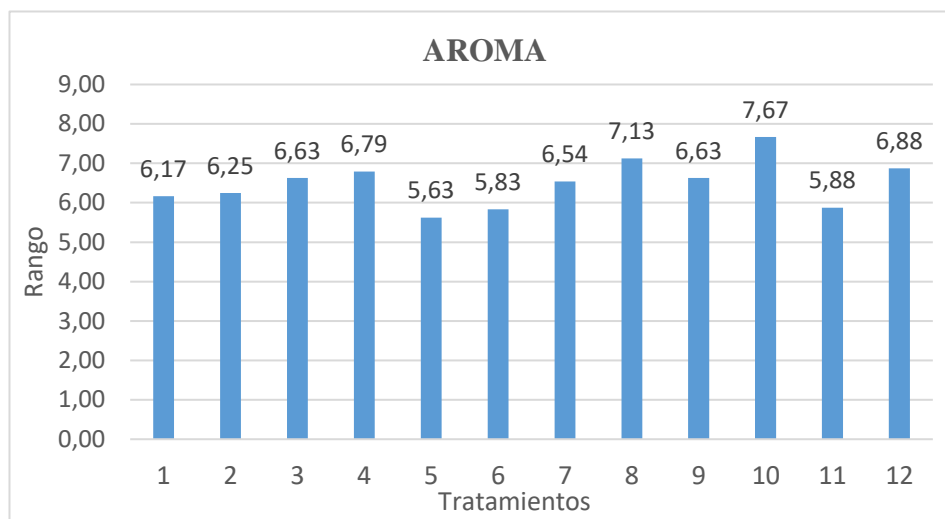
➤ **Valor tabulado de Friedman**

GL= (T-1)  
GL=11

**Tabla 60.** Valor tabulado de Friedman para Aroma

Variable Cualitativa	X <sup>2</sup> Calculado	X <sup>2</sup> Tabulado	
		5%=	1%=
<b>Aroma</b>	3.49 ns	19.67	24.72

No existe significancia estadística en la variable olor entre el X<sup>2</sup> Calculado y el X<sup>2</sup> Tabulado con respecto a los doce tratamientos es decir que no presentan mayor diferencia entre ellos, excepto los tres primero que tuvieron mayor aceptabilidad en el sentido de los panelistas.



**Gráfico 55:** Promedio de Aroma por tratamientos

De acuerdo a las valoraciones en función del tipo de escala hedónica medida con respecto a la variable aroma, se determinó que los tratamientos con mayor puntaje fueron el **T10** con 7,67, seguido por **T8** con 7,13 y el **T12** con 8,00, ya que estas muestras presentaron un aroma agradable, pero también se puede observar que no hay una mayor diferencia con el resto de tratamientos en esta variable cualitativa medida, ya que en general las muestras no presentaron aromas desagradable. Ver tabla 17.

A diferencia de un proceso de secado solo por aire caliente, a la aplicación de un pre-tratamiento osmótico combinado con un proceso de secado por aire caliente, procedimiento en el cual se conserva mejor las propiedades organolépticas de los alimentos, debido a que se expone a menor tiempo en el proceso de secado por aire caliente presentando mayor aceptabilidad con respecto al aroma característico de la fruta en estado fresco.

Una causa importante de las pérdidas de aroma debidas a la deshidratación la constituye la oxidación de los pigmentos, vitaminas y lípidos durante el almacenamiento, estas se producen durante la presencia de oxígeno, como consecuencia de la estructura porosa que se desarrolla durante la deshidratación. (Fellows, 2007). Una baja actividad de agua puede también ayudar a desorber las sustancias volátiles responsables del aroma. (Aguado, y otros, 2002)

El efecto del cloruro de calcio y el proceso de secado sobre el aroma en las hojuelas osmodeshidratadas de melocotón, influyeron en los tratamientos que presentaron un aroma agradable, en donde, en la solución osmótica en la fruta contenía la mayor concentración de cloruro de calcio 5%, las temperaturas de 45°C y 60 °C y una alta velocidad de aire de 4m/s dentro del secador.

### 4.8.3 SABOR

**Tabla 61:** Rangos de sabor

TRATAMIENTOS												
SABOR	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
$\Sigma$	104	79	90	78	91,5	80,5	65,5	87	76	62	66,5	63
$\Sigma^2$	10816	6241	8100	6084	8372,25	6480,25	4290,25	7569	5776	3844	4422,25	3969
$\bar{X}$	8,67	6,58	7,50	6,50	7,63	6,71	5,46	7,25	6,33	5,17	5,54	5,25

Para la evaluación de los datos registrados, se aplicó la prueba no paramétrica de Friedman, donde:

Ecuación Friedman: 
$$x^2 = \frac{12}{rxt(t+1)} \sum R^2 - 3r(t+1)$$

K= tratamientos 
$$X^2 = \frac{12}{12(12)(12+1)} \cdot (75964) - 3(12)(13)$$

r= degustadores 
$$12(12)(12+1)$$

R= rangos 
$$X^2 = 18.95$$

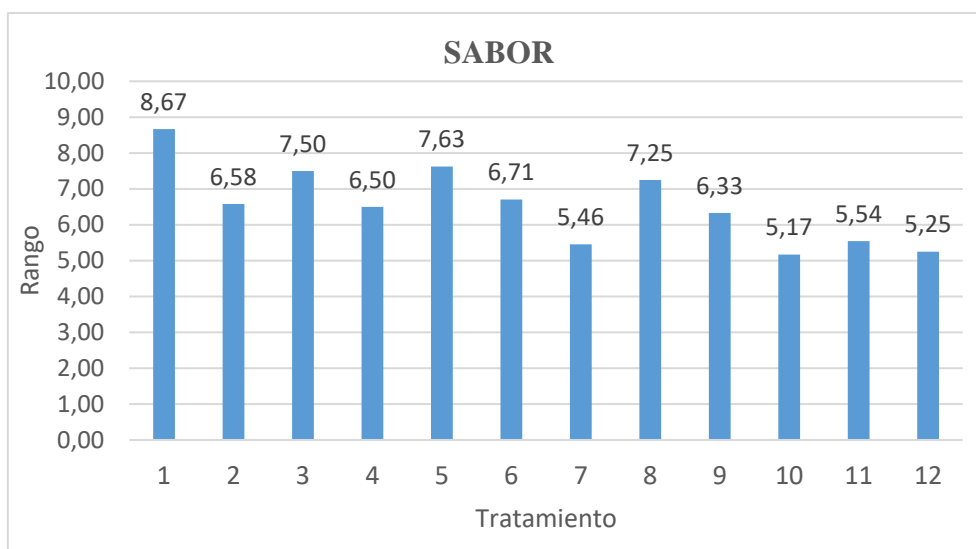
#### ➤ Valor tabulado de Friedman

GL= (T-1)  
GL=11

**Tabla 62.** Valor tabulado de Friedman para Sabor

Variable Cualitativa	X <sup>2</sup> Calculado	X <sup>2</sup> Tabulado	
		5%=	1%=
<b>Sabor</b>	18.95 ns	19.67	24.72

No existe significancia estadística en la variable sabor entre el X<sup>2</sup> Calculado y el X<sup>2</sup> Tabulado con respecto a los doce tratamientos es decir que no presentan mayor diferencia entre ellos, por tal motivo se procedió a comparar las medias para determinar los tres mejores tratamientos en esta variable.



**Gráfico 56:** Promedio de sabor por tratamientos

De acuerdo a las valoraciones medidas en función de una escala tipo hedónica con respecto a la variable sabor, se determinó que los tratamientos con mayor puntuación fue **T1** con 8,67, seguido por **T5** con 7,63, el **T3** con 7,50 y el **T8** con 7,25 ya que presentaron un sabor dulce característico al de la fruta, siendo muy agradables y agradables de acuerdo a los degustadores, a diferencia del resto de tratamientos que presentaron sabor poco agradable, desagradable o muy desagradable. Ver tabla 18.

(Fellows, 2007) indica que los atributos del sabor son el dulzor, el amargor y la acidez, pueden detectarse con concentraciones umbral muy bajas. Estos atributos se hallan esencialmente determinados por la composición de alimentos y no suele afectarles el proceso de elaboración.

De acuerdo a la investigación realizada por (Sanjinez, Branco, Takito, & Corbari, 2010) sobre la implementación de cloruro de calcio en el proceso osmodeshidratante, en relación al sabor, los resultados fueron significativamente diferentes, siendo preferidas las muestras con tratamiento osmótico. Este resultado puede ser atribuido al ingreso de la sacarosa para el interior de la fruta, tornando la muestra más dulce y menos ácida. La pérdida de acidez puede ser atribuida a la hidrólisis de los ácidos de la fruta, favoreciendo su aceptabilidad.

El efecto del cloruro de calcio y el proceso de secado sobre el sabor en las hojuelas osmodeshidratadas de melocotón, influyeron en los tratamientos que mantuvieron un sabor agradable debido a la concentración bajas de 0% y 2.5% de cloruro de calcio en la solución osmótica en la fruta, las temperaturas de 45°C y 60 °C y una baja velocidad de aire de 2.5m/s dentro del secador.

#### 4.8.4 TEXTURA (Dureza)

**Tabla 63:** Rangos de textura

TRATAMIENTOS												
SABOR	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
$\Sigma$	52,5	59,5	72	66	74	70,5	91,5	90,5	78,5	70,5	100	110,5
$\Sigma^2$	2756,25	3540,25	5184	4356	5476	4970,25	8372,25	8190,25	6162,25	4970,25	10000	12210,25
$\bar{X}$	4,38	4,96	6,00	5,50	6,17	5,88	7,63	7,54	6,54	5,88	8,33	9,21

Para la evaluación de los datos registrados, se aplicó la prueba no paramétrica de Friedman, donde:

Ecuación Friedman: 
$$x^2 = \frac{12}{rxt(t+1)} \sum R^2 - 3r(t+1)$$

K= tratamientos 
$$X^2 = \frac{12}{12(12)(12+1)} \cdot (76188) - 3(12)(13)$$

r= degustadores 
$$12(12)(12+1)$$

R= rangos 
$$X^2 = 20.38$$

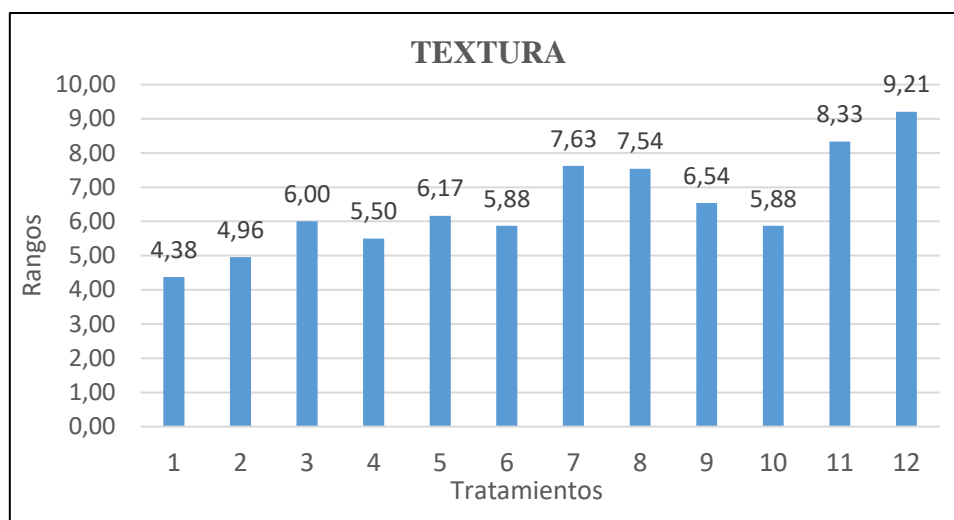
➤ **Valor tabulado de Friedman:**

GL= (T-1)  
GL=11

**Tabla 64.** Valor tabulado de Friedman para Textura.

Variable Cualitativa	Valor calculado	X <sup>2</sup> Tabulado	
		5%=	1%=
<b>Textura</b>	20.38 *	19.67	24.72

En la tabla anterior se observa que existe significancia estadística para la variable textura al 5% con respecto a los doce tratamientos, es decir, que si presentaron diferencia entre ellos, se procedió a comparar las medias para determinar los tres mejores tratamientos en esta variable.



**Gráfico 57:** Promedio de textura por tratamiento

Con respecto a las variables medidas en función del tipo de escala hedónica se obtuvo una leve diferencia entre los tratamientos por los panelistas, indicando una mayor aceptación en **T12** con 9.21, seguido por **T11** con 8.33, el **T7** con 7.63 y el **T8**, ya que presentaron una apariencia muy duro, bastante duro y moderadamente duro, a diferencia del resto de tratamientos en donde las hojuelas de melocotón se consideraron muy firme, moderadamente firme y ligeramente firme. Ver tabla 19.

En cuanto a la textura, existe un colapso en la estructura de las frutas y verduras deshidratadas debido a la remoción del agua y a un desbalance en la presión producida entre la parte interna y externa del material del alimento causando encogimiento, deformación, cambios en la porosidad y algunas veces fractura. (Ceballos Ortiz & Jiménez Munguía, 2012). En estudios realizados por (Boubekri et al.2010) Con dátiles se encontró una alta correlación entre la textura y el contenido de agua, donde se incrementa la firmeza linealmente con la pérdida de agua, y en esta investigación sobre la osmodeshidratación de hojuelas de melocotón con los tratamientos T12, T11 y T8 coinciden también en que presentaron bajo contenido de humedad con respecto a la norma INEN 2996, para productos deshidratados. Zanahoria, zapallo, uvilla.

El efecto del cloruro de calcio y el proceso de secado sobre la textura (dureza) en las hojuelas osmodeshidratadas de melocotón, influyeron en los tratamientos que presentaron mejores resultados debido a que contenían concentraciones altas de 2.5% y 5% de cloruro

de calcio en la solución osmótica, temperatura de 60 °C y velocidad de aire de 2.5m/s y 4m/s dentro del secador, resultados similares de acuerdo a la investigación realizada por (Sanjinez, Branco, Takito, & Corbari, 2010) en donde explica que en el atributo textura, hubo diferencia significativa entre las muestras con deshidratación osmótica con cloruro de calcio, siendo preferidas las muestras tratadas con adición de cloruro por presentar textura más firme. Este resultado puede ser explicado por la presencia del calcio, debido a la formación de pectatos que auxilian disminuyendo la solubilidad de las sustancias pépticas y, consecuentemente, favorecen a la firmeza del producto

#### 4.8.5 ACEPTABILIDAD

**Tabla 65:** Rangos de aceptabilidad

TRATAMIENTOS												
Acept.	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
$\Sigma$	92,00	75,00	81,00	90,00	99,00	70,50	57,50	88,00	74,00	80,50	59,50	69,00
$\Sigma^2$	8464	5625	6561	8100	9801	4970,25	3306,25	7744	5476	6480,25	3540,25	4761
<b>X</b>	7,67	6,25	6,75	7,50	8,25	5,88	4,79	7,33	6,17	6,71	4,96	5,75

Para la evaluación de los datos registrados, se aplicó la prueba no paramétrica de Friedman, donde:

Ecuación Friedman: 
$$x^2 = \frac{12}{rxt(t+1)} \sum R^2 - 3r(t+1)$$

K= tratamientos 
$$X^2 = \frac{12}{12(12)} \cdot (74829) - 3(12)(13)$$

r= degustadores 
$$12(12)(12+1)$$

R= rangos 
$$X^2 = 11.67$$

➤ **Valor tabulado de Friedman**

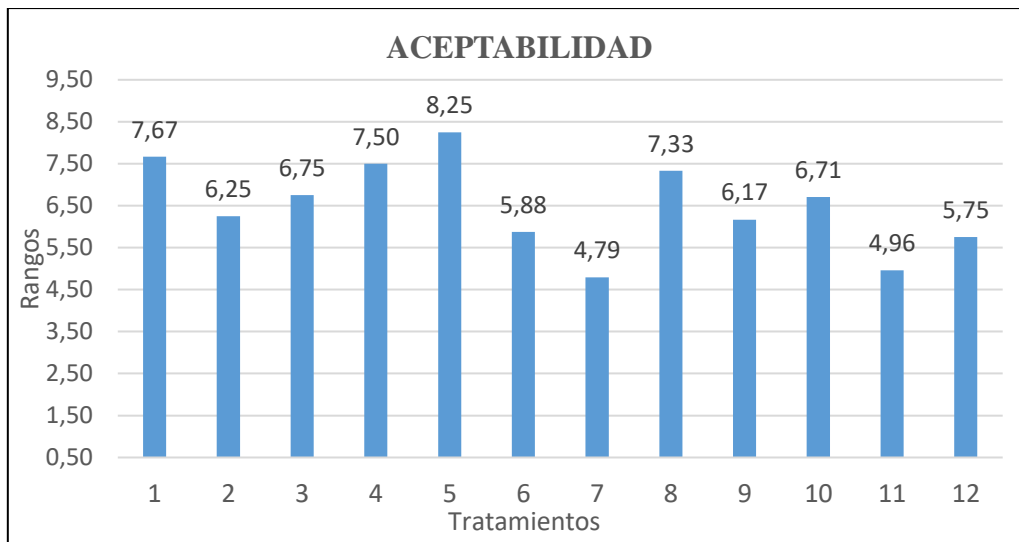
GL= (T-1)

GL=11

**Tabla 66.** Valor tabulado de Friedman para Aceptabilidad.

Variable Cualitativa	X <sup>2</sup> Calculado	X <sup>2</sup> Tabulado	
		5%=	1%=
<b>Aceptabilidad</b>	11.67 ns	19.67	24.72

No existe significancia estadística en la variable aceptabilidad entre el X2 Calculado y el X2 Tabulado con respecto a los doce tratamientos es decir que no presentan mayor diferencia entre ellos, por tal motivo se procedió a comparar las medias para determinar los tres mejores tratamientos en esta variable.



**Gráfico 58:** Promedio de aceptabilidad por tratamientos

De acuerdo a las valoraciones obtenidas en función de una escala descriptiva medida con respecto a la variable aceptabilidad del producto se determinó que los tratamientos con mayor puntaje fue **T5** con 8.25, seguido por **T1** con 7.67, **T4** con 7.50 y el **T8** con 7.33, ya que de acuerdo a los panelistas indicaron que les gustaba mucho o les gustaba poco, a diferencia con respecto al resto de tratamiento en donde ni les gustaba o le disgusta un poco las hojuelas de melocotón. Ver tabla 20.

(Sanjinez, Branco, Takito, & Corbari, 2010) Explica que entre los atributos que causan más impacto son la apariencia general y el color, que están relacionados con la calidad, el índice de madurez y la deterioración del producto. El consumidor espera un determinado color para cada alimento y cualquier alteración en este parámetro, puede influir en su aceptabilidad.

El efecto del cloruro de calcio y el proceso de secado sobre la aceptabilidad en las hojuelas osmodeshidratadas de melocotón, influyeron en los tratamientos que mantuvieron un sabor agradable debido a la concentración baja de 0% y 2.5% de cloruro de calcio en la solución osmótica en la fruta, las temperaturas de 45°C y 60 °C, y las velocidades de aire



de 2.5m/s y 4m/s dentro del secador. Con respecto a la calidad del producto tomando en cuenta posibles alteraciones de las variables evaluadas sobre color, sabor, textura y olor.

#### 4.9 DETERMINACIÓN DE MEJORES TRATAMIENTOS EN PRODUCTO FINAL

Para la determinación de los tratamientos que presentaron mejor respuesta en cuanto a esta investigación, se puede observar en la tabla a continuación los tratamientos evaluados con respecto al análisis físico-químico y microbiológico, están colocados en orden descendente y en los primeros lugares se encuentran los tratamientos con las medias más altas, de tal manera que se puede apreciar y analizar cómo se repiten los tratamientos T11, T12 y T8 en la mayoría de las variables medidas.

**Tabla 67.** Determinación de mejores tratamientos.

°Brix	Aw	PH	Humedad	COLOR	AROMA	SABOR	TEXTURA	ACEPTABILIDAD
T3	T12	T4	T12	T9	T10	T1	T12	T5
T9	T11	T8	T11	T11	T8	T5	T11	T1
T1	T8	T6	T8	T1	T12	T3	T7	T4
T2	T10	T7	T9	T3	T4	T8	T8	T8
T11	T7	T10	T10	T2	T9	T6	T9	T3
T12	T5	T5	T2	T8	T3	T2	T5	T10
T4	T3	T3	T5	T7	T7	T4	T3	T2
T8	T6	T11	T3	T12	T2	T9	T10	T9
T6	T4	T12	T7	T4	T1	T11	T6	T6
T5	T9	T1	T6	T10	T11	T7	T4	T12
T7	T2	T2	T4	T6	T6	T12	T2	T11
T10	T1	T9	T1	T5	T5	T10	T1	T7

Los tratamientos T12, T11 y T8 están presentes dentro de las variables evaluadas por mantenerse en los rangos establecidos para las hojuelas osmodeshidratadas de melocotón, además de presentar mayor aceptación en color, olor, sabor, textura y aceptabilidad en donde se mantienen igual o superior a la composición de este fruto en estado fresco.

Las variables de Actividad de Agua, Humedad y Textura que están relacionadas por los tratamientos T12, T11 y T8, en donde presentan mayores concentraciones de cloruro de calcio del 5% y 2.5%, una temperatura de 60°C y mayor velocidad de aire de secado 4m/s, factores que influyeron en estos tratamientos al presentar valores bajos en el contenido de actividad de agua, de humedad, menor ganancia de sólidos y un contenido de pH bajo el rango (pH <4.5) , además de presentar una textura más firme.

#### 4.10 ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO A LOS MEJORES TRATAMIENTOS

**Tabla 68:** Resultado de análisis físico-químico de hojuelas osmodeshidratadas de melocotón.

PARÁMETRO ANALIZADO	UNIDAD	RESULTADO			MÉTODO DE ENSAYO
		T8	T11	T12	
Fibra Total	%	1.60	1.56	1.50	AOAC 978.10
Cenizas	%	1.14	1.60	2.20	AOAC 923.03
Azúcares Totales	%	81.77	80.80	79.20	AOAC 906.03
Carbohidratos Totales	%	81.96	80.94	78.80	Cálculo
Vitamina C	mg/100g	4.24	4.50	4.35	AOAC 967.21
Calcio	mg/100g	57.20	54.00	55.00	Espectrofotometría de A.A.
Potasio	mg/100g	280.00	270.00	285.00	Espectrofotometría de A.A.

De acuerdo al resultado de los análisis físicoquímicos obtenidos con respecto a los mejores tratamientos dentro de esta investigación el T8, T11 y T12, determinando al tratamiento que presenta mejores resultados con respecto a los parámetros analizados es el T8, en donde influye el 2.5% de concentración de CaCl<sub>2</sub> en la solución osmótica, una temperatura de 60°C y una velocidad de aire de 4 m/s.

#### 4.11 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO A LOS MEJORES TRATAMIENTOS.

A continuación se detalla los resultados obtenidos en el análisis microbiológico de las hojuelas osmodeshidratadas de melocotón *Prunus pérsica*. en recuento de mohos y

levaduras que se realizó en el Laboratorio de Uso Múltiple de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales.

Los rangos establecidos por la norma NTE INEN 1529 que permite la aceptabilidad de productos deshidratados.

**Tabla 69** Requisitos microbiológicos para productos deshidratados

Requisitos	Unidad	n	m	M	c	Método de ensayo
<b>Recuento de</b>						
<b>Mohos y Levaduras</b>	UFC/g	5	1,0x10 <sup>2</sup>	1,0x10 <sup>3</sup>	2	NTE INEN 1529-10

En donde:

n = número de muestras.

m = índice mínimo permisible para identificar nivel de buena calidad.

M = índice máximo permisible para identificar nivel aceptable de calidad.

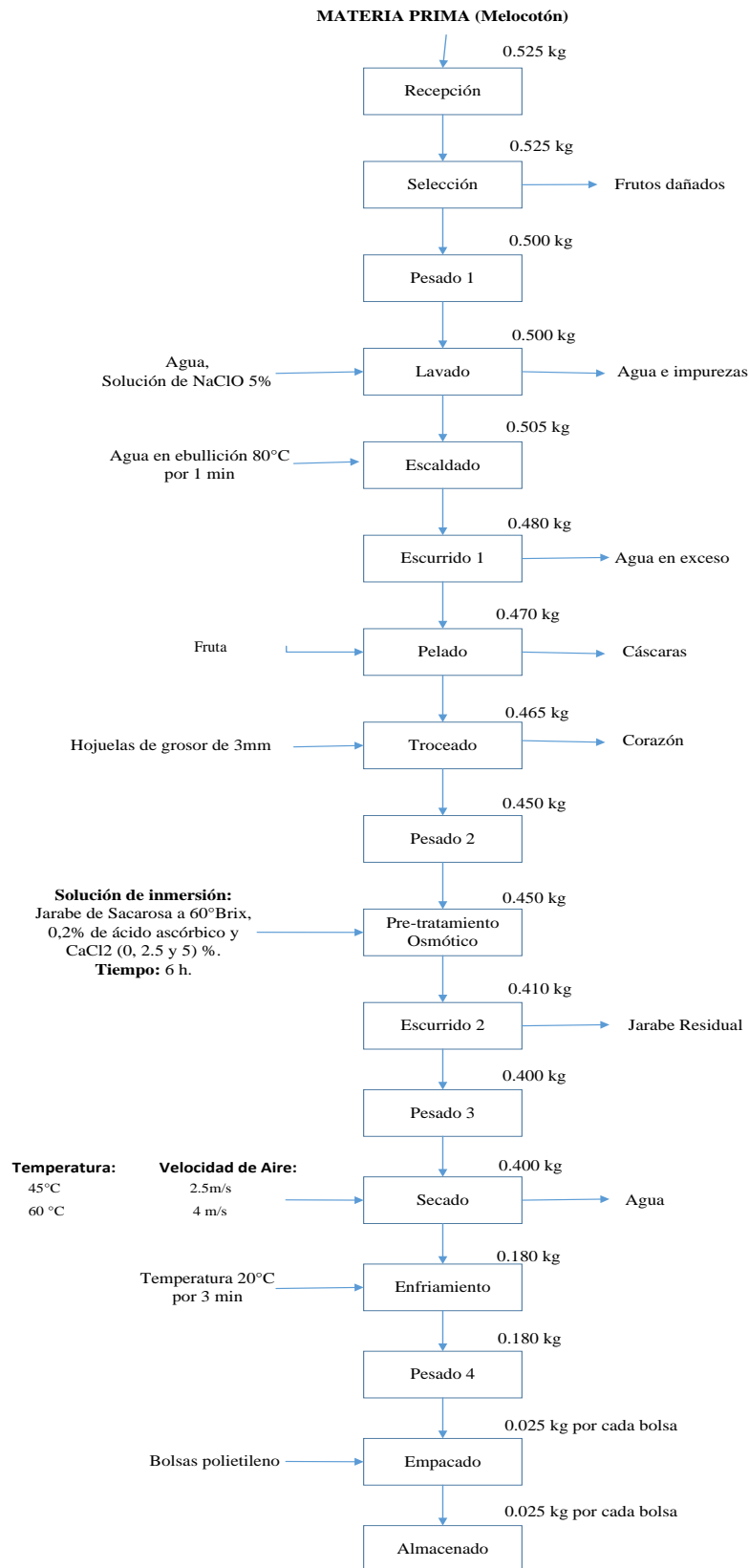
c = número de muestras permitidas con resultado entre m y M.

**Tabla 70:** Resultado de análisis microbiológico de hojuelas osmodeshidratadas de melocotón.

PARÁMETRO ANALIZADO	UNIDAD	RESULTADO			MÉTODO DE ENSAYO
		T8	T11	T12	
Recuento de mohos	UFM/g	<10	<10	10	AOAC 997.02
Recuento de levaduras	UFL/g	<10	<10	<10	AOAC 997.02

De acuerdo a los resultados obtenidos mediante el análisis microbiológico para los tratamientos T11 (5% CaCl<sub>2</sub>/60°C/2.5 m/s), T12 (5% CaCl<sub>2</sub>/60°C/4 m/s) y T8 (2.5% CaCl<sub>2</sub>/60°C/4 m/s) presentaron valores menores a 1,0x10<sup>2</sup>, encontrándose dentro de los rangos establecidos por los requisitos microbiológicos que permite la aceptabilidad de productos deshidratados, por lo que con respecto al T8 en el análisis de mohos y levaduras reporto valores que se encuentran inferiores a 1,0x10<sup>3</sup> UFC/g que fueron reportados por NTE INEN 2996, 2015; para productos deshidratados. Zanahoria, zapallo, uvilla.

## 4.12 BALANCE DE MATERIALES PARA EL MEJOR TRATAMIENTO T8 (A2B2C2)



**Figura 24:** Diagrama de bloques al mejor tratamiento.

### 4.13 RENDIMIENTO DEL MEJOR TRATAMIENTO

El rendimiento del procesamiento de osmodeshidratación de hojuelas de melocotón fue de la siguiente manera:

$$R = (\text{masa final/masa inicial}) \times 100\%$$

$$R = (180\text{g}/500\text{g}) \times 100\%$$

$$R = 36\%$$

### 4.14 COSTOS DE PRODUCCIÓN AL MEJOR TRATAMIENTO

De acuerdo a los mejores resultados obtenidos determinando al tratamiento 8, en donde se procesó 0.500 kg de melocotón de los cuales como producto final se obtuvo 0.180 kg de hojuelas osmodeshidratadas de melocotón, los costos de materia prima e insumos se detallan a continuación:

**Tabla 71.** Costos de producción al mejor tratamiento.

DETALLE	UNIDAD	CANTIDAD	V. UNIT (USD)	V. TOTAL (USD)
<b>COSTOS VARIABLES</b>				
Cosecha				
Pos cosecha				
Transporte	Horas	0.500	0.02	0.01
Recepción	Horas	0.020	0.90	0.01
Selección	Horas	0.050	0.90	0.04
Pesado	Horas	0.013	0.90	0.01
Lavado	Horas	0.025	0.90	0.02
Pelado	Horas	0.130	0.90	0.11
Pesado	Horas	0.013	0.90	0.01
Troceado	Horas	0.100	0.90	0.09
Escaldado	Horas	0.016	-	0.003
Ecurrido	Horas	0.025	0.90	0.02
Pre-tratamiento Osmótico	Horas	6.00	0.90	5.40
Ecurrido	Horas	0.025	0.90	0.02
Pesado	Horas	0.013	0.90	0.01
Secado	Horas	3.500	-	0.97
Enfriamiento	Horas	0.049	0.90	0.04
Pesado	Horas	0.013	0.90	0.01

Empacado	Horas	0.030	0.90	0.02
<b>TOTAL COSTOS VARIABLES</b>				<b>6.79</b>
<b>INSUMOS Y MATERIALES</b>				
Bolsas de polietileno	Unidad	7	0.03	0.21
Melocotón	Kg	0.50	4.00	4.00
Cloruro de Calcio	lt	0.50	3.50	1.75
Azúcar	kg	0.900	0.87	0.78
Ácido ascórbico	kg	0.02	0.30	0.006
Hipoclorito de sodio	lt	0.010	1.50	0.015
Etiqueta adhesiva	unidad	7	0.025	0.175
<b>TOTAL COSTOS INSUMOS Y MATERIALES</b>				<b>6.93</b>
<b>GASTOS FINANCIEROS</b>				
Selladora de impulso.	Unidad	1		0.01
Hornilla eléctrica	Unidad	1		0.003
Secador	Unidad	1		0.97
<b>TOTAL COSTOS GASTOS FINANCIEROS</b>				<b>0.98</b>
<b>COSTO TOTAL</b>				<b>14.70</b>

El costo total para la producción de 0.500 kg de hojuelas de melocotón osmodeshidratado es de 14.70 USD, del cual se obtiene como producto final 0.180 Kg equivalente a 7 unidades de 0.25 kg.

Para calcular el valor de cada unidad de producto final de hojuelas de melocotón osmodeshidratadas con 2.5% de CaCl<sub>2</sub>, a 60°C y una velocidad de aire de secado de 4m/s, se divide el valor de costos de producción para el número de 7 unidades de bolsitas de fruta de melocotón osmodeshidratado con 0.25 kg cada una, dando un valor de 2,10 USD.

#### 4.15 BALANCE DE ENERGÍA.

Datos para el cálculo realizados de acuerdo al mejor tratamiento evaluado:

$$A_T = \text{Área del cuerpo en contacto con el fluido} = 0.000348 \text{ m}^2$$

$$v = \text{velocidad de aire de secado} = 4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$h =$  coeficiente de convección = 0.0204

$T =$  temperatura bulbo seco = 56°C

$Tbh =$  temperatura bulbo húmedo = 51°C

$$d = 0.8044 \frac{kg}{m^3}$$

Con los datos mostrados anteriormente se procede a realizar un balance de energía para calcular la cantidad de calor en el equipo que se requiere suministrar al aire para elevar la temperatura.

$$G = v * d$$

$$G = 4 \frac{m}{s} * 0.8044 \frac{kg}{m^3}$$

$$G = 3.22 \frac{kg}{m^2s}$$

$$h = 0.0204(G)^{0.8}$$

$$h = 0.0204(3.22)^{0.8}$$

$$h = 0.052 \frac{W}{m^2 \circ K}$$

Cantidad de calor transferido del aire al producto:

**Ecuación 9.** Transferencia de calor

$$q = h * A(T - Tbh)$$

$$q = 0.052 \frac{W}{m^2 \circ K} * 0.001188 m^2 (56 - 51) \circ C$$

$$q = 0.052 \frac{W}{m^2 \circ K} * 0.001188 m^2 (278.15) \circ K$$

$$q = 0.01718 W$$

La cantidad de calor necesario para ser transferido del aire al producto es de 0.01718 W en el periodo de velocidad decreciente.

El rendimiento térmico de un secadero se define como la relación entre la cantidad de energía teórica necesaria para eliminar el agua y la cantidad de energía consumida en la práctica. (Aguado, y otros, 2002)

De acuerdo a las características técnicas y estructura del deshidratador (ver en anexos) se puede establecer los valores con respecto al consumo energético con el cual se trabajó para poder deshidratar a las hojuelas de melocotón.

**Tabla 72.** Eficiencia energética de maquinaria.

<b>MAQUINARIA</b>	<b>ENERGÍA CANTIDAD (Kw/h)</b>	<b>TIEMPO DE USO (h)</b>	<b>CANTIDAD ENERGÍA TOTAL (Kw)</b>	<b>VALOR UNITARIO (\$/Kwh)</b>	<b>VALOR TOTAL (\$)</b>
Selladora de impulso	0.3	0.330	0.099	0,0935	0.010
Hornilla eléctrica	2.5	0.016	0.040	0.0930	0.003
Secador	3	3.500	10.500	0.0935	0.97
<b>TOTAL</b>			10.639	0,28	0.98

El valor obtenido del costo de la eficiencia energética de la maquinaria dentro de este proceso es de 0.28 USD/Kwh, con una diferencia con respecto al costo de energía de 0.18 USD/Kwh destinado para el consumo en diferentes actividades de comercio, industria y prestación de servicios públicos y privados, dependiendo del consumo y funciones que se realicen, por ejemplo, según Arconel, (Agencia de Regulación y Control de la Electricidad) con base en un análisis del costo del servicio público de energía eléctrica y pliego tarifario, el Directorio ajustó en 1,19 USD/kwh, para el 12% de los clientes industriales de alta y media tensiones. Para el 4% de los clientes comerciales el ajuste fue en 1,6 USD/kwh. De acuerdo a las publicaciones del Diario El Comercio, 2016.

De acuerdo a la investigación realizada por (Della Rocca, 2010) en donde menciona que la deshidratación osmótica es un proceso que requiere menor consumo de energía que los procesos de secado por aire caliente debido a que se lleva a cabo a bajas temperaturas, Según Lenart y Lewicki (1988) la energía consumida en una deshidratación osmótica fue por lo menos dos veces inferior que la consumida por el secado por convección de aire caliente a 70°C, cuando se utiliza un pre-tratamiento antes de congelación o secado convencional se obtiene un ahorro energético reduciendo la carga energética con respecto a los tiempos de procesamiento. Por otra parte cuando se deshidratan frutas, el jarabe resultante puede usarse posteriormente en la elaboración de jugos de fruta o en las industrias de bebidas, logrando así un aprovechamiento económico de este subproducto.



## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 CONCLUSIONES**

Una vez que se ha culminado con todas las etapas y fases de la presente investigación experimental, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- Los tratamientos con mayor concentración de cloruro de calcio al 2,5% y 5% presentaron una mayor disminución del contenido de actividad de agua, debido a que estas concentraciones aumentaron la cinética del proceso de osmodeshidratación en las hojuelas de melocotón, permitiendo la disminución de humedad libre de la fruta de hasta un 47% en base húmeda.
- El efecto de la aplicación del cloruro de calcio a concentraciones de 2.5% y 5%, permitió que la presencia de pectatos en las hojuelas de melocotón generen una ionización en el proceso osmótico, lo cual aumentó la presión osmótica dando paso a una mayor difusión de agua y solutos durante el periodo de 6 horas.
- La temperatura de 60°C y la velocidad de aire de 4 m/s permitieron reducir tiempos de secado en las hojuelas de melocotón con pretratamiento osmótico llegando hasta 3 horas, a diferencia del uso de secado convencional (6 horas, 30 minutos). Adicionalmente, se evidencio que el período de velocidad decreciente del proceso de

secado se encuentra controlado principalmente por el mecanismo de difusión interna del líquido.

- De acuerdo al análisis fisicoquímico y organoléptico realizado se determinó que los tratamientos con concentraciones de 2.5% y 5% de  $Cl_2Ca$ , una mayor temperatura y mayor velocidad de aire presentaron mejores resultados, ya que a estas concentraciones permiten que los pectatos reduzcan la solubilidad de sustancias pépticas, y se produzca una mayor estabilidad en las paredes celulares de la fruta durante el proceso de secado; obteniendo una mayor firmeza y aceptabilidad de acuerdo a las variables evaluadas por parte del panel degustador. De igual manera, presentó un menor recuento de mohos y levaduras como lo indicó el análisis microbiológico.
- De acuerdo a los resultados obtenidos, se acepta la hipótesis alternativa, ya que las concentraciones de cloruro de calcio en la solución osmótica, temperatura y la velocidad de aire en el secado, mejoran la calidad fisicoquímica y organoléptica de las hojuelas de melocotón osmodeshidratadas.

## 5.2 RECOMENDACIONES

De acuerdo a las conclusiones descritas en base a la obtención de hojuelas osmodeshidratadas de melocotón se recomienda:

- Realizar el análisis sobre las isothermas de desorción incluyendo otras temperaturas en el proceso de ósmosis y utilizar de igual manera, diversas sales osmodeshidratadoras, ya que permitirán conocer variantes en la calidad del producto final de acuerdo al contenido de agua.
- Realizar investigaciones de procesos combinados de ósmosis y secado utilizando otro estado de madurez de la fruta de melocotón.
- Utilizar concentraciones de cloruro de calcio no mayores al 5% en el proceso osmótico con el fin de que el producto tenga aceptabilidad por parte del consumidor.
- Investigar sobre posibles usos del jarabe osmodeshidratante resultante del proceso de ósmosis, como un subproducto para introducirlo a la industria de bebidas o jarabes para mermeladas.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguado, J., Calles, J. A., Cañizares, P., López, B., Santos, A., & Serrano, D. (2002). Ingeniería en la industria alimentaria. Francisco Rodriguez.
- Aguaisa, O., & Carlosama, W. (2007). ELABORACIÓN DE ENCONFITADO DE SÁBILA (Aloe Barbadensis) POR EL MÉTODO DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DIRECTA.
- Alvarado, W. (2010). Estudio del efecto de la deshidratación osmótica como pretratamiento para el proceso de secado por aire en Piña (Ananas Comosus) de variedad milagreña o perolera. Ecuador.
- Badui Dergal, S. (2013). Química de los alimentos. Quinta edición. México: Cámara Nacional de la Industria.
- Báez, M. (2011). Actividad Acuosa en los Alimentos. *Procesos Alimentos*.
- Bagué Serrano, A. J., & Álvarez Cruz, N. S. (2012). Capítulo VIII: Secado de extractos totales. En A. J. Bagué Serrano, & N. S. Álvarez Cruz, *Tecnología Farmacéutica* (págs. 145,146, 147). San Vicente (Alicante): Edictorial Club Universitario.
- Barbosa Cánovas, G., & Vega Mercado, H. (2000). *Deshidratación de Alimentos*. Zaragoza - España: Acribia.
- Bello, J. (2008). Ciencia Bromatológica. *Principios generales de los alimentos*. Brasil: Diaz de Santos.
- Cabrera, A. (2004). El efecto de la temperatura de operación sobre el proceso de secado en un lecho fluidizado a vacío empleando vapor sobrecalentado para diferentes tipos de partículas. México: UDLAP.
- Calderón, V. (2012). ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CREACIÓN DE UNA MICROEMPRESA PRODUCTORA Y COMERCIALIZADORA DE VINO DE DURAZNO ARTESANAL EN LA PARROQUIA PIMAMPIRO, CANTÓN PIMAMPIRO PROVINCIA IMBABURA. Ibarra, Imbabura, Ecuador.
- Casp Vanaclocha, A., & Abril Renquena, J. (2008). *Proceso de Conservación de Alimentos*. España: Mundi- Prensa.
- Castells, X. (2009). Reciclaje de Residuos Industriales. Madrid, España: Díaz de Santos, S.A.
- Castells, X. (2012). Sistema de tratamiento térmico. Proceso a baja temperatura, secado. En *Tratamiento y valorización energética de residuos*. (pág. 667). Madrid: Días de Santos.
- Castro, M., & Jurado, E. (2008). Conservación de babaco (Carica pentágona), mango (Magnifera índica) y pepino dulce (Solanum muricatum) mediante deshidratación osmótica directa. Ibarra, Imbabura, Ecuador.

- Ceballos Ortiz, E., & Jiménez Munguía, M. (2012). Cambios en las propiedades de frutas y verduras durante la deshidratación con aire caliente y su susceptibilidad al deterioro microbiano. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*.
- Colina, Irezabal, M. L. (2010). *Deshidratación de alimentos*. México: Trillas.
- Corilloclla, J. (2016). *Disminución del contenido de plomo de efluentes metalúrgicos por adsorción empleando bentonita pilareada*. Perú: UNCP.
- Cortés, R. (2007). *Efecto de la modificación de una Zeolita natural mexicana en la sorción de cadmio y 4-Clorofenol*. Toluca.
- Coulson., Richardson, Backhurst, & Harker. (2003). *Ingeniería Química. Operaciones Unitarias*. Reverté.
- Dávila Nava, J. R. (Mayo de 2004). Estudio experimental del efecto de la porosidad de partículas sobre el proceso en un lecho fluidizado a vacío empleando aire. Quito, Ecuador: UDLAP.
- Della Rocca, P. (2010). *Secado de alimentos por métodos combinados: Deshidratación osmótica y secado por microondas y aire caliente*. Buenos Aires.
- EL COMERCIO. (5 de Febrero de 2011). El durazno es demandado por su valor nutritivo y su sabor. *EL COMERCIO*.
- Enriquez Pozo, F. (2013). *Comportamiento del hidróxido de sodio y potasio en función de la humedad y temperatura ambiente*. Quito, Ecuador: Universidad Central del Ecuador.
- Espinoza, Landaeta, Méndez, & Nuñez. (2006). Efecto del cloruro de calcio sobre la deshidratación osmótica a vacío en mitades de duraznos. *Revista UDO Agrícola*, 122.
- Fellows, P. (2007). "Tecnología del procesamiento de los alimentos. En P. FELLOWS, *Tecnología del procesamiento de los alimentos* (pág. 444). segunda edición.
- Fonseca Vigoyo, V. J. (2012). *Transferencia de masa*. Colombia.
- Galarza, S. (2014). *Diseño de un sistema de acondicionamiento de aire industrial en la planta de impresión litográfica Don Bosco*. Quito: Universidad Politécnica Salesiana.
- García, A., Muñiz, S., Hernández Gómez, G. L., & Fernández, D. (2013). Análisis comparativo de la cinética de deshidratación Osmótica y por Flujo de Aire Caliente de la Piña (Ananas Comosus, variedad Cayena lisa). *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*.
- Gavica, E., & Terán, M. (2011). *Elaboración de mermelada de Carambola a partir de la Deshidratación Osmótica*. Guayaquil, Ecuador: Universidad de Guayaquil.
- Gil, A. (2010). Frutas y productos derivados. En A. Gil, *Tratado de Nutrición: Composición y Calidad Nutritiva de los Alimentos*. (págs. 181-182). Madrid: Editorial Médica Panamericana S.A.
- Hernandez, E. (2005). *Evaluación sensorial*. Bogotá: Universidad Nacional Abierta y a Distancia.
- Huerta Ochoa, S. (2005). *Secado. Planta Piloto de Fermentaciones Departamento de Biotecnología*. UAM-Iztapalapa.

- Hurtado, M. G. (2013). En *Higiene general en la industria alimentaria*. Innovación y Cualificación S.L.
- Ibarz, A., & Barbosa Cánovas, G. V. (2014). *Introduction to Food Engineering*. Crcpres.
- Kader, A. (2002). Psicrometría y productos perecederos. En A. Kader, *Tecnología postcosecha de cultivos hortofrutícolas* (pág. 151). UCANR.
- Keqing, X. (2004). *Optimización del secado por aire caliente de pera (Variedad BLANQUILLA)*. Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.
- Lemus, Ó., Suárez, F., & Galvis, J. (2010). *Efecto del uso de alginato y cloruro de calcio en la cinética de deshidratación osmótica de la manzana (Malus doméstica Borkh) variedad Anna*. Colombia: Revista Épsilon.
- Lucas Martinez, A. d. (2004). *Termodinámica Básica para Ingenieros Químicos*. España: Universidad de Castilla-La Mancha.
- Marcilla. (2000). *Introducción a las operaciones de separación. Contacto continuo*. Universidad de Alicante.
- Martines, E. L. (2010). Análisis y aplicaciones de las expresiones del contenido de humedad en sólidos. *Simposio de Metrología, 2*.
- Mazariegos. (2006). *Secado de Arroz con cáscara en un lecho fluidizado al vacío, empleando vapor sobrecalentado*. UDLAP.
- Méndez, L., Sánchez, D., & Urbano, J. (2011). *Equipo solar de refrigeración por comprensión*. Instituto Politécnico Nacional.
- Mermet, A. (2005). *Ventilación natural de edificios*. Buenos Aires.
- Montoya, J. (2014). *Pirólisis rápida de biomasa*. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Moreno Benavides, J. A. (2011). *Diseño de planta de tratamiento de agua de ósmosis inversa para la empresa Dober Osmotech de Colombia LTDA*. Santiago de Cali: Universidad Autónoma de Occidente.
- Nonhebel, & Moss. (2002). *El secado de sólidos en la industria química*. España.
- Orrego Alzate, C. (2003). *Procesamiento de Alimentos*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Osorio, F., Torres, J., & Sánchez, M. (2011). En *Tratamiento de aguas para la eliminación de microorganismos y agentes contaminantes*. (pág. 177). Madrid: Días de Santos.
- Otero, J. (2014). *Elaboración de suplemento vegetal en polvo a partir de moringa oleifera como sustituto en raciones balanceadas para animales de granja*. Ecuador: Universidad de Guayaquil.
- Pamplona, J. D. (2006). Alimentos para el corazón. En J. D. Pamplona Roger, *Salud por los alimentos* (págs. 86-87). Madrid: Safeliz.

- Quijano, C. (2011). Estudio de la composición de volátiles y su evolución durante la deshidratación osmótica de la guayaba palmira ica-1 (*Psidium guajava* L.). Valencia.
- Ramón, C. (2013). Estudio de la aplicación de la deshidratación osmótica en carambola (*Averrhoa carambola* L.).
- Rincón Martínez, J. M., & Silva Lora, E. E. (2014). En *Bioenergía: Fuentes, conversión y sustentabilidad*. (págs. 100,105). Bogotá.
- Rodríguez, J., & Quinto, P. (2005). *Secado de medios porosos: una revisión a las teorías actualmente en uso*. México: Universidad Quintana Roo.
- Rosas García, V. (2009). *Adsorción. Concepto de recubrimiento*. México.
- Sañay, N. (2009). Control de calidad de frutilla (*Fragaria vesca*) deshidratada por método de microondas a tres potencias.
- Salas-Salvado, J. (2008). *Nutrición y dietética clínica*. Barcelona: Liberdúplex, S.L.
- Sánchez-Campillo. (2012). *El limón (Citrus limon Burman f.L) ingrediente natural en la elaboración de confituras de fruta de alta calidad*. España: Universidad de Murcia.
- Sanjinez, E., Branco, I., Takito, S., & Corbari, J. (2010). Ciencia y Tecnología de Alimentos. *Influencia de la deshidratación osmótica y de la adición de cloruro de calcio en la conservación de kiwis minimamente procesados*. Brazil.
- Talens Oliag, P. (2005). Tecnología de Alimentos. *Predicción del valor de actividad de agua de un alimento húmedo o de humedad intermedia*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Tapia, M., & Rangel, K. (Mayo de 2012). *Impregnación de sólidos en placas de manzana utilizandouna solución de proteína de suero de leche y emulsión de aceite de canola*. Universidad Veracruzana.
- Terán Soto, A. (2014). Proceso para la obtención de pasa del tomate cherry. Quito, Ecuador: Universidad Central del Ecuador.
- Varó Galván, P., & Segura Beneyto, M. (2009). En *Curso de manipulador de agua de consumo humano*. Alicante: Universidad de Alicante.
- Viñas Almenar, M. I., Usall Rodie, J., Echeverría Cortada, G., Graell Sarle, J., Lara Ayala, I., & Recasens Ginjuan, D. I. (2013). *Poscosecha de pera, manzana y melocotón*. España: Mundi-Prensa.
- Zapata, J., Carvajal, L., & Ospina, N. (2002). *Efectos de la concentración de solutos y la relación jarabe/fruta sobre las cinética de deshidratación osmótica de papaya en láminas*. Caracas.

## ANEXOS

**Anexos 1** : Cálculo de Actividad de agua en soluciones osmóticas.

### ➤ Contenido molar:

**AGUA:**

$$\begin{aligned} \text{Moles solvente} &= \frac{\text{masas total solvente}}{\text{masa molar solvente}} \\ &= 600\text{gr} * \frac{1\text{ mol}}{18\text{ gr}} \\ &= 33.33\text{ moles} \end{aligned}$$

**AZÚCAR:**

$$\begin{aligned} \text{Moles solvente} &= \frac{\text{masas total solvente}}{\text{masa molar solvente}} \\ &= 900\text{gr} * \frac{1\text{ mol}}{342\text{ gr}} \\ &= 2.63\text{ moles} \end{aligned}$$

**Solución de CaCl<sub>2</sub>:**

**5%:**

$$\begin{aligned} (\%p-v) &= \frac{m\text{ soluto}}{V\text{ disolución}} * 100 \\ \text{gr soluto} &= \frac{\% \frac{m}{v} * \text{ml disolución}}{100} \\ \text{gr soluto} &= \frac{5\% \frac{\text{gr}}{\text{ml}} * 500\text{ml}}{100} \\ \text{gr soluto} &= 25\text{ gr CaCl}_2 \\ &= 25\text{gr} * \frac{1\text{ mol}}{110.9\text{ gr}} \\ &= 0.225\text{ moles} \end{aligned}$$

**2.5%:**

$$\begin{aligned} (\%p-v) &= \frac{m\text{ soluto}}{V\text{ disolución}} * 100 \\ \text{gr soluto} &= \frac{\% \frac{m}{v} * \text{ml disolución}}{100} \\ \text{gr soluto} &= \frac{2.5\% \frac{\text{gr}}{\text{ml}} * 500\text{ml}}{100} \\ \text{gr soluto} &= 12.5\text{ gr CaCl}_2 \\ &= 12.5\text{ gr} * \frac{1\text{ mol}}{110.9\text{ gr}} \\ &= 0.112\text{ moles} \end{aligned}$$

### ➤ Solución osmótica (sacarosa y CaCl<sub>2</sub> al 0%):

Moles solvente (agua): 33.333 moles

Moles soluto (sacarosa): 2.631 moles

Fracción Molar solvente:

$$\begin{aligned} X_w &= \frac{\text{moles de solvente}}{\text{moles de soluto} + \text{moles de solvente}} \\ &= \frac{33.33\text{ moles}}{(2.631\text{ moles} + 33.333\text{ moles})} \\ &= 0.9268 \end{aligned}$$

Fracción Molar soluto:

$$X_s = \frac{\text{moles de soluto}}{\text{moles de soluto} + \text{moles de solvente}}$$



$$= \frac{2.631 \text{ moles}}{(2.631 \text{ moles} + 33.333 \text{ moles})}$$

$$= 0.0731$$

**Ecuación Norrish:**

$$A_w = X_w * \exp(-K * X_s^2)$$

$$A_w = 0.9268 * \exp(-6.47 * 0.0731^2)$$

$$A_w = 0.8953$$

➤ **Solución osmótica (sacarosa y Cl<sub>2</sub>Ca al 2.5)%:**

Moles solvente (agua): 33.333 moles

Moles soluto (sacarosa): 2.631 moles

Moles soluto (Cl<sub>2</sub>Ca): 0.112 moles

Moles soluto (sacarosa+ Cl<sub>2</sub>Ca): 2.743 moles

Fracción Molar soluto:

$$X_s = \frac{\text{moles de soluto}}{\text{moles de soluto} + \text{moles de solvente}}$$

$$= \frac{2.743 \text{ moles}}{(2.743 \text{ moles} + 33.333 \text{ moles})}$$

$$= 0.076$$

**Ecuación Norrish:**

$$A_w = X_w * \exp(-K * X_s^2)$$

$$A_w = 0.9268 * \exp(-6.47 * 0.076^2)$$

$$A_w = 0.8928$$

➤ **Solución osmótica (sacarosa y Cl<sub>2</sub>Ca al 5)%:**

Moles solvente (agua): 33.333 moles

Moles soluto (sacarosa): 2.631 moles

Moles soluto (Cl<sub>2</sub>Ca): = 0.225 moles

Moles soluto (sacarosa+ Cl<sub>2</sub>Ca): 2.856 moles

Fracción Molar soluto:

$$\begin{aligned} X_s &= \frac{\text{moles de soluto}}{\text{moles de soluto} + \text{moles de solvente}} \\ &= \frac{2.856 \text{ moles}}{(2.856 \text{ moles} + 33.333 \text{ moles})} \\ &= 0.0789 \end{aligned}$$

**Ecuación Norrish:**

$$\begin{aligned} A_w &= X_w * \exp(-K * X_s^2) \\ A_w &= 0.9268 * \exp(-6.47 * 0.0789^2) \\ A_w &= 0.8902 \end{aligned}$$

**Anexos 2.** Cálculo de presiones osmóticas en soluciones osmóticas.

➤ **Presión osmótica en solución osmótica (sacarosa y Cl2Ca al 0%):**

$$\begin{aligned} \text{Presión osmótica} &= \frac{-8.31 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot ^\circ\text{K}} * 291.15 \text{ } ^\circ\text{K} * (-0.1105)}{0.0036 \text{ m}^3} \\ \text{Presión osmótica} &= 74263.87 \frac{\text{J}}{\text{m}^3} \\ \text{Presión osmótica} &= 74263.87 \text{ Pa} \end{aligned}$$

➤ **Presión osmótica en Solución osmótica (sacarosa y Cl2Ca al 2.5%):**

$$\begin{aligned} \text{Presión osmótica} &= \frac{-8.31 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot ^\circ\text{K}} * 291.15 \text{ } ^\circ\text{K} * (-0.1133)}{0.0036 \text{ m}^3} \\ \text{Presión osmótica} &= 76145.67 \frac{\text{J}}{\text{m}^3} \\ \text{Presión osmótica} &= 76145.67 \text{ Pa} \end{aligned}$$

➤ **Presión osmótica en solución osmótica (sacarosa y Cl2Ca al 5%):**

$$\begin{aligned} \text{Presión osmótica} &= \frac{-8.31 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot ^\circ\text{K}} * 291.15 \text{ } ^\circ\text{K} * (-0.1163)}{0.0036 \text{ m}^3} \\ \text{Presión osmótica} &= 78161.88 \frac{\text{J}}{\text{m}^3} \end{aligned}$$

Presión osmótica = 78161.88 Pa.

**Anexos 3.** Volumen de la disolución para determinación de presión osmótica.

V = volumen de la disolución ( $m^3$ )

$$V = 25\text{cm} * 18\text{cm} * 8\text{cm} = 3600\text{cm}^3 = 0.0036\text{m}^3$$

**Anexos 4.** Área total para determinar la cantidad de calor

$$A_T = A_1 + A_2 + A_3$$

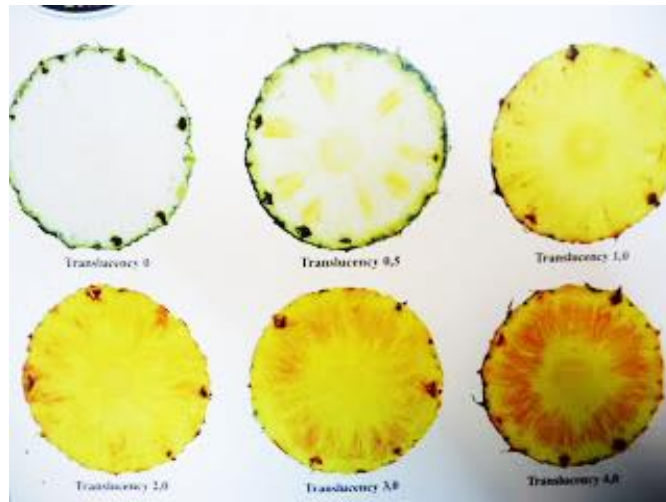
$$A_T = 58\text{mm} * 3\text{mm} / 0.5$$

$$A_T = 0.000348 \text{ m}^2$$

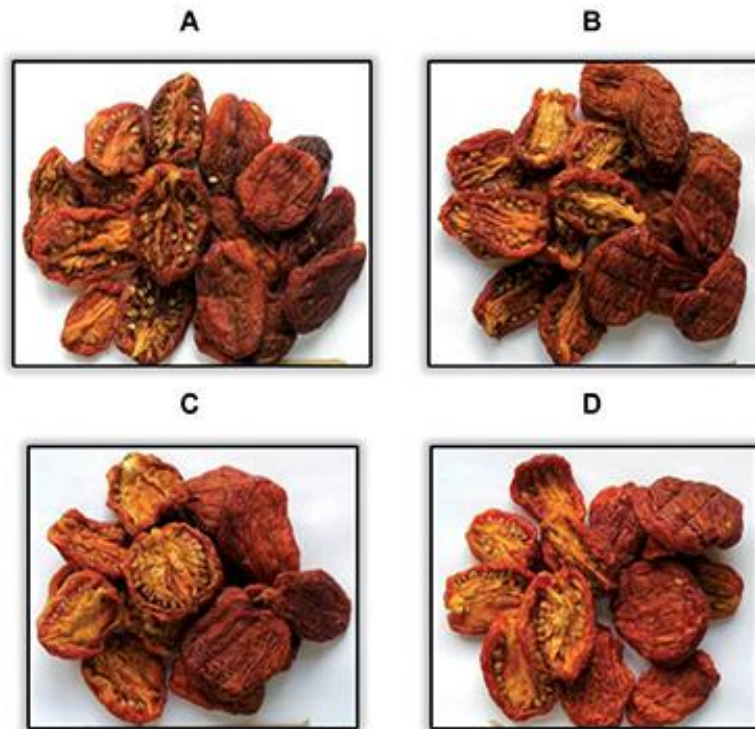
**Anexos 5.** Características técnicas y estructura del equipo deshidratador.

<b>Características técnicas y estructura del deshidratador</b>	
<b>Ancho</b>	118 cm
<b>Fondo</b>	71 cm
<b>Altura</b>	210 cm
<b>Tipo de energía</b>	Eléctrica
<b>Medio de proceso</b>	Aire caliente controlado
<b>Sistema de control</b>	Micro computer: controla la temperatura y el tiempo con sistema de seguridad
<b>Temperatura máxima</b>	80°C
<b>Intercambio de aire</b>	30% con regulación
<b>Consumo eléctrico</b>	3000 W
<b>Voltaje</b>	220 VAC con conexión a tierra

Anexos 6. Referencia de color para variable cualitativa Color



**Figura 25.** Rating Scale for Translucency of Pineapples  
Fuente: (Massey, 2011)



**Figura 4.** Tomates deshidratados dulces (*Solanum lycopersicon* Mill. variedad Franco) para la elaboración de confituras, transcurrido un año de almacenamiento. Estación Experimental Agropecuaria Rama Caída, Argentina, en el año 2014.

**Figure 4.** Dried sweet tomatoes (*Solanum lycopersicon* Mill. Franco variety) to prepare jams after one year of storage. Rama Caída Agricultural Experimental Station, Argentina. 2014.

**Figura 26.** Evaluación del color en pulpa de tomates deshidratados dulces para la elaboración de confituras.  
Fuente: (Urfalino, Worlock, 2016)



**NORMA  
TÉCNICA  
ECUATORIANA**

**NTE INEN 2996**  
2015-XX

**PRODUCTOS DESHIDRATADOS. ZANAHORIA, ZAPALLO, UVILLA.  
REQUISITOS**

PRODUCTS DEHYDRATED. CARROT, PUMPKIN, CAPE GOOSEBERRY. REQUIREMENTS.

DESCRIPTORES: Deshidratados, zanahoria, zapallo, uvilla  
ICS: 67.080

05  
Páginas

Norma Técnica Ecuatoriana	PRODUCTOS DESHIDRATADOS. ZANAHORIA, ZAPALLO, UVILLA. REQUISITOS	NTE INEN 2996:2015
---------------------------------	--	-----------------------

## 1. OBJETO

Esta norma establece los requisitos que debe cumplir la zanahoria el zapallo y la uvilla que han sido deshidratadas artificialmente (incluidas las desecadas por liofilización), bien sea a partir de productos frescos o bien en combinación con la desecación al sol, y comprende los productos a los que suele aludirse con la expresión "alimentos deshidratados".

## 2. CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma se aplica a productos deshidratados como la zanahoria, zapallo, uvilla .

## 3. REFERENCIAS NORMATIVAS

Los siguientes documentos, en su totalidad o en parte, son referidos y son indispensables para su aplicación. Para referencias fechadas, solamente aplica la edición citada. Para referencias sin fecha, aplica la última edición del documento de referencia (incluyendo cualquier enmienda).

NTE INEN 1529-8 Control microbiológico de los alimentos. Determinación de coliformes fecales y *E.coli*.

NTE INEN 1529-10 Control microbiológico de los alimentos. Mohos y levaduras viables. Recuentos en placa por siembra en profundidad.

NTE INEN 1529-15 Control microbiológico de los alimentos. *Salmonella*. Método de detección

NTE INEN 1334-1 Rotulado de productos alimenticios para consumo humano. Parte 1. Requisitos.

NTE INEN 1334-2 Rotulado de productos alimenticios para consumo humano. Parte 2. Rotulado nutricional. Requisitos.

NTE INEN-CODEX 192 Norma general del Codex para los aditivos alimentarios.

NTE INEN-ISO 2859-1 Procedimientos de muestreo para inspección por atributos. Parte 1. Programas de muestreo clasificados por el nivel aceptable de calidad (AQL) para inspección lote a lote.

NTE INEN-ISO 2859-2 Procedimientos de muestreo para la inspección por atributos. Parte 2: Planes de muestreo para las inspecciones de lotes independientes, tabulados según la calidad límite (CL).

NTE INEN-ISO 3951-2 Procedimientos de muestreo para la inspección por variables. Parte 2: Especificación general para los planes de muestreo simples tabulados según el nivel de calidad aceptable (NCA) para la inspección lote por lote de características de calidad independientes.

ISO 3951-1 Procedimientos de inspección por variables de una serie continua de lotes de una sola característica.

CPE INEN CODEX CAC/RCP-5:2014. Código de prácticas de higiene para las frutas y hortalizas deshidratadas incluidos los hongos comestibles.

NTE INEN CODEX CAC/MRL 1 Lista de límites máximos para residuos de plaguicidas.

#### 4. DEFINICIONES

Para los efectos de esta norma se adoptan las siguientes definiciones:

4.1 Deshidratación. Se entiende por la eliminación de la humedad por medios artificiales y, en algunos casos, en combinación con el secado al sol.

#### 5. REQUISITOS

5.1 Las hortalizas pueden presentarse en forma de rodajas, cubitos, dados, granuladas o en cualquier otro tipo de división, o dejarse enteras antes de su deshidratación.

5.2 La zanahoria el zapallo y la uvilla deshidratadas deben cumplir con los requisitos estipulados en CPE INEN CODEX CAC/RCP-5:2014.

5.3 Las zanahorias zapallos y uvillas deshidratadas deben tener un olor y color característico de la variedad. Deben estar libres de olores extraños y trazas de olores procedentes de zanahorias, zapallos o uvillas fermentadas.

5.4 En los alimentos regulados por la presente Norma podrán emplearse antioxidantes y conservantes de conformidad NTE INEN-CODEX 192.

5.5 Los productos a los que se aplican las disposiciones de la presente norma deberán cumplir con los niveles máximos contaminante y plaguicidas de la NTE INEN CODEX CAC/MRL 1.

5.6 Se. Los productos deshidratados concernientes a esta norma deben estar libres de insectos vivos, ácaros, otros parásitos y mohos; deben estar prácticamente libres de insectos muertos, fragmentos de insectos y contaminación de roedores.

5.7 La cantidad de materias extrañas, tales como tierra, restos de piel, tallos, hojas, restos de semilla y otras materias extrañas, que se adhieran o no a la fruta u hortaliza, no será superior a 1% en base a 100g de producto.

5.8 Los productos deshidratados deben cumplir los parámetros de humedad descritos en la tabla 1.

Tabla 1. Límites de humedad para productos deshidratados

Requisitos	Unidad	Min	Max	Método de ensayo
<b>Zanahoria</b>				
Temperatura	°C	–	60	–
Humedad	% m/m	–	6	AOAC 934.06
<b>Zapallo</b>				
Temperatura	°C	–	60	–
Humedad	% m/m	–	8	AOAC 934.06
<b>Uvilla</b>				
Temperatura	°C	–	55	–
Humedad	% m/m	–	12	AOAC 934.06

#### 4. DEFINICIONES

Para los efectos de esta norma se adoptan las siguientes definiciones:

4.1 **Deshidratación.** Se entiende por la eliminación de la humedad por medios artificiales y, en algunos casos, en combinación con el secado al sol.

#### 5. REQUISITOS

5.1 Las hortalizas pueden presentarse en forma de rodajas, cubitos, dados, granuladas o en cualquier otro tipo de división, o dejarse enteras antes de su deshidratación.

5.2 La zanahoria el zapallo y la uvilla deshidratadas deben cumplir con los requisitos estipulados en CPE INEN CODEX CAC/RCP-52014.

5.3 Las zanahorias zapallos y uvillas deshidratadas deben tener un olor y color característico de la variedad. Deben estar libres de olores extraños y trazas de olores procedentes de zanahorias, zapallos o uvillas fermentadas.

5.4 En los alimentos regulados por la presente Norma podrán emplearse antioxidantes y conservantes de conformidad NTE INEN-CODEX 192

5.5 Los productos a los que se aplican las disposiciones de la presente norma deberán cumplir con los niveles máximos contaminante y plaguicidas de la NTE INEN CODEX CAC/MRL 1

5.6 Se Los productos deshidratados concernientes a esta norma deben estar libres de insectos vivos, ácaros, otros parásitos y mohos; deben estar prácticamente libres de insectos muertos, fragmentos de insectos y contaminación de roedores.

5.7 La cantidad de materias extrañas, tales como tierra, restos de piel, tallos, hojas, restos de semilla y otras materias extrañas, que se adhieran o no a la fruta u hortaliza, no será superior a 1% en base a 100g de producto.

5.8 Los productos deshidratados deben cumplir los parámetros de humedad descritos en la tabla 1

Tabla 1. Límites de humedad para productos deshidratados

Requisitos	Unidad	Min	Max	Método de ensayo
<b>Zanahoria</b>				
Temperatura	°C	–	60	–
Humedad	% m/m	–	6	AOAC 934.06
<b>Zapallo</b>				
Temperatura	°C	–	60	–
Humedad	% m/m	–	8	AOAC 934.06
<b>Uvilla</b>				
Temperatura	°C	–	55	–
Humedad	% m/m	–	12	AOAC 934.06



5.10 Requisitos microbiológicos, el producto debe estar exento de microorganismos capaces de desarrollarse en condiciones normales de almacenamiento. No debe contener ninguna sustancia tóxica originada por microorganismos, y cumplir con lo establecido en la tabla 2.

Tabla 2. Requisitos microbiológicos para productos deshidratados

Requisitos	Unidad	n	m	M	c	Método de ensayo
Salmonella	50g	5	0	--	0	NTE INEN 1529-15
Escherichia coli	NMP/g	5	10	5x10 <sup>2</sup>	0	NTE INEN 1529-8
Recuento de mohos y levaduras	UFC/g	5	1,0x10 <sup>4</sup>	1,0 x 10 <sup>4</sup>	2	NTE INEN 1529-10

\* Se podrán utilizar métodos validados para la determinación de estos requisitos

En donde

n = número de muestras.

m = índice mínimo permisible para identificar nivel de buena calidad.

M = índice máximo permisible para identificar nivel aceptable de calidad.

c = número de muestras permitidas con resultado entre m y M.

## 6. MUESTREO

### 6.1 Muestreo

La cantidad de muestras y los criterios de aceptación y rechazo serán acordados por las partes de acuerdo con lo establecido en las siguientes normas técnicas:

- NTE INEN ISO 2859-1 para los procedimientos de inspección por atributo lote a lote de lotes continuos;
- NTE INEN- ISO 2859-2 para los procedimientos de inspección por atributos de lotes aislados;
- ISO 3951-1 para los procedimientos de inspección por variables de una serie continua de lotes y de una sola característica.
- NTE INEN 3951-2 para los procedimientos de inspección por variables de una serie continua de lotes, una sola característica y con una desviación estándar no mayor al 10% de la desviación estándar del proceso.

### 6.2 Aceptación o rechazo.

Si la muestra ensayada no cumple con uno o más de los requisitos indicados en esta norma se rechazará el lote. En caso de discrepancia, se repetirán los ensayos sobre la muestra reservada para tales efectos. Cualquier resultado no satisfactorio en este segundo caso será motivo para rechazar el lote.

## 7. ENVASADO Y ROTULADO

7.1 Los envases para los productos deshidratados deben ser de materiales que no alteren las características físicas y químicas y microbiológicas del producto y conserven las mismas durante su vida útil. No deben presentar deformaciones u otros defectos que atentan a la calidad y buena presentación del producto; el sellado debe ser hermético, pero el sistema debe permitir al consumidor

NTE INEN 2998

cerrar nuevamente el envase durante su uso.

7.2 El rotulado de la mostaza debe cumplir con lo especificado en la NTE INEN 1334-1 y la 1334-2.

7.3 La etiqueta no debe llevar ninguna leyenda de significado ambiguo, ilustraciones o adornos que induzcan a engaño, ni descripciones de características del producto que no se puedan comprobar.

7.4 En la etiqueta se puede declarar el contenido de sólidos solubles provenientes del tomate.

PROYECTO A2

Anexos 8. Análisis fisicoquímicos y microbiológicos en mejores tratamientos.



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

UNIVERSIDAD ACREDITADA RESOLUCIÓN 002 – CONEA – 2010 – 129 – DC.  
Resolución No. 001 – 073 – CEAACES – 2013 – 13

**FICAYA**

*Laboratorio de Análisis Físicos, Químicos y Microbiológicos*

Informe N°:	058 -2016
Análisis solicitado por:	Srta. Alejandra Benavidez
Empresa:	Particular
Muestreado:	Propietario
Fecha de recepción:	14 de junio de 2016
Fecha de entrega informe:	22 de junio de 2016
Ciudad:	Ibarra
Provincia:	Imbabura
No. de Lote	No aplica
No. Unidades Analizadas	3

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado			Metodo de ensayo
		T8	T11	T12	
Fibra total	%	1,60	1,56	1,50	AOAC 978.10
Cenizas	%	1,14	1,60	2,20	AOAC 923.03
Acido ascórbico	mg/100 g	4,24	4,5	4,35	AOAC 967.21
Azúcares Totales	%	81,77	80,8	78,8	AOAC 906.03
Carbohidratos totales	%	81,96	81,34	79,20	Cálculo
Calcio	mg/100 g	57,2	54	55	Espectrofotometria de A.A.
Potasio	mg/100 g	280	270	285	
Recuento de mohos	UFM/g	< 10	< 10	10	AOAC 997.02
Recuento de levaduras	UFL/g	< 10	< 10	< 10	

Los resultados obtenidos pertenecen exclusivamente para las muestras analizadas

Atentamente:

Bioq. José Luis Moreno  
Técnico de Laboratorio



**Visión Institucional**

La Universidad Técnica del Norte en el año 2020, será un referente en ciencia, tecnología e innovación en el país, con estándares de excelencia institucionales.

Av. 17 de Julio S-21 y José María  
Córdova Barrio El Olivo.  
Teléfono: (06)2997800  
Fax: Ext. 7711.  
Email: utn@utn.edu.ec  
www.utn.edu.ec  
Ibarra - Ecuador



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

UNIVERSIDAD ACREDITADA RESOLUCIÓN 002 - CONEA - 2010 - 129 - DC.  
Resolución No. 001 - 073 - CEAACES - 2013 - 13

**FICAYA**

*Laboratorio de Análisis Físicos, Químicos y Microbiológicos*

FICAYA - LABORATORIO DE ANALISIS FISICOS, QUIMICOS Y MICROBIOLÓGICOS

Cotización

cotización:  Fecha:   
 Requiriente:  Fecha de recepción:   
 RUC:  Fecha de entrega:   
 Tipo de matriz: Alimento  Suelo  Agua  Otro   
 Cantidad de muestras:  Tipo de envase:   
 Conservación: Ambiente:  Refrigeración:  Congelación:

Análisis Físico, Químico, Microbiológico

Parámetro	Costo Unite	Cantidad	Costo Total	Metales Año	Costo Unite	Cantidad	Costo Total
Análisis Microbiológico	85,00	3	255,00				
			0				
			0				
			0				
<b>SUBTOTAL</b>			<b>255,00</b>				
IVA 14 %			35,7				
<b>TOTAL</b>			<b>290,70</b>				

Las muestras serán receptadas en el laboratorio de la FICAYA hasta los días jueves a las 10:00,  
Los resultados se entregan luego de 5 días de recibida la copia de la factura del pago correspondiente.

RESPONSABLE DE LABORATORIO



**Visión Institucional**  
La Universidad Técnica del Norte en el año 2020, será un referente en ciencia, tecnología e innovación en el país, con estándares de excelencia institucionales

Av. 17 de Julio S-21 y José María  
Córdova Barrio El Olivo,  
Teléfono: (06)2967600  
Fax: Ext. 7711  
Email: utn@utn.edu.ec  
www.utn.edu.ec  
Ibarra - Ecuador

**Anexos 9. Evaluación sensorial de hojuelas osmodeshidratadas de melocotón.**

**EVALUACIÓN SENSORIAL**

**Instrucciones:**

Sírvase a evaluar las muestras de hojuelas de melocotón osmodeshidratadas. Marque con una X en la casilla en donde usted describa con mayor exactitud lo que pueda sentir por la muestra.

**Tabla 1. EVALUACIÓN SENSORIAL DEL COLOR.**

ESCALA	PARÁMETROS DE EVALUACIÓN	TRATAMIENTOS											
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
5	Muy claro												
4	Ligeramente claro	X			X		X			X			X
3	Muestra igual al estándar		X	X		X			X		X	X	
2	Ligeramente más oscuro							X					
1	Muy oscuro												

**Tabla 2. EVALUACIÓN SENSORIAL DEL OLOR.**

ESCALA	PARÁMETROS DE EVALUACIÓN	TRATAMIENTOS											
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
5	Muy agradable			X							X		X
4	Agradable		X		X	X		X	X	X		X	
3	Poco agradable	X					X						
2	Desagradable												
1	Muy desagradable												

**Tabla 3. EVALUACIÓN SENSORIAL DEL SABOR.**

ESCALA	PARÁMETROS DE EVALUACIÓN	TRATAMIENTOS											
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
5	Muy agradable			X		X					X		X
4	Agradable	X	X				X		X	X		X	
3	Poco agradable			X	X			X					
2	Desagradable												
1	Muy desagradable												

Tabla 4. EVALUACIÓN SENSORIAL DE TEXTURA (DUREZA)

ESCALA	PARÁMETROS DE EVALUACIÓN	TRATAMIENTOS											
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
1	Sumamente blando y pegajoso.		X										
2	Muy blando	X					X						
3	Ligeramente firme				X	X							
4	Moderadamente firme			X									
5	Muy firme									X	X		X
6	Moderadamente duro							X	X			X	
7	Bastante duro												
8	Sumamente duro												

Tabla 5. ESCALA DE ACEPTABILIDAD PARA LOS CONSUMIDORES.

ESCALA	PARÁMETROS DE EVALUACIÓN	TRATAMIENTOS											
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
5	Le gusta mucho			✓		✓				✓			
4	Le gusta poco	✓			✓				✓		✓	✓	✓
3	Ni le gusta, ni le disgusta		✓				✓	✓					
2	Le disgusta un poco												
1	Le disgusta mucho												

MUCHAS GRACIAS!