



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
"PEDRO RUIZ GALLO"**



**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA E INDUSTRIAS  
ALIMENTARIAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

## **TESIS**

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

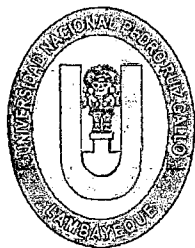
**"SECADO POR AIRE FORZADO DE TOMATES  
(*Lycopersicum esculentum*) PRETRATADOS  
OSMÓTICAMENTE**

**AUTORES:**

**Bach. CARRANZA VELÁSQUEZ, MARIANELA YULISA**

**Bach. SOTO JIMÉNEZ, LUIS RICARDO**

**Lambayeque, Enero del 2015**



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
“PEDRO RUIZ GALLO”**



**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA E INDUSTRIAS  
ALIMENTARIAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**TESIS**

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

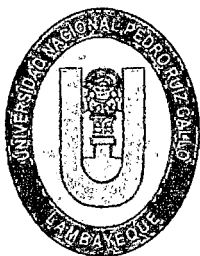
**“SECADO POR AIRE FORZADO DE TOMATES  
(*Lycopersicum esculentum*) PRETRATADOS  
OSMÓTICAMENTE**

**AUTORES:**

Bach. CARRANZA VELÁSQUEZ, MARIANELA YULISA

Bach. SOTO JIMÉNEZ, LUIS RICARDO

Lambayeque, Enero del 2015



# UNIVERSIDAD NACIONAL "PEDRO RUIZ GALLO"



## FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

### ESCUELA PROFESIONAL DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

## TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO EN INDUSTRIAS  
ALIMENTARIAS

**"SECADO POR AIRE FORZADO DE TOMATES  
(*Lycopersicum esculentum*) PRETRATADOS  
OSMÓTICAMENTE**

APROBADO POR:

  
Ing. M.Sc. James Jenner Guerrero Braco  
Presidente

  
Ing. M.Sc. Iván Coronado Zuloeta  
Secretario

  
Ing. M.Sc. Luis Antonio Pozo Suclupe  
Vocal

  
Dr. César Augusto Montezá Arbulú  
Asesor

  
Ing. M.Sc. Miguel Ángel Solano Cornejo  
Co - Asesor

Lambayeque, Enero del 2015

## DEDICATORIAS

Este trabajo está dedicado a:

A **María Isabel Arroyo Olivera**, mi amiga, confidente, compañera, "*my lady*" la mujer que me enseñó el valor del amor, quién supo mantener la fe en mí, quién me enseñó el gran valor de vivir y estar agradecido por cada cosa que sucede, siempre le dije que yo era un ave sin un rumbo ni horizonte, ahora tengo las cosas muy claras y hacia dónde quiero llegar, sólo terminar diciéndole que gracias a ella este trabajo se pudo concretar pues sin su apoyo y paciencia, no habría podido tener las fuerzas necesarias para terminar este proyecto de ingeniería de alimentos. > *Je t'aimé, mon amour* <

A mis padres Luis Alberto y Lucy Smith, quién en su amor pudieron darme regalos muy apreciados, la vida y una educación, a mis hermanas Giuliana y Fiorella, quiénes siempre han tratado de sacar lo mejor de mí, a mi sobrino Luis Jassiel, quién me preparó con grata experiencia, cómo criar a un hijo y ser un ejemplo de padre.

*Luricsoji*

A mis padres Luis Arnaldo y Lucy Velásquez. Él, porque ha sido mi más grande apoyo de fuerza, de valentía, de ganas de seguir adelante, de perseverancia a pesar de las dificultades que se me han presentado en la vida y las mismas que tampoco me han cortado las ganas que tengo de ser grande. Y ella porque con su amor, amistad, paciencia, entusiasmo, su carácter emprendedor que tiene, me ha empujado a seguir lo que quiero y demostrar lo que soy capaz de hacer; por mí, por ellos y porque quiero recompensarles todo lo que me han dado, que se jamás alcanzaré el tiempo ni el dinero, porque se lo merecen todo. Se los dedico con el amor que viene del Alma.

A mi única y querida hermana Marielena por que ha sido mi compañera, mi amiga, el único recuerdo completo y grato de mi niñez que tengo y es irremplazable. Porque la quiero como a mí misma, porque me ha enseñado a tener paciencia, porque las pequeñas cosas que aprendí de ti, se convirtieron para mí en la arena más fina que llena por completo los espacios más grandes de mi alma.

*Yulisa.C.V.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Ing. M.Sc. Miguel Angel Solano Cornejo y su esposa la Lic. Silvia, quiénes me ha acogido como un hijo más en vuestra casa, y siempre estuvieron ahí para apoyarme en lo largo de todo el proceso.

Al Ing. M.Sc. Julio Mauricio Vidaurre Ruiz, mi hermano, quién me brindó su gran apoyo y siempre me acogió en su casa junto a su familia como un integrante más de su hogar, felicitarlo por sus logros en lo académico y científico, pues hace una gran revolución en el sistema de educación.

Al Dr. César Augusto Monteza Arbulú, por su amistad sincera y por sus palabras escuetas para que siempre mejore como estudiante y profesional, ha sido un padre para mí en lo largo de mi carrera profesional.

A mis hermanos los ingenieros: José Cueva, Juan Carlos Troya, Marcos Riojas, Hans Minchán, William Sánchez, Juan Cortez, Sergio Castro, Giussepe Alejandría, Jean Figueroa, Luis Mondragón, Jorge Corrales, Edwin Acosta, Luis Dante, Danny Samillán, Robert Berrú.

A mis hermanos los médicos: Plinio Junior Muro Solano, John Carlo Guerrero y Manuel Guerrero, quiénes fomentan una revolución en el sector salud, pues tienen una modalidad muy diferente en cuánto al desarrollo de su carrera y por sus ideas por la reforma del País.

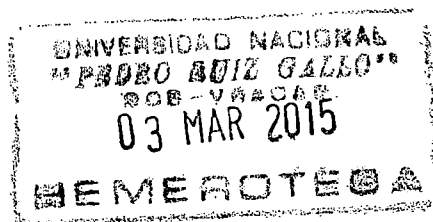
A mis hermanos Bady Palacios y Edwin Fernández por su amistad incondicional desde jardín y por los fantásticos recuerdos que tenemos juntos.

A cada uno de mis profesores que han podido dilucidarme la gran contribución que tengo con mi país y con mi universidad Pedro Ruiz Gallo, siempre estaré en deuda con ellos.

*Luricsoji*

A mis compañeros y amigos Ingenieros: Carmen Rosa Elera, Herman Vigo, Rosita Morante, por que juntos y con apoyo mutuo terminamos la carrera. A Lali Salvatierra por sus palabras alentadoras.

*Yulisa.C.V.*



## ÍNDICE GENERAL

<b>CAPITULO 1</b>	<b>INTRODUCCION.....</b>	<b>1</b>
1.1	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.2	JUSTIFICACIÓN .....	2
1.3	OBJETIVOS.....	5
1.3.1	OBJETIVO GENERAL.....	5
1.3.2	OBJETIVO ESPECÍFICOS .....	5
<b>CAPITULO 2</b>	<b>REVISION BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>6</b>
2.1	CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA .....	6
2.1.1	MATERIA PRIMA .....	6
2.1.2	TAXONOMÍA .....	7
2.1.3	DESCRIPCIÓN BOTÁNICA .....	7
2.1.4	EXIGENCIAS CLIMÁTICAS .....	8
2.1.4.1	Temperatura.....	8
2.1.4.2	Humedad.....	8
2.1.4.3	Luminosidad.....	9
2.1.5	EXIGENCIAS DE SUELO .....	9
2.2	CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICA .....	9
2.3	CARACTERÍSTICAS NUTRICIONALES .....	10
2.4	SECADO .....	10
2.4.1	DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA.....	11
2.4.1.1	Presión Osmótica.....	11
2.4.1.2	Factores a Considerar en la Deshidratación Osmótica .....	11
2.4.1.2.1	Tipo de Agente Osmótico.....	11
2.4.1.2.2	Concentración de la Solución Osmótica .....	12
2.4.1.2.3	Temperatura de la Solución Osmótica .....	12
2.4.1.2.4	Propiedades del Producto Empleado.....	13
2.4.1.2.5	Manejo de la Solución Deshidratante.....	14
2.4.2	SECADO POR AIRE FORZADO .....	14
2.4.2.1	Curvas de Secado.....	15
2.4.2.2	Factores que Intervienen en el Proceso de Secado.....	17
2.4.2.2.1	Temperatura del Aire .....	17
2.4.2.2.2	Humedad Relativa del Aire .....	17
2.4.2.2.3	Velocidad del Aire .....	18
2.4.2.2.4	El Agua en los Alimentos .....	18
2.4.2.3	Pretratamientos.....	19

<b>2.5</b>	<b>CINÉTICA DE SECADO.....</b>	<b>20</b>
<b>2.5.1</b>	<b>CINÉTICA DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA.....</b>	<b>20</b>
<b>2.5.2</b>	<b>CINÉTICA DE SECADO CONVECTIVO .....</b>	<b>22</b>
<b>2.6</b>	<b>INDICADORES DE CALIDAD EN EL TOMATE DESHIDRATADO ....</b>	<b>22</b>
<b>2.6.1</b>	<b>LICOPENO .....</b>	<b>22</b>
<b>2.6.2.1</b>	<b>Estabilidad.....</b>	<b>23</b>
<b>2.6.2.2</b>	<b>Importancia Nutricional.....</b>	<b>24</b>
<b>CAPITULO 3</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>26</b>
<b>3.1</b>	<b>MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS .....</b>	<b>26</b>
<b>3.1.1</b>	<b>MATERIALES.....</b>	<b>26</b>
<b>3.1.2</b>	<b>EQUIPOS.....</b>	<b>26</b>
<b>3.1.3</b>	<b>REACTIVOS .....</b>	<b>27</b>
<b>3.2</b>	<b>MÉTODOS .....</b>	<b>27</b>
<b>3.2.1</b>	<b>PROCEDIMIENTOS PARA LA OBTENCIÓN DE LOS RESULTADOS.....</b>	<b>27</b>
<b>3.2.1.1</b>	<b>Diagrama de Bloque para el Procesamiento del Tomate .....</b>	<b>27</b>
<b>3.2.1.2</b>	<b>Preparación de las soluciones osmóticas .....</b>	<b>31</b>
<b>3.2.1.3</b>	<b>Determinación del Grado de Madurez del Tomate.....</b>	<b>32</b>
<b>3.2.2</b>	<b>PROCEDIMIENTOS PARA LOS ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS ...</b>	<b>32</b>
<b>3.2.2.1</b>	<b>Determinación del Contenido de Sólidos Solubles Totales .....</b>	<b>32</b>
<b>3.2.2.2</b>	<b>Determinación de la Acidez Titulable .....</b>	<b>33</b>
<b>3.2.2.3</b>	<b>Determinación de la Humedad.....</b>	<b>33</b>
<b>3.2.3</b>	<b>ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE LOS DATOS .....</b>	<b>34</b>
<b>CAPITULO 4</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSION .....</b>	<b>35</b>
<b>4.1</b>	<b>DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DEL TOMATE .....</b>	<b>35</b>
<b>4.1.1</b>	<b>VARIACIÓN DE LA HUMEDAD DURANTE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA .....</b>	<b>35</b>
<b>4.1.2</b>	<b>PARÁMETROS DEL MODELO DE PELEG PARA DETERMINAR LA PÉRDIDA DE HUMEDAD EN EL TIEMPO DE OSMODESHIDRATADO .....</b>	<b>37</b>
<b>4.1.3</b>	<b>VARIACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS EN EL TOMATE OSMODESHIDRATADO.....</b>	<b>37</b>

4.1.4	PARÁMETROS DEL MODELO DE PELEG PARA DETERMINAR LA GANANCIA DE SÓLIDOS EN EL TIEMPO DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA .....	39
4.1.5	EFFECTOS DE LA CONCENTRACIÓN Y TIPO DE SOLUTO .....	40
4.2	DATOS DEL PROCESO DE SECADO POR AIRE FORZADO .....	41
4.2.1	EFFECTOS DE LA TEMPERATURA DEL SECADO POR AIRE FORZADO.....	41
4.2.1.1	Variación de la humedad en tomate osmodeshidratado con 10.8 % p/v de Sal.....	41
4.2.1.2	Variación de la humedad en tomate osmodeshidratado con 18 % p/v de Sal.....	42
4.2.1.3	Variación de la humedad en tomate osmodeshidratado con 30 % p/v de Azúcar .....	44
4.2.1.4	Variación de la humedad en tomate osmodeshidratado con 50 % p/v de Azúcar .....	45
CAPITULO 5	CONCLUSIONES .....	46
RECOMENDACIONES	.....	49
BIBLIOGRAFIA	.....	50
ANEXOS	.....	65



## LISTA DE TABLAS

<b>TABLA 1:</b> CARACTERÍSTICAS NUTRICIONALES DEL TOMATE VARIEDAD RÍO GRANDE .....	<b>10</b>
<b>TABLA 2:</b> PARÁMETROS DE SECADO PARA LA PÉRDIDA DE HUMEDAD EN MITADES DE TOMATES OSMODESHIDRATADOS ...	<b>37</b>
<b>TABLA 3:</b> PARÁMETROS DE SECADO PARA LA GANANCIA DE SÓLIDOS EN MITADES DE TOMATES OSMODESHIDRATADOS .....	<b>39</b>
<b>TABLA 4:</b> PORCENTAJE DE HUMEDAD (%H) VS TIEMPO .....	<b>41</b>
<b>TABLA 5:</b> PORCENTAJE DE HUMEDAD (%H) VS TIEMPO .....	<b>43</b>
<b>TABLA 6:</b> PORCENTAJE DE HUMEDAD (%H) VS TIEMPO .....	<b>44</b>
<b>TABLA 7:</b> PORCENTAJE DE HUMEDAD (%H) VS TIEMPO .....	<b>45</b>
<b>TABLA 8:</b> PORCENTAJE DE HUMEDAD DESPUÉS DE CINCO HORAS DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA	<b>70</b>
<b>TABLA 9:</b> PORCENTAJE DE HUMEDAD EN EL TIEMPO DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA .....	<b>70</b>
<b>TABLA 10:</b> VARIACIÓN DE LA HUMEDAD EN EL TIEMPO CON AZÚCAR AL 50% p/v .....	<b>71</b>
<b>TABLA 11:</b> NIVEL DE AJUSTE Y CONSTANTES DE SECADO USANDO EL MODELO DE PELEG EN AZÚCAR AL 50% p/v .....	<b>72</b>
<b>TABLA 12:</b> VARIACIÓN DE LA HUMEDAD EN EL TIEMPO CON AZÚCAR AL 30% p/v .....	<b>73</b>
<b>TABLA 13:</b> NIVEL DE AJUSTE Y CONSTANTES DE SECADO USANDO EL MODELO DE PELEG CON AZÚCAR AL 30% p/v .....	<b>74</b>
<b>TABLA 14:</b> VARIACIÓN DE LA HUMEDAD EN EL TIEMPO CON SAL AL 10.8% p/v .....	<b>75</b>
<b>TABLA 15:</b> NIVEL DE AJUSTE Y CONSTANTES DE SECADO USANDO EL MODELO DE PELEG CON SAL AL 10.8% p/v .....	<b>76</b>
<b>TABLA 16:</b> VARIACIÓN DE LA HUMEDAD EN EL TIEMPO CON SAL AL 18% p/v .....	<b>77</b>
<b>TABLA 17:</b> NIVEL DE AJUSTE Y CONSTANTES DE SECADO USANDO EL MODELO DE PELEG CON SAL AL 18% p/v .....	<b>78</b>
<b>TABLA 18:</b> ANOVA PARA PORCENTAJE DE HUMEDAD .....	<b>79</b>

<b>TABLA 19:</b>	<b>PRUEBA DE RANGOS MÚLTIPLES PARA PORCENTAJES DE HUMEDAD .....</b>	<b>80</b>
<b>TABLA 20:</b>	<b>GANANCIA DE SÓLIDOS EN DIFERENTES SOLUCIONES OSMÓTICAS .....</b>	<b>81</b>
<b>TABLA 21:</b>	<b>PROMEDIOS DE LAS GANANCIAS DE SÓLIDOS EN DIFERENTES SOLUCIONES OSMÓTICAS .....</b>	<b>81</b>
<b>TABLA 22:</b>	<b>GANANCIA DE SOLUTOS SAL AL 10.8% p/v EN EL TIEMPO DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA .....</b>	<b>82</b>
<b>TABLA 23:</b>	<b>GANANCIA DE SOLUTOS SAL AL 18% p/v EN EL TIEMPO DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA .....</b>	<b>82</b>
<b>TABLA 24:</b>	<b>GANANCIA DE SOLUTOS AZÚCAR AL 30% p/v EN EL TIEMPO DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA .....</b>	<b>82</b>
<b>TABLA 25:</b>	<b>GANANCIA DE SOLUTOS AZÚCAR AL 50% p/v EL TIEMPO DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA .....</b>	<b>83</b>
<b>TABLA 26:</b>	<b>ANOVA EN GANANCIA DE SÓLIDOS PASADO CINCO HORAS INMERSAS EN DIFERENTES SOLUCIONES OSMÓTICAS.....</b>	<b>83</b>
<b>TABLA 27:</b>	<b>LAS PRUEBAS DE RANGOS MÚLTIPLES DE POR SOLUCIONES .....</b>	<b>84</b>
<b>TABLA 28:</b>	<b>VARIACIÓN DE LA GANANCIA DE SÓLIDOS EN TIEMPO ...</b>	<b>85</b>
<b>TABLA 29:</b>	<b>NIVEL DE AJUSTE Y CONSTANTES DE SECADO USANDO EL MODELO DE PELEG .....</b>	<b>86</b>
<b>TABLA 30:</b>	<b>VARIACIÓN DE LA GANANCIA DE SÓLIDOS EN TIEMPO ...</b>	<b>87</b>
<b>TABLA 31:</b>	<b>NIVEL DE AJUSTE Y CONSTANTES DE SECADO USANDO EL MODELO DE PELEG .....</b>	<b>88</b>
<b>TABLA 32:</b>	<b>VARIACIÓN DE LA GANANCIA DE SÓLIDOS EN TIEMPO ...</b>	<b>89</b>
<b>TABLA 33:</b>	<b>NIVEL DE AJUSTE Y CONSTANTES DE SECADO USANDO EL MODELO DE PELEG .....</b>	<b>90</b>
<b>TABLA 34:</b>	<b>VARIACIÓN DE LA GANANCIA DE SÓLIDOS EN TIEMPO....</b>	<b>91</b>
<b>TABLA 35:</b>	<b>NIVEL DE AJUSTE Y CONSTANTES DE SECADO USANDO EL MODELO DE PELEG .....</b>	<b>92</b>

**TABLA 36:** CONSTANTES DE SECADO A 50 °C,  
USANDO EL MODELO DE PAGE SOLUCIÓN OSMÓTICA 10.8% p/v ..... **93**

**TABLA 37:** CONSTANTES DE SECADO A 70 °C,  
USANDO EL MODELO DE PAGE SOLUCIÓN OSMÓTICA 10.8% p/v ..... **94**

**TABLA 38:** CONSTANTES DE SECADO A 90 °C,  
USANDO EL MODELO DE PAGE SOLUCIÓN OSMÓTICA 10.8% p/v ..... **95**

**TABLA 39:** CONSTANTES DE SECADO A 50 °C,  
USANDO EL MODELO DE PAGE SOLUCIÓN OSMÓTICA 18% p/v ..... **96**

**TABLA 40:** CONSTANTES DE SECADO A 70 °C,  
USANDO EL MODELO DE PAGE SOLUCIÓN OSMÓTICA 18% p/v ..... **97**

**TABLA 41:** CONSTANTES DE SECADO A 90 °C,  
USANDO EL MODELO DE PAGE SOLUCIÓN OSMÓTICA 18% p/v ..... **98**

**TABLA 42:** CONSTANTES DE SECADO A 50 °C,  
USANDO EL MODELO DE PAGE SOLUCIÓN OSMÓTICA 30% p/v ..... **99**

**TABLA 43:** CONSTANTES DE SECADO A 70 °C,  
USANDO EL MODELO DE PAGE SOLUCIÓN OSMÓTICA 30% p/v ..... **100**

**TABLA 44:** CONSTANTES DE SECADO A 90 °C,  
USANDO EL MODELO DE PAGE SOLUCIÓN OSMÓTICA 30% p/v ..... **101**

**TABLA 45:** CONSTANTES DE SECADO A 50 °C,  
USANDO EL MODELO DE PAGE SOLUCIÓN OSMÓTICA 50% p/v ..... **102**

**TABLA 46:** CONSTANTES DE SECADO A 70 °C,  
USANDO EL MODELO DE PAGE SOLUCIÓN OSMÓTICA 50% p/v ..... **103**

**TABLA 47:** CONSTANTES DE SECADO A 90 °C,  
USANDO EL MODELO DE PAGE SOLUCIÓN OSMÓTICA 50% p/v ..... **104**

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1:</b> CURVA DE SECADO VELOCIDAD DE SECADO VS HUMEDAD LIBRE .....	<b>16</b>
<b>FIGURA 2:</b> ESTRUCTURA DEL LICOPENO .....	<b>23</b>
<b>FIGURA 3:</b> DIAGRAMA DE BLOQUES PARA LA MANIPULACIÓN DEL TOMATE FRESCO.....	<b>30</b>
<b>FIGURA 4:</b> PÉRDIDA DE HUMEDAD POR CADA HORA DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA A DIFERENTES SOLUCIONES .....	<b>35</b>
<b>FIGURA 5:</b> GANANCIA DE SÓLIDOS POR CADA HORA DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA A DIFERENTES SOLUCIONES .....	<b>38</b>
<b>FIGURA 6:</b> HUMEDAD FINAL DESPUÉS DE CINCO HORAS DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA A DIFERENTES SOLUCIONES .....	<b>40</b>
<b>FIGURA 7:</b> CURVAS DE SECADO EN SOLUCIÓN OSMÓTICA AL 10.8% p/v DE SAL. HUMEDAD VS TIEMPO DE SECADO .....	<b>42</b>
<b>FIGURA 8:</b> CURVAS DE SECADO EN SOLUCIÓN OSMÓTICA AL 18% p/v DE SAL .....	<b>43</b>
<b>FIGURA 9:</b> CURVAS DE SECADO EN SOLUCIÓN OSMÓTICA AL 30% P/V DE AZÚCAR. HUMEDAD VS TIEMPO DE SECADO .....	<b>45</b>
<b>FIGURA 10:</b> CURVAS DE SECADO EN SOLUCIÓN OSMÓTICA A 50% p/v DE AZÚCAR. HUMEDAD VS TIEMPO DE SECADO .....	<b>46</b>
<b>FIGURA 11:</b> AZÚCAR BLANCA Y SAL YODADA.....	<b>65</b>
<b>FIGURA 12:</b> SELECCIÓN DE TOMATES POR ÍNDICE DE MADUREZ (ROJO CLARO) COMPRADOS EN EL MERCADO DE LAMBAYEQUE.....	<b>65</b>
<b>FIGURA 13:</b> PESADO DE LOS INSUMOS .....	<b>65</b>
<b>FIGURA 14:</b> HABILITACIÓN PARA EL MEZCLADO DE LOS INSUMOS .....	<b>66</b>
<b>FIGURA 15:</b> MEZCLADO DE LOS INSUMOS PARA LAS SOLUCIONES .....	<b>66</b>
<b>FIGURA 16:</b> ROTULADO Y LLENADO DE LAS SOLUCIONES EN BOLSAS ZIPLOC.....	<b>66</b>
<b>FIGURA 17:</b> MITADES DE TOMATES RETIRADO DE SEMILLAS Y PLACENTA.....	<b>67</b>
<b>FIGURA 18:</b> PESADO .....	<b>68</b>

<b>FIGURA 19:ROTULADO</b>	<b>68</b>
<b>FIGURA 20: MITADES DE TOMATES INMERSO EN SOLUCIONES OSMÓTICAS</b>	<b>68</b>
<b>FIGURA 21: EXTRAYENDO MITADES DE TOMATES A CADA HORA DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA</b>	<b>69</b>
<b>FIGURA 22: EXTRACCIÓN DE LÍQUIDO EXCEDENTE DE LAS SOLUCIONES OSMÓTICAS</b>	<b>69</b>
<b>FIGURA 23: MUESTRAS PARA DETERMINACIÓN DE HUMEDAD</b>	<b>69</b>
<b>FIGURA 24: VARIACIÓN DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD EN LOS TOMATES OSMODESHIDRATADOS CON AZÚCAR AL 50% p/v</b>	<b>71</b>
<b>FIGURA 25: DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE AZÚCAR AL 50% p/v USANDO EL MODELO DE PELEG</b>	<b>72</b>
<b>FIGURA 26: VARIACIÓN DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD EN LOS TOMATES OSMODESHIDRATADOS CON AZÚCAR AL 30% p/v</b>	<b>73</b>
<b>FIGURA 27: DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE AZÚCAR AL 50% p/v USANDO EL MODELO DE PELEG</b>	<b>74</b>
<b>FIGURA 28: VARIACIÓN DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD EN LOS TOMATES OSMODESHIDRATADOS CON SAL AL 10.8% p/v</b>	<b>75</b>
<b>FIGURA 29: DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE AZÚCAR AL 50% p/v USANDO EL MODELO DE PELEG</b>	<b>76</b>
<b>FIGURA 30: VARIACIÓN DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD EN LOS TOMATES OSMODESHIDRATADOS CON SAL AL 18% p/v</b>	<b>77</b>
<b>FIGURA 31: DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE AZÚCAR AL 50% p/v USANDO EL MODELO DE PELEG</b>	<b>78</b>
<b>FIGURA 32: GANANCIA DE SÓLIDOS EN LOS TOMATES OSMODESHIDRATADOS CON AZÚCAR AL 50% p/v</b>	<b>85</b>
<b>FIGURA 33: GANANCIA DE SÓLIDOS DE AZÚCAR AL 50% p/v USANDO EL MODELO DE PELEG</b>	<b>86</b>
<b>FIGURA 34: GANANCIA DE SÓLIDOS EN LOS TOMATES OSMODESHIDRATADOS CON SAL AL 30% p/v</b>	<b>87</b>
<b>FIGURA 35: GANANCIA DE SÓLIDOS DE AZÚCAR AL 30% p/v USANDO EL MODELO DE PELEG</b>	<b>88</b>
<b>FIGURA 36:GANANCIA DE SÓLIDOS EN LOS TOMATES OSMODESHIDRATADOS CON SAL AL 10.8% p/v</b>	<b>89</b>

<b>FIGURA 37:</b>	GANANCIA DE SÓLIDOS DE SAL AL 10.8% p/v USANDO EL MODELO DE PELEG.....	<b>90</b>
<b>FIGURA 38:</b>	GANANCIA DE SÓLIDOS EN LOS TOMATES OSMODESHIDRATADOS CON SAL AL 18% p/v .....	<b>91</b>
<b>FIGURA 39:</b>	GANANCIA DE SÓLIDOS DE SAL AL 18% p/v USANDO EL MODELO DE PELEG.....	<b>92</b>
<b>FIGURA 40:</b>	SOLUCIÓN OSMÓTICA 10.8% p/v USANDO EL MODELO DE PAGE .....	<b>93</b>
<b>FIGURA 41:</b>	SOLUCIÓN OSMÓTICA 10.8% p/v USANDO EL MODELO DE PAGE .....	<b>94</b>
<b>FIGURA 42:</b>	SOLUCIÓN OSMÓTICA 10.8% p/v USANDO EL MODELO DE PAGE .....	<b>95</b>
<b>FIGURA 43:</b>	SOLUCIÓN OSMÓTICA 18% p/v USANDO EL MODELO DE PAGE .....	<b>96</b>
<b>FIGURA 44:</b>	SOLUCIÓN OSMÓTICA 18% p/v USANDO EL MODELO DE PAGE .....	<b>97</b>
<b>FIGURA 46:</b>	SOLUCIÓN OSMÓTICA 30% p/v USANDO EL MODELO DE PAGE .....	<b>99</b>
<b>FIGURA 47:</b>	SOLUCIÓN OSMÓTICA 30% p/v USANDO EL MODELO DE PAGE .....	<b>100</b>
<b>FIGURA 48:</b>	SOLUCIÓN OSMÓTICA 30% p/v USANDO EL MODELO DE PAGE .....	<b>101</b>
<b>FIGURA 49:</b>	SOLUCIÓN OSMÓTICA 50% p/v USANDO EL MODELO DE PAGE .....	<b>102</b>
<b>FIGURA 50:</b>	SOLUCIÓN OSMÓTICA 50% p/v USANDO EL MODELO DE PAGE .....	<b>103</b>
<b>FIGURA 51:</b>	SOLUCIÓN OSMÓTICA 50% p/v USANDO DEL MODELO DE PAGE .....	<b>104</b>

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación consistió en modelar matemáticamente el secado por aire forzado de tomates pretratados osmóticamente. La deshidratación osmótica consistió en cuatro soluciones a diferentes concentraciones: sal a 10.8 % y 18%, azúcar al 30% y 50% p/v, posteriormente fueron sometidos al secado convectivo a temperaturas de 50, 70 y 90 °C. Se plantearon como objetivos determinar los parámetros de secado por aire forzado en tomates pretratados osmóticamente, dentro de los cuáles se incluye los parámetros de deshidratación osmótica y secado por aire forzado.

La variable dependiente fue el tiempo del deshidratado osmótico y el secado por aire forzado de las mitades de tomates. Las variables independientes fueron las condiciones de operación durante la deshidratación osmótica de las mitades de tomates y la temperatura de secado. Los factores que se consideraron para determinar la mejor combinación de tratamiento, es aquel que permitió remover la mayor cantidad de agua libre de las mitades de tomates y la que tuvo menos retención del soluto de la solución, logrando disminuir el tiempo de secado convectivo, dando por ganador a la solución osmótica de sal al 10.8% a una temperatura de 90°C, también se determinaron que los modelos matemáticos: Peleg y Page permiten predecir el comportamiento de secado, debido a su nivel de ajuste  $R^2 \geq 0.9880$  de las ecuaciones con los datos experimentales, tanto en la deshidratación osmótica como el secado convectivo. Las variables se evaluaron mediante un ANOVA con una confiabilidad de 95% y una prueba de rango múltiples Tukey. Se determinaron estadísticamente que existen diferencias significativas entre las medias de los tratamientos para la variación de la humedad y la ganancia de sólidos en el tiempo de deshidratado osmótico, con  $\alpha=0.05$ .

## **ABSTRAC**

The present research was to mathematically model the forced air drying of osmotically pretreated tomatoes. Osmotic dehydration consisted of four solutions at different concentrations: 10.8% salt and 18% to 30% sugar and 50% w / v, were subsequently subjected to convective drying at temperatures of 50, 70 and 90 ° C. Our objectives were to determine the parameters of forced air drying tomatoes osmotically pretreated, within which the parameters of osmotic dehydration is included and forced air drying.

The dependent variable was the time of osmotic dehydration and drying by forced air halves tomatoes. The independent variables were the operating conditions during osmotic dehydration of tomato halves and the drying temperature. The factors considered in determining the best treatment combination is one that allowed to remove as much free water and tomato halves which had less solute retention solution, decreasing convective drying time, giving by winning the osmotic salt solution 10.8% at a temperature of 90 ° C, were also determined that mathematical models: Page Peleg and predict the behavior of drying, due to their level of adjustment  $R^2 \geq 0.9880$  equations with experimental data, both osmotic dehydration as convective drying. The variables were evaluated by ANOVA with a reliability of 95% and a Tukey test for multiple range. They determined statistically significant differences between treatment means for varying moisture and solid gain in time of osmotic dehydrated with  $\alpha = 0.05$ .



## **CAPITULO 1      INTRODUCCION**

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

Durante el proceso de secado, el contenido de humedad del producto de tomate secado se reduce típicamente a 15% (Zanoni et al., 1999).

Sin embargo, los consumidores exigen que los productos procesados conserven muchas de sus características originales (Telis y Sobral 2002).

Para los tomates, esto significa mantener el color, contenido nutricional y el nivel de compuestos antioxidantes presentes en esta hortaliza. Estos incluyen vitaminas (A, B1, B2, B3, C y E) y carotenoides tales como beta-caroteno y licopeno (Chang y col., 2006). Es, por lo tanto, deseable para minimizar el daño oxidativo a los tomates durante el proceso de secado (Zanoni et al., 1999).

La deshidratación osmótica es un proceso que requiere menor consumo de energía que los secados por aire y vacío debido a que se lleva a cabo a bajas temperaturas. Según Lenart y Lewicki (1988) la energía consumida en una deshidratación osmótica a 40 °C considerando la reconcentración de la solución (jarabe) por evaporación fue por lo menos dos veces inferior que la consumida por el secado por convección de aire caliente a 70 °C, considerando la obtención de un producto final de igual humedad en ambos casos (Huxsoll, 1982).

Además la inmersión en la solución deshidratante reduce el contacto del producto con el oxígeno retardando la mayoría de los procesos oxidativos. Otro de los efectos del azúcar es la prevención de la pérdida de

sabores y aromas volátiles al formar una capa superficial recubriendo el alimento que impide la salida de estos compuestos volátiles. El modelamiento matemático en el deshidratado y secado permite predecir las respuestas de los fenómenos señalados, permitiendo así que el interesado, mediante las características que desea en cuanto al porcentaje de humedad del tomate pueda establecer el tiempo de secado. El tomate obtenido de la deshidratación osmótica es más estable que el no tratado durante su almacenamiento, debido a la menor actividad acuosa consecuencia de los solutos ganados y la pérdida de agua libre. El deshidratado de frutas y hortalizas se realiza empleando diferentes procesos.

## **1.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cuál es la concentración del agente deshidratante en el pretratamiento osmótico y la temperatura óptima en el secado por aire forzado de tomates?

## **1.2 JUSTIFICACIÓN**

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

El daño de la oxidación durante el secado de tomate se ha relacionado con los procesos de secado que se producen a grandes temperaturas más largos tiempos en la presencia de oxígeno. La optimización del secado de tomate se puede lograr mediante la maximización de la velocidad de secado y reducir al mínimo el daño por calor oxidativo. Esto se podría lograr mediante la reducción del tamaño de los trozos de tomate, permitiendo de esta manera tiempos más cortos para alcanzar el mismo nivel de eliminación de la humedad (Giovanelli, et al,

2002) y el uso de la deshidratación osmótica para reducir al mínimo el daño por calor oxidativo y mejorar la calidad del producto (Doymaz, 2007; Heredia et al, 2007; Lewicki et al, 2002; Lewicki y Michaluk, 2004; Sacilik et al, 2006).

La deshidratación osmótica (DO) es un proceso ampliamente estudiado en los últimos años y usado principalmente como pre-tratamiento de muestras que luego son sometidas a congelación o a deshidratación térmica (Hawkes; Flink, 1978; Kowalska; Lenart, 2001; Erle; Schubert, 2001; Lewicki Piotr, 1998).

La velocidad y el grado de deshidratación de un material y los cambios en su composición química dependen del tipo y la concentración de soluto usado, del tamaño de la muestra y el soluto, de la relación fruta: jarabe, de la temperatura, del tiempo y del equipo usado para el proceso (Conway et al., 1983; Ponting et al., 1973).

Generalmente la velocidad de la DO aumenta al principio del proceso como resultado de las diferencias de presión osmótica y la menor resistencia a la transferencia de masa en esta etapa del proceso (Hawkes; Flink, 1978; Kowalska; Lenart, 2001; Lazarides; Katsanidis; Nickolaidis, 1995; El-Aquar; Murr, 2003; Petrotos; Lazarides, 2001; Raoult-Wack; Lenart; Guilbert, 1992).

La aplicación de este tipo de tecnología simple y de bajo costo, debido entre otros al menor requerimiento de energía brinda la posibilidad de preservar alimentos altamente perecederos, como el tomate (Lazarides; Katsanidis; Nickolaidis, 1995).

Se han aplicado diferentes modelos matemáticos para ajustar los resultados experimentales de procesos de la deshidratación osmótica, con el objeto de predecir el comportamiento de los productos alimenticios, por lo que se considera de suma importancia conocer los parámetros para su procesamiento. Uno de los modelos más usados es la ecuación empírica

propuesta por Peleg (Petrotos; Lazarides, 2001; Sacchetti; Gianotti; Dalla Rosa, 2001).

El tipo de proceso depende del tipo de alimento y de las características finales del producto:

- Liofilización, consiste en congelar el alimento y una vez congelado se introduce en una cámara de vacío para que se evapore el agua por sublimación. Se emplea para obtener productos secos de alta calidad, pero con un alto costo.
- Deshidratación osmótica, es un proceso de eliminación de agua basado en el gradiente de agua y actividad de solubilidad a través de una membrana semipermeable de una célula. Implica sumergir el alimento de humedad alta en una solución osmótica, generalmente de azúcar o de NaCl.
- Secado al sol, se limita a climas calurosos y humedades relativas bajas (40-60%) con vientos fuertes. Generalmente se aplica a frutas y semillas, aunque también es frecuente para algunas hortalizas como los pimientos y tomates. Deshidratación atmosférica o secado por aire forzado, consiste en pasar aire caliente sobre el alimento a secar.

El secado industrial se lleva a cabo con el último método en lotes o en procesos continuos. Los procesos continuos incluyen el secador de túnel, el secador rotatorio, secadores de tambor, el secador de charolas, entre otros (Andritsos et al., 2003).

Los métodos anteriormente mencionados proporcionan algunas desventajas. El uso del secado por liofilización genera elevados costos. El secado al sol sólo es posible llevarlo a cabo en climas calurosos, además se requieren largos períodos de secado, lo cual provoca colores oscuros en el producto final (Andritsos, et al., 2003).

### **1.3 OBJETIVOS**

#### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL**

Determinar los parámetros del secado por aire forzado de tomates pretratados osmóticamente.

#### **1.3.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS**

- ✓ Determinación de la concentración y tipo de agente deshidratante (azúcar y sal) en la deshidratación osmótica.
- ✓ Determinar de la temperatura de secado por aire forzado.
- ✓ Utilización de los modelos matemáticos: Peleg y Page para la deshidratación osmótica y el secado convectivo respectivamente.

## **CAPITULO 2 REVISION BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA**

#### **2.1.1 MATERIA PRIMA**

El tomate es la hortaliza más importante y comercial en diferentes países, con las cifras de producciones más altos de todos los vegetales de raíz en el mundo (Manyard, 1999). En el 2005, la producción mundial de tomates llegó a 91 millones de toneladas, con los principales productores Estados Unidos, Turquía, Egipto, India e Italia (FAO 2006).

Los tomates son populares debido a sus propiedades culinarias y los beneficios para la salud. Ellos son una fuente natural de licopeno, un carotenoide que reduce el riesgo de cáncer y la enfermedad cardíaca coronaria (Rao y Agarwal, 1999).

Las características más apreciadas en el tomate para el consumo en fresco son su color y sabor. El color en los tomates, está dado principalmente por los carotenoides, siendo el licopeno el que se encuentra en mayor cantidad; mientras que el sabor es proporcionado por los azúcares y los compuestos volátiles. La fracción de compuestos volátiles le confiere al tomate las propiedades sensoriales, sabor y aroma.

Esta fracción está constituida por más de 400 sustancias, entre las cuales se encuentran hidrocarburos, éteres, fenoles, cetonas, aldehídos, ésteres y lactonas. De esos compuestos, 30 juegan un papel importante; adicionalmente se ha observado que su componente principal, el volátil (Z)-hex-3-enal, se encuentra en una concentración del 31% (Gómez et al., 2002).

Por ello es importante que al llevar a cabo un tratamiento térmico en el tomate se tomen en cuenta las condiciones de operación, tales como las temperaturas, aditivos y exposición al aire. Esto último cuando el tomate se deshidrate en sistemas que operen con flujos de aire forzado.

## 2.1.2 TAXONOMÍA

**Familia:** Solanaceae.

**Variedad:** Río Grande

**Nombre científico:** *Lycopersicum esculentum*.

## 2.1.3 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

Planta de cultivo perenne anual, la mayoría de las raíces alcanzan profundidades de 30 a 50 cm. Tallo erguido, alcanzando alturas de 1,5 a 3 m (hasta 8 m), con pubescencia glandular y un olor fuerte. Brotes laterales crecen a partir de las axilas.

Hojas alternas, pinnadas de 10-35 cm de longitud y 8-28 cm de ancho, segmentos enteros o pinnatopartito, diferentes en forma y en tamaño. Las inflorescencias (un rizo o un cepillo) auxiliar o al margen de las hojas. Las flores miden hasta 2 cm de ancho, bisexuales.

La corola es amarillo brillante, con 5-9 pétalos iguales a cáliz de tamaño. Los estambres tienen gran antera, que rodea la columna en la forma de un cono. Realizan auto- polinización.

El ovario tiene dos o más secciones. Los frutos son bayas jugosas, carnosas de 1-10 cm de diámetro, de diferentes formas y pesos, rojo, amarillo o casi blanco, liso. Las semillas son triangular - reniforme, aplanada, de color amarillo grisáceo, y 1.5-2-3 mm de diámetro.

El peso de 200-250 semillas es de 1 g. Varios tipos diferentes según tallo, hoja, forma de crecimiento, la estructura de las inflorescencias, flores, frutos y otras características biológicas. Los diferentes tipos incluyen el (periodo vegetativo de 100 a 110 días) maduración temprana, media maduración (111-120 días) y tardías (más de 120 días).

#### 2.1.4 EXIGENCIAS CLIMÁTICAS

El manejo racional de los factores climáticos de forma conjunta es fundamental para el funcionamiento adecuado del cultivo, ya que todos se encuentran estrechamente relacionados y la actuación sobre uno de estos incide sobre el resto.

##### 2.1.4.1 Temperatura

Es menos exigente en temperatura que la berenjena y el pimiento. La temperatura óptima de desarrollo oscila entre 20 y 30 ° C durante el día y entre 1 y 17 °C durante la noche; temperaturas superiores a los 30-35 °C afectan la fructificación, por mal desarrollo de óvulos y al desarrollo de la planta en general y del sistema radicular en particular. Temperaturas inferiores a 12-15 °C también originan problemas en el desarrollo de la planta.

A temperaturas superiores a 25 °C e inferiores a 12 °C la fecundación es defectuosa o nula. La maduración del fruto está muy influida por la temperatura en lo referente tanto a la precocidad como a la coloración, de forma que valores cercanos a los 10 °C así como superiores a los 30 °C originan tonalidades amarillentas.

No obstante, los valores de temperatura descritos son meramente indicativos, debiendo tener en cuenta las interacciones de la temperatura con el resto de los parámetros climáticos.

##### 2.1.4.2 Humedad

La humedad relativa óptima oscila entre un 60 % y un 80 %. Humedades relativas muy elevadas favorecen el desarrollo de enfermedades aéreas y el agrietamiento del fruto y dificultan la fecundación, debido a que el polen se compacta, abortando parte de las flores.

El rajado del fruto igualmente puede tener su origen en un exceso de humedad edáfica o riego abundante tras un período de estrés hídrico.



También una humedad relativa baja dificulta la fijación del polen al estigma de la flor.

#### **2.1.4.3 Luminosidad**

Valores reducidos de luminosidad pueden incidir de forma negativa sobre los procesos de la floración, fecundación así como el desarrollo vegetativo de la planta.

En los momentos críticos durante el período vegetativo resulta crucial la interrelación existente entre la temperatura diurna y nocturna y la luminosidad.

#### **2.1.5 EXIGENCIAS DE SUELO**

La planta de tomate no es muy exigente en cuanto a suelos, excepto en lo que se refiere al drenaje, aunque prefiere suelos sueltos de textura silíceo arcillosa y ricos en materia orgánica.

No obstante se desarrolla perfectamente en suelos arcillosos enarenados. En cuanto al pH, los suelos pueden ser desde ligeramente ácidos hasta ligeramente alcalinos cuando están enarenados.

Es la especie cultivada en invernadero que mejor tolera las condiciones de salinidad tanto del suelo como del agua de riego.

### **2.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICA**

La composición química y el valor nutricional del tomate varían según la variedad, las condiciones de cultivo, la época de producción, el grado de madurez, el tiempo y las condiciones de almacenamiento, entre otros factores. Dicha hortaliza contiene aproximadamente un 94% de agua, y el 6% restante es una mezcla compleja en la que predominan los azúcares libres y ácidos orgánicos, que contribuyen a dar al fruto su textura y sabor característicos (Castillo & Miranda, 2002).

### 2.3 CARACTERÍSTICAS NUTRICIONALES

Tabla 1: Características nutricionales del Tomate Var. Río Grande

Propiedades del Tomate	Unidades	Valor por 82 g	Micronutrientes	Unidades	Valor por 82 g
<b>Macronutrientes</b>					
Agua	g	170.10	<b>Vitaminas</b>		
Energía	kcal	32	Vitamina C	mg	22.9
Proteína	g	1.58	Tiamina	mg	0.067
Total Grasas	g	0.36	Riboflavina	mg	0.034
Carbohidratos	g	7.06	Niacina	mg	1.069
Fibra dietética	g	2.2	Ácido Pantoténico	mg	0.160
Azúcar	g	4.73	Vitamina B-6	mg	0.144
Grasa Saturada	g	0.083	Folato	mcg	27
Grasa Monosaturada	g	0.092	Folato, DFE	mcg- DFE	0
Grasa Polisaturada	g	0.243	Vitamina B-12	mcg	0
Colesterol	mg	0	Vitamina A	IU	1499
<b>Minerales</b>			Vitamina E	mg	0.97
	mg	18	Vitamina K	mcg	14.2
Hierro	mg	0.49	<b>Fitonutrientes</b>		
Magnesio	mg	20	Fitosteroles	mg	13
Fósforo	mg	43	Beta Carotenos	mcg	808
Potasio	mg	427	Beta Criptoxantina	mcg	182
Sodio	mg	9	Licopeno	mcg	4631
Zinc	mg	0.31	Luteína y Zeaxantina	mcg	221

Fuente: USDA

### 2.4 SECADO

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

Durante el proceso de secado, el contenido de humedad del producto de tomate secado se reduce típicamente a 15 % (Zanoni et al., 1999). Sin embargo, los consumidores exigen que los productos procesados conserven muchas de sus características originales (Telis y Sobral, 2002).

Actualmente se emplean diferentes modos de secado combinado que incluyen generalmente dos y raras veces tres de algunas de estas opciones:

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

## 2.4.1 DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

### 2.4.1.1 Presión Osmótica

La transferencia de agua total en la deshidratación osmótica depende como se mencionó precedentemente de una combinación de dos mecanismos: la difusión y el flujo por capilaridad. Los tratamientos al vacío aumentan el flujo capilar, incrementando la transferencia de agua pero no influyen en la ganancia de solutos (Fito, 1994). El flujo capilar de agua depende de la porosidad y de la fracción de espacios huecos del producto (Shi y Maupoey, 1994; Fito y Pastor, 1994; Rahman y Perera, 1996). La ecuación que se utiliza para calcular la presión osmótica es:

$$\pi = M.R.T$$

**Dónde:**

**$\pi$ :** Presión Osmótica (kPa)

**M:** Concentración de la disolución (mol/L)

**R:** 8.314472 (m<sup>3</sup>. Pa /°K·mol)

**T:** Temperatura (°K)

### 2.4.1.2 Factores a Considerar en la Deshidratación Osmótica

#### 2.4.1.2.1 Tipo de Agente Osmótico

Los más comúnmente usados son la sacarosa para frutas y el cloruro de sodio para vegetales, pescados y carnes; si bien también distintas

mezclas de solutos han sido probados (Hawkes y Flink, 1978; Islam y Flink, 1982, Wais y col., 2005).

Otros agentes osmóticos pueden ser: glucosa, fructosa, dextrosa, lactosa, maltosa, polisacáridos, maltodextrina, jarabes de almidón de maíz y sus mezclas. La elección dependerá de varios factores tales como costo del soluto, compatibilidades organolépticas con el producto terminado y preservación adicional otorgada por el soluto al producto final y de la influencia del soluto sobre las características organolépticas del producto tratado (Rahman y Perera, 1996).

#### 2.4.1.2.2 Concentración de la Solución Osmótica

La 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 (Magee y col., 1983; Lenart y Flink, 1984; Lerici y col., 1985; Biswal y LeMaguer, 1989; Marcotte y Le Maguer, 1991; Rahman y Lamb, 1990).

Con el incremento en la concentración de la disolución se forma una capa de soluto sobre la superficie del producto que actúa como barrera reduciendo la pérdida de nutrientes (Saurel y col., 1994).

Cuando se utilizan mezclas de sacarosa y sal la fuerza impulsora para la transferencia de masa aumenta al bajar la actividad de agua de la solución. Además, como se mencionó anteriormente, se forma una capa de sacarosa sobre la superficie del producto que impide la penetración de sal en el producto y permite mejorar la pérdida de agua sin afectar tanto el sabor (Baroni y Hubinger, 2000).

#### 2.4.1.2.3 Temperatura de la Solución Osmótica

Este es el parámetro más importante que afecta la cinética de pérdida de agua y la ganancia de solutos. La ganancia de solutos es menos afectada que la pérdida de agua por la temperatura ya que a altas

temperaturas el soluto no puede difundir tan fácilmente como el agua a través de la membrana celular de los tejidos del producto.

La temperatura presenta dos efectos. Uno de ellos es que el aumento de temperatura favorece la agitación molecular y por consiguiente mejora la velocidad de difusión. El otro es la modificación de la permeabilidad de la membrana celular con un incremento de la temperatura. La temperatura crítica a la cual se produce la variación en la permeabilidad de la membrana depende de las distintas especies, pero se estima que para frutihortícolas ronda en el rango de (50° -55°C), aproximadamente.

#### 2.4.1.2.4 Propiedades del Producto Empleado

El proceso osmótico también depende de las propiedades físico-químicas de los solutos empleados: pesos moleculares, estado iónico y solubilidad del soluto en el agua. Esta última es muy importante pues define la máxima concentración del soluto que puede emplearse en la solución (Li y Ramaswamy, 2005).

Cuando se utilizan soluciones con solutos de mayor peso molecular, la pérdida de agua se incrementa y la ganancia de solutos resulta despreciable respecto de cuando se usa un soluto de menor peso molecular. Por consiguiente en el proceso osmótico, la pérdida de agua se favorece con el empleo de solutos de peso molecular alto y la impregnación es superior con solutos de bajo peso molecular. La combinación de dos o más solutos en la solución puede hacer más eficiente la deshidratación al proporcionar cada uno de ellos la ventaja que los caracteriza (Grabowski et al., 1994).

Cuando se usan dos solutos como sacarosa y sal se forma una barrera de sacarosa en la superficie que evita la penetración de la sal, cuya presencia en la solución mantiene una baja actividad de agua y en consecuencia produce una continua pérdida de agua y una ganancia de solutos baja. Esta combinación resulta ser más eficiente que si se usa la sal

o la sacarosa solas; de esta manera la deshidratación es mayor y la penetración de solutos es menor (Baroni y Hubinger, 2000).

#### 2.4.1.2.5 Manejo de la Solución Deshidratante

El manejo de la solución deshidratante es muy importante desde el punto de vista industrial. La solución puede reciclarse, sin embargo la contaminación microbiana puede aumentar al reciclar la solución un mayor número de veces. Para poder reciclar la solución es necesario concentrar la solución que ha sido diluida durante el proceso de deshidratación ya sea por evaporación y/o mediante el uso de membranas de ósmosis inversa. También debería evaluarse si es necesario el agregado de solutos.

Durante los primeros tiempos de deshidratación, el producto flota en la solución debido a que la misma posee una densidad mayor. Al no estar sumergido totalmente el producto en la solución, la transferencia de masa no puede llevarse a cabo en toda la superficie del producto. Otro factor que juega de manera desfavorable al proceso de transferencia de masa es la alta viscosidad de la solución al iniciar el proceso.

Luego a medida que el producto se va deshidratando la solución se diluye y disminuye su viscosidad. Además, las soluciones con elevada viscosidad dificultan la agitación y favorecen la adherencia de solutos en la superficie del producto. Este último fenómeno podría disminuir la velocidad de posteriores secados.

#### 2.4.2 SECADO POR AIRE FORZADO

La utilización del secado por aire caliente como tratamiento térmico único, en todas sus variantes, permite procesar cualquier producto alimenticio para la obtención de un producto final estable.

Sin embargo produce en los alimentos algunas transformaciones que pueden atentar con su calidad final. Entre ellas podemos mencionar: alteraciones en la forma y la textura del producto; composición y estructura

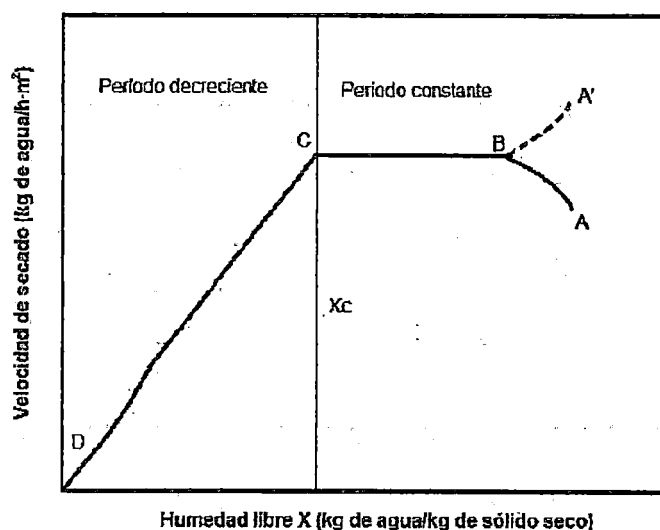
no uniforme, cambios de sabor y aroma, modificación del color, degradación de componentes nutricionales, mala capacidad de rehidratación, etc. (Mascheroni, 2002).

El objetivo del uso de pretratamiento y secados combinados se centra en tres aspectos fundamentales:

- ❖ **Mejora de la calidad caracterizada por una o más de las siguientes propiedades:**
  - ✓ Mínima degradación química.
  - ✓ Cambios de estructura y textura poco significativos.
  - ✓ Mínima variación de sabor y aroma.
  - ✓ Obtención del color deseado.
  - ✓ Control preciso del contenido de humedad.
- ❖ **Protección del medio ambiente encarada a través de:**
  - ✓ Minimización del uso de energía en el proceso.
- ❖ **Consideraciones económicas entre las que se incluyen:**
  - ✓ Reducción de costos.
  - ✓ Desarrollo de equipos simples, confiables y que requieran poca mano de obra.

#### 2.4.2.1 Curvas de Secado

La velocidad de secado de un material depende de sus propiedades y densidad global; así como de su contenido de humedad inicial y en equilibrio. La velocidad de secado no es la misma durante todo el proceso. La representación Figura de la velocidad de secado frente a la humedad del producto o frente al tiempo se denomina "curva de secado", y será diferente según sea el tipo de producto a deshidratar. Generalmente la forma de las curvas de secado es complicada y deben obtenerse experimentalmente.



**Figura 1:** Curva de secado velocidad de secado vs Humedad libre

En la Figura 1 se muestra una curva de secado. El producto se encuentra inicialmente en el punto A. En la etapa inicial del secado (AB) el agua se calienta lentamente. En el punto B, la temperatura de la superficie alcanza su valor de equilibrio. Cuando el sólido está a una temperatura por arriba de la temperatura de operación, la velocidad de secado empieza en el punto A'.

Posteriormente, inicia una pérdida de agua a velocidad constante (BC). El período de velocidad de secado constante se caracteriza por la evaporación de la humedad a partir de una superficie saturada. El secado de velocidad constante equivale fundamentalmente a evaporación a partir de un cuerpo de agua grande y es independiente del tipo de sólido (Sharma, 2003).

Esta etapa finaliza cuando se alcanza la llamada humedad crítica  $X_c$ , fácilmente identificable en las curvas de secado por el cambio brusco de velocidad. En esta etapa no hay suficiente agua en la superficie para mantener una película continua. La velocidad empieza a decrecer (CD),



pudiendo existir uno o varios periodos de velocidad decreciente. El período de velocidad decreciente es por lo general el período más largo de una operación de secado y depende de la temperatura del aire, velocidad del aire y del espesor del alimento. Es posible que la cantidad de humedad que se elimina durante el periodo de velocidad decreciente sea pequeña; sin embargo los tiempos de secado pueden ser prolongados.

#### 2.4.2.2 Factores que Intervienen en el Proceso de Secado

##### 2.4.2.2.1 Temperatura del Aire

La temperatura desempeña un papel importante en los procesos de secado. Conforme se incrementa su valor se acelera la eliminación de humedad dentro de los límites posibles. La elección de la temperatura se lleva a cabo tomando en consideración la especie que se vaya a someter al proceso. Andritsos et al., (2003) afirman que las temperaturas de secado de tomate ideales están entre 45 y 55 °C. Esto permite al producto retener sus nutrientes, incluyendo vitaminas y licopeno. Krokida et al., en el 2003 encontraron que la temperatura es la variable más importante en el secado de tomate.

##### 2.4.2.2.2 Humedad Relativa del Aire

La 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. Generalmente, este valor se expresa como porcentaje (%). A medida que aumenta la temperatura del aire, también aumenta su capacidad de absorción de humedad; cuando la temperatura disminuye sucede lo contrario.

La temperatura de secado está estrechamente relacionada con la humedad relativa del aire, ya que influye en la calidad organoléptica del producto final. Cuando la temperatura del aire desecado es alta y su humedad relativa es baja, existe el riesgo de que la humedad de la superficie del alimento se elimine más rápido de lo que el agua puede difundirse del

interior húmedo a la superficie del alimento. Al evitar esto, se inhibe la formación de costras (Andritsos et al., 2003).

Por ello es importante, tener muy en cuenta las velocidades de flujo de aire. A nivel industrial se emplean humedades relativas del 20 al 40%. En el 2001 Krokida et al., observaron que la humedad relativa del aire no influía de manera importante en los tiempos de secado de tomate. En casi todos los estudios de secado de tomate no se considera esta variable debido a que generalmente se usa aire atmosférico.

#### 2.4.2.2.3 Velocidad del Aire

La velocidad del aire dentro del secador tiene como funciones principales, en primer lugar, transmitir la energía requerida para calentar el agua contenida en el alimento facilitando su evaporación. En segundo lugar, ayuda a transportar la humedad saliente del material. La velocidad de secado aumenta a medida que incrementa la velocidad de aire que fluye sobre el alimento (Foust, 1997).

A mayor velocidad, mayor será la tasa de evaporación y menor el tiempo de secado. La capa límite que existe entre el material a secar y el aire juega un papel importante en el secado. Cuanto menor sea el espesor de la capa límite, más rápida será la remoción de humedad. Por otra parte, el flujo de aire es importante, uno turbulento es mucho más eficaz que uno laminar. El deshidratado a nivel industrial se lleva a cabo empleando velocidades de aire entre 1.5 y 2.5 m/s. El deshidratado de tomate se ha realizado con velocidades de aire de 1.5 y 2.0 m/s (Lewicki y Michaluk, 2004; Kerkhofs et al., 2005; Doymaz, 2007).

#### 2.4.2.2.4 El Agua en los Alimentos

La cantidad de agua en un alimento define sus propiedades reológicas, sensoriales y susceptibilidad a las alteraciones por reacciones. El contenido de humedad en un alimento se refiere a toda el agua que este tiene. Un alimento puede expresarse en base húmeda o base seca. La

humedad de un alimento es retenida en dos formas, como agua libre o agua "ligada". El agua ligada ejerce una presión de vapor de equilibrio menor que la del agua libre a la misma temperatura. La humedad en forma de agua libre podría ser retenida por los capilares finos, o adsorbida dentro de una célula o paredes fibrosas o por combinación física/química con el sólido. El agua libre ejerce una presión de vapor de equilibrio igual a la del agua pura a la misma temperatura. La humedad en forma de agua libre está retenida en los espacios vacíos de los alimentos sólidos (Sharma, 2003).

Algunos autores han reportado valores del contenido de agua de alrededor del 94% en diversas variedades de tomate (Doymaz, 2007; Giovanelli et al., 2002; Zanoni et al., 1999; Rajkumar et al., 2007).

#### 2.4.2.3 Pretratamientos

En el secado de tomate los tiempos prolongados y las temperaturas altas ocasionan cambios adversos en la calidad final del producto, como son el oscurecimiento, pérdida de licopeno y ácido ascórbico, entre otros constituyentes. Para reducir estos efectos, se utilizan pretratamientos que consisten en soluciones de  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{NaCl}$  y  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ , (Lewicki et al., 2002). En la industria del secado de tomate al sol, se emplea sulfito de sodio como aditivo debido a sus múltiples funciones (Latapi et al., 2006):

- ❖ Inhibir el oscurecimiento enzimático y no enzimático.
- ❖ Prevenir el deterioro oxidativo.
- ❖ Inhibir algunas enzimas como las proteasas, oxidasas y peroxidasas.
- ❖ Inhibir el oscurecimiento de bacterias y hongos.

El metabisulfito de sodio tiene propiedades análogas al sulfito de sodio, mientras que el  $\text{NaCl}$  y el  $\text{CaCl}_2$  solo ayudan a disminuir el oscurecimiento de las rebanadas de tomate deshidratado (Lewicki et al., 2004).

## 2.5 CINÉTICA DE SECADO

### 2.5.1 CINÉTICA DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

Se han aplicado diferentes modelos matemáticos para ajustar los resultados experimentales de procesos de DO, con el objeto de predecir el comportamiento de los productos alimenticios. Uno de los modelos más usados es la ecuación empírica propuesta por Peleg (Petrotos; Lazarides, 2001; Sacchetti; Gianotti; Dalla Rosa, 2001; Conway et al., 1983). Este modelo no describe el proceso físico de difusión. Se calculó la pérdida de peso y la ganancia de sólidos. La pérdida de agua se determinó gravimétricamente, y se realizó balance de masa para verificar la concordancia de las determinaciones. Los parámetros evaluados se expresaron de la siguiente forma:

**WR:** reducción o pérdida de peso ( $\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{ MF}$ )

**WL:** pérdida de agua ( $\text{g agua} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{ MF}$ )

**SG:** ganancia de sólidos ( $\text{g sólidos} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{ MF}$ ) en que:

**MF:** muestra fresca inicial

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

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

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

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

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

Donde:

**W<sub>i</sub>** = peso de la muestra inicial en g

**W<sub>t</sub>** = peso de la muestra al tiempo t en g

**SS<sub>i</sub>** = sólidos solubles iniciales (°Brix) expresados en g sólidos.100 g<sup>-1</sup> MF

**SS<sub>t</sub>** = sólidos solubles al tiempo t (°Brix t) expresados en g sólidos.100 g<sup>-1</sup> MF

**M<sub>i</sub>** = humedad inicial expresada en g H<sub>2</sub>O.100 g<sup>-1</sup> MF

**M<sub>t</sub>** = humedad al tiempo t expresada en g H<sub>2</sub>O.100 g<sup>-1</sup> MF

El modelo aplicado fue la ecuación empírica propuesta por Peleg (1988), la Ecuación 5, que describe las curvas que se acercan a un equilibrio asintótico. Es un modelo no-exponencial de dos parámetros:

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

Donde:

**M<sub>i</sub>** = humedad inicial

**M (t)** = humedad al tiempo t

**k<sub>1</sub> y k<sub>2</sub>** = constantes

**t** = tiempo

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

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

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

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

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

## 2.5.2 CINÉTICA DE SECADO CONVECTIVO

Cabe señalar que la mayoría de los modelos de secado, no consideran el efecto del encogimiento, con el fin de simplificar las soluciones de las ecuaciones implicadas. Por otra parte, el comportamiento del proceso de secado se ha modelado utilizando el modelo de Page, el cual se puede expresar por la ecuación:

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = \exp(-kt^n) \dots (9)$$

Donde:

**MR:** Relación de humedad (Adim)

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

**M<sub>0</sub>:** Contenido de humedad inicial (%)

**M<sub>e</sub>:** Contenido de humedad en equilibrio (%)

**t:** Tiempo (min)

**k:** Coeficiente del modelo de Page

**n:** Coeficiente del modelo de Page

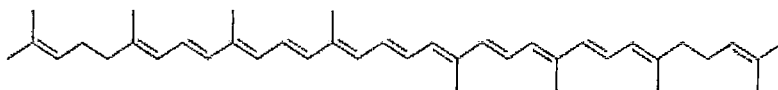
## 2.6 INDICADORES DE CALIDAD EN EL TOMATE DESHIDRATADO

La calidad del tomate deshidratado depende de varios factores, se consideran como factores importantes el color (cromaticidad) y la uniformidad del contenido de humedad (kg/kg en base seca) (Unadi et al., 2002). También, se considera importante el contenido de licopeno, ácido ascórbico y fenoles totales, los cuales le confieren su capacidad antioxidante y consecuentemente muchas de sus propiedades funcionales.

### 2.6.1 LICOPENO

El licopeno es un carotenoide importante para el ser humano debido a que se deposita en el hígado, pulmón, próstata, colon y piel, su concentración en el cuerpo es más alta que la de cualquier otro carotenoide.

Los dobles enlaces conjugados presentes en la estructura (Figura N° 2), de este compuesto facilitan la inactivación de radicales libres, favoreciendo su actividad anticancerígena y antiarteriosclerótica (Xianquan et al., 2005).



**Figura 2:** Estructura del licopeno

Los carotenoides presentes en tomates, están sujetos a degradación durante el procesamiento. Las principales causas de oxidación en el tomate dependen de (Hayes, 1998):

- Disponibilidad del oxígeno.
- La baja actividad de agua.
- Temperaturas altas.
- La desestabilización de iones metálicos presentes, como el cobre y el hierro.
- La estabilidad de antioxidantes y lípidos presentes.

El calor, la luz, el oxígeno, y diversas matrices del alimento son los factores que tienen un efecto significativo en la isomerización y auto oxidación del licopeno. Shi et al., en el 2000 sometieron el puré de tomate a un tratamiento térmico a 90, 110, 120 y 150 °C de una a seis horas. Los resultados mostraron que la concentración de licopeno disminuyó gradualmente con el tratamiento, a temperaturas más altas la degradación fue más rápida.

#### 2.6.2.1 Estabilidad

La estabilidad del licopeno en productos procesados térmicamente para hacer pasta de tomate, ketchup, y jugo de tomate ha sido estudiada extensamente (Goula, Adamopoulos, 2005). La degradación del licopeno

depende del tipo de tratamiento, la temperatura, el tiempo, y la presencia de luz y oxígeno (Goula, Adamopoulos, 2005).

#### 2.6.2.2 Importancia Nutricional

Una de sus fuentes principales de licopeno es el tomate (80-90%), que es un producto básico considerado saludable por su bajo contenido en kilocalorías y grasa y su contenido en fibra, proteínas, vitaminas E, A, C, y potasio y es utilizado en todo el mundo en diferentes presentaciones, ya sea crudo formando parte de ensaladas, como ingrediente en salsas, caldos y guisos o procesado en forma de salsas, purés, jugos o pasta. Otras fuentes importantes de licopeno son la sandía, la toronja rosada, la guayaba rosada, el pimiento rojo y la papaya (Vitale y colaboradores, 2010).

Además de estar presente en los alimentos, el licopeno es uno de los carotenoides que se encuentra distribuido en mayores cantidades en el suero humano (21- 43% de los carotenoides totales) y los diferentes tejidos (hígado, riñón, glándulas renales, testículos, ovarios y próstata). Su concentración depende de su ingestión alimentaria, pero está poco influenciada por la variación del día a día, debido a que la vida media del licopeno en plasma es de 12 a 33 días (Waliszewski et al.; 2010; Lu et al.; 2011). Un factor importante que mejora la biodisponibilidad del licopeno es la sinergia que se produce con otros compuestos antioxidantes, como sucede con las vitaminas E y C (Waliszewski et al.; 2010).

Diversos estudios in vitro han demostrado la capacidad antioxidante del licopeno, aunque los resultados de los estudios in vivo han sido menos concluyentes. En cualquier caso se le atribuyen funciones entre las cuales se distinguen la inhibición de la proliferación celular y su importante potencial antioxidante capaz de eliminar el singlete de oxígeno y los radicales peroxilo derivados del estrés oxidativo (González, 2010).

El estrés oxidativo es un proceso natural derivado de las funciones vitales que dependen del oxígeno. Cuando la producción de especies



reactivas de oxígeno y nitrógeno (ERO/ERN) supera los mecanismos corporales de defensa mediadas por antioxidantes no enzimáticos (como el glutatión) y enzimáticos (como la superóxido dismutasa (SOD), la catalasa (CAT) y la glutatión peroxidasa (GPx) endógenos, se produce daño a las membranas celulares, a las proteínas y al ADN y se desencadena una serie de reacciones que afecta la homeostasis celular y que desempeñan un papel patogénico importante en las enfermedades cardiovasculares e inflamatorias y en el envejecimiento (Veneroso, 2009; Dionisio; 2009).

Las ERO/ERN incluyen moléculas con diferentes grados de reactividad tales como el anión superóxido ( $O_2^-$ ), el peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ), el radical hidroxilo ( $HO^\cdot$ ), el singlete de oxígeno ( $^1O_2$ ), o el óxido nítrico (NO), todas altamente tóxicas, que son contrarrestadas mediante los sistemas antioxidantes. Así, la SOD convierte el radical superóxido en  $H_2O_2$  y  $O_2^-$ ; la CAT convierte el  $H_2O_2$  en  $O_2$  y  $H_2O$  y la GPx elimina el  $O_2^-$  generado por la SOD, resultando en la transformación de glutatión reducido en oxidado (Crespo et al.; 2008).

Además de la protección antioxidante endógena el organismo obtiene a través de la dieta moléculas antioxidantes como las vitaminas C, E, A, xantofilas, licopeno, flavonoides y minerales esenciales como el zinc, el hierro y el selenio, que actúan en conjunto para ofrecer protección contra las ERO/ERN. Cuando se incrementa la generación de ERO/ENO y/o se reducen las defensas antioxidantes se produce la situación de estrés oxidativo, con daño a macromoléculas (proteínas, lípidos y ácidos nucleicos), que se acompaña con frecuencia de la activación de factores de transcripción redox-dependientes, como el factor nuclear kappa B (NF- $\kappa$ B), y de procesos inflamatorios (Pastor et al., 1996 & Almar et al., 2005).

## **CAPITULO 3 MATERIALES Y MÉTODOS**

### **3.1 MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS**

#### **3.1.1 MATERIALES**

- 1 Bolsa Ziploc con capacidad de 1 kg para cada solución osmótica.
- Baguetas
- Bureta graduada de 50ml
- Cápsula de porcelana
- Cinta pH
- Cronómetro
- Desecador con silica gel
- Embudo
- Fiolas de 250 mL
- Luna de reloj
- Matraz de Erlenmeyer de 200 mL
- Mortero de porcelana
- Papel filtro Whatman N° 40 - 42
- Pipetas volumétricas de 1, 10 y 25ml
- Placas Petri
- Probetas de 50, 100 y 250ml
- Soporte universal
- Termómetro de 0 a 100 °C
- Vasos de precipitación de 25, 50, 100, 250 mL y 1 L.
- Papel higiénico Elite.

#### **3.1.2 EQUIPOS**

- Balanza electrónica KERN modelo PCB; d=0.1mg.; Wmax. 2500g.
- Balanza semianalítica EXCELL modelo BH-300; d=0.1mg.; Wmax. 300g.

- Balanza de Bolsillo CAMRY modelo EHA 701,  $d=0.02g$ ;  $W_{max}$ : 200 g
- Equipo de destilación
- Equipo de titulación
- Estufa Digital MEMMERT (130 °C)
- pHmetro digital HANNA modelo PH210
- Refractómetro, marca ATAGO modelo PAL 3

### 3.1.3 REACTIVOS

- Fenolftaleína al 1%
- NaOH 0.1N

## 3.2 MÉTODOS

### 3.2.1 PROCEDIMIENTOS PARA LA OBTENCIÓN DE LOS RESULTADOS

#### 3.2.1.1 Diagrama de Bloque para el Procesamiento del Tomate

La materia prima a usar fueron tomates variedad río grande con el mismo índice de madurez, comprados en el mercado Modelo de Lambayeque (Anexo 1). Los análisis fisicoquímicos, así como el desarrollo de la deshidratación osmótica se realizaron en los laboratorios de fisicoquímica y control de calidad y para el secado por aire forzado se usó el secador por túnel en el laboratorio de procesos unitarios en la Facultad de Ingeniería Química e Industrias alimentarias de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo

Los pasos a seguir son los siguientes señalados en la Figura 3, que constan:

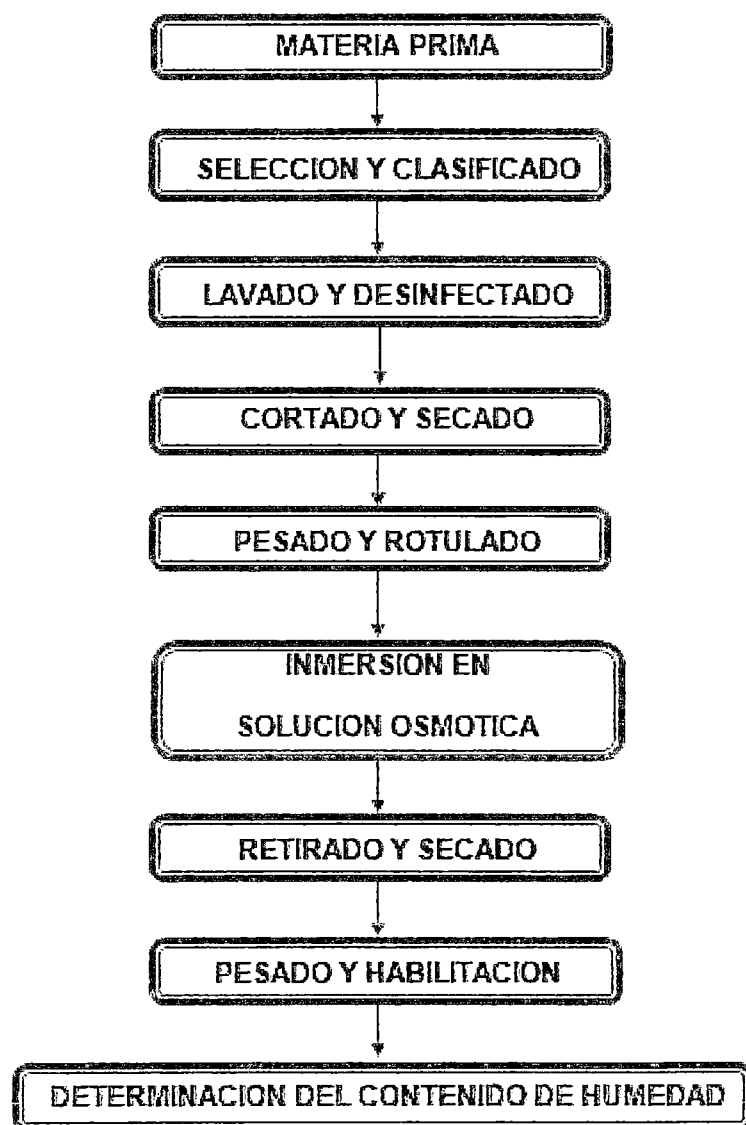
- ✓ Recepción de la materia prima.
- ✓ Selección de la materia prima, se separan todo tipo de tomates que contengan magulladuras y laceraciones en la piel externa, debido a que

deterioro enzimático esté presente y cause problemas en cuanto al análisis de deshidratación osmótica y/o humedad relativa.

- ✓ Lavado y desinfectado, el agua a usar será agua destilada distribuida en el laboratorio de Química Orgánica FIQIA-UNPRG, para su desinfección se usa desinfectante orgánico Kilol en la dosis apropiada de su etiquetado (10 mL del producto / L de agua), de todos los tomates obtenidos se toman muestras representativas para determinar su contenido de humedad según la AOAC, 2000.
- ✓ Se procede a cortar los tomates en mitades, de manera longitudinal, se retiran las pepas y la pulpa con mucho cuidado de dañar las paredes del tomate, con el uso de papel higiénico "Elite" se secan de manera muy sutil el agua sobrante debido al retirado de las pepas y pulpa sobrante (Anexo 3).
- ✓ Se procede a pesar cada mitades de tomates y anotar en un cuaderno los datos, posteriormente se procede a rotular cada uno de las mitades de tomates (Anexo 4).
- ✓ Se colocan las mitades de tomates en cada una de las soluciones osmóticas; y se anota la hora de inmersión (Anexo 4).
- ✓ Pasada una hora de inmersión se extraen mitades de tomates al azar de cada solución osmótica (esto se realiza hasta las cinco horas de inmersión), con movimientos muy tenues se extrae con la ayuda de servilletas el exceso de cada solución osmótica, luego se procede a

pesar, y se anota su peso correspondiente a cada mitad de tomate rotulada (Anexo 5).

- ✓ De las mitades de tomates extraídos, señalados anteriormente, se toman muestras para determinar su contenido de humedad de cada una, y se anota en una Tabla de Excel para cada repetición (Anexo 5).
- ✓ Pasada las cinco horas de inmersión en las soluciones osmóticas, se procede a retirar las mitades de tomates, extraer el exceso de solución osmótica con la ayuda de las servilletas con mucho cuidado (Anexo 5).
- ✓ Las mitades de tomates correspondientes a cada solución osmótica son colocadas en diferentes bandejas, se debe tener mucho cuidado con ello para evitar equivocaciones en los pesos, todos estos tomates son sometidos al secador con aire caliente, en el secador convencional.
- ✓ Se extraen las mitades de tomates pasada una hora de secado, y se pesa cada uno de las mitades, anotándolas en el cuaderno de datos, y se continúa a repetir el mismo proceso hasta poder completar las 10 horas, para poder determinar así la curva de secado.



**Figura 3:** Diagrama de bloques para la manipulación del tomate fresco

### 3.2.1.2 Preparación de las soluciones osmóticas

En bolsas ziploc de 1000 g. se rotula el nombre de cada solución osmótica a preparar (Anexos 2).

- **Solución de azúcar al 50 % p/v (T1):** Se mide 350 mL de agua destilada, con el uso de una probeta 250 mL se coloca agua destilada hasta su tope luego se verta a un vaso precipitado de 1 L, se repite la operación hasta obtener la cantidad requerida de agua, se pesa 350 g de azúcar blanca refinada Marca Metro (Anexo 1) y se le adiciona al vaso precipitado de 1 L o jarra plástica que contiene la cantidad de agua señalada anteriormente.
- **Solución de azúcar al 30 % p/v (T2):** Se mide 490 mL de agua destilada, con el uso de una probeta 250 mL se coloca agua destilada hasta su tope luego se verta a un vaso precipitado de 1 L, se repite la operación hasta obtener la cantidad requerida de agua, se pesa 210 g de azúcar blanca refinada Marca Metro (Anexo 1) y se le adiciona al vaso precipitado de 1 L o jarra plástica que contiene la cantidad de agua señalada anteriormente.
- **Solución de sal al 18 % p/v (T3):** Se mide 574 mL de agua destilada, con el uso de una probeta 250 mL se coloca agua destilada hasta su tope luego se verta a un vaso precipitado de 1 L, se repite la operación hasta obtener la cantidad requerida de agua, se pesa 126 g de sal yodada Marca EMSAL (Anexo 1) y se le adiciona al vaso precipitado de

1 L o jarra plástica que contiene la cantidad de agua señalada anteriormente.

- **Solución de sal al 10.8 % p/v (T4):** Se mide 624.4 mL de agua destilada, con el uso de una probeta 250 mL se coloca agua destilada hasta su tope luego se verta a un vaso precipitado de 1 L, se repite la operación hasta obtener la cantidad requerida de agua, se pesa 75.6 g de sal yodada Marca EMSAL (Anexo 1) y se le adiciona al vaso precipitado de 1 L o jarra plástica que contiene la cantidad de agua señalada anteriormente.

### 3.2.1.3 Determinación del Grado de Madurez del Tomate

Para determinar el grado de madurez se utilizará la siguiente tabla de color de tomate en el Anexo 1.

## 3.2.2 PROCEDIMIENTOS PARA LOS ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS

### 3.2.2.1 Determinación del Contenido de Sólidos Solubles Totales

Se determinará por el método Refractométrico y se expresa en grados Brix (°Bx). La lectura se debe corregir utilizando el porcentaje de ácido cítrico, mediante la siguiente ecuación:

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

Donde:

**A** = %Acidez Titulable

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



### 3.2.2.2 Determinación de la Acidez Titulable

Se determinará por el método de Titulación Potenciométrica.

Procedimiento: Pesar 5g de la muestra examen debidamente triturada, agregar 80ml de agua destilada, dejar en contacto 2 horas, filtrar, al filtrado obtenido aforar a 250ml.

Del aforado anterior tomar 50ml agregar gotas de fenolftaleína y titular con solución de NaOH 0.1N, hasta obtener una coloración ligeramente rosada, anotar el número de mililitros gastados y efectuar los cálculos. Se expresa como porcentaje de ácido cítrico y se calcula mediante la siguiente ecuación:

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

Donde:

$V_1$  = volumen de NaOH consumido (ml)

$V_2$  = volumen de la muestra (5ml)

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

$N$  = normalidad del NaOH (0.1 meq/ml)

### 3.2.2.3 Determinación de la Humedad

Se determinará por el Método Gravimétrico de la estufa.

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

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

Donde:

$P_i$  = peso inicial de la muestra

$P_f$  = peso final de la muestra

### 3.2.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE LOS DATOS

Los datos obtenidos de la deshidratación osmótica se anotarán en Tablas en Microsoft Excel (los pesos en el tiempo para cada hora de inmersión en cada solución, determinándose el porcentaje humedad (%H) respectiva), se analizarán con el uso del programa de STATISTICA 7 mediante una regresión lineal simple, se determinarán las constantes de la ecuación ( $K_1$ ,  $K_2$  y  $n$ ), señalados en los ítems 2.5.1 y 2.5.2, se calcularán el nivel de ajuste de los modelos propuestos con los datos experimentales.

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

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

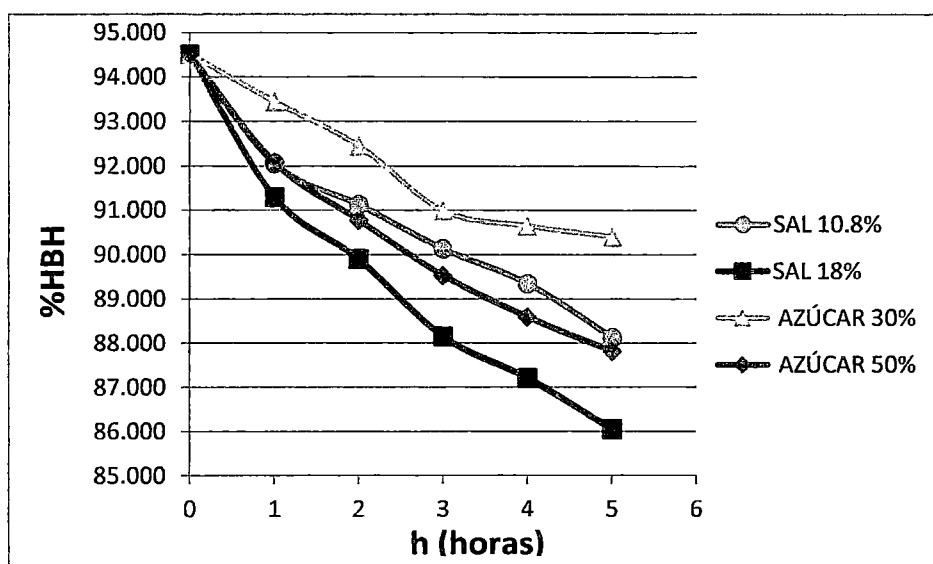
## CAPITULO 4 RESULTADOS Y DISCUSION

Los tomates que se usaron para la obtención de estos resultados contenían una acidez Titulable ( $A.T._{prom} = 0.0290133$ ), grado Brix ( $Bx_{prom} = 3.5$ ), sólidos solubles totales ( $S.S.T_{corregido} = 3.505628$ ).

### 4.1 DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DEL TOMATE

#### 4.1.1 VARIACIÓN DE LA HUMEDAD DURANTE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

La variación del contenido de humedad para diferentes tratamientos osmóticos en sal y azúcar como solutos, se presentan en la figura 4 y en el Anexo 6. El análisis estadístico de los resultados se presenta en el Anexo 7.



**Figura 4:** Pérdida de humedad por cada hora de deshidratación osmótica a diferentes soluciones

Las variaciones entre la humedad inicial y final de los ensayos evidenciaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ). La prueba de rangos múltiples para la variación del porcentaje de Humedad en el tiempo (Tukey), mostró que al deshidratar tomate con soluciones osmóticas de Azúcar al 50% y Sal al 10.8% p/v no presentan diferencias estadísticas significativas entre sí.

Por lo tanto se puede afirmar que el efecto de la concentración y tipo de soluto en la variación de la humedad en el tiempo de osmodeshidratado tiene un valor significativo (Chenlo, 2006, 2007; Park, 2002a; Sacchetti, 2001).

El tamaño molecular del agente osmótico es otro de los factores importantes que podrían influir en la transferencia de masa, para la pérdida de agua durante los procesos de deshidratación osmótica (Raoult-Wack, 1994; Rastogi, 1995; Saurel, 1994).

Los valores obtenidos se correlaciona con lo concluido por Mayor et al. (2007), quienes afirman que para obtener un producto deshidratado con una mínima ganancia de sólidos se debería adicionar pequeñas cantidades de NaCl en la solución osmótica para disminuir el potencial osmótico, favoreciendo la remoción de agua y obteniendo una ganancia de sólidos no excesiva.

Cabe resaltar que Mayor et al. (2007). Dichos autores establecieron que un incremento en las concentraciones de sal y azúcar conduciría a la obtención de un producto más deshidratado, debido posiblemente al aumento del gradiente de concentración de NaCl y sacarosa, que provocaría un incremento en la transferencia de ambos componentes hacia el interior del tejido vegetal. El incremento de estos dos componentes podría disminuir la actividad acuosa de la solución, favoreciéndose de este modo, la transferencia del agua desde el tejido vegetal hacia la solución osmótica.

En la literatura científica de Mandala et al. (2005), reportaron que las muestras osmotizadas presentan menor decoloración debido a la menor transferencia de oxígeno en la superficie del producto por la absorción de soluto, evitando que se genere el pardeamiento de la misma inactivando la acción enzimática.

#### 4.1.2 PARÁMETROS DEL MODELO DE PELEG PARA DETERMINAR LA PÉRDIDA DE HUMEDAD EN EL TIEMPO DE OSMODESHIDRATADO

El modelo de Peleg para predecir la pérdida de humedad en el tiempo tuvo niveles de ajustes  $R_2 \geq 0.988026725$ , también se puede observar que las constantes de secado  $k_1$  son mayores a las constantes de secado  $k_2$ . Los datos específicos se pueden observar en el Anexo 6.

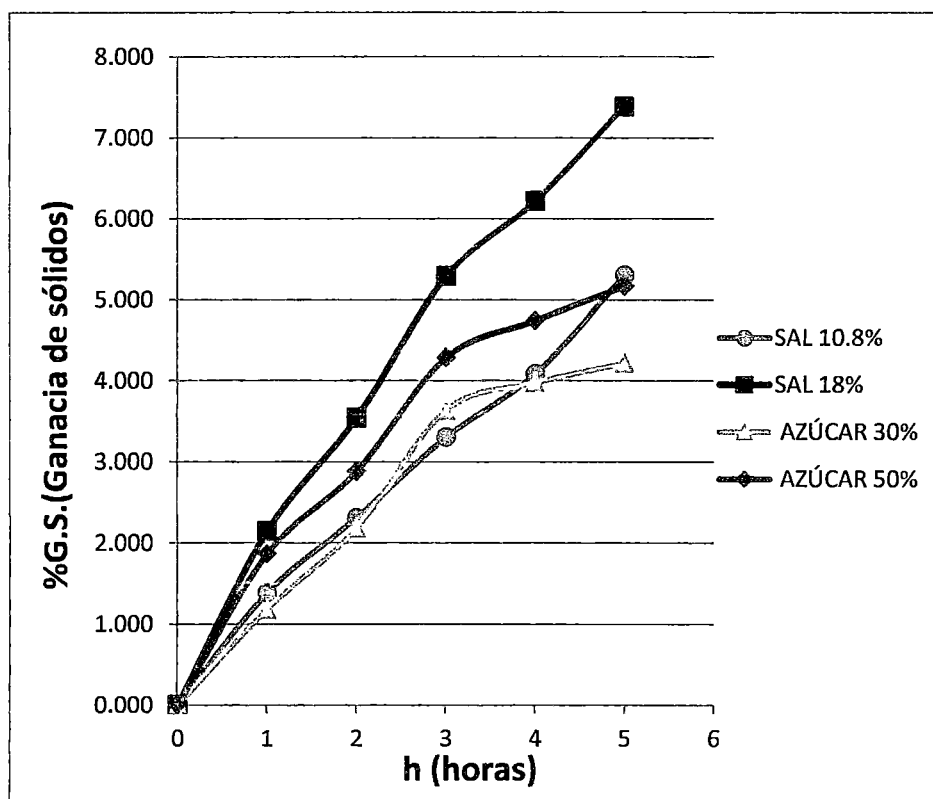
**Tabla 2:** Parámetros de secado para la pérdida de humedad en mitades de tomates osmodeshidratados

SOLUCIÓN OSMÓTICA	CONSTANTES DE SECADO		NIVEL DE AJUSTE
	$k_1$	$k_2$	$R_2$
Azúcar 50%	0.313655	0.103682	0.997511891
Azúcar 30%	0.691448	0.093389	0.988026725
Sal 10.8%	0.404412	0.083792	0.992487577
Sal 18%	0.281940	0.063984	0.997680168

*Fuente:* Autores (2014)

#### 4.1.3 VARIACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS EN EL TOMATE OSMODESHIDRATADO

El efecto de la retención de solutos dependerá de la concentración del soluto y el tipo de agente deshidratante (azúcar al 30 % y 50%, sal a 10.8% y 18% p/v) como se muestra en la figura N° 5, los datos obtenidos fueron modelados usando el modelo de Peleg basado e indicado en el ítem 2.5.1, los datos obtenidos de las repeticiones se encuentran en el Anexo 8.



**Figura 5:** Ganancia de sólidos por cada hora de deshidratación osmótica a diferentes soluciones

El análisis de varianza mostró que existe diferencia significativa entre las medias de las ganancias de sólidos, la prueba de rangos múltiples para la ganancia de sólidos en el tiempo (Tukey), mostró que los tratamientos Azúcar al 50% y Sal al 18% p/v no presentan diferencias estadísticas significativas en cuanto a ganancia de sólidos, y que Azúcar al 30% y Sal al 10.8% tampoco presentan diferencias significativas en cuanto a la ganancia de sólidos Anexo 8.

Concordamos con Moreira y Murr 2004 comparando la cinética del osmodeshidratado del tomate con los modelos de Peleg, y Page, que presentaron el mejor ajuste en cuanto a la predicción de la ganancia de sólidos.

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

4.1.4    PARÁMETROS DEL MODELO DE PELEG PARA DETERMINAR LA GANANCIA DE SÓLIDOS EN EL TIEMPO DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

El modelo de Peleg para predecir la ganancia de sólidos en el tiempo tuvo niveles de ajustes  $R_2 \geq 0.989457933$ , también se puede observar que las constantes de secado  $k_1$  son mayores a las constantes de secado  $k_2$ . Los datos específicos se pueden observar en el Anexo 8, ítem 8.8.

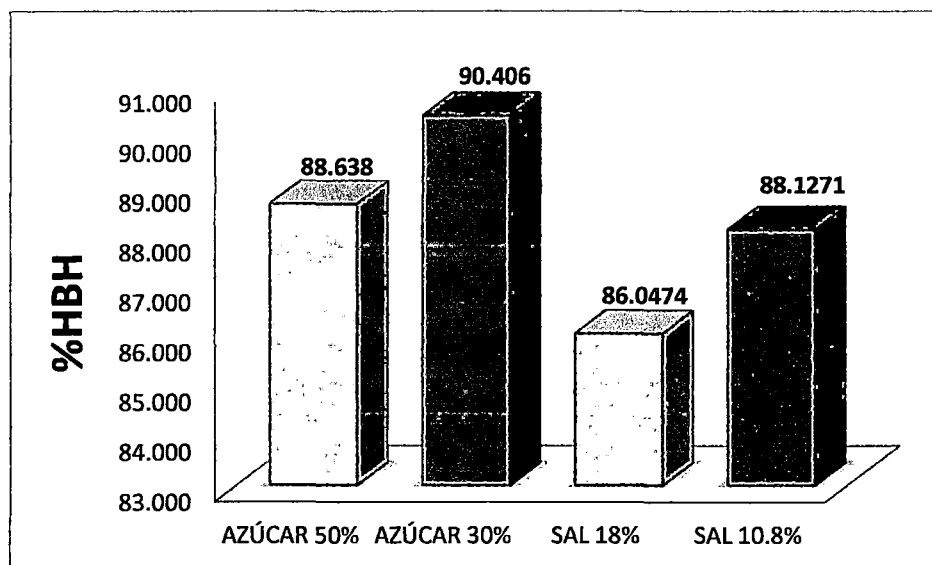
**Tabla 3:** Parámetros de secado para la ganancia de sólidos en mitades de tomates osmodeshidratados

SOLUCIÓN OSMÓTICA	CONSTANTES DE SECADO		NIVEL DE AJUSTE
	$k_1$	$k_2$	$R_2$
Azúcar 50%	0.342836	0.079706	0.999041892
Azúcar 30%	0.635518	0.098484	0.989457933
Sal 10.8%	0.801608	0.032935	0.997465510
Sal 18%	0.443618	0.047179	0.998933557

*Fuente:* Autores (2014)

#### 4.1.5 EFECTOS DE LA CONCENTRACIÓN Y TIPO DE SOLUTO

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



**Figura 6:** Humedad final después de cinco horas de deshidratación osmótica a diferentes soluciones

**\*Promedio de seis repeticiones**

Se puede observar que después de cinco horas de inmersión en las soluciones osmóticas, azúcar al 50% p/v reduce el porcentaje de humedad hasta 6.209%, azúcar al 30% reduce el porcentaje de humedad hasta 4.338%; sal 18% p/v reduce el porcentaje de humedad hasta 8.951%, sal 10.8% p/v reduce el porcentaje de humedad hasta 6.750%.



## **4.2 DATOS DEL PROCESO DE SECADO EN EL TÚNEL**

### **4.2.1 EFECTOS DE LA TEMPERATURA DEL SECADO POR AIRE FORZADO**

Los cuatro tratamientos osmóticos fueron sometidos a tres diferentes temperaturas 50, 70 y 90 °C por un tiempo de 10 horas. Por cada hora de secado convectivo se tomaron los pesos de cada mitad de tomate osmodeshidratado perteneciente a cada solución osmótica para determinar así la curva de secado con el porcentaje de humedad, cabe señalar que en el tiempo de secado por aire forzado hubo casos en los que las mitades de tomates osmodeshidratados alcanzaron valores constantes en sus pesos antes de llegar a las 10 horas continuas de secado.

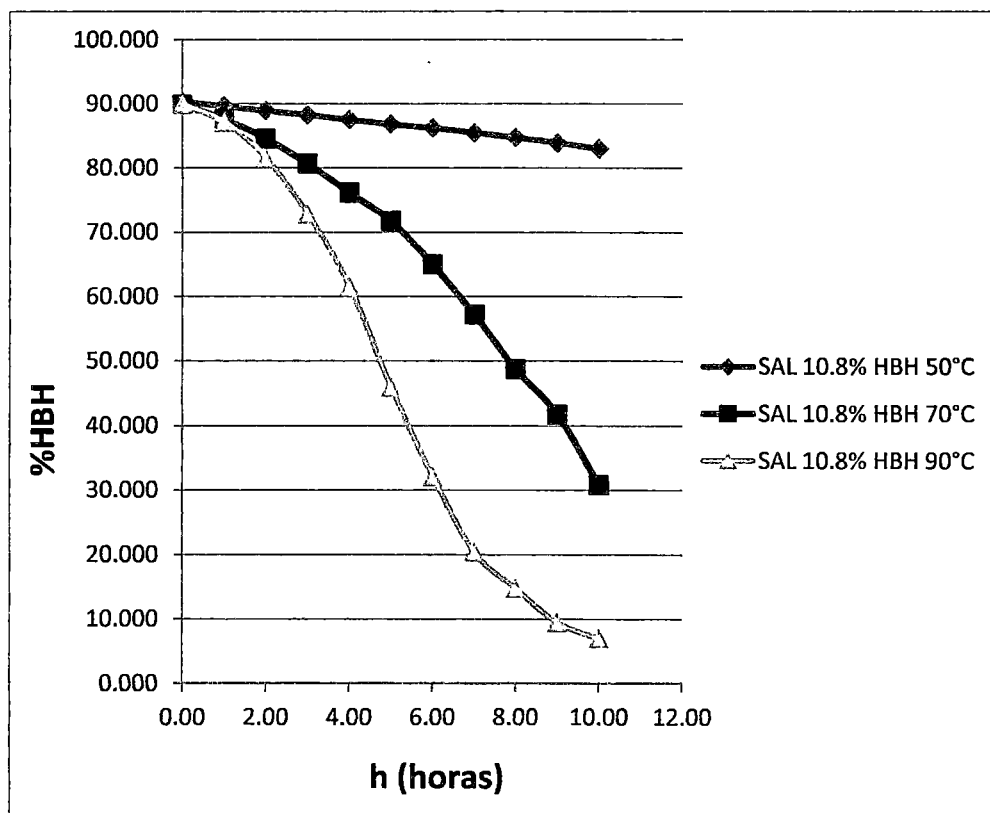
#### **4.2.1.1 Variación de la humedad en tomate osmodeshidratado con 10.8 % de Sal**

En el Tabla 4, muestra los datos obtenidos del porcentaje de humedad (%H) por cada hora de secado convectivo a las temperaturas de 50, 70 y 90 °C. Los datos específicos a las temperaturas de secado se encuentran respectivamente en el Anexo 9, 10, 11.

**Tabla 4: Porcentaje de humedad (%H) vs Tiempo**

<b>t (h)</b>	<b>HBH 50°C</b>	<b>HBH 70°C</b>	<b>HBH 90°C</b>
0.00	90.283	89.800	89.800
1.00	89.560	87.551	87.050
2.00	88.871	84.513	81.473
3.00	88.205	80.629	72.757
4.00	87.483	76.111	61.566
5.00	86.790	71.656	45.922
6.00	86.173	64.960	32.108
7.00	85.480	57.184	20.435
8.00	84.724	48.745	14.792
9.00	83.911	41.739	9.497
10.00	82.980	30.831	7.010

*Fuente: Autores (2014)*



**Figura 7:** Curvas de secado en Solución Osmótica al 10.8% de sal.  
Humedad vs Tiempo de secado

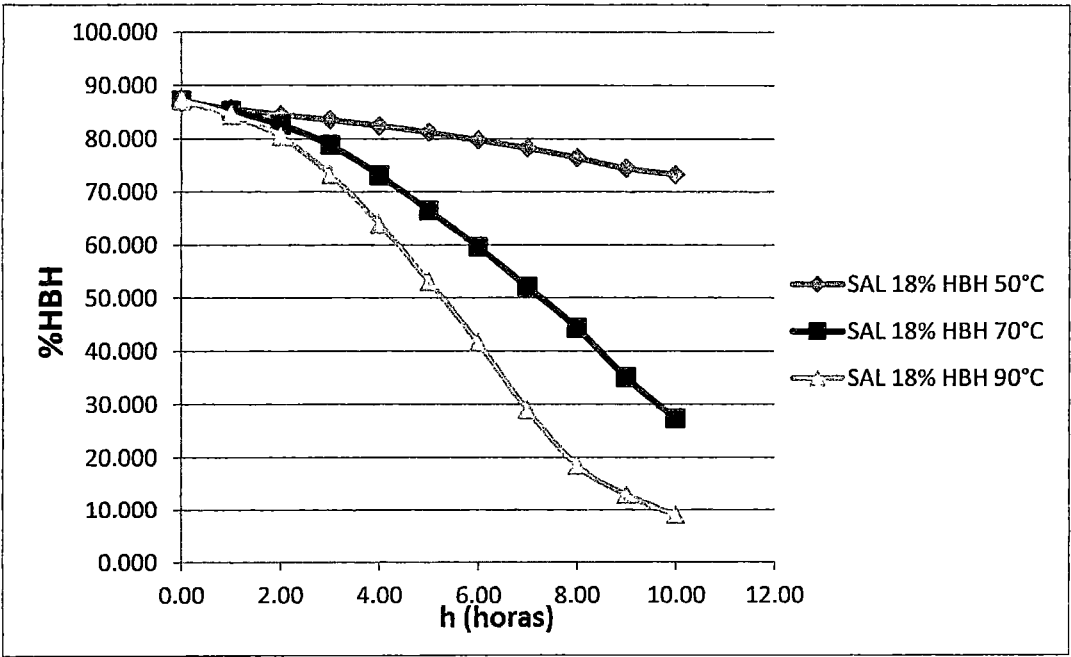
#### 4.2.1.2 Variación de la humedad en tomate osmodeshidratado con 18 % de Sal

El Tabla 5, muestra los datos obtenidos del porcentaje de humedad (%H) por cada hora de secado convectivo a las temperaturas de 50, 70 y 90 °C. Los datos específicos a las temperaturas de secado se encuentran respectivamente en el Anexo 12, 13,14.

**Tabla 5:** Porcentaje de humedad (%H) vs Tiempo

t (h)	HBH 50°C	HBH 70°C	HBH 90°C
0.00	86.698	87.100	87.100
1.00	85.556	85.152	84.335
2.00	84.457	82.544	80.340
3.00	83.492	78.790	73.253
4.00	82.415	73.070	63.884
5.00	81.189	66.480	53.076
6.00	79.734	59.618	41.651
7.00	78.324	52.056	28.961
8.00	76.463	44.403	18.600
9.00	74.500	35.074	12.848
10.00	73.315	27.300	9.029

Fuente: Autores (2014)



**Figura 8:** Curvas de secado en solución osmótica a 18% de sal.  
Humedad vs Tiempo de secado

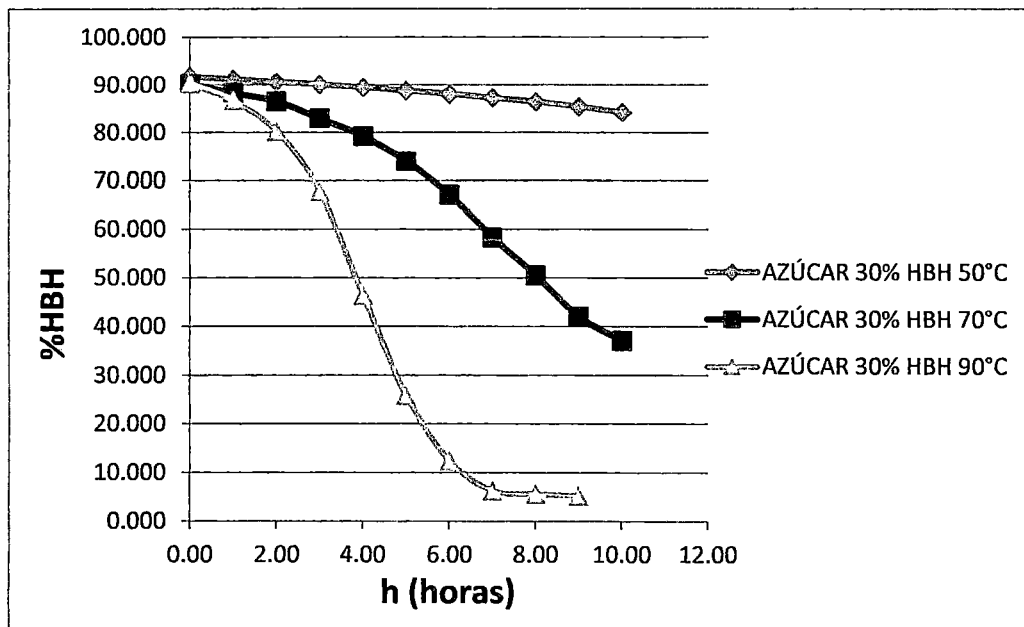
4.2.1.3 Variación de la humedad en tomate osmodeshidratado con 30 % de Azúcar

El Tabla 6, muestra los datos obtenidos del porcentaje de humedad (%H) por cada hora de secado convectivo a las temperaturas de 50, 70 y 90 °C. Los datos específicos a las temperaturas de secado se encuentran respectivamente el Anexo 15, 16,17.

**Tabla 6:** Porcentaje de humedad (%H) vs Tiempo

t (h)	HBH 50°C	HBH 70°C	HBH 90°C
0.00	91.708	90.278	90.278
1.00	91.159	88.339	86.733
2.00	90.599	86.583	80.295
3.00	90.092	82.999	67.740
4.00	89.515	79.250	46.384
5.00	88.824	73.976	25.887
6.00	88.107	67.089	12.407
7.00	87.329	58.331	6.283
8.00	86.502	50.543	5.655
9.00	85.564	42.093	5.247
10.00	84.282	37.072	5.247

*Fuente:* Autores (2014)



**Figura 9:** Curvas de secado en solución osmótica a 30% de azúcar.  
Humedad vs Tiempo de secado

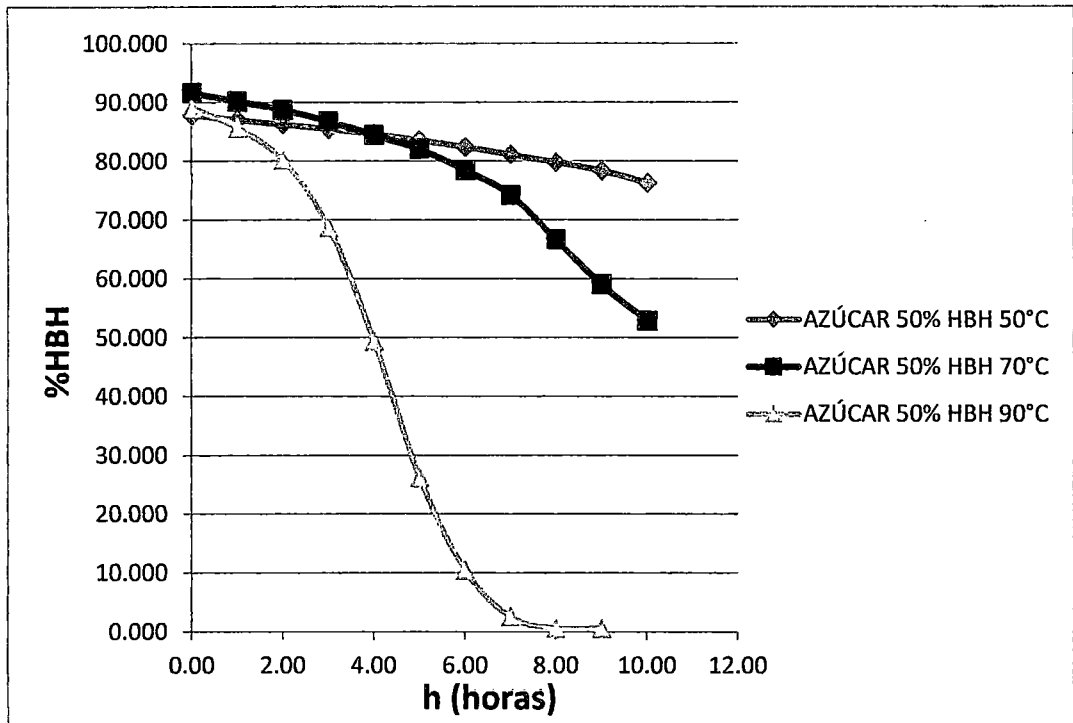
#### 4.2.1.4 Variación de la humedad en tomate osmodeshidratado con 50 % de Azúcar

El Tabla 7, muestra los datos obtenidos del porcentaje de humedad (%H) por cada hora de secado convectivo a las temperaturas de 50, 70 y 90 °C. Los datos específicos a las temperaturas de secado se encuentran respectivamente en el Anexo 18, 19,20.

**Tabla 7:** Porcentaje de humedad (%H) vs Tiempo

t (horas)	HBH 50°C	HBH 70°C	HBH 90°C
0.00	87.752	91.600	89.100
1.00	86.961	90.155	85.644
2.00	86.184	88.723	80.160
3.00	85.418	86.769	68.674
4.00	84.587	84.449	49.390
5.00	83.498	82.023	26.165
6.00	82.413	78.442	10.429
7.00	81.137	74.272	2.542
8.00	79.809	66.684	0.602
9.00	78.388	59.062	0.602
10.00	76.355	52.927	0.602

*Fuente:* Autores (2014)



**Figura 10:** Curvas de secado en solución osmótica a 50% de azúcar.  
Humedad vs Tiempo de secado

Tomates de dos variedades se secaron por convección a 60 ° C. La piel se retira y cuartos de tomates fueron premeditados, ya sea por inmersión en una solución de  $\text{CaCl}_2$  o por inmersión en esta solución, seguido de deshidratación osmótica. Otro lote de tomates se trató por ósmosis en solución hipertónica que contiene sacarosa y cloruro de calcio. El tratamiento previo de tomates con cloruro de calcio aumentó las tasas de secado convectivo y deshidratación osmótica también. El secado convectivo de tomates pre tratados fue 20 % más corta que la de la materia prima.

## CAPITULO 5 CONCLUSIONES

1. Se determinó que la concentración y el tipo de soluto usado durante la deshidratación osmótica son parámetros que ejercieron diferentes efectos sobre la pérdida de humedad a niveles significativos ( $\alpha = 0.05$ ); excepto azúcar al 50% y sal al 18% p/v que no presentaron diferencias significativas.
2. Se determinó mediante un ANOVA y una prueba de Tukey con un 95% de confiabilidad que no existen diferencias significativas en la ganancia de sólidos al tratar AZÚCAR al 50% y SAL al 18% p/v, AZÚCAR al 30% y SAL al 10.8% p/v, tampoco presentan diferencias significativas en cuanto a la ganancia de sólidos, respectivamente.
3. Para las cuatro soluciones osmóticas como pretratamiento al secado convectivo a temperaturas 50, 70 y 90 °C por un tiempo de 10 horas, la pérdida de humedad presenta un decrecimiento exponencial y es directamente proporcional a la temperatura de secado.
4. Se determinó que la mejores condiciones de operación es tratar a las mitades de tomates con SAL 10.8% p/v a una temperatura de 90°C, teniendo en cuenta que sus características iniciales: 94.506 %HBH y 3.505628 S.S.T. y al final del proceso sus características finales son 7.01 %HBH y 5.310 S.S.T.
5. Se determinó que utilizando el modelo de Page los parámetros del secado por aire forzado, las constantes de secado son:  $k=0.014786$ ,  $n=2.453805$ , el nivel de ajuste:  $R^2 = 0.999427075$ , para el tratamiento ganador.

6. Se determinó que el modelo de Peleg para deshidratación osmótica tiene un buen nivel de ajuste,  $R_2 \geq 0.988026725$  lo que permite usar este modelo en la predicción del tiempo de deshidratación osmótica para diferentes porcentajes de humedad en las mitades de tomates, así como la ganancia de sólidos.
7. Se determinó que el modelo de Page para determinar el secado convectivo presenta un buen nivel de ajuste, lo que determina que se puede predecir el tiempo de secado de las mitades de tomates osmodeshidratados y obtener el porcentaje de humedad.
8. Se determinó que para predecir la pérdida de humedad y la ganancia de sólidos en las mitades de tomates durante el tiempo deshidratado osmótico usando el modelo Peleg la ecuación queda definida respectivamente:

$$M(t) = M_i \pm \frac{t}{0.404412 + 0.083792 * t}$$

$$SG = \frac{t}{\frac{w_i}{100} (0.801608 + 0.032935 * t)}$$

9. Se determinó que para predecir la pérdida de humedad en secado por aire forzado de las mitades de tomate osmodeshidratadas usando el modelo Page la ecuación queda definida respectivamente:

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = \exp(-0.014786 * t^{2.453805})$$



## RECOMENDACIONES

- ✦ Se recomienda que al sacar las mitades de tomates de las soluciones osmóticas, el uso de las servilletas u otro material para retirar el exceso de la solución en el tomate sea con mucho cuidado sin lastimar, presionar con fuerza las paredes del tomate.
- ✦ Se recomienda a utilizar otros modelos matemáticos comparativos, para determinar si el nivel de correlación es mayor y puede definir mejor el fenómeno del secado convectivo en las mitades de tomates osmodeshidratadas.
- ✦ Se recomienda a realizar un estudio en cuanto a la cinética de la degradación del ácido ascórbico en el proceso de deshidratado osmótico así como el secado por aire forzado.

## BIBLIOGRAFIA

- ✦ Albors, A.; Salvatori, D.; Andrés, A.; Chiralt, A. & Fito, P.; (1998); Influence of the osmotic solution concentration on the structural and compositional profiles in dehydrated apple tissue. En: Marinos-Louris, G.; Saravakos & Mujundar, A. (Eds.), *Proceedings of the 11th International Drying*, pags. 877-885.
- ✦ Almar M, Cuevas JM, García-López D, García-González C, Alvear-Ordenes I, De Paz JA, González-Gallego J.; (2005); Changes in oxidative stress markers and NF-kappaB activation induced by sprint exercise. *Free Rad Res*; 39: 431-440.
- ✦ Almar M, Cuevas JM, García-López D, García-González C, Alvear-Ordenes I, De Paz JA, González-Gallego J.; (2005); Changes in oxidative stress markers and NF-kappaB activation induced by sprint exercise. *Free Rad Res*; 39: 431-440.
- ✦ Alzamora, S.M., Salvatori, D., Tapia, M.S., Lopez-Malo, A., Wwelti-Chanes, J., Fito, P.; (2005); Novel functional foods from vegetable matrices impregnated with biologically active compounds, *Journal of Food Engineering*, Vol. 67, Issues 1-2, pags. 205-214.
- ✦ Alzamora, S.M.; Gerschenson, L.N.; Vidales, S. & Nieto, A.; (1997); Structural changes in the minimal processing of fruits: Some effects of blanching and sugar impregnation. En: Fito, P.; Ortega-Rodríguez, E. & Barbosa-Cánovas, G.V. (Ed.). *Ingeniería de Alimentos* (2000) Chapman & Hall. New York, pags. 117-140.
- ✦ Andritsos, N., P.; (2003); Damalapakis, Kolios N. Use of geothermal energy for tomato drying. *GHC Bulletin*, pags. 9-13.
- ✦ AOAC, 2000. *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. 17th Edn. AOAC International, Maryland.
- ✦ Azuara, E., Beristain, C.I., García, H.S.; (1992); Development of a mathematical model to predict kinetics of osmotic dehydration. *International Journal of Food Science and Technology* 29 (4), pags. 239-242.

- ✦ Azuara, E., Beristain, C.I., Gutiérrez, G.F.; (1998); A Method for continuous kinetic evaluation of osmotic dehydration. *Lebensmittels-Wissenschaft und-Technologie*, pags. 31, 317-321.
- ✦ Barat, J.M., Fito, P., Chiralt, A.; (2001); Modeling of simultaneous mass transfer and structural changes in fruit tissues, *Journal of Food engineering*, Vol. 49, Issues 2-3, pags. 77-85.
- ✦ Barat, J.M.; Chiralt, A. & Fito, P.; (1998); Equilibrium in cellular food osmotic solution systems as related to structure. *Revista de Ciencia de Alimentos*. 63, pág. 836.
- ✦ Baroni A. y Hubinger M. ;(2000); Osmotic dehydration of tomatoes in binary and ternary Solutions, *Dehydration Processes*, pags. 1274-1278.
- ✦ Bianchi, M., Milisenda, P., Guarnaschelli, A., Mascheroni, R.H.; (2009); Transferencia de masa en deshidratación osmótica de frutas. Determinación experimental y simulación CD del CLICAP 2009, trabajo 51ª.
- ✦ Bianchi, M., Milisenda, P., Guarnaschelli, A., Mascheroni, R.H.; (2009); Modelado y simulación de procesos de congelación y deshidrocongelación de frutas, *Ingeniería Alimentaria* (83), pags. 52- 60.
- ✦ Biswal R., Bozorgmehr K., Tompkins F. D., and Liu X.; (1991); Osmotic concentration of green beans prior to freezing. *Journal of Food Science*, 56, pags. 1008-1012.
- ✦ Biswal R., Le Maguer M.; (1989); Mass transfer in plant materials in contact with aqueous solution of ethanol and sodium chloride: equilibrium data, *Journal Food process Engineering*, 11, pags. 159-176.
- ✦ Candelas-Cadillo, M.G., Alanís-Guzmán, M.G.J., Bautista-Justo, M., Del Río-Olague, F., García-Díaz C.; (2005); Contenido de licopeno en jugo de tomate secado por aspersión. *Revista Mexicana Ingeniería Química*, 4, pags. 299-307.
- ✦ Cardoso, F., Palmeira, J., Rodrigues, M., Honorato, F., Alves, S.; (2004); Comparación de modelos matemáticos de calor isotérmico de desorción en pulpa de Guayaba., *Revista Brasileira de armazenamento*, Vol. 29, No. 1, pags. 28-34.

- ✚ Castillo García, C., Mauro, M.A., Kimura, M.; (2007); Kinetics of osmotic dehydration and air-drying of pumpkins (*Cucurbita Moschata*), *Journal of Food Engineering*, 82, 3, pags. 284-291.
- ✚ Castillo, P. & Miranda, L.; (2002); Cinética de la degradación de la Vitamina C en el jugo concentrado y congelado de maracuyá. Recuperado el 25 de octubre del 2012, disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/2054/1/4073.pdf>.
- ✚ Cháfer, M.; González-Martínez, C.; Ortolá, M.D.; Chiralt, A. & Fito, P.; (2001); Kinetics of osmotic dehydration in orange and mandarin peels. *Revista de Procesos en Ingeniería de Alimentos*. 24, pags. 273-275.
- ✚ Chaves, M., Sgroppo, S., Avanza, J.; (2003); Cinética de Secado de Berenjena (*Solanum melongena* L.), Universidad nacional del nordeste. Comunicaciones científicas y tecnológicas. Corrientes–Argentina. Facultad de ciencias exactas y agrimensura, [Citado Oct-06-2006], Resumen E-60, disponible en Internet: <http://www.exa.unne.edu.ar>.
- ✚ Chenlo, F; Moreira, R; Fernández-Herrero, C; Vázquez, G.; (2006); Mass transfer during osmotic dehydration of chestnut using sodium chloride solutions. *Journal of Food Engineering*, 73, 164-173.
- ✚ Chenlo, F; Moreira, R; Fernández-Herrero, C; Vázquez, G.; (2007); Osmotic dehydration of chestnut with sucrose: Mass transfer processes and global kinetics modelling. *Journal of Food Engineering* 78, 765-774.
- ✚ Conway, J. et al.; (1983); Mass transfer considerations in the osmotic dehydration of apples. *Inst. Food Sci. Technology*, v. 16, n. 1, pags. 25-29.
- ✚ Crespo I., García-Mediavilla M.V., Almar M., González P., Tuñón M.J., Sánchez-Campos S., González-Gallego J.; (2008); Differential effects of dietary flavonoids on reactive oxygen and nitrogen species generation and changes in antioxidant enzyme expression induced by proinflammatory cytokines in Chang Liver cells. *Food Chem Toxicol* ; 46: 1555-1569.
- ✚ Della, R. P.; (2010); Secado de alimentos por métodos combinados: Deshidratación osmótica y secado por microondas y aire caliente.
- ✚ Dionisio N., Garcia-Mediavilla M.V., Sanchez-Campos S., Majano P., Benedicto I., Rosado J.A., Salido G.M., Gonzalez-Gallego J.; (2009);

- Hepatitis C virus NS5A and core proteins induce oxidative stress-mediated calcium signalling alterations in hepatocytes. *J. Hepatol*; 50: 872-882.
- ✦ Dionisio N., Garcia-Mediavilla M.V., Sanchez-Campos S., Majano P., Benedicto I., Rosado J.A., Salido G.M., Gonzalez-Gallego J.; (2009); Hepatitis C virus NS5A and core proteins induce oxidative stress-mediated calcium signalling alterations in hepatocytes. *J. Hepatol*; 50: 872-882.
  - ✦ Dong Chen, X.; (2008); *Drying Technologies in Food processing*, pags. 55-86. First Edition.
  - ✦ Doymaz, I.; (2007); Air-drying characteristics of tomatoes. *J. Food Eng.*, 78, pags. 1291-1297.
  - ✦ El-Aquar, A.A.; Murr, F.E.X.; (2003); Estudio e modelagem da cinética de desidratação osmótica do mamão formosa (papaya L.). *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, v. 23, n. 1, pags. 69-75.
  - ✦ Enachescu Dauthy, M.; (1995); *Fruit and vegetable processing*. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations, pág. 382 (FAO Agricultural Services Bulletin; no.119).
  - ✦ Erle U., Schubert H.; (2001); Combined osmotic and microwave-vacuum dehydration of apples and strawberries, *Journal of Food Engineering*, 49, pags. 193-199
  - ✦ Ertekin, C., Yaldiz, O.; (2004); Draying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model., *Journal of food engineering*, Vol. 63, No. 3, pags. 349-359.
  - ✦ Fito P., Pastor R.; (1994); Non diffusional mechanisms occurring during vacuum osmotic dehydration, *Journal of Food Engineering*, 21, pags. 513
  - ✦ Fito P.; (1994); Modelling of vacuum osmotic dehydration of food, *Journal of Food Engineering*, 22, pags. 313-328.
  - ✦ Fito, P. & Chiralt, A.; (1995); An update on vacuum osmotic dehydration. En: *Food preservation by moisture control: Fundamentals and applications*. Ed: G.V. Barbosa-Cánovas y Weltichaves. Technomic Publishing Company, Inc. Lancaster.

- ✦ Fito, P. & Pastor, R.; (1994); Non-diffusional mechanisms occurring during vacuum osmotic dehydration. *Revista de Ingeniería de Alimentos*. 21(4), pags. 513-519.
- ✦ Foust, A.; (1997); *Principios de operaciones unitarias*. Editorial CECSA.
- ✦ García A., Iglesias O., Roques M., Bueno J.; (1992); Microwave drying of agar gels: kinetics parameters. In *Drying '92*, Mujumdar A.S., Ed., Elsevier Science Publishers: NY, pags. 595-606.
- ✦ García, A.; (2005); *Dietética y Nutrición. Las vitaminas II*. Recuperado el 2 de noviembre del 2012, disponible en: <http://www.educaguia.com/apuntes/apuntes/nutricion/VITAMINAS/VITAMINASII.pdf>.
- ✦ Giovanelli, G., B. Zanoni, Lavelli V. and Nani, R.; (2002); Water sorption, drying and antioxidant properties of dried tomato products, *J. Food Eng.*, 52: pags. 135–141.
- ✦ Giovanelli, G., Zanoni, B., Lavelli, V., Nani, R.; (2002); Water sorption, drying and antioxidant properties of dried tomato products. *J. Food Eng.*, pags. 52, 135-141.
- ✦ Giraldo, G.; Talens, P.; Fito, P. & Chiralt, A.; (2003); Influence of sucrose solution concentration on kinetics and yield during osmotic dehydration of mango. *Revista de Ingeniería de Alimentos*, 58(1), pags. 33-43.
- ✦ Gómez, P.A., Camelo, A.F.L.; (2002); Calidad postcosecha de tomates almacenados en atmósferas controladas. *Hort. Brasileira*, 20, pags. 38-43.
- ✦ González-Gallego J., García-Mediavilla M.V., Sánchez-Campos S., Tuñón M.J.; (2010); Fruit polyphenols, immunity and inflammation. *Br J Nutr*; 104: S15-27.
- ✦ Goula A. M., Adamopoulos K. G.; (2005); Stability of lycopene during spray drying of tomato pulp. *LWT-Food Science and Technology* 38(5), 479-487.
- ✦ Grabowski, S., Mujundar, A.S., Ramaswamy, H.S., Strumillo, C., (1994); Osmoconvective drying of grapes. *Drying Technology*, 12 (5), pags. 1211-1299.
- ✦ Gutiérrez T, Páez M. & Hoyos O.; (2007); Seguimiento de la degradación térmica y lumínica del ácido ascórbico en uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Colombia*. 33, pags. 211-215.

- ✦ Gutiérrez, T.; Hoyos, O. & Páez, M.; (2007); Determinación del contenido de ácido ascórbico en uchuva (*Physalis peruviana* L.), por cromatografía líquida de alta resolución (CLAR). Colombia. 1(5), pags. 70-79.
- ✦ Hawkes J., Flink J., (1978); Osmotic concentration of fruits slices prior to freeze dehydration. J. Food Proc. Preserv. 2, pags. 265-284
- ✦ Hayes, W.A., Smith, P.G., Morris A.E., (1998); The production and quality of tomato concentrates. Crit.Rev. Food Sci. Nutr., 7, pags. 537-564.
- ✦ Heredia, A., C. Barrera and Andrés, A., (2007); Drying of cherry tomato by a combination of different dehydration techniques. Comparison of kinetics and other related properties. J. Food Eng., 80, pags. 111-118.
- ✦ Huxsoll C.; (1982); Reducing the refrigeration load by partial concentration of foods prior to freezing. Food Technology, 35 (11), pags. 98-102.
- ✦ Islam M., Flink J.; (1982); Dehydration of potato II. Osmotic concentration and its effect on air drying behaviour. Journal of Food Technology, 17, pags. 387-403.
- ✦ Kerkhofs, N.S., Lister, C.E., Savage, G.P.; (2005); Change in colour and antioxidant content of tomato cultivars following forced-air drying. Plant Foods Human Nutr. 60, pags. 117-121.
- ✦ Khin, M.M., Zhon, W., Perera, C.O.; (2006); Journal of Food Engineering, 7 (1), pags. 84-95.
- ✦ Kowalska, H.; Lenart, A.; (2001); Mass exchange during osmotic pretreatment of vegetables. J. of Food Eng., v. 49, n. 2-3, pags. 137-140.
- ✦ Krokida M., Maroulis Z., Saravacos G.; (2001); The effect of the method of drying on the colour of dehydrated products, International Journal of Food Science and Technology, 36, pags. 53-59.
- ✦ Krokida M., Maroulis Z.; (2001); Structural properties of dehydrated products during rehydration, International Journal of Food Science and Technology, 36, pags. 529-538.
- ✦ Latapi, G., Barrett D.; (2006); Influence of pre-drying treatments on quality and safety of sun-dried tomatoes. Part I: Use of steam blanching, boiling brine blanching, and dips in salt or sodium metabisulfite. J. Food Sci. 71, pags. 24-31.

- ✦ Lazarides, H.N.; (2001); Reasons and possibilities to control solids uptake during osmotic treatment of fruits and vegetables. En: Osmotic Dehydration and Vacuum Impregnation, Edited By: Fito, Chiralt, Spiess & Beshnilian. Ed: Food Preservation Technology Series. Capítulo 4, pags. 33-42.
- ✦ Lazarides, H.N.; Katsanidis, E. & Nickolaidis, A.; (1995); Mass transfer kinetics during osmotic preconcentration aiming at minimal solid uptake. *Revista de Ingeniería de Alimentos*. 25(2), pags. 151-166.
- ✦ Le Maguer, M.; (1997); Mass transfer modeling in structured foods. En: P. Fito, E. Ortega-Rodríguez y G. V. Barbosa-Cánovas (Ed.). *Ingeniería de Alimentos* (2000) Chapman & Hall. New York, pags. 253-270.
- ✦ Lenart A. y Flink J.; (1984); Osmotic concentration of potato. I. Criteria for the end-point of the osmosis process, *Journal Food Technology*, Vol 19, pags. 45-63.
- ✦ Lenart A. y Flink J.; (1984); Osmotic concentration of potato. II. Spatial distribution of the osmotic effect, *Journal Food Technology*, Vol 19, pags. 65-89.
- ✦ Lenart A., Lewicki P.; (1988); Energy consumption during osmotic and convective drying of plant tissue. *Acta Alimentaria Polonica*, 14, pags. 65.
- ✦ Lenart, A. & Flink, J.M.; (1984a); Osmotic concentration of potatoes I, Spatial distribution of the osmotic effect. *Journal Food Technology*. 19, pags. 45-50.
- ✦ Lenart, A. & Lewicki, P.P.; (1990); Osmotic dehydration of apples at high temperature. Ed: Mujumdar, A.S. Hemisphere Publishing Corporation, pags. 7-14.
- ✦ Lericí C., Pinnavaia G., Rosa M.D. and Bartolucci L.; (1985); Osmotic dehydration of fruit: influence of osmotic agent on drying behaviour and product quality, *Journal of Food Science*, 50: pags. 1217-1219.
- ✦ Lericí, C.R.; Pepe, M. & Pinnavaia, G.; (1977); The osmotic dehydration of fruit. Resultados de experimentos de laboratorio. *Industria Conservera*. 52(2), pags. 125-129.
- ✦ Lericí, C.R.; Pinnavaia, G.; Dalla Rosa, M. & Bartolucci, L.; (1989); Osmotic dehydration of fruit: Influence of osmotic agents on drying behavior and product quality. *Revista de Ciencia de Alimentos*, 56, pags. 1393-1398.



- ✦ Lewicki, P.P. and Michaluk, E.; (2004); Drying of tomato pre-treated with calcium. *Drying Technol.*, 22: pags. 1813–1827.
- ✦ Lewicki, P.P., Le, H.V. and Pomara ska-Lazuka W.; (2002); Effect of pre-treatment on convective drying of tomatoes. *J. Food Eng.*, 54: pags. 141–146.
- ✦ Li, H., Ramaswamy, H.; (2005); *Stewart Postharvest Review*, Vol1 N°4, Online ISSN: 1745-9656, pags. 174
- ✦ Lu R., Dan H., Wu R., Meng W., Liu N., Jin X., Zhou M., X., Zhou G., Chen Q.; (2011); Lycopene features and potential significance in the oral cancer and precancerous lesions. *J. Oral Pathol Med*; 40: 361-368.
- ✦ Lund D. B.; (1977); Effects of heat processing on nutrients. In: *Nutritional Evaluation of Food Processing*, (R. Harris and E. Karmas, eds). The AVI Publishing Co. Inc. Westport, C.T.; pags. 205-230.
- ✦ Magee T., Hassabalah A., Murphy W.; (1983); Internal mass trasfer during osmotic dehydration of apple slices in sugarsolutions. *Jounal Food science and Technology*, 7, pags. 147-155.
- ✦ Maldonado, R., Pacheco, T.; (2003); Curvas de deshidratación del Brócoli (*Brassica Oleracea L. var Italica Plenk*) y Coliflor (*Brassica oleraceae L. var Botritis*), *Revista de la Facultad de Agronomia, Universidad Central de Venezuela*. Vol.20, 2003, pags. 306-319.
- ✦ Mandala, I.G., Anagnostaras, E.F. & Oikonomou, C.K.; (2005); Influence of Osmotic Dehydration Conditions on Apple Air-Drying Kinetics and Their Quality Characteristics. *J. of Food Eng.*: 69, 307-316.
- ✦ Manyard, D.N.; (1999); Vegetable Production. In: Francis, F.J. (Ed.), *Wiley Encyclopedia of Food Science and Technology* (2nd Edn), Volumes 1-4: 2416-2427. John Wiley & Sons, New York.
- ✦ Marcotte, M.; Toupin, C. and Le Maguer, M.; (1991); Mass transfer in celular tissues. Part I: the mathematical model. *Journal of Food Engineering*, 13: pags. 199-220.
- ✦ Marfil, P.H.M., Santos, E.M., Telis, V.R.N.; (2008); Ascorbic acid degradation kinetics in tomatoes atdifferent drying conditions. *Food Sci. Tech.*, 41, pags. 1642-1647.

- ✦ Marinou-Kouris D.; Maroulis, Z. B.; (2006); Transport properties in the drying of solids, in Handbook of drying technology. Chapter 4. 3th Ed.
- ✦ Mascheroni, R.H.; (2002); Estudios y desarrollos en deshidratación por métodos combinados. IX Congreso Argentino de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Buenos Aires. Simposio "Avances Tecnológicos en los medios tradicionales de conservación".
- ✦ Mayor, L., Moreira, R., Chenlo, F. & Sereno, A.M.; (2006); Kinetics of osmotic dehydration of pumpkin with sodium chloride solutions. J. of Food Eng.: 74, 253-262.
- ✦ Mayor, L., Moreira, R., Chenlo, F. & Sereno, A.M.; (2007); Osmotic dehydration kinetics of pumpkin fruits using ternary solutions of sodium chloride and sucrose. Drying Technology: 25, 1749-1758.
- ✦ Milacatl, V.; (2003); Cambios en atributos sensoriales y degradación de ácido ascórbico en función de la temperatura en puré y néctar de mango. (Tesis de grado). Universidad de las Américas. Puebla, México.
- ✦ Molano, L., Serna, C, y Castaño, C.; (1996); Deshidratación de piña variedad Cayena Lisa por métodos combinados. En: Revista Cenicafé. Vol. 47, No. 3 pags. 140-158.
- ✦ Moreira Azoubel P.; Murr, E. X.; (2004); Mass transfer kinetics of osmotic dehydration of cherry tomato. J. Food Eng., v. 61, n. 3, pags. 291-295.
- ✦ Moy J., Lau N., Dollar A.; (1978); Effects of sucrose and acids on osmotic dehydration of tropical fruits. J. Food Proc. Preserv., 2, pags. 131
- ✦ Okos, M.R., Narsimhan G., Singh R.K., and Witnauer, A.C.; (1992); Food dehydration. In: D.R. Heldman and D.B. Lund, (Eds.), Handbook of Food Engineering, Marcel Dekker, New York.
- ✦ Palou, E. et al.; (1993); Deshidratación osmótica de Papaya. Efecto de la concentración del jarabe. Revista Española de Ciencia y Tecnología de Alimentos, v. 33, n. 6, pags. 621-630.
- ✦ Parjoko, K.A., Rahman, M.S., Buckle, K.A., Perera, C.O.; (1996); Osmotic dehydration kinetics of pineapple wedges using palm sugar. Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie, 29, pags. 452-459.

- ✦ Park, K. J.; Bin, A.; Brod, F.P.R.; Park, T.H.K.B.; (2002a); Osmotic dehydration kinetics of pear d'Anjou (*Pyrus communis* L.). *Journal of Food Engineering*, 52, 293-298.
- ✦ Pastor A., Collado P.S., Almar M., González-Gallego J.; (1996); Microsomal function in biliary obstructed rats: Effects of S-adenosylmethionine *J Hepatol*; 24: 353-359.
- ✦ Peleg, M.; (1988); An empirical model for the description of moisture sorption curves. *Journal Food Science*, 53 (4), pages. 1216-1219.
- ✦ Perdomo F., Cabrera Fránquiz F., Cabrera J., Serra-Manjem; (2012); Influence of cooking procedure on the bioavailability of lycopene in tomatoes. *Nutr Hosp*; 27: 1542-1546.
- ✦ Petrotos, K.; Lazarides, M.; (2001); Osmotic concentration of liquid foods. *J. of Food Eng.*, v. 49, n. 2-3, pages. 201-206.
- ✦ Piotrowski. D., Lenart A., Wardzynski A.; (2004); Influence of osmotic dehydration on microwave-convective drying of frozen strawberries, *Journal of Food Engineering*, 65, pages. 519-525.
- ✦ Pointing J.D., Watters G.G., Forrey, R.R., Jackson, R., Stanley, W.L.; (1966); Osmotic dehydration of fruits, *Food Technology*, 20, pages. 125.
- ✦ Ponting J.P.; (1973); Osmotic Deshydration of fruits recent modifications and applications, *Process Biochemistry* 12, pages. 18-20
- ✦ Quintero, S. & Gómez, A.; (2003); *Sistemas de intercambio de alimentos*. (2<sup>a</sup> Ed.). Medellín: pages. 11-15.
- ✦ Rahman M., Lamb J.; (1990); Osmotic dehydration of pineapple, *Journal of FoodScience and Technology*, 27, pages. 150-152.
- ✦ Rahman, M.S., Sablani, S.S., Al-Ibrahim, M.A.; (2001); Osmotic dehydration of potato equilibrium kinetics, *Drying Technology* 19 (6), pages. 1163-1176.
- ✦ Rahman, S. & Perera C.; (1996); Osmotic dehydration: a pretreatment for fruit and vegetables to improve quality and process efficiency. *The Food Technologist*, 25: pages. 144-147.
- ✦ Rajkumar, P., Kulanthaisami, S., Raghavan, G.S.V., Gariép, Y., Orsay, V.; (2007b); Drying kinetics of tomato slices in vacuum assisted solar and open sun drying methods. *Drying Tech.*, 25, pages. 1349-1357.

- ✦ Rajkumar, P.; (2007a); Comparative performance of solar cabinet, vacuum assisted solar and open sundrying methods. Tesis de Maestría, McGill University, Montreal Canada.
- ✦ Ramallo L., Schvezov C. Y Mascheroni R.; (2002); Transferencia de masa durante la deshidratación osmótica de ananá: un modelo matemático sencillo, tesis de maestría, Universidad Nacional de Misiones.
- ✦ Raoult-Wack A.I.; Lenart, A.; Guilbert, S.; (1992), Recent advances in dewatering through immersion in concentrated solutions. In: Mujundar A. S. (Ed.) *Drying of Solids. New York: International Science Publishers*, pags. 211-251.
- ✦ Raoult-Wack, A. L., Lafont, F., Ríos, G., Guilbert, S.; (1989); Osmotic dehydration: Study of mass transfer in terms of engineering properties. En: Mujumdar, A.S. y Roques, M. (ED). *Drying '89. New York, USA: Hemisphere Publ. Corp.*, pags. 487-495.
- ✦ Raoult-Wack, A.L.; (1994); Recent advances in the osmotic dehydration of foods. *Trends in Food Science and Technology*, 5, 255-260.
- ✦ Rastogi, N.K.; Raghavarao, K.S.M.S.; (1995); Kinetics of osmotic dehydration of coconut. *Journal of Food Process Engineering*, 18, 187-197.
- ✦ Rodríguez, M.M., Gori, L.M., Mascheroni, R.H., Pagano, A.M.; (2010); Modeling of dehydration kinetics of european plum (*Prunus domestica* L.) by combined methods. *17th International Drying Symposium - IDS2010. Magdeburg, Germany*.
- ✦ Romero, F.; (2008); Estabilidad de vitaminas, vida comercial y bioaccesibilidad de folatos-hierro en fórmulas infantiles de continuación y crecimiento. [Tesis doctoral]. Facultad de Veterinaria y Ciencia y Tecnología de los Alimentos, Universidad de Murcia. Pág. 214, disponible en: <http://digitum.um.es/xmlui/bitstream/10201/2114/1/RomeroBraquehais.pdf>
- ✦ Romero, L., Kieckbush, T.; (2003); Influência de Condições de Secagem na Qualidade de Fatias de Tomate., *Brazilian Journal of food Technology*, Vol. 6, No. 1, pags. 69-76.

- ✦ Sablani, S.S., Rahman, M.S.; (2003); Effect of syrup concentration, temperatura and sample geometry on equilibrium distribution coefficients during osmotic dehydration of mango, *Food Research International*, 36, 65-71.
- ✦ Sacchetti, G.; Gianotti, A.; Dalla Rosa, M.; (2001); Sucrose salt combined effects on mass transfer kinetics and product acceptability study on apple osmotic treatments. *Journal of Food Engineering*, v. 49, n. 2-3, pags. 163-173.
- ✦ Sacchetti, G; Gianotti, A; Dalla Rosa, M.; (2001); Sucrose-salt combined effect on mass transfer kinetics and product acceptability. Study on apple osmotic treatment. *Journal of Food Engineering*, 47, 163-173.
- ✦ Sacilik, K., Keskin R. and Elicin, A.K.; (2006); Mathematical modelling of solar tunnel drying of thin layer organic tomato. *Journal of Food Engineering* 73: pags. 231–238.
- ✦ Salvatori, D.; Alzamora, S.; (2000); Structural changes and mass transfer during glucose infusion of apples affected by blanching and process variables. *Drying Technology*, v. 18, n. 1-2, pags. 361-382.
- ✦ Sandoval, S., Rodriguez, J., Méndez, L., Sánchez, J.; (2006); Rapidez de secado reducida: Una aplicación al secado convectivo de plátano Roatán., *Revista Mexicana de Ingeniería química*, Vol. 5, No. 1, pags. 35-38.
- ✦ Saurel R., Raoult- Wack A., Ríos G., guilbert S.; (1994); Mass transfer phenomena during osmotic dehydration of apple.II.frozen plant tissue. *International Journal of Food Science and Technology*, 29, pags. 531-550.
- ✦ Sharma R.C., Joshi V. K., Chauhan S.K., Chopra S. K. and Lal B.B (1991); Application of osmosis-osmo-canning of apple rings. *J. Food Sci. Technol.* 28, pags. 86-88.
- ✦ Sharma, S., Mulvaney, S., Rivzi, S.; (2003); *Ingeniería en Alimentos. Operaciones unitarias y prácticas de laboratorio.* Limusa Wiley.
- ✦ Shi, J. Maguer M.L.; (2000); Lycopene in tomatoes: Chemical and physical properties affected by food procesing. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 40, pags. 1-42.

- ✦ Shi, J., Le Maguer M., Kakuda Y., Liptay A. and Niekamp F.; (1999); Lycopene degradation and isomerization in tomato dehydration, *Food Research International*, 32: pags. 15-21.
- ✦ Shi, J.X., Le Maguer M., Wang S.L. and Liptay A.; (1997); Application of osmotic treatment in tomato process – effect of skin treatments on mass transfer in osmotic dehydration of tomatoes. *Food Res. Int.*, 30: pags. 669-674.
- ✦ Shi, X.Q., Maupoey, P.F.; (1993); Vacuum osmotic dehydration of fruits, *Drying Technology*, 11 (6), pags. 1429-1442.
- ✦ Shi, X.Q., Maupoey, P.F.; (1994); Mass transfer in vacuum osmotic dehydration of fruits: a mathematical model approach, *Food Science and Technology*, 27, pags. 67-72.
- ✦ Spiazzi, E. and Mascheroni, R.H.; (1997); Mass transfer model for osmotic dehydration of fruits and vegetables I. Development of the simulation model. *Journal of Food Engineering*, 34: pags. 387-410.
- ✦ Spiazzi, E., Raggio Z., Bignone K., Mascheroni R.; (1998); Experiments in dehydrofreezing of fruits and vegetables: mass transfer and quality factors. IIR proceedings Series “*Refrigeration Science and Technology*”, Sofia, Bulgaria.
- ✦ Telis, V.R.N. and Sobral P.J.A.; (2002); Glass transitions for freeze-dried and air-dried tomato, *Food Research International.*, 35: pags. 435–443.
- ✦ Telis, V.R.N., R.C.B.D.L. Murari and Yamashita F.; (2004); Diffusion coefficients during osmotic dehydration of tomatoes in ternary solutions. *J. Food Eng.*, 61: pags. 253–259.
- ✦ Thompkinson, D.K. & Kharb, S.; (2007); Aspects of infant food formulation. Examen exhaustivo en Ciencia y Seguridad de los Alimentos. 6: Pág. 14.
- ✦ Tillmans, J.; (1928); Bioquímica. Publicación. (Estados Unidos) Volumen 22:779. (Nº 48) Pág. 265.
- ✦ Toor R. K., Savage G.P.; (2006); Effect of semi-drying on the antioxidant components of tomatoes, *Food Chemistry*, 94, pags. 90-97.
- ✦ Torreggiani, D.; (1993); Osmotic dehydration in fruit and vegetables processing. *Food Res. Int.* 26, pags. 27-44.

- ✦ Torregiani, D., Fornu, E., Erba, M. L., Longoni, F.; (1995); Functional properties of pepper osmodehydrated in hydrolyzed cheese whey permeate with or without sorbitol. *Food Research Internacional* 28, pags. 161-166.
- ✦ Torres, J.D.; (2007); Optimización de las condiciones de operación de tratamientos osmóticos destinados al procesado mínimo de mango (*Mangifera indica* L.). [Tesis Doctoral]. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.
- ✦ Unadi, A., Fuller, R.J., Macmillan, R.H; (2002); Strategies for drying tomatoes in a tunnel dehydrator. *Drying Tech.*, 7, pags. 1407-1425.
- ✦ Vega, A., Fito, P.; (2005); Modelado de la cinética de secado del pimiento Rojo (*capsicum annuum* L. cv Lamuyo), *Información tecnológica*, Vol. 16, No. 6, pags. 3-11.
- ✦ Vega, A., Lemus, R.; (2006); Modelado de la cinética de secado de papaya chilena (*basconcellea pubescens*), *Información tecnológica*. Vol. 17, N° 3, pags. 23-31.
- ✦ Veneroso C., Tuñón M.J., González-Gallego J., Collado P.S.; (2009); Melatonin reduces the cardiac inflammatory injury induced by acute exercise. *J Pineal Res*; 47: 184-191.
- ✦ Vitale A., Bernatene E., Pomilio A.; (2010); Carotenoides en quimiopreención: licopeno. *Acta Bioquim Clin Latinoam*; 44; 195-238.
- ✦ Wais, N. L., Santos, M.V., Marani, C.M., Agnelli, M.E., Mascheroni, R.H.; (2004); Osmotic dehydration and combined osmotic dehydration-hot air drying of banana and apples slices. *Mass transfer and quality issues, Drying 2004*, MA Silva and SCS Rocha (Editors), Mujumdar Series, vol. C, pags. 2201.
- ✦ Wais, N; Agnelli, M.E and Mascheroni, R.H.; (2005); Combined osmotic dehydration-microwave drying of fruits: application to apple cubes, 2ª Mercosur Congress on Chemical Engineering, ENPROMER, Brasil.
- ✦ Waliszewski K., Blasco G.; (2010); Propiedades nutraceuticas del licopeno. *Salud Pública Mex.*; 52: 254-265.

- ✦ Waliszewski, K.; Texon, N.; Salgado, M. and García, M.; (1997); Mass transfer in banana chip during osmotic dehydration. *Drying Technology*, 15 (10): pags. 2597-2607.
- ✦ Wills, R.H., Lee, T.H., Mcglasson, W.B., Hall, E.G.; (1998); Introducción a la Fisiología y Manipulación de frutas, Hortalizas y ornamentales Poscosecha.
- ✦ Xianquan, S., Shi, J., Kakuda, Yueming J.; (2005); Stability of lycopene during food processing andStorage. *J. Med. Food*, 4, pags. 413–422.
- ✦ Zanoni, A., Peri, C., Nani, R., Lavelli, V.; (1999); Oxidative heat damage of tomato halves as affected by drying. *Food Res. Int.*, 31, pags. 395-401.
- ✦ Zanoni, B., Pagliarini, E., Foschino R.; (2000); Study of dried tomato halves during shelf-life to minimize oxidative damage. *J. Sci. Food Agric.* 80, pags. 2203-2208.
- ✦ Zapata Montoya, E. H. & Castro Quintero, G.; (1999); Deshidratación osmótica de frutas y vegetales. En: *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, Medellín. Vol. 52, No.1; pags. 451-466.

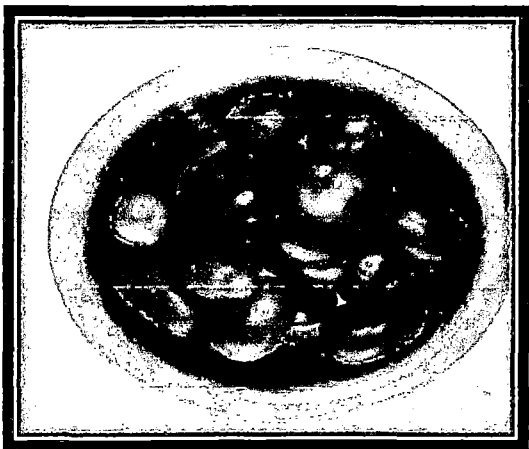


ANEXO I

Figura 11: Azúcar blanca y sal yodada

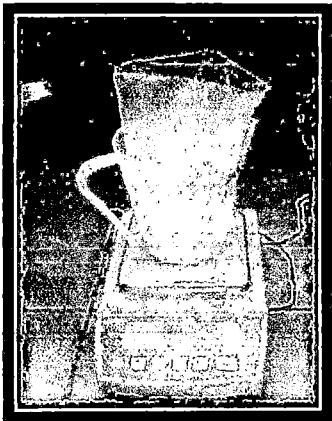


Figura 12: Selección de tomates por índice de madurez (Rojo claro) comprados en el Mercado de Lambayeque



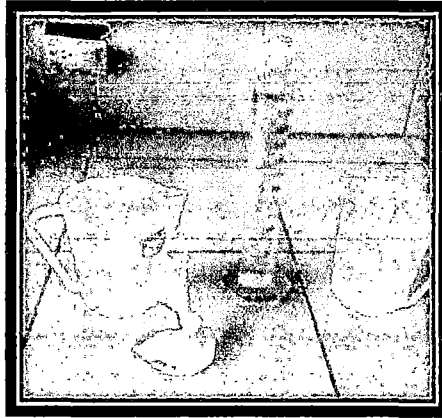
Carta de color de la USDA	
	VERDE Significa que la superficie del tomate es completamente verde en color. El tono verde puede variar de claro a oscuro.
	ROMPIENTE Significa que hay un cambio de color del verde a amarillo tenue, rosa o rojo, en no más del 10% de superficie.
	CANBLANTE Significa que más del 10% pero no más del 30% de la superficie total, muestra un cambio definitivo en color de verde a amarillo tenue, rosa o rojo o una combinación de estos.
	ROSA Significa que más del 30%, pero no más del 60% del total de la superficie, muestra un color rosa o rojo.
	ROJO CLARO (Naranja) Significa que más del 60%, pero menos del 90% de la superficie del tomate, muestra un color rosa o rojo.
	ROJO Significa que el tomate es rojo en más del 90% del total de su superficie.

Figura 13: Pesado de los insumos

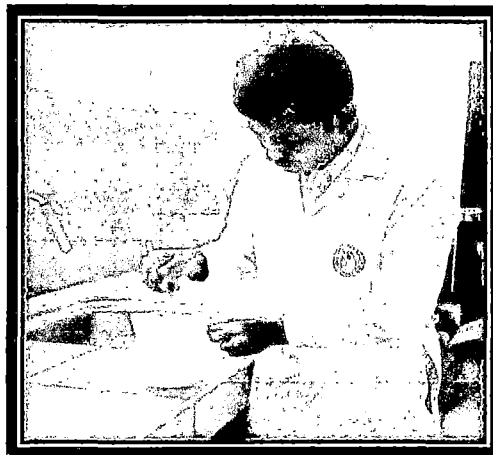


## ANEXO II

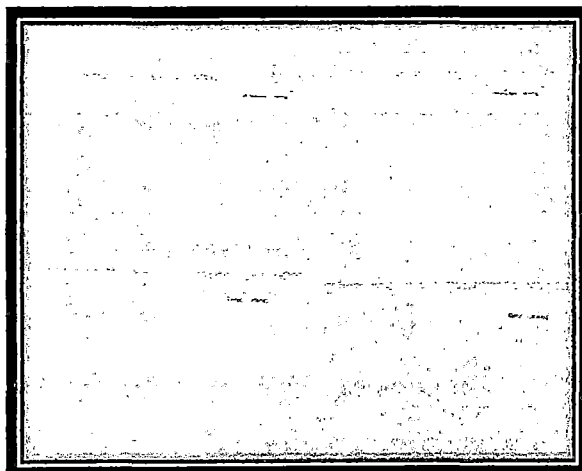
**Figura 14:** Habilitación para el mezclado de los insumos



**Figura 15:** Mezclado de los insumos para las soluciones

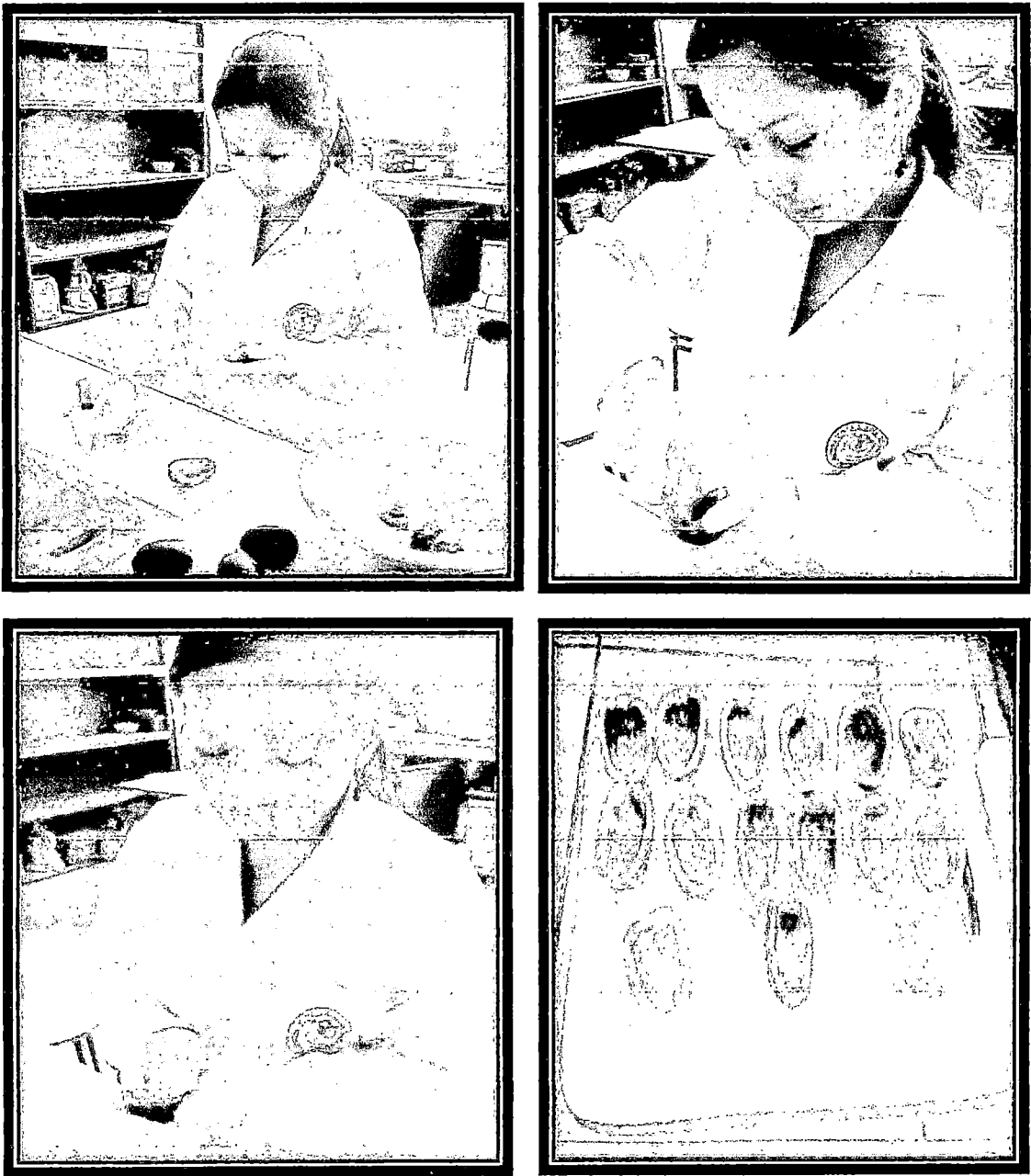


**Figura 16:** Rotulado y llenado de las soluciones en bolsas ziploc



**ANEXO III**

**Figura 17: Mitades de tomates retirado de semillas y placenta**

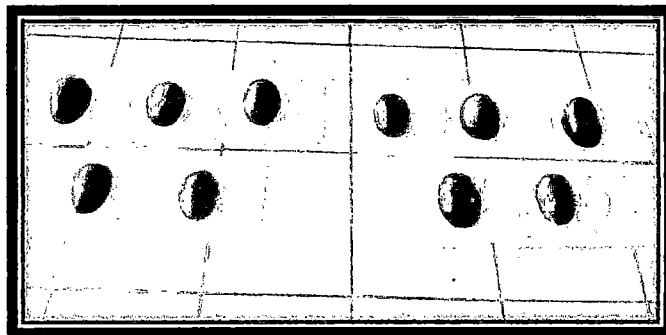


#### ANEXO IV

**Figura18: Pesado**



**Figura 19: Rotulado**

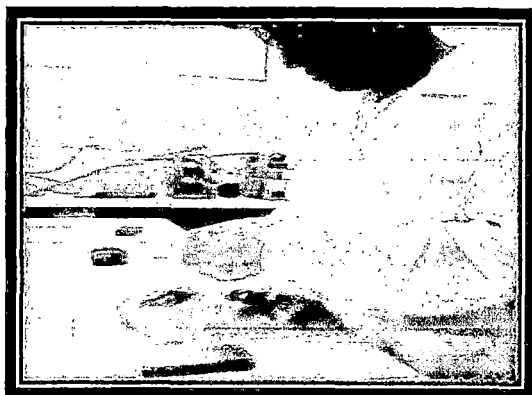


**Figura 20: Mitades de tomates inmerso en soluciones osmóticas**

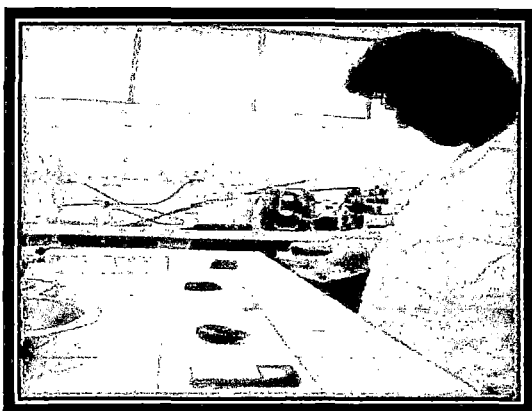


## ANEXO V

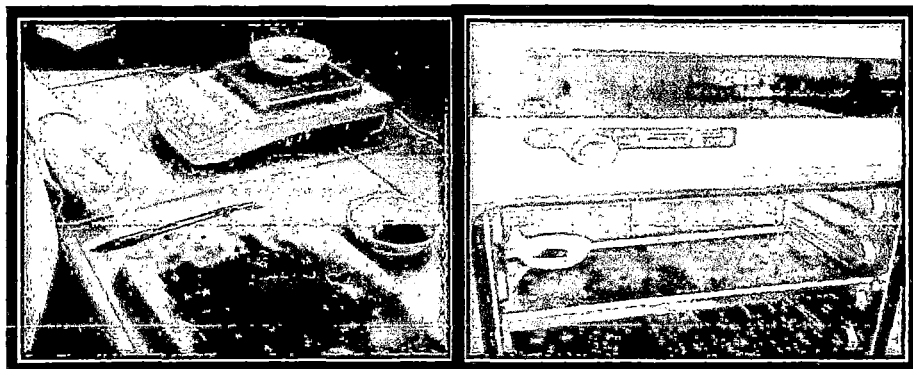
**Figura 21:** Extrayendo mitades de tomates a cada hora de deshidratación osmótica



**Figura 22:** Extracción de líquido excedente de las soluciones osmóticas



**Figura 23:** Muestras para determinación de humedad



**ANEXO VI**

**6.1 EFECTOS DE LA CONCENTRACIÓN Y TIPO DE SOLUTO**

Los resultados que se presentan en el siguiente Tabla 12 corresponden a las humedades obtenidas en el proceso de deshidratación osmótica después de cinco horas de inmersión, estos datos constan de seis repeticiones en diferentes días.

**Tabla 8:** Porcentaje de humedad después de cinco horas de deshidratación osmótica

REPETICIONES	AZÚCAR 30%	AZÚCAR 50%	SAL 10.8%	SAL 18%
1	89.64	86.70	88.82	86.51
2	89.98	87.31	85.72	85.70
3	89.67	87.03	88.23	85.23
4	89.67	87.88	88.33	85.39
5	89.87	86.76	87.85	83.78
6	90.03	86.67	89.58	86.59
Promedio	89.81	87.06	88.09	85.53
Desv. St.	0.173	0.469	1.303	1.030

*Fuente:* Autores (2014)

**6.2 VARIACIÓN DE LA HUMEDAD DURANTE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA**

**Tabla 9:** Porcentaje de humedad en el tiempo de deshidratación osmótica

T	SAL10.8%	SAL 18%	AZÚCAR 30%	AZÚCAR 50%
0	94.506	94.506	94.506	94.506
1	92.053	91.293	93.445	92.074
2	91.126	89.895	92.445	90.776
3	90.134	88.146	90.992	89.533
4	89.348	87.213	90.649	88.592
5	88.127	86.047	90.406	87.821

*Fuente:* Autores (2014)

*\*Cada dato de la tabla es un promedio de seis repeticiones*

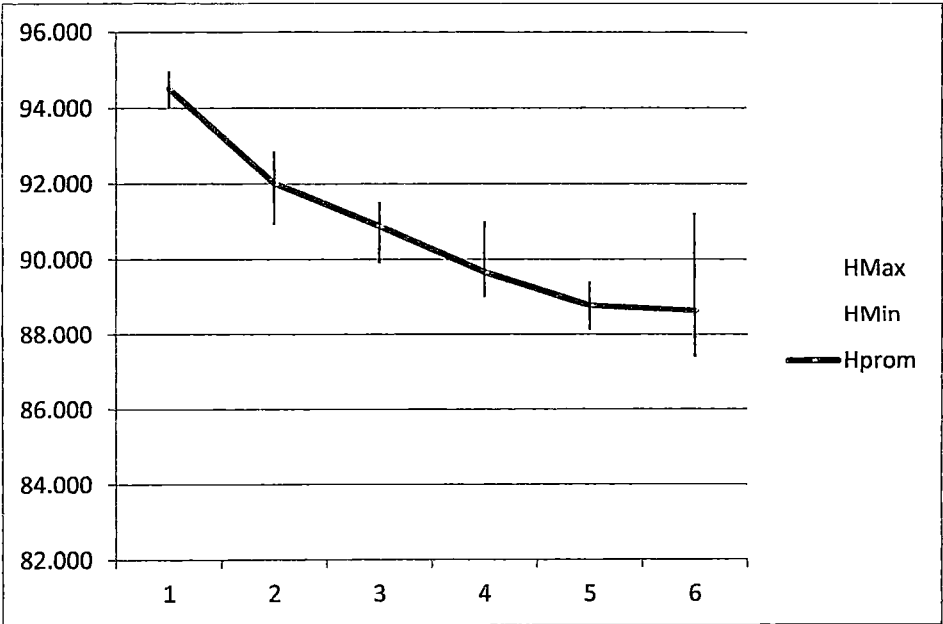
**6.2.1 VARIACIÓN DE LA HUMEDAD USANDO AZÚCAR AL 50% p/v**

Los datos que se presentan en el Tabla 14 corresponden al promedio de seis repeticiones realizadas en los ensayos para determinar la variación de la humedad usando azúcar al 50% p/v. En la figura N° 24 se observa la esquematización de los datos del Tabla 14.

**Tabla 10:** Variación de la humedad en el tiempo con azúcar al 50%p/v

%H <sub>Max</sub>	%H <sub>Min</sub>	%H <sub>prom</sub>
94.978	94.010	94.506
92.870	90.918	92.007
91.508	89.900	90.876
91.000	89.011	89.666
89.411	88.119	88.792
91.218	87.400	88.638

Fuente: Autores (2014)

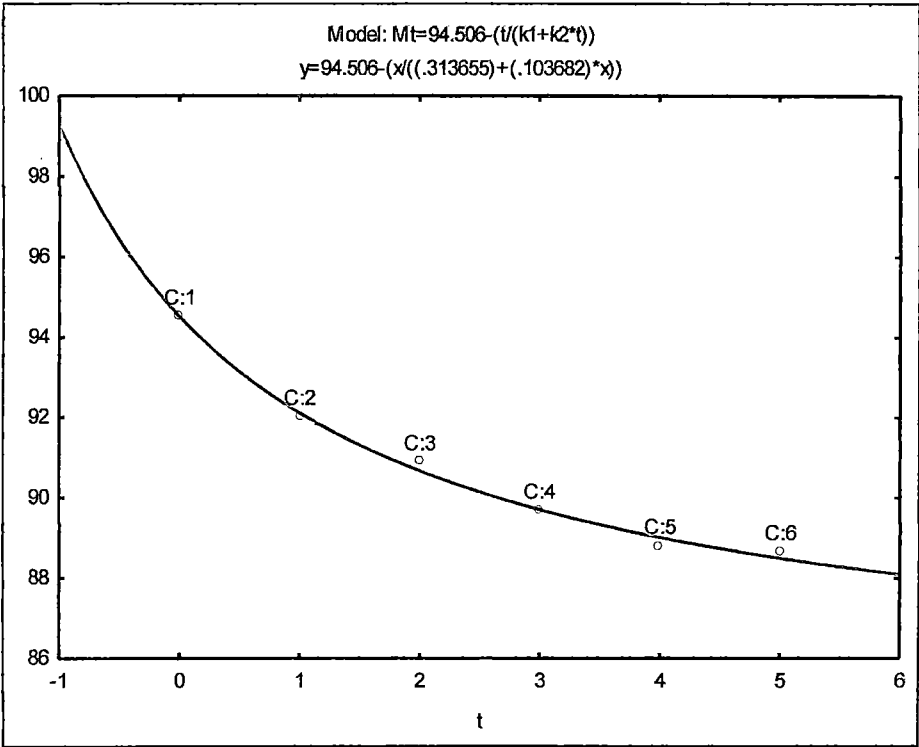


**Figura 24:** Variación del porcentaje de humedad en los tomates osmodeshidratados con azúcar al 50%

**Tabla 11:** Nivel de ajuste y constantes de secado usando el modelo de Peleg en azúcar al 50%p/v

SOLUCIÓN OSMÓTICA	NIVEL DE AJUSTE	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>
AZÚCAR 50%	0.998933557	0.313655	0.103682

Fuente: Autores (2014)



**Figura 25:** Deshidratación osmótica de azúcar al 50% p/v usando el modelo de Peleg

**6.2.2 VARIACIÓN DE LA HUMEDAD USANDO AZÚCAR AL 30% p/v**

Los datos que se presentan en el Tabla 16 corresponden al promedio de seis repeticiones realizadas en los ensayos para determinar la variación de la humedad usando azúcar al 30% p/v. En la figura 26 se observa la esquematización de los datos del Tabla N° 16.

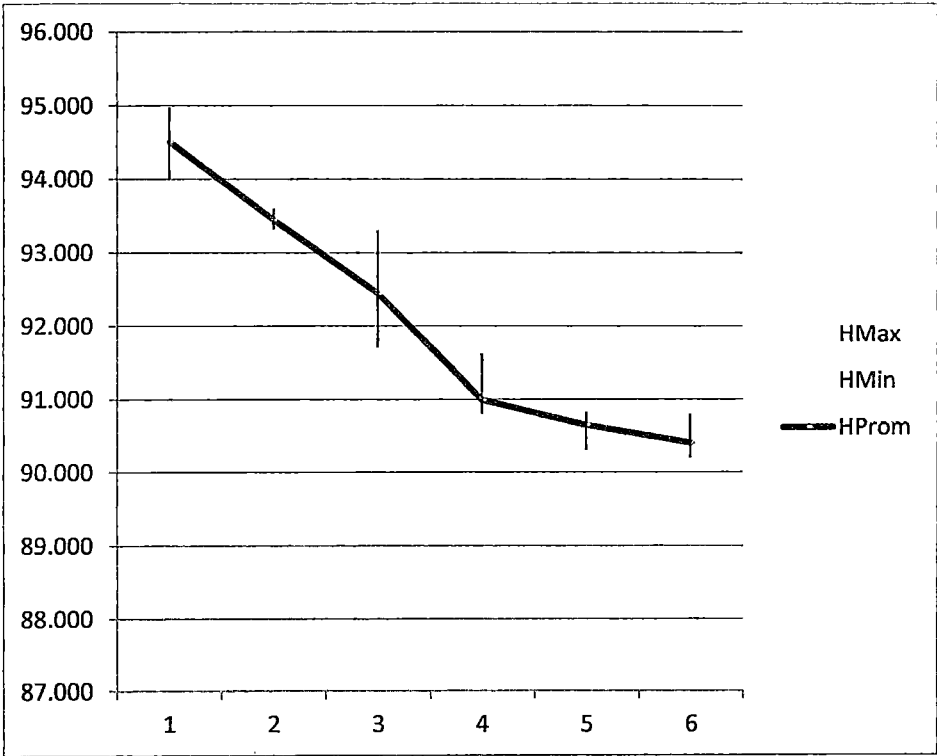


**Tabla 12:** Variación de la humedad en el tiempo con azúcar al 30%

p/v

%H <sub>Max</sub>	%H <sub>Min</sub>	%H <sub>prom</sub>
94.978	94.010	94.506
93.600	93.320	93.445
93.300	91.708	92.445
91.617	90.800	90.992
90.828	90.310	90.649
90.8000	90.200	90.406

Fuente: Autores (2014)

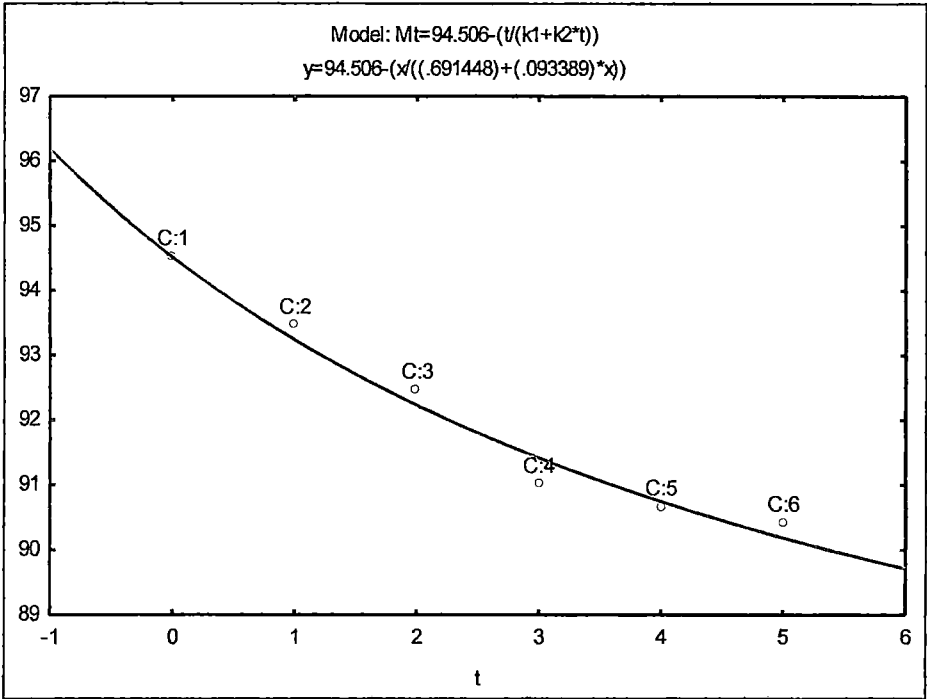


**Figura 26:** Variación del porcentaje de humedad en los tomates osmodeshidratados con azúcar al 30%

**Tabla N° 13:** Nivel de ajuste y constantes de secado usando el modelo de Peleg con azúcar al 30% p/v

SOLUCIÓN OSMÓTICA	NIVEL DE AJUSTE	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>
AZÚCAR 30%	0.988026725	0.691448	0.093389

Fuente: Autores (2014)



**Figura 27:** Deshidratación osmótica de azúcar al 50% p/v usando el modelo de Peleg

**6.2.3 VARIACIÓN DE LA HUMEDAD USANDO SAL AL 10.8% p/v**

Los datos que se presentan en el Tabla 18 corresponden al promedio de seis repeticiones realizadas en los ensayos para determinar la variación de la humedad usando sal al 10.8% p/v. En la figura 28 se observa la esquematización de los datos del Tabla 18.

Tabla 14: Variación de la humedad en el tiempo con sal al 10.8% p/v

%H <sub>Max</sub>	%H <sub>Min</sub>	%H <sub>prom</sub>
94.720	93.939	94.506
93.513	90.400	92.0527
92.200	89.211	91.1260
91.400	88.247	90.1340
90.010	87.700	89.3480
89.8000	86.500	88.1271

Fuente: Autores (2014)

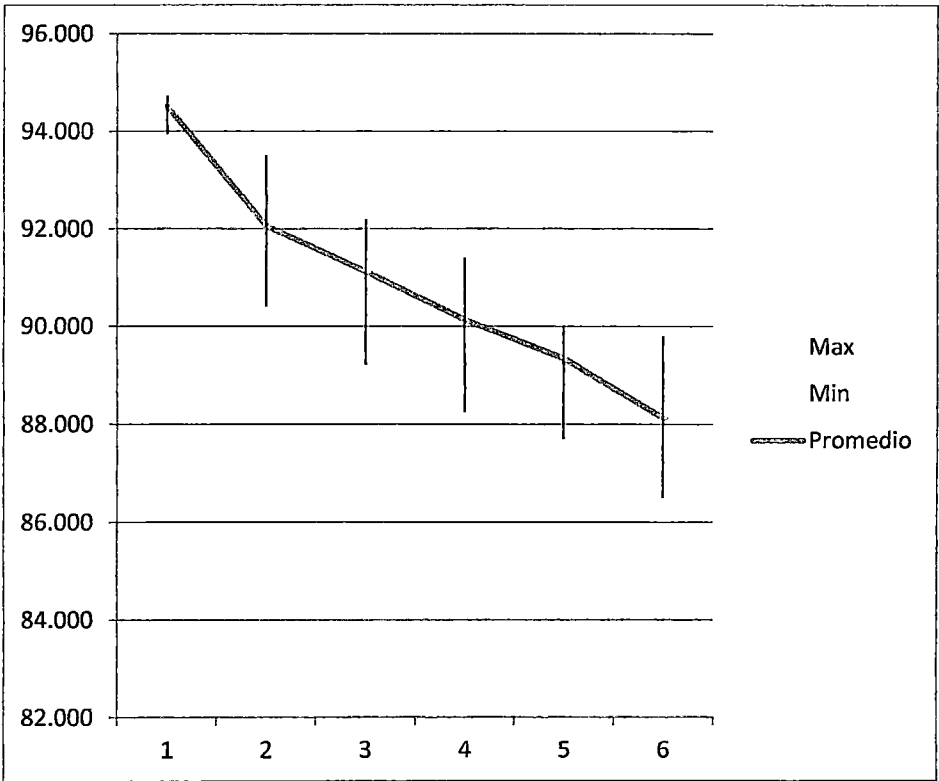
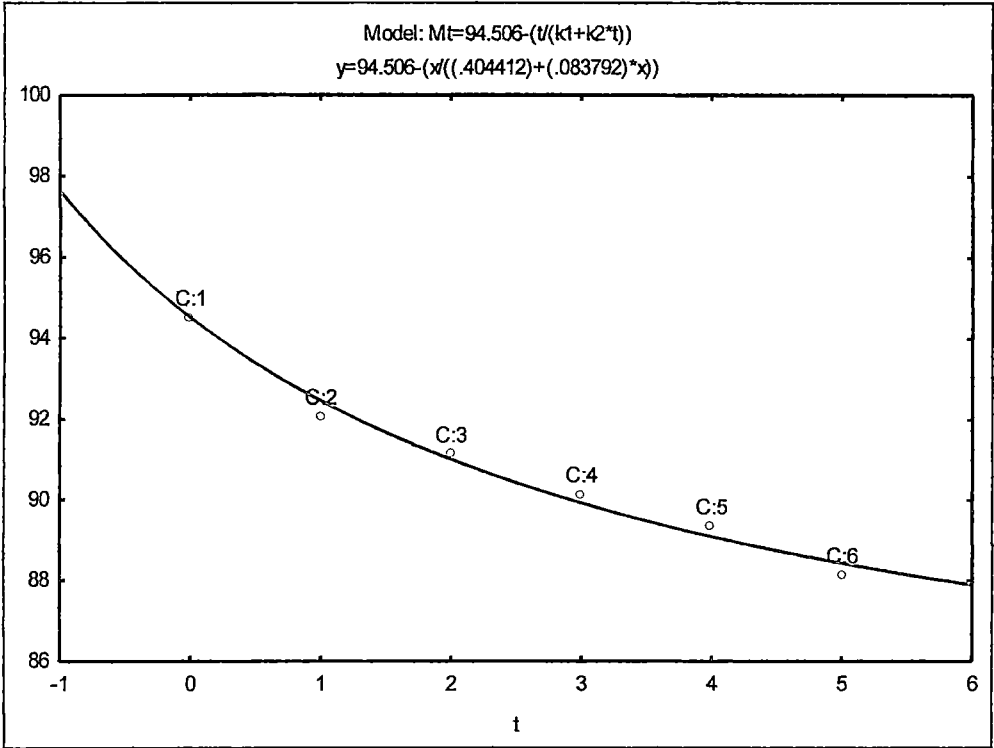


Figura 28: Variación del porcentaje de humedad en los tomates osmodeshidratados con sal al 10.8%

**Tabla 15:** Nivel de ajuste y constantes de secado usando el modelo de Peleg con sal al 10.8% p/v

SOLUCIÓN OSMÓTICA	NIVEL DE AJUSTE	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>
SAL 10.8%	0.992487577	0.404412	0.083792

Fuente: Autores (2014)



**Figura 29:** Deshidratación osmótica de azúcar al 50% p/v usando el modelo de Peleg

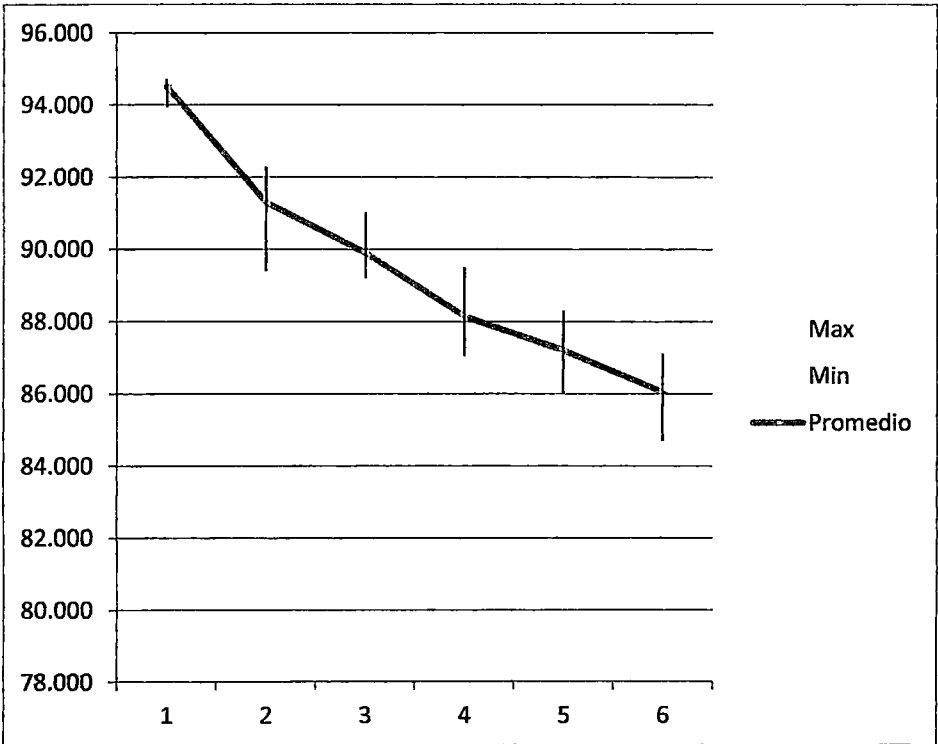
#### 6.2.4 VARIACIÓN DE LA HUMEDAD USANDO SAL AL 18% p/v

Los datos que se presentan en el 20 corresponden al promedio de seis repeticiones realizadas en los ensayos para determinar la variación de la humedad usando sal al 18% p/v. En la figura N° 20 se observa la esquematización de los datos del Tabla 30.

**Tabla 16:** Variación de la humedad en el tiempo con sal al 18% p/v

%H <sub>Max</sub>	%H <sub>Min</sub>	%H <sub>prom</sub>
94.720	93.939	94.506
92.3000	89.4000	91.2932
91.0269	89.2000	89.8950
89.5000	87.0518	88.1459
88.3000	86.0000	87.2125
87.1000	84.7000	86.0474

Fuente: Autores (2014)

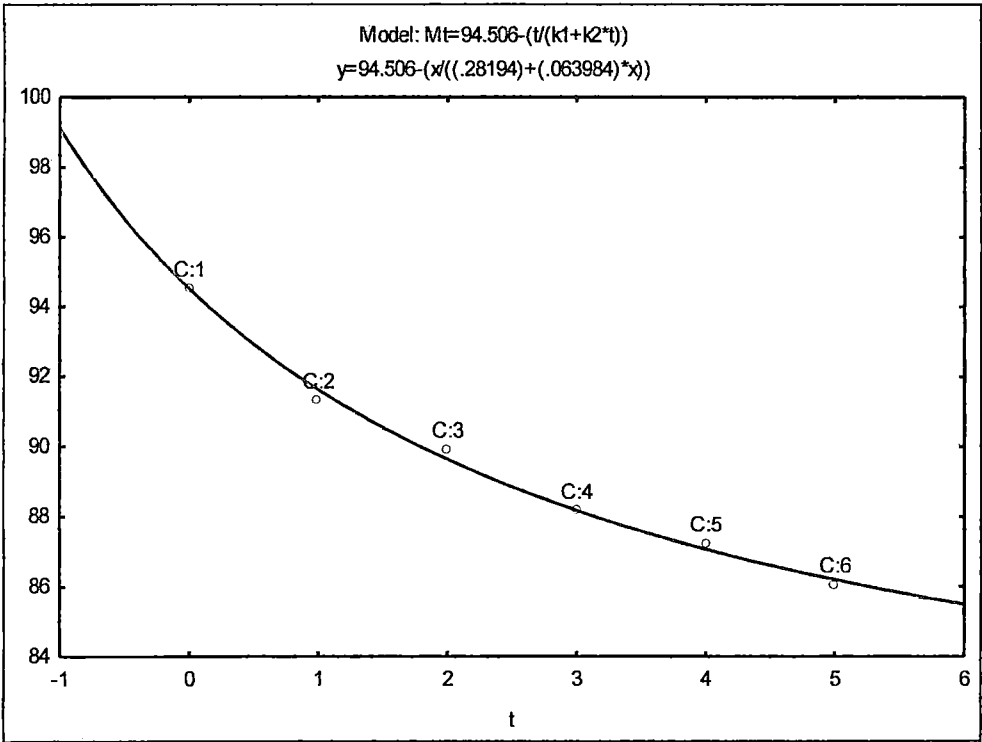


**Figura 30:** Variación del porcentaje de humedad en los tomates osmodeshidratados con sal al 18%

**Tabla 17:** Nivel de ajuste y constantes de secado usando el modelo de Peleg con sal al 18% p/v

SOLUCIÓN OSMÓTICA	NIVEL DE AJUSTE	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>
SAL 18%	0.997680168	0.281940	0.063984

*Fuente:* Autores (2014)



**Figura 31:** Deshidratación osmótica de azúcar al 50% p/v usando el modelo de Peleg

**ANEXO VII**

**7.1 ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS PORCENTAJES DE HUMEDAD EN LAS SOLUCIONES OSMÓTICAS**

El Tabla 18 ANOVA descompone la varianza de los porcentajes de Humedad en dos componentes: un componente entre grupos y un componente dentro del grupo. El cociente F, que en este caso es igual a 25,7477, es una relación de la estimación entre grupos para la estimación dentro del grupo. Dado que el valor P de la prueba F es menor de 0,05, hay una diferencia estadísticamente significativa entre la media %Humedad de un nivel de Soluciones a otro en el nivel de confianza del 95.00%.

**Tabla 18: Anova para porcentaje de humedad**

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	Df	MEDIA CUADRÁTICA	F- Ratio	P- Value
Entre los grupos	58.1103	3	19.3701	25.75	0.000
Dentro de los grupos	15.0461	20	0.752305		
Total (Corr.)	73.1564	23			

*Fuente: Autores (2014)*

**7.2 PRUEBA DE TUKEY PARA EL %HUMEDAD EN EL TIEMPO**

El Tabla 19 aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar qué medias son significativamente diferentes de las otras. La mitad inferior de la salida muestra la diferencia estimada entre cada par de medios. Un asterisco se ha colocado junto a 5 pares, lo que indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas en el nivel de confianza del 95.00%.

En la parte inferior de la página, 4 grupos homogéneos se identifican utilizando columnas de equis. Dentro de cada columna, los

niveles que contienen la forma de “X” un grupo de medios dentro de la cual no hay diferencias estadísticamente significativas.

El método que se utiliza actualmente para discriminar entre los medios es el procedimiento de la diferencia honestamente significativa de Tukey (HSD). Con este método, existe un riesgo de 5.0% de llamar a uno o más pares significativamente diferentes cuando su diferencia real es igual a 0.

**Tabla 19:** Prueba de rangos múltiples para porcentajes de humedad

<b>MÉTODO DE TUKEY HSD: 95.00%</b>			
<b>SOLUCIONES</b>	<b>CONTEO</b>	<b>MEDIAS</b>	<b>GRUPOS HOMOGÉNEOS</b>
<b>SAL 18%</b>	6	85.5333	X
<b>AZÚCAR 50%</b>	6	87.0583	X
<b>SAL 10.8%</b>	6	88.0883	X
<b>AZÚCAR 30%</b>	6	89.8100	X

*Fuente:* Autores (2014)

<b>CONTRASTE</b>	<b>SIG.</b>	<b>DIFERENCIA</b>	<b>+/- LÍMITES</b>
<b>Azúcar 30% - Azúcar 50%</b>	*	2.75167	1.40209
<b>Azúcar 30% - Sal 10,8%</b>	*	1.72167	1.40209
<b>Azúcar 30% - Sal 18%</b>	*	4.27667	1.40209
<b>Azúcar 50% - Sal 10.8%</b>		-1.03	1.40209
<b>Azúcar 50% - Sal 18%</b>	*	1.525	1.40209
<b>Sal 10.8% - Sal 18%</b>	*	2.555	1.40209

*Fuente:* Autores (2014)

\* Indica una diferencia estadísticamente significativa.



**ANEXO VIII**

**8.1 VARIACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS EN EL TOMATE OSMODESHIDRATADO**

Los resultados que se presentan en el siguiente Tabla 20 corresponden a las ganancias de solutos obtenidas en el proceso de deshidratación osmótica después de cinco horas de inmersión, estos datos constan de seis repeticiones en diferentes días.

**Tabla 20:** Ganancia de sólidos en diferentes soluciones osmóticas

Nº REPETICIÓN	AZÚCAR 30%	AZÚCAR 50%	SAL 10.8%	SAL 18%
1	4.56	7.39	4.50	6.41
2	4.55	6.85	6.61	7.12
3	4.46	6.77	5.30	6.90
4	4.84	6.25	4.58	7.89
5	4.17	6.18	5.93	8.78
6	4.05	7.00	4.39	6.90
Promedio	4.44	6.74	5.22	7.33
Desv St	0.286	0.461	0.900	0.859

*Fuente:* de los Autores (2014)

**Tabla 21:** Promedios de las ganancias de sólidos en diferentes soluciones osmóticas

t	SAL 10.8%	SAL 18%	AZÚCAR 30%	AZÚCAR 50%
0	0.000	0.000	0.000	0.000
1	1.384	2.144	1.183	1.866
2	2.311	3.542	2.184	2.884
3	3.303	5.291	3.637	4.284
4	4.089	6.225	3.980	5.173
5	5.220	7.333	4.440	6.740

*Fuente:* Autores (2014)

*\*Cada dato de la tabla es un promedio de seis repeticiones*

**Tabla 22:** Ganancia de solutos sal al 10.8% p/v en el tiempo

t	SAL 10.8%	SAL 10.8%	SAL 10.8%	SAL 10.8%	SAL 10.8%	SAL 10.8%	SAL 10.8% Prom.
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1	0.426	1.950	0.345	3.073	0.903	1.609	1.384
2	1.739	2.656	0.945	4.262	1.633	2.631	2.311
3	2.539	2.855	2.335	5.226	3.024	3.839	3.303
4	3.929	4.515	2.545	5.773	3.433	4.339	4.089
5	4.139	4.582	5.394	6.973	4.533	6.239	5.220

*Fuente:* Autores (2014)

**Tabla 23:** Ganancia de solutos sal al 18% p/v en el tiempo

t	SAL 18%	SAL 18%	SAL 18%	SAL 18%	SAL 18%	SAL 18%	SAL 18% Prom.
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1	2.397	1.685	0.945	2.264	1.033	4.539	2.144
2	3.039	2.466	3.245	3.773	4.012	4.718	3.542
3	4.439	6.441	5.145	4.873	4.222	6.627	5.291
4	6.215	5.955	5.732	6.473	5.033	7.939	6.225
5	6.839	7.864	6.717	7.046	6.633	9.239	7.330

*Fuente:* Autores (2014)

**Tabla 24:** Ganancia de solutos azúcar al 30% p/v en el tiempo

t	A 30%	A 30%	A 30%	A 30%	A 30%	A 30%	A 30% Prom.
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1	1.332	0.690	1.378	1.225	1.254	1.220	1.183
2	3.023	0.710	2.171	2.456	2.430	2.312	2.184
3	3.115	3.210	4.169	3.981	3.737	3.609	3.637
4	3.832	3.700	4.332	4.079	3.918	4.018	3.980
5	3.932	3.810	4.569	4.141	4.468	4.417	4.440

*Fuente:* Autores (2014)

**Tabla 25:** Ganancia de solutos azúcar al 50% p/v el tiempo

t	A 50%	A 50%	A 50%	A 50%	A 50%	A 50%	A 50% Prom.
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1	3.414	2.701	1.378	1.225	1.254	1.220	1.866
2	3.822	4.110	2.171	2.456	2.430	2.312	2.884
3	5.310	4.899	4.169	3.981	3.737	3.609	4.284
4	6.243	5.868	4.322	5.079	4.918	4.11	5.173
5	7.332	6.110	4.569	6.141	5.468	5.417	6.740

*Fuente:* Autores (2014)

## 8.2 ANÁLISIS DE VARIANZA EN LA RETENCION DE SOLUTOS PARA CADA SOLUCIÓN OSMÓTICA TRANSCURRIDAS CINCO HORAS DE INMERSIÓN

El Tabla 26 ANOVA descompone la varianza de ganancia de sólidos en dos componentes: un componente entre grupos y un componente dentro del grupo. El cociente F, que en este caso es igual a 23.28, es una relación de la estimación entre grupos para la estimación dentro del grupo. Dado que el valor P de la prueba F es menor de 0,05, hay una diferencia estadísticamente significativa entre la media Ganancia de sólidos de un nivel de Soluciones a otro en el nivel de confianza del 95.00%.

**Tabla 26:** Anova en ganancia de sólidos pasado cinco horas inmersas en diferentes soluciones osmóticas

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	Df	MEDIA CUADRÁTICA	F- Ratio	P- Value
Entre los grupos	32.1418	3	10.7139	23.28	0.000
Dentro de los grupos	9.2045	20	0.460225		
Total (Corr.)	41.3462	23			

*Fuente:* Autores (2014)

### 8.3 PRUEBA DE TUKEY PARA LAS DIFERENTES RETENCIONES DE SOLUTOS EN CADA SOLUCIÓN OSMÓTICA

Esta Tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar qué medias son significativamente diferentes de las que otros. La mitad inferior de la salida muestra la diferencia estimada entre cada par de medios. Un asterisco se ha colocado junto a 5 pares, lo que indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas en el nivel de confianza del 95.00%. En la parte superior de la Tabla 31, 4 grupos homogéneos se identifican utilizando columnas de equis. Dentro de cada columna, los niveles que contienen la forma de X un grupo de medios dentro de la cual no hay diferencias estadísticamente significativas. El método que se utiliza actualmente para discriminar entre los medios es el procedimiento de la diferencia honestamente significativa de Tukey (HSD). Con este método, existe un riesgo de 5.0% de llamar a uno o más pares significativamente diferentes cuando su diferencia real es igual a 0.

Tabla 27: Las pruebas de rangos múltiples de por soluciones

MÉTODO DE TUKEY HSD: 95.00%				
SOLUCIONES	CONTEO	MEDIAS	GRUPOS HOMOGÉNEOS	
AZÚCAR 30%	6	4.43833	X	
SAL 10.8%	6	5.21833	X	
AZÚCAR 50%	6	6.74000	X	
SAL 18%	6	7.33333	X	
CONTRASTE		SIG.	DIFERENCIA	+/- LÍMITES
Sal 10.8% - Sal 18%		*	-2.115	1.09664
Azúcar 30% - Sal 10.8%			0.78	1.09664
- Sal 10.8%		*	-1.52167	1.09664
Azúcar 30% - Sal 18%		*	2.895	1.09664
Azúcar 50% - Sal 18%			0.593333	1.09664
Azúcar 30% - Azúcar 50%		*	-2.30167	1.09664

\* Indica una diferencia estadísticamente significativa.

Fuente: Autores (2014)

8.4 PARÁMETROS DEL MODELO DE PELEG PARA DETERMINAR LA GANANCIA DE SÓLIDOS EN EL TIEMPO DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

Tabla 28: Variación de la ganancia de sólidos en tiempo

%SG <sub>Max</sub>	%SG <sub>Min</sub>	%SG <sub>prom</sub>
0.000	0.000	0.000
3.414	2.249	2.555
4.255	3.437	3.852
5.735	3.978	5.096
6.508	5.568	6.037
7.332	6.110	6.808

Fuente: Autores (2014)

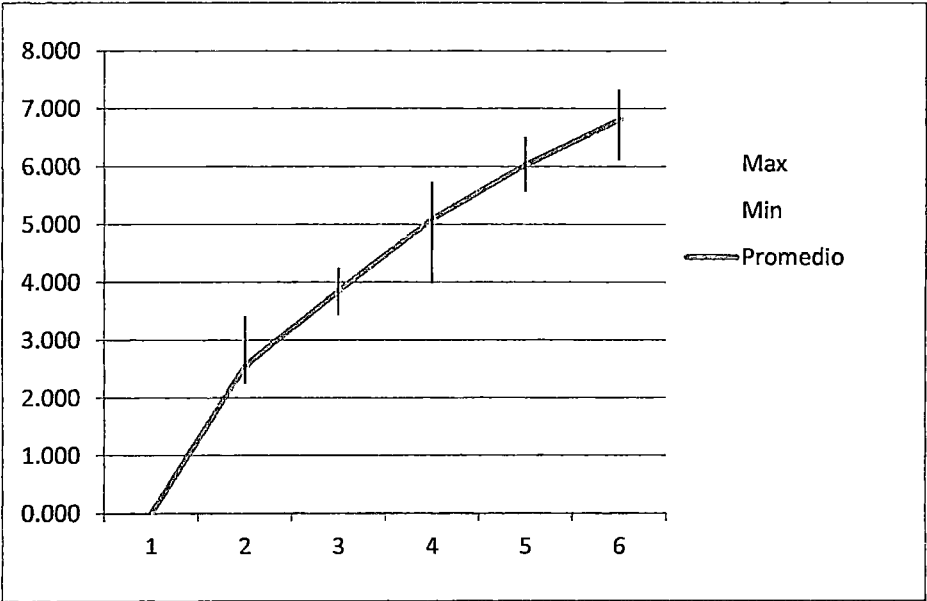
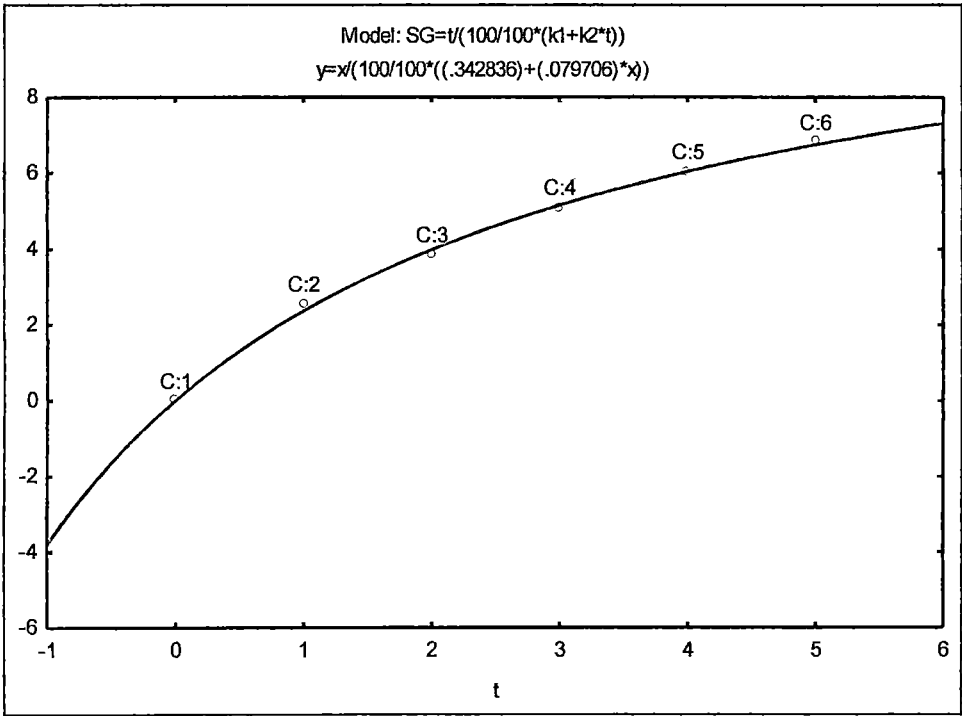


Figura 32: Ganancia de sólidos en los tomates osmodeshidratados con azúcar al 50%

**Tabla 29:** Nivel de ajuste y constantes de secado usando el modelo de Peleg

SOLUCIÓN OSMÓTICA	NIVEL DE AJUSTE	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>
Azúcar 50%	0.999041892	0.342836	0.079706

*Fuente:* Autores (2014)



**Figura 33:** Ganancia de sólidos de azúcar al 50% p/v usando el modelo de Peleg

Tabla 30: Variación de la ganancia de sólidos en tiempo

%SG <sub>Max</sub>	%SG <sub>Min</sub>	%SG <sub>prom</sub>
0.000	0.000	0.000
1.378	0.690	1.183
3.023	0.710	2.184
4.169	3.115	3.637
4.332	3.700	3.980
4.569	3.810	4.223

Fuente: Autores (2014)

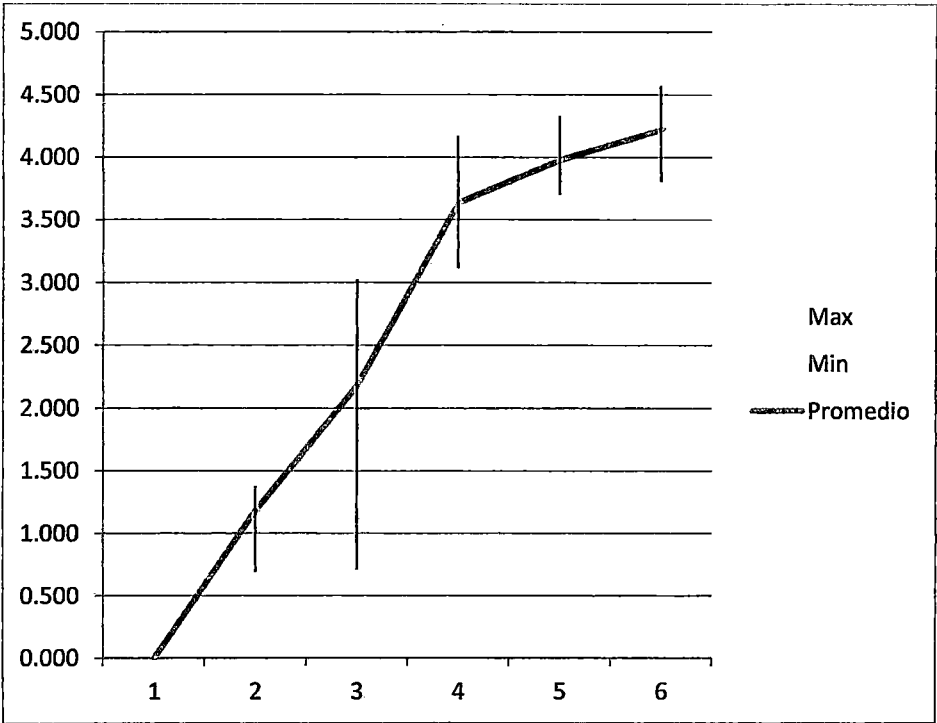
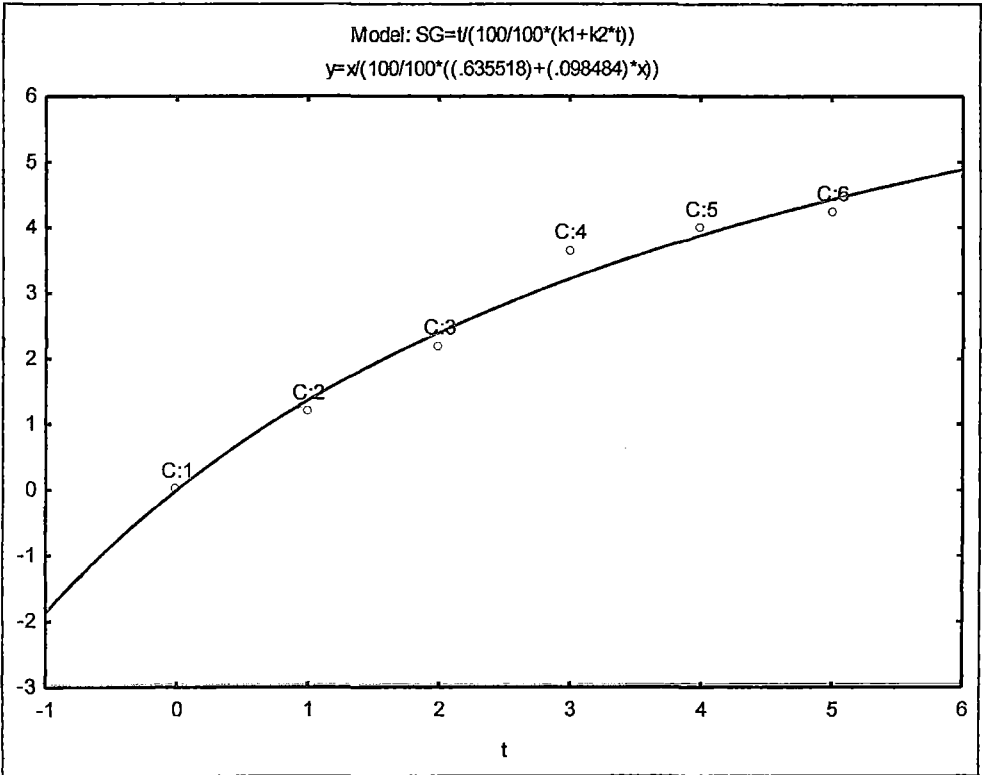


Figura 34: Ganancia de sólidos en los tomates osmodeshidratados con sal al 30%

**Tabla 31:** Nivel de ajuste y constantes de secado usando el modelo de Peleg

SOLUCIÓN OSMÓTICA	NIVEL DE AJUSTE	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>
Azúcar 30%	0.989457933	0.635518	0.098484

*Fuente:* Autores (2014)



**Figura 35:** Ganancia de sólidos de azúcar al 30% p/v usando el modelo de Peleg



Tabla 32: Variación de la ganancia de sólidos en tiempo

%SG <sub>Max</sub>	%SG <sub>Min</sub>	%SG <sub>prom</sub>
0.000	0.000	0.000
3.073	0.345	1.384
4.262	0.945	2.311
5.226	2.335	3.303
5.773	2.545	4.089
6.973	4.139	5.310

Fuente: Autores (2014)

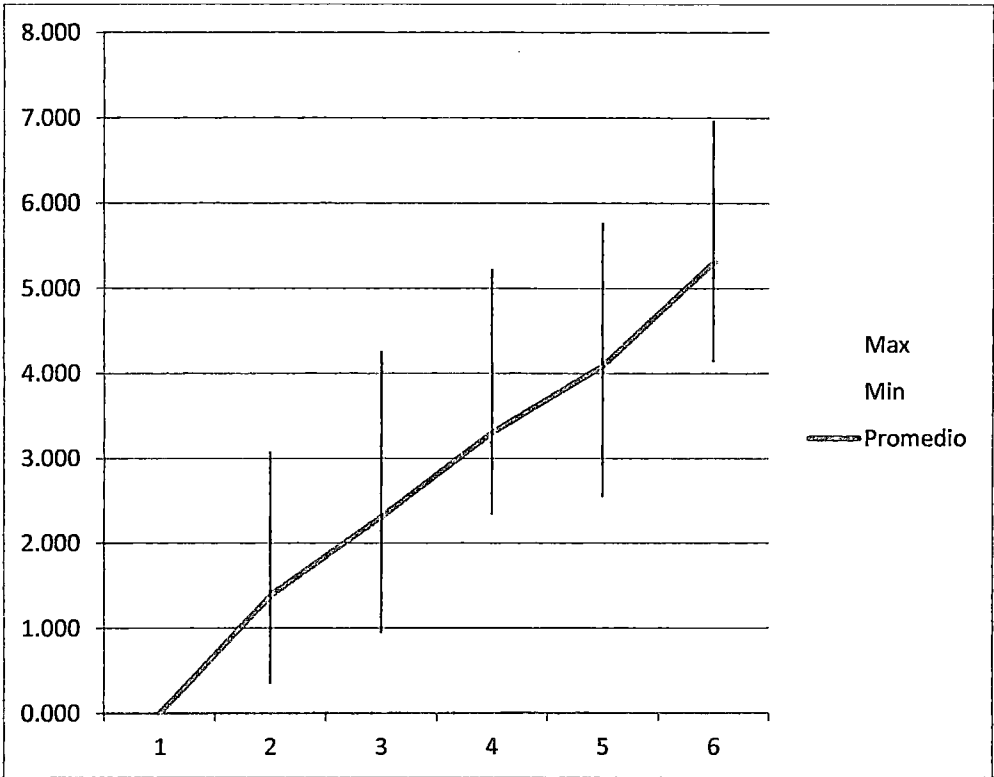
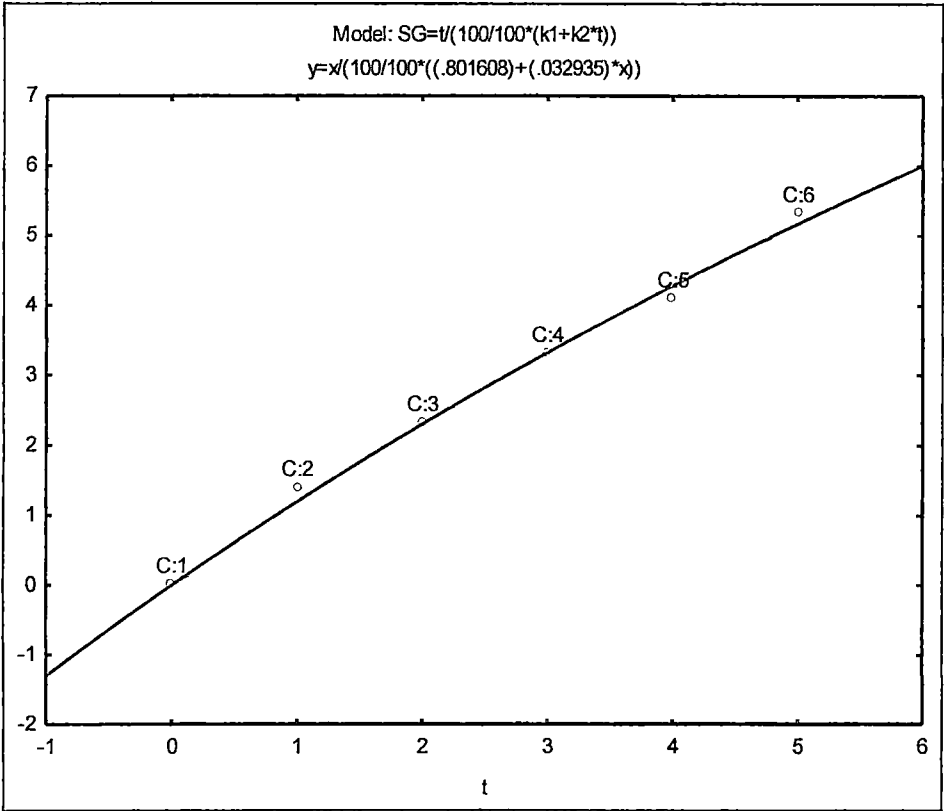


Figura 36: Ganancia de sólidos en los tomates osmodeshidratados con sal al 10.8%

**Tabla 33:** Nivel de ajuste y constantes de secado usando el modelo de Peleg

SOLUCIÓN OSMÓTICA	NIVEL DE AJUSTE	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>
Sal 10.8%	0.997465510	0.801608	0.032935

*Fuente:* Autores (2014)



**Figura 37:** Ganancia de sólidos de sal al 10.8% p/v usando el modelo de Peleg

Tabla 34: Variación de la ganancia de sólidos en tiempo

%SG <sub>Max</sub>	%SG <sub>Min</sub>	%SG <sub>prom</sub>
0.000	0.000	0.000
4.539	0.945	2.144
4.718	2.466	3.542
4.718	4.222	5.291
7.939	5.033	6.225
9.239	6.633	7.390

Fuente: Autores (2014)

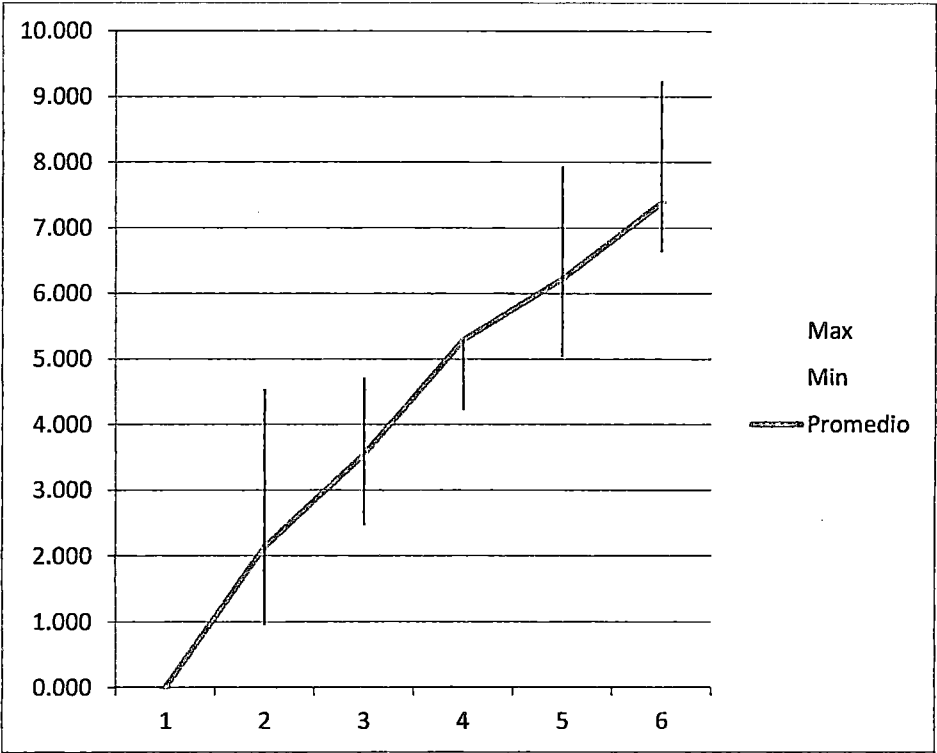
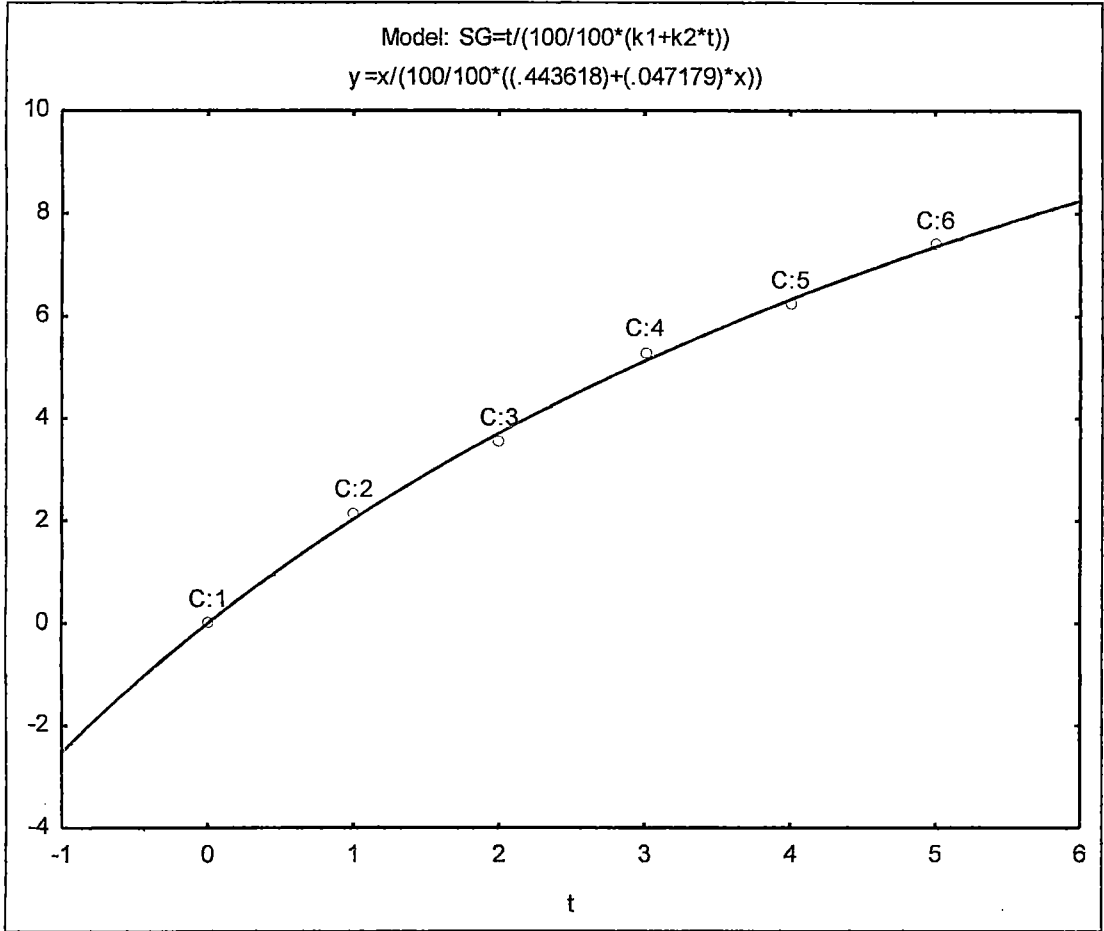


Figura 38: Ganancia de sólidos en los tomates osmodeshidratados con sal al 18%

**Tabla 35:** Nivel de ajuste y constantes de secado usando el modelo de Peleg

SOLUCIÓN OSMÓTICA	NIVEL DE AJUSTE	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>
Sal 18%	0.998933557	0.443618	0.047179

*Fuente:* Autores (2014)



**Figura 39:** Ganancia de sólidos de sal al 18% p/v usando el modelo de Peleg

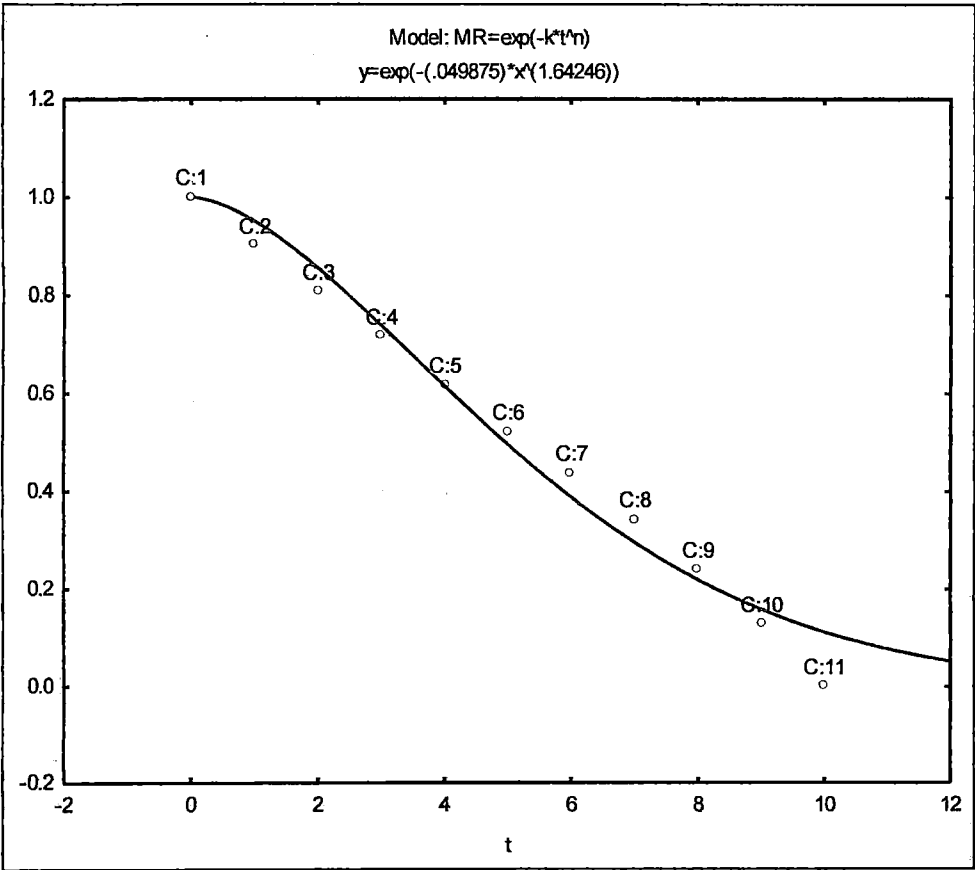
**ANEXO IX**

**Solución osmótica a 10.8% de sal**

**Tabla 36:** Constantes de secado a 50 °C, usando el modelo de Page

SOLUCIÓN OSMÓTICA	NIVEL DE CORRELACIÓN	k	n
SAL 10.8%	0.988174729	0.049875	1.642456

*Fuente:* Autores (2014)



**Figura 40:** Solución Osmótica 10.8% usando el modelo de Page

ANEXO X

Solución osmótica a 10.8% de sal

Tabla 37: Constantes de secado a 70 °C, usando el modelo de Page

SOLUCIÓN OSMÓTICA	NIVEL DE CORRELACIÓN	k	n
SAL 10.8%	0.989589072	0.006528	2.533576

Fuente: Autores (2014)

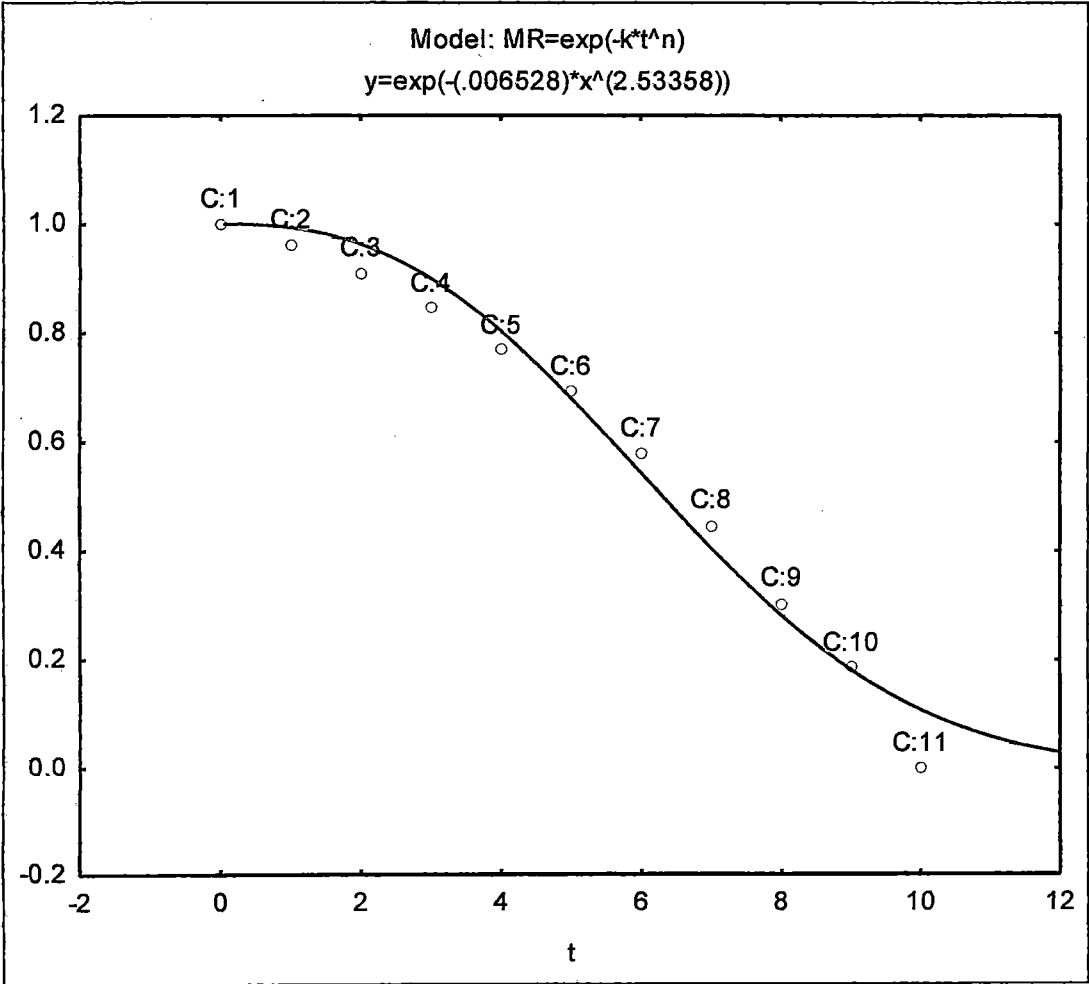


Figura 41: Solución Osmótica 10.8% usando el modelo de Page

ANEXO XI

Solución osmótica a 10.8% de sal

Tabla 38: Constantes de secado a 90 °C, usando el modelo de Page

SOLUCIÓN OSMÓTICA	NIVEL DE CORRELACIÓN	k	n
SAL 10.8%	0.999427075	0.014786	2.453805

Fuente: Autores (2014)

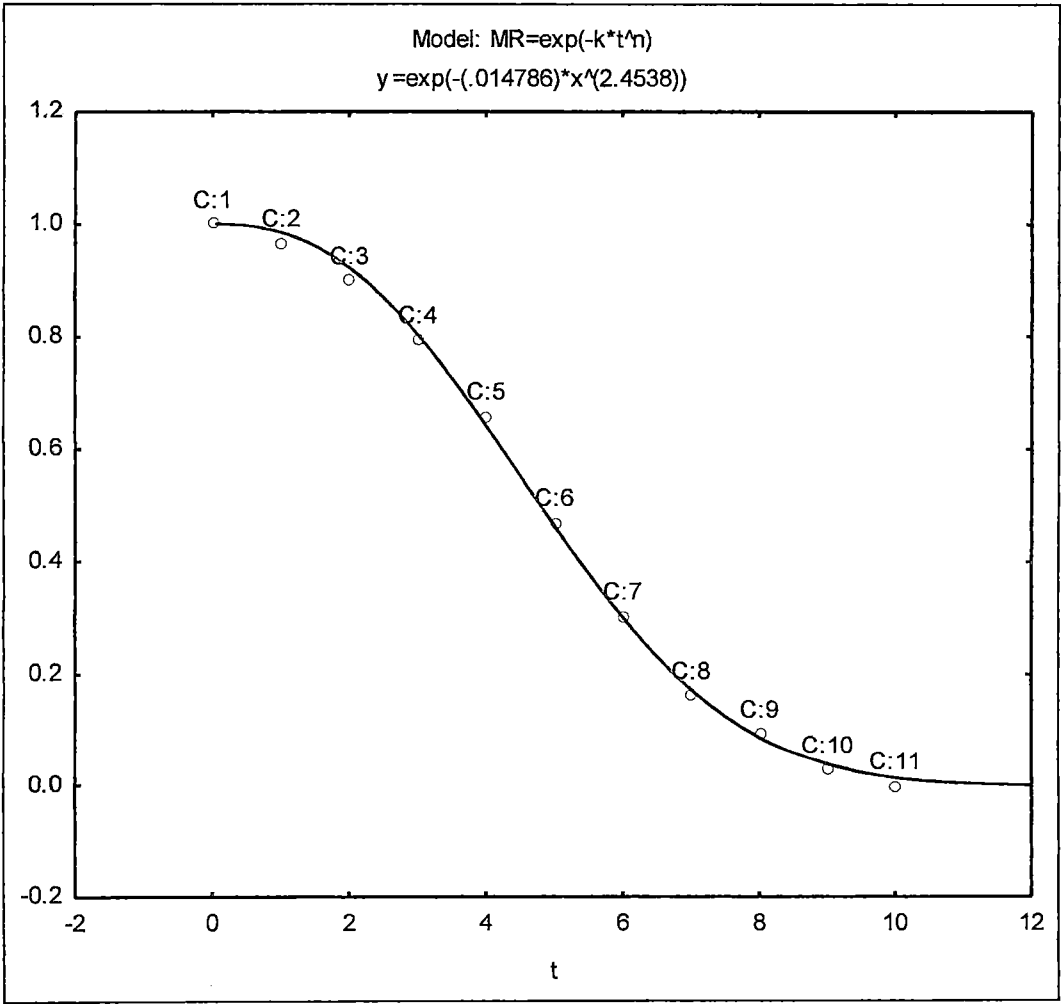


Figura 42: Solución Osmótica 10.8% usando el modelo de Page

ANEXO XII

Solución osmótica a 18% de sal

Tabla 39: Constantes de secado a 50 °C, usando el modelo de Page

SOLUCIÓN OSMÓTICA	NIVEL DE CORRELACIÓN	k	n
SAL 18%	0.985601306	0.024409	1.981381

Fuente: Autores (2014)

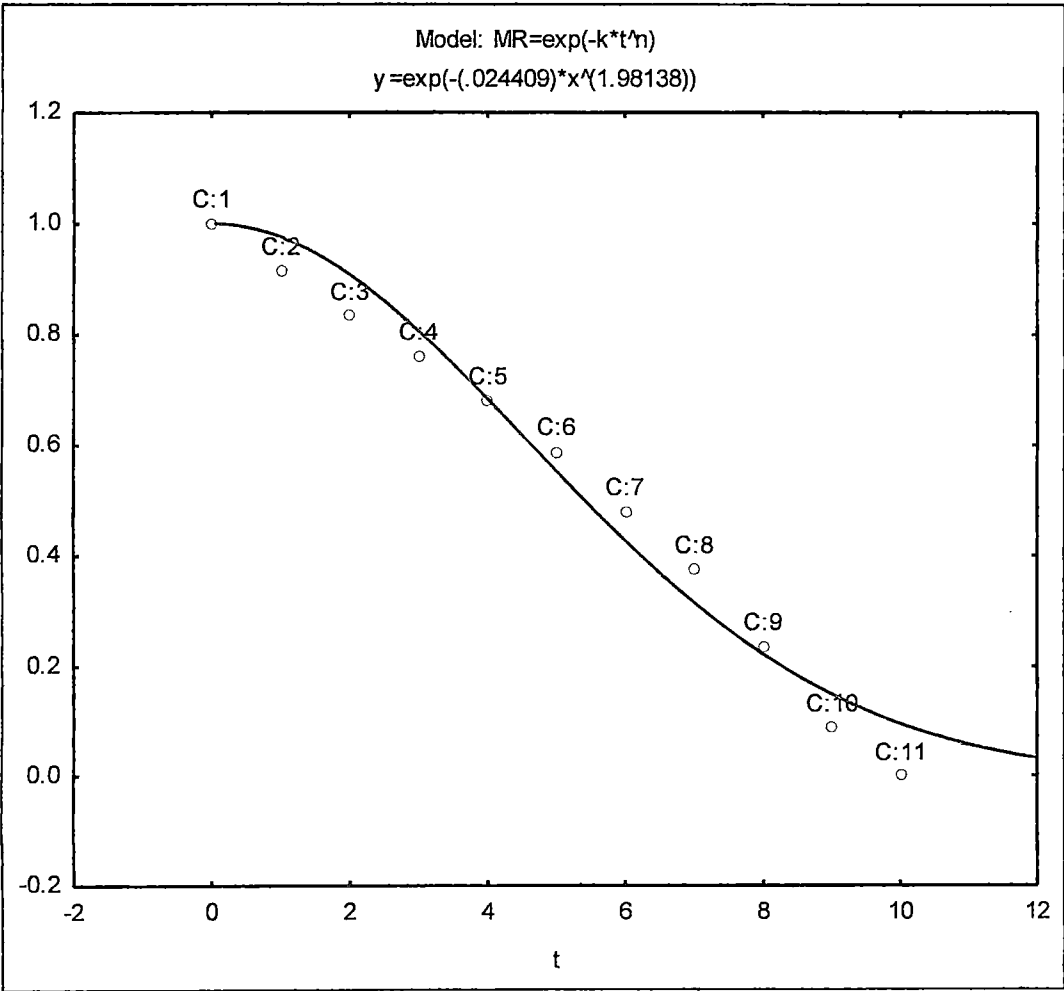


Figura 43: Solución Osmótica 18% usando el modelo de Page



ANEXO XIII

Solución osmótica a 18% de sal

Tabla 40: Constantes de secado a 70 °C, usando el modelo de Page

SOLUCIÓN OSMÓTICA	NIVEL DE CORRELACIÓN	k	n
SAL 18%	0.993699109	0.006787	2.557564

Fuente: Autores (2014)

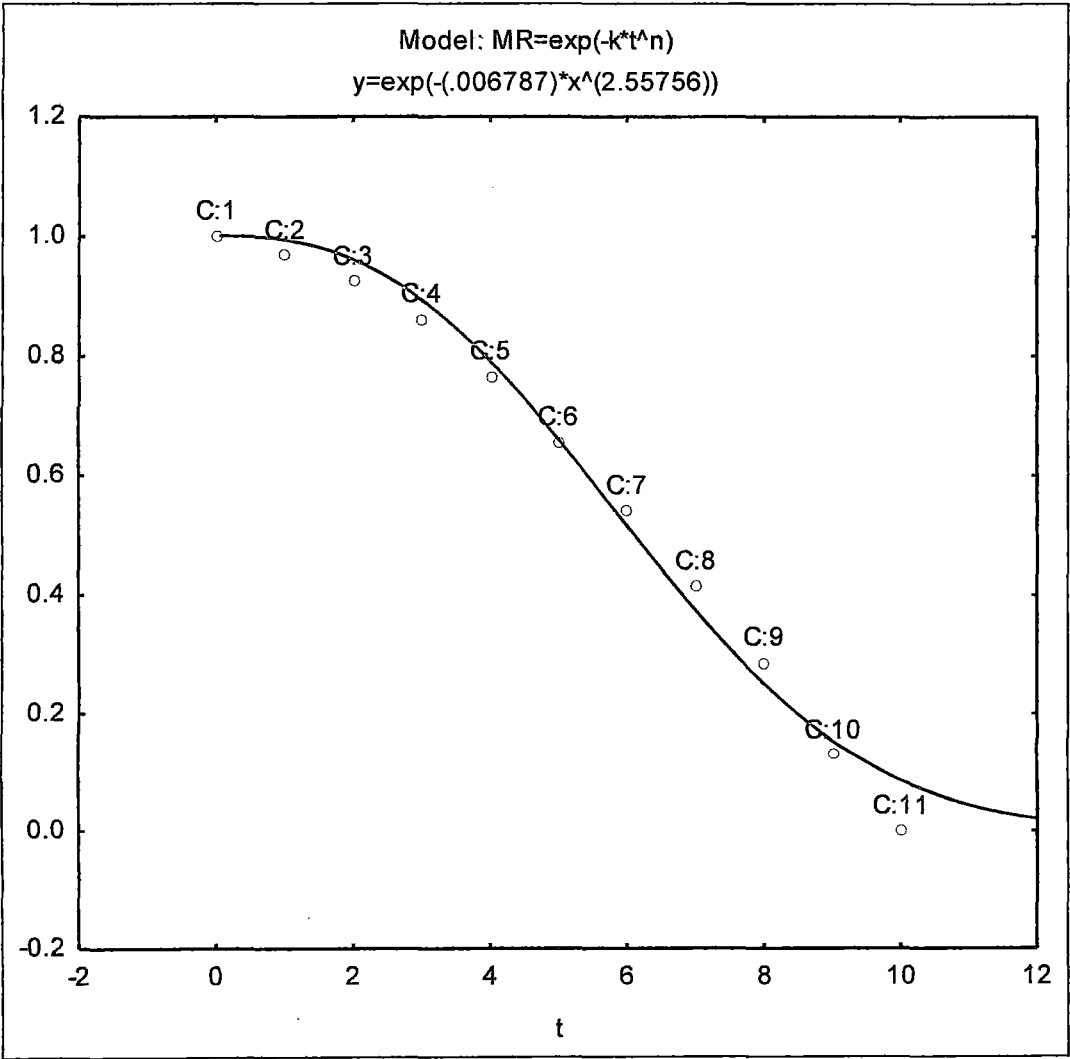


Figura 44: Solución Osmótica 18% usando el modelo de Page

ANEXO XIV

Solución osmótica a 18% de sal

Tabla 41: Constantes de secado a 90 °C, usando el modelo de Page

SOLUCIÓN OSMÓTICA	NIVEL DE CORRELACIÓN	k	n
SAL 18%	0.998368347	0.010659	2.497908

Fuente: Autores (2014)

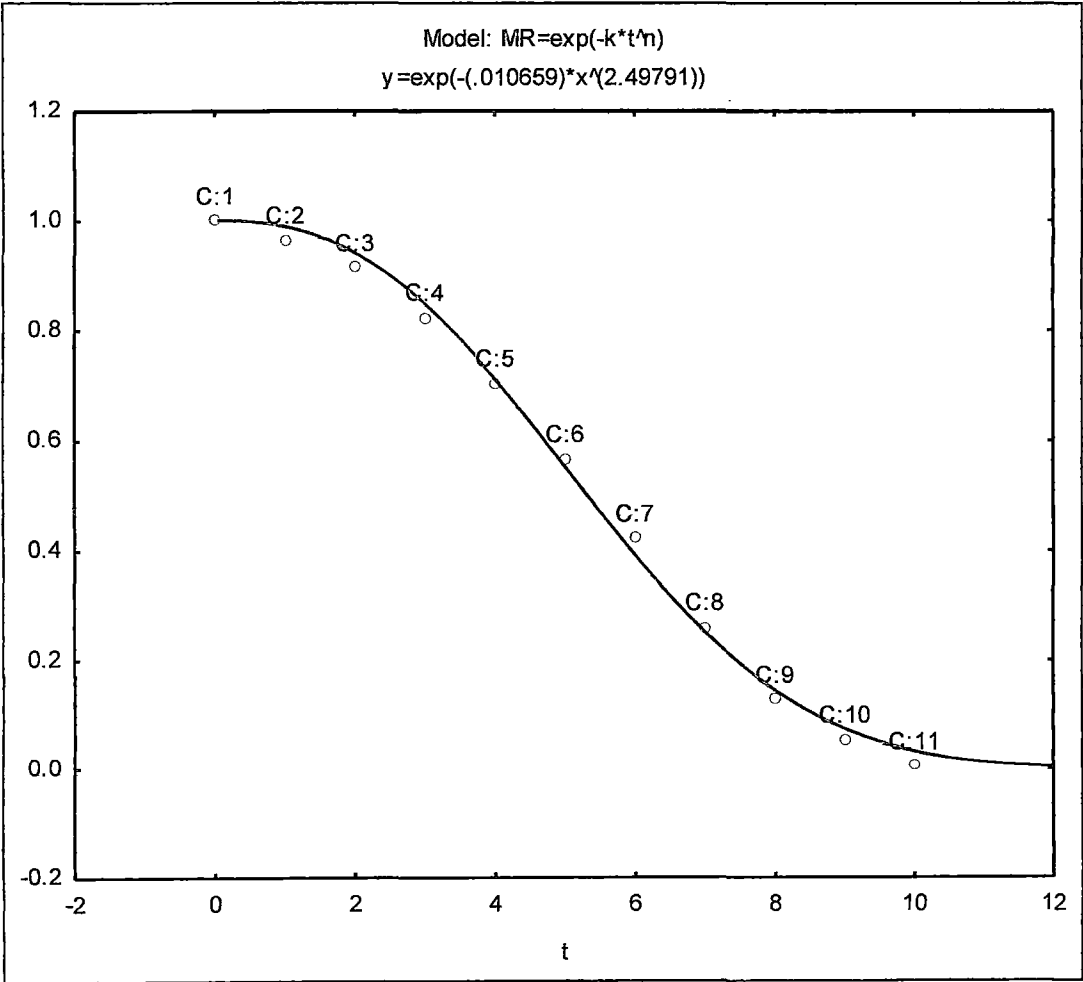


Figura 45: Solución Osmótica 18% usando el modelo de Page

ANEXO XV

Solución osmótica a 30% de azúcar

Tabla 42: Constantes de secado a 50 °C, usando el modelo de Page

SOLUCIÓN OSMÓTICA	NIVEL DE CORRELACIÓN	k	n
AZÚCAR 30%	0.984737246	0.021808	1.976986

Fuente: Autores (2014)

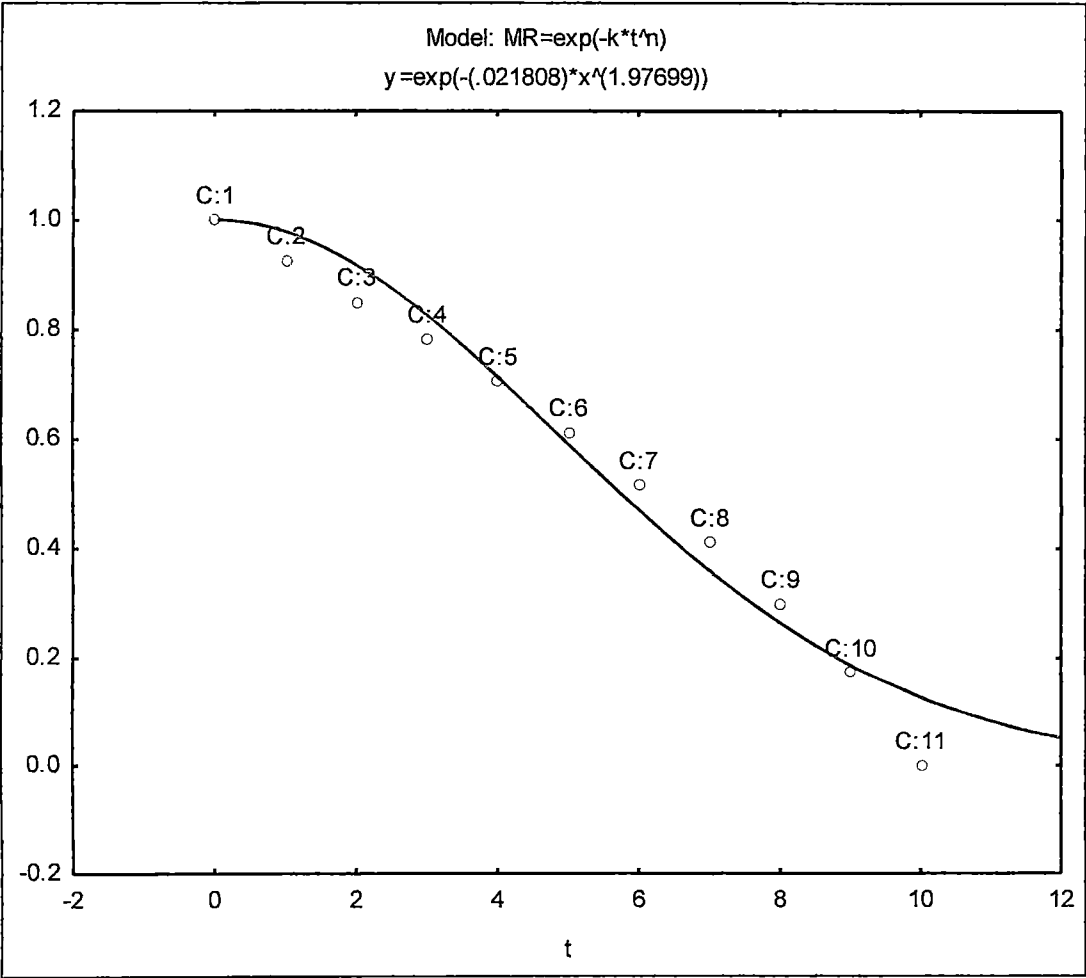


Figura 46: Solución Osmótica 30% usando el modelo de Page

ANEXO XVI

Solución osmótica a 30% de azúcar

Tabla 43: Constantes de secado a 70 °C, usando el modelo de Page

SOLUCIÓN OSMÓTICA	NIVEL DE CORRELACIÓN	k	n
AZÚCAR 30%	0.998858847	0.007097	2.146211

Fuente: Autores (2014)

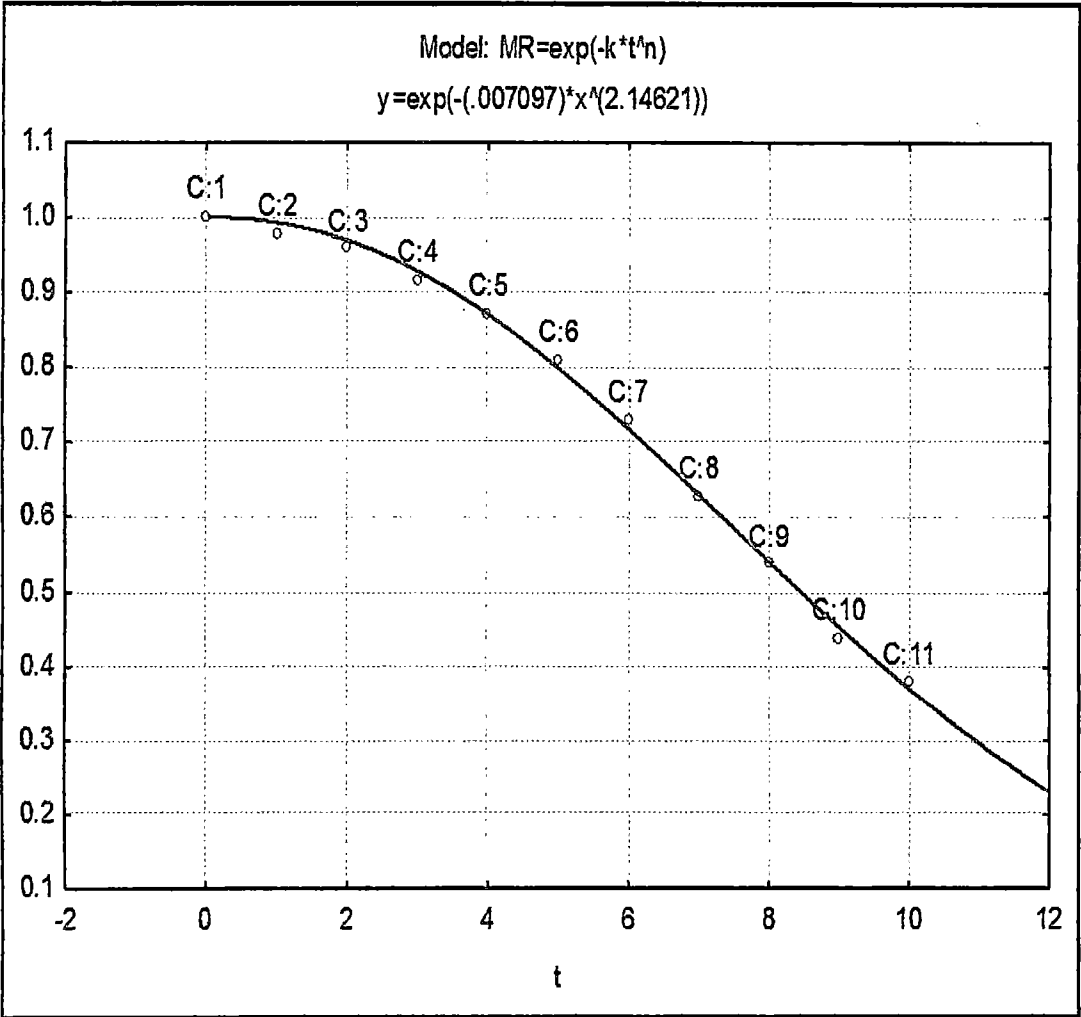


Figura 47: Solución Osmótica 30% usando el modelo de Page

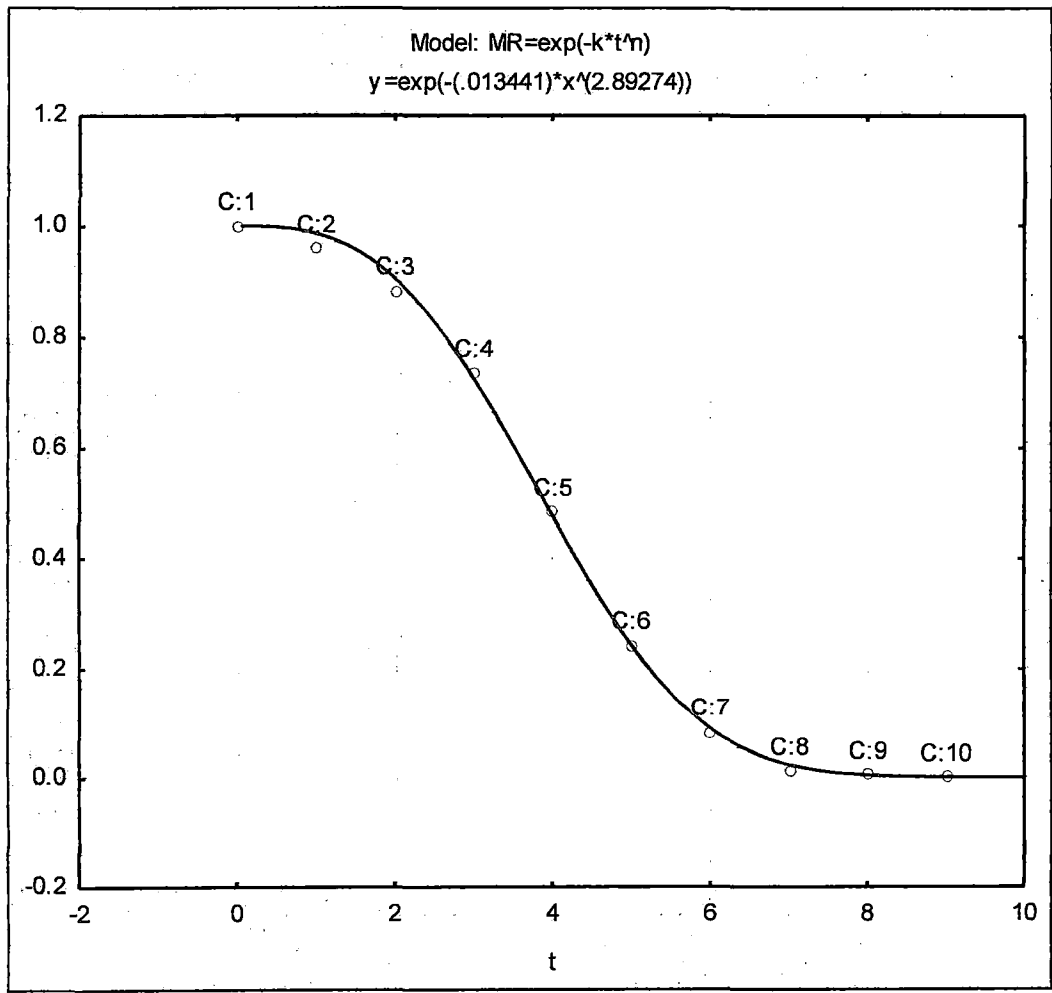
**ANEXO XVII**

**Solución osmótica a 30% de azúcar**

**Tabla 44:** Constantes de secado a 90 °C, usando el modelo de Page

SOLUCIÓN OSMÓTICA	NIVEL DE CORRELACIÓN	k	n
AZÚCAR 30%	0.999482648	0.013441	2.892742

*Fuente:* Autores (2014)



**Figura 48:** Solución Osmótica 30% usando el modelo de Page

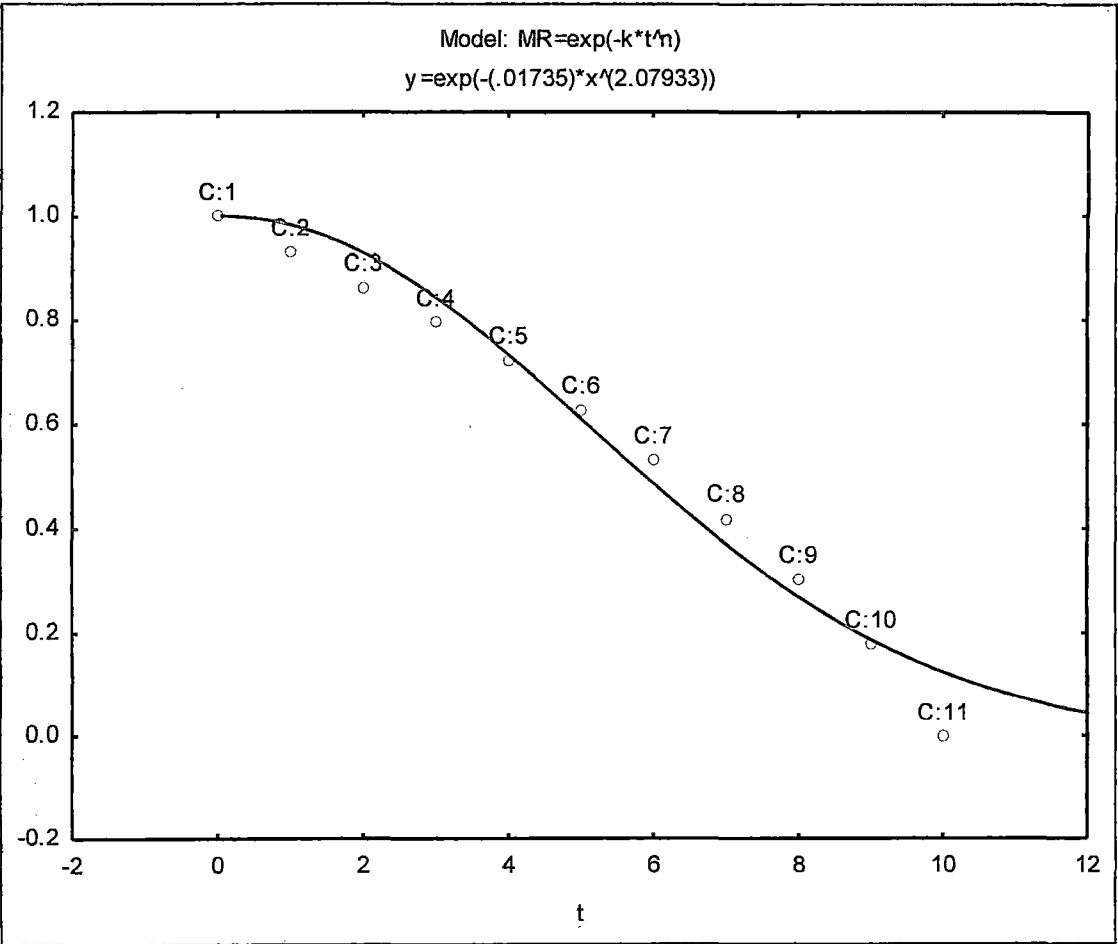
**ANEXO XVIII**

**Solución osmótica a 50% de azúcar**

**Tabla 45:** Constantes de secado a 50 °C, usando el modelo de Page

SOLUCIÓN OSMÓTICA	NIVEL DE CORRELACIÓN	k	n
AZÚCAR 50%	0.985138241	0.017350	2.079329

*Fuente:* Autores (2014)



**Figura 49:** Solución Osmótica 50% usando el modelo de Page

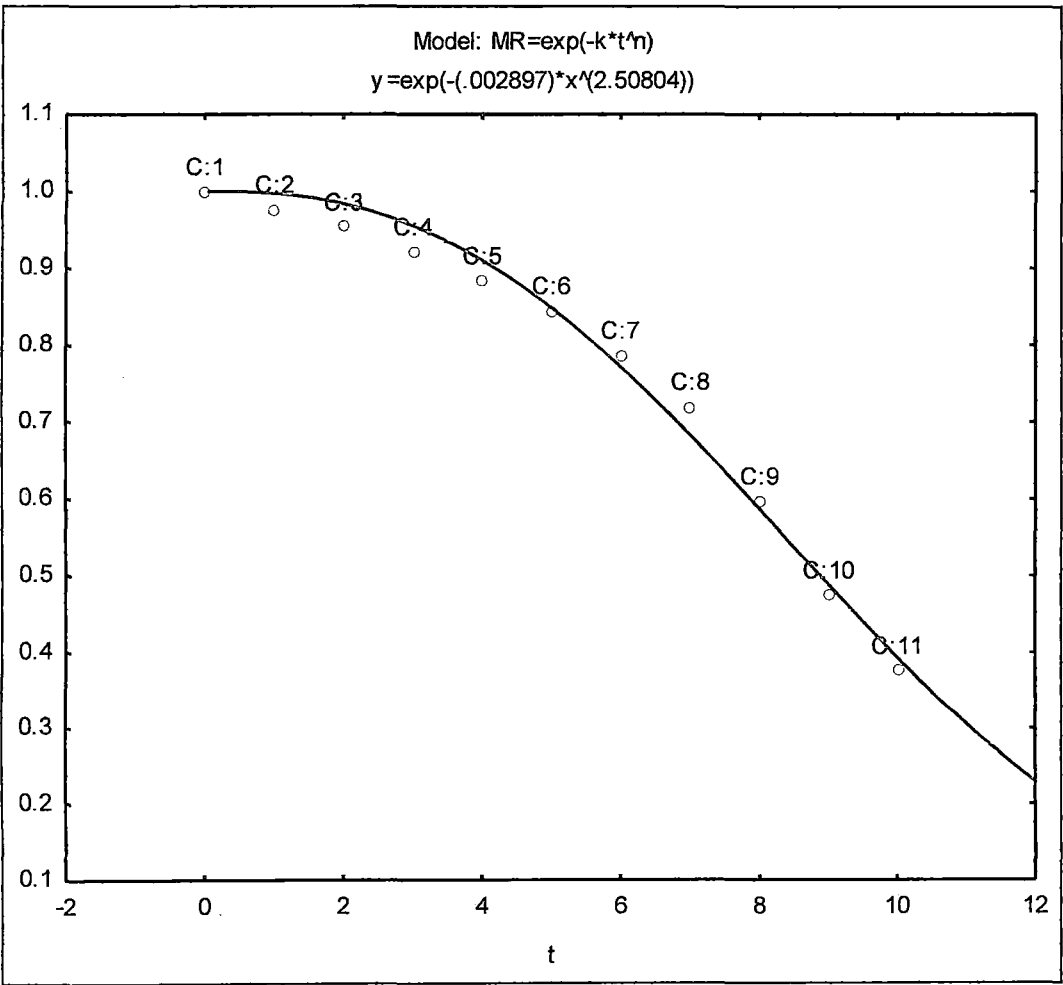
**ANEXO XIX**

**Solución osmótica a 50% de azúcar**

**Tabla 46:** Constantes de secado a 70 °C, usando el modelo de Page

SOLUCIÓN OSMÓTICA	NIVEL DE CORRELACIÓN	k	n
AZÚCAR 50%	0.993921915	0.002897	2.508039

*Fuente:* Autores (2014)



**Figura 50:** Solución Osmótica 50% usando el modelo de Page

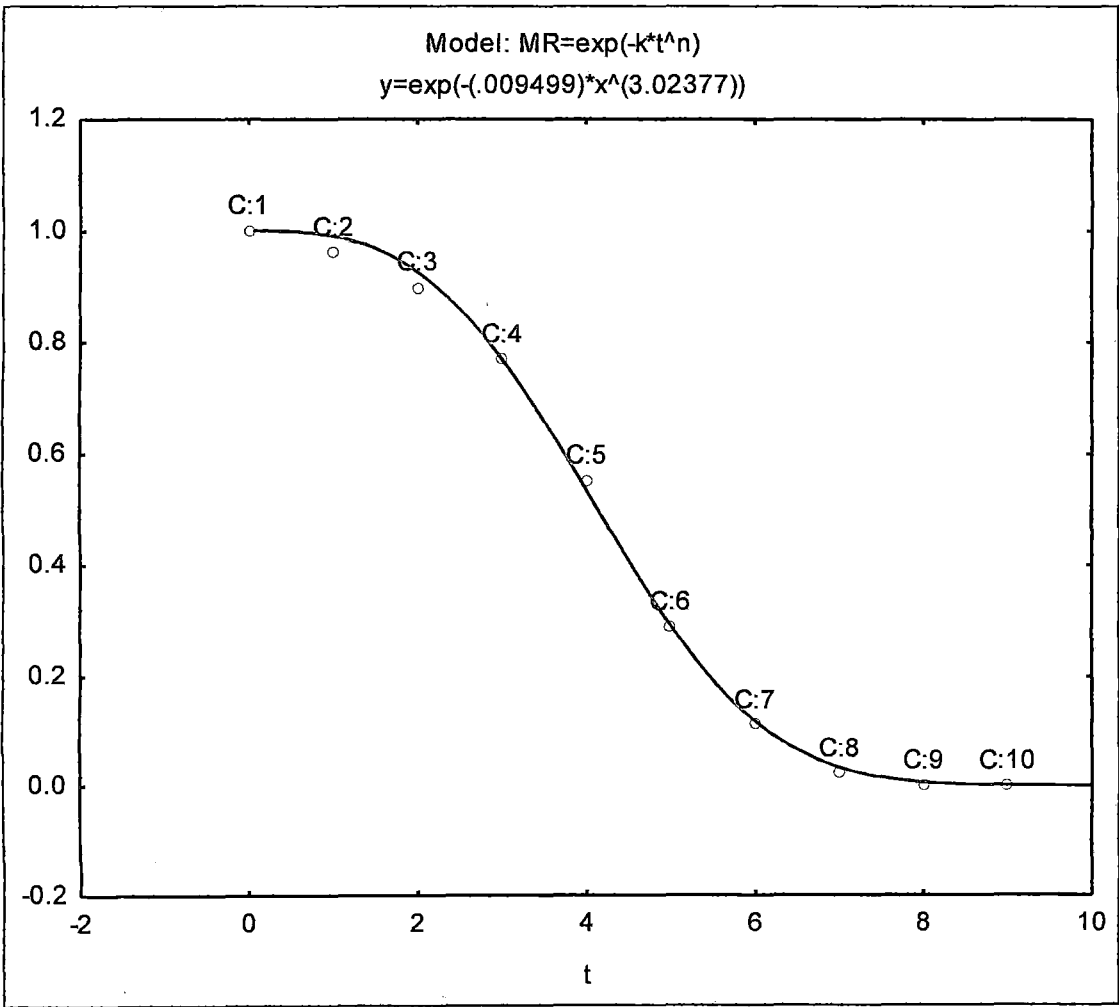
**ANEXO XX**

**Solución osmótica a 50% de azúcar**

**Tabla 47:** Constantes de secado a 90 °C, usando el modelo de Page

SOLUCIÓN OSMÓTICA	NIVEL DE CORRELACIÓN	k	n
AZÚCAR 50%	0.999342293	0.009499	3.023774

*Fuente:* Autores (2014)



**Figura 51:** Solución Osmótica 50% usando del Modelo de Page