



**EDUCACIÓN**  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



**TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO®**  
Instituto Tecnológico de Tlajomulco



**TESIS**

**“MODELACIÓN DE LA CINÉTICA DE SECADO  
CONVECTIVO DEL ARÁNDANO CON  
PRETRATAMIENTO OSMÓTICO”**

**QUE PRESENTA:**

**IIA. JUAN MANUEL SANDOVAL MENDOZA**

**DIRECTOR DE TESIS:**

**DR. ISAAC ANDRADE GONZÁLEZ**

**CODIRECTORA DE TESIS:**

**DRA. ALEJANDRA CHÁVEZ RODRÍGUEZ**

**REVISORES DE TESIS:**

**DRA. VANIA SBEYDE FARIÁS CERVANTES**

**DR. ARTURO MOISÉS CHÁVEZ RODRÍGUEZ**

---

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:  
MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROBIOTECNOLOGÍA**

---

**TLAJOMULCO DE ZÚÑIGA, JALISCO. NOVIEMBRE, 2020.**

## **Agradecimientos**

Al Instituto Tecnológico de Tlajomulco, Jalisco, especialmente al Dr. Isaac Andrade González por haberme dado la oportunidad de adentrarme en el ámbito de la investigación y guiarme siempre, por haberme abierto las puertas de su casa y por brindarme siempre su amistad, apoyo, confianza y sus consejos.

A la Dra. Vania Sbeyde Farias Cervantes por haberme apoyado tanto y guiarme en el desarrollo de este proyecto, por haberme brindado su amistad, sus consejos y por confiar en mí.

Al Dr. Arturo Moisés Chávez Rodríguez por brindarme su amistad, por sus anécdotas contadas y por el apoyo para el desarrollo de este trabajo.

A la Dra. Alejandra Chávez Rodríguez por abrirme las puertas de su casa, por brindarme su apoyo, su amistad y confianza, y por sus consejos para el desarrollo de este trabajo.

Al CONACYT, por su valiosa contribución económica para el desarrollo del proyecto.

A mis compañeros y amigos Isaac, Mayra, Jorge, Armando, Nico, Karla, Christian, Kimmy, Lalo y Juan Manuel por haberme brindado su apoyo, su amistad, sus consejos y por todos los buenos momentos que pasamos.

A mi compañero, amigo y hermano David Ramírez Alvarado por siempre apoyarme, por brindarme su confianza, consejos e impulsarme a ser mejor.

A Fernanda, mi compañera de vida por siempre impulsarme a ser mejor y no dejarme vencer, por estar siempre conmigo, por brindarme su confianza, amistad, cariño y paciencia, por todo su amor y por caminar conmigo de la mano para lograr grandes cosas juntos e inspirarme a ser el mejor.

A mis padres Silvia y José Juan por creer en mí, por siempre apoyarme y nunca dejarme caer, por todos sus sacrificios que me permitieron culminar un logro más en mi vida profesional y por siempre darme su cariño, amor y confianza que me inspiran a buscar ser mejor cada día. A mi tía Rosa por apoyarme a lo largo de mi vida, por su confianza y cariño, por estar siempre pendiente de mí y por ayudarme tanto y a mis hermanos Oscar, Lalo, Diego y Ximena por ser mi motor e inspiración.

## Resumen

Los arándanos frescos tienen una vida útil corta, por lo que las tecnologías de secado juegan un papel importante en extender su estabilidad durante el almacenamiento. Una alternativa que promueve la conservación de las propiedades es el secado convectivo con pretratamiento osmótico, el cual influirá en el tiempo de secado convectivo y las propiedades de calidad final, como color, retención de antocianinas, temperatura de transición vítrea y textura. Se realizaron cinéticas de deshidratación osmótica y de grados Brix de la solución osmótica durante 5 horas, empleando sacarosa e inulina como agentes osmóticos a 30, 40 y 50 °Brix y temperaturas de 45, 55 y 65 °C, empleando como inductores NaCl y eritritol. Las cinéticas de secado convectivo y de actividad de agua se realizaron a temperaturas de 60, 70 y 80 °C durante 10 horas. Se realizó la modelación de la cinética de secado convectivo de arándano con pretratamiento osmótico empleando los modelos de Newton y Page. Se realizó la determinación de color y el contenido de antocianinas totales durante el proceso de deshidratación osmótica y el secado convectivo del arándano con pretratamiento osmótico, así como la determinación de la temperatura de transición vítrea y el análisis del perfil de textura de los mejores tratamientos. Los tratamientos que se realizaron a concentraciones de 50 °Brix empleando como inductor NaCl permitieron obtener una mayor pérdida de humedad (0.18 g H<sub>2</sub>O/g materia seca) y por tanto una disminución en los tiempos de secado convectivo del arándano de 15 horas a 10 horas. En el secado convectivo, la menor degradación de color y los valores más altos en el contenido de antocianinas se obtuvieron en los tratamientos evaluados con concentraciones de 50 °Brix a temperaturas de deshidratación osmótica de 55 °C y secado convectivo a 60 °C, empleando inulina – NaCl el cual presentó  $2.22 \pm 0.09$  mg de cianidina-3-glucosido/g y empleando sacarosa – NaCl presentó  $2.08 \pm 0.05$  mg de cianidina--3-glucosido/g. El uso de pretratamientos osmóticos nos permite obtener mayores temperaturas de transición vítrea respecto a los arándanos secados convectivamente sin pretratamiento osmótico y la temperatura más alta encontrada en esta investigación fue de 77.76 °C para el arándano pretratado osmóticamente (inulina a 50 °Brix, inductor NaCl, deshidratado osmótico a 65 °C) y secado convectivo de 80 °C. El empleo de la deshidratación osmótica combinada con el secado convectivo, disminuyeron notablemente la dureza y la fracturabilidad respecto a los arándanos que solo fueron secados convectivamente, logrando así una mejora en la calidad de los mismos.

## Summary

Fresh blueberries have a short shelf life, so drying technologies play an important role in extending their stability during storage. An alternative that promotes the conservation of properties is convective drying, with osmotic pretreatment which will influence the convective drying time and the final quality properties, such as color, anthocyanin retention, glass transition temperature and texture. Osmotic dehydration kinetics and Brix degrees of the osmotic solution were performed for 5 hours, using sucrose and inulin as osmotic agents at 30, 40 and 50 °Brix and temperatures of 45, 55 and 65 °C, using NaCl and erythritol as inducers. The convective drying kinetics and water activity were performed at temperatures of 60, 70 and 80 °C for 10 hours. Blueberry convective drying kinetics were modeled with osmotic pretreatment using Newton and Page models. The determination of color and total anthocyanin content was carried out during the osmotic dehydration process and convective drying of the blueberry with osmotic pretreatment, as well as the determination of the glass transition temperature and the analysis of the texture profile of the best treatments. The treatments that were carried out at concentrations of 50 °Brix using NaCl as inducer allowed to obtain a greater loss of humidity (0.18 g H<sub>2</sub>O / g dry matter) and therefore a decrease in the convective drying times of the blueberry from 15 hours to 10 hours. In convective drying, the lowest color degradation and the highest values in anthocyanin content were obtained in the treatments evaluated with concentrations of 50 °Brix at osmotic dehydration temperatures of 55 °C and convective drying at 60 °C, using inulin - NaCl which presented  $2.22 \pm 0.09$  mg of cyanidin-3-glucoside / g and using sucrose - NaCl presented  $2.08 \pm 0.05$  mg of cyanidin - 3-glucoside / g. The use of osmotic pretreatments allows us to obtain higher glass transition temperatures with respect to convectively dried blueberries without osmotic pretreatment and the highest temperature found in this research was 77.76 °C for osmotically pretreated blueberries (inulin at 50 °Brix, inducer NaCl , osmotic dehydration at 65 °C) and convective drying at 80 °C. The use of osmotic dehydration combined with convective drying notably decreased hardness and fracturing compared to blueberries that were only convectively dried, thus achieving an improvement in their quality.

## Índice General

<b>1. Introducción.....</b>	<b>16</b>
<b>2. Antecedentes.....</b>	<b>17</b>
<b>3. Planteamiento del problema.....</b>	<b>21</b>
<b>4. Justificación.....</b>	<b>22</b>
<b>5. Hipótesis.....</b>	<b>23</b>
<b>6. Objetivos.....</b>	<b>24</b>
<b>6.1 Objetivo general.....</b>	<b>24</b>
<b>6.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>24</b>
<b>7. Fundamento teórico.....</b>	<b>25</b>
<b>7.1 Generalidades del arándano.....</b>	<b>25</b>
<b>7.2 Producción nacional de arándano.....</b>	<b>25</b>
<b>7.3 Composición nutricional del arándano.....</b>	<b>26</b>
<b>7.4 Deshidratación osmótica.....</b>	<b>27</b>
<b>7.4.1 Ventajas y desventajas del uso de la deshidratación osmótica.....</b>	<b>28</b>
<b>7.4.2 Cinética de la deshidratación osmótica.....</b>	<b>29</b>
<b>7.4.3 Factores que afectan la deshidratación osmótica.....</b>	<b>29</b>
<b>7.4.3.1 Tamaño y geometría del alimento.....</b>	<b>29</b>
<b>7.4.3.2 Temperatura.....</b>	<b>29</b>
<b>7.4.3.3 Agitación.....</b>	<b>30</b>
<b>7.4.3.4 Agente osmótico.....</b>	<b>30</b>
<b>7.4.3.5 Concentración de la solución osmótica.....</b>	<b>31</b>
<b>7.4.3.6 Tiempo del proceso.....</b>	<b>31</b>
<b>7.5 Secado.....</b>	<b>32</b>
<b>7.5.1 Teoría del secado.....</b>	<b>32</b>
<b>7.5.2 Períodos de secado.....</b>	<b>33</b>
<b>7.5.3 Secado convectivo.....</b>	<b>34</b>
<b>7.5.4 Modelado de la cinética de secado.....</b>	<b>34</b>
<b>8. Fundamentos de las técnicas de análisis.....</b>	<b>36</b>
<b>8.1 Determinación de humedad.....</b>	<b>36</b>
<b>8.1.1 Método por secado de estufa.....</b>	<b>36</b>
<b>8.2 Determinación de grados Brix.....</b>	<b>36</b>
<b>8.3 Determinación de actividad de agua.....</b>	<b>37</b>

<b>8.4 Determinación de antocianinas totales.</b> .....	37
<b>8.5 Determinación de color.</b> .....	37
<b>8.5.1 Sistema CIE de determinación de color.</b> .....	37
<b>8.6 Determinación de temperatura de transición vítrea.</b> .....	39
<b>8.6.1 Calorimetría diferencial de barrido.</b> .....	39
<b>8.7 Determinación del perfil de textura.</b> .....	40
<b>9. Materiales y métodos.</b> .....	41
<b>9.1 Materiales.</b> .....	41
<b>9.1.1 Materia prima.</b> .....	41
<b>9.2 Métodos.</b> .....	41
<b>9.2.1 Deshidratación osmótica del arándano.</b> .....	41
<b>9.2.2 Determinación de cinéticas de humedad.</b> .....	42
<b>9.2.3 Determinación de cinéticas de grados Brix.</b> .....	42
<b>9.3 Secado convectivo.</b> .....	43
<b>9.4 Determinación de antocianinas totales.</b> .....	44
<b>9.5 Determinación de color.</b> .....	45
<b>9.6 Determinación de la temperatura de transición vítrea.</b> .....	46
<b>9.7 Determinación del perfil de textura.</b> .....	46
<b>9.8 Análisis estadístico.</b> .....	46
<b>10. Resultados y discusión.</b> .....	47
<b>10.1 Cinéticas de la deshidratación osmótica del arándano.</b> .....	47
<b>10.2 Cinéticas de grados Brix.</b> .....	54
<b>10.3 Cinéticas de secado convectivo de arándano.</b> .....	57
<b>10.4 Modelación de las cinéticas de secado convectivo de arándano.</b> .....	83
<b>10.5 Cinéticas de actividad de agua durante el secado convectivo de arándano.</b> .....	89
<b>10.6 Determinación de color.</b> .....	112
<b>10.7 Determinación del contenido de antocianinas totales.</b> .....	127
<b>10.8 Determinación de la temperatura de transición vítrea.</b> .....	141
<b>10.9 Determinación del perfil de textura.</b> .....	150
<b>11. Conclusiones.</b> .....	152
<b>12. Referencias bibliográficas.</b> .....	155

## Índice de Figuras

<b>Figura 1. Arándano Azul.....</b>	<b>25</b>
<b>Figura 2. Proceso de transferencia de masa en la deshidratación osmótica.....</b>	<b>27</b>
<b>Figura 3. Curva de secado típica.....</b>	<b>33</b>
<b>Figura 4. Gráfica de color CIELAB.....</b>	<b>38</b>
<b>Figura 5. Principio de la DSC.....</b>	<b>39</b>
<b>Figura 6. Termograma DSC.....</b>	<b>40</b>
<b>Figura 7. Cinéticas de deshidratación osmótica del arándano utilizando sacarosa con concentración de 30 °Brix.....</b>	<b>47</b>
<b>Figura 8. Cinéticas de deshidratación osmótica del arándano utilizando inulina con concentración de 30 °Brix.....</b>	<b>48</b>
<b>Figura 9. Cinéticas de deshidratación osmótica del arándano utilizando sacarosa con concentración de 40 °Brix.....</b>	<b>49</b>
<b>Figura 10. Cinéticas de deshidratación osmótica del arándano utilizando inulina con concentración de 40 °Brix.....</b>	<b>50</b>
<b>Figura 11. Cinéticas de deshidratación osmótica del arándano utilizando sacarosa con concentración de 50 °Brix.....</b>	<b>51</b>
<b>Figura 12. Cinéticas de deshidratación osmótica del arándano utilizando inulina con concentración de 50 °Brix.....</b>	<b>52</b>
<b>Figura 13. Cinéticas de grados Brix de la solución de sacarosa a 30 °Brix.....</b>	<b>54</b>
<b>Figura 14. Cinéticas de grados Brix de la solución de inulina a 30 °Brix.....</b>	<b>55</b>
<b>Figura 15. Cinéticas de grados Brix de la solución de sacarosa a 40 °Brix.....</b>	<b>55</b>
<b>Figura 16. Cinéticas de grados Brix de la solución de inulina a 40 °Brix.....</b>	<b>56</b>
<b>Figura 17. Cinéticas de grados Brix de la solución de sacarosa a 50 °Brix.....</b>	<b>56</b>
<b>Figura 18. Cinéticas de grados Brix de la solución de inulina a 50 °Brix.....</b>	<b>57</b>
<b>Figura 19. Cinéticas de secado convectivo de arándano sin pretratamiento osmótico a temperaturas de 60, 70 y 80 °C.....</b>	<b>58</b>
<b>Figura 20. Cinéticas de secado convectivo de arándano a 60 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 30 °Brix, temperatura de 45 °C, NaCl y eritritol como inductores.....</b>	<b>59</b>

<b>Figura 21. Cinéticas de secado convectivo de arándano a 60 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 30 °Brix, temperatura de 55 °C y NaCl y eritritol como inductores.....</b>	<b>60</b>
<b>Figura 22. Cinéticas de secado convectivo de arándano a 60 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 30 °Brix, temperatura de 65 °C y NaCl y eritritol como inductores.....</b>	<b>60</b>
<b>Figura 23. Cinéticas de secado convectivo de arándano a 60 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 40 °Brix, temperatura de 45 °C y NaCl y eritritol como inductores.....</b>	<b>62</b>
<b>Figura 24. Cinéticas de secado convectivo de arándano a 60 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 40 °Brix, temperatura de 55 °C y NaCl y eritritol como inductores.....</b>	<b>62</b>
<b>Figura 25. Cinéticas de secado convectivo de arándano a 60 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 40 °Brix, temperatura de 65 °C y NaCl y eritritol como inductores.....</b>	<b>63</b>
<b>Figura 26. Cinéticas de secado convectivo de arándano a 60 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 50 °Brix, temperatura de 45 °C y NaCl y eritritol como inductores.....</b>	<b>65</b>
<b>Figura 27. Cinéticas de secado convectivo de arándano a 60 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 50 °Brix, temperatura de 55 °C y NaCl y eritritol como inductores.....</b>	<b>65</b>
<b>Figura 28. Cinéticas de secado convectivo de arándano a 60 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 50 °Brix, temperatura de 65 °C y NaCl y eritritol como inductores.....</b>	<b>66</b>
<b>Figura 29. Cinéticas de secado convectivo de arándano a 70 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 30 °Brix, temperatura de 45 °C y NaCl y eritritol como inductores.....</b>	<b>68</b>
<b>Figura 30. Cinéticas de secado convectivo de arándano a 70 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 30 °Brix, temperatura de 55 °C y NaCl y eritritol como inductores.....</b>	<b>68</b>

**Figura 31. Cinéticas de secado convectivo de arándano a 70 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 30 °Brix, temperatura de 65 °C y NaCl y eritritol como inductores..... 69**

**Figura 32. Cinéticas de secado convectivo de arándano a 70 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 40 °Brix, temperatura de 45 °C y NaCl y eritritol como inductores..... 70**

**Figura 33. Cinéticas de secado convectivo de arándano a 70 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 40 °Brix, temperatura de 55 °C y NaCl y eritritol como inductores..... 71**

**Figura 34. Cinéticas de secado convectivo de arándano a 70 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 40 °Brix, temperatura de 65 °C y NaCl y eritritol como inductores..... 71**

**Figura 35. Cinéticas de secado convectivo de arándano a 70 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 50 °Brix, temperatura de 45 °C y NaCl y eritritol como inductores..... 73**

**Figura 36. Cinéticas de secado convectivo de arándano a 70 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 50 °Brix, temperatura de 55 °C y NaCl y eritritol como inductores..... 73**

**Figura 37. Cinéticas de secado convectivo de arándano a 70 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 50 °Brix, temperatura de 65 °C y NaCl y eritritol como inductores..... 74**

**Figura 38. Cinéticas de secado convectivo de arándano a 80 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 30 °Brix, temperatura de 45 °C y NaCl y eritritol como inductores..... 76**

**Figura 39. Cinéticas de secado convectivo de arándano a 80 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 30 °Brix, temperatura de 55 °C y NaCl y eritritol como inductores..... 76**

**Figura 40. Cinéticas de secado convectivo de arándano a 80 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 30 °Brix, temperatura de 65 °C y NaCl y eritritol como inductores..... 77**

**Figura 41. Cinéticas de secado convectivo de arándano a 80 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 40 °Brix, temperatura de 45 °C y NaCl y eritritol como inductores..... 79**

**Figura 42. Cinéticas de secado convectivo de arándano a 80 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 40 °Brix, temperatura de 55 °C y NaCl y eritritol como inductores..... 79**

**Figura 43. Cinéticas de secado convectivo de arándano a 80 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 40 °Brix, temperatura de 65 °C y NaCl y eritritol como inductores..... 80**

**Figura 44. Cinéticas de secado convectivo de arándano a 80 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 50 °Brix, temperatura de 45 °C y NaCl y eritritol como inductores..... 81**

**Figura 45. Cinéticas de secado convectivo de arándano a 80 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 50 °Brix, temperatura de 55 °C y NaCl y eritritol como inductores..... 82**

**Figura 46. Cinéticas de secado convectivo de arándano a 80 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 50 °Brix, temperatura de 65 °C y NaCl y eritritol como inductores..... 82**

**Figura 47. Cinéticas experimentales vs Cinéticas Modelo de Newton para el secado convectivo a 60 °C..... 85**

**Figura 48. Cinéticas experimentales vs Cinéticas Modelo de Page para el secado convectivo a 60 °C..... 85**

**Figura 49. Cinéticas experimentales vs Cinéticas Modelo de Newton para el secado convectivo a 70 °C..... 86**

**Figura 50. Cinéticas experimentales vs Cinéticas Modelo de Page para el secado convectivo a 70 °C..... 87**

**Figura 51. Cinéticas experimentales vs Cinéticas Modelo de Newton para el secado convectivo a 80 °C..... 88**

**Figura 52. Cinéticas experimentales vs Cinéticas Modelo de Page para el secado convectivo a 80 °C..... 88**

<b>Figura 53. Cinéticas de actividad de agua durante el secado convectivo de arándano a 60 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 30 °Brix, temperatura de 45 °C y NaCl y eritritol como inductores.....</b>	<b>90</b>
<b>Figura 54. Cinéticas de actividad de agua durante el secado convectivo de arándano a 60 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 30 °Brix, temperatura de 55 °C y NaCl y eritritol como inductores.....</b>	<b>90</b>
<b>Figura 55. Cinéticas de actividad de agua durante el secado convectivo de arándano a 60 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 30 °Brix, temperatura de 65 °C y NaCl y eritritol como inductores.....</b>	<b>91</b>
<b>Figura 56. Cinéticas de actividad de agua durante el secado convectivo de arándano a 60 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 40 °Brix, temperatura de 45 °C y NaCl y eritritol como inductores.....</b>	<b>92</b>
<b>Figura 57. Cinéticas de actividad de agua durante el secado convectivo de arándano a 60 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 40 °Brix, temperatura de 55 °C y NaCl y eritritol como inductores.....</b>	<b>93</b>
<b>Figura 58. Cinéticas de actividad de agua durante el secado convectivo de arándano a 60 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 40 °Brix, temperatura de 65 °C y NaCl y eritritol como inductores.....</b>	<b>93</b>
<b>Figura 59. Cinéticas de actividad de agua durante el secado convectivo de arándano a 60 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 50 °Brix, temperatura de 45 °C y NaCl y eritritol como inductores.....</b>	<b>95</b>
<b>Figura 60. Cinéticas de actividad de agua durante el secado convectivo de arándano a 60 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 50 °Brix, temperatura de 55 °C y NaCl y eritritol como inductores.....</b>	<b>95</b>
<b>Figura 61. Cinéticas de actividad de agua durante el secado convectivo de arándano a 60 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 50 °Brix, temperatura de 65 °C y NaCl y eritritol como inductores.....</b>	<b>96</b>
<b>Figura 62. Cinéticas de actividad de agua durante el secado convectivo de arándano a 70 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 30 °Brix, temperatura de 45 °C y NaCl y eritritol como inductores.....</b>	<b>97</b>

<b>Figura 63. Cinéticas de actividad de agua durante el secado convectivo de arándano a 70 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 30 °Brix, temperatura de 55 °C y NaCl y eritritol como inductores.....</b>	<b>98</b>
<b>Figura 64. Cinéticas de actividad de agua durante el secado convectivo de arándano a 70 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 30 °Brix, temperatura de 65 °C y NaCl y eritritol como inductores.....</b>	<b>98</b>
<b>Figura 65. Cinéticas de actividad de agua durante el secado convectivo de arándano a 70 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 40 °Brix, temperatura de 45 °C y NaCl y eritritol como inductores.....</b>	<b>100</b>
<b>Figura 66. Cinéticas de actividad de agua durante el secado convectivo de arándano a 70 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 40 °Brix, temperatura de 55 °C y NaCl y eritritol como inductores.....</b>	<b>100</b>
<b>Figura 67. Cinéticas de actividad de agua durante el secado convectivo de arándano a 70 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 40 °Brix, temperatura de 65 °C y NaCl y eritritol como inductores.....</b>	<b>101</b>
<b>Figura 68. Cinéticas de actividad de agua durante el secado convectivo de arándano a 70 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 50 °Brix, temperatura de 45 °C y NaCl y eritritol como inductores.....</b>	<b>102</b>
<b>Figura 69. Cinéticas de actividad de agua durante el secado convectivo de arándano a 70 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 50 °Brix, temperatura de 55 °C y NaCl y eritritol como inductores.....</b>	<b>103</b>
<b>Figura 70. Cinéticas de actividad de agua durante el secado convectivo de arándano a 70 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 50 °Brix, temperatura de 65 °C y NaCl y eritritol como inductores.....</b>	<b>103</b>
<b>Figura 71. Cinéticas de actividad de agua durante el secado convectivo de arándano a 80 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 30 °Brix, temperatura de 45 °C y NaCl y eritritol como inductores.....</b>	<b>105</b>
<b>Figura 72. Cinéticas de actividad de agua durante el secado convectivo de arándano a 80 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 30 °Brix, temperatura de 55 °C y NaCl y eritritol como inductores.....</b>	<b>105</b>

<b>Figura 73. Cinéticas de actividad de agua durante el secado convectivo de arándano a 80 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 30 °Brix, temperatura de 65 °C y NaCl y eritritol como inductores.....</b>	<b>106</b>
<b>Figura 74. Cinéticas de actividad de agua durante el secado convectivo de arándano a 80 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 40 °Brix, temperatura de 45 °C y NaCl y eritritol como inductores.....</b>	<b>107</b>
<b>Figura 75. Cinéticas de actividad de agua durante el secado convectivo de arándano a 80 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 40 °Brix, temperatura de 55 °C y NaCl y eritritol como inductores.....</b>	<b>108</b>
<b>Figura 76. Cinéticas de actividad de agua durante el secado convectivo de arándano a 80 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 40 °Brix, temperatura de 65 °C y NaCl y eritritol como inductores.....</b>	<b>108</b>
<b>Figura 77. Cinéticas de actividad de agua durante el secado convectivo de arándano a 80 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 50 °Brix, temperatura de 45 °C y NaCl y eritritol como inductores.....</b>	<b>110</b>
<b>Figura 78. Cinéticas de actividad de agua durante el secado convectivo de arándano a 80 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 50 °Brix, temperatura de 55 °C y NaCl y eritritol como inductores.....</b>	<b>110</b>
<b>Figura 79. Cinéticas de actividad de agua durante el secado convectivo de arándano a 80 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 50 °Brix, temperatura de 65 °C y NaCl y eritritol como inductores.....</b>	<b>111</b>
<b>Figura 80. Deshidratación osmótica de arándanos utilizando sacarosa como agente osmótico a 50 °Brix y sus temperaturas de 45, 55 y 65 °C.....</b>	<b>117</b>
<b>Figura 81. Deshidratación osmótica de arándanos utilizando inulina como agente osmótico a 50 °Brix y sus temperaturas de 45, 55 y 65 °C.....</b>	<b>117</b>
<b>Figura 82. Secado convectivo de arándanos a 60, 70 y 80 °C respectivamente, pretratado con sacarosa como agente osmótico a 50 °Brix.....</b>	<b>126</b>
<b>Figura 83. Secado convectivo de arándanos a 60, 70 y 80 °C respectivamente, pretratado con inulina como agente osmótico a 50 °Brix.....</b>	<b>126</b>
<b>Figura 84. Secado convectivo de arándanos a 60, 70 y 80 °C sin pretratamiento osmótico.....</b>	<b>127</b>

<b>Figura 85. Temperatura de transición vítrea del arándano sometido a secado convectivo a 70 °C sin pretratamiento osmótico.....</b>	<b>143</b>
<b>Figura 86. Temperatura de transición vítrea del arándano pretratado osmóticamente con inulina a 30 °Brix, empleando como inductor NaCl, temperatura de deshidratación osmótica de 45 °C y secado convectivo de 60 °C.....</b>	<b>144</b>
<b>Figura 87. Temperatura de transición vítrea del arándano pretratado osmóticamente con inulina a 40 °Brix, empleando como inductor eritritol, temperatura de deshidratación osmótica de 55 °C y secado convectivo de 70 °C.....</b>	<b>145</b>
<b>Figura 88. Temperatura de transición vítrea del arándano pretratado osmóticamente con inulina a 40 °Brix, empleando como inductor NaCl, temperatura de deshidratación osmótica de 55 °C y secado convectivo de 70 °C.....</b>	<b>146</b>
<b>Figura 89. Temperatura de transición vítrea del arándano pretratado osmóticamente con sacarosa a 40 °Brix, empleando como inductor eritritol, temperatura de deshidratación osmótica de 55 °C y secado convectivo de 70 °C.....</b>	<b>147</b>
<b>Figura 90. Temperatura de transición vítrea del arándano pretratado osmóticamente con sacarosa a 40 °Brix, empleando como inductor NaCl, temperatura de deshidratación osmótica de 55 °C y secado convectivo de 70 °C.....</b>	<b>148</b>
<b>Figura 91. Temperatura de transición vítrea del arándano pretratado osmóticamente con inulina a 50 °Brix, empleando como inductor NaCl, temperatura de deshidratación osmótica de 65 °C y secado convectivo de 80 °C.....</b>	<b>149</b>

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1. Composición nutricional del arándano azul.....</b>	<b>26</b>
<b>Tabla 2. Lista de agentes osmóticos y su compatibilidad con los alimentos.....</b>	<b>31</b>
<b>Tabla 3. Modelos matemáticos más utilizados para describir el comportamiento cinético del secado.....</b>	<b>35</b>
<b>Tabla 4. Diseño experimental utilizado en la deshidratación osmótica y secado convectivo del arándano.....</b>	<b>41</b>
<b>Tabla 5. Modelos utilizados para modelar las cinéticas experimentales del secado convectivo de arándano.....</b>	<b>43</b>
<b>Tabla 6. Valores de los parámetros cinéticos para las curvas de secado de arándano a 60 °C.....</b>	<b>84</b>
<b>Tabla 7. Valores de los parámetros cinéticos para las curvas de secado de arándano a 70 °C.....</b>	<b>86</b>
<b>Tabla 8. Valores de los parámetros cinéticos para las curvas de secado de arándano a 80 °C.....</b>	<b>87</b>
<b>Tabla 9. Parámetros de color obtenidos de la deshidratación osmótica de arándano con concentraciones de 30 °Brix.....</b>	<b>114</b>
<b>Tabla 10. Parámetros de color obtenidos de la deshidratación osmótica de arándano con concentraciones de 40 °Brix.....</b>	<b>115</b>
<b>Tabla 11. Parámetros de color obtenidos de la deshidratación osmótica de arándano con concentraciones de 50 °Brix.....</b>	<b>116</b>
<b>Tabla 12. Parámetros de color obtenidos del secado convectivo de arándano pretratado osmóticamente con sacarosa a 30 °Brix.....</b>	<b>120</b>
<b>Tabla 13. Parámetros de color obtenidos del secado convectivo de arándano pretratado osmóticamente con inulina a 30 °Brix.....</b>	<b>121</b>
<b>Tabla 14. Parámetros de color obtenidos del secado convectivo de arándano pretratado osmóticamente con sacarosa a 40 °Brix.....</b>	<b>122</b>
<b>Tabla 15. Parámetros de color obtenidos del secado convectivo de arándano pretratado osmóticamente con inulina a 40 °Brix.....</b>	<b>123</b>
<b>Tabla 16. Parámetros de color obtenidos del secado convectivo de arándano pretratado osmóticamente con sacarosa a 50 °Brix.....</b>	<b>124</b>

<b>Tabla 17. Parámetros de color obtenidos del secado convectivo de arándano pretratado osmóticamente con inulina a 50 °Brix.....</b>	<b>125</b>
<b>Tabla 18. Determinación del contenido de antocianinas totales de los arándanos deshidratados osmóticamente a 30 °Brix.....</b>	<b>129</b>
<b>Tabla 19. Determinación del contenido de antocianinas totales de los arándanos deshidratados osmóticamente a 40 °Brix.....</b>	<b>130</b>
<b>Tabla 20. Determinación del contenido de antocianinas totales de los arándanos deshidratados osmóticamente a 50 °Brix.....</b>	<b>131</b>
<b>Tabla 21. Determinación del contenido de antocianinas totales de los arándanos secados convectivamente, pretratados osmóticamente con sacarosa a 30 °Brix.....</b>	<b>133</b>
<b>Tabla 22. Determinación del contenido de antocianinas totales de los arándanos secados convectivamente, pretratados osmóticamente con inulina a 30 °Brix.....</b>	<b>134</b>
<b>Tabla 23. Determinación del contenido de antocianinas totales de los arándanos secados convectivamente, pretratados osmóticamente con sacarosa a 40 °Brix.....</b>	<b>135</b>
<b>Tabla 24. Determinación del contenido de antocianinas totales de los arándanos secados convectivamente, pretratados osmóticamente con inulina a 40 °Brix.....</b>	<b>136</b>
<b>Tabla 25. Determinación del contenido de antocianinas totales de los arándanos secados convectivamente, pretratados osmóticamente con sacarosa a 50 °Brix.....</b>	<b>137</b>
<b>Tabla 26. Determinación del contenido de antocianinas totales de los arándanos secados convectivamente, pretratados osmóticamente con inulina a 50 °Brix.....</b>	<b>138</b>
<b>Tabla 27. Determinación de la temperatura de transición vítrea en el arándano sometido a secado convectivo con y sin pretratamiento osmótico.....</b>	<b>142</b>
<b>Tabla 28. Análisis del perfil de textura en el arándano sometido a secado convectivo con y sin pretratamiento osmótico.....</b>	<b>151</b>

## 1. Introducción.

El arándano es uno de los frutales de más reciente domesticación, su cultivo ha traspasado las fronteras de su lugar de origen: el norte de Europa, Asia y América, cultivándose, en este último continente, desde Canadá hasta Chile. En México, Jalisco es la entidad especializada en producción de arándanos azules, pues además de que goza de las condiciones edafológicas y climáticas, también cuenta con toda la tecnología y recursos humanos de calidad para producirlos, pues las berries, en general, requieren de un tratamiento profesional y especializado para su comercialización (SIAP, 2020).

Los arándanos y otros frutos rojos, han incrementado su demanda debido al valor nutracéutico y características sensoriales que presentan, las cuales han llamado la atención de los consumidores que buscan productos y/o alimentos naturales que les brinden la mayor cantidad de beneficios para su salud. Los arándanos tienen un alto potencial antioxidante, esto gracias al contenido de antocianinas, flavonoides, catequinas y ácidos fenólicos que son responsables de la capacidad de captación de radicales libres, brindando una protección contra el estrés oxidativo (Moyer *et al.*, 2002).

En la actualidad se emplean diversos métodos de secado para obtener frutas y verduras comercialmente aceptables. El secado convectivo de charolas es un proceso comúnmente empleado debido a sus bajos costos operativos y a su fácil manejo de los productos. No obstante, durante el proceso de secado convectivo de los alimentos se producen cambios que pueden ser estructurales o químicos los cuales afectan las propiedades nutritivas u organolépticas de los productos, dependiendo entre otros factores de las condiciones de operación utilizadas durante el proceso, como lo es la temperatura y tiempo de aireación.

El objetivo de este trabajo es brindar un mejor enfoque sobre el conocimiento del mecanismo de secado osmótico y convectivo los cuales pueden describir los modelos matemáticos (Page, Newton) para posteriormente definir las mejores condiciones y aspectos de los productos deshidratados en un proceso industrial que permitan mejorar la textura, atributos de calidad como sabor, color y contenido de antocianinas en los arándanos que se están produciendo en el estado de Jalisco, esto debido a la reducción de la cantidad de agua a evaporar durante el secado convectivo y disminuyendo así el consumo de energía y los tiempos de secado.

## 2. Antecedentes.

El arándano azul (*Vaccinium myrtillus*) es un fruto originario del hemisferio norte, también conocido como blueberry, arándano o mirtilo tiene la piel tersa, su pulpa es jugosa y aromática de sabor agridulce (Bernal, 2010). Los arándanos son una fruta succulenta cultivada en muchas áreas del mundo, por ejemplo en países como China, Japón, Chile, Nueva Zelanda, Argentina y México.

A nivel mundial se producen actualmente 546,000 toneladas. México produce tan solo 15,489 toneladas (SIAP, 2020), de arándano lo que significa que el cultivo de arándano se ha convertido en una importante derrama económica para el país. Sin embargo, cerca del 90 % de esta producción es destinada a exportación en fresco, lo que cataloga al país a nivel internacional como un productor de materias primas y no, así como un transformador y generador de tecnologías, lo que da pauta a buscar alternativas para procesar ya sea el arándano que no cumple los estándares de calidad para exportación o simplemente transformar y dar un valor agregado al arándano en general.

Los principales procesos de transformación son la congelación y la deshidratación, siendo la deshidratación uno de los métodos de procesamiento más comunes para extender la vida útil de las frutas y verduras. Estudios recientes han enfatizado las tecnologías de secado innovadoras para desarrollar bocadillos saludables de frutas y vegetales, sin embargo, la aceptación o el rechazo de cualquier producto comestible está condicionado por los estímulos sensoriales (Pattee, 1985). El color y la textura del producto son atributos de calidad externos en qué se basan las decisiones de rechazo o aceptación de los productos. Por lo que el mayor desafío de la industria alimentaria es que debe proporcionar productos alimenticios que además de ser seguros, tengan un color atractivo y una textura aceptable.

Los arándanos se distinguen por sus atractivos colores: rojos, azules y morados (Shewfelt, 1986). Estos colores se atribuyen a las antocianinas, un grupo de pigmentos solubles en agua. Las antocianinas son relativamente estables durante el almacenamiento de los arándanos congelados, pero son susceptibles a la degradación por la acción de procesamientos con altas temperaturas, como es el deshidratado (Francis, 1985).

Por lo anterior es de suma importancia buscar alternativas externas o internas del proceso de secado que permitan la conservación de las propiedades funcionales del arándano las cuales han sido ampliamente estudiadas y han demostrado que una serie de fitoquímicos presentes en los arándanos pueden reducir el riesgo de enfermedad cardíaca, cáncer e infecciones del tracto urinario, además de mejorar la función cognitiva y la salud ocular (Jepson *et al.*, 2012).

La deshidratación de los alimentos es una de las técnicas más antiguas de preservación, que reduce la actividad del agua evitando el deterioro y la contaminación potencial durante largos períodos de almacenamiento, además de ayudar a preservar la calidad de los alimentos, las condiciones higiénicas se mejoran (Kaymak, 2002).

A pesar de todas las ventajas que proporciona la deshidratación y de ser considerada como una de las tecnologías básicas en la industria alimentaria, todavía no se ha desarrollado y optimizado satisfactoriamente del todo para frutos con características similares al arándano, ya que al someter el arándano al deshidratado se da un cambio abrupto en su textura debido a una fuerte contracción que se produce durante el secado, además también es bien sabido que la deshidratación produce una degradación inevitable del color, generalmente atribuida a los largos tiempos de secado del producto y a las altas temperaturas que es sometido. Se recomiendan pretratamientos como la osmosis u osmodeshidratación que permitan mejorar la textura, atributos de calidad como el sabor, color y contenido de antocianinas de los arándanos secos, debido a la reducción de la cantidad de agua a evaporar durante el secado convectivo y disminuyendo así el consumo de energía y los tiempos de secado.

Lo anterior ha sido demostrado en trabajos previos, como el de Gamboa & Silva (2018), donde realizaron la determinación de la temperatura y concentración de soluto en la deshidratación osmótica de arándano, teniendo como variables del proceso estudiadas la concentración en grados Brix de la solución osmótica y la temperatura, las cuales tomaron los siguientes rangos 55, 60 y 65 °Brix y 40, 50 y 60 °C respectivamente, y las variables de respuestas fueron: la pérdida de humedad, ganancia de sólidos solubles en el fruto y adicionalmente se realizó el estudio de difusividad.

Los resultados óptimos del proceso de deshidratación osmótica los obtuvieron empleando una temperatura de 56 °C y concentración de solución osmótica de 65 °Brix, bajo estas condiciones lograron extraer 1.9842 kg agua/kg sólido seco de agua, para la difusividad efectiva ( $Def$ ) y la difusividad del agua en el sólido ( $Ds$ ) en el proceso de osmodeshidratación, en un tiempo máximo de ensayo de 5 horas.

En su trabajo, Arteaga et al., (2015) evaluaron el efecto de la osmodeshidratación como pretratamiento a la liofilización sobre el contenido de antocianinas en el arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) y su capacidad de rehidratación. Utilizaron como variables del proceso concentraciones de sacarosa de 40 a 60 °Brix y temperaturas de 30 a 50 °C de la solución osmótica, con una duración del proceso de 4 horas. Los mejores resultados los obtuvieron sometiendo los arándanos a una solución osmótica de 50 °Brix y 50 °C presentando el mayor contenido de antocianinas de 126.64 (mg cianidina-3-glucosido/L) y el mayor porcentaje de rehidratación de 69.15%, que es superior al 25.27% encontrado para el arándano fresco liofilizado empleando una solución osmótica de 57 °Brix a 47 °C de temperatura de la solución osmótica.

La evaluación de la temperatura y concentración de dos agentes osmodeshidratantes en la obtención de *Vaccinium myrtillus* "arándano" deshidratado fue estudiada por Soto & Guablocho (2016), utilizando como agentes jarabe de sacarosa y miel de abeja en concentraciones de 60 y 70 °Brix y temperaturas de la solución osmótica de 50 y 60 °C, en relación jarabe - fruta de 3:1, y posterior secado con aire a 60 °C, a una velocidad de 3.5 m/s. Los mejores resultados respecto a la mayor ganancia de sólidos fueron utilizando miel de abeja con una concentración de 70 °Brix y temperatura de solución osmótica de 60 °C, la mayor pérdida de peso que fue de 31.76 % la obtuvieron con miel de abeja a una concentración de 60 °Brix y 50 °C y la mayor pérdida de agua que fue de 39.79 % utilizando miel de abeja a una concentración de 70 °Brix y temperatura de la solución osmótica de 50 °C.

Los efectos del escaldado como pretratamiento y la composición del azúcar de la solución osmótica en las características fisicoquímicas, morfológicas y antioxidantes (fenoles y antocianinas) de arándanos (*Vaccinium corymbosum* L.) osmodeshidratados fue evaluada por Giovanelli *et al.*, (2012); encontrando que tanto los polifenoles totales como las antocianinas totales se perdieron parcialmente debido a la deshidratación osmótica cuya concentración de la solución fue de 60 °Brix, teniendo pérdidas de hasta 36% de antocianinas totales en las muestras no escaldadas, sin diferencias relacionadas con el tipo de solución osmótica utilizada (sacarosa, fructuosa o glucosa), indicando que el escaldado tiene un efecto positivo en la conservación de los componentes polifenólicos debido a la inactivación de las polifenoxidasas endógenas por el escaldado a 85 °C por 3 minutos.

La determinación de las condiciones experimentales óptimas para la deshidratación osmótica y secado de arándanos fue estudiada por Haro (2004). Utilizó como variables del proceso concentraciones de sacarosa de 55, 60 y 65 °Brix y temperaturas de la solución osmótica de 40, 50 y 55 °C. durante un tiempo de 5 horas para luego ir a un túnel de secado a condiciones similares para todos los tratamientos por 10 horas a 55 °C con recirculación de aire del 50 %. Los mejores resultados respecto a la pérdida de humedad en la fruta los obtuvieron a una concentración del medio osmótico de 58.25 °Brix y una temperatura de 55 °C. Mientras que la mayor ganancia de sólidos solubles la obtuvieron a una temperatura de 55 °C y una concentración del medio osmótico de 65 °Brix.

El secado de frutos, es un proceso difícil de describir, debido a la complejidad de los fenómenos internos y externos del proceso (Sandoval et al., 2006). Para controlar y optimizar el proceso del secado se hace necesaria la utilización de ecuaciones matemáticas para la simulación de la cinética de transferencia de materia (agua) ocurrida durante esta operación unitaria, en función de las condiciones de secado utilizadas. La mayoría de estos modelos son empíricos, pero de igual forma derivan del modelo difusional de la segunda ley de Fick para diferentes geometrías (Apkinar, 2005). Entre estos se encuentran el modelo de Newton, modelo exponencial de dos términos y el modelo de Page, los cuales han sido aplicados en las cinéticas de secado de productos alimenticios, incluyendo la yuca, plátano, manzana, entre otros más productos (Sandoval et al., 2006).

### **3. Planteamiento del problema.**

Los arándanos frescos tienen una vida útil de solo 2 a 3 semanas, por lo que las tecnologías de secado juegan un papel importante en extender la estabilidad del arándano durante el almacenamiento. La investigación de mercado muestra un resultado positivo en la tendencia en el consumo de frutos secos, prediciendo un crecimiento en los próximos 15 años. Actualmente la tendencia mundial de los consumidores está enfocada a tener preferencias sobre frutos con mayor calidad, mejor apariencia, buena textura y un alto valor nutritivo por lo que conlleva a buscar alternativas que proporcionen las menores pérdidas y cambios estructurales y organolépticos en los productos deshidratados.

Una de las alternativas que promueven la conservación de las propiedades de los arándanos deshidratados, son los pretratamientos antes del secado convectivo, como el tratamiento osmótico el cual influirá en el tiempo de secado convectivo y las propiedades de calidad final, tales como color, textura y relación de rehidratación de los productos de arándanos secos. Los efectos de factores como la temperatura, la concentración de la solución osmótica, y el tiempo de contacto sobre las propiedades de calidad de los arándanos secos han sido evaluados en diversas investigaciones. Debido a esto se puede considerar al proceso de secado como un proceso complejo, lo que conducen a buscar simplificaciones de los modelos de comportamiento, basados en estudios cinéticos, permitiendo la comprensión del comportamiento de un producto sometido a condiciones de secado específicas como será el estudio de la modelación del secado convectivo del arándano con pretratamiento osmótico.

#### **4. Justificación.**

Los arándanos pueden sufrir deshidratación con éxito mediante el proceso de secado convectivo, debido principalmente a una resistencia razonable a las variaciones de calor, dentro de un determinado rango de temperaturas, siempre y cuando sean sometidos a un pretratamiento osmótico que ayude al arándano a mantener su agradable sabor y color, esta última característica reconocida como un indicador de calidad significativo. A pesar de que el secado convectivo ofrece ventajas como la reducción de peso y volumen, destinada a disminuir costos de transporte, esta es una de las tecnologías básicas en la industria alimentaria, que todavía no se ha desarrollado satisfactoriamente y optimizado del todo para frutos con características similares al arándano, ya que al someter el arándano a tiempos de secado durante largo tiempo presenta pérdida de color y texturas que son indeseadas para los consumidores.

Sin embargo, para garantizar el proceso de deshidratado por secado convectivo y debido a la complejidad de los mecanismos de secado, es necesario buscar simplificaciones de los modelos de comportamiento, basados en estudios cinéticos que permitan la comprensión del comportamiento de un producto sometido a condiciones de secado específicas. Por lo anterior con esta investigación se busca brindar un mejor enfoque sobre el conocimiento del mecanismo de secado osmótico y convectivo los cuales pueden describir los modelos matemáticos (Page, Newton) para posteriormente definir las mejores condiciones y aspectos de los productos deshidratados en un proceso industrial que permitan mejorar la textura, atributos de calidad como sabor, color y contenido de antocianinas en los arándanos que se están produciendo en el estado de Jalisco, esto debido a la reducción de la cantidad de agua a evaporar durante el secado convectivo y disminuyendo así el consumo de energía y los tiempos de secado.

## **5. Hipótesis.**

La modelación de las cinéticas de secado convectivo con pretratamiento osmótico permitirá una correlación del 95 % de nivel de confianza considerando en los parámetros del modelo, las propiedades físicas, químicas y fisicoquímicas del arándano, así como las condiciones del secado.

## **6. Objetivos.**

### **6.1 Objetivo general.**

Modelar las cinéticas del proceso de deshidratación de arándanos mediante secado convectivo con pretratamiento osmótico, maximizando la retención de antocianinas, color y textura, con el mínimo del tiempo de secado.

### **6.2 Objetivos específicos.**

- Realizar la caracterización química, física y calorimétrica del arándano fresco como características iniciales a contemplar en las ecuaciones de modelación de los mecanismos de transferencia.
- Desarrollar un pretratamiento osmótico (agente osmótico y concentración ideal) para mejorar la permeabilidad de la piel del arándano y minimizar el tiempo del secado convectivo.
- Determinar las cinéticas y velocidades de secado convectivo experimental del arándano.
- Obtener los valores de las constantes de Newton y Page del proceso de secado.
- Evaluar el efecto de la temperatura de secado sobre la retención de antocianinas, la textura del producto y el tiempo de secado.
- Aplicar los modelos de Page y Newton para la cinética de secado.
- Comparar los resultados experimentales, con los obtenidos por los modelos para su validación mediante su correlación.
- Establecer las condiciones óptimas del pretratamiento osmótico y del secado convectivo de arándanos.

## 7. Fundamento teórico.

### 7.1 Generalidades del arándano.

El arándano azul, también conocido como mirtilo o mirtilo negro, es originario de Europa, norte de Asia y algunas especies pueden ser encontradas en Canadá y Estados Unidos, cuya denominación científica es *Vaccinium myrtilus*, es la especie más frecuente de encontrar en distintos supermercados. Son pequeñas frutas carnosas de piel tersa, su pulpa es jugosa y aromática de sabor agridulce, se cultivan comercialmente y se consumen comúnmente en formas frescas y procesadas (Bernal, 2010).



**Figura 1.** Arándano Azul

### 7.2 Producción nacional de arándano.

Aunque existen varios tipos de frutillas, la producción en México se centra principalmente en cuatro especies: arándano azul, fresa, frambuesa y zarzamora, la cuales en conjunto rebasan el millón 100 mil toneladas anuales. De los cuales Jalisco aporta arándano y frambuesa con una producción de 40 mil y 130 mil toneladas, respectivamente, y Michoacán se lleva las palmas con fresa y zarzamora, con producciones de 653 mil y 287 mil toneladas, respectivamente. (SIAP, 2020). Sin embargo, el éxito y popularidad de estos frutos no siempre fue así en nuestro país, ya que en 2008 ni siquiera se producían aquí, pero la gran demanda que se generó, tanto en los mercados nacionales como en los internacionales, llevó a los productores a tomar la oportunidad para producirlas y comercializarlas. Tal ha sido el crecimiento de esta actividad, que actualmente genera 350 mil empleos y tan sólo en 2018, se exportaron 364 mil toneladas a 35 países, colocando a México como cuarto productor y tercer exportador de estos frutos (SIAP, 2020).

### 7.3 Composición nutricional del arándano.

El arándano es un fruto de bajo valor calórico, una buena fuente de potasio, hierro y calcio. Además, es rico en diferentes compuestos fenólicos con propiedades bioactivas; taninos, con propiedades antidiarreicas, antiinflamatorias y astringentes; fibra que contribuye al tránsito intestinal; glucósidos que mejoran la sensibilidad de la retina y la visión; las antocianinas que aumentan la resistencia de los vasos sanguíneos; su contenido de vitamina C y su acción antioxidante ayudan a reducir enfermedades degenerativas, cardiovasculares e incluso el cáncer (Keerthi *et al.*, 2014). El valor nutricional del arándano azul, según la estandarización de la Food and Drug Administration (FDA) de los Estados Unidos, lo cataloga como un producto muy útil en la dieta alimentaria, debido a los beneficios y nutrientes componentes del fruto, lo señala como un alimento entre bajo y libre de grasas y sodio, libre de colesterol y rico en fibras y vitamina C. Según la United States Department of Agriculture (USDA), el consumo de esta fruta aporta a la dieta alimenticia diaria lo que se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Composición nutricional del arándano azul.

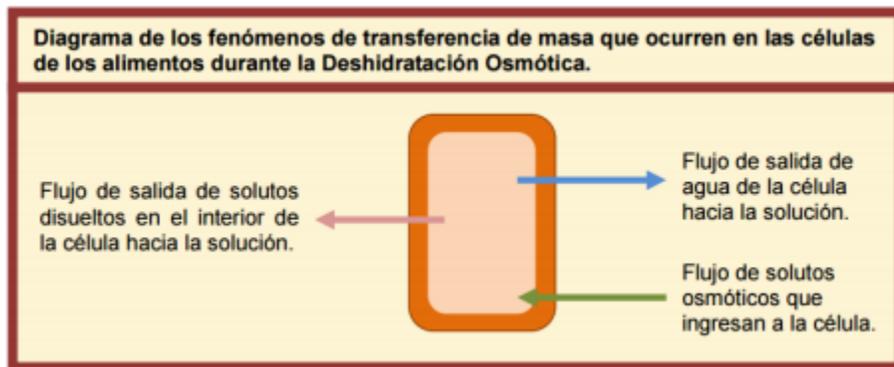
<b>Composición nutricional por cada 148 gramos</b>			
<b>Calorías</b>	84 kcal	Vitamina K	28.60 µg
<b>Proteínas</b>	1.1 g	Zinc	0.24 mg
<b>Grasas</b>	0.49 g	Cobre	0,084 mg
<b>Carbohidratos</b>	21.45 g	Manganeso	0.497 mg
<b>Fibra</b>	3.6 g	Vitamina C	14.4 mg
<b>Calcio</b>	9 mg	Tiamina	0.055 mg
<b>Hierro</b>	0.41 mg	Riboflamina	0.061 mg
<b>Magnesio</b>	9 mg	Niacina	0.619 mg
<b>Fósforo</b>	18 mg	Ácido pantoténico	0.184 mg
<b>Potasio</b>	114 mg	Vitamina B6	0.077 mg
<b>Sodio</b>	1 mg	Folacina	9.00 mcg
<b>Selenio</b>	0.10 µg	Vitamina A	80.00 IU
		Vitamina E	0.84 mg

Fuente: USDA National Nutrient Database

g = gramos mg = miligramos kcal = kilocalorías IU = Unidades internacionales µg = microgramos

#### 7.4 Deshidratación osmótica.

La deshidratación osmótica es una operación que permite eliminar el agua de un alimento al ponerlo en contacto directo con una disolución altamente concentrada (Molano & Cataño, 1996). El proceso tiene lugar debido a que el agua del producto (disolución más diluida) se difunde a través de las membranas celulares que son semipermeables, hacia el medio que le rodea (disolución más concentrada) con el fin de establecer el equilibrio. Como la membrana es solo parcialmente selectiva, también se produce, aunque en menor medida, cierta difusión del soluto de la disolución hacia el alimento (Panádes *et al.*, 1996).



**Figura 2.** Proceso de transferencia de masa en la deshidratación osmótica.

Fuente: (Parzanese, 2006)

La tendencia de la industria de alimentos es lograr productos estables con características sensoriales y nutritivas, lo más similar posible al alimento fresco, y productos mínimamente procesados. En la deshidratación osmótica la eliminación del agua se realiza sin cambio de estado, por lo que la estructura de la fruta se conserva de mejor forma, lo que está relacionado con la textura del producto, además de la incorporación a través de la solución osmótica, de componentes que pueden controlar el crecimiento fúngico y bacteriano, tales como el sorbato y el ácido cítrico (Tortoe, 2010).

#### 7.4.1 Ventajas y desventajas del uso de la deshidratación osmótica.

El proceso de deshidratación osmótica presenta las siguientes ventajas respecto a los tratamientos tradicionales de secado en la industria alimentaria.

- ✓ El daño en el color y sabor de los alimentos es mínimo ya que el proceso se puede realizar a temperaturas medias (55-65 °C) y la estructura de los alimentos se conserva más adecuadamente, debido a que la eliminación de agua se realiza sin cambio de estado (Mata, 1992).
- ✓ El sabor “fresco” de los productos como las frutas se mantiene mejor si éstas se someten a deshidratación osmótica, que a los tratamientos de secado tradicional para la elaboración de productos autoestables de humedad intermedia (Cosentino *et al.*, 1994)
- ✓ Si se considera al proceso de deshidratación osmótica como un pre tratamiento del secado por aire caliente, permitiría reducir los costos de esta última operación, debido a que la masa de agua a extraer sería de una magnitud menor (Mata, 1992).

Las desventajas que se pueden presentar durante el empleo del proceso de deshidratación osmótica son las siguientes.

- En la mayoría de los casos, es necesario una etapa posterior a la deshidratación osmótica para estabilizar completamente el producto (Ramaswamy & Nsonzi, 1998).
- Puede formarse una capa de azúcar en los productos después del secado complementario, que no favorezca la textura final de los mismos. Además, la alta retención de aceites esenciales en las frutas tratadas osmóticamente puede propiciar la oxidación de los mismos en pocas semanas, deteriorando el sabor de los mismos (Ramaswamy & Nsonzi, 1998).

#### **7.4.2 Cinética de la deshidratación osmótica.**

El proceso de deshidratación osmótica es relativamente lento, por lo que analizar el efecto de diferentes variables sobre la velocidad de los procesos de transferencia de materia es un aspecto importante. Los factores más importantes de analizar durante los procesos de deshidratación osmótica son: tamaño y geometría del alimento, temperatura, agitación, tipo de agente osmótico, concentración de la solución y tiempo de contacto, entre otras variables, con el fin de optimizar el proceso (Rastogi *et al.*, 2002). En general, se admite que un método combinado que incluye la deshidratación osmótica con pretratamiento, seguida de un secado, en un equipo secador de bandejas, es una buena alternativa desde el punto de vista de la calidad del producto final, del ahorro energético y de la economía del proceso (Karanthanos *et al.*, 1995).

#### **7.4.3 Factores que afectan la deshidratación osmótica.**

##### **7.4.3.1 Tamaño y geometría del alimento.**

El tamaño y la forma juegan un rol muy importante en el proceso de transferencia de masa debido a que determinan al área específica de contacto (Lazarides *et al.*, 1999). Al aumentar la superficie específica de la fruta sometida a tratamiento osmótico, aumenta la pérdida de agua y por lo tanto la ganancia de solutos se torna mayor.

##### **7.4.3.2 Temperatura.**

Las temperaturas en rangos de los 20 a 60 °C son comúnmente usadas en el tratamiento osmótico de frutas. En tales condiciones se aumenta la velocidad de transferencia de masa y se reduce considerablemente el tiempo de tratamiento, lo que permite obtener pérdidas de humedad más elevadas; la transferencia de agua ocurre a tasas mayores durante las dos primeras horas de tratamiento y prácticamente se anula pasado ese tiempo, en cambio la transferencia de soluto continúa aumentando regularmente, agregando de esta manera, una mayor cantidad de masa a la fruta (Mata, 1992). Mientras que temperaturas por encima de 60 °C pueden afectar las propiedades de los tejidos vegetales, favoreciendo la ganancia de solutos, pero afectando la calidad organoléptica (Salvatori *et al.*, 1998).

#### **7.4.3.3 Agitación.**

En la deshidratación osmótica el factor de la agitación resulta fundamental ya que facilita el transporte del agua hacia el exterior del alimento y/o se evita que el soluto del medio osmótico se deposite en la superficie del arándano. Esto supondrá la reducción del tiempo de contacto muestra-medio y de los costos de operación a nivel industrial (Rastogi *et al.*, 2002). Sin embargo resultados previos de otros autores son contradictorios ya que se han aportado resultados indicando que en el caso de la deshidratación osmótica de la manzana (Moreira & Sereno, 2003) y del tomate (Tonon *et al.*, 2007) se produce, en ambos casos, un aumento de la velocidad de transferencia de agua sin modificar la velocidad de adquisición de los solutos osmóticos empleados (cloruro sódico y sacarosa), mientras que otros autores (Panagiotou *et al.*, 1999) empleando manzana, banana y kiwi obtuvieron que la velocidad de transferencia de soluto osmótico (sacarosa) fue dependiente del nivel de agitación y la del agua se mostró invariable; por último, la agitación fue favorable al proceso de eliminación de agua en geles, sin alterar la adquisición de cloruro sódico y decreciendo la adquisición de sacarosa cuando se emplearon disoluciones ternarias de ambos solutos (Bohuon *et al.*, 1998)

#### **7.4.3.4 Agente osmótico.**

El agente osmótico debe tener una alta solubilidad, un alto poder depresor de la actividad de agua y características organolépticas compatibles con el alimento (Lerici *et al.*, 1995). Un soluto de mayor peso molecular favorece la pérdida de agua en desmedro de la ganancia de sólidos, mientras que un soluto de bajo peso molecular (como mono/disacáridos o NaCl), favorece la ganancia de sólidos con una consecuente menor pérdida de agua (Raoult, 1994). Los agentes más usados son el NaCl y la sacarosa, pero se puede usar cualquier soluto soluble (como dextrosa y jarabe de maíz) o solvente miscible con el agua, como etanol, entre otros. El NaCl es un excelente agente osmótico para vegetales, pero su uso está limitado por el gusto salado que imparte al alimento (Hawkes & Flink, 1978). Por otro lado, el uso de mezclas, por ejemplo, azúcar/NaCl (50/10 o 45/15 g de cada uno por 100 g de solución) aporta las ventajas de cada soluto (Lenart & Flink, 1984). Se observan interacciones de sinergismo o antagonismo. La adición de NaCl (hasta un 1%) a soluciones de azúcar aumenta la tasa de pérdida de agua y ganancia de sólidos (Lerici *et al.*, 1995). Los iones del NaCl pueden impedir la formación de una capa de azúcar alrededor del trozo de alimento, y el azúcar, a su vez, limita la entrada de iones (Lenart & Flink, 1984).

Además, la transferencia de solutos a la fruta puede ser buscada con otros fines como: la estabilización (antifúngicos, antioxidantes), interés nutricional (vitaminas, minerales), fines organolépticos (aroma, sabor, textura), entre otros (Fito et al., 1998). En la Tabla 2 se muestran algunos de los agentes osmóticos y para que alimentos son compatibles.

**Tabla 2.** Lista de agentes osmóticos y su compatibilidad con los alimentos.

Nombre	Usos	Ventajas
<b>Cloruro sódico</b>	Carnes y verduras. Solución superior 10 por ciento	Alto contenido de depresión de actividad acuosa ( $A_w$ )
<b>Sacarosa</b>	Frutas	Reduce pardeamiento y aumenta retención de volátiles
<b>Lactosa</b>	Frutas	Sustituto parcial de sacarosa
<b>Glicerol</b>	Frutas y verduras	Mejora la textura
<b>Combinación</b>	Frutas, verduras y carnes	Características sensoriales ajustadas, combina la alta capacidad de depresión de $A_w$ de las sales con alta capacidad de eliminación de agua del azúcar.

Fuente: (Parzanese, 2006)

#### 7.4.3.5 Concentración de la solución osmótica.

La transferencia de masa se favorece generalmente al utilizar soluciones muy concentradas en un rango de 50 a 70 °Brix (Ramaswamy & Nsonzi, 1998). Además, un aumento en la diferencia inicial de concentración entre el producto y la solución tiene un efecto favorable importante en la pérdida de agua y más débil o casi nulo en la ganancia de solutos, de ahí una reducción de peso creciente con la concentración del soluto (Hawkes & Flink, 1978).

#### 7.4.3.6 Tiempo del proceso.

En la medida en que aumenta el tiempo de procesamiento, se produce una mayor pérdida de agua y una mayor ganancia de sólidos, sin embargo, no conviene deshidratar más allá de una pérdida del 50% del peso pues la tasa osmótica disminuye en el tiempo. La principal pérdida de agua ocurre durante las dos primeras horas y la mayor ganancia de sólidos durante los primeros 30 minutos (Raoult, 1994). Para alcanzar el equilibrio (caracterizado por una igualdad en el potencial químico del agua en el producto y la solución) se necesitan por lo general grandes períodos de tiempo. Sin embargo, se ha encontrado que la transferencia de masa no es significativa después de 4 a 5 horas (Lenart & Flink, 1984).

El tiempo de proceso, depende de la profundidad de los cambios que se quiera lograr en la fruta: Impregnación, pretratamiento osmótico, deshidratación osmótica, producción de fruta confitada, entre otros (Fito *et al.*, 1998).

## **7.5 Secado.**

El secado es un proceso en el que el agua se elimina para detener o aminorar el crecimiento de microorganismos perjudiciales, así como de ciertas reacciones químicas. La eliminación de agua de los alimentos se consigue mayoritariamente utilizando aire caliente (excepto para algunas operaciones tales como liofilización y deshidratación osmótica) que elimina el agua de la superficie del producto y la lleva hacia fuera. El proceso de secado de alimentos no sólo afecta al contenido en agua del alimento, sino también a otras de sus características físicas y químicas. Además de la conservación, el secado que convierte el alimento en un producto seco, se utiliza para reducir el coste o dificultad en el embalaje, manejo, almacenamiento y transporte, pues el secado reduce el peso y a veces el volumen.

### **7.5.1 Teoría del secado.**

La transmisión de calor tiene lugar en el interior del alimento y está relacionada con el gradiente de temperatura existente entre su superficie y la correspondiente a la superficie del agua en el interior del alimento. Si se suministra al agua suficiente energía para su evaporación, el vapor producido se transportará desde la superficie de la capa húmeda en el interior del producto hacia la superficie de éste. El gradiente de presión de vapor existente entre la superficie del agua en el interior y en el aire exterior al alimento, es el que provoca la difusión del vapor de agua hacia la superficie de éste (Keqing, 2004).

Durante el secado se producen cuatro fenómenos de transporte:

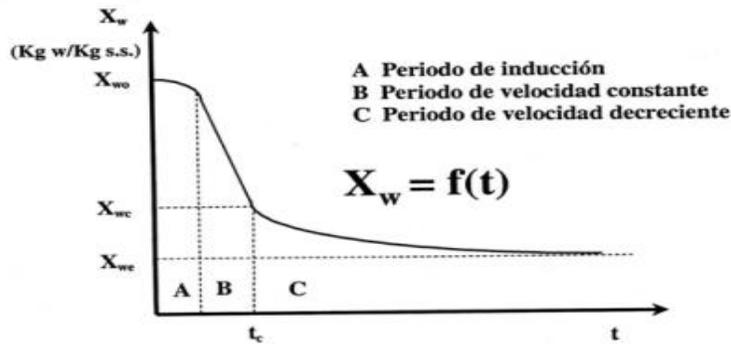
1. Transmisión de calor desde el aire hasta la superficie del producto, pudiéndose realizar por conducción, convección o radiación.
2. Transmisión de calor desde la interfase sólido-aire hasta el interior del sólido. Sólo puede tener lugar por conducción en régimen no estacionario (las condiciones en cualquier punto varían con el tiempo).

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

4. Transferencia de vapor desde la interfase sólido –aire hacia el seno del aire.

### 7.5.2 Períodos de secado.

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



**Figura 3.** Curva de secado típica.

Fuente: (Keqing, 2004)

La figura 3 muestra una curva de secado típica de materiales muy húmedos en la que se observan tres zonas características: Zona A, en la cual la pendiente de la curva aumenta ligeramente con el tiempo y se denomina periodo de inducción. Zona B, cuya pendiente constante y Zona C, en la cual la pendiente disminuye con el tiempo.

### **7.5.3 Secado convectivo.**

El secado convectivo con aire caliente es una de las tecnologías de secado más común utilizadas en el procesamiento de arándanos. Sin embargo, el secado convectivo con aire caliente puede causar degradación térmica indeseable de la calidad del producto, particularmente textura, color y valor nutritivo, lo que podría reducir el valor de mercado de los arándanos secos (Ramaswamy & Nsonzi, 1998).

Varios factores pueden influir en el secado convectivo con aire caliente de los alimentos, por ejemplo: velocidad y temperatura del aire, difusión del agua a través del material, densidad de carga, espesor y forma del producto a secar, por lo que la eliminación repentina del agua disminuye el valor nutricional y sensorial de los alimentos (Lenart & Flink, 1984), y permite la presencia de fenómenos tales como endurecimiento y contracción. La temperatura es el factor más importante en el secado convectivo con aire caliente ya que determina la calidad del producto final, esto debido a que altas temperaturas dañan la calidad, lo que resulta en grietas en el interior del producto poroso, debido al secado no uniforme del núcleo y la superficie del producto.

### **7.5.4 Modelado de la cinética de secado.**

Para la optimización del proceso de secado en términos de calidad del producto y coste de la operación, se hace necesaria la predicción de la velocidad de secado con la ayuda de modelos adecuados. Para poder describir la complejidad del secado convectivo con aire caliente y ayudar en su optimización, se pueden emplear varios modelos matemáticos a través de las ecuaciones de difusión basados en la segunda ley de Fick. Esto tiene como objetivo determinar el coeficiente efectivo de la difusividad del agua, que está directamente relacionada con las condiciones de secado, como la velocidad y la temperatura del aire de secado dentro de los secadores (Babalís & Belessiotis, 2004). Además, también existen ecuaciones empíricas frecuentemente usadas para modelar las cinéticas de secado, es decir su comportamiento, como; Newton, Page, Henderson-Pabis, Page modificado, Logarítmica, Thomson, Verma, Wang, entre otras más (Apkinar *et al.*, 2003), permitiendo la comprensión del comportamiento de un producto sometido a condiciones de secado específicas.

En la Tabla 3 se muestran los modelos matemáticos más utilizados para describir el comportamiento cinético del secado.

**Tabla 3.** Modelos matemáticos más utilizados para describir el comportamiento cinético del secado.

Modelo	Ecuación
Newton	$MR = \text{Exp}(-kt)$
Page	$MR = \text{Exp}(-kt^n)$
Page Modificado	$MR = \text{Exp} [ (-kt)^n ]$
Henderson y Pabis	$MR = a[\text{Exp}(-kt)]$
Logarítmico	$MR = a[\text{Exp}(-kt)]+c$
Thomson	$MR = 1 + at + bt^2 \quad t = a \ln(MR) + b[\ln(MR)]^2$
Difusión	$MR = a [\text{Exp}(-kt)] + (1-a)[\text{Exp}(-kbt)]$

- En estos modelos, la variable dependiente “MR” representa la relación de humedad.

$$MR = M/M_0$$

Donde:

M : Humedad del producto en un tiempo determinado.

M<sub>0</sub> : Humedad en tiempo inicial.

t : Tiempo de secado.

k, n, a, b, c, g y h : Parámetros o constantes de los modelos.

## **8. Fundamentos de las técnicas de análisis.**

### **8.1 Determinación de humedad.**

Los métodos de secado son los más comunes para valorar el contenido de humedad en los alimentos; se calcula el porcentaje en agua por la pérdida en peso debida a su eliminación por calentamiento bajo condiciones normalizadas. Aunque estos métodos dan buenos resultados, es preciso tener presente que:

- a) Algunas veces es difícil eliminar por secado toda la humedad presente.
- b) A cierta temperatura el alimento es susceptible de descomponerse, con lo que se volatilizan otras sustancias además de agua (Pearson, 1993).

#### **8.1.1 Método por secado de estufa.**

La determinación de secado en estufa se basa en la pérdida de peso de la muestra por evaporación del agua. Para esto se requiere que la muestra sea térmicamente estable y que no contenga una cantidad significativa de compuestos volátiles. El principio operacional del método de determinación de humedad utilizando estufa y balanza analítica, incluye la preparación de la muestra, pesado, secado, enfriado y pesado nuevamente de la muestra (Nollet, 1996).

### **8.2 Determinación de grados Brix.**

Las frutas y hortalizas en su composición química contienen azúcares, a diferencia que las frutas tienen un sabor más dulce. El análisis para poder determinar los grados brix también determina el índice de refracción y el contenido de sólidos solubles, el índice de refracción mide la refracción de la luz a través de una solución y se emplea para determinar la calidad debido a que la variación del índice indica la adulteración de los alimentos, entre más sólidos solubles tenga una solución, mayor será el índice de refracción. El índice de refracción se mide con un instrumento llamado refractómetro, el contenido de sólidos solubles se determina gracias al índice de refracción para determinar la cantidad o concentración de azúcares en los productos y se expresa y mide en grados brix a una temperatura de 20 °C (Norma Oficial de Método de Prueba para la Determinación de "Grados Brix", 1965). El grado brix equivale al porcentaje de peso de la sacarosa contenida en una solución acuosa. Se puede decir que el índice de refracción, el contenido de sólidos solubles y los grados Brix miden la concentración de azúcar presente en los alimentos que consumimos día con día.

### **8.3 Determinación de actividad de agua.**

La actividad del agua ( $A_w$ ) se define formalmente como la presión parcial de vapor de agua en equilibrio con el alimento dividido por la presión parcial de vapor de agua en condiciones estándar, (presión de vapor parcial del agua pura a la misma temperatura). Es un parámetro relacionado con el contenido de agua de un alimento, concretamente con el agua disponible o no ligada al soluto. Es fundamental en la vida útil de los alimentos, ya que determina el agua disponible para el crecimiento de microorganismos y la actividad química y enzimática durante la conservación del alimento, que van a afectar a su calidad (Cardona, 2020). Esto es debido a que los microorganismos necesitan cierta cantidad de agua libre para vivir, y las reacciones se dan en medio acuoso. Toma valores entre 0 y 1, y cuanto más se aleja de 1 (valor para el agua pura), más difícil es la actividad biológica, y por lo tanto la conservación es más fácil y la vida útil más larga.

### **8.4 Determinación de antocianinas totales.**

Las antocianinas sufren una transformación estructural reversible con un cambio de pH manifestado por la notable diferencia en la longitud de onda de la máxima absorbancia. La forma del color predomina a pH 1.0 y la forma incolora a pH 4.5. El método diferencial de pH está basado en esta reacción y permite medir con exactitud y rápidamente el total de antocianinas incluso en la presencia de pigmentos degradados polimerizados y otros componentes que interfieran (Giusti & Wrolstad, 2001).

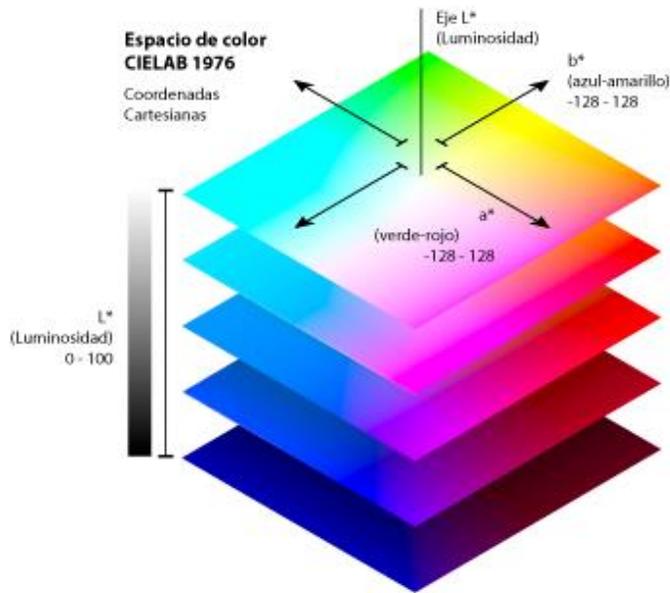
### **8.5 Determinación de color.**

El color es una cualidad organoléptica de los alimentos y se aprecia por medio del sentido físico de la vista. También suele ser considerado un factor psicológico de apreciación y un criterio para elegir un producto alimenticio; incluso en los productos de origen vegetal se relaciona con la posibilidad de elegir la maduración y su idoneidad. Sin embargo, no siempre resulta válida la correlación entre color y calidad, por el uso o tal vez el abuso de aditivos, colorantes, que pueden enmascarar esta apreciación (Bello, 2008).

#### **8.5.1 Sistema CIE de determinación de color.**

La CIE ha desarrollado los sistemas más importantes y más utilizados en la actualidad para la descripción y medición del color, los cuales se basan en la utilización de fuentes de iluminación y observadores estándares (GIESE, 1995).

Los sistemas CIE usan tres coordenadas para ubicar un color en un espacio de color. Estos espacios de color incluyen (1) CIE XYZ, (2) CIE  $L^*a^*b^*$  y (3) CIE  $L^*C^*h^\circ$ . Los valores de color X Y Z, CIE triestímulo se obtienen multiplicando los valores para el iluminante, la reflectancia o transmisión del objeto y las funciones del observador patrón. El producto entonces se suma para la longitud de onda en el espectro visible y esto resulta en los valores triestímulos X Y Z. Existen varios métodos para calcular los coeficientes tricromáticos del color de una muestra, sometida a un iluminante determinado, a partir de la luz que refleja. Uno de ellos consiste en la utilización de un colorímetro provisto de tres filtros determinados, con los cuales se realizan tres medidas sucesivas de la luz reflejada calculándose luego a partir de éstas X, Y, Z (Caivano, 1995).



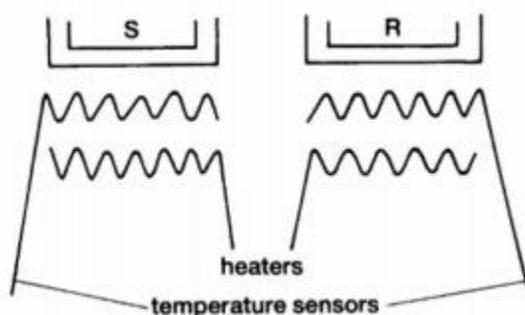
**Figura 4.** Gráfica de color CIELAB.

## 8.6 Determinación de temperatura de transición vítrea.

La transición vítrea es el paso de un estado termodinámico metaestable, caracterizado por una alta agregación y orden molecular, a otro estado termodinámico conocido como estado gomoso, donde existe mayor movilidad de las moléculas y por ende menor estabilidad. Conocer la temperatura a la cual sucede el cambio del estado vítreo al estado desordenado supone una información muy importante a la hora de predecir y controlar las condiciones de almacenamiento óptimas que requiere un producto alimenticio, con miras a preservar sus características y propiedades sensoriales y alargar su vida útil.

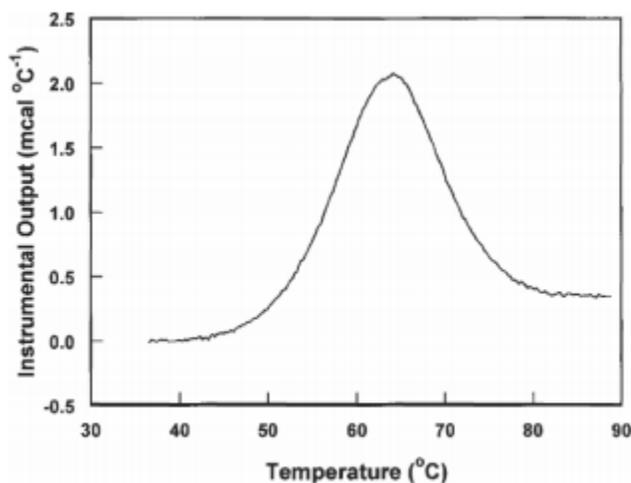
### 8.6.1 Calorimetría diferencial de barrido.

La calorimetría diferencial de barrido (DSC) consiste en calentar una muestra (S en la Figura 5) así como un compuesto de referencia (R) de tal manera que la temperatura es en todo momento igual en R y en S. Esto se consigue midiendo las temperaturas con sensores y ajustando las potencias de calentamiento. Se aplican velocidades de calentamiento (en grados/s) uniformes a la muestra y a la referencia para realizar el barrido de temperaturas. La representación de la potencia de calentamiento frente a la temperatura es lo que se denomina diagrama DSC o, dado que se realiza frente a la temperatura, termograma (Brown, 2001).



**Figura 5.** Principio de la DSC. Una muestra (S) y una referencia (R) se calientan de manera controlada por los sensores de temperatura.

Un ejemplo de termograma se encuentra en la Figura 6. La DSC detecta transiciones que implican intercambio de energía, sea almacenamiento de calor (procesos endotérmicos) o liberación de calor (procesos exotérmicos). Ejemplos de estos procesos son las transiciones de fase (sólido-sólido o sólido-líquido, por ejemplo), procesos de cristalización, oxidaciones irreversibles, deshidrataciones, entre otros. Esta técnica también resulta muy adecuada para comprobar la pureza de un material, examinando la forma y la anchura del pico obtenido (Brown, 2001).



**Figura 6.** Termograma DSC. Muestra del péptido ubiquitina 5 g/l en búfer de glicina-HCl a pH 2.45.

### 8.7 Determinación del perfil de textura.

La textura es una mezcla de los elementos relativos a la estructura del alimento y la manera como se relaciona con los sentidos fisiológicos. Según la norma ISO 5492 se define como textura el conjunto de atributos mecánicos y de estructura (geométricas y de superficie) de un producto perceptible por los mecanorreceptores, los receptores táctiles y en algunos casos, por los auditivos y visuales. La textura de los alimentos no tiene una definición exacta, precisa y satisfactoria, sin embargo, se puede decir que posee las siguientes características: no está directamente relacionada con el olor o el gusto, no se trata de una propiedad sino de un conjunto de propiedades, está relacionada con la mecánica y la reología, y finalmente se trata de un grupo de propiedades físicas que derivan de la estructura del alimento (Szczeniak, 1963).

## 9. Materiales y métodos.

### 9.1 Materiales.

#### 9.1.1 Materia prima.

Como materia prima se utilizó arándanos (*Vaccinium corymbosum L.*), de tamaño de 7 a 14 mm de diámetro, donados por la empresa Agricultura Alto Impacto S.A de C.V, los cuales fueron cultivados en Amatitlán Jalisco y recolectados en el periodo de octubre del 2019 a febrero del 2020. Los arándanos se limpiaron y fueron almacenados en una cámara de congelación a una temperatura de 20 °C bajo cero antes de su uso.

### 9.2 Métodos.

#### Análisis estadístico.

Para la deshidratación osmótica y el secado convectivo del arándano se empleó un diseño completamente al azar 2x2x3x3x3, con un total 108 tratamientos por duplicado cuyas variables y niveles se muestran en la Tabla 4. Para la determinación de la temperatura de transición vítrea y el perfil de textura, se eligieron los mejores tratamientos.

**Tabla 4.** Diseño experimental utilizado en la deshidratación osmótica y secado convectivo del arándano.

Variable	Parámetros		
	Agente osmótico	Sacarosa	Inulina
Inductor (concentración de 5 %)	NaCl	Eritritol	
Concentración de agente osmótico	30 °Brix	40 °Brix	50 °Brix
Temperatura de deshidratación osmótica	45 °C	55 °C	65 °C
Temperaturas de secado convectivo	60 °C	70 °C	80 °C

#### 9.2.1 Deshidratación osmótica del arándano.

Los arándanos fueron sometidos a deshidratación osmótica, en un equipo deshidratador, usando los agentes osmóticos, concentraciones, inductores y temperaturas que se muestran en la tabla 4, con una relación en peso (solución hipertónica-arándanos) de 4:1 y empleando agitación manual intermitente cada 5 minutos, con una duración de la deshidratación osmótica de 5 horas.

Después de la deshidratación osmótica, los arándanos fueron retirados del jarabe para su lavado con agua destilada y escurrido por un aproximado de 5 minutos con la finalidad de eliminar el jarabe que se encontraba impregnado en la superficie del producto y se almacenaron en refrigeración durante 12 horas a 5 °C para su posterior secado convectivo.

### **9.2.2 Determinación de cinéticas de humedad.**

Para la determinación de las cinéticas de humedad de la deshidratación osmótica, una vez iniciado el proceso, se fueron tomando muestras de arándano desde el tiempo 0 y cada media hora durante las 5 horas del proceso, lo anterior se realizó por triplicado tomando los arándanos de distintos recipientes, cada uno con su solución osmótica y arándanos. La humedad se determinó mediante el método gravimétrico (AOAC, 1990) propuesto para alimentos ricos en azúcares, utilizando la ecuación 1 para obtener la humedad en porcentaje y posteriormente se hizo la conversión de los resultados de humedad a base seca.

$$\text{Ecuación 1. Humedad \%} = \frac{M1-M2}{M1-Mo} * 100$$

Donde:

Mo: Peso del crisol (g).

M1: Peso del crisol y de la muestra antes del secado (g).

M2: Peso del crisol y de la muestra después del secado (g).

### **9.2.3 Determinación de cinéticas de grados Brix.**

Para las cinéticas de grados Brix se tomaron alícuotas de la solución osmótica (1 ml) y se determinaron los sólidos solubles mediante el método refractométrico (AOAC, 1990). La concentración de sólidos solubles totales aparentes se determinó usando un refractómetro digital (Atago, modelo DTM-1, Japón), previamente calibrado con agua destilada. La determinación se realizó por triplicado. Con estos datos se construyeron las curvas como grados Brix aparentes en la solución en función del tiempo de deshidratación osmótica.

### 9.3 Secado convectivo.

El secado convectivo de los arándanos sin pretratamiento osmótico y el de los arándanos deshidratados osmóticamente, se realizó distribuyendo lotes de 250 gramos en las distintas charolas de un secador de bandejas escala piloto (POLINOX, USA), soportadas en una balanza electrónica granataria con sensibilidad de 0.1 gramos. Los arándanos fueron secados a tres temperaturas (60, 70 y 80 °C) hasta obtener el peso constante.

#### 9.3.1 Determinación de cinéticas del secado convectivo del arándano.

Para la determinación de las cinéticas del secado convectivo, se pesaron las charolas con muestras de arándano desde el tiempo 0 y cada hora, registrando la pérdida de peso durante un tiempo de 10 horas, lo anterior se realizó por duplicado. Con estos datos se construyeron las curvas de secado como humedad base seca en función del tiempo de secado.

#### 9.3.2 Modelación de las curvas de secado experimental del arándano.

Las cinéticas de secado se modelaron mediante dos ecuaciones empíricas ampliamente utilizadas para describir el comportamiento cinético del secado experimental de arándano. En la Tabla 5 se muestran las ecuaciones de los modelos seleccionados (Modelo de Newton y Modelo de Page). En estos modelos, la variable dependiente es MR la cual representa la relación de humedad ( $MR = M/M_0$ )

**Tabla 5.** Modelos utilizados para modelar las cinéticas experimentales del secado convectivo de arándano.

Modelo matemático	Ecuación
Newton	$MR = Exp(-kt)$
Page	$MR = Exp(-kt^n)$

En esta investigación, se asumió que: M es la humedad del producto en un tiempo determinado,  $M_0$  la humedad en tiempo inicial, t es el tiempo de secado (en horas), k es el parámetro o constante de la pérdida de humedad y n un parámetro empírico (adimensional). La contracción y la resistencia externa se consideraron que eran insignificantes.

#### 9.3.3 Determinación de las cinéticas de actividad de agua.

Para la determinación de las cinéticas de actividad de agua durante el secado convectivo, se tomaron arándanos de las distintas charolas con muestras de arándano desde el tiempo 0 y cada hora, registrando la actividad de agua de los arándanos durante un tiempo de 10 horas.

La medición de la actividad de agua se llevó a cabo con un medidor de actividad de agua (AQUALAB®, modelo LEER, EE.UU), previamente calibrado. Cada determinación se hizo por duplicado y se construyeron las curvas de actividad de agua como valor de actividad de agua del arándano en función del tiempo de secado.

#### **9.4 Determinación de antocianinas totales.**

La concentración de antocianinas se determinó por el método de pH-diferencial. La antocianina experimenta una transformación reversible con los cambios de pH manifestado por un llamativo cambio en la absorbancia. La diferencia en la absorbancia a la longitud de onda de máxima absorción es proporcional al contenido de antocianinas. Las mediciones se realizaron con un espectrofotómetro, contra un blanco de agua destilada, la concentración de antocianinas obtenida en mg cianidina-3-glucósido/ 100 ml de la muestra se expresó en mg/g.

##### **Preparación del Buffer pH 4.5**

Se mezclan 32.812 g de acetato de sodio en 980 ml de agua bidestilada para obtener una solución 0.4 M, se agita hasta que se disuelva completamente, posteriormente se agrega HCl concentrado hasta llegar a un pH 4.5 se afora en un matraz volumétrico de 1.0 L.

##### **Preparación del Buffer pH 1.0**

Se prepara una solución 0.025 N, que consiste en disolver 1.86 g de KCl en 980 mL de agua bidestilada, se agita hasta disolver completamente, una vez disuelto se agrega HCl concentrado hasta llegar a un pH 1.0, se transfiere a un matraz volumétrico y se afora a 1.0 L. Este buffer, se almacena en refrigeración, siendo estable hasta por cuatro meses se recomienda verificar siempre el pH antes de su uso.

##### **Análisis de la Muestra.**

La concentración de antocianina monomérica se determinó por el método de pH-diferencial (Giusti, 2001). Se toma 1 ml de la muestra mediante una pipeta volumétrica y se agrega a un matraz volumétrico de 10 ml, se afora con el buffer correspondiente.

En este caso, el factor de dilución (1/15) fue el adecuado para obtener una absorbancia menor de 1.0. Es importante señalar que la muestra no debe de exceder el 20% del volumen del buffer. Una vez preparadas las soluciones se dejan reposar durante 15 min para que se estabilicen, posteriormente transcurrido el tiempo, se lee a absorbancias de 520 y 700 nm en

un espectrómetro de luz ultravioleta-visible, las absorbancias fueron determinadas en un espectrofotómetro (Ocean optic) usando como blanco agua destilada, de preferencia las lecturas se deben de realizar 15 min después, (Skrede, 2000). La concentración de las antocianinas se expresó como mg cianidina-3-glucósido/100 mL de extracto de acuerdo con la expresión siguiente (Lee, 2005).

Para obtener la absorbancia total se determina con la siguiente ecuación:

**Ecuación 2. Absorbancia Total**

$$\text{Absorbancia Total} = (\text{Abs } 520 - \text{Abs } 700)_{\text{pH } 1.0} - (\text{Abs } 520 - \text{Abs } 700)_{\text{pH } 4.5}$$

Para obtener antocianinas totales se determinó con la siguiente ecuación:

**Ecuación 3. Antocianinas Totales**

$$AT = \left( \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \frac{\text{ABS} * \text{PM} * \text{FD} * 1000}{(e)}$$

**Donde:**

AT= Antocianinas Totales

A = Absorbancia

e = Coeficiente de extinción 26900

FD = Factor de dilución = 15

PM = Peso molecular de la antocianina como cianidina-3-glucosido = 449.2 (Skrede, 2000).

1000= Factor de conversión de gramos a miligramos

**9.5 Determinación de color.**

El color de los arándanos en fresco, deshidratados osmóticamente y secados convectivamente se determinó utilizando un colorímetro (X-rite®, Estados Unidos). El instrumento fue calibrado con estándares en blanco y negro. La diferencia de color se obtuvo teniendo en cuenta los parámetros "a", "b" y "L" de las muestras. El valor **L** representa la luminosidad del color en un rango de 0 (negro) a 100 (blanco); **a** representa la escala de rojo (positivo) al

verde (negativo) y **b** la escala de amarillo (positivo) al azul (negativo). El color se expresa en función de la luminosidad (L) y el croma (C). Los resultados de color se expresaron como Ángulo de tono Hue “h” calculado como  $[\tan^{-1}(b^*/a^*)]$  y también  $\Delta E$  que indicó la diferencia de color total entre dos muestras, siendo calculado como  $(\Delta E^* = ((L^*_1 - L^*_2)^2 + (a^*_1 - a^*_2)^2 + (b^*_1 - b^*_2)^2)^{1/2})$ . Las mediciones de color se hicieron sobre 1 arándano, en cápsulas de plástico blanco. Las lecturas se realizaron por triplicado.

### **9.6 Determinación de la temperatura de transición vítrea.**

La temperatura de transición vítrea (Tg) se determinó usando un calorímetro diferencial de barrido (Linseis STA PT 1600). La calibración del equipo fue realizada con estándares de indio y zinc. Las mediciones se llevaron a cabo dentro del intervalo de temperatura de 20 °C a 200 °C. Las muestras (4-5 mg), se pesaron en una balanza analítica (RADWAG Mod. AS 220/C/2), se colocaron en capsulas de aluminio y se sellaron utilizando una prensa manual (SCHMIDT Presses), posteriormente se colocaron en el DSC. Los experimentos se realizaron a una velocidad de calentamiento de 10 °C/min. Las temperaturas de transición vítrea Tg se determinaron a partir de la segunda corrida de calentamiento para excluir los efectos de la historia térmica. Una capsula vacía fue utilizado como referencia. Los datos fueron analizados con el software DSC (Linseis TA). Tg una transición de segundo orden fue reconocido como un cambio de los flujos de calor en los termogramas de DSC, como lo define Ross (1995). El punto medio del cambio en la pendiente fue identificado como la Tg, las mediciones se realizaron por duplicado y los resultados se promediaron.

### **9.7 Determinación del perfil de textura.**

La textura de los arándanos deshidratados se determinó mediante un análisis de perfil de textura (TPA) utilizando un texturómetro (CT3 Texture Analyzer de Brookfield) con una fuerza de 10 N, velocidad de ensayo de 1 mm/s y perforación de 1.5 mm. Las determinaciones se realizaron por triplicado.

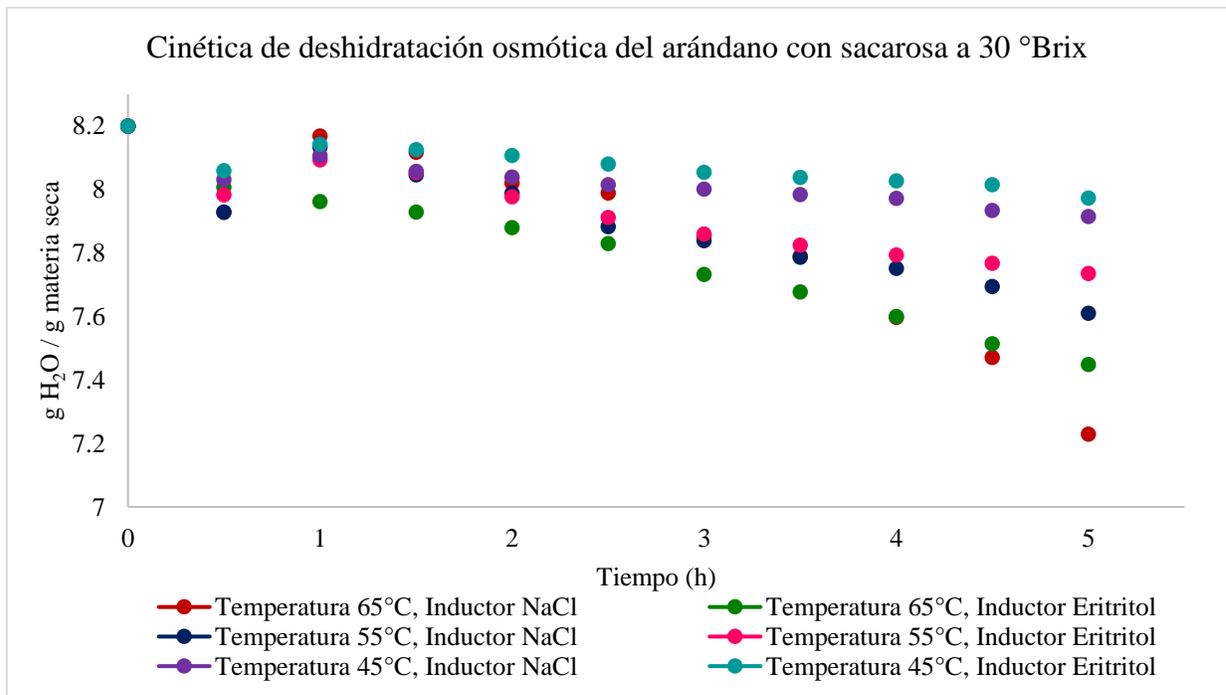
### **9.8 Análisis estadístico.**

Los datos fueron analizados utilizando el software Minitab versión 2017. Se calcularon los promedios y las desviaciones estándar. Se realizaron los análisis de varianza (ANOVA) y comparación de medias con la prueba de Tukey con un nivel de significancia del 95 % ( $p < 0.05$ ).

## 10. Resultados y discusión.

### 10.1 Cinéticas de la deshidratación osmótica del arándano.

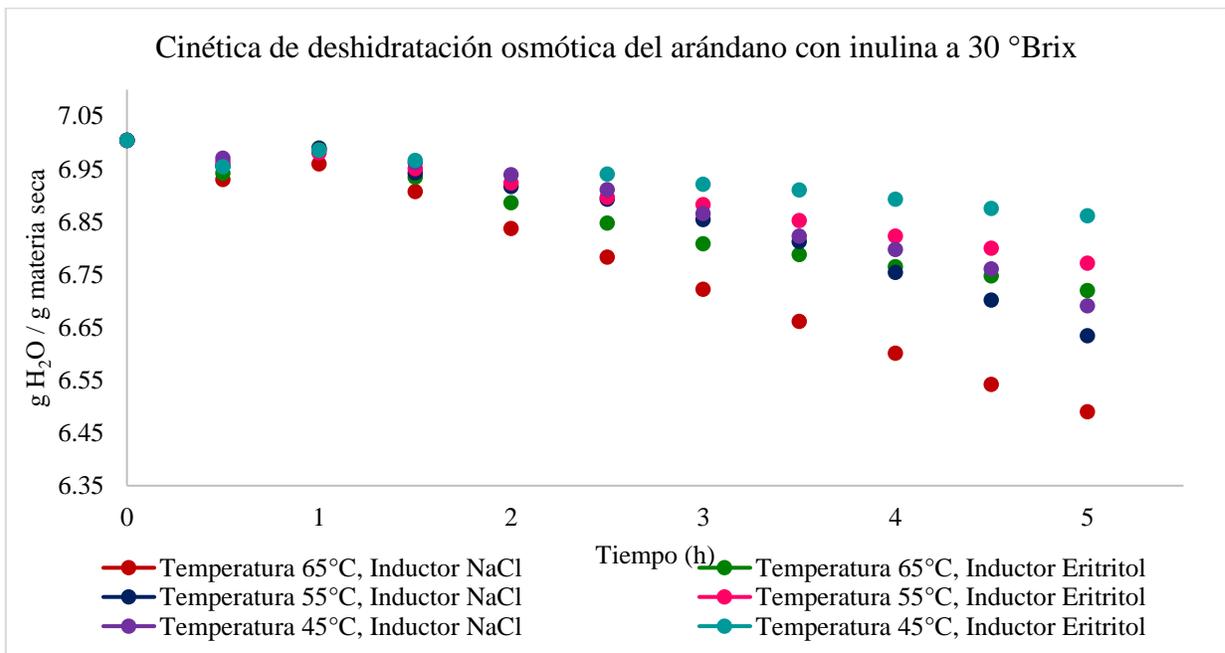
La cinética de humedad a través del tiempo para los distintos tratamientos efectuados con una concentración de sacarosa de 30 °Brix y sus respectivas temperaturas e inductores utilizados (Figura 7) nos muestra que los arándanos al comenzar la deshidratación osmótica presentaron un contenido de humedad en base seca de 8.20 g H<sub>2</sub>O / g materia seca y la mayor pérdida de humedad se logró obtener en los tratamientos en los cuales se emplearon las temperaturas más altas. Para el tratamiento a 65 °C con NaCl se obtuvo un valor de 7.23 g H<sub>2</sub>O / g materia seca, le sigue el tratamiento a 65 °C con eritritol que presentó un contenido de humedad de 7.45 g H<sub>2</sub>O / g materia seca, el tratamiento a 55 °C con NaCl cuyo valor fue de 7.61 g H<sub>2</sub>O / g materia seca y 7.74 g H<sub>2</sub>O / g materia seca para el tratamiento a 55 °C con eritritol. Los tratamientos que menor contenido de humedad perdieron fueron los de 45 °C con NaCl terminando con un valor de 7.91 g H<sub>2</sub>O / g materia seca y 7.97 g H<sub>2</sub>O / g materia seca para el tratamiento a 45 °C con eritritol. Se puede observar que la mayor pérdida de humedad alcanzada fue relativamente ligera (1 g H<sub>2</sub>O / g materia seca) debido a que la concentración de la solución fue baja respecto a otros trabajos.



**Figura 7.** Cinéticas de deshidratación osmótica del arándano utilizando sacarosa con concentración de 30 °Brix.

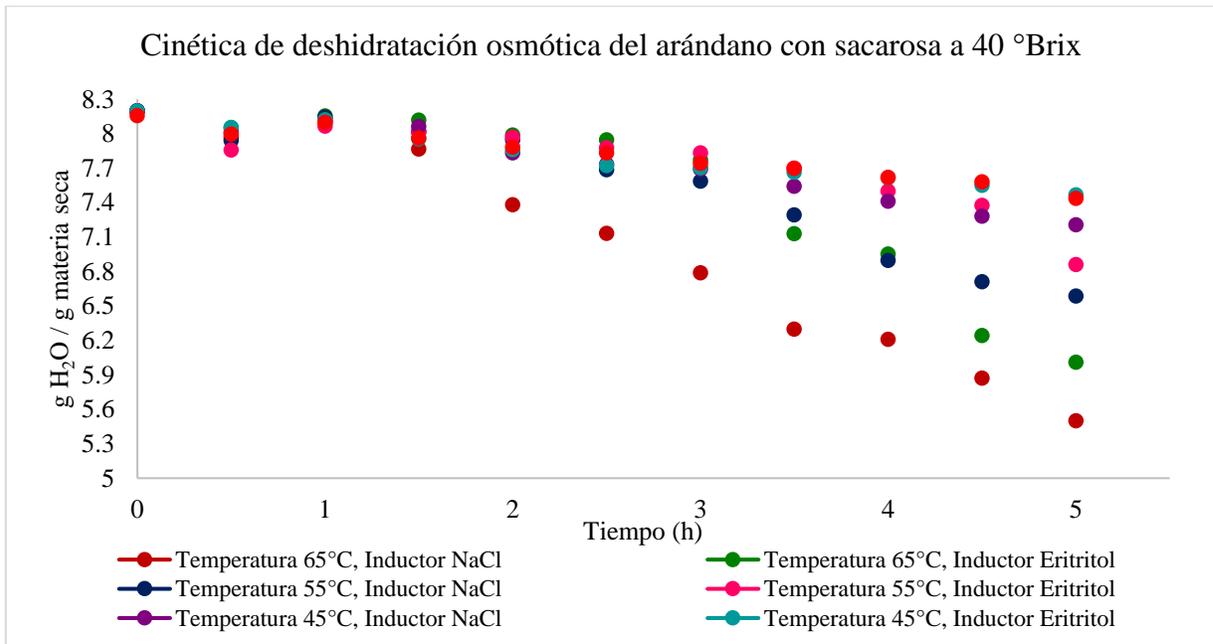
En la Figura 8 se puede ver el comportamiento de la humedad a través del tiempo para los distintos tratamientos efectuados con una concentración de inulina a 30 °Brix. Los arándanos al comenzar la deshidratación osmótica presentaron un contenido de humedad en base seca de 7.0 g H<sub>2</sub>O / g materia seca, en esta ocasión la mayor pérdida de humedad se logró obtener con los tratamientos en los que se empleó NaCl como inductor. El tratamiento a 65 °C con NaCl alcanzó un valor de 6.49 g H<sub>2</sub>O / g materia seca, le sigue el tratamiento a 55 °C con NaCl con 6.63 g H<sub>2</sub>O / g materia seca y finalmente el tratamiento a 45 °C con NaCl cuyo valor fue de 6.69 g H<sub>2</sub>O / g materia seca. Mientras que el tratamiento a 65 °C con eritritol alcanzó un valor de 6.72 g H<sub>2</sub>O / g materia seca, el tratamiento a 55 °C con eritritol fue de 6.77 g H<sub>2</sub>O / g materia seca y el tratamiento a 45 °C con eritritol un valor de 6.86 g H<sub>2</sub>O / g materia seca.

Se puede observar que la pérdida de humedad para todos los tratamientos de inulina a 30 °Brix fue ligeramente menor comparados con los de sacarosa a 30 °Brix, esto puede deberse a las condiciones experimentales (agitación) o la variabilidad de la materia prima. (Fito *et al.*, 1998) señala que tales resultados se pueden dar cuando la variabilidad de la materia prima (fruta) es marcada.



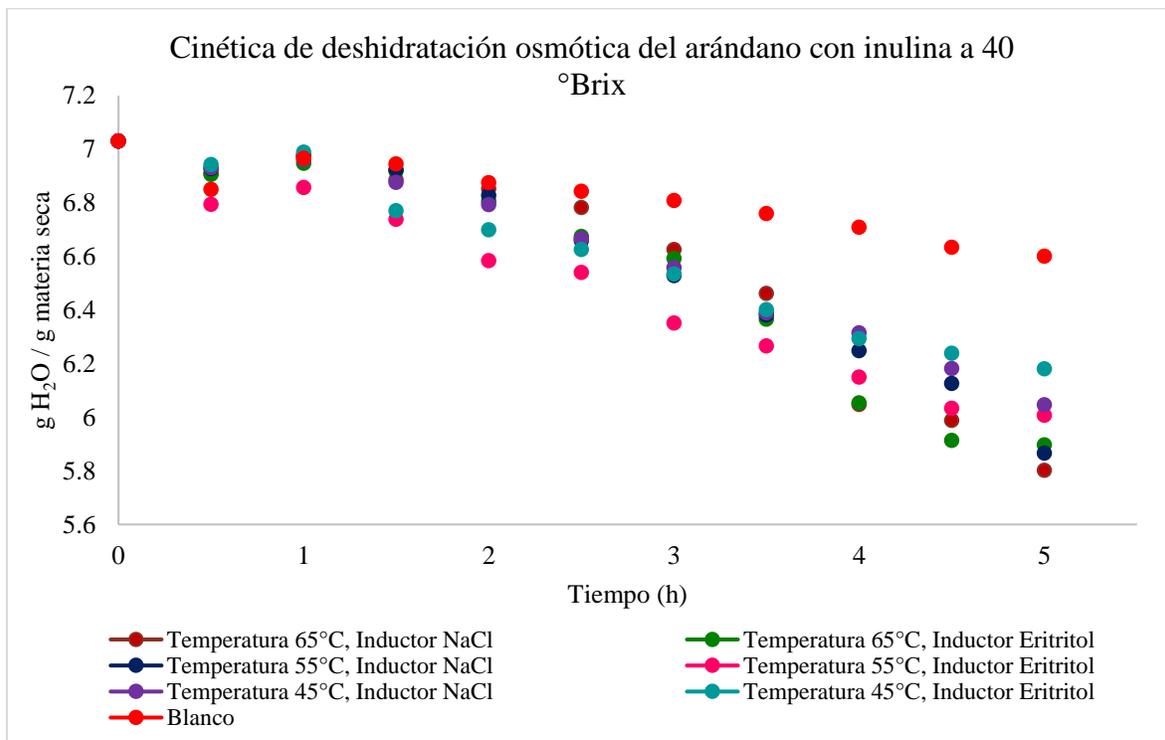
**Figura 8.** Cinéticas de deshidratación osmótica del arándano utilizando inulina con concentración de 30 °Brix.

En la Figura 9 se muestra el comportamiento de la humedad a través del tiempo para los distintos tratamientos efectuados con una concentración de sacarosa a 40 °Brix. Los arándanos al comenzar la deshidratación osmótica presentaron un contenido de humedad en base seca de 8.20 g H<sub>2</sub>O / g materia seca, y la mayor pérdida de humedad se logró obtener en los tratamientos a temperaturas más altas sin importar el tipo de inductor. Para el tratamiento a 65 °C con NaCl se obtuvo un valor de 5.50 g H<sub>2</sub>O / g materia seca, le sigue el tratamiento a 65 °C con eritritol que presentó un contenido de humedad de 6.01 g H<sub>2</sub>O / g materia seca, el tratamiento a 55 °C con NaCl cuyo valor fue de 6.58 g H<sub>2</sub>O / g materia seca y 6.86 g H<sub>2</sub>O / g materia seca para el tratamiento a 55 °C con eritritol. Los tratamientos a 45 °C con NaCl alcanzaron valor de 7.20 g H<sub>2</sub>O / g materia seca y 7.47 g H<sub>2</sub>O / g materia seca para el tratamiento a 45 °C con eritritol, además se añadió un tratamiento extra (55°C sin inductor) el cuál alcanzo un valor de 7.43 g H<sub>2</sub>O / g materia seca, esto con el fin de corroborar que los inductores tenían un efecto en la remoción de humedad del arándano. Se puede observar que a diferencia de los tratamientos con sacarosa e inulina a 30 °Brix la pérdida de humedad fue mayor debido a que la concentración aumenta y por tanto mayor es la diferencia de presión osmótica entre ésta y el producto, lo cual aumentará la velocidad de salida de agua del producto.



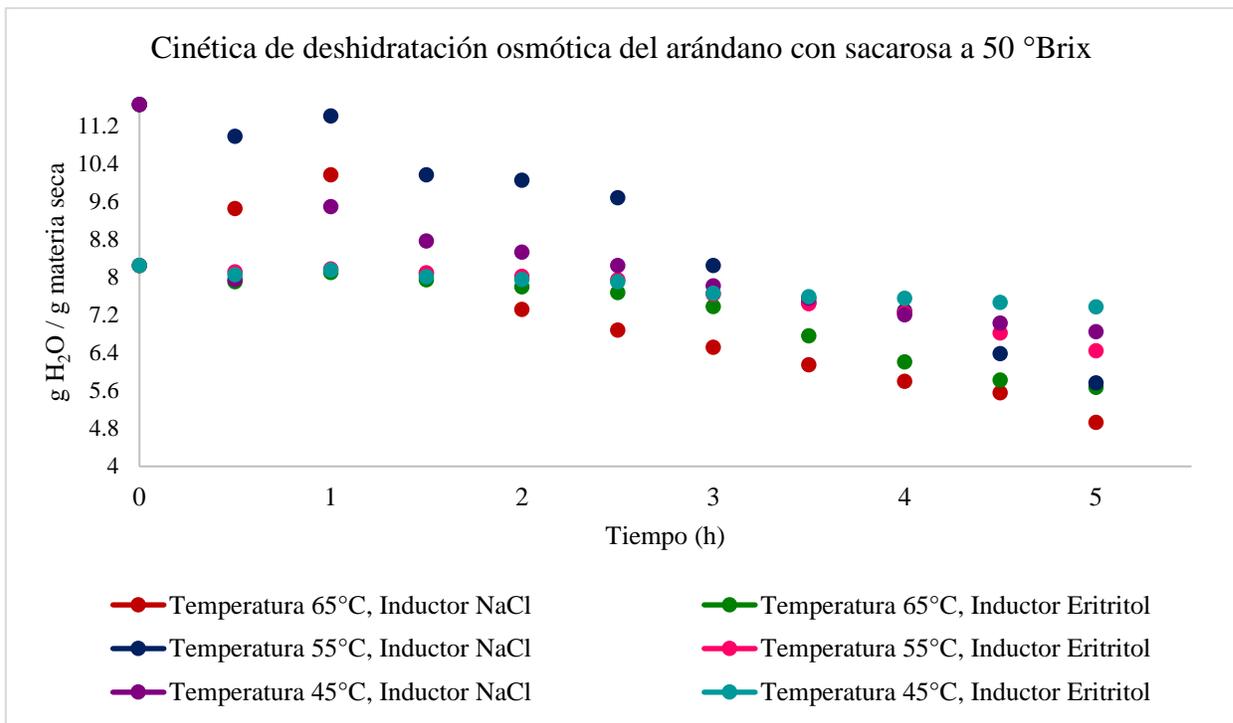
**Figura 9.** Cinéticas de deshidratación osmótica del arándano utilizando sacarosa con concentración de 40 °Brix.

En la Figura 10 se puede ver el comportamiento de la humedad a través del tiempo para los distintos tratamientos efectuados con una concentración de inulina a 40 °Brix. Los arándanos al comenzar la deshidratación osmótica presentaron un contenido de humedad en base seca de 7.04 g H<sub>2</sub>O / g materia seca, en esta ocasión la mayor pérdida de humedad se logró obtener con los tratamientos en los que se empleó NaCl como inductor y las temperaturas más altas. El tratamiento a 65 °C con NaCl alcanzó un valor de 5.80 g H<sub>2</sub>O / g materia seca, le sigue el tratamiento a 55 °C con NaCl con 5.87 g H<sub>2</sub>O / g materia seca, le siguen los tratamientos a 65 °C con eritritol cuyo valor fue de 5.90 g H<sub>2</sub>O / g materia seca y a 55 °C con eritritol con un valor de 6.01 g H<sub>2</sub>O / g materia seca. El tratamiento a 45 °C con NaCl alcanzó un valor de 6.01 g H<sub>2</sub>O / g materia seca, el tratamiento a 45 °C con eritritol fue de 6.18 g H<sub>2</sub>O / g materia seca. Al igual que con los tratamientos de sacarosa a 40 °Brix, se añadió un tratamiento extra (55°C sin inductor) el cuál alcanzó un valor de 6.60 g H<sub>2</sub>O / g materia seca, corroborando nuevamente que los inductores tenían un efecto en la remoción de humedad del arándano y que el aumentar la concentración de inulina de 30 a 40 °Brix nos permitió remover mayor cantidad de humedad.



**Figura 10.** Cinéticas de deshidratación osmótica del arándano utilizando inulina con concentración de 40 °Brix.

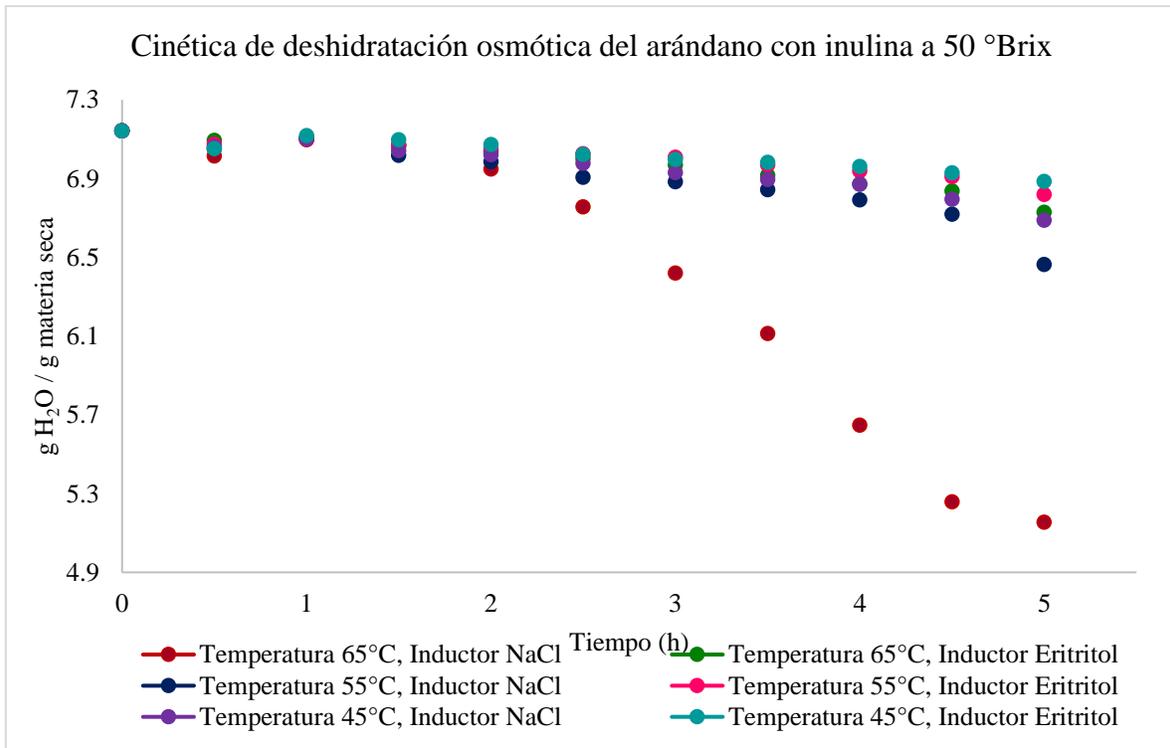
En la Figura 11 se observa el comportamiento de la humedad a través del tiempo para los distintos tratamientos efectuados con una concentración de sacarosa a 50 °Brix. Los arándanos al comenzar la deshidratación osmótica presentaron un contenido de humedad en base seca de 11.65 g H<sub>2</sub>O / g materia seca, y la mayor pérdida de humedad se logró obtener en los tratamientos a temperaturas más altas y con NaCl como inductor. El tratamiento a 65 °C con NaCl alcanzo un valor de 4.93 g H<sub>2</sub>O / g materia seca, le sigue el tratamiento a 55 °C con NaCl con 5.77 g H<sub>2</sub>O / g materia seca, y el tratamiento a 45 °C con NaCl cuyo valor fue de 6.85 g H<sub>2</sub>O / g materia seca. Los tratamientos con eritritol comenzaron con un contenido de humedad de 8.25 g H<sub>2</sub>O / g materia seca, y de nueva cuenta el tratamiento a 65 °C con eritritol fue el de mayor remoción de humedad con un valor de 5.67 g H<sub>2</sub>O / g materia seca, a 55 °C con eritritol 6.47 g H<sub>2</sub>O / g materia seca y para el tratamiento a 45 °C con eritritol 7.37 g H<sub>2</sub>O / g materia seca. Se puede observar que la diferencia en la pérdida de humedad respecto a los tratamientos con sacarosa e inulina a 30 y 40 °Brix fue mayor, de nueva cuenta se debe a que la concentración aumento y por tanto la velocidad de salida de agua del producto.



**Figura 11.** Cinéticas de deshidratación osmótica del arándano utilizando sacarosa con concentración de 50 °Brix.

En la Figura 12 se muestra el comportamiento de la humedad a través del tiempo para los distintos tratamientos efectuados con una concentración de inulina a 50 °Brix. Los arándanos al comenzar la deshidratación osmótica presentaron un contenido de humedad en base seca de 7.14 g H<sub>2</sub>O / g materia seca, en esta ocasión la mayor pérdida de humedad también se logró obtener con los tratamientos en los que se empleó NaCl como inductor y las temperaturas más altas. El tratamiento a 65 °C con NaCl alcanzó un valor de 5.16 g H<sub>2</sub>O / g materia seca, le sigue el tratamiento a 55 °C con NaCl con 6.46 g H<sub>2</sub>O / g materia seca y para el tratamiento a 45 °C con NaCl un valor de 6.69 g H<sub>2</sub>O / g materia seca. Le siguen los tratamientos a 65 °C con eritritol cuyo valor fue de 6.73 g H<sub>2</sub>O / g materia seca y a 55 °C con eritritol con un valor de 6.82 g H<sub>2</sub>O / g materia seca y el tratamiento a 45 °C con eritritol con un valor de 6.89 g H<sub>2</sub>O / g materia seca.

De igual manera el aumento de la concentración respecto a los tratamientos con inulina a 30 y 40 °Brix permitió que la remoción de humedad del arándano fuera mayor, notándose una disminución visiblemente mayor para el tratamiento a 65 °C con NaCl respecto a los demás tratamientos.



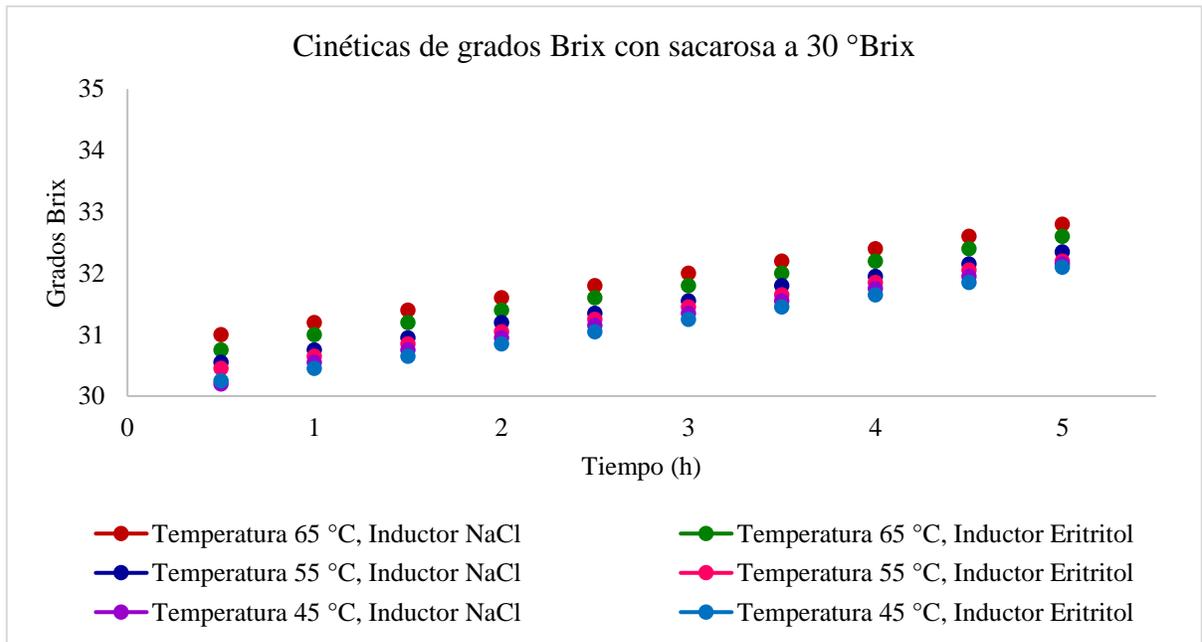
**Figura 12.** Cinéticas de deshidratación osmótica del arándano utilizando inulina con concentración de 50 °Brix.

Una vez analizados los comportamientos de las cinéticas de humedad durante la deshidratación osmótica del arándano (Figuras 7-12) se puede observar que tanto la concentración como la temperatura tienen una relación directa para poder obtener mayores cantidades de remoción de humedad (Lenart & Flink, 1984) y los comportamientos de las cinéticas de deshidratación osmótica son similares a los obtenidos por (Gamboa & Silva, 2018) donde de 5 kg agua / kg sólido seco de agua iniciales, lograron extraer 1.9842 kg agua / kg sólido seco de agua en un tiempo máximo de ensayo de 5 horas bajo estas condiciones (temperatura de 56 °C y concentración de solución osmótica de 65 °Brix). En su trabajo (Haro, 2004), reporta que el factor de la temperatura ejerce un efecto significativo sobre la pérdida de humedad en el fruto, logrando extraer de 4.50 kg agua / kg sólido seco de agua hasta 2.39 kg agua / kg sólido seco, bajo condiciones de 55 °C de temperatura y a una concentración del medio osmótico de 58.25 °Brix. Por su parte (Soto & Guablocho, 2016) también reportan que la mayor pérdida de peso alcanzada (31.76 %) la obtuvieron con miel de abeja a una concentración de 60 °Brix y 50 °C de temperatura y la mayor pérdida de agua (39.79 %) utilizando miel de abeja a una concentración de 70 °Brix y temperatura de la solución osmótica de 50 °C. Podemos notar que las curvas no coinciden en todas las Figuras con el punto inicial de partida, esto debido a que los análisis se realizaron en forma paulatina en donde el fruto almacenado en refrigeración sufría pérdidas y ganancias de humedad, además se observa un comportamiento zigzagueante durante la primera hora de proceso debido a que los arándanos se están adaptando a las condiciones de la deshidratación, esto debido a la salida inicial de agua de la superficie del fruto hacia el exterior, hasta que logra estabilizarse y el fruto empieza seriamente a perder humedad, lo que concuerda con los estudios realizados en arándanos por (Ramaswamy & Nsonzi, 1998). Es importante resaltar que el uso de inductores nos ayudó a obtener mejores resultados, especialmente la mezcla de sacarosa y NaCl, esto coincide con los trabajos reportados por (Guzman & Segura, 1991) que evaluaron la potenciación de medios de deshidratación con el agregado de sal a concentraciones inferiores al 10 % m/m para evitar sabores dulces indeseables en el alimento; y lo señalado por (Baroni & Hubinger, 2000) que nos indica que la mezcla de sacarosa y NaCl repercute en la fuerza impulsora aumentando la transferencia de masa al bajar la actividad de agua de la solución y por tanto permite mejorar la pérdida de agua sin afectar tanto el sabor.

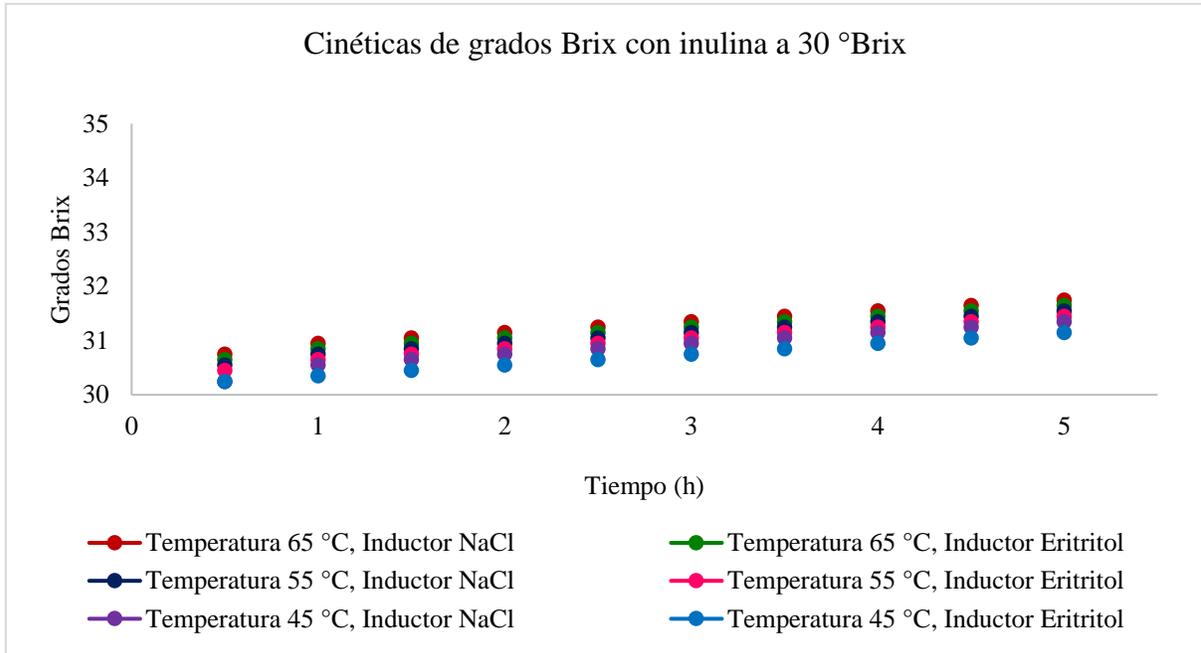
## 10.2 Cinéticas de grados Brix.

El comportamiento de las cinéticas de grados Brix ( $^{\circ}\text{Bx}$ ) durante la deshidratación osmótica del arándano, fue similar para los dos agentes sin importar la concentración utilizada (30, 40 y 50  $^{\circ}\text{Brix}$ ) esto se puede observar en las Figuras (13-18). En un inicio se esperaba que los grados Brix de la solución disminuyeran, esto provocado por la remoción de humedad del arándano, sin embargo podemos notar que en todas las curvas se dio un aumento, el cual fue ligeramente mayor conforme aumentaba la temperatura, alcanzando un aumento promedio de entre 2 y 3 grados Brix en las soluciones osmóticas de sacarosa y entre 1 y 2 grados Brix para las soluciones osmóticas de inulina, sin que los inductores tuvieran un aumento o decremento considerable en alguno de los casos.

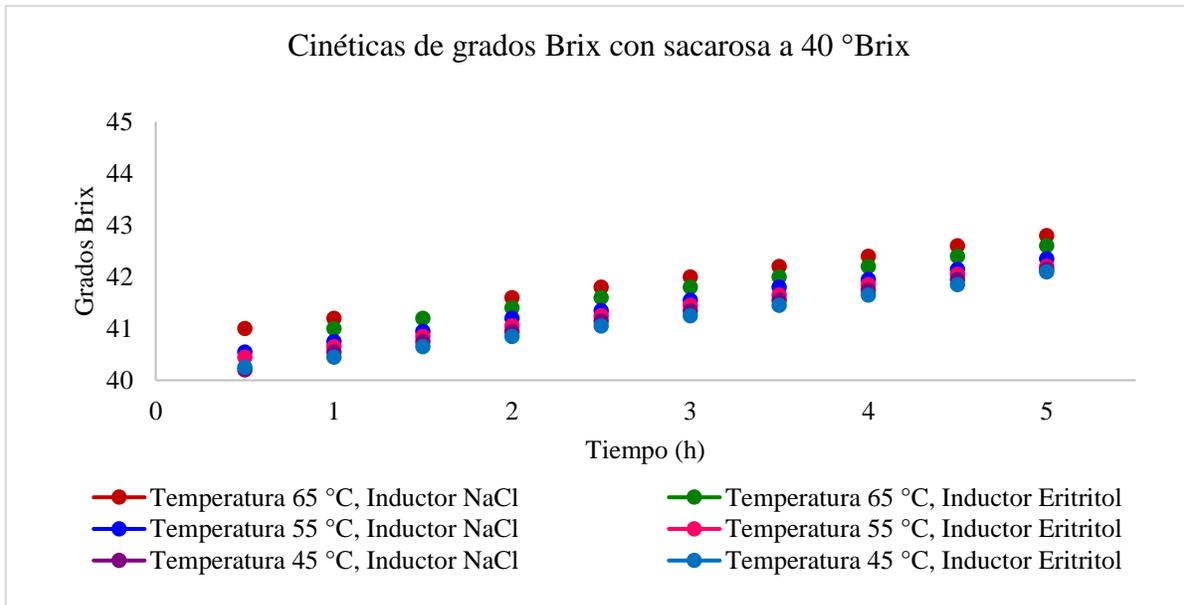
Los cambios ocurridos en las soluciones osmóticas durante la deshidratación del arándano puede deberse a la relación de solución-fruta utilizada (1-4), ya que diversos autores recomiendan que para asegurar una fuerza impulsora constante durante todo el proceso, se requiere una relación, peso/peso, solución-fruta (1-10) para minimizar los efectos en los grados brix de la solución, otra razón a la que se le puede atribuir es a las condiciones experimentales (equipo deshidratador) ya que la agitación se realizó manualmente y con la solución expuesta al ambiente, se pudo dar la concentración por evaporación de la solución.



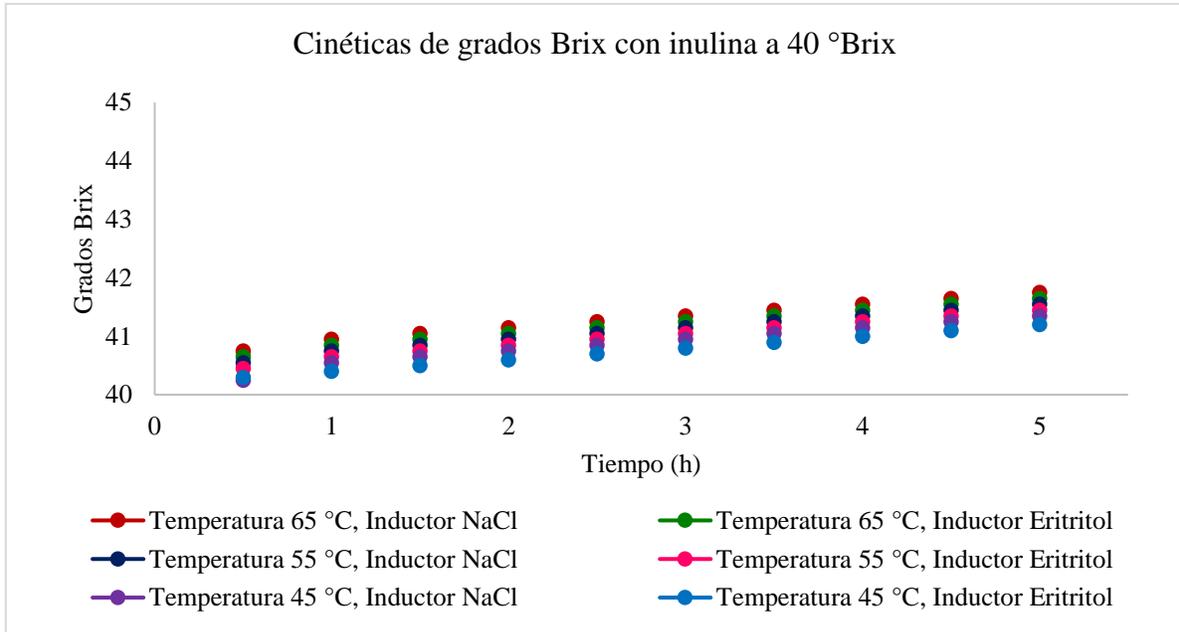
**Figura 13.** Cinéticas de grados Brix de la solución de sacarosa a 30  $^{\circ}\text{Brix}$ .



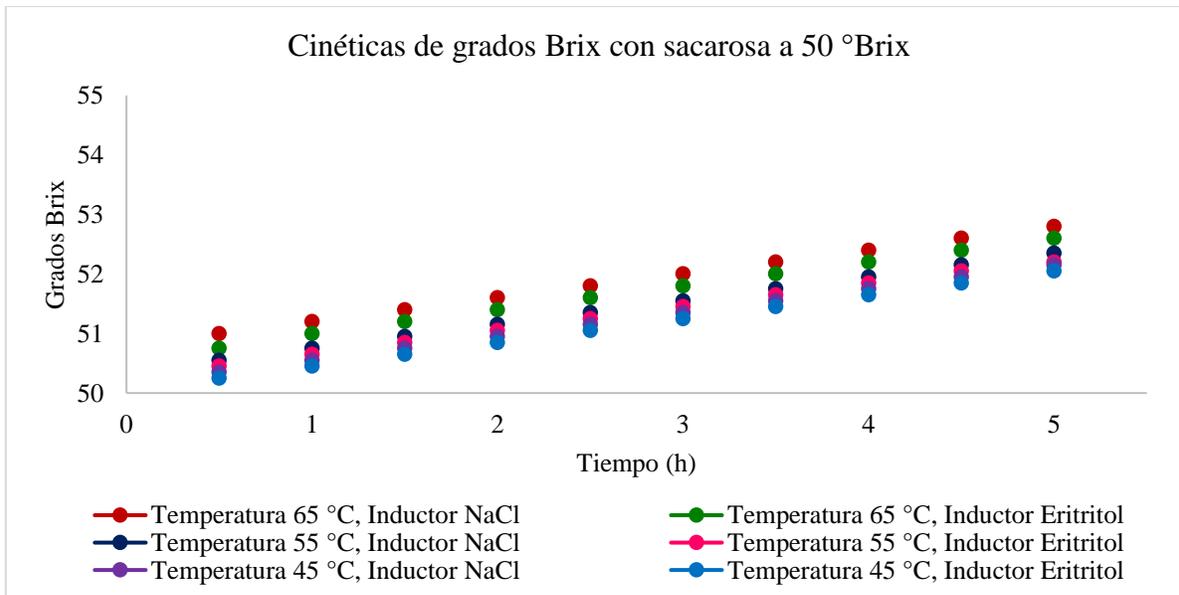
**Figura 14.** Cinéticas de grados Brix de la solución de inulina a 30 °Brix.



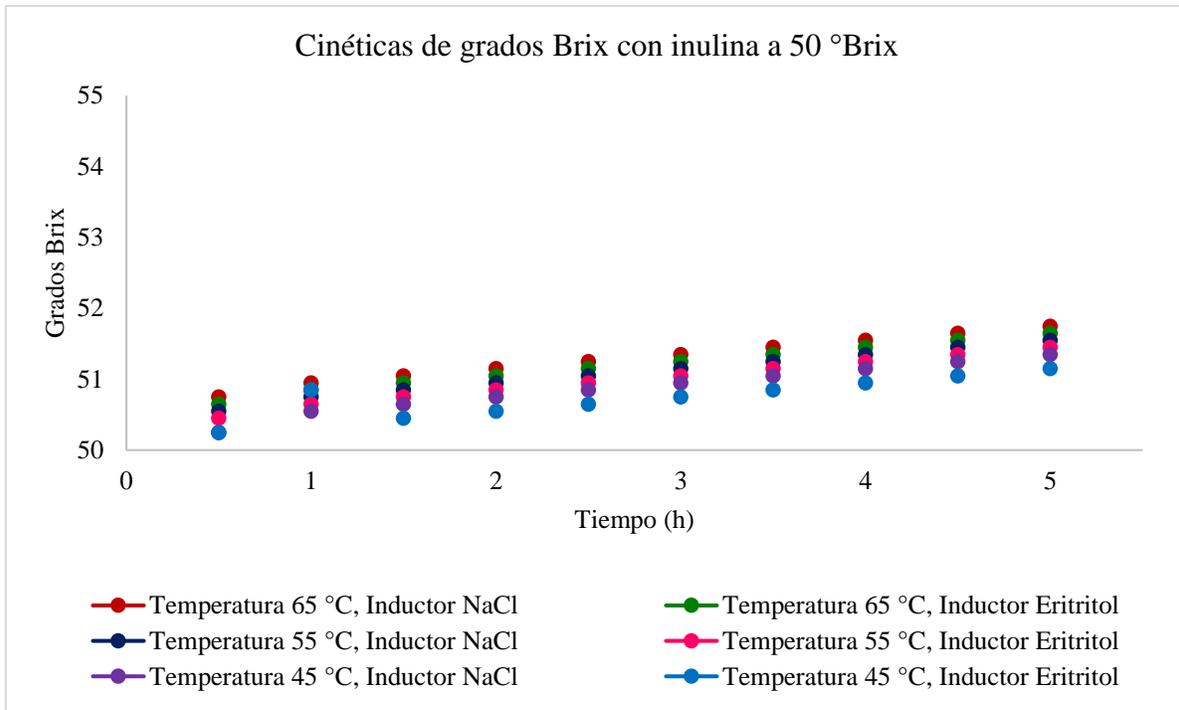
**Figura 15.** Cinéticas de grados Brix de la solución de sacarosa a 40 °Brix.



**Figura 16.** Cinéticas de grados Brix de la solución de inulina a 40 °Brix.



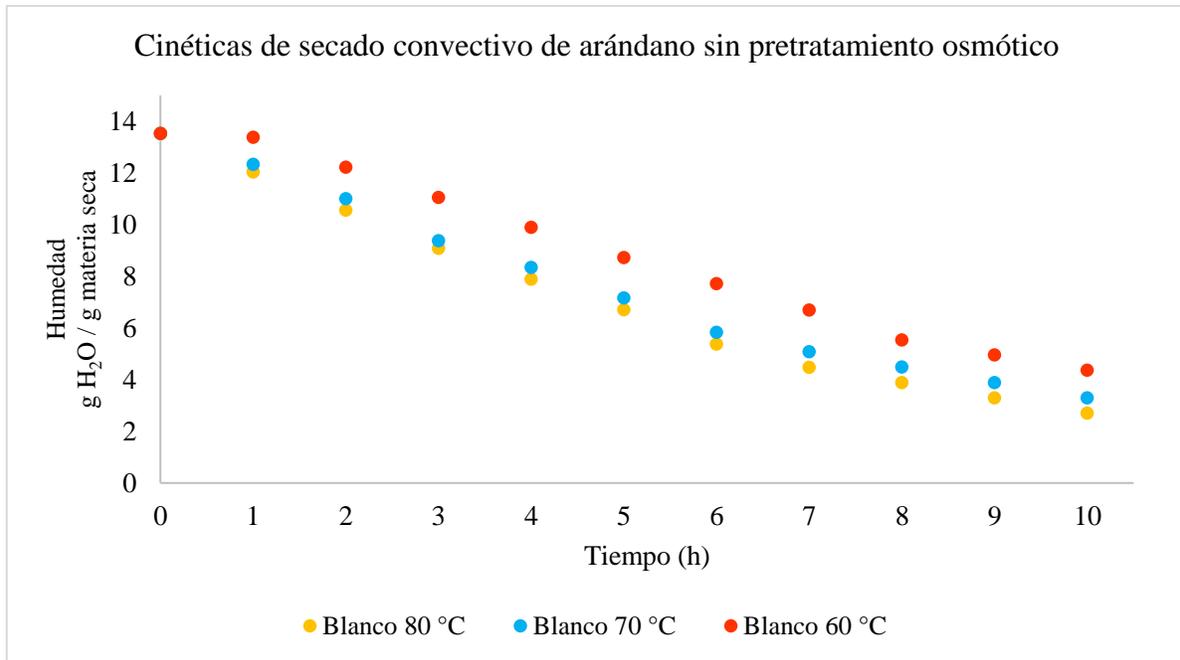
**Figura 17.** Cinéticas de grados Brix de la solución de sacarosa a 50 °Brix.



**Figura 18.** Cinéticas de grados Brix de la solución de inulina a 50 °Brix.

### 10.3 Cinéticas de secado convectivo de arándano.

El contenido de humedad inicial de los arándanos sin pretratamiento osmótico fue de 13.53 g H<sub>2</sub>O / g de materia seca y durante las 10 horas de proceso de la cinética lograron alcanzar valores de 2.71 g H<sub>2</sub>O / g de materia seca para el tratamiento secado convectivamente a 80 °C, para el tratamiento a 70 °C fue de 3.30 g H<sub>2</sub>O / g de materia seca, y para el tratamiento a 60 °C de 4.38 g H<sub>2</sub>O / g de materia seca. Se puede observar (Figura 19) que la temperatura influye en las tasas de extracción de humedad, y que el comportamiento de las cinéticas es claramente exponencial, los tratamientos evaluados a 70 y 80 °C son muy similares, y se puede notar que, a mayor temperatura, la remoción de humedad del arándano es mayor y por tanto el tiempo de secado se reduce respecto a los tratamientos evaluados a temperaturas de 60 °C. Las muestras de control necesitaron de 16 horas para poder alcanzar el peso constante.



**Figura 19.** Cinéticas de secado convectivo de arándano sin pretratamiento osmótico a temperaturas de 60, 70 y 80 °C.

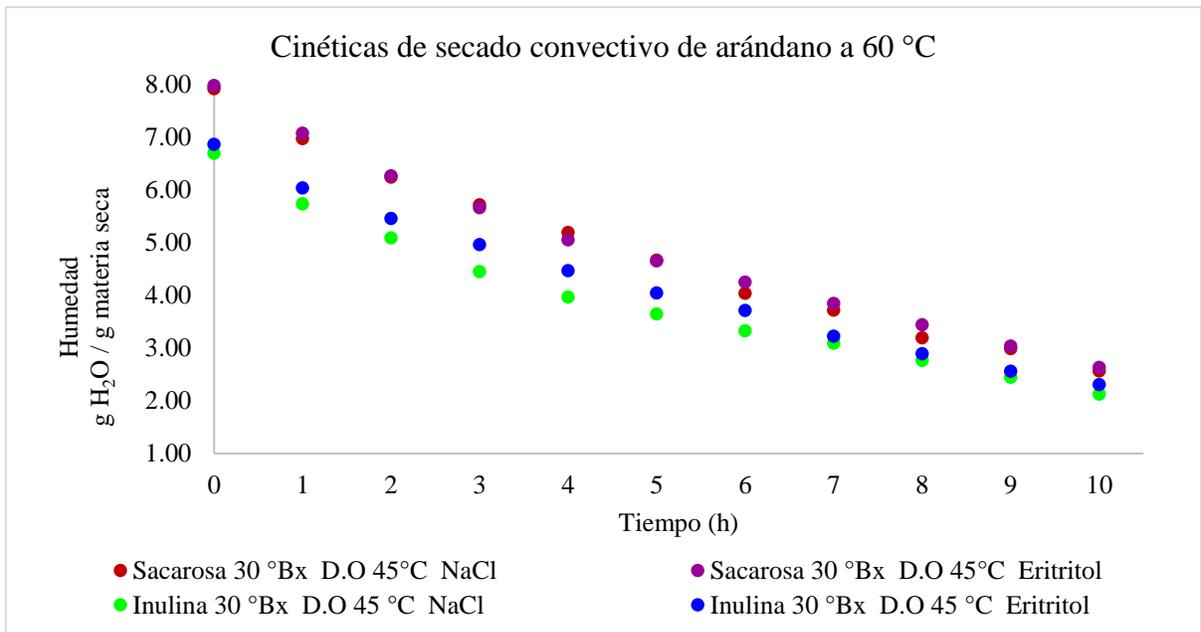
Las Figuras 20, 21 y 22 nos muestran el comportamiento de las curvas de secado experimentales a 60 °C durante las 10 horas del proceso obtenidas para los distintos pretratamientos evaluados con sacarosa e inulina a 30 °Brix y a temperaturas previas de deshidratación osmótica de 45, 55 y 65 °C respectivamente.

En la Figura 20 se pueden apreciar las 4 curvas para la fruta pretratada osmóticamente a 45 °C y secada convectivamente a 60 °C. La tendencia exponencial es clara para los 4 casos y no se observa, gráficamente, diferencias muy marcadas según el agente osmótico utilizado, en el pretratamiento, siendo ligeramente mejores los tratamientos de inulina - NaCl alcanzando valores de 2.12 g H<sub>2</sub>O / g de materia seca y para el tratamiento de inulina – eritritol de 2.31 g H<sub>2</sub>O / g de materia seca.

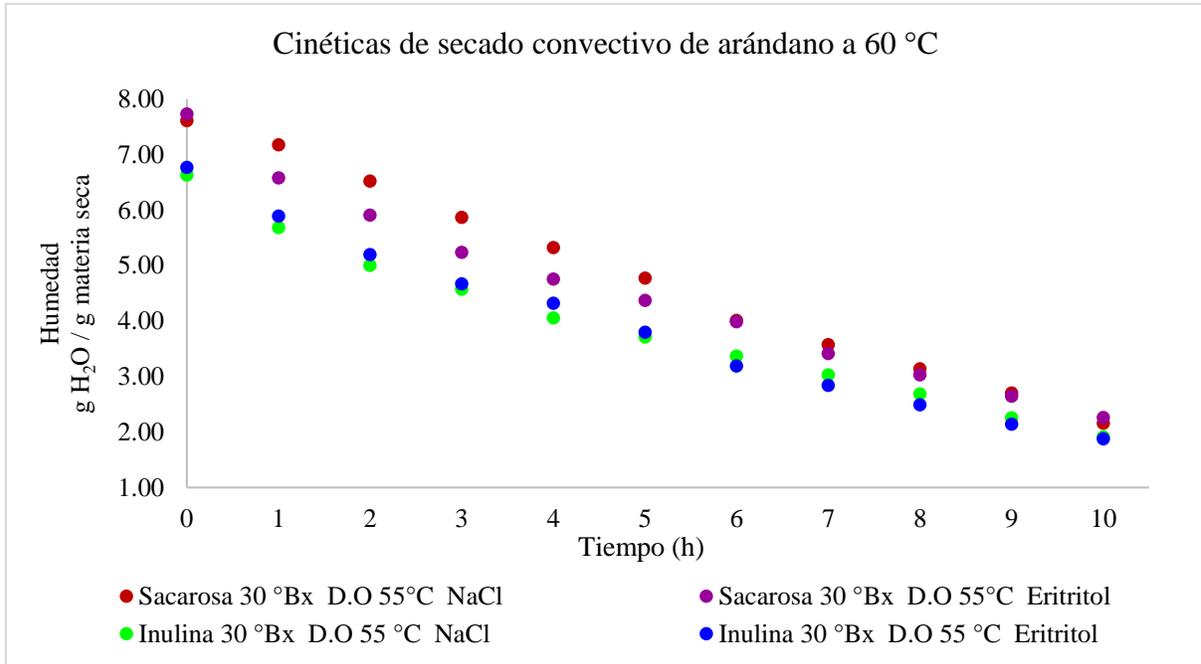
En la Figura 21 para los pretratamientos efectuados a 55 °C se observa una deshidratación final ligeramente mayor que la indicada en la Figura 20, donde los pretratamientos fueron evaluados a 45 °C. Se puede notar que la deshidratación inicial en la etapa osmótica juega un papel importante ya que los arándanos llegan con un contenido de humedad ligeramente menor y por tanto el proceso de secado nos permite obtener mejores resultados conforme la

temperatura de deshidratación osmótica aumenta. De nueva cuenta, ligeramente los mejores tratamientos fueron los de inulina - NaCl alcanzando valores de 1.92 g H<sub>2</sub>O / g de materia seca y para el tratamiento de inulina – eritritol de 1.88 g H<sub>2</sub>O / g de materia seca durante.

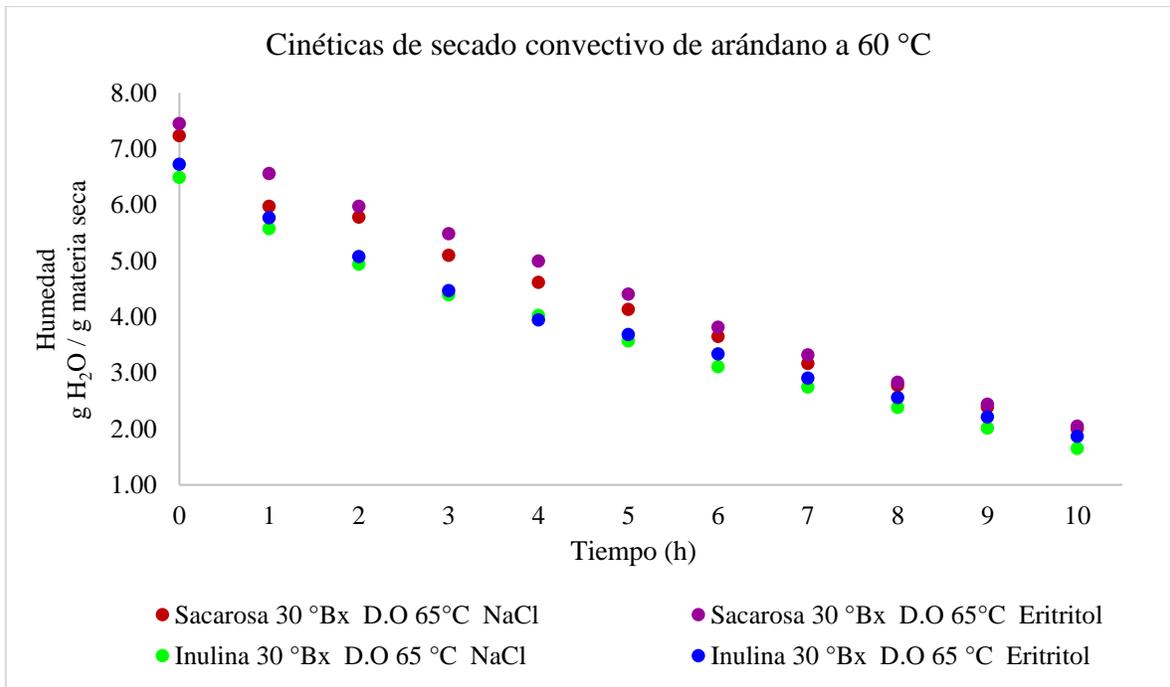
En la Figura 22 para los pretratamientos efectuados a 65 °C se observa una deshidratación final de nueva cuenta, ligeramente mayor que las indicadas en las Figuras 21 y 22, donde los pretratamientos fueron evaluados a 55 °C. Los mejores tratamientos fueron los de inulina - NaCl alcanzando valores de 1.65 g H<sub>2</sub>O / g de materia seca y para el tratamiento de inulina – eritritol de 1.86 g H<sub>2</sub>O / g de materia seca durante las 10 horas del proceso, aquí se ve que al igual que en las Figuras 20 y 21, las diferencias no son muy marcadas gráficamente, y al ser está la temperatura más alta utilizada durante la deshidratación osmótica, mejoró las velocidades de secado del producto.



**Figura 20.** Cinéticas de secado convectivo de arándano a 60 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 30 °Brix, temperatura de 45 °C, NaCl y eritritol como inductores.



**Figura 21** Cinéticas de secado convectivo de arándano a 60 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 30 °Brix, temperatura de 55 °C y NaCl y eritritol como inductores.



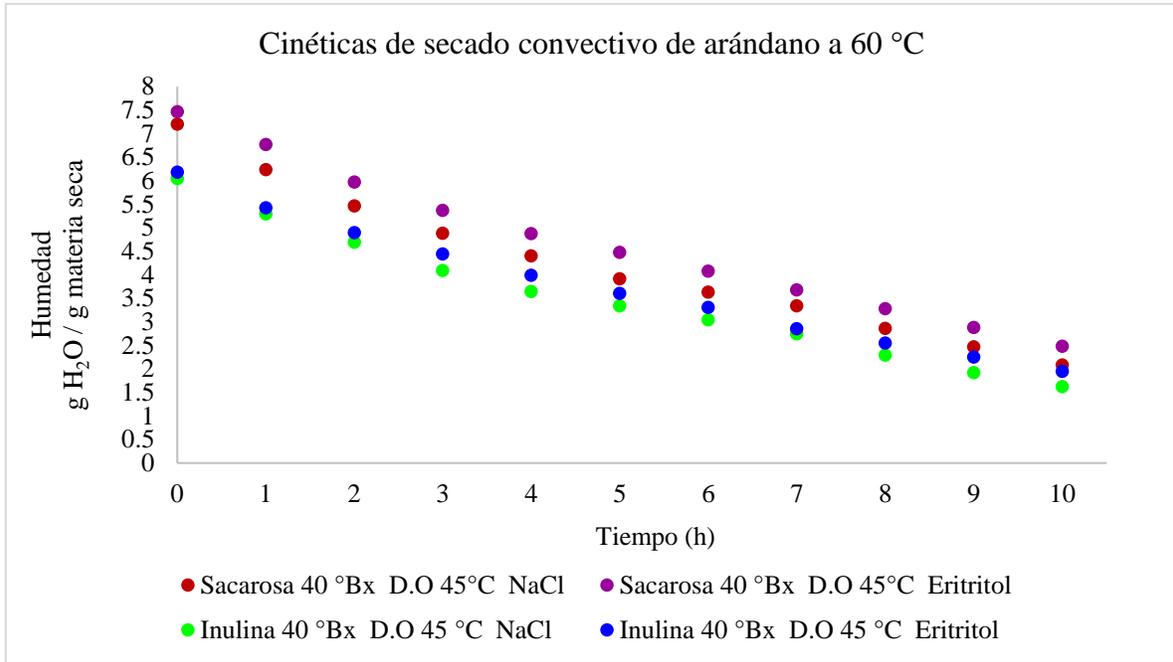
**Figura 22.** Cinéticas de secado convectivo de arándano a 60 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 30 °Brix, temperatura de 65 °C y NaCl y eritritol como inductores.

Las Figuras 23, 24 y 25 nos muestran el comportamiento de las curvas de secado experimentales a 60 °C durante las 10 horas del proceso obtenidas para los distintos pretratamientos evaluados con sacarosa e inulina a 40 °Brix y a temperaturas previas de deshidratación osmótica de 45, 55 y 65 °C respectivamente.

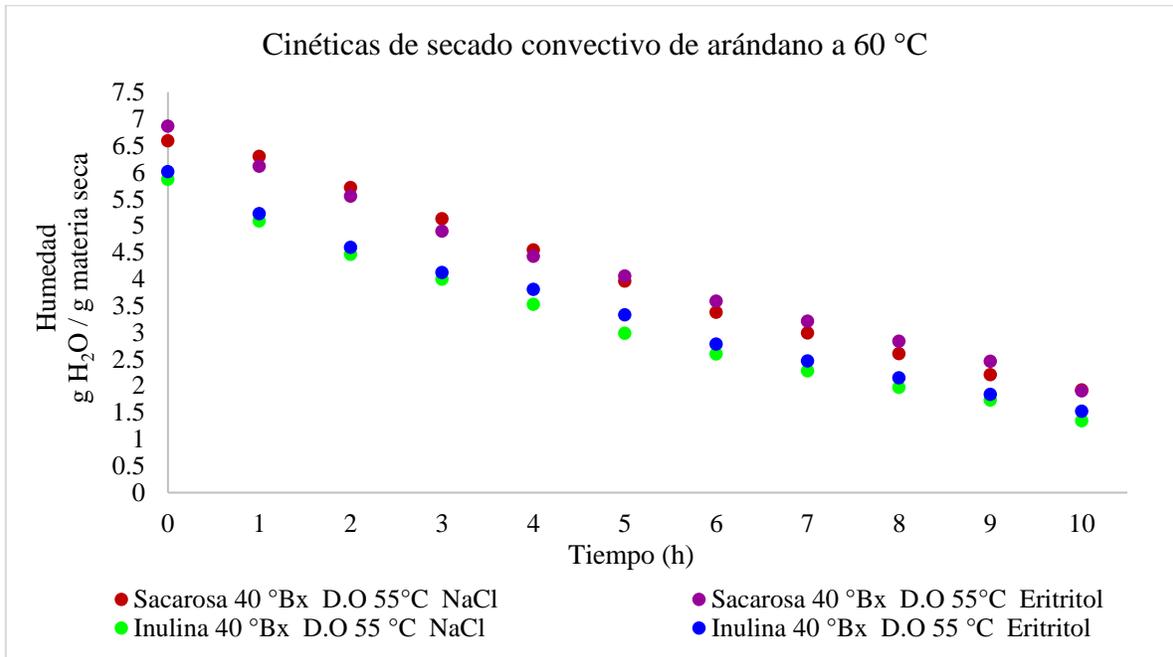
En la Figura 23 se pueden apreciar las 4 curvas para la fruta pretratada osmóticamente a 45 °C y secada convectivamente a 60 °C. La tendencia exponencial es clara y al aumentar la concentración de los agentes respecto a las Figuras 20, 21 y 22, se puede notar que la diferencia es más marcada gráficamente, y se logró deshidratar a mayor velocidad el arándano, siendo los mejores tratamientos los de inulina - NaCl alcanzando valores de 1.62 g H<sub>2</sub>O / g de materia seca y para el tratamiento de inulina – eritritol de 1.95 g H<sub>2</sub>O / g de materia seca.

En la Figura 24 se pueden apreciar las 4 curvas para la fruta pretratada osmóticamente a 55 °C y secada convectivamente a 60 °C. El aumento de la temperatura permite observar la diferencia marcada gráficamente entre los dos agentes, y se logró deshidratar a mayor velocidad el arándano con los tratamientos de inulina - NaCl alcanzando valores de 1.34 g H<sub>2</sub>O / g de materia seca y para el tratamiento de inulina – eritritol de 1.52 g H<sub>2</sub>O / g de materia seca.

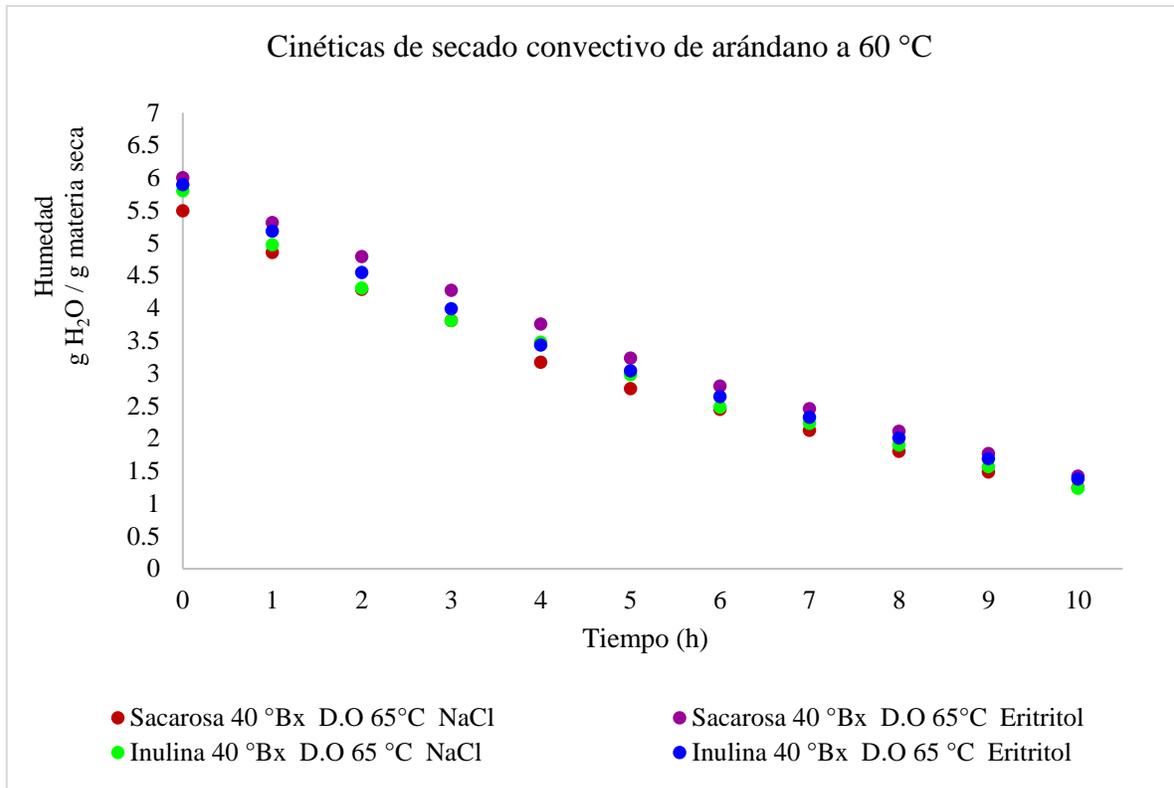
En la Figura 25 para los pretratamientos efectuados a 65 °C se observa una deshidratación final de nueva cuenta, ligeramente mayor que las indicadas en las Figuras 23 y 24, donde los pretratamientos fueron evaluados a 45 y 55 °C. Los mejores tratamientos fueron los de inulina - NaCl alcanzando valores de 1.24 g H<sub>2</sub>O / g de materia seca y para el tratamiento de inulina – eritritol de 1.38 g H<sub>2</sub>O / g de materia seca, se puede notar que las diferencias no son muy marcadas gráficamente, y al ser está la temperatura más alta utilizada durante la deshidratación osmótica, mejoró las velocidades de secado del producto.



**Figura 23.** Cinéticas de secado convectivo de arándano a 60 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 40 °Brix, temperatura de 45 °C y NaCl y eritritol como inductores.



**Figura 24.** Cinéticas de secado convectivo de arándano a 60 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 40 °Brix, temperatura de 55 °C y NaCl y eritritol como inductores.



**Figura 25.** Cinéticas de secado convectivo de arándano a 60 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 40 °Brix, temperatura de 65 °C y NaCl y eritritol como inductores.

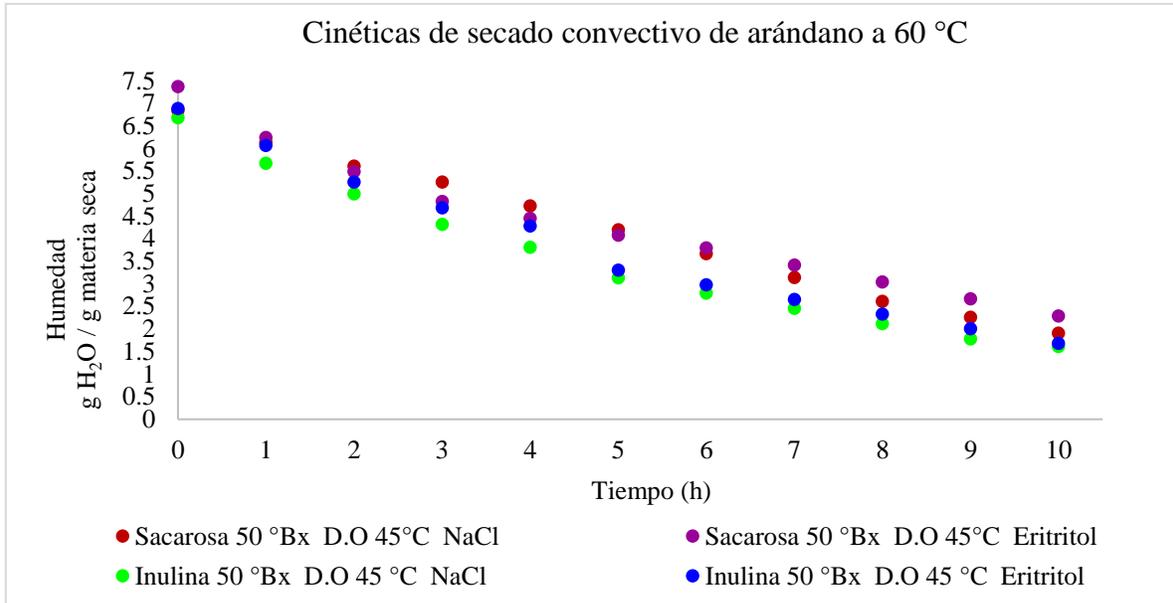
Las Figuras 26, 27 y 28 nos muestran el comportamiento de las curvas de secado experimentales a 60 °C durante las 10 horas del proceso obtenidas para los distintos pretratamientos evaluados con sacarosa e inulina a 50 °Brix y a temperaturas previas de deshidratación osmótica de 45, 55 y 65 °C respectivamente.

En la Figura 26 se pueden apreciar las 4 curvas para la fruta pretratada osmóticamente a 45 °C y secada convectivamente a 60 °C. La tendencia exponencial es clara y al aumentar la concentración de los agentes respecto a las Figuras 23, 24 y 25, se puede notar que la diferencia es más marcada gráficamente, y se logró deshidratar a mayor velocidad el arándano, siendo los mejores tratamientos los de inulina - NaCl alcanzando valores de 1.61 g H<sub>2</sub>O / g de materia seca y para el tratamiento de inulina – eritritol de 1.68 g H<sub>2</sub>O / g de materia seca.

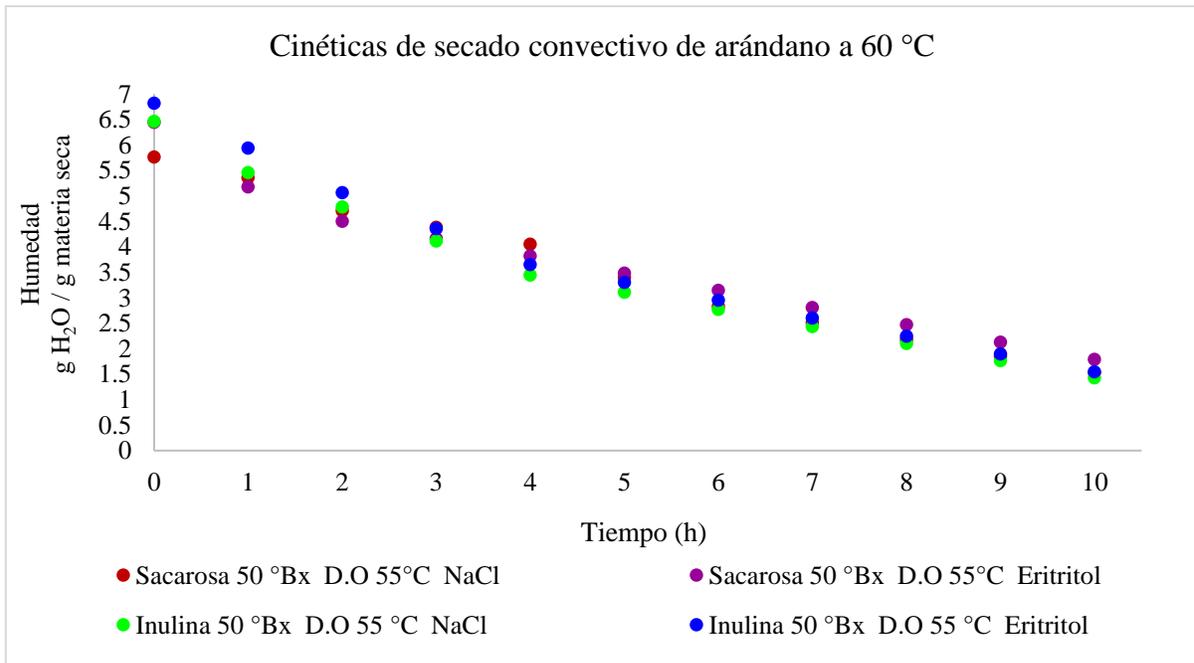
En la Figura 27 se pueden apreciar las 4 curvas para la fruta pretratada osmóticamente a 55 °C y secada convectivamente a 60 °C. El aumento de la temperatura no permite observar la diferencia marcada gráficamente entre los dos agentes. Se logró deshidratar a mayor velocidad el arándano con los tratamientos de inulina - NaCl alcanzando valores de 1.43 g H<sub>2</sub>O / g de materia seca y para el tratamiento de inulina – eritritol de 1.54 g H<sub>2</sub>O / g de materia seca.

En la Figura 28 para los pretratamientos efectuados a 65 °C se observa una deshidratación final de nueva cuenta, ligeramente mayor que las indicadas en las Figuras 26 y 27, donde los pretratamientos fueron evaluados a 45 y 55 °C. Los mejores tratamientos fueron los de inulina - NaCl alcanzando valores de 0.86 g H<sub>2</sub>O / g de materia seca y para el tratamiento de inulina – eritritol de 1.40 g H<sub>2</sub>O / g de materia seca, se puede notar que las diferencias no son muy marcadas gráficamente.

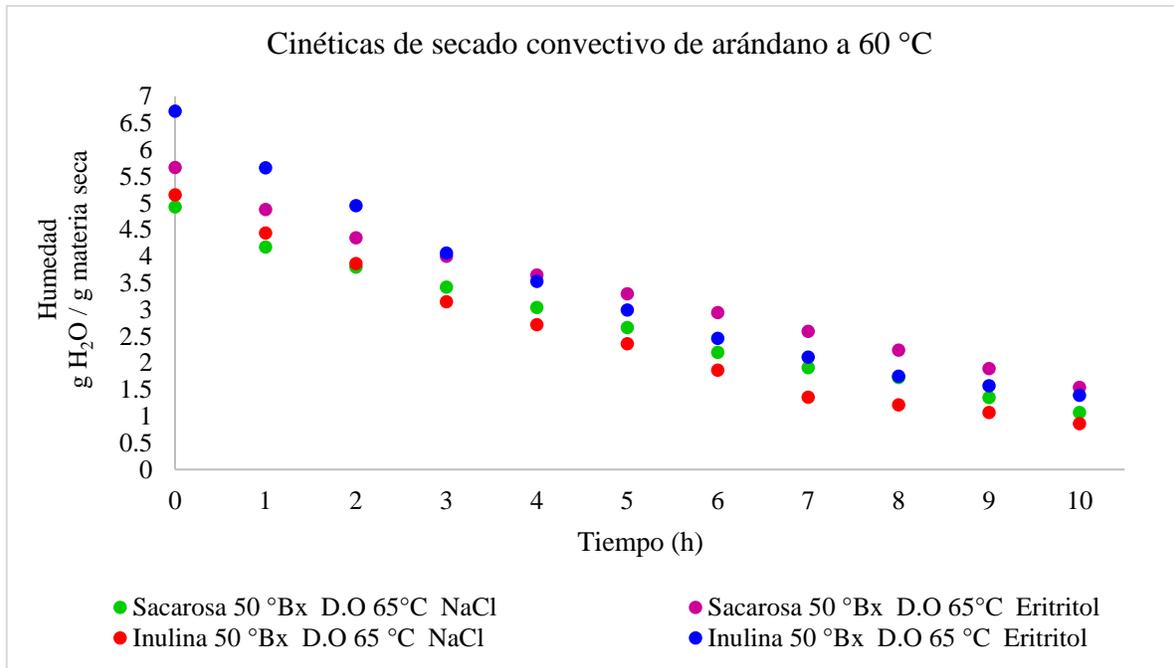
Se puede observar que todos los pretratamientos a 60 °C mejoraron las velocidades de secado del producto respecto a los controles, disminuyendo considerablemente el tiempo de secado. Estos resultados muestran que los arándanos con pretratamiento osmótico contribuyeron a incrementar la permeabilidad de las membranas celulares de los arándanos, conduciendo a un aumento de la difusividad del agua. Además, estos resultados podrían indicar las características óptimas para cada pretratamiento antes del secado con aire caliente a una temperatura determinada. En general las curvas experimentales evaluadas a 60 °C necesitaron de 14 horas para poder alcanzar el peso constante.



**Figura 26.** Cinéticas de secado convectivo de arándano a 60 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 50 °Brix, temperatura de 45 °C y NaCl y eritritol como inductores.



**Figura 27.** Cinéticas de secado convectivo de arándano a 60 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 50 °Brix, temperatura de 55 °C y NaCl y eritritol como inductores.



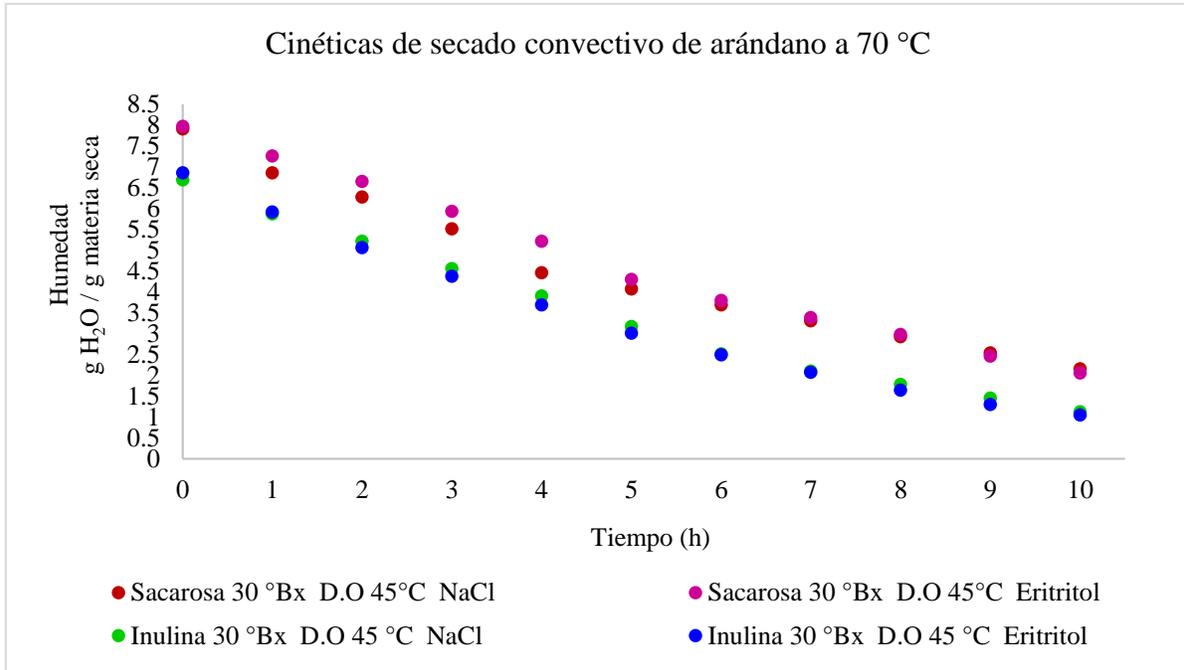
**Figura 28.** Cinéticas de secado convectivo de arándano a 60 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 50 °Brix, temperatura de 65 °C y NaCl y eritritol como inductores.

Las Figuras 29, 30 y 31 nos muestran el comportamiento de las curvas de secado experimentales a 70 °C durante las 10 horas del proceso obtenidas para los distintos pretratamientos evaluados con sacarosa e inulina a 30 °Brix y a temperaturas previas de deshidratación osmótica de 45, 55 y 65 °C respectivamente.

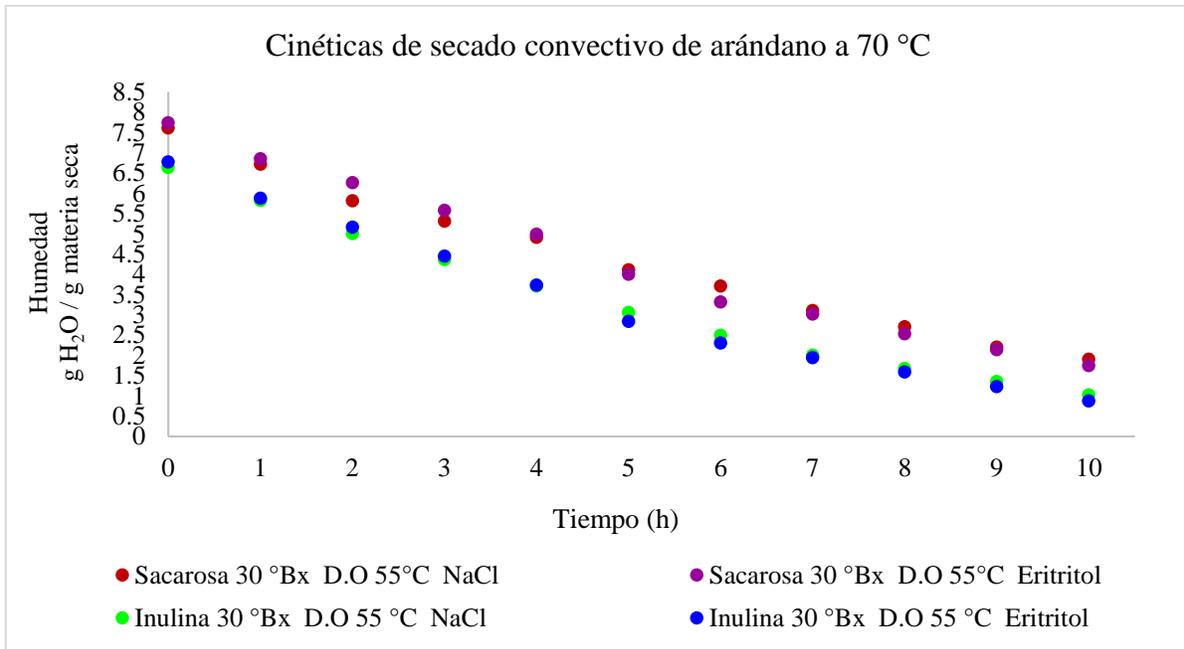
En la Figura 29 se pueden apreciar las 4 curvas para la fruta pretratada osmóticamente a 45 °C y secada convectivamente a 70 °C. La tendencia exponencial es clara para los 4 casos y se observa, gráficamente, diferencias muy marcadas según el agente osmótico utilizado, en el pretratamiento, siendo ligeramente mejores los tratamientos de inulina - NaCl alcanzando valores de 1.12 g H<sub>2</sub>O / g de materia seca y para el tratamiento de inulina – eritritol de 1.05 g H<sub>2</sub>O / g de materia seca.

En la Figura 30 para los pretratamientos efectuados a 55 °C se observa una deshidratación final ligeramente mayor que la indicada en la Figura 29, donde los pretratamientos fueron evaluados a 45 °C. Se puede notar que la deshidratación inicial en la etapa osmótica juega un papel importante ya que los arándanos llegan con un contenido de humedad ligeramente menor y por tanto el proceso de secado nos permite obtener mejores resultados conforme la temperatura de deshidratación osmótica aumenta. De nueva cuenta, ligeramente los mejores tratamientos fueron los de inulina - NaCl alcanzando valores de 1.02 g H<sub>2</sub>O / g de materia seca y para el tratamiento de inulina – eritritol de 0.87 g H<sub>2</sub>O / g de materia seca durante.

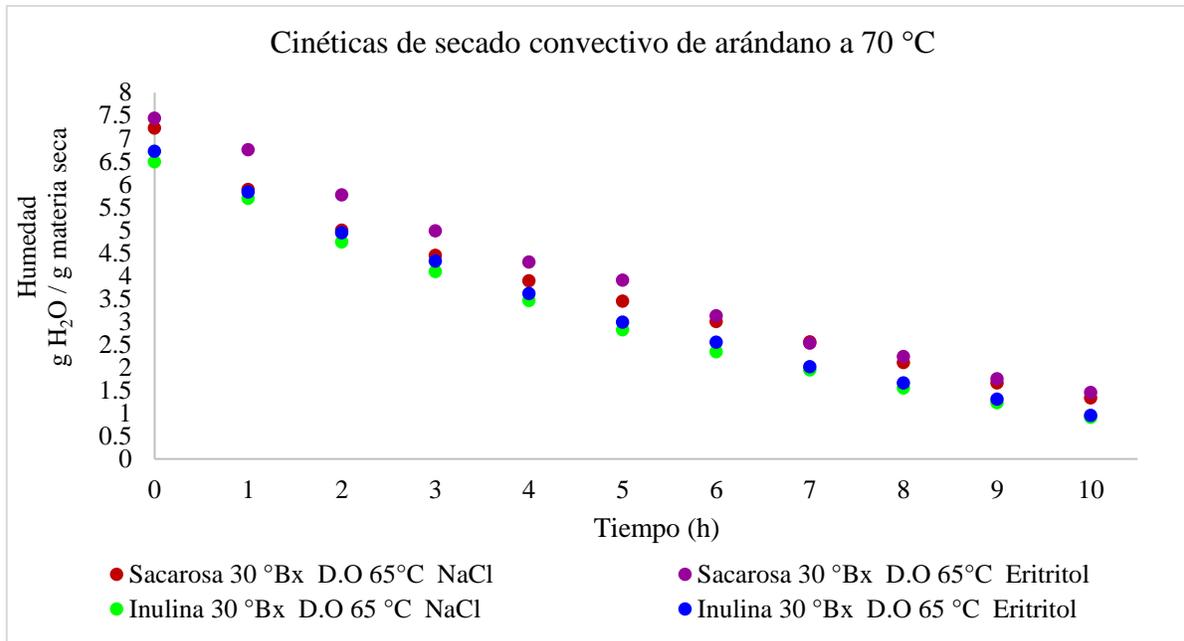
En la Figura 31 para los pretratamientos efectuados a 65 °C se observa una deshidratación final de nueva cuenta, ligeramente mayor que las indicadas en las Figuras 29 y 30, donde los pretratamientos fueron evaluados a 55 °C. Los mejores tratamientos fueron los de inulina - NaCl alcanzando valores de 0.91 g H<sub>2</sub>O / g de materia seca y para el tratamiento de inulina – eritritol de 0.95 g H<sub>2</sub>O / g de materia seca durante las 10 horas del proceso, aquí se ve que excepto las Figuras 29 y 30, las diferencias no son muy marcadas gráficamente, y al ser está la temperatura más alta utilizada durante la deshidratación osmótica, mejoró las velocidades de secado del producto.



**Figura 29.** Cinéticas de secado convectivo de arándano a 70 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 30 °Brix, temperatura de 45 °C y NaCl y eritritol como inductores.



**Figura 30.** Cinéticas de secado convectivo de arándano a 70 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 30 °Brix, temperatura de 55 °C y NaCl y eritritol como inductores.



**Figura 31.** Cinéticas de secado convectivo de arándano a 70 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 30 °Brix, temperatura de 65 °C y NaCl y eritritol como inductores.

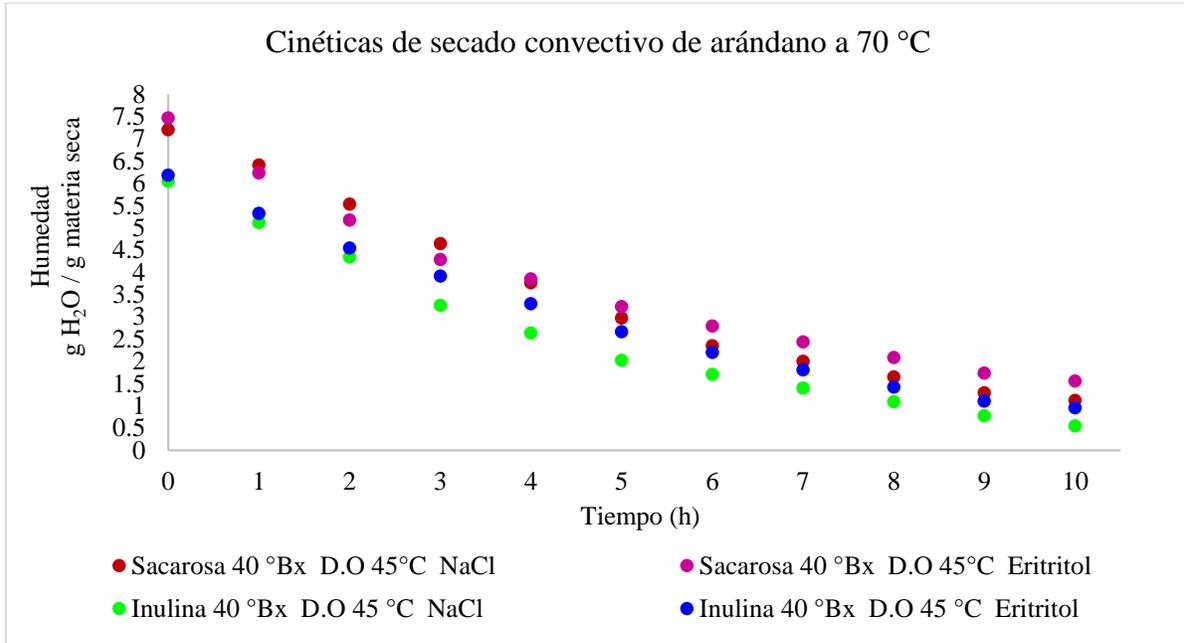
Las Figuras 32, 33 y 34 nos muestran el comportamiento de las curvas de secado experimentales a 70 °C durante las 10 horas del proceso obtenidas para los distintos pretratamientos evaluados con sacarosa e inulina a 40 °Brix y a temperaturas previas de deshidratación osmótica de 45, 55 y 65 °C respectivamente.

En la Figura 32 se pueden apreciar las 4 curvas para la fruta pretratada osmóticamente a 45 °C y secada convectivamente a 70 °C. La tendencia exponencial es clara y al aumentar la concentración de los agentes respecto a las Figuras 29, 30 y 31, se puede notar que la diferencia es más marcada gráficamente entre el tratamiento que logro la mayor remoción de humedad (inulina – NaCl) y se logró deshidratar a mayor velocidad el arándano. Los mejores tratamientos fueron los de inulina - NaCl alcanzando valores de 0.55 g H<sub>2</sub>O / g de materia seca y para el tratamiento de inulina – eritritol de 0.95 g H<sub>2</sub>O / g de materia seca.

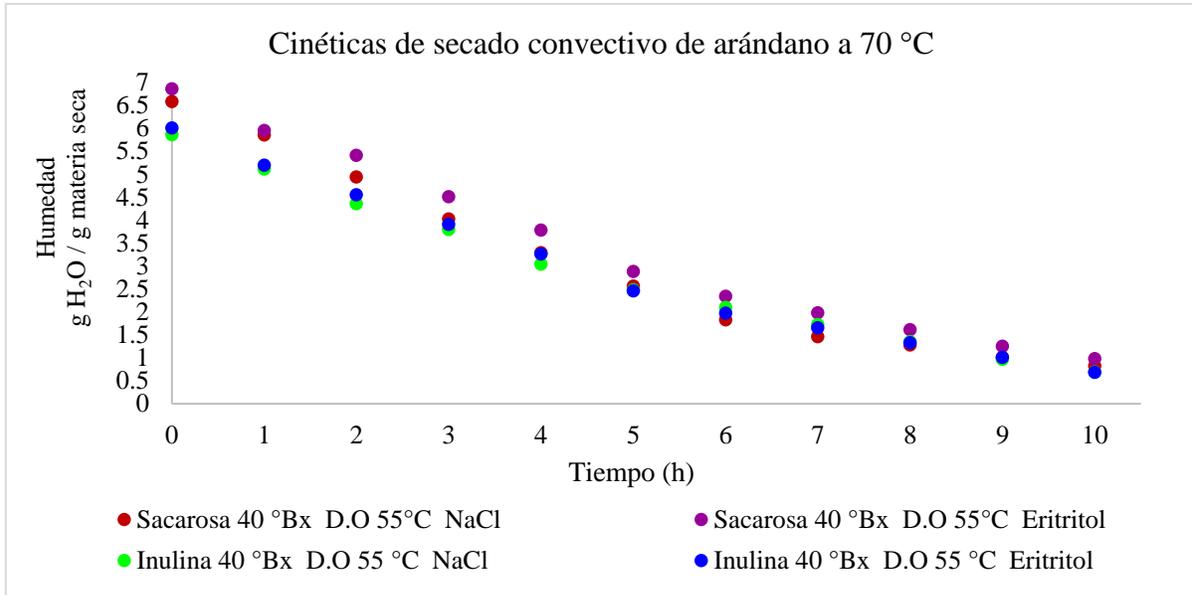
En la Figura 33 se pueden apreciar las 4 curvas para la fruta pretratada osmóticamente a 55 °C y secada convectivamente a 70 °C. El aumento de la temperatura esta vez no permite observar la diferencia marcada gráficamente entre los dos agentes.

Se logró deshidratar a mayor velocidad el arándano con los tratamientos de inulina - NaCl alcanzando valores de 0.68 g H<sub>2</sub>O / g de materia seca y para el tratamiento de inulina – eritritol de 0.70 g H<sub>2</sub>O / g de materia seca.

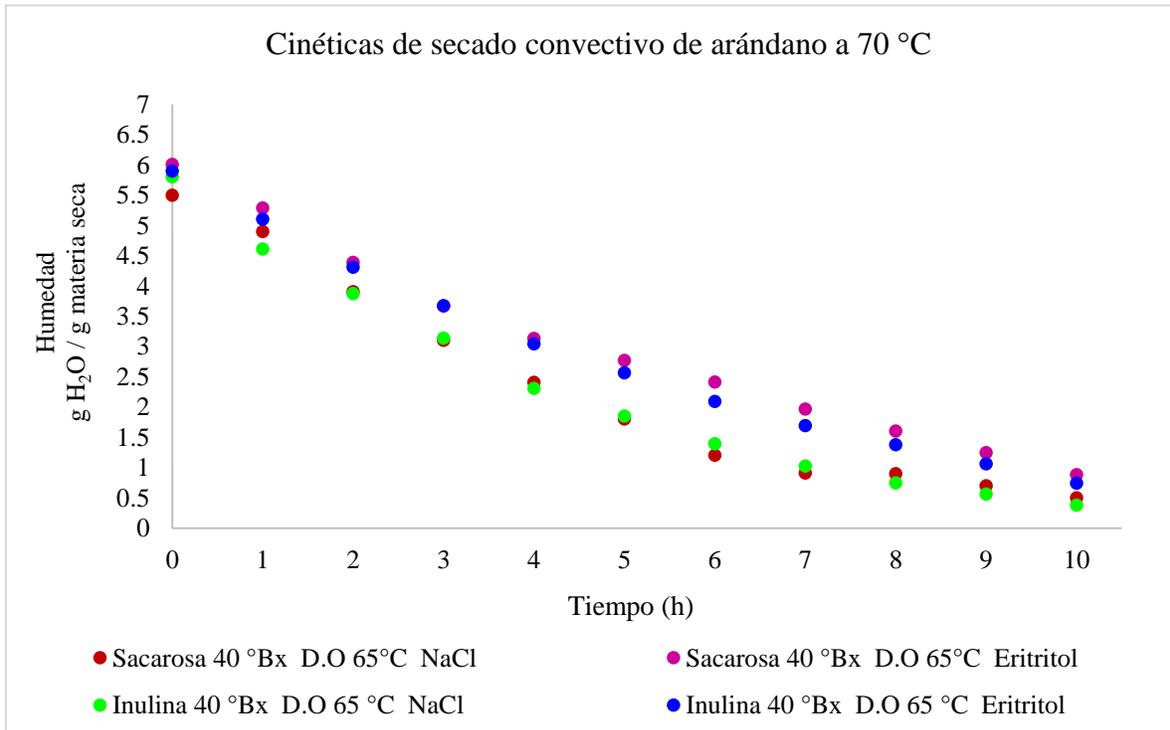
En la Figura 34 para los pretratamientos efectuados a 65 °C se observa una deshidratación final de nueva cuenta, ligeramente mayor que las indicadas en las Figuras 32 y 33, donde los pretratamientos fueron evaluados a 45 y 55 °C. Los mejores tratamientos fueron los de inulina - NaCl alcanzando valores de 0.37 g H<sub>2</sub>O / g de materia seca y para el tratamiento de sacarosa - NaCl de 0.74 g H<sub>2</sub>O / g de materia seca, se puede notar que las diferencias entre agentes fueron ligeramente marcadas gráficamente, y al ser está la temperatura más alta utilizada durante la deshidratación osmótica, mejoró las velocidades de secado del producto.



**Figura 32.** Cinéticas de secado convectivo de arándano a 70 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 40 °Brix, temperatura de 45 °C y NaCl y eritritol como inductores.



**Figura 33.** Cinéticas de secado convectivo de arándano a 70 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 40 °Brix, temperatura de 55 °C y NaCl y eritritol como inductores.



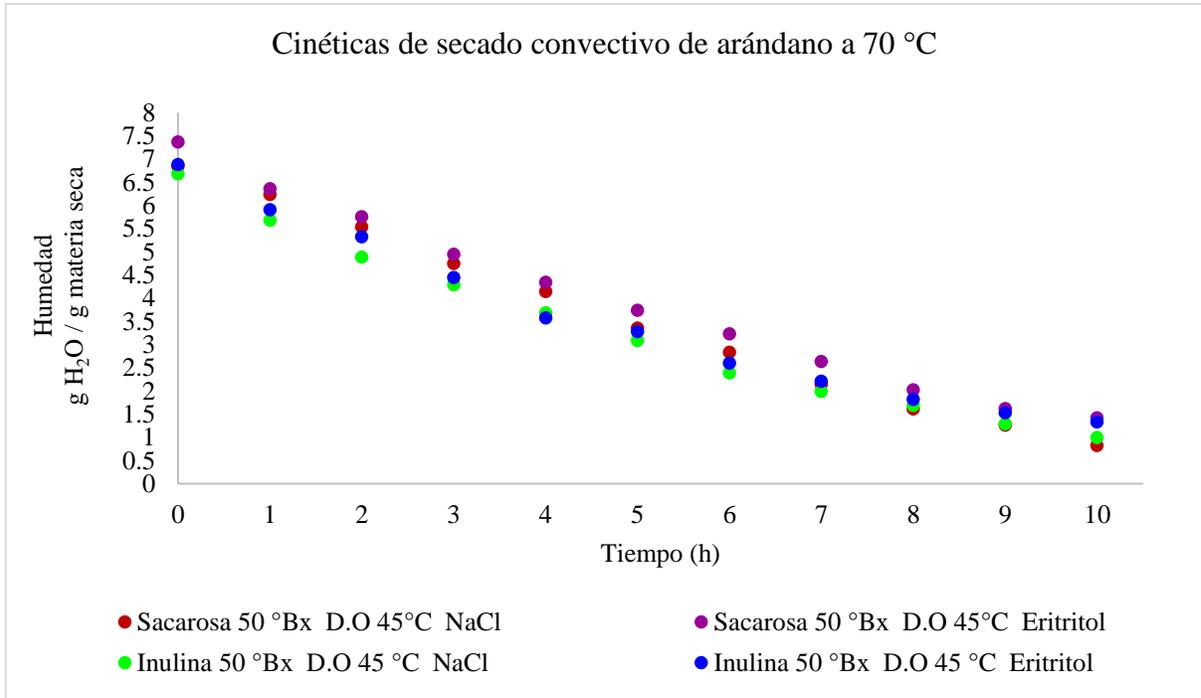
**Figura 34.** Cinéticas de secado convectivo de arándano a 70 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 40 °Brix, temperatura de 65 °C y NaCl y eritritol como inductores.

Las Figuras 35, 36 y 37 nos muestran el comportamiento de las curvas de secado experimentales a 70 °C durante las 10 horas del proceso obtenidas para los distintos pretratamientos evaluados con sacarosa e inulina a 50 °Brix y a temperaturas previas de deshidratación osmótica de 45, 55 y 65 °C respectivamente.

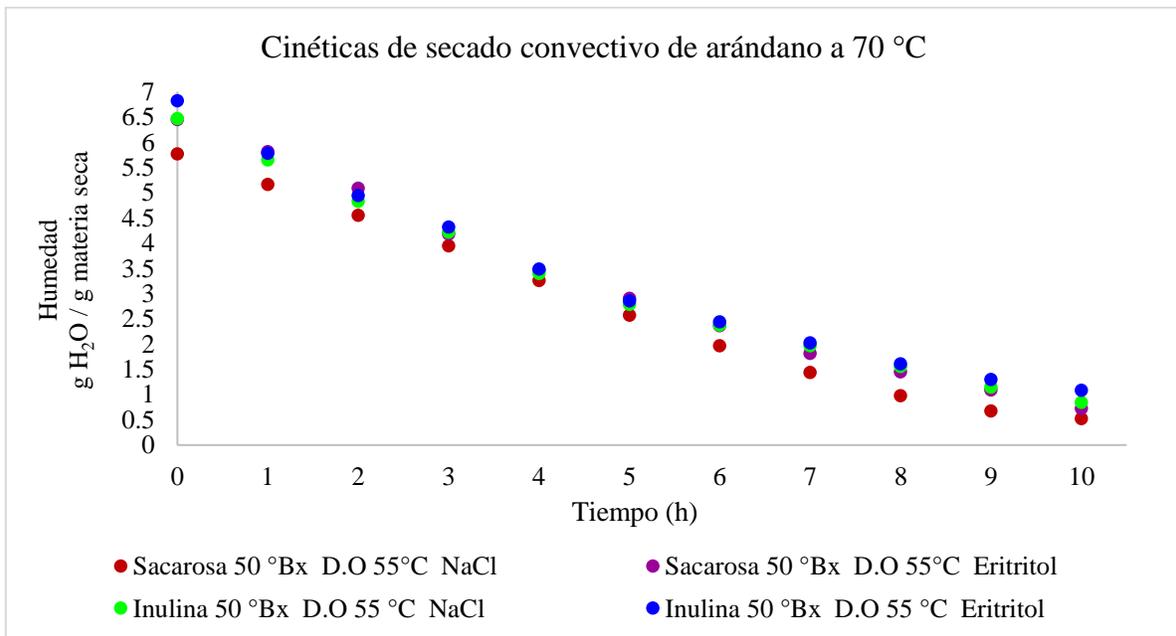
En la Figura 35 se pueden apreciar las 4 curvas para la fruta pretratada osmóticamente a 45 °C y secada convectivamente a 70 °C. La tendencia exponencial es clara y al aumentar la concentración de los agentes respecto a las Figuras 32, 33 y 34, se puede notar que la diferencia es más marcada gráficamente, y se logró deshidratar a mayor velocidad el arándano, siendo los mejores tratamientos los de sacarosa - NaCl alcanzando valores de 0.83 g H<sub>2</sub>O / g de materia seca y para el tratamiento de inulina – NaCl de 0.99 g H<sub>2</sub>O / g de materia seca.

En la Figura 36 se pueden apreciar las 4 curvas para la fruta pretratada osmóticamente a 55 °C y secada convectivamente a 70 °C. El aumento de la temperatura no permite observar la diferencia marcada gráficamente entre los dos agentes. Se logró deshidratar a mayor velocidad el arándano con los tratamientos de sacarosa - NaCl alcanzando valores de 0.52 g H<sub>2</sub>O / g de materia seca y para el tratamiento de sacarosa – eritritol de 0.72 g H<sub>2</sub>O / g de materia seca.

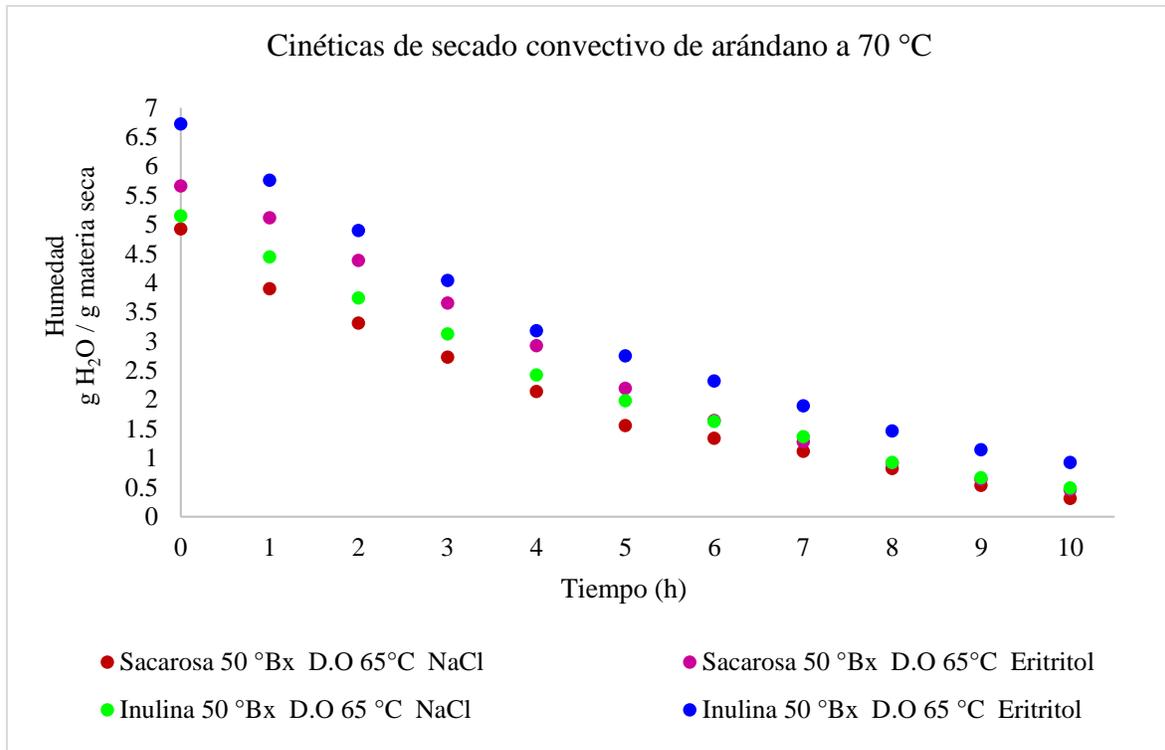
En la Figura 37 para los pretratamientos efectuados a 65 °C se observa una deshidratación final de nueva cuenta, ligeramente mayor que las indicadas en las Figuras 35 y 36, donde los pretratamientos fueron evaluados a 45 y 55 °C. Los mejores tratamientos fueron los de sacarosa - NaCl alcanzando valores de 0.31 g H<sub>2</sub>O / g de materia seca y para el tratamiento de inulina – NaCl de 0.49 g H<sub>2</sub>O / g de materia seca, se puede notar que las diferencias no son muy marcadas gráficamente. Se puede observar que todos los pretratamientos a 70 °C mejoraron las velocidades de secado del producto respecto a los controles, disminuyendo considerablemente el tiempo de secado. Estos resultados muestran que los arándanos con pretratamiento osmótico conforme aumentan la concentración y la temperatura de secado, contribuyen a incrementar la permeabilidad de las membranas celulares de los arándanos, conduciendo a un aumento de la difusividad del agua. En general las curvas experimentales evaluadas a 70 °C necesitaron de 12 horas para poder alcanzar el peso constante.



**Figura 35.** Cinéticas de secado convectivo de arándano a 70 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 50 °Brix, temperatura de 45 °C y NaCl y eritritol como inductores.



**Figura 36.** Cinéticas de secado convectivo de arándano a 70 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 50 °Brix, temperatura de 55 °C y NaCl y eritritol como inductores.



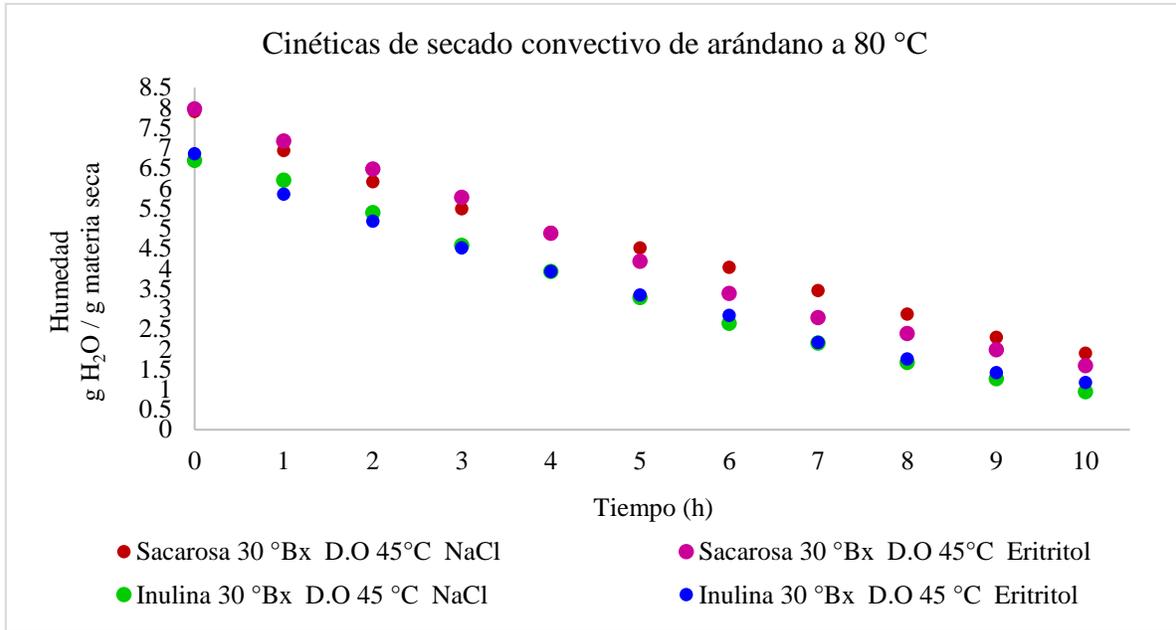
**Figura 37.** Cinéticas de secado convectivo de arándano a 70 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 50 °Brix, temperatura de 65 °C y NaCl y eritritol como inductores.

Las Figuras 38, 39 y 40 nos muestran el comportamiento de las curvas de secado experimentales a 80 °C durante las 10 horas del proceso obtenidas para los distintos pretratamientos evaluados con sacarosa e inulina a 30 °Brix y a temperaturas previas de deshidratación osmótica de 45, 55 y 65 °C respectivamente.

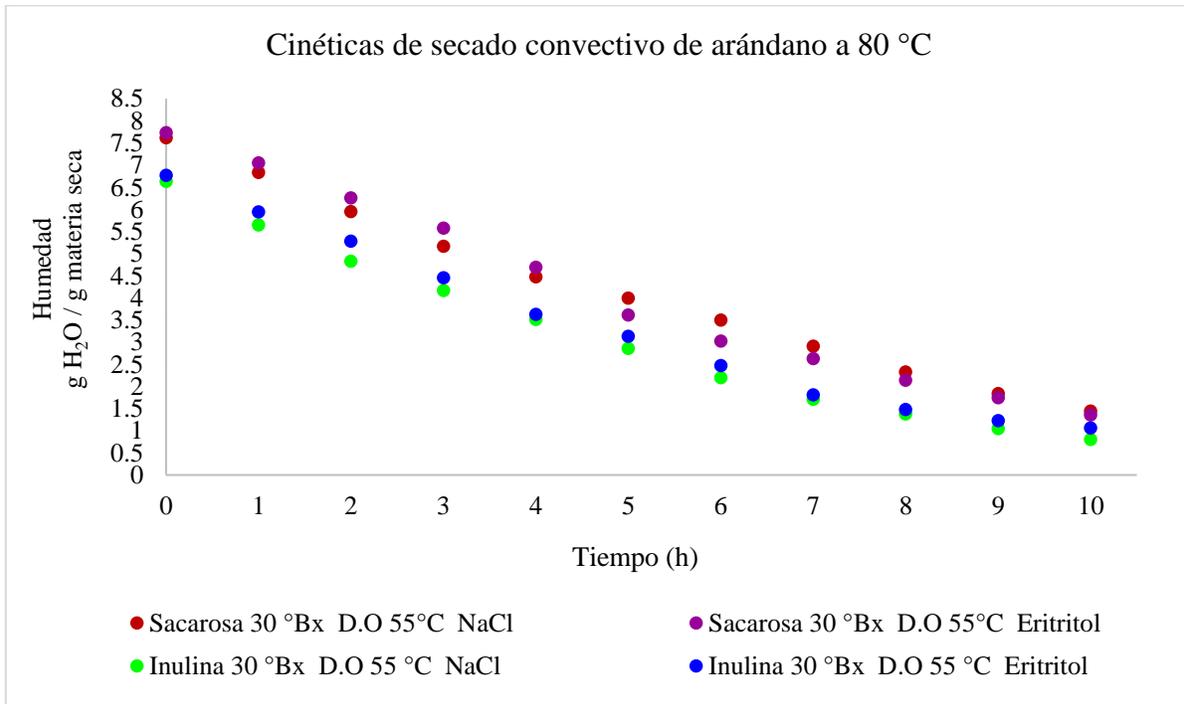
En la Figura 38 se pueden apreciar las 4 curvas para la fruta pretratada osmóticamente a 45 °C y secada convectivamente a 80 °C. La tendencia exponencial es clara para los 4 casos y se observa, gráficamente, diferencias marcadas según el agente osmótico utilizado en el pretratamiento, siendo ligeramente mejores los tratamientos de inulina - NaCl alcanzando valores de 0.94 g H<sub>2</sub>O / g de materia seca y para el tratamiento de inulina – eritritol de 1.17 g H<sub>2</sub>O / g de materia seca.

En la Figura 39 para los pretratamientos efectuados a 55 °C se observa una deshidratación final ligeramente mayor que la indicada en la Figura 38, donde los pretratamientos fueron evaluados a 45 °C. Se puede notar que la deshidratación inicial en la etapa osmótica juega un papel importante ya que los arándanos llegan con un contenido de humedad ligeramente menor y por tanto el proceso de secado nos permite obtener mejores resultados conforme la temperatura de deshidratación osmótica aumenta. De nueva cuenta, ligeramente los mejores tratamientos fueron los de inulina - NaCl alcanzando valores de 0.80 g H<sub>2</sub>O / g de materia seca y para el tratamiento de inulina – eritritol de 1.06 g H<sub>2</sub>O / g de materia seca durante.

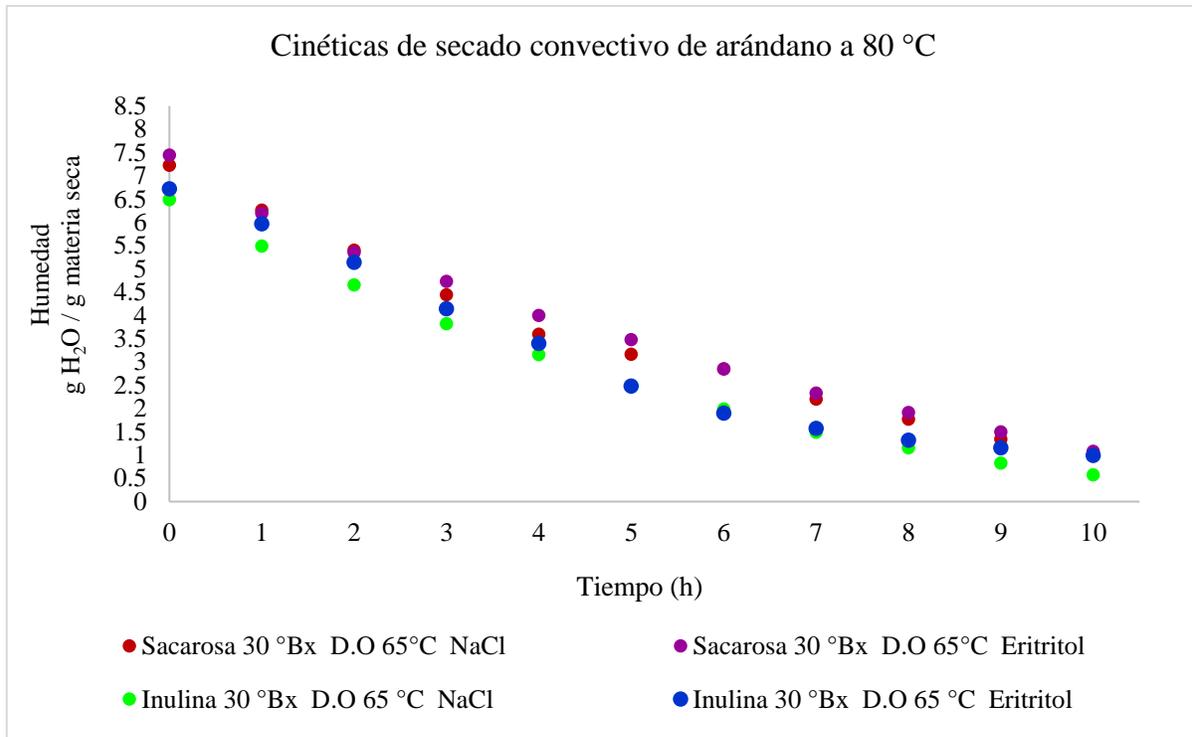
En la Figura 40 para los pretratamientos efectuados a 65 °C se observa una deshidratación final de nueva cuenta, ligeramente mayor que las indicadas en las Figuras 38 y 39, donde los pretratamientos fueron evaluados a 55 °C. Los mejores tratamientos fueron los de inulina - NaCl alcanzando valores de 0.58 g H<sub>2</sub>O / g de materia seca y para el tratamiento de inulina – eritritol de 0.99 g H<sub>2</sub>O / g de materia seca durante las 10 horas del proceso, se puede observar que excepto las Figuras 38 y 39, las diferencias no son muy marcadas gráficamente, y al ser está la temperatura más alta utilizada durante la deshidratación osmótica, mejoró las velocidades de secado del producto.



**Figura 38.** Cinéticas de secado convectivo de arándano a 80 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 30 °Brix, temperatura de 45 °C y NaCl y eritritol como inductores.



**Figura 39.** Cinéticas de secado convectivo de arándano a 80 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 30 °Brix, temperatura de 55 °C y NaCl y eritritol como inductores.



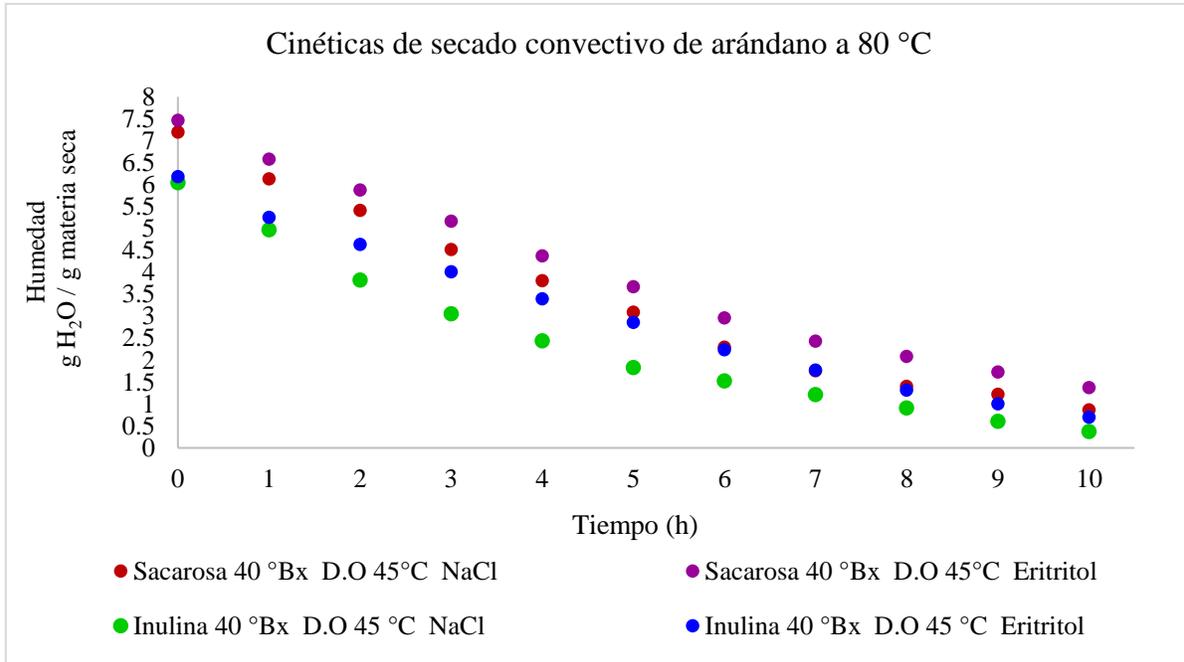
**Figura 40.** Cinéticas de secado convectivo de arándano a 80 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 30 °Brix, temperatura de 65 °C y NaCl y eritritol como inductores.

Las Figuras 41, 42 y 43 nos muestran el comportamiento de las curvas de secado experimentales a 80 °C durante las 10 horas del proceso obtenidas para los distintos pretratamientos evaluados con sacarosa e inulina a 40 °Brix y a temperaturas previas de deshidratación osmótica de 45, 55 y 65 °C respectivamente.

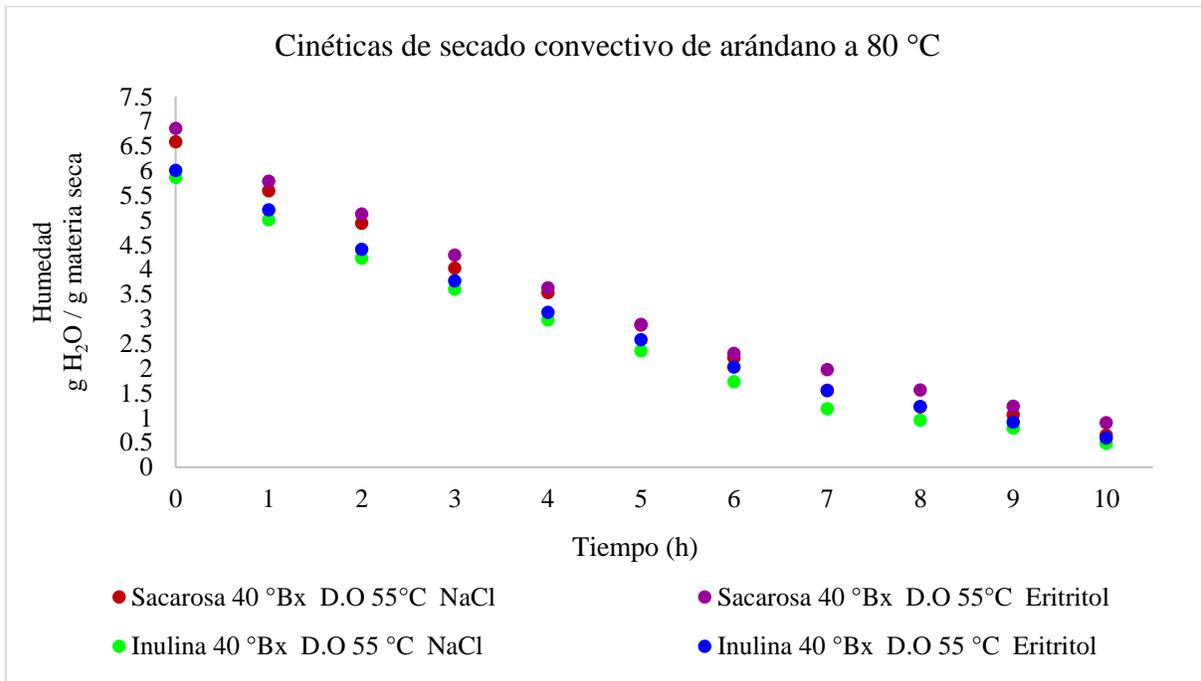
En la Figura 41 se pueden apreciar las 4 curvas para la fruta pretratada osmóticamente a 45 °C y secada convectivamente a 80 °C. La tendencia exponencial es clara para los 4 casos y se observa, gráficamente, diferencias marcadas según el agente osmótico utilizado en el pretratamiento, siendo ligeramente mejores los tratamientos de inulina - NaCl alcanzando valores de 0.38 g H<sub>2</sub>O / g de materia seca y para el tratamiento de inulina – eritritol de 0.70 g H<sub>2</sub>O / g de materia seca.

En la Figura 42 para los pretratamientos efectuados a 55 °C se observa una deshidratación final ligeramente mayor que la indicada en la Figura 41, donde los pretratamientos fueron evaluados a 45 °C. Se puede notar que la deshidratación inicial en la etapa osmótica juega un papel importante ya que los arándanos llegan con un contenido de humedad ligeramente menor y por tanto el proceso de secado nos permite obtener mejores resultados conforme la temperatura de deshidratación osmótica aumenta. De nueva cuenta, ligeramente los mejores tratamientos fueron los de inulina - NaCl alcanzando valores de 0.48 g H<sub>2</sub>O / g de materia seca y para el tratamiento de inulina – eritritol de 0.59 g H<sub>2</sub>O / g de materia seca durante.

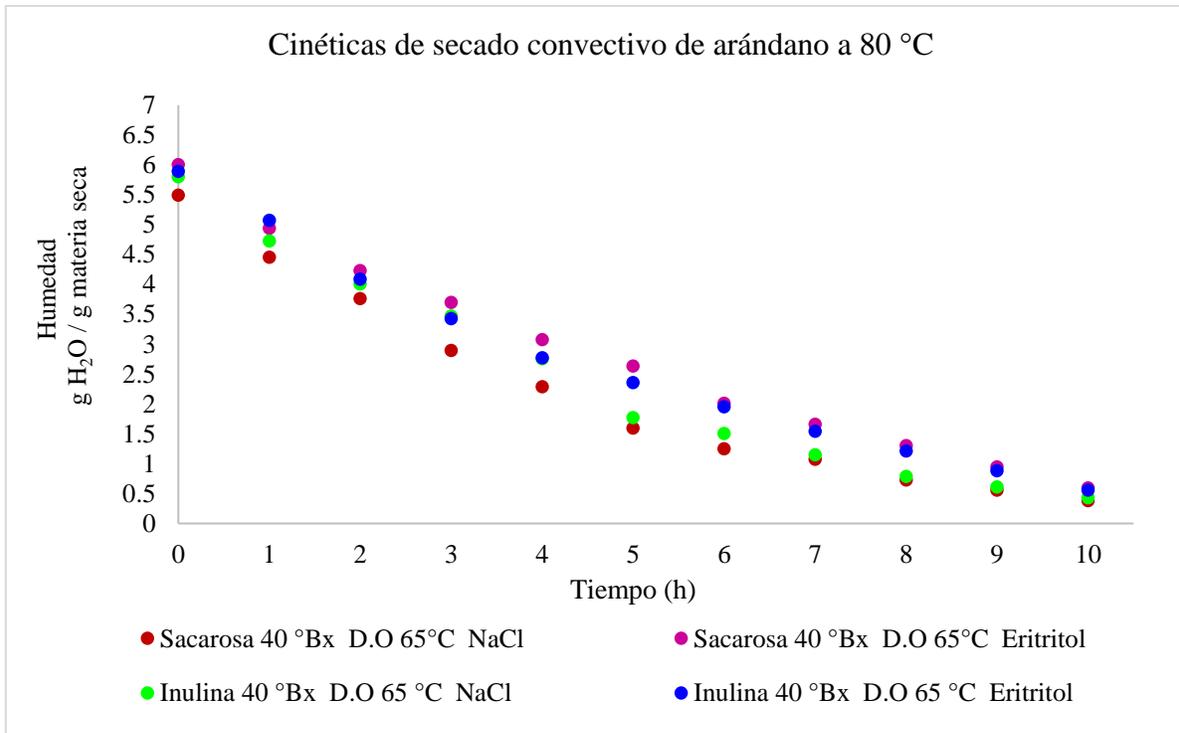
En la Figura 43 para los pretratamientos efectuados a 65 °C se observa una deshidratación final de nueva cuenta, ligeramente mayor que las indicadas en las Figura 41 y 42, donde los pretratamientos fueron evaluados a 55 °C. Los mejores tratamientos fueron los de inulina - NaCl alcanzando valores de 0.43 g H<sub>2</sub>O / g de materia seca y para el tratamiento de inulina – eritritol de 0.56 g H<sub>2</sub>O / g de materia seca durante las 10 horas del proceso, se puede observar que excepto las Figuras 40 y 41, las diferencias no son muy marcadas gráficamente, y al ser está la temperatura más alta utilizada durante la deshidratación osmótica, mejoró las velocidades de secado del producto.



**Figura 41.** Cinéticas de secado convectivo de arándano a 80 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 40 °Brix, temperatura de 45 °C y NaCl y eritritol como inductores.



**Figura 42.** Cinéticas de secado convectivo de arándano a 80 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 40 °Brix, temperatura de 55 °C y NaCl y eritritol como inductores.



**Figura 43.** Cinéticas de secado convectivo de arándano a 80 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 40 °Brix, temperatura de 65 °C y NaCl y eritritol como inductores.

Las Figuras 44, 45 y 46 nos muestran el comportamiento de las curvas de secado experimentales a 80 °C durante las 10 horas del proceso obtenidas para los distintos pretratamientos evaluados con sacarosa e inulina a 50 °Brix y a temperaturas previas de deshidratación osmótica de 45, 55 y 65 °C respectivamente.

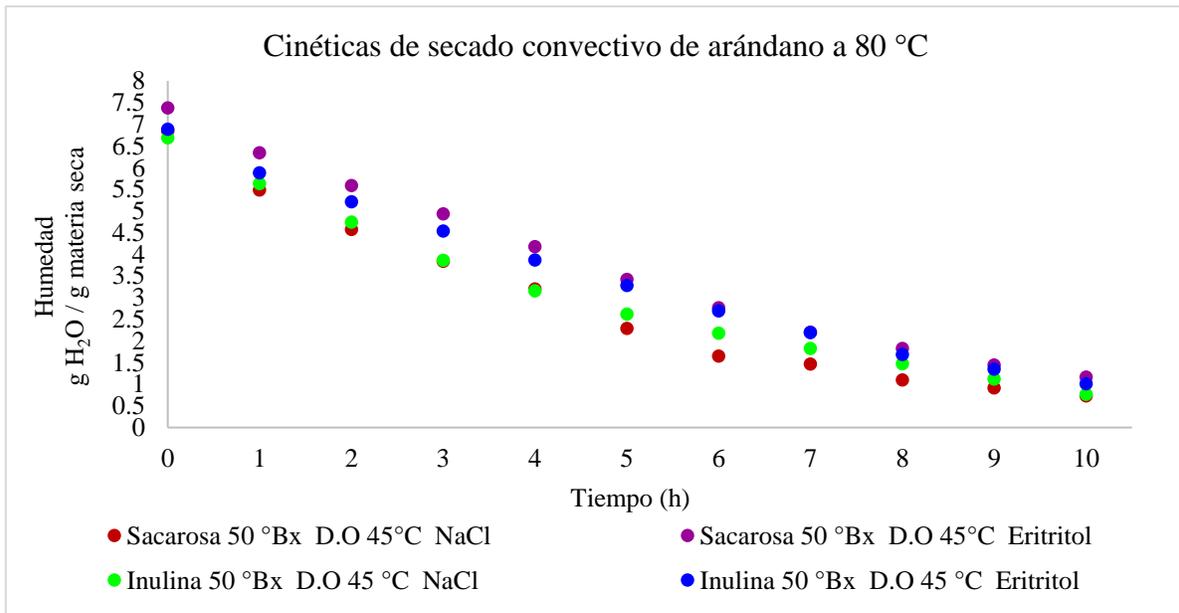
En la Figura 44 se pueden apreciar las 4 curvas para la fruta pretratada osmóticamente a 45 °C y secada convectivamente a 80 °C. La tendencia exponencial es clara para los 4 casos y no se observa, gráficamente, diferencias marcadas según el agente osmótico utilizado en el pretratamiento, siendo ligeramente mejores los tratamientos de inulina - NaCl alcanzando valores de 0.38 g H<sub>2</sub>O / g de materia seca y para el tratamiento de inulina – eritritol de 0.70 g H<sub>2</sub>O / g de materia seca.

En la Figura 45 para los pretratamientos efectuados a 55 °C se observa una deshidratación final ligeramente mayor que la indicada en la Figura 41, donde los pretratamientos fueron evaluados a 45 °C.

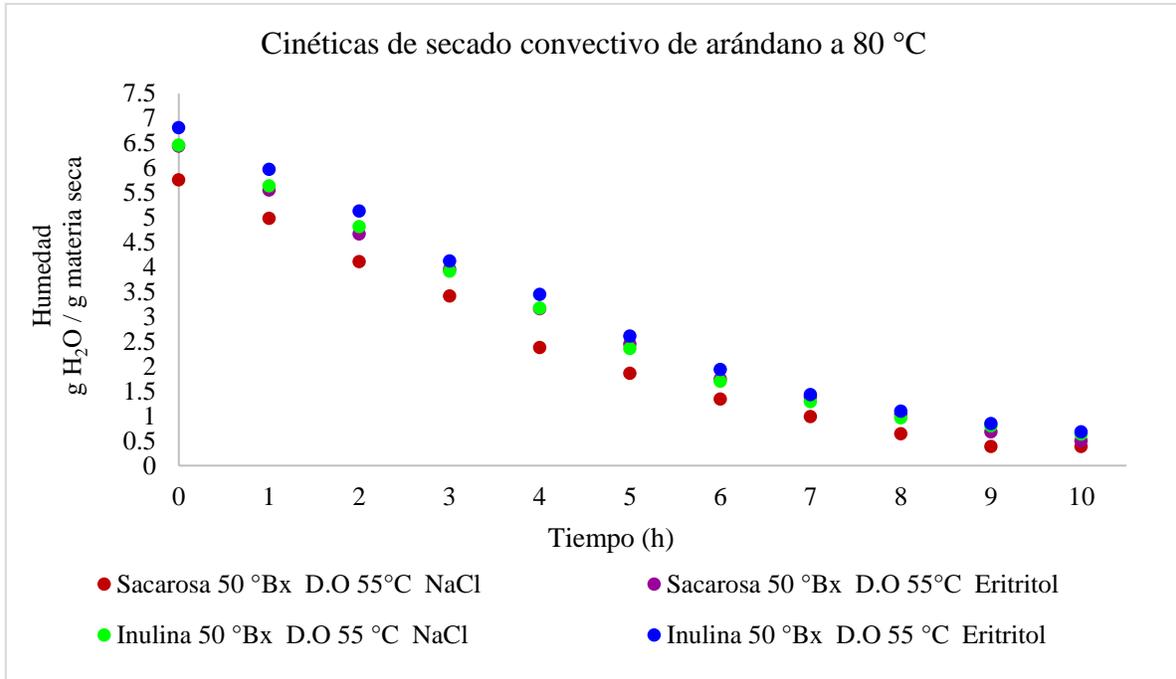
De nueva cuenta, ligeramente los mejores tratamientos fueron los de inulina – NaCl alcanzando valores de 0.48 g H<sub>2</sub>O / g de materia seca y para el tratamiento de inulina – eritritol de 0.59 g H<sub>2</sub>O / g de materia seca durante.

En la Figura 46 para los pretratamientos efectuados a 65 °C se observa una deshidratación final de nueva cuenta, ligeramente mayor que las indicadas en las Figuras 44 y 45, donde los pretratamientos fueron evaluados a 55 °C. Los mejores tratamientos fueron los de inulina - NaCl alcanzando valores de 0.43 g H<sub>2</sub>O / g de materia seca y para el tratamiento de inulina – eritritol de 0.56 g H<sub>2</sub>O / g de materia seca durante las 10 horas del proceso, y al igual que en las Figuras 44 y 45, las diferencias no son muy marcadas gráficamente.

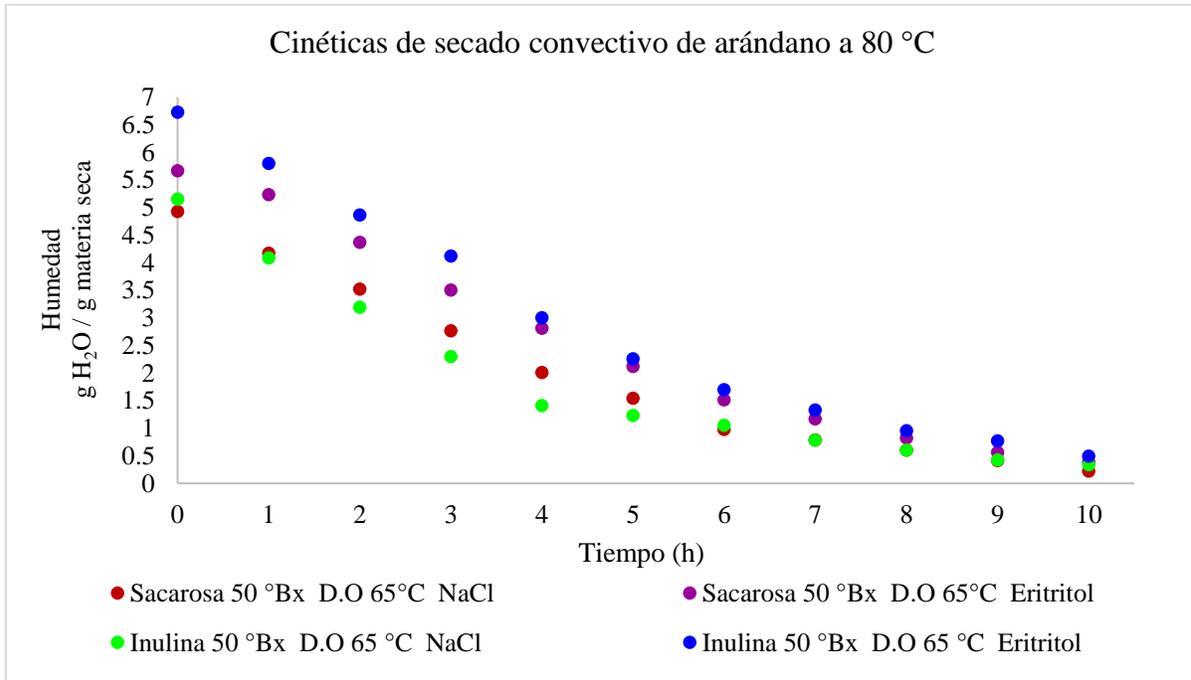
Se puede observar que todos los pretratamientos a 80 °C mejoraron las velocidades de secado del producto respecto a los controles, disminuyendo considerablemente el tiempo de secado. Estos resultados muestran que los arándanos con pretratamiento osmótico conforme aumentan la concentración y la temperatura de secado, contribuyen a incrementar la permeabilidad de las membranas celulares de los arándanos, conduciendo a un aumento de la difusividad del agua. En general las curvas experimentales evaluadas a 80 °C necesitaron de 11 horas para poder alcanzar el peso constante.



**Figura 44.** Cinéticas de secado convectivo de arándano a 80 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 50 °Brix, temperatura de 45 °C y NaCl y eritritol como inductores.



**Figura 45.** Cinéticas de secado convectivo de arándano a 80 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 50 °Brix, temperatura de 55 °C y NaCl y eritritol como inductores.



**Figura 46.** Cinéticas de secado convectivo de arándano a 80 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 50 °Brix, temperatura de 65 °C y NaCl y eritritol como inductores.

En general, para todos los experimentos de secado, se puede apreciar que las curvas se ajustan de mejor manera a un modelo exponencial, tal como indica (Rosell & Lluch, 1994) y a temperaturas de 70 y 80 °C, el contenido de humedad fue inferior al 18%, lo que les brinda a los arándanos un grado de estabilidad desde el punto de vista comercial e higiénico (Karathanos & Belessiotis, 1999). El aumento en las temperaturas de los pretratamientos osmóticos, así como de la temperatura de secado, independientemente de las concentraciones de las soluciones osmóticas y de los agentes utilizados, disminuyó el tiempo de secado en todos los casos, siendo las concentraciones y temperaturas más altas con las que se logró deshidratar de mejor manera el arándano. Los tratamientos de secado evaluados a 60 °C, requieren de 14 horas para alcanzar el peso constante, ya que dentro de las 10 horas los valores de humedad alcanzados que fueron arriba de 18 %, quedan por encima de lo aceptado comercialmente. Estas curvas de secado presentan la misma tendencia y comportamiento de acuerdo a lo reportado por (Apkinar, 2005); (Haro, 2004); (Ramaswamy & Nsonzi, 1998) y pueden permitir estimar la factibilidad económica de continuar un proceso de secado más allá de las 10 h de proceso o combinar de manera adecuada los tiempos de deshidratación osmótica y secado por aire para generar condiciones de proceso a un costo operativo menor tal como lo reporta en su trabajo Vega *et al.*, (2009).

#### **10.4 Modelación de las cinéticas de secado convectivo de arándano.**

Las curvas de secado (Figuras 19-46) mostraron una clara tendencia exponencial y solo se observó un período de tasa de caída, lo cual es muy común en los procesos de secado de frutas y verduras (Togrul & Pehlivan, 2003). De los modelos más utilizados para describir el comportamiento cinético del secado, se seleccionaron los modelos de Newton y de Page los cuales se ajustaron mejor.

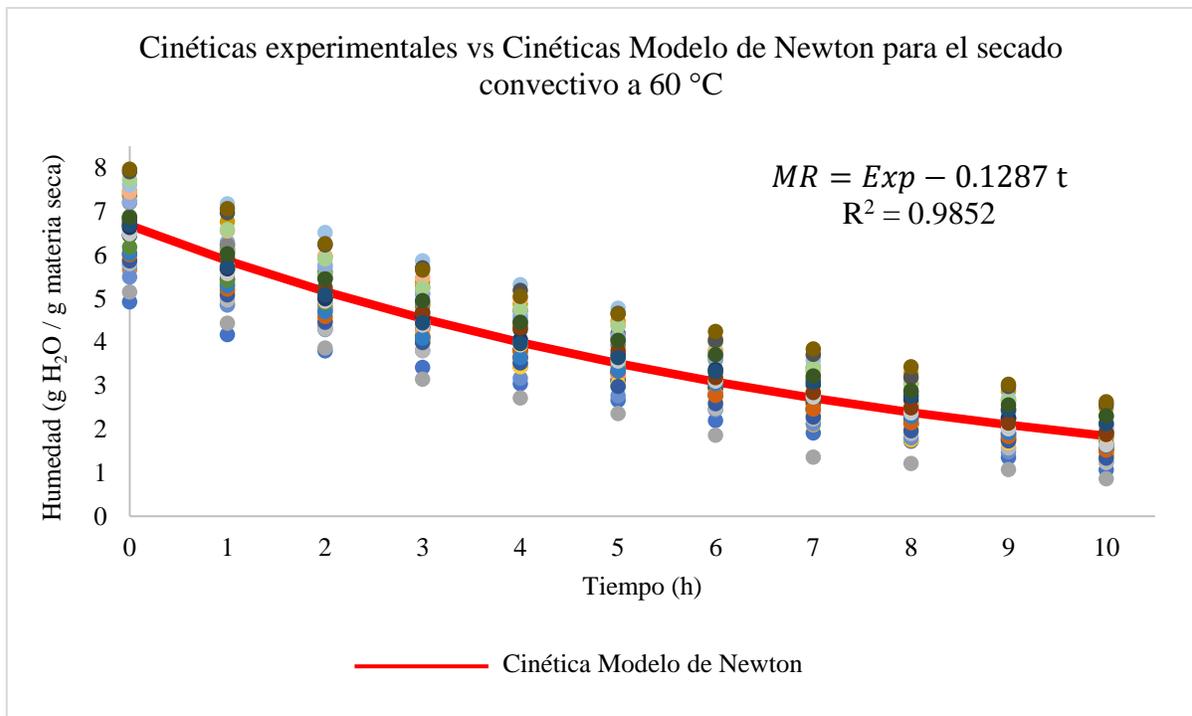
Las Tablas 6, 7 y 8 muestran los valores de los parámetros cinéticos para cada temperatura de secado evaluada, donde “k” tiene relación con la pérdida de humedad durante el secado en el tiempo “t”, “a” representa el contenido de humedad en base seca al momento de iniciar el secado y “n” es el parámetro adimensional, en el cual se corrieron los valores de 0 a 1, ajustándose los valores de mejor manera con 0.95.

Las Figuras 47-52 muestran los valores experimentales y calculados para las curvas de secado para cada temperatura evaluada, representadas por Humedad en base seca versus tiempo para los dos mejores modelos encontrados en esta investigación (Newton y Page). Ambos modelos proporcionaron buenos ajustes a los datos experimentales para todo un proceso de secado y dieron resultados similares desde el principio hasta el final, considerando la etapa intermedia del proceso de secado.

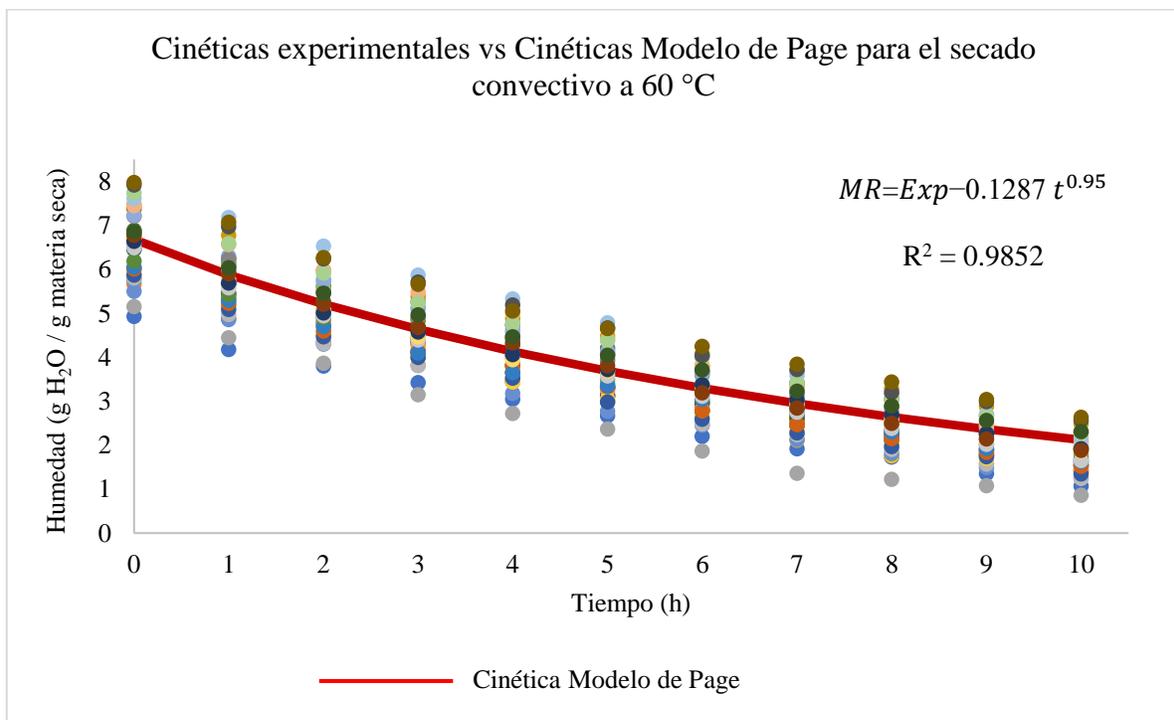
Las buenas estimaciones obtenidas por estos dos modelos representan resultados que no suelen dar muchos modelos, ya que la etapa intermedia del proceso de secado es el segmento donde se extrae la mayor parte del agua de los alimentos, esto coincide con lo reportado por Vega *et al.*, (2009). Por tanto, se puede decir que estos modelos nos brindan una buena simulación para la estimación del tiempo de secado óptimo ya que todos los modelos presentaron valores altos para el coeficiente de correlación ( $R^2 \geq 0.95$ ) a las tres temperaturas (60, 70 y 80 °C) sin importar la concentración del medio osmótico utilizado en el pretratamiento.

**Tabla 6.** Valores de los parámetros cinéticos para las curvas de secado de arándano a 60 °C.

<b>a</b>	<b>k</b>	<b>t</b>	<b>Modelo de Newton</b>	<b>Cinética Modelo (Newton)</b>	<b>n</b>	<b>Modelo de Page</b>	<b>Cinética Modelo (Page)</b>
6.6800	-0.1287	0	1	6.6801	0.95	1	6.6801
		1	0.8792	5.8729		0.8792	5.8729
		2	0.7729	5.1633		0.7797	5.2088
		3	0.6795	4.5394		0.6937	4.6341
		4	0.5974	3.9909		0.6184	4.1310
		5	0.5252	3.5087		0.5521	3.6878
		6	0.4618	3.0847		0.4934	3.2959
		7	0.4060	2.7120		0.4414	2.9484
		8	0.3569	2.3843		0.3952	2.6396
		9	0.3138	2.0962		0.3540	2.3649
		10	0.2759	1.8429		0.3174	2.1200



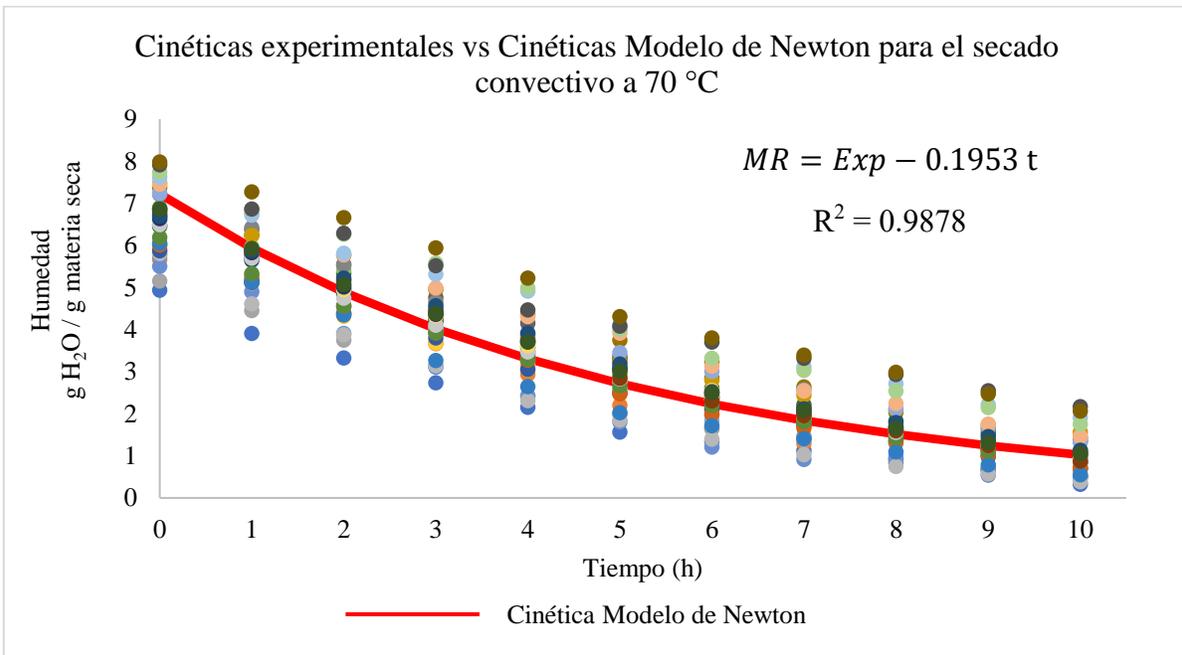
**Figura 47.** Cinéticas experimentales vs Cinéticas Modelo de Newton para el secado convectivo a 60 °C.



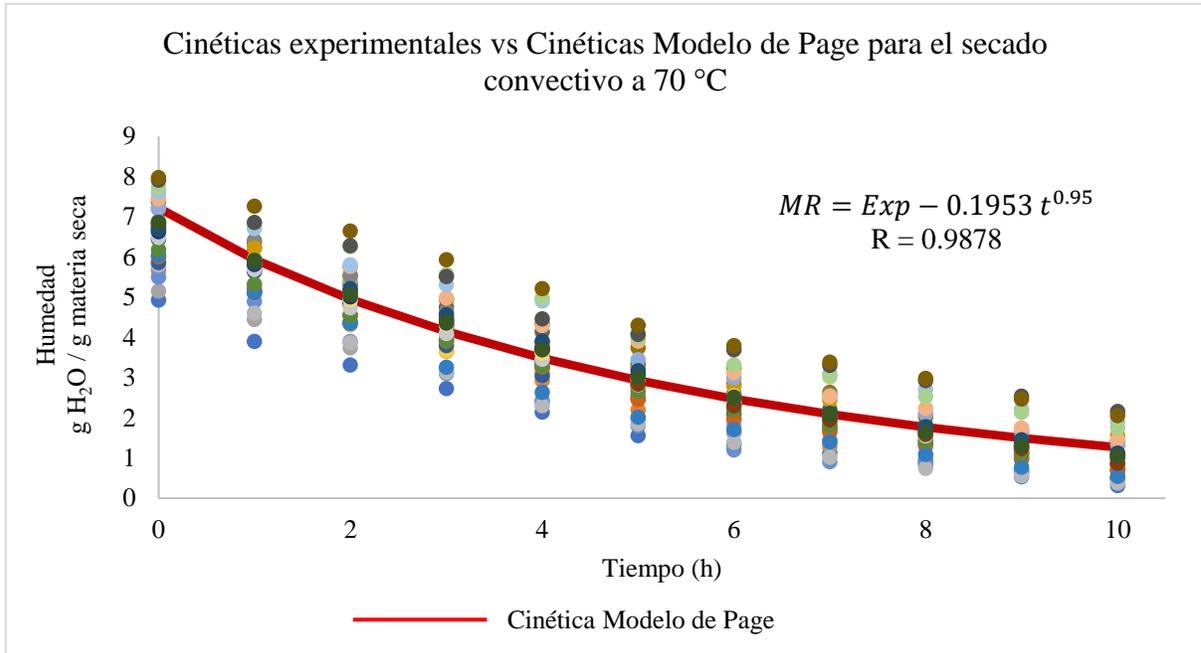
**Figura 48.** Cinéticas experimentales vs Cinéticas Modelo de Page para el secado convectivo a 60 °C.

**Tabla 7.** Valores de los parámetros cinéticos para las curvas de secado de arándano a 70 °C.

a	k	t	Modelo de Newton	Cinética Modelo (Newton)	n	Modelo de Page	Cinética Modelo (Page)
7.2196	-0.1954	0	1	7.2196	0.95	1	7.2196
		1	0.8225	5.9382		0.8225	5.9382
		2	0.6765	4.8843		0.6856	4.9497
		3	0.5565	4.0174		0.5742	4.1452
		4	0.4577	3.3044		0.4823	3.4819
		5	0.3765	2.7179		0.4060	2.9311
		6	0.3096	2.2355		0.3424	2.4717
		7	0.2547	1.8387		0.2891	2.0873
		8	0.2095	1.5124		0.2444	1.7648
		9	0.1723	1.2440		0.2069	1.4937
		10	0.1417	1.0232		0.1753	1.2654



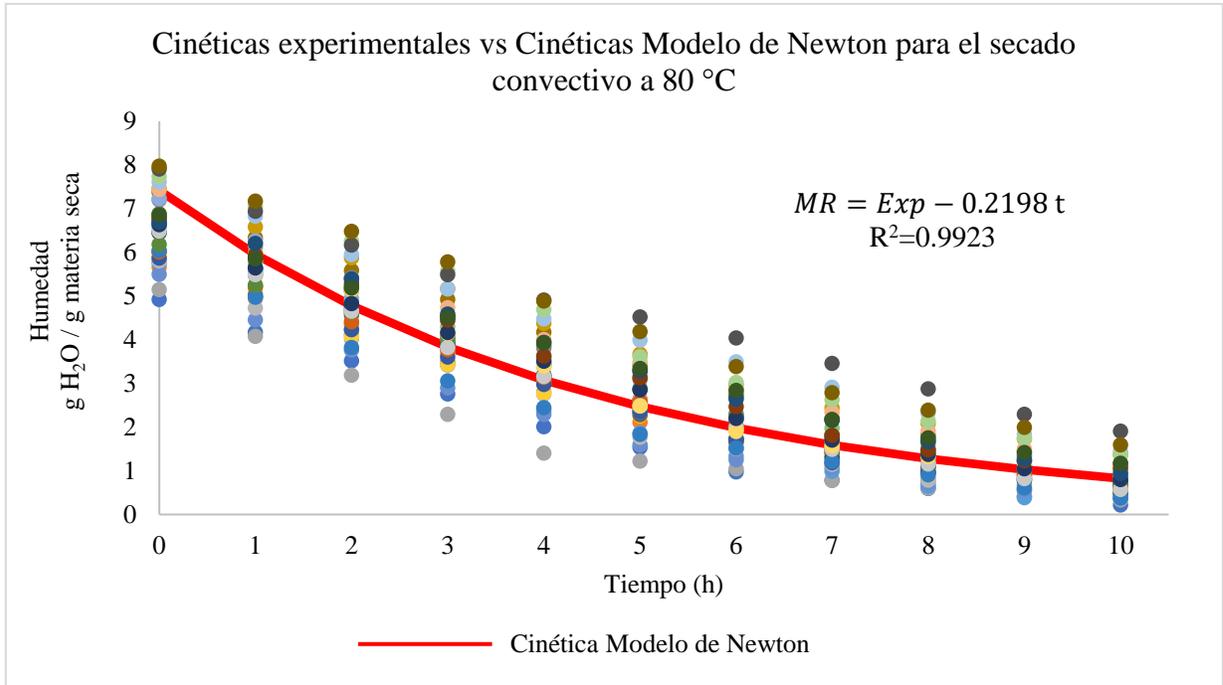
**Figura 49.** Cinéticas experimentales vs Cinéticas Modelo de Newton para el secado convectivo a 70 °C.



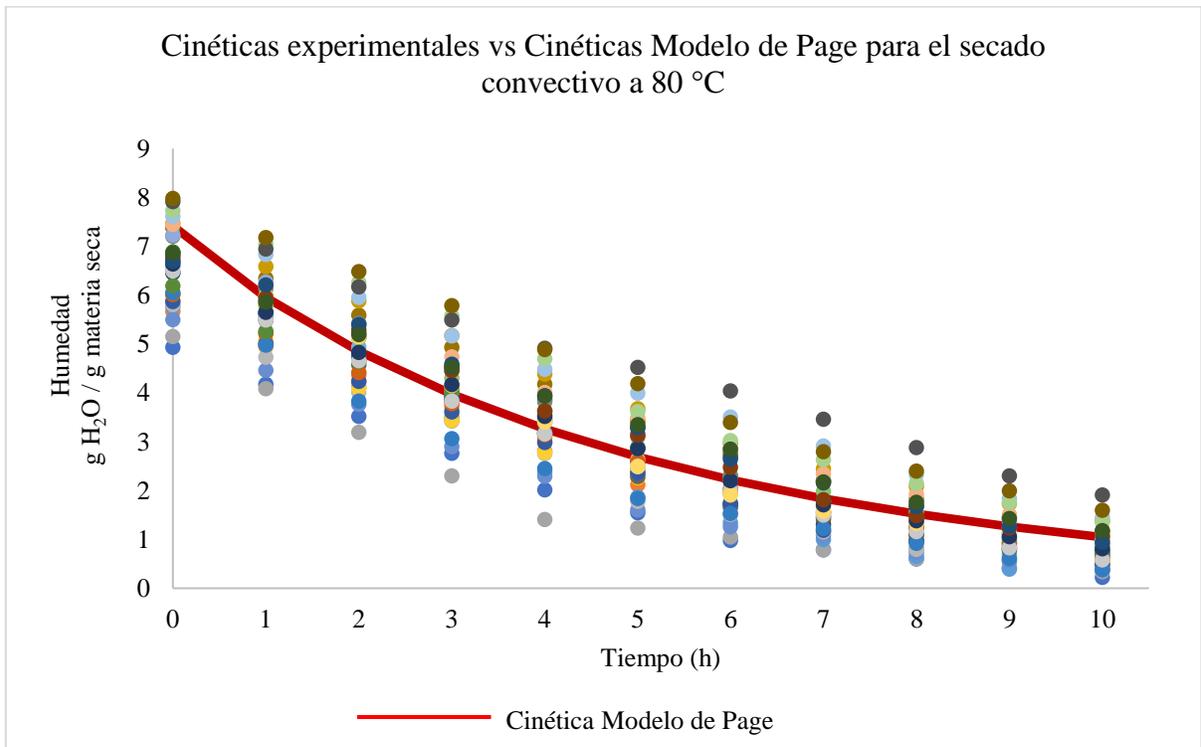
**Figura 50.** Cinéticas experimentales vs Cinéticas Modelo de Page para el secado convectivo a 70 °C.

**Tabla 8.** Valores de los parámetros cinéticos para las curvas de secado de arándano a 80 °C.

a	k	t	Modelo de Newton	Cinética Modelo (Newton)	n	Modelo de Page	Cinética Modelo (Page)
7.4160	-0.2198	0	1	7.4160	0.95	1	7.4160
		1	0.8027	5.9527		0.8027	5.9527
		2	0.6443	4.7781		0.6540	4.8501
		3	0.5172	3.8352		0.5357	3.9728
		4	0.4151	3.0784		0.4403	3.2651
		5	0.3332	2.4710		0.3627	2.6901
		6	0.2674	1.9834		0.2994	2.2207
		7	0.2147	1.5920		0.2476	1.8361
		8	0.1723	1.2779		0.2050	1.5202
		9	0.1383	1.0257		0.1699	1.2601
		10	0.1110	0.8233		0.1410	1.0456



**Figura 51.** Cinéticas experimentales vs Cinéticas Modelo de Newton para el secado convectivo a 80 °C.



**Figura 52.** Cinéticas experimentales vs Cinéticas Modelo de Page para el secado convectivo a 80 °C.

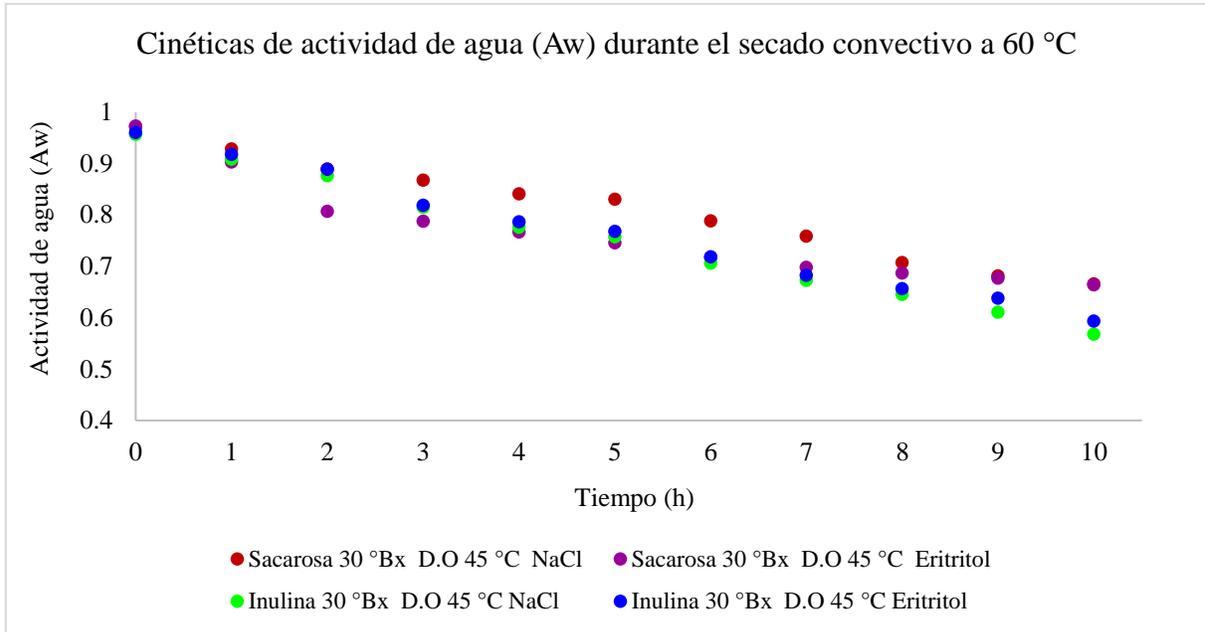
### **10.5 Cinéticas de actividad de agua durante el secado convectivo de arándano.**

Las Figuras 53, 54 y 55 nos muestran el comportamiento de las curvas de actividad de agua a 60 °C durante las 10 horas del proceso obtenidas para los distintos pretratamientos evaluados con sacarosa e inulina a 30 °Brix y a temperaturas previas de deshidratación osmótica de 45, 55 y 65 °C respectivamente. Al inicio del proceso los arándanos tenían un promedio de actividad de agua entre 0.95 y 0.97, las variaciones en estos valores fueron influenciado por el pretratamiento osmótico al que fueron sometidos antes del secado convectivo.

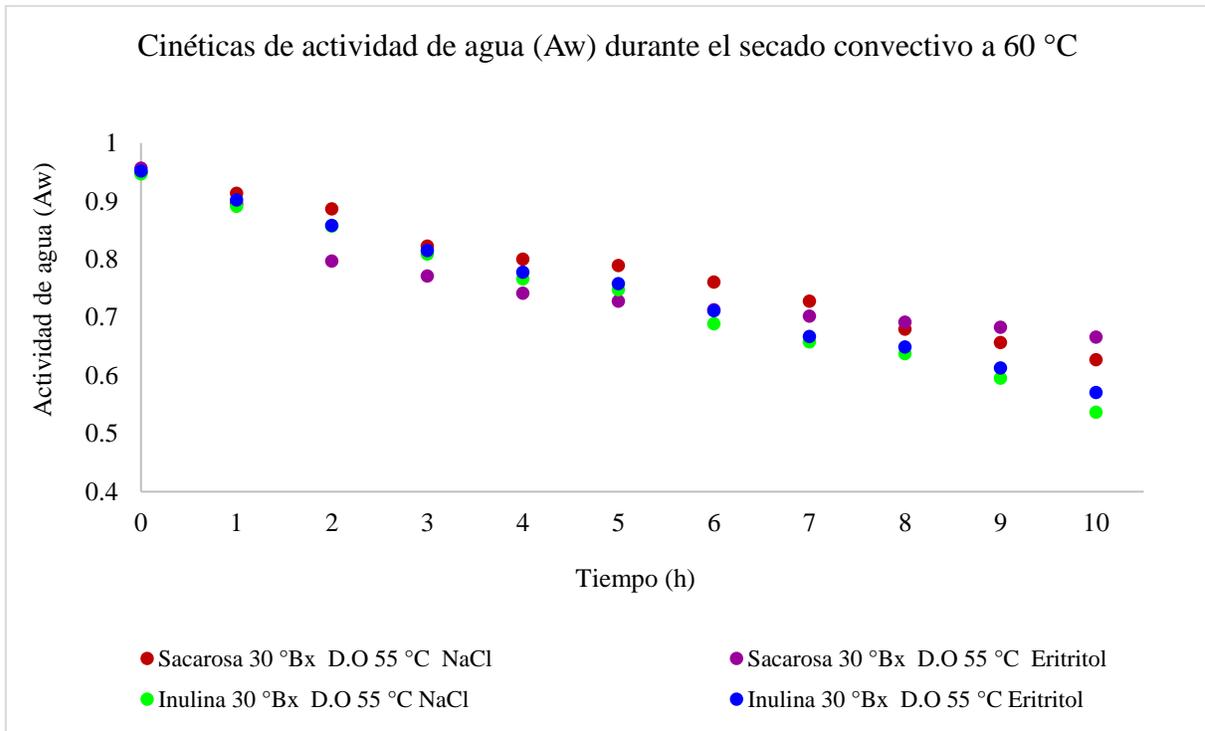
En la Figura 53 el comportamiento entre los dos agentes osmóticos fue muy similar, notándose gráficamente una ligera diferencia entre los tratamientos en los que se empleó como inductor NaCl, los cuales alcanzaron los valores más bajos de actividad de agua, 0.57 para el tratamiento de inulina - NaCl y 0.66 para el tratamiento de sacarosa – NaCl.

En la Figura 54 se pueden apreciar las 4 curvas para la fruta pretratada osmóticamente a 55 °C y secada convectivamente a 60 °C. Se puede observar que, de igual manera, la tendencia de los valores de actividad de agua fue similar respecto a los inductores utilizados, alcanzando los valores más bajos de 0.54 y para el tratamiento de inulina- NaCl y 0.63 para el tratamiento de sacarosa – NaCl.

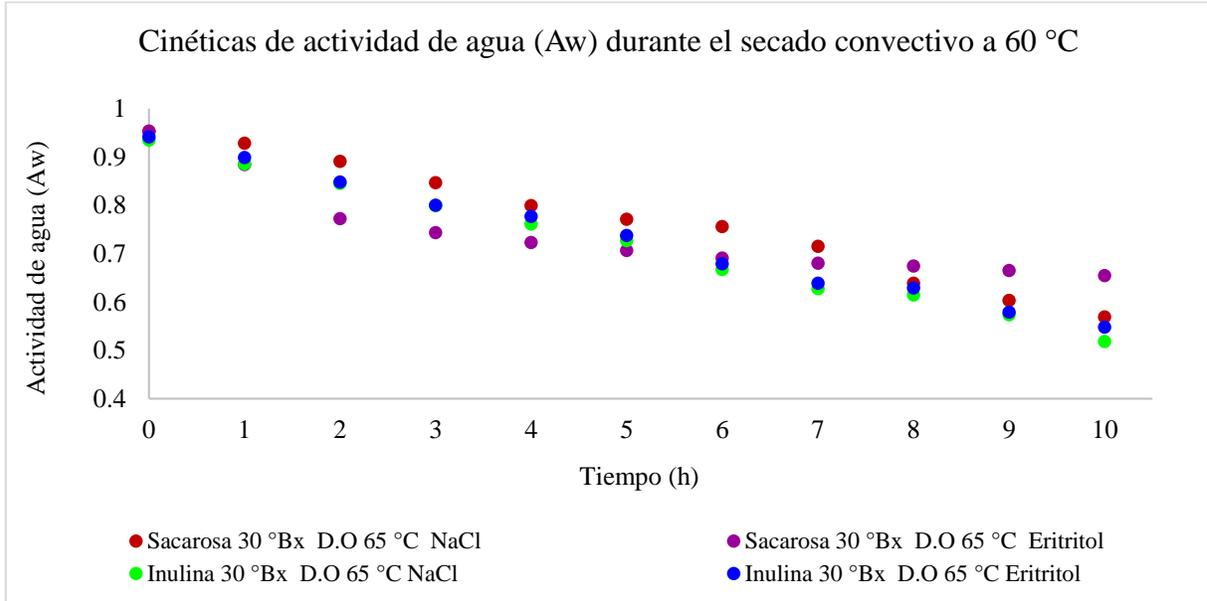
En la Figura 55 para la fruta pretratada osmóticamente a 65 °C y secada convectivamente a 60 °C, los valores más bajos alcanzados fueron de 0.51 para el tratamiento de inulina- NaCl y 0.57 para el tratamiento de sacarosa – NaCl.



**Figura 53.** Cinéticas de actividad de agua durante el secado convectivo de arándano a 60 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 30 °Brix, temperatura de 45 °C y NaCl y eritritol como inductores.



**Figura 54.** Cinéticas de actividad de agua durante el secado convectivo de arándano a 60 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 30 °Brix, temperatura de 55 °C y NaCl y eritritol como inductores.



**Figura 55.** Cinéticas de actividad de agua durante el secado convectivo de arándano a 60 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 30 °Brix, temperatura de 65 °C y NaCl y eritritol como inductores.

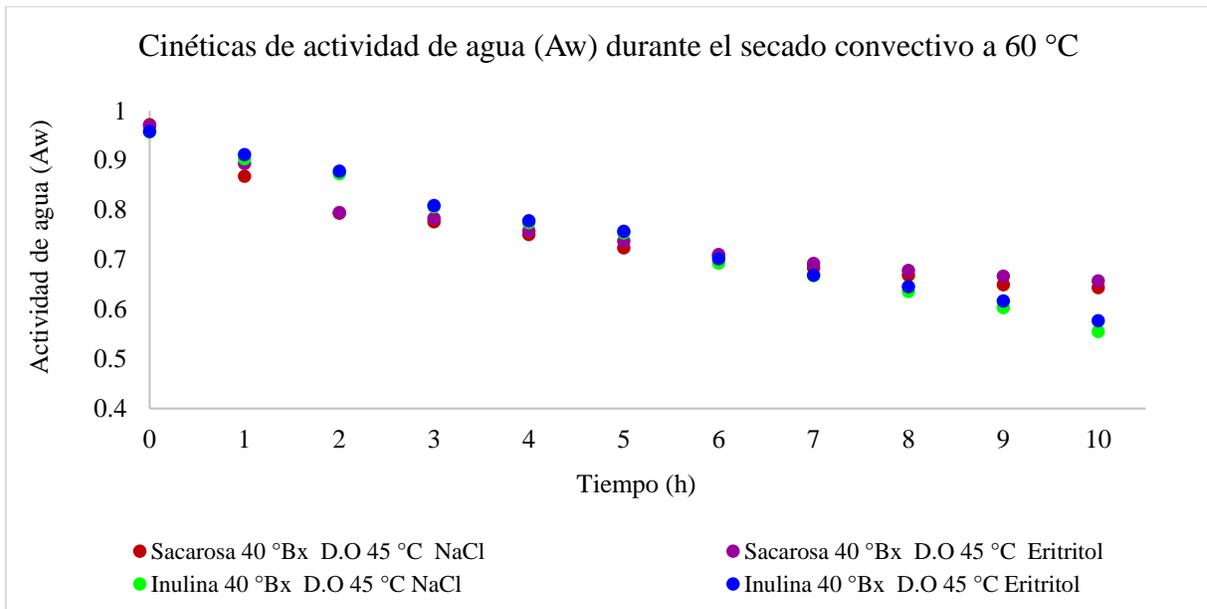
Las Figuras 56, 57 y 58 nos muestran el comportamiento de las curvas de actividad de agua a 60 °C durante las 10 horas del proceso obtenidas para los distintos pretratamientos evaluados con sacarosa e inulina a 40 °Brix y a temperaturas previas de deshidratación osmótica de 45, 55 y 65 °C respectivamente. Al inicio del proceso los arándanos tenían un promedio de actividad de agua entre 0.95 y 0.97, las variaciones en estos valores fueron influenciado por el pretratamiento osmótico al que fueron sometidos antes del secado convectivo.

En la Figura 56 el comportamiento entre los dos agentes osmóticos fue muy similar, notándose gráficamente una ligera diferencia entre los tratamientos en los que se empleó como inductor NaCl, los cuales alcanzaron los valores más bajos de actividad de agua, 0.55 para el tratamiento de inulina - NaCl y 0.64 para el tratamiento de sacarosa – NaCl.

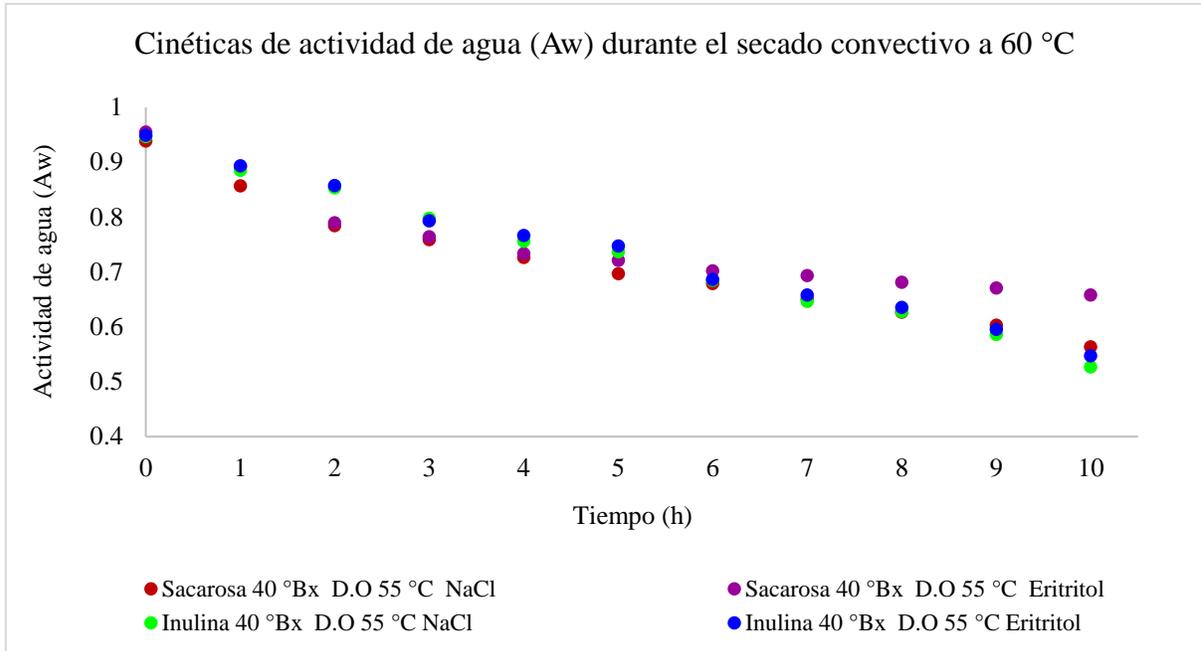
En la Figura 57 se pueden apreciar las 4 curvas para la fruta pretratada osmóticamente a 55 °C y secada convectivamente a 60 °C. Se puede observar que, de igual manera, la tendencia de los valores de actividad de agua fue similar respecto a los inductores utilizados,

alcanzando los valores más bajos de 0.53 y para el tratamiento de inulina- NaCl y 0.57 para el tratamiento de sacarosa – NaCl.

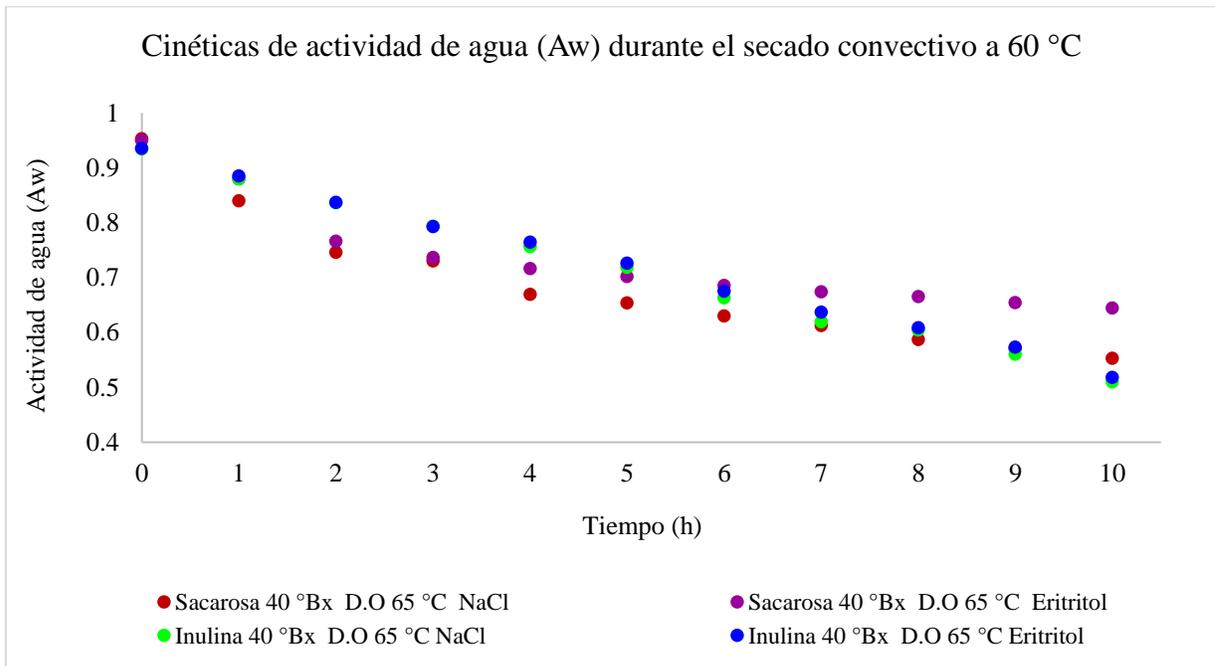
En la Figura 58 para la fruta pretratada osmóticamente a 65 °C y secada convectivamente a 60 °C. Los valores más bajos alcanzados fueron de 0.50 para el tratamiento de inulina- NaCl y 0.55 para el tratamiento de sacarosa – NaCl. El factor de la temperatura nuevamente tuvo relación con el decremento de la actividad de agua y al haber un aumento en la concentración de los pretratamientos osmóticos se alcanzaron valores de actividad de agua ligeramente más bajos que los mostrados en las Figuras anteriores donde la concentración fue de 30 °Brix.



**Figura 56.** Cinéticas de actividad de agua durante el secado convectivo de arándano a 60 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 40 °Brix, temperatura de 45 °C y NaCl y eritritol como inductores.



**Figura 57.** Cinéticas de actividad de agua durante el secado convectivo de arándano a 60 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 40 °Brix, temperatura de 55 °C y NaCl y eritritol como inductores.



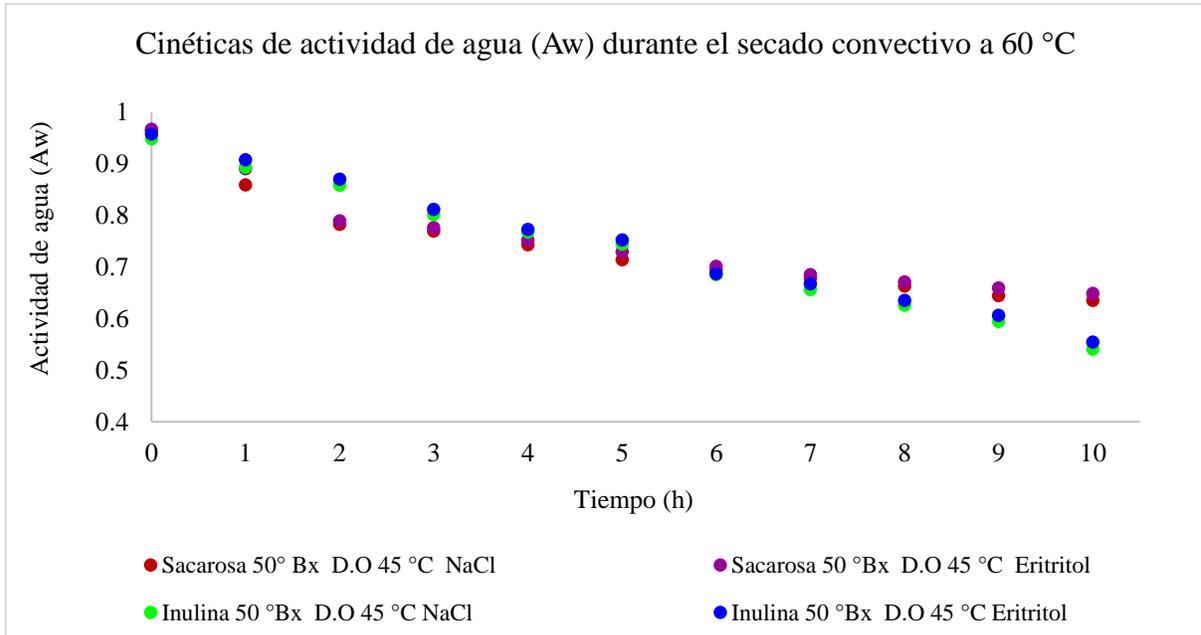
**Figura 58.** Cinéticas de actividad de agua durante el secado convectivo de arándano a 60 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 40 °Brix, temperatura de 65 °C y NaCl y eritritol como inductores.

Las Figuras 59, 60 y 61 nos muestran el comportamiento de las curvas de actividad de agua a 60 °C durante las 10 horas del proceso obtenidas para los distintos pretratamientos evaluados con sacarosa e inulina a 50 °Brix y a temperaturas previas de deshidratación osmótica de 45, 55 y 65 °C respectivamente. Al inicio del proceso los arándanos tenían un promedio de actividad de agua entre 0.95 y 0.97, las variaciones en estos valores fueron influenciado por el pretratamiento osmótico al que fueron sometidos antes del secado convectivo.

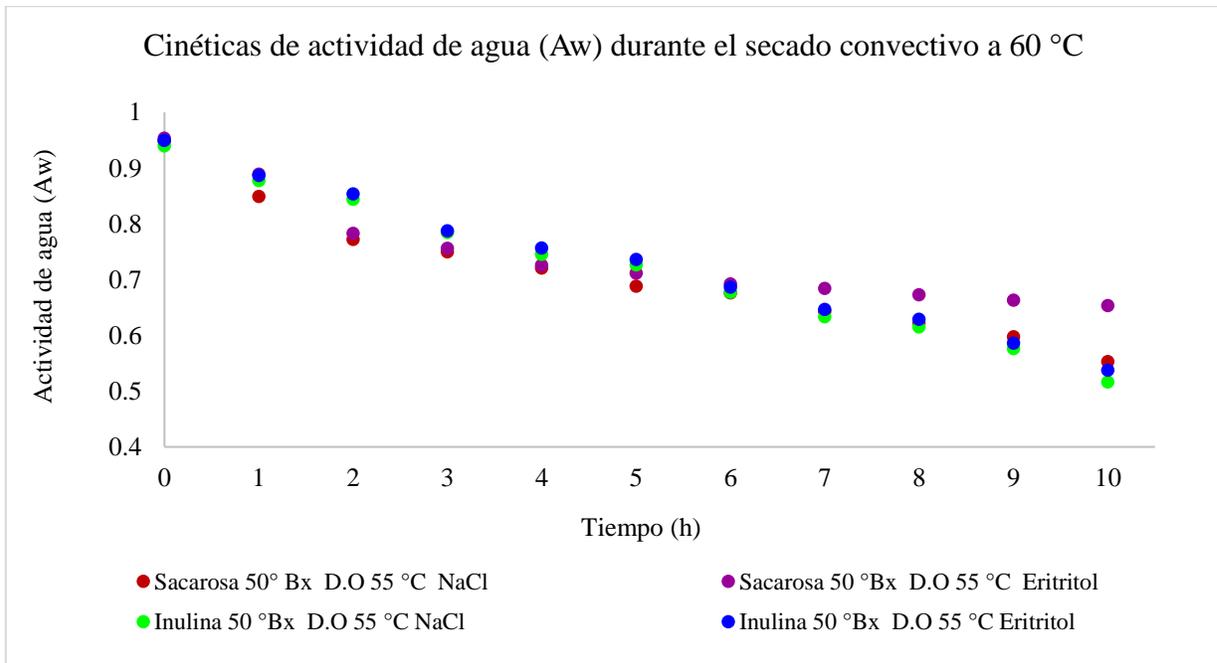
En la Figura 59 el comportamiento entre los dos agentes osmóticos fue muy similar durante la mayoría del tiempo y fue hasta la hora final donde se notó una diferencia entre ellos. Los tratamientos en los que se empleó como inductor NaCl alcanzaron los valores más bajos de actividad de agua, 0.54 para el tratamiento de inulina - NaCl y 0.63 para el tratamiento de sacarosa – NaCl.

En la Figura 60 se pueden apreciar las 4 curvas para la fruta pretratada osmóticamente a 55 °C y secada convectivamente a 60 °C. Se puede observar que el comportamiento entre los tratamientos fue muy similar con excepción del tratamiento de sacarosa – eritritol, los valores de actividad de agua fue similar respecto a los inductores utilizados, alcanzando los valores más bajos de 0.51 y para el tratamiento de inulina- NaCl y 0.55 para el tratamiento de sacarosa – NaCl.

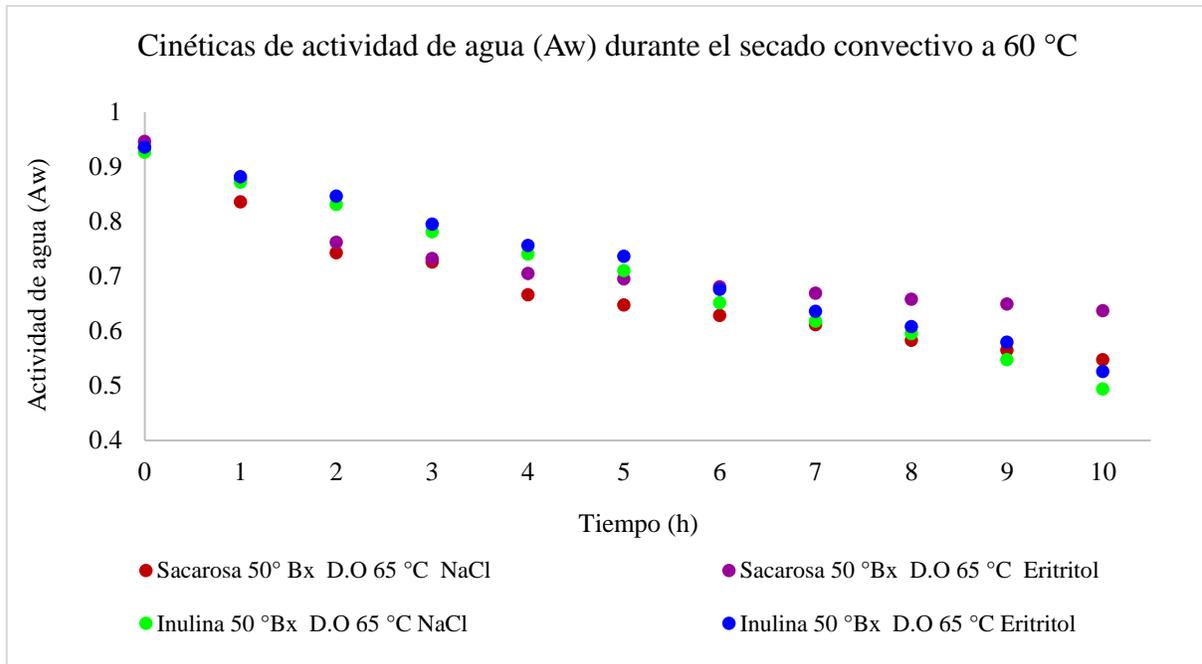
En la Figura 61 para la fruta pretratada osmóticamente a 65 °C y secada convectivamente a 60 °C. Los valores más bajos alcanzados fueron de 0.49 para el tratamiento de inulina- NaCl y 0.54 para el tratamiento de sacarosa – NaCl. El factor de la temperatura nuevamente tuvo relación con el decremento de la actividad de agua y al haber de nuevo un aumento en la concentración de los pretratamientos osmóticos se alcanzaron valores de actividad de agua ligeramente más bajos que los mostrados en las Figuras anteriores donde la concentración fue de 40 °Brix.



**Figura 59.** Cinéticas de actividad de agua durante el secado convectivo de arándano a 60 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 50 °Brix, temperatura de 45 °C y NaCl y eritritol como inductores.



**Figura 60.** Cinéticas de actividad de agua durante el secado convectivo de arándano a 60 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 50 °Brix, temperatura de 55 °C y NaCl y eritritol como inductores.



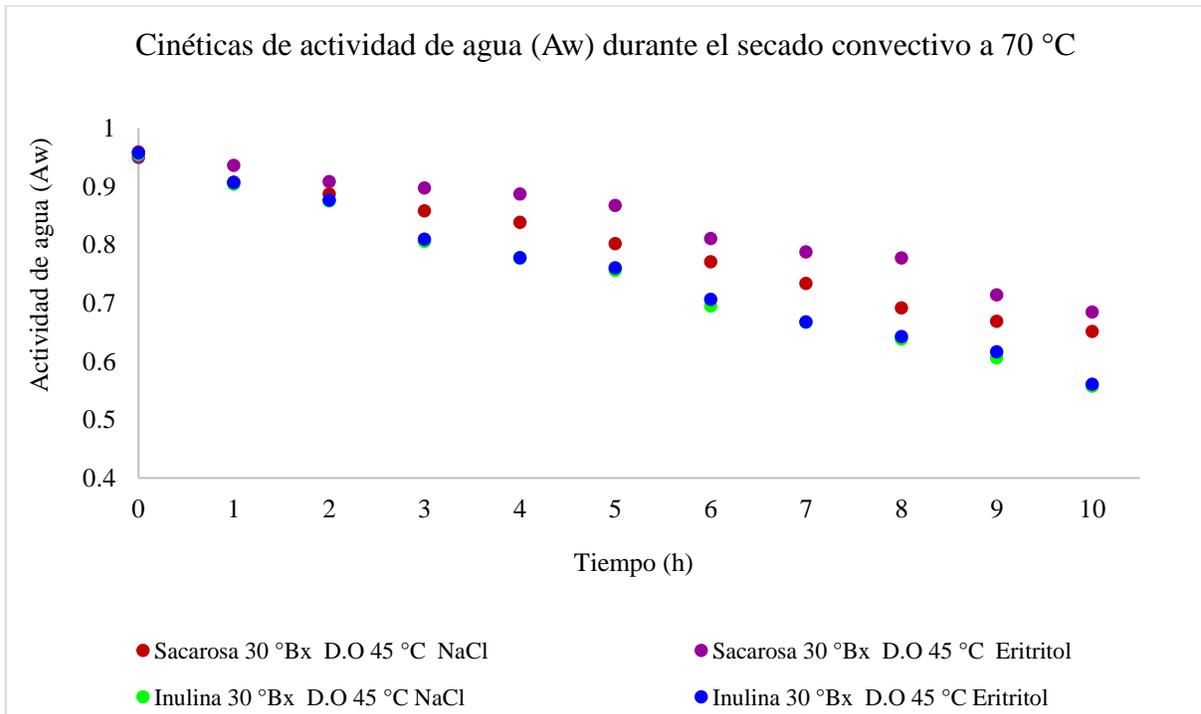
**Figura 61.** Cinéticas de actividad de agua durante el secado convectivo de arándano a 60 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 50 °Brix, temperatura de 65 °C y NaCl y eritritol como inductores.

Las Figuras 62, 63 y 64 nos muestran el comportamiento de las curvas de actividad de agua a 70 °C durante las 10 horas del proceso obtenidas para los distintos pretratamientos evaluados con sacarosa e inulina a 30 °Brix y a temperaturas previas de deshidratación osmótica de 45, 55 y 65 °C respectivamente. Al inicio del proceso los arándanos tenían un promedio de actividad de agua entre 0.95 y 0.97, las variaciones en estos valores fueron influenciado por el pretratamiento osmótico al que fueron sometidos antes del secado convectivo.

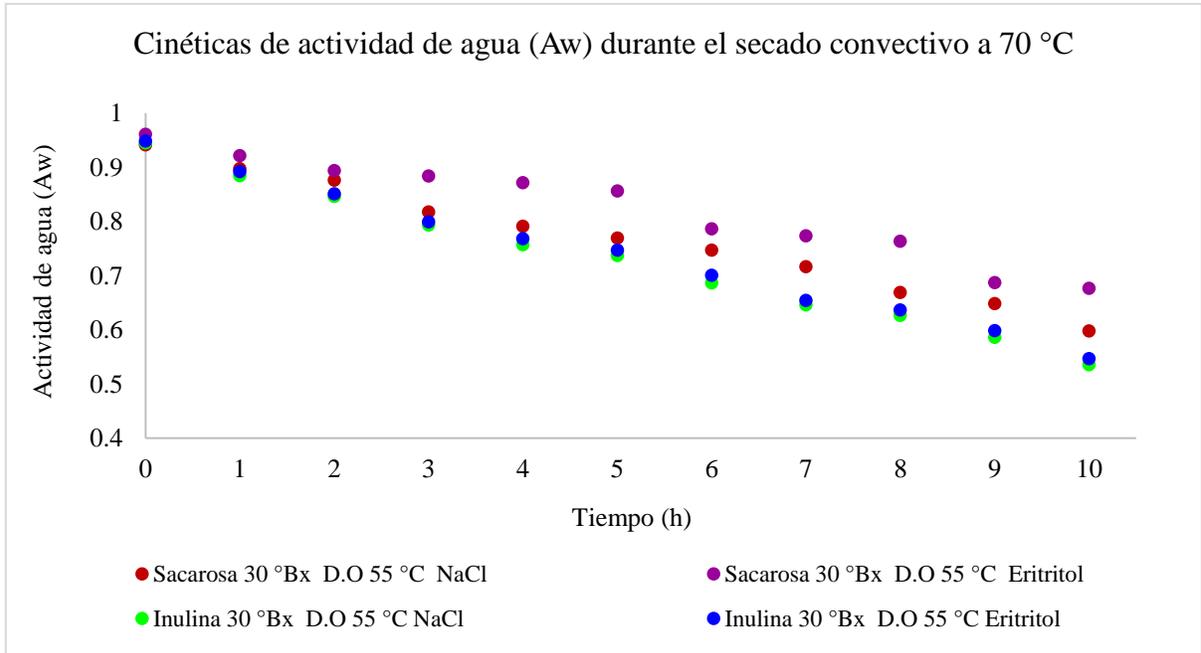
En la Figura 62 el comportamiento entre los dos agentes osmóticos fue muy similar durante la mayoría del tiempo y fue hasta la hora final donde se notó una diferencia entre ellos. Los tratamientos en los que se empleó como inductor NaCl alcanzaron los valores más bajos de actividad de agua, 0.55 para el tratamiento de inulina - NaCl y 0.65 para el tratamiento de sacarosa – NaCl.

En la Figura 63 se pueden apreciar las 4 curvas para la fruta pretratada osmóticamente a 55 °C y secada convectivamente a 60 °C. Se puede observar que el comportamiento entre los tratamientos fue muy similar con excepción del tratamiento de sacarosa – eritritol, los valores de actividad de agua fue similar respecto a los inductores utilizados, alcanzando los valores más bajos de 0.54 y para el tratamiento de inulina- NaCl y 0.59 para el tratamiento de sacarosa – NaCl.

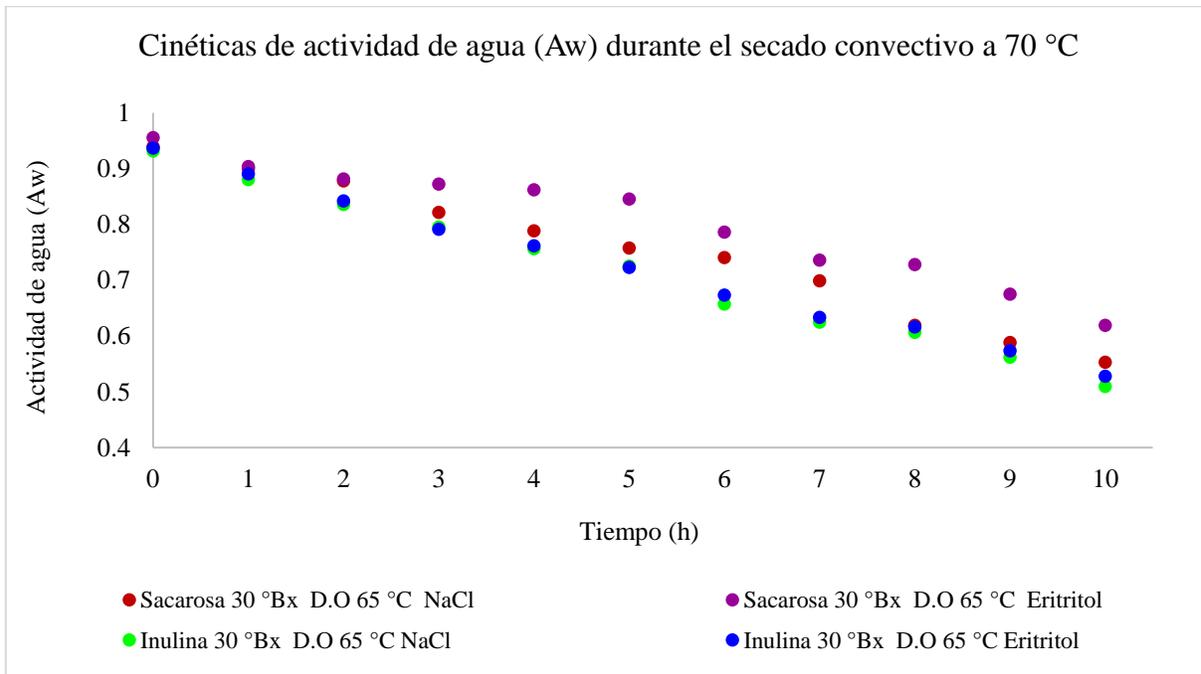
En la Figura 64 para la fruta pretratada osmóticamente a 65 °C y secada convectivamente a 60 °C. Los valores más bajos alcanzados fueron de 0.51 para el tratamiento de inulina- NaCl y 0.55 para el tratamiento de sacarosa – NaCl. El factor de la temperatura nuevamente tuvo relación con los contenidos de la actividad de agua, ya que el aumento a 70 °C durante el secado convectivo nos permitió alcanzar valores más bajos que en los tratamientos evaluados a las mismas condiciones de pretratamiento osmótico, pero a 60 °C durante el secado convectivo.



**Figura 62.** Cinéticas de actividad de agua durante el secado convectivo de arándano a 70 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 30 °Brix, temperatura de 45 °C y NaCl y eritritol como inductores.



**Figura 63.** Cinéticas de actividad de agua durante el secado convectivo de arándano a 70 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 30 °Brix, temperatura de 55 °C y NaCl y eritritol como inductores.



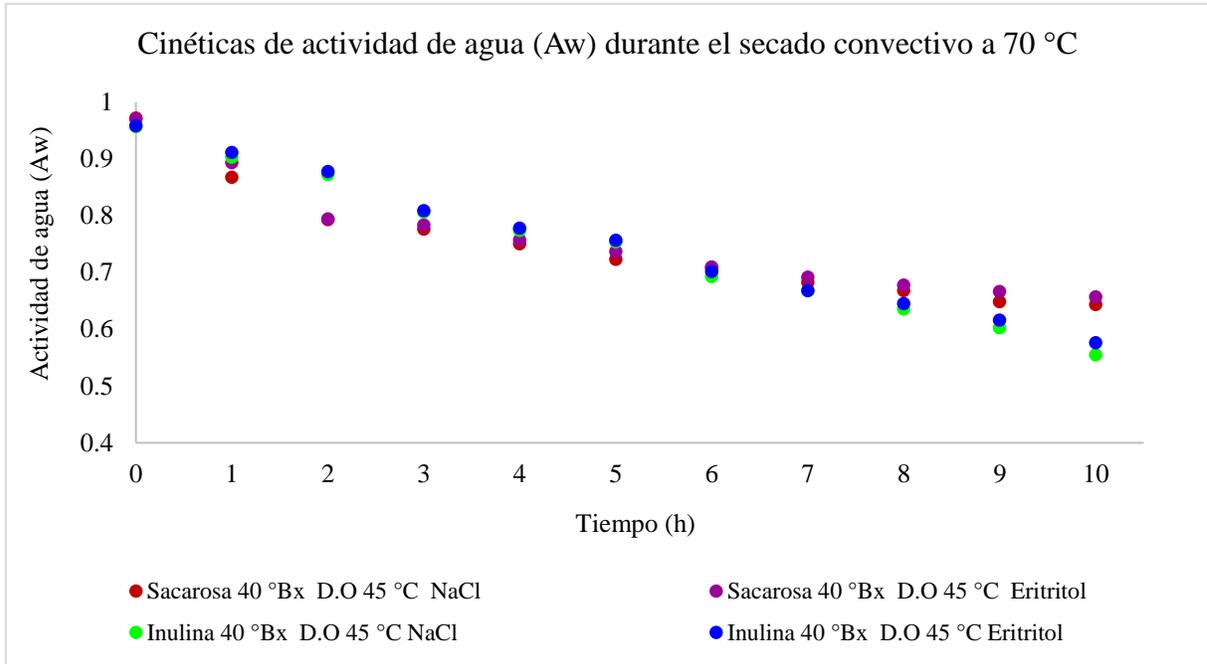
**Figura 64.** Cinéticas de actividad de agua durante el secado convectivo de arándano a 70 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 30 °Brix, temperatura de 65 °C y NaCl y eritritol como inductores.

Las Figuras 65, 66 y 67 nos muestran el comportamiento de las curvas de actividad de agua a 70 °C durante las 10 horas del proceso obtenidas para los distintos pretratamientos evaluados con sacarosa e inulina a 40 °Brix y a temperaturas previas de deshidratación osmótica de 45, 55 y 65 °C respectivamente. Al inicio del proceso los arándanos tenían un promedio de actividad de agua entre 0.95 y 0.97, las variaciones en estos valores fueron influenciado por el pretratamiento osmótico al que fueron sometidos antes del secado convectivo.

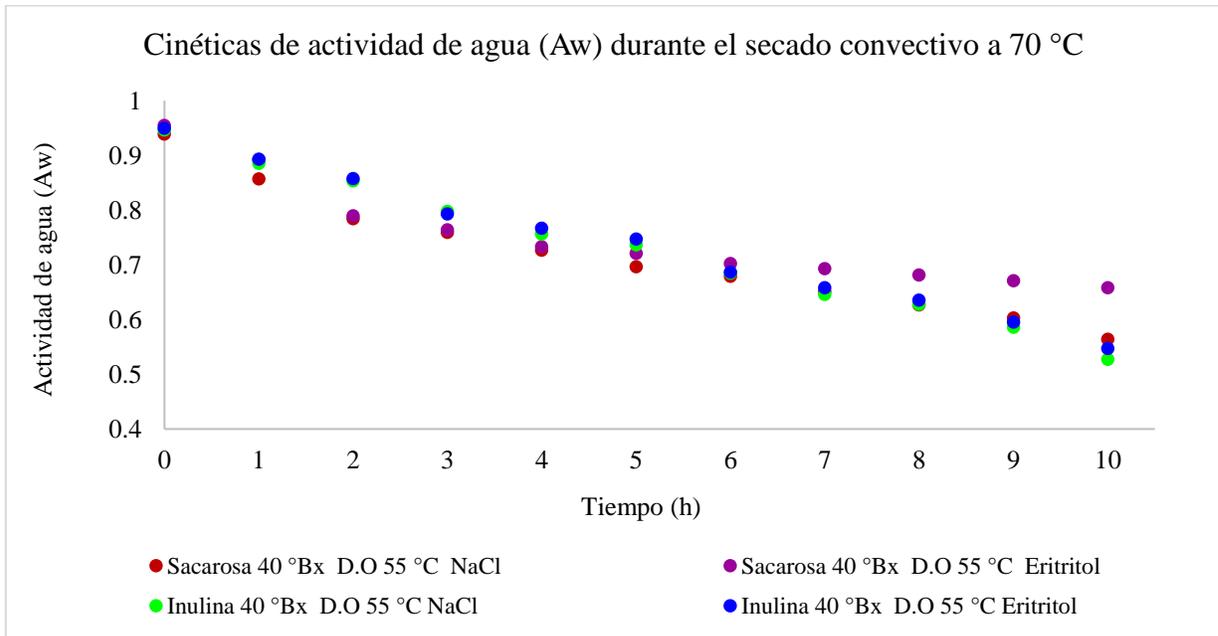
En la Figura 65 el comportamiento entre los dos agentes osmóticos fue muy similar durante la mayoría del tiempo y fue hasta la hora final donde se notó una diferencia entre ellos. Los tratamientos en los que se empleó como inductor NaCl alcanzaron los valores más bajos de actividad de agua, 0.54 para el tratamiento de inulina - NaCl y 0.63 para el tratamiento de sacarosa – NaCl.

En la Figura 66 se pueden apreciar las 4 curvas para la fruta pretratada osmóticamente a 55 °C y secada convectivamente a 70 °C. Se puede observar que el comportamiento entre los tratamientos fue muy similar con excepción del tratamiento de sacarosa – eritritol, los valores de actividad de agua fue similar respecto a los inductores utilizados, alcanzando los valores más bajos de 0.53 y para el tratamiento de inulina- NaCl y 0.55 para el tratamiento de sacarosa – NaCl.

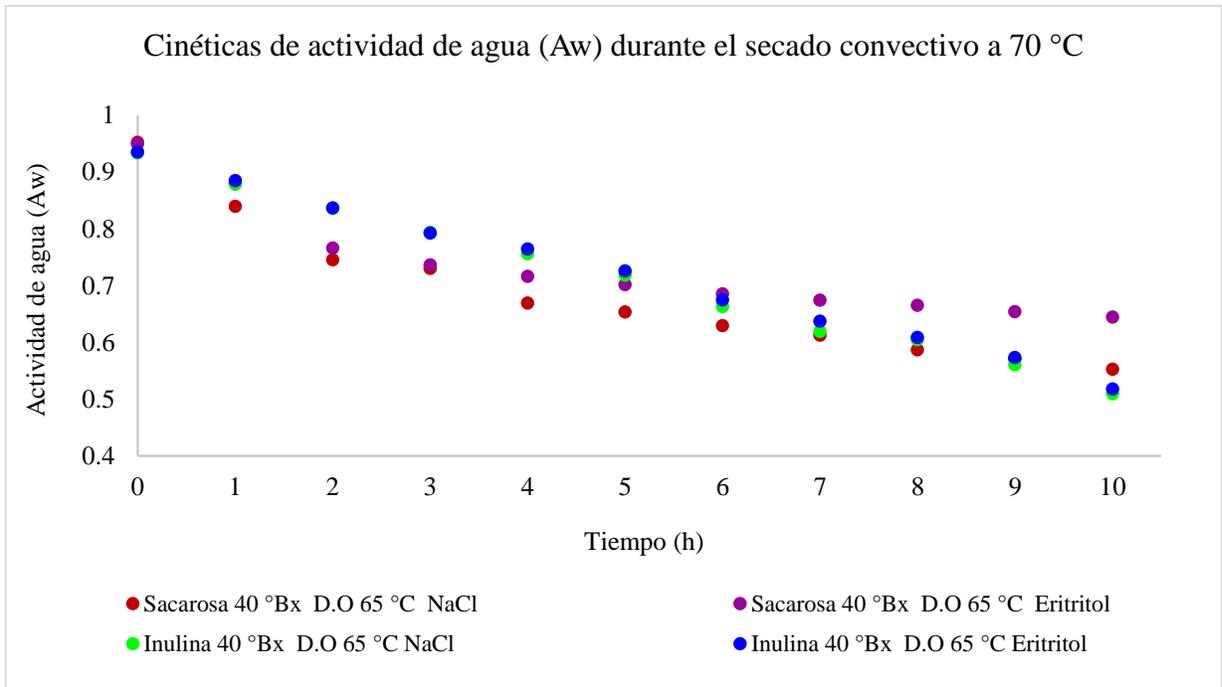
En la Figura 67 para la fruta pretratada osmóticamente a 65 °C y secada convectivamente a 70 °C. Los valores más bajos alcanzados fueron de 0.50 para el tratamiento de inulina- NaCl y 0.53 para el tratamiento de sacarosa – NaCl. El factor de la temperatura y el aumento de la concentración de la solución a 40 °Brix durante el pretratamiento osmótico nos permitió alcanzar valores más bajos que en los tratamientos evaluados a las mismas condiciones de temperatura de secado convectivo, pero con concentración de la solución de 30 °Brix.



**Figura 65.** Cinéticas de actividad de agua durante el secado convectivo de arándano a 70 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 40 °Brix, temperatura de 45 °C y NaCl y eritritol como inductores.



**Figura 66.** Cinéticas de actividad de agua durante el secado convectivo de arándano a 70 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 40 °Brix, temperatura de 55 °C y NaCl y eritritol como inductores.



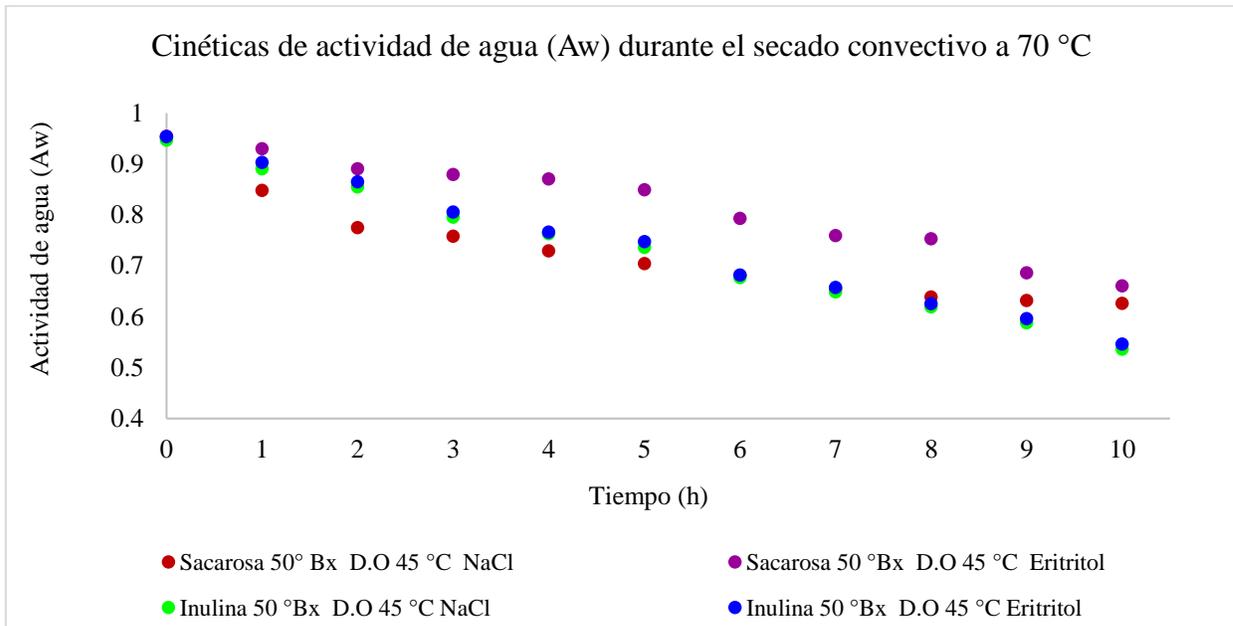
**Figura 67.** Cinéticas de actividad de agua durante el secado convectivo de arándano a 70 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 40 °Brix, temperatura de 65 °C y NaCl y eritritol como inductores.

Las Figuras 68, 69 y 70 nos muestran el comportamiento de las curvas de actividad de agua a 70 °C durante las 10 horas del proceso obtenidas para los distintos pretratamientos evaluados con sacarosa e inulina a 50 °Brix y a temperaturas previas de deshidratación osmótica de 45, 55 y 65 °C respectivamente. Al inicio del proceso los arándanos tenían un promedio de actividad de agua entre 0.95 y 0.97, las variaciones en estos valores fueron influenciado por el pretratamiento osmótico al que fueron sometidos antes del secado convectivo.

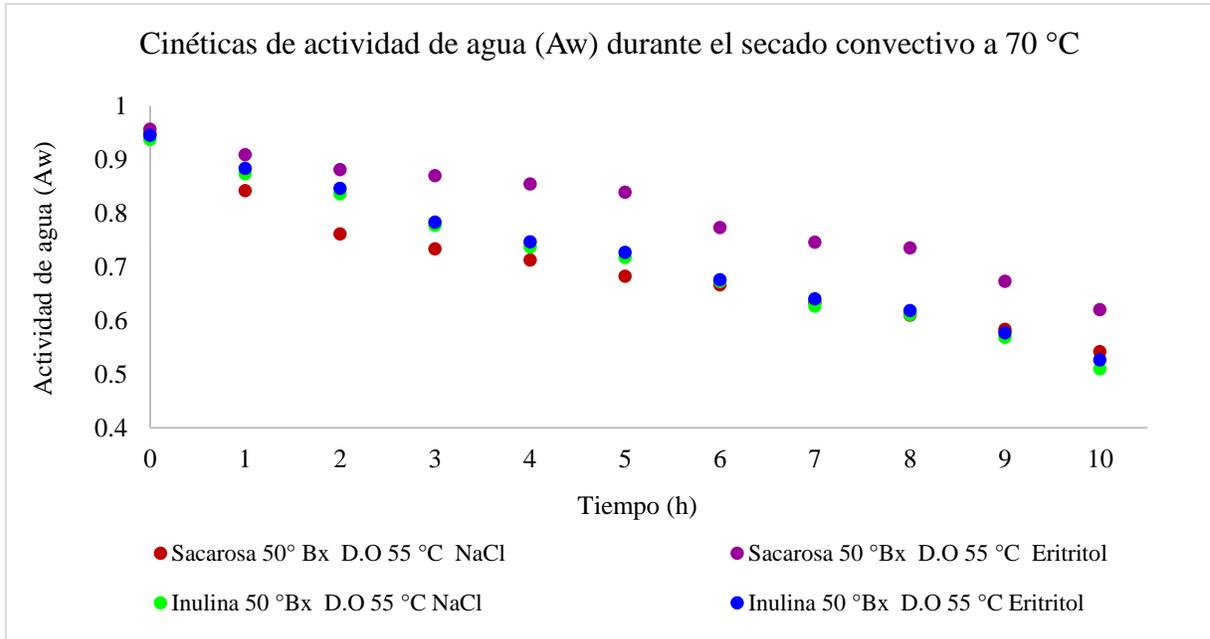
En la Figura 68 el comportamiento entre los dos agentes osmóticos fue muy similar durante la mayoría del tiempo y fue hasta la hora final donde se notó una diferencia entre ellos. Los tratamientos en los que se empleó como inductor NaCl alcanzaron los valores más bajos de actividad de agua, 0.53 para el tratamiento de inulina - NaCl y 0.62 para el tratamiento de sacarosa - NaCl.

En la Figura 69 se pueden apreciar las 4 curvas para la fruta pretratada osmóticamente a 55 °C y secada convectivamente a 70 °C. Se puede observar que el comportamiento entre los tratamientos fue muy similar con excepción del tratamiento de sacarosa – eritritol, los valores de actividad de agua fue similar respecto a los inductores utilizados, alcanzando los valores más bajos de 0.51 y para el tratamiento de inulina- NaCl y 0.54 para el tratamiento de sacarosa – NaCl.

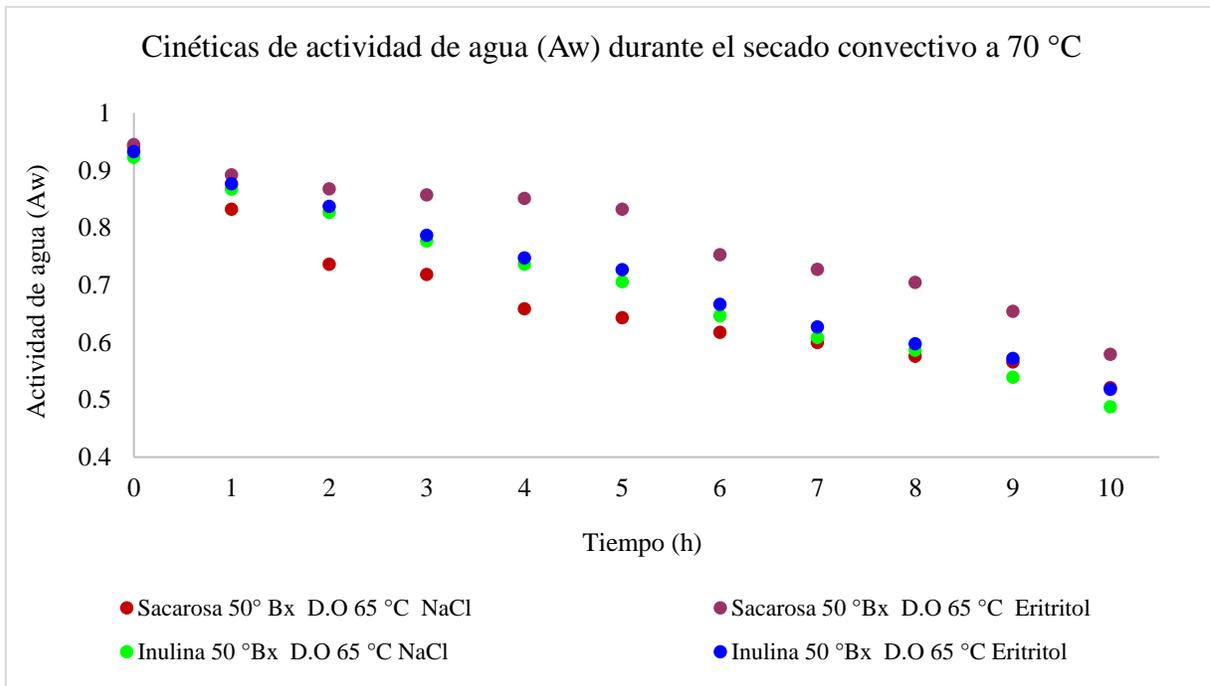
En la Figura 70 para la fruta pretratada osmóticamente a 65 °C y secada convectivamente a 70 °C. Los valores más bajos alcanzados fueron de 0.49 para el tratamiento de inulina- NaCl y 0.52 para el tratamiento de sacarosa – NaCl. El factor de la temperatura y el aumento de la concentración de la solución a 50 °Brix durante el pretratamiento osmótico nos permitió alcanzar los valores más bajos que todos los tratamientos evaluados a 60 °C y que los evaluados a 30 y 40 °Brix durante el pretratamiento osmótico a 70 °C durante el secado convectivo.



**Figura 68.** Cinéticas de actividad de agua durante el secado convectivo de arándano a 70 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 50 °Brix, temperatura de 45 °C y NaCl y eritritol como inductores.



**Figura 69.** Cinéticas de actividad de agua durante el secado convectivo de arándano a 70 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 50 °Brix, temperatura de 55 °C y NaCl y eritritol como inductores.



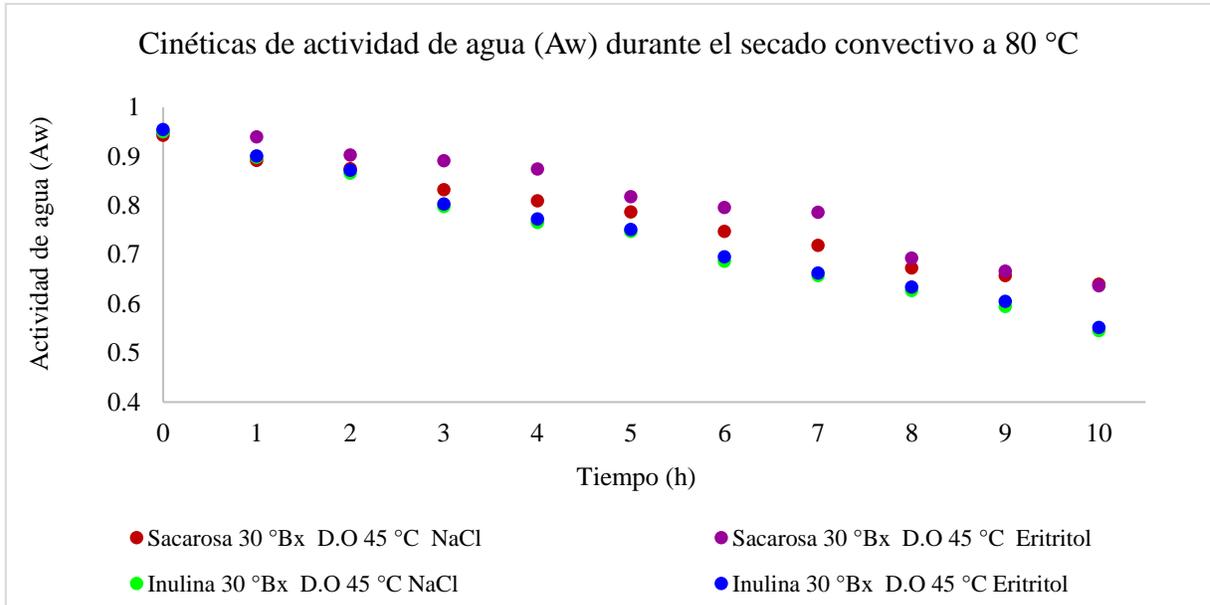
**Figura 70.** Cinéticas de actividad de agua durante el secado convectivo de arándano a 70 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 50 °Brix, temperatura de 65 °C y NaCl y eritritol como inductores.

Las Figuras 71, 72 y 73 nos muestran el comportamiento de las curvas de actividad de agua a 80 °C durante las 10 horas del proceso obtenidas para los distintos pretratamientos evaluados con sacarosa e inulina a 30 °Brix y a temperaturas previas de deshidratación osmótica de 45, 55 y 65 °C respectivamente. Al inicio del proceso los arándanos tenían un promedio de actividad de agua entre 0.95 y 0.97, las variaciones en estos valores fueron influenciado por el pretratamiento osmótico al que fueron sometidos antes del secado convectivo.

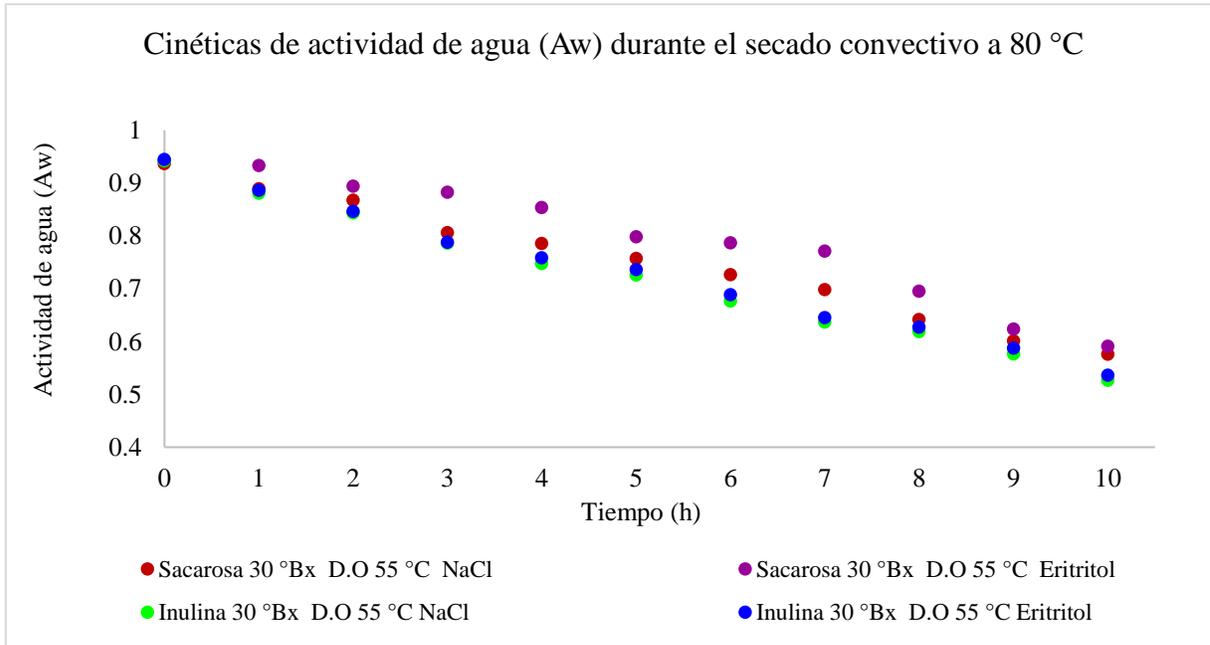
En la Figura 71 el comportamiento entre los dos agentes osmóticos fue muy similar durante la mayoría del tiempo y fue hasta la hora final donde se notó una diferencia entre ellos. Los tratamientos en los que se empleó como inductor NaCl alcanzaron los valores más bajos de actividad de agua, 0.54 para el tratamiento de inulina - NaCl y 0.64 para el tratamiento de sacarosa – NaCl.

En la Figura 72 se pueden apreciar las 4 curvas para la fruta pretratada osmóticamente a 55 °C y secada convectivamente a 80 °C. Se puede observar que el comportamiento entre los tratamientos fue muy similar con excepción del tratamiento de sacarosa – eritritol, los valores de actividad de agua fue similar respecto a los inductores utilizados, alcanzando los valores más bajos de 0.53 y para el tratamiento de inulina- NaCl y 0.58 para el tratamiento de sacarosa – NaCl.

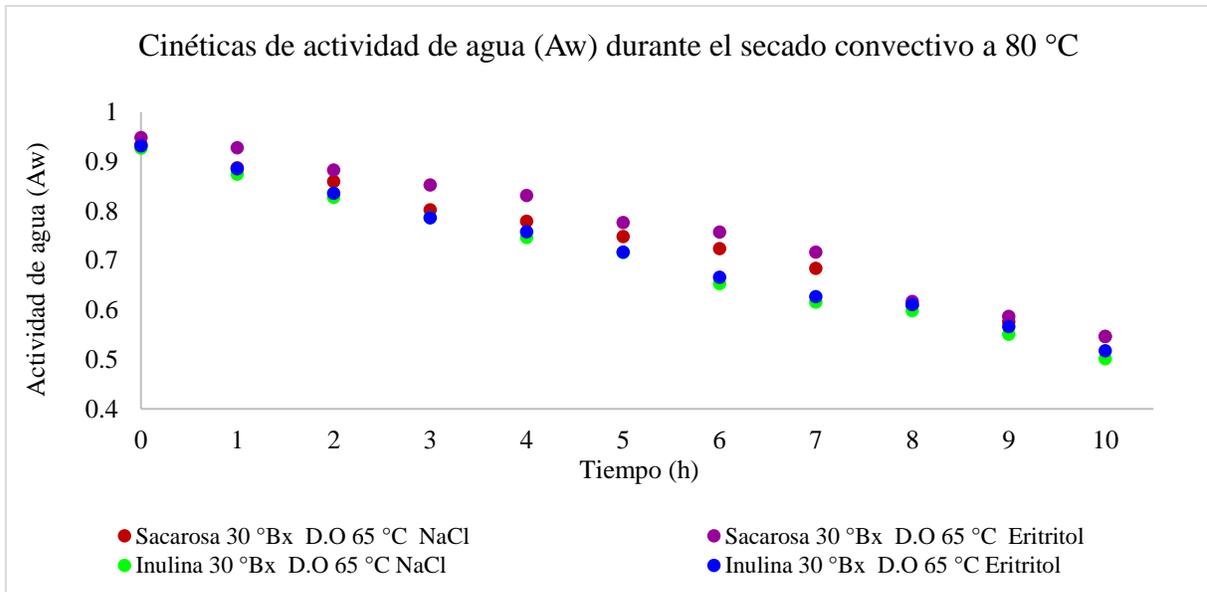
En la Figura 73 para la fruta pretratada osmóticamente a 65 °C y secada convectivamente a 80 °C. Los valores más bajos alcanzados fueron de 0.50 para el tratamiento de inulina- NaCl y 0.54 para el tratamiento de sacarosa – NaCl. El factor de la temperatura nuevamente tuvo relación con los contenidos de la actividad de agua, ya que el aumento a 80 °C durante el secado convectivo nos permitió alcanzar valores más bajos que en los tratamientos evaluados a las mismas condiciones de pretratamiento osmótico, pero a 70 °C durante el secado convectivo.



**Figura 71.** Cinéticas de actividad de agua durante el secado convectivo de arándano a 80 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 30 °Brix, temperatura de 45 °C y NaCl y eritritol como inductores.



**Figura 72.** Cinéticas de actividad de agua durante el secado convectivo de arándano a 80 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 30 °Brix, temperatura de 55 °C y NaCl y eritritol como inductores.



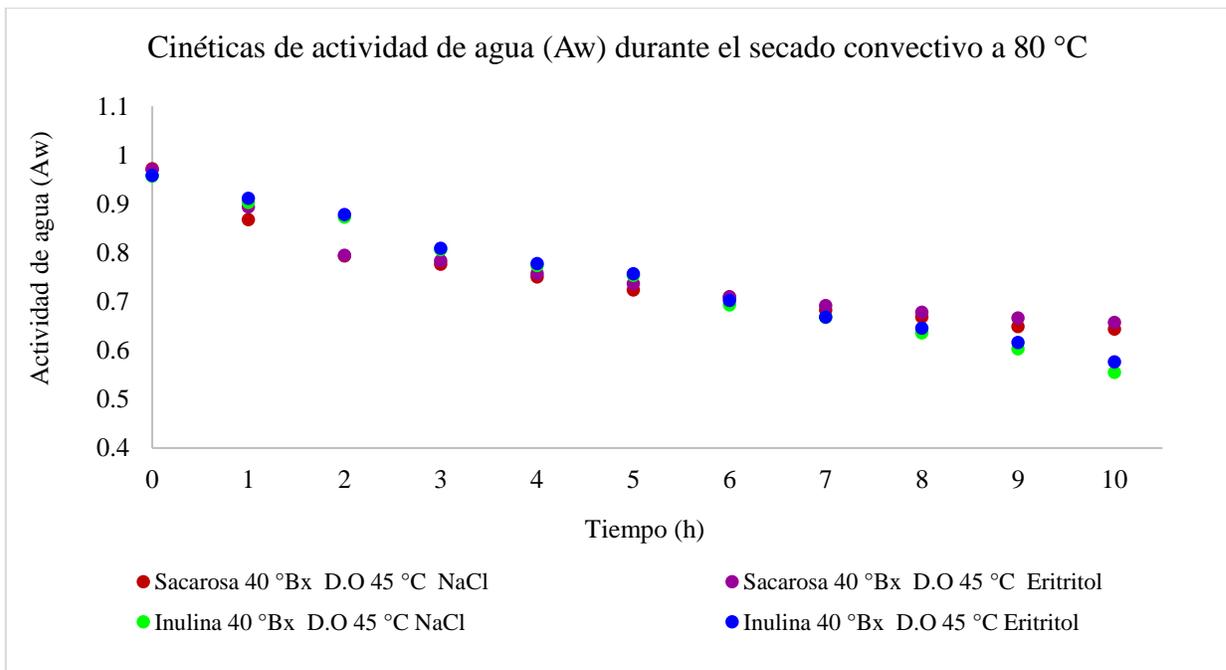
**Figura 73.** Cinéticas de actividad de agua durante el secado convectivo de arándano a 80 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 30 °Brix, temperatura de 65 °C y NaCl y eritritol como inductores.

Las Figuras 74, 75 y 76 nos muestran el comportamiento de las curvas de actividad de agua a 80 °C durante las 10 horas del proceso obtenidas para los distintos pretratamientos evaluados con sacarosa e inulina a 40 °Brix y a temperaturas previas de deshidratación osmótica de 45, 55 y 65 °C respectivamente. Al inicio del proceso los arándanos tenían un promedio de actividad de agua entre 0.95 y 0.97, las variaciones en estos valores fueron influenciado por el pretratamiento osmótico al que fueron sometidos antes del secado convectivo.

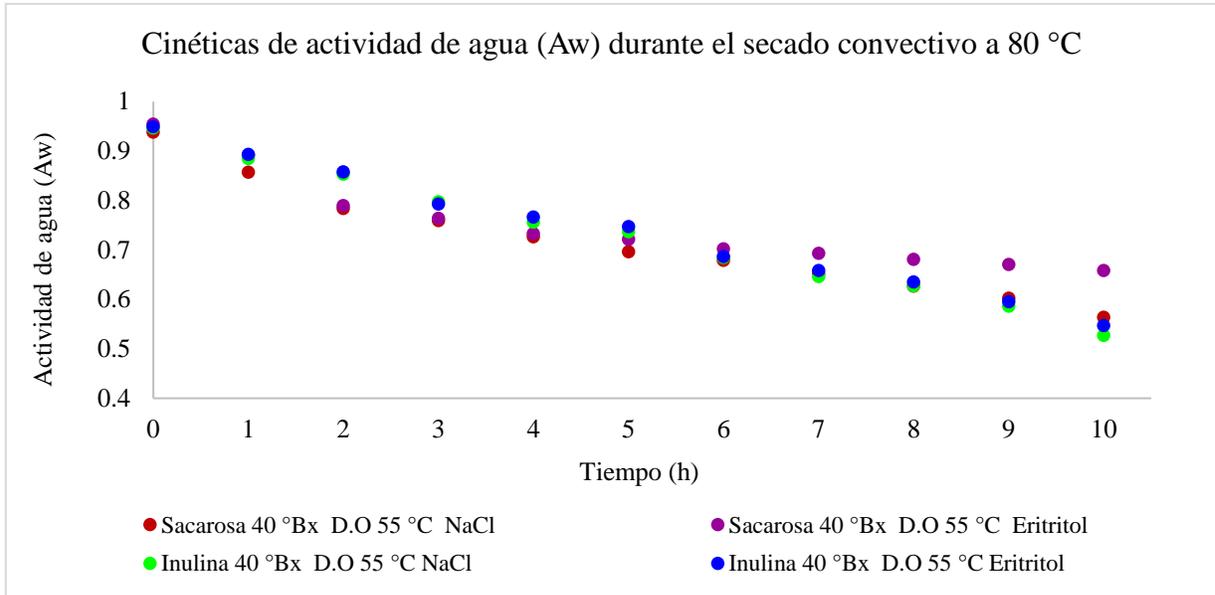
En la Figura 74 el comportamiento entre los dos agentes osmóticos fue muy similar durante la mayoría del tiempo y fue hasta la hora final donde se notó una diferencia entre ellos. Los tratamientos en los que se empleó como inductor NaCl alcanzaron los valores más bajos de actividad de agua, 0.53 para el tratamiento de inulina - NaCl y 0.62 para el tratamiento de sacarosa - NaCl.

En la Figura 75 se pueden apreciar las 4 curvas para la fruta pretratada osmóticamente a 55 °C y secada convectivamente a 80 °C. Se puede observar que el comportamiento entre los tratamientos fue muy similar con excepción del tratamiento de sacarosa – eritritol, los valores de actividad de agua fue similar respecto a los inductores utilizados, alcanzando los valores más bajos de 0.52 y para el tratamiento de inulina- NaCl y 0.54 para el tratamiento de sacarosa – NaCl.

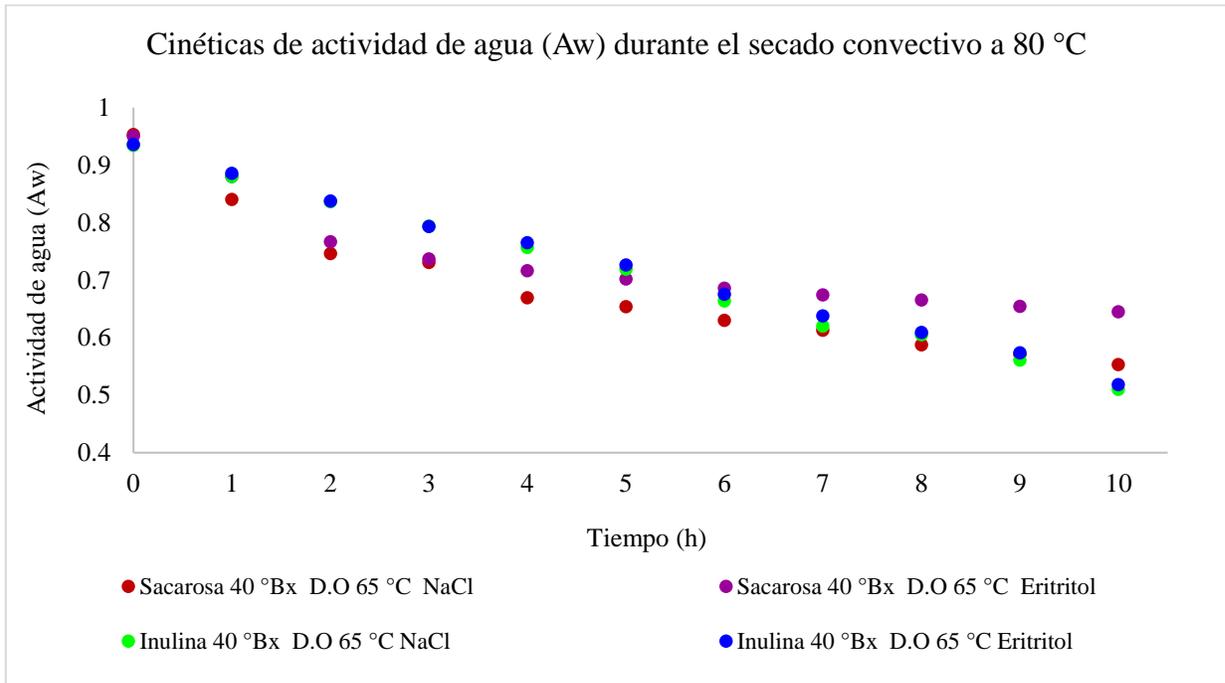
En la Figura 76 para la fruta pretratada osmóticamente a 65 °C y secada convectivamente a 70 °C. Los valores más bajos alcanzados fueron de 0.49 para el tratamiento de inulina- NaCl y 0.52 para el tratamiento de sacarosa – NaCl. El factor de la temperatura y el aumento de la concentración de la solución a 40 °Brix durante el pretratamiento osmótico nos permitió alcanzar valores más bajos que en los tratamientos evaluados a las mismas condiciones de temperatura de secado convectivo, pero con concentración de la solución de 30 °Brix.



**Figura 74.** Cinéticas de actividad de agua durante el secado convectivo de arándano a 80 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 40 °Brix, temperatura de 45 °C y NaCl y eritritol como inductores.



**Figura 75.** Cinéticas de actividad de agua durante el secado convectivo de arándano a 80 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 40 °Brix, temperatura de 55 °C y NaCl y eritritol como inductores.



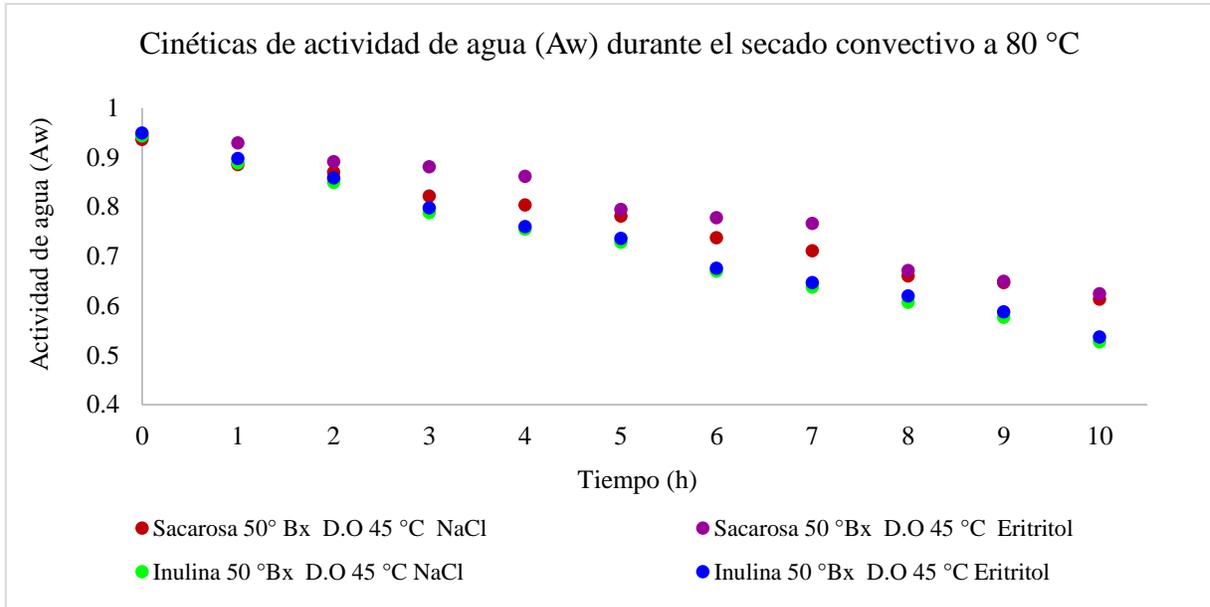
**Figura 76.** Cinéticas de actividad de agua durante el secado convectivo de arándano a 80 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 40 °Brix, temperatura de 65 °C y NaCl y eritritol como inductores.

Las Figuras 77, 78 y 79 nos muestran el comportamiento de las curvas de actividad de agua a 80 °C durante las 10 horas del proceso obtenidas para los distintos pretratamientos evaluados con sacarosa e inulina a 50 °Brix y a temperaturas previas de deshidratación osmótica de 45, 55 y 65 °C respectivamente. Al inicio del proceso los arándanos tenían un promedio de actividad de agua entre 0.95 y 0.97, las variaciones en estos valores fueron influenciado por el pretratamiento osmótico al que fueron sometidos antes del secado convectivo.

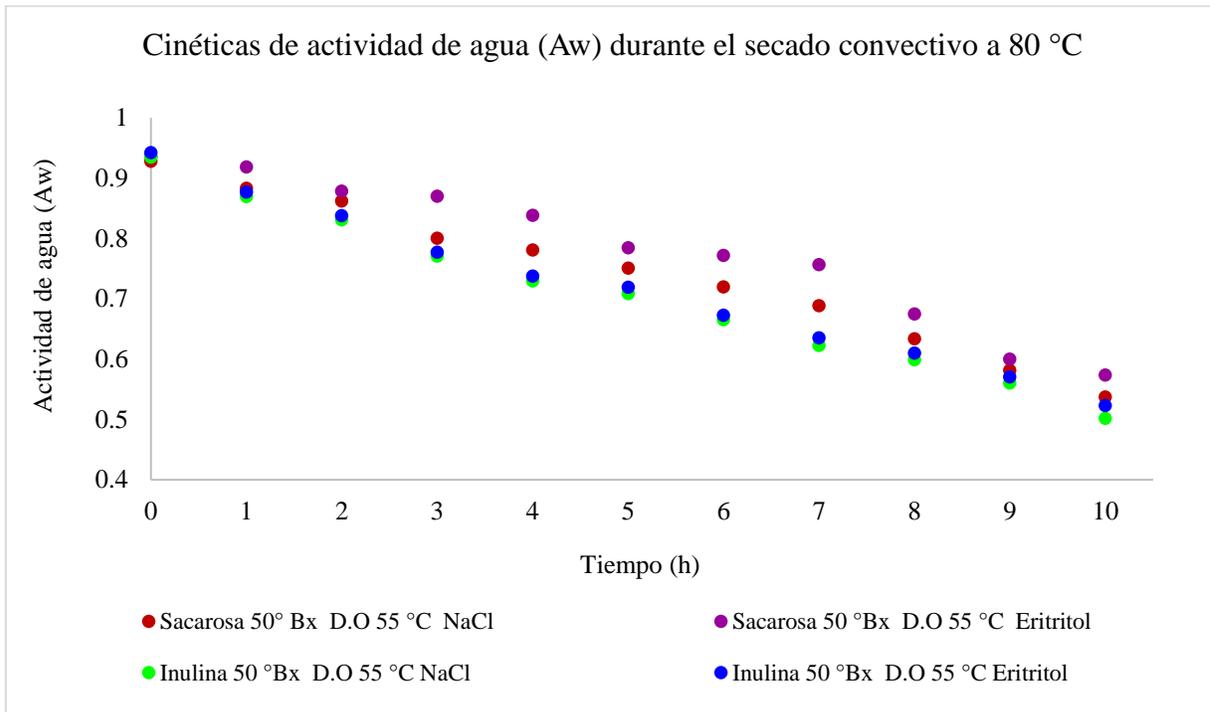
En la Figura 77 el comportamiento entre los dos agentes osmóticos fue muy similar durante la mayoría del tiempo y fue hasta la hora final donde se notó una diferencia entre ellos. Los tratamientos en los que se empleó como inductor NaCl alcanzaron los valores más bajos de actividad de agua, 0.52 para el tratamiento de inulina - NaCl y 0.61 para el tratamiento de sacarosa – NaCl.

En la Figura 78 se pueden apreciar las 4 curvas para la fruta pretratada osmóticamente a 55 °C y secada convectivamente a 70 °C. Se puede observar que el comportamiento entre los tratamientos fue muy similar con excepción del tratamiento de sacarosa – eritritol, los valores de actividad de agua fue similar respecto a los inductores utilizados, alcanzando los valores más bajos de 0.50 y para el tratamiento de inulina- NaCl y 0.53 para el tratamiento de sacarosa – NaCl.

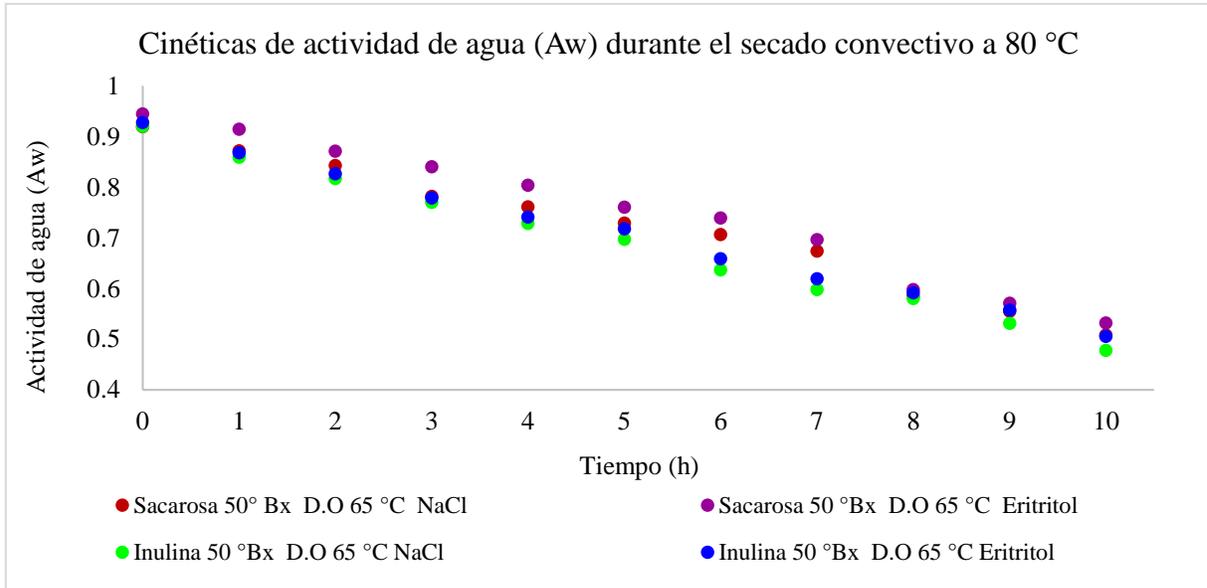
En la Figura 79 para la fruta pretratada osmóticamente a 65 °C y secada convectivamente a 70 °C. Los valores más bajos alcanzados fueron de 0.48 para el tratamiento de inulina- NaCl y 0.51 para el tratamiento de sacarosa – NaCl. El factor de la temperatura y el aumento de la concentración de la solución a 50 °Brix durante el pretratamiento osmótico nos permitió alcanzar los valores más bajos que todos los tratamientos evaluados a 70 °C y que los evaluados a 30 y 40 °Brix durante el pretratamiento osmótico a 80 °C durante el secado convectivo.



**Figura 77.** Cinéticas de actividad de agua durante el secado convectivo de arándano a 80 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 50 °Brix, temperatura de 45 °C y NaCl y eritritol como inductores.



**Figura 78.** Cinéticas de actividad de agua durante el secado convectivo de arándano a 80 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 50 °Brix, temperatura de 55 °C y NaCl y eritritol como inductores.



**Figura 79.** Cinéticas de actividad de agua durante el secado convectivo de arándano a 80 °C, pretratado con soluciones osmóticas de 50 °Brix, temperatura de 65 °C y NaCl y eritritol como inductores.

Una vez analizadas todas las cinéticas de actividad de agua, en todos los tratamientos evaluados podemos notar que la tendencia es que a medida que aumenta la temperatura (deshidratación osmótica y secado convectivo), y con el incremento de las concentraciones de las soluciones osmóticas utilizadas, existe un decremento mayor de los valores de actividad de agua, esto viene dado desde los pretratamientos osmóticos, ya que debido al aumento en las concentraciones de las soluciones durante la deshidratación osmótica y la adición de solutos (azúcares, sales, alcoholes, entre otros) permiten atrapar las moléculas de agua y acelerar la remoción de humedad con ello se disminuye la actividad de agua.

Esto se puede observar gráficamente en las Figuras anteriores, donde los tratamientos que nos permitieron alcanzar los valores más bajos de actividad de agua (menores a 0.6) siempre se obtuvieron a concentraciones de solución osmótica de 50 ° Brix y temperaturas de deshidratación osmótica de 65 °C, y durante el secado convectivo a 80 °C, el comportamiento de estas cinéticas coincide con lo reportado por Grabowski *et al.*, (2007) donde los valores más bajos de actividad de agua de 0.5 los obtuvieron a temperaturas de secado de 80 °C.

En su trabajo, Haro (2004) reportó que los valores más bajos de actividad de agua alcanzados fueron de 0.70 a temperaturas de secado de 55 °C. Es importante resaltar que entre el uso de los dos inductores, los mejores resultados se obtuvieron con NaCl y el hecho de que gráficamente los valores de los tratamientos de inulina con eritritol se vean más bajos respecto a los de sacarosa con NaCl se debe a que el valor inicial de actividad de agua fue diferente al inicio del proceso para cada tratamiento donde todos los tratamientos de inulina comenzaron con los valores de actividad de agua más bajos respecto a los tratamientos evaluados con sacarosa, esto puede explicarse debido a la variabilidad de la materia prima y las condiciones previas del pretratamiento osmótico, tal como hace referencia (Fito *et al.*, 1998).

### 10.6 Determinación de color.

En las Tablas 9, 10 y 11 se muestran los parámetros calculados de Hue (tono o matiz) y  $\Delta E$  (diferencia de color) del arándano en fresco y de los tratamientos evaluados durante la deshidratación osmótica. El valor de Hue que representa los colores primarios (rojo, verde, azul) con todos los matices intermedios que podemos percibir cuando los situamos en el círculo cromático (naranjas, amarillos, morados). Los tonos correspondientes a los distintos ángulos de matiz o tono son aproximadamente:



Como se puede observar en las Tablas 9, 10 y 11 el valor de Hue para el arándano fresco es de  $274.53^\circ \pm 0.14$  representando un tono azul, mientras que todos los tratamientos que fueron evaluados a la temperatura de deshidratación osmótica de 45 °C, sin importar el agente utilizado (sacarosa o inulina), el inductor (NaCl o eritritol) o la concentración del medio osmótico (30, 40 y 50 °Brix), presentaron un aumento cuyos valores están por encima de los 300° respecto al arándano fresco, los cuales se pueden colocar dentro de la escala de color que va del azul al morado, esto permite mantener valores similares al arándano en fresco como consecuencia del bajo efecto de la temperatura de proceso sobre el color del fruto.

Mientras que los tratamientos evaluados a temperaturas de deshidratación osmótica de 55 y 65 °C presentaron valores por debajo de los 50° que van del color rojizo al marrón (Figuras 80 y 81), esto debido a que el aumento de la temperatura pudo provocar una degradación de la membrana celular facilitando la eliminación de los pigmentos en la superficie de los frutos, asimismo, es posible deducir que los cambios de los parámetros de color son atribuidos a la pérdida de antocianinas.

VanTeeling *et al.*, (1971) reportó que durante el calentamiento las antocianinas rojizas se combinan en una base de carbinol incolora de modo que los "co-pigmentos" de color marrón azulado dominan el color de los arándanos.

Con respecto a la comparación entre los valores de  $\Delta E$ , podemos ver que hubo diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre los tratamientos evaluados y el arándano fresco, siendo los tratamientos con sacarosa los que presentaron los valores más altos en la diferencia de color respecto a los tratamientos de inulina que fueron más bajos, y el aumento tiende a ser ligeramente mayor conforme la temperatura de deshidratación osmótica aumento.

**Tabla 9.** Parámetros de color obtenidos de la deshidratación osmótica de arándano con concentraciones de 30 °Brix.

Tratamiento 30 °Brix	Color	
	Hue (°)	$\Delta E$
Arándano Fresco	274.53 ± 0.14 <sup>d</sup>	10.83 ± 0.40 <sup>de</sup>
Blanco 80 °C	292.05 ± 3.26 <sup>c</sup>	23.56 ± 0.68 <sup>ab</sup>
Blanco 70 °C	317.52 ± 3.57 <sup>b</sup>	12.48 ± 0.04 <sup>d</sup>
Blanco 60 °C	348.14 ± 1.82 <sup>a</sup>	18.07 ± 0.58 <sup>c</sup>
Sacarosa, D.O 65 °C, Inductor NaCl	28.79 ± 4.57 <sup>ef</sup>	21.86 ± 0.16 <sup>b</sup>
Sacarosa, D.O 55 °C, Inductor NaCl	28.35 ± 0.81 <sup>ef</sup>	16.45 ± 0.07 <sup>c</sup>
Sacarosa, D.O 45 °C, Inductor NaCl	316.45 ± 4.73 <sup>b</sup>	17.53 ± 1.05 <sup>c</sup>
Sacarosa, D.O 65 °C, Inductor Eritritol	21.83 ± 4.63 <sup>f</sup>	25.38 ± 0.86 <sup>a</sup>
Sacarosa, D.O 55 °C, Inductor Eritritol	28.57 ± 1.60 <sup>ef</sup>	16.86 ± 0.57 <sup>c</sup>
Sacarosa, D.O 45 °C, Inductor Eritritol	305.10 ± 4.13 <sup>bc</sup>	12.12 ± 1.02 <sup>d</sup>
Inulina, D.O 65 °C, Inductor NaCl	39.44 ± 3.12 <sup>e</sup>	8.55 ± 0.33 <sup>ef</sup>
Inulina, D.O 55 °C, Inductor NaCl	33.42 ± 0.99 <sup>ef</sup>	7.80 ± 0.82 <sup>f</sup>
Inulina, D.O 45 °C, Inductor NaCl	309.16 ± 4.06 <sup>b</sup>	4.17 ± 0.42 <sup>g</sup>
Inulina, D.O 65 °C, Inductor Eritritol	35.77 ± 4.53 <sup>e</sup>	8.77 ± 1.29 <sup>ef</sup>
Inulina, D.O 55 °C, Inductor Eritritol	34.18 ± 4.82 <sup>ef</sup>	8.22 ± 0.19 <sup>ef</sup>
Inulina, D.O 45 °C, Inductor Eritritol	316.24 ± 3.01 <sup>b</sup>	4.82 ± 0.69 <sup>g</sup>

D.O = Deshidratación osmótica.

Diferentes superíndices significan que los valores medios son significativamente diferentes a  $p < 0,05$ .

**Tabla 10.** Parámetros de color obtenidos de la deshidratación osmótica de arándano con concentraciones de 40 °Brix.

Tratamiento 40 °Brix	Color	
	Hue (H)	$\Delta E$
Arándano Fresco	274.53 $\pm$ 0.14 <sup>e</sup>	10.83 $\pm$ 0.40 <sup>fg</sup>
Blanco 80 °C	292.05 $\pm$ 3.26 <sup>d</sup>	23.56 $\pm$ 0.68 <sup>ab</sup>
Blanco 70 °C	317.52 $\pm$ 3.57 <sup>bc</sup>	12.48 $\pm$ 0.04 <sup>ef</sup>
Blanco 60 °C	348.14 $\pm$ 1.82 <sup>a</sup>	18.07 $\pm$ 0.58 <sup>c</sup>
Sacarosa, D.O 65 °C, Inductor NaCl	28.43 $\pm$ 4.40 <sup>gh</sup>	22.44 $\pm$ 0.22 <sup>b</sup>
Sacarosa, D.O 55 °C, Inductor NaCl	26.48 $\pm$ 1.12 <sup>gh</sup>	16.58 $\pm$ 0.12 <sup>cd</sup>
Sacarosa, D.O 45 °C, Inductor NaCl	308.10 $\pm$ 4.17 <sup>c</sup>	17.58 $\pm$ 0.84 <sup>c</sup>
Sacarosa, D.O 65 °C, Inductor Eritritol	19.89 $\pm$ 3.32 <sup>h</sup>	25.75 $\pm$ 0.64 <sup>a</sup>
Sacarosa, D.O 55 °C, Inductor Eritritol	27.41 $\pm$ 0.49 <sup>gh</sup>	16.79 $\pm$ 0.05 <sup>cd</sup>
Sacarosa, D.O 45 °C, Inductor Eritritol	324.72 $\pm$ 4.63 <sup>b</sup>	12.10 $\pm$ 1.17 <sup>ef</sup>
Inulina, D.O 65 °C, Inductor NaCl	37.06 $\pm$ 4.08 <sup>fg</sup>	10.29 $\pm$ 0.69 <sup>fg</sup>
Inulina, D.O 55 °C, Inductor NaCl	42.53 $\pm$ 4.80 <sup>f</sup>	8.05 $\pm$ 0.51 <sup>g</sup>
Inulina, D.O 45 °C, Inductor NaCl	318.81 $\pm$ 4.45 <sup>bc</sup>	9.01 $\pm$ 0.36 <sup>g</sup>
Inulina, D.O 65 °C, Inductor Eritritol	42.03 $\pm$ 0.86 <sup>f</sup>	8.19 $\pm$ 0.36 <sup>g</sup>
Inulina, D.O 55 °C, Inductor Eritritol	29.53 $\pm$ 2.38 <sup>fgh</sup>	14.37 $\pm$ 1.70 <sup>de</sup>
Inulina, D.O 45 °C, Inductor Eritritol	321.01 $\pm$ 4.40 <sup>bc</sup>	8.82 $\pm$ 0.68 <sup>g</sup>

D.O = Deshidratación osmótica.

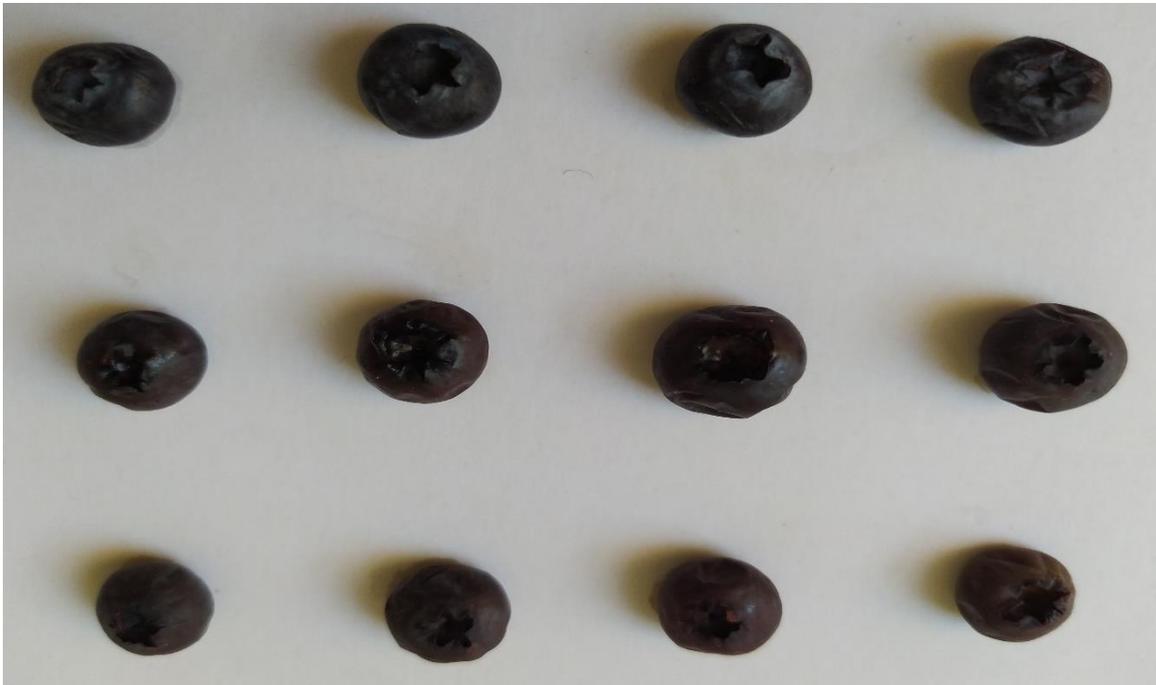
Diferentes superíndices significan que los valores medios son significativamente diferentes a  $p < 0,05$ .

**Tabla 11.** Parámetros de color obtenidos de la deshidratación osmótica de arándano con concentraciones de 50 °Brix.

Tratamiento 50 °Brix	Color	
	Hue (H)	$\Delta E$
Arándano Fresco	274.53 $\pm$ 0.14 <sup>d</sup>	10.83 $\pm$ 0.40 <sup>f</sup>
Blanco 80 °C	292.05 $\pm$ 3.26 <sup>c</sup>	23.56 $\pm$ 0.68 <sup>a</sup>
Blanco 70 °C	317.52 $\pm$ 3.57 <sup>b</sup>	12.48 $\pm$ 0.04 <sup>def</sup>
Blanco 60 °C	348.14 $\pm$ 1.82 <sup>a</sup>	18.07 $\pm$ 0.58 <sup>c</sup>
Sacarosa, D.O 65 °C, Inductor NaCl	22.69 $\pm$ 4.90 <sup>e</sup>	25.16 $\pm$ 1.37 <sup>a</sup>
Sacarosa, D.O 55 °C, Inductor NaCl	24.67 $\pm$ 0.37 <sup>e</sup>	18.47 $\pm$ 1.25 <sup>bc</sup>
Sacarosa, D.O 45 °C, Inductor NaCl	283.84 $\pm$ 2.00 <sup>cd</sup>	17.08 $\pm$ 1.18 <sup>c</sup>
Sacarosa, D.O 65 °C, Inductor Eritritol	23.32 $\pm$ 4.80 <sup>e</sup>	21.99 $\pm$ 0.41 <sup>ab</sup>
Sacarosa, D.O 55 °C, Inductor Eritritol	25.41 $\pm$ 0.32 <sup>e</sup>	17.30 $\pm$ 0.14 <sup>c</sup>
Sacarosa, D.O 45 °C, Inductor Eritritol	341.62 $\pm$ 1.00 <sup>a</sup>	15.1 $\pm$ 1.12 <sup>cde</sup>
Inulina, D.O 65 °C, Inductor NaCl	22.69 $\pm$ 4.90 <sup>e</sup>	25.16 $\pm$ 1.37 <sup>a</sup>
Inulina, D.O 55 °C, Inductor NaCl	24.67 $\pm$ 0.37 <sup>e</sup>	18.47 $\pm$ 1.25 <sup>bc</sup>
Inulina, D.O 45 °C, Inductor NaCl	287.32 $\pm$ 0.82 <sup>c</sup>	12.78 $\pm$ 1.03 <sup>def</sup>
Inulina, D.O 65 °C, Inductor Eritritol	17.46 $\pm$ 4.64 <sup>e</sup>	15.06 $\pm$ 1.175 <sup>cde</sup>
Inulina, D.O 55 °C, Inductor Eritritol	27.57 $\pm$ 2.87 <sup>e</sup>	16.34 $\pm$ 0.18 <sup>cd</sup>
Inulina, D.O 45 °C, Inductor Eritritol	316.96 $\pm$ 4.23 <sup>b</sup>	11.61 $\pm$ 0.24 <sup>ef</sup>

D.O = Deshidratación osmótica.

Diferentes superíndices significan que los valores medios son significativamente diferentes a  $p < 0,05$ .



**Figura 80.** Deshidratación osmótica de arándanos utilizando sacarosa como agente osmótico a 50 °Brix y sus temperaturas de 45, 55 y 65 °C.



**Figura 81.** Deshidratación osmótica de arándanos utilizando inulina como agente osmótico a 50 °Brix y sus temperaturas de 45, 55 y 65 °C.

En las Tablas 12, 13, 14, 15, 16 y 17, se muestran los parámetros calculados de Hue (tono o matiz) y  $\Delta E$  (diferencia de color) del arándano en fresco, los arándanos deshidratados sin pretratamiento osmótico y los tratamientos evaluados durante el secado convectivo con pretratamiento osmótico.

Como se puede observar el valor de Hue para el arándano fresco es de  $274.53^\circ \pm 0.14$  representando un tono azul, los arándanos secos con pretratamiento osmótico presentaron valores para el tratamiento de  $80^\circ\text{C}$  ( $292.05^\circ \pm 3.26$ ), para el de  $70^\circ\text{C}$  ( $317.52^\circ \pm 3.57$ ) y el de  $60^\circ\text{C}$  de ( $348.14^\circ \pm 1.82$ ), los cuales se pueden colocar dentro de la escala de color que va del azul al morado, color propio del arándano, pero esta vez los tratamientos evaluados sin importar el agente utilizado (sacarosa o inulina), el inductor (NaCl o eritritol) o la concentración del medio osmótico (30, 40 y  $50^\circ\text{Brix}$ ), no presentaron una tendencia clara en los valores, cosa contraria con los tratamientos evaluados solo durante la deshidratación osmótica.

Los valores de Hue obtenidos para la mayoría de los tratamientos evaluados tuvieron un ligero aumento respecto al arándano en fresco, cuyos valores se encuentran en un rango de  $280\text{-}360^\circ$  y de acuerdo a la escala prevalece el color que va del azul al morado, aunque a simple vista se puede observar que los tratamientos con inulina ( $50^\circ\text{Brix}$ ) presentaron un color más brillante (Figura 83) y atractivo que los tratamientos evaluados con sacarosa (Figura 82) y los tratamientos control (Figura 84), esto es importante ya que el color es una de las características más importantes que determina la calidad de un producto y es considerado como un parámetro que determina la primera impresión y, por tanto, configura el deseo de compra de los consumidores (Mena *et al.*, 2001).

De acuerdo a (Nowicka & Wojdyło, 2015) la disminución del brillo en el color de los tratamientos con sacarosa respecto a los tratamientos de inulina se puede explicar debido a que la adición de edulcorantes y el azúcar durante los pretratamientos osmóticos sufren una degradación y provocan una reacción con los aminoácidos libres, así como a la reacción de Maillard acelerada que contribuye al pardeamiento del producto.

Con respecto a la comparación entre los valores de  $\Delta E$ , podemos ver que hubo diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre los tratamientos evaluados con pretratamiento osmótico, sin pretratamiento osmótico y el arándano fresco.

Aunque los resultados no presentaron una tendencia clara, visualmente se puede discriminar entre los colores de los arándanos deshidratados obtenidos, esto es debido a que un consumidor puede distinguir los colores de dos muestras cuando los valores de  $\Delta E$  son mayores a 5 unidades, tal como lo indica (Pérez & González, 2003) y en este trabajo los valores fueron mayores de 5 alcanzando hasta 24 en los tratamientos evaluados del secado convectivo.

Los cambios ocurridos en los parámetros de color implican que el color azul-morado de los arándanos se pierde durante el calentamiento, lo que llega a provocar un aumento o en algunos casos la disminución de Hue y de la diferencia de color ( $\Delta E$ ), además la disminución visual en el color azul-morado intenso de los arándanos deshidratados con respecto a los arándanos frescos y los secos sin pretratamiento osmótico, puede ser explicada debido a que conforme disminuyó la concentración de las soluciones osmóticas empleadas previamente, los tiempos a la exposición del secado convectivo fue mayor y esto contribuyó también a la disminución de la concentración de antocianinas como lo reportó VanTeeling et al., (1971).

**Tabla 12.** Parámetros de color obtenidos del secado convectivo de arándano pretratado osmóticamente con sacarosa a 30 °Brix.

Tratamiento (Sacarosa 30 °Brix)	Color	
	Hue (H)	E
Arándano Fresco	274.53 ± 0.14 <sup>gh</sup>	10.83 ± 0.40 <sup>jk</sup>
Blanco 80 °C	292.05 ± 3.26 <sup>f</sup>	23.56 ± 0.68 <sup>a</sup>
Blanco 70 °C	317.52 ± 3.57 <sup>e</sup>	12.48 ± 0.04 <sup>hi</sup>
Blanco 60 °C	348.14 ± 1.82 <sup>ab</sup>	18.07 ± 0.58 <sup>def</sup>
D.O 65 °C, Inductor NaCl, S.C 80 °C	291.93 ± 0.12 <sup>f</sup>	20.64 ± 0.11 <sup>b</sup>
D.O 65 °C, Inductor NaCl, S.C 70 °C	17.02 ± 4.50 <sup>k</sup>	8.07 ± 0.41 <sup>lm</sup>
D.O 65 °C, Inductor NaCl, S.C 60 °C	50.59 ± 2.69 <sup>i</sup>	18.82 ± 0.50 <sup>cd</sup>
D.O 65 °C, Inductor Eritritol, S.C 80 °C	285.13 ± 1.54 <sup>fg</sup>	17.10 ± 0.11 <sup>ef</sup>
D.O 65 °C, Inductor Eritritol, S.C 70 °C	29.70 ± 0.10 <sup>j</sup>	7.24 ± 0.09 <sup>m</sup>
D.O 65 °C, Inductor Eritritol, S.C 60 °C	340.79 ± 0.09 <sup>bc</sup>	13.49 ± 0.64 <sup>gh</sup>
D.O 55 °C, Inductor NaCl, S.C 80 °C	290.19 ± 4.52 <sup>f</sup>	20.94 ± 0.09 <sup>b</sup>
D.O 55 °C, Inductor NaCl, S.C 70 °C	294.13 ± 1.21 <sup>f</sup>	11.09 ± 0.43 <sup>ijk</sup>
D.O 55 °C, Inductor NaCl, S.C 60 °C	348.04 ± 0.18 <sup>ab</sup>	20.18 ± 0.36 <sup>bc</sup>
D.O 55 °C, Inductor Eritritol, S.C 80 °C	289.54 ± 2.80 <sup>f</sup>	24.54 ± 0.10 <sup>a</sup>
D.O 55 °C, Inductor Eritritol, S.C 70 °C	271.38 ± 0.58 <sup>h</sup>	18.44 ± 0.05 <sup>de</sup>
D.O 55 °C, Inductor Eritritol, S.C 60 °C	357.73 ± 0.03 <sup>a</sup>	12.20 ± 0.08 <sup>hij</sup>
D.O 45 °C, Inductor NaCl, S.C 80 °C	28.08 ± 0.21 <sup>jk</sup>	11.22 ± 0.02 <sup>ijk</sup>
D.O 45 °C, Inductor NaCl, S.C 70 °C	331.26 ± 4.86 <sup>cd</sup>	10.53 ± 0.03 <sup>k</sup>
D.O 45 °C, Inductor NaCl, S.C 60 °C	61.22 ± 4.46 <sup>i</sup>	8.95 ± 0.27 <sup>l</sup>
D.O 45 °C, Inductor Eritritol, S.C 80 °C	21.13 ± 0.53 <sup>jk</sup>	16.64 ± 0.20 <sup>f</sup>
D.O 45 °C, Inductor Eritritol, S.C 70 °C	316.75 ± 4.59 <sup>e</sup>	23.51 ± 0.86 <sup>a</sup>
D.O 45 °C, Inductor Eritritol, S.C 60 °C	321.15 ± 4.45 <sup>de</sup>	14.37 ± 0.27 <sup>g</sup>

D.O = Deshidratación osmótica, S.C = Secado convectivo.

 Diferentes superíndices significan que los valores medios son significativamente diferentes a  $p < 0,05$ .

**Tabla 13.** Parámetros de color obtenidos del secado convectivo de arándano pretratado osmóticamente con inulina a 30 °Brix.

Tratamiento (Inulina 30 °Brix)	Color	
	Hue (H)	E
Arándano Fresco	274.53 ± 0.14 <sup>d</sup>	10.83 ± 0.40 <sup>de</sup>
Blanco 80 °C	292.05 ± 3.26 <sup>c</sup>	23.56 ± 0.68 <sup>a</sup>
Blanco 70 °C	317.52 ± 3.57 <sup>b</sup>	12.48 ± 0.04 <sup>cd</sup>
Blanco 60 °C	348.14 ± 1.82 <sup>a</sup>	18.07 ± 0.58 <sup>b</sup>
D.O 65 °C, Inductor NaCl, S.C 80 °C	48.17 ± 0.17 <sup>hij</sup>	5.93 ± 0.19 <sup>ij</sup>
D.O 65 °C, Inductor NaCl, S.C 70 °C	34.85 ± 3.22 <sup>jk</sup>	8.68 ± 0.48 <sup>fg</sup>
D.O 65 °C, Inductor NaCl, S.C 60 °C	53.06 ± 4.44 <sup>ghi</sup>	10.31 ± 0.61 <sup>ef</sup>
D.O 65 °C, Inductor Eritritol, S.C 80 °C	55.31 ± 3.69 <sup>ghi</sup>	6.08 ± 0.13 <sup>ij</sup>
D.O 65 °C, Inductor Eritritol, S.C 70 °C	325.15 ± 4.67 <sup>b</sup>	7.93 ± 0.07 <sup>gh</sup>
D.O 65 °C, Inductor Eritritol, S.C 60 °C	22.61 ± 2.44 <sup>kl</sup>	8.27 ± 0.29 <sup>gh</sup>
D.O 55 °C, Inductor NaCl, S.C 80 °C	48.11 ± 0.09 <sup>hij</sup>	6.07 ± 0.58 <sup>ij</sup>
D.O 55 °C, Inductor NaCl, S.C 70 °C	57.07 ± 4.20 <sup>gh</sup>	11.08 ± 0.31 <sup>de</sup>
D.O 55 °C, Inductor NaCl, S.C 60 °C	82.84 ± 4.86 <sup>e</sup>	7.01 ± 0.60 <sup>ghi</sup>
D.O 55 °C, Inductor Eritritol, S.C 80 °C	72.36 ± 0.50 <sup>ef</sup>	8.09 ± 0.10 <sup>gh</sup>
D.O 55 °C, Inductor Eritritol, S.C 70 °C	318.73 ± 2.96 <sup>b</sup>	6.96 ± 0.25 <sup>ghij</sup>
D.O 55 °C, Inductor Eritritol, S.C 60 °C	18.27 ± 4.73 <sup>l</sup>	5.23 ± 0.16 <sup>j</sup>
D.O 45 °C, Inductor NaCl, S.C 80 °C	63.91 ± 3.93 <sup>fg</sup>	8.68 ± 0.50 <sup>fg</sup>
D.O 45 °C, Inductor NaCl, S.C 70 °C	41.13 ± 4.23 <sup>ij</sup>	11.07 ± 0.36 <sup>de</sup>
D.O 45 °C, Inductor NaCl, S.C 60 °C	23.91 ± 4.15 <sup>kl</sup>	6.82 ± 0.25 <sup>hij</sup>
D.O 45 °C, Inductor Eritritol, S.C 80 °C	294.41 ± 4.66 <sup>c</sup>	14.05 ± 0.32 <sup>c</sup>
D.O 45 °C, Inductor Eritritol, S.C 70 °C	20.20 ± 3.66 <sup>l</sup>	11.13 ± 0.48 <sup>de</sup>
D.O 45 °C, Inductor Eritritol, S.C 60 °C	72.46 ± 4.56 <sup>ef</sup>	12.51 ± 0.85 <sup>cd</sup>

D.O = Deshidratación osmótica, S.C = Secado convectivo.

 Diferentes superíndices significan que los valores medios son significativamente diferentes a  $p < 0,05$ .

**Tabla 14.** Parámetros de color obtenidos del secado convectivo de arándano pretratado osmóticamente con sacarosa a 40 °Brix.

Tratamiento (Sacarosa 40 °Brix)	Color	
	Hue (H)	E
Arándano Fresco	274.53 ± 0.14 <sup>e</sup>	10.83 ± 0.40 <sup>fgh</sup>
Blanco 80 °C	292.05 ± 3.26 <sup>d</sup>	23.56 ± 0.68 <sup>a</sup>
Blanco 70 °C	317.52 ± 3.57 <sup>c</sup>	12.48 ± 0.04 <sup>ef</sup>
Blanco 60 °C	348.14 ± 1.82 <sup>a</sup>	18.07 ± 0.58 <sup>bc</sup>
D.O 65 °C, Inductor NaCl, S.C 80 °C	285.71 ± 3.67 <sup>de</sup>	19.71 ± 0.26 <sup>b</sup>
D.O 65 °C, Inductor NaCl, S.C 70 °C	24.09 ± 4.60 <sup>hi</sup>	10.32 ± 0.13 <sup>fgh</sup>
D.O 65 °C, Inductor NaCl, S.C 60 °C	28.35 ± 4.78 <sup>hi</sup>	17.68 ± 0.40 <sup>bc</sup>
D.O 65 °C, Inductor Eritritol, S.C 80 °C	66.83 ± 2.87 <sup>f</sup>	16.82 ± 0.66 <sup>c</sup>
D.O 65 °C, Inductor Eritritol, S.C 70 °C	37.80 ± 2.29 <sup>gh</sup>	5.98 ± 0.33 <sup>i</sup>
D.O 65 °C, Inductor Eritritol, S.C 60 °C	47.82 ± 4.62 <sup>g</sup>	13.77 ± 0.05 <sup>de</sup>
D.O 55 °C, Inductor NaCl, S.C 80 °C	287.28 ± 4.20 <sup>de</sup>	18.47 ± 0.29 <sup>bc</sup>
D.O 55 °C, Inductor NaCl, S.C 70 °C	76.90 ± 4.18 <sup>f</sup>	11.84 ± 1.73 <sup>efg</sup>
D.O 55 °C, Inductor NaCl, S.C 60 °C	346.03 ± 4.24 <sup>a</sup>	18.09 ± 1.45 <sup>bc</sup>
D.O 55 °C, Inductor Eritritol, S.C 80 °C	46.88 ± 4.51 <sup>g</sup>	22.47 ± 0.52 <sup>a</sup>
D.O 55 °C, Inductor Eritritol, S.C 70 °C	280.21 ± 1.10 <sup>de</sup>	16.04 ± 0.27 <sup>cd</sup>
D.O 55 °C, Inductor Eritritol, S.C 60 °C	18.98 ± 1.53 <sup>i</sup>	12.77 ± 0.61 <sup>ef</sup>
D.O 45 °C, Inductor NaCl, S.C 80 °C	23.93 ± 2.26 <sup>hi</sup>	8.25 ± 0.04 <sup>hi</sup>
D.O 45 °C, Inductor NaCl, S.C 70 °C	323.52 ± 4.52 <sup>bc</sup>	10.82 ± 0.19 <sup>fgh</sup>
D.O 45 °C, Inductor NaCl, S.C 60 °C	63.51 ± 4.89 <sup>f</sup>	9.29 ± 0.62 <sup>gh</sup>
D.O 45 °C, Inductor Eritritol, S.C 80 °C	27.54 ± 4.48 <sup>hi</sup>	17.83 ± 0.59 <sup>bc</sup>
D.O 45 °C, Inductor Eritritol, S.C 70 °C	319.38 ± 1.22 <sup>c</sup>	23.89 ± 0.46 <sup>a</sup>
D.O 45 °C, Inductor Eritritol, S.C 60 °C	334.20 ± 2.61 <sup>ab</sup>	13.88 ± 0.56 <sup>de</sup>

D.O = Deshidratación osmótica, S.C = Secado convectivo.

Diferentes superíndices significan que los valores medios son significativamente diferentes a  $p < 0,05$ .

**Tabla 15.** Parámetros de color obtenidos del secado convectivo de arándano pretratado osmóticamente con inulina a 40 °Brix.

Tratamiento (Inulina 40 °Brix)	Color	
	Hue (H)	E
Arándano Fresco	274.53 ± 0.14 <sup>d</sup>	10.83 ± 0.40 <sup>de</sup>
Blanco 80 °C	292.05 ± 3.26 <sup>c</sup>	23.56 ± 0.68 <sup>a</sup>
Blanco 70 °C	317.52 ± 3.57 <sup>b</sup>	12.48 ± 0.04 <sup>cd</sup>
Blanco 60 °C	348.14 ± 1.82 <sup>a</sup>	18.07 ± 0.58 <sup>b</sup>
D.O 65 °C, Inductor NaCl, S.C 80 °C	54.58 ± 4.40 <sup>fgh</sup>	6.85 ± 1.33 <sup>fgh</sup>
D.O 65 °C, Inductor NaCl, S.C 70 °C	29.78 ± 4.02 <sup>ijklm</sup>	7.18 ± 0.74 <sup>fgh</sup>
D.O 65 °C, Inductor NaCl, S.C 60 °C	56.46 ± 3.71 <sup>fg</sup>	10.46 ± 0.24 <sup>de</sup>
D.O 65 °C, Inductor Eritritol, S.C 80 °C	53.43 ± 4.30 <sup>fgh</sup>	6.84 ± 0.08 <sup>fgh</sup>
D.O 65 °C, Inductor Eritritol, S.C 70 °C	17.37 ± 1.14 <sup>m</sup>	9.07 ± 0.09 <sup>ef</sup>
D.O 65 °C, Inductor Eritritol, S.C 60 °C	33.85 ± 3.55 <sup>jk</sup>	7.84 ± 0.06 <sup>fgh</sup>
D.O 55 °C, Inductor NaCl, S.C 80 °C	60.57 ± 4.55 <sup>efg</sup>	5.83 ± 0.07 <sup>gh</sup>
D.O 55 °C, Inductor NaCl, S.C 70 °C	48.39 ± 4.36 <sup>ghi</sup>	10.55 ± 0.02 <sup>de</sup>
D.O 55 °C, Inductor NaCl, S.C 60 °C	63.80 ± 0.78 <sup>ef</sup>	6.34 ± 0.19 <sup>gh</sup>
D.O 55 °C, Inductor Eritritol, S.C 80 °C	72.21 ± 0.91 <sup>e</sup>	7.74 ± 0.58 <sup>fgh</sup>
D.O 55 °C, Inductor Eritritol, S.C 70 °C	324.15 ± 0.13 <sup>b</sup>	5.56 ± 0.14 <sup>h</sup>
D.O 55 °C, Inductor Eritritol, S.C 60 °C	21.56 ± 4.80 <sup>klm</sup>	6.32 ± 0.64 <sup>gh</sup>
D.O 45 °C, Inductor NaCl, S.C 80 °C	73.76 ± 2.69 <sup>e</sup>	8.00 ± 1.02 <sup>fg</sup>
D.O 45 °C, Inductor NaCl, S.C 70 °C	36.71 ± 4.58 <sup>ij</sup>	10.82 ± 0.24 <sup>de</sup>
D.O 45 °C, Inductor NaCl, S.C 60 °C	19.51 ± 2.14 <sup>lm</sup>	7.08 ± 0.87 <sup>fgh</sup>
D.O 45 °C, Inductor Eritritol, S.C 80 °C	299.57 ± 4.95 <sup>c</sup>	13.80 ± 0.15 <sup>c</sup>
D.O 45 °C, Inductor Eritritol, S.C 70 °C	42.10 ± 2.31 <sup>hij</sup>	11.14 ± 0.31 <sup>de</sup>
D.O 45 °C, Inductor Eritritol, S.C 60 °C	31.75 ± 1.40 <sup>jkl</sup>	11.72 ± 0.09 <sup>cd</sup>

D.O = Deshidratación osmótica, S.C = Secado convectivo.

Diferentes superíndices significan que los valores medios son significativamente diferentes a  $p < 0,05$ .

**Tabla 16.** Parámetros de color obtenidos del secado convectivo de arándano pretratado osmóticamente con sacarosa a 50 °Brix.

Tratamiento (Sacarosa 50 °Brix)	Color	
	Hue (H)	E
Arándano Fresco	274.53 ± 0.14 <sup>i</sup>	10.83 ± 0.40 <sup>ghi</sup>
Blanco 80 °C	292.05 ± 3.26 <sup>h</sup>	23.56 ± 0.68 <sup>a</sup>
Blanco 70 °C	317.52 ± 3.57 <sup>fg</sup>	12.48 ± 0.04 <sup>fgh</sup>
Blanco 60 °C	348.14 ± 1.82 <sup>ab</sup>	18.07 ± 0.58 <sup>cd</sup>
D.O 65 °C, Inductor NaCl, S.C 80 °C	286.43 ± 0.84 <sup>hi</sup>	19.59 ± 0.14 <sup>bc</sup>
D.O 65 °C, Inductor NaCl, S.C 70 °C	7.81 ± 4.96 <sup>l</sup>	10.49 ± 0.08 <sup>hij</sup>
D.O 65 °C, Inductor NaCl, S.C 60 °C	32.14 ± 2.81 <sup>k</sup>	17.40 ± 0.16 <sup>cd</sup>
D.O 65 °C, Inductor Eritritol, S.C 80 °C	277.36 ± 0.14 <sup>i</sup>	16.85 ± 0.40 <sup>d</sup>
D.O 65 °C, Inductor Eritritol, S.C 70 °C	31.04 ± 3.53 <sup>k</sup>	5.50 ± 0.17 <sup>k</sup>
D.O 65 °C, Inductor Eritritol, S.C 60 °C	340.79 ± 0.09 <sup>abc</sup>	13.49 ± 0.75 <sup>f</sup>
D.O 55 °C, Inductor NaCl, S.C 80 °C	290.9 ± 3.50 <sup>h</sup>	19.49 ± 0.73 <sup>bc</sup>
D.O 55 °C, Inductor NaCl, S.C 70 °C	81.02 ± 4.40 <sup>j</sup>	13.27 ± 1.81 <sup>fg</sup>
D.O 55 °C, Inductor NaCl, S.C 60 °C	351.40 ± 2.82 <sup>a</sup>	16.55 ± 0.13 <sup>d</sup>
D.O 55 °C, Inductor Eritritol, S.C 80 °C	81.11 ± 1.71 <sup>j</sup>	22.09 ± 0.72 <sup>a</sup>
D.O 55 °C, Inductor Eritritol, S.C 70 °C	280.18 ± 3.27 <sup>hi</sup>	17.24 ± 0.42 <sup>cd</sup>
D.O 55 °C, Inductor Eritritol, S.C 60 °C	25.91 ± 3.49 <sup>k</sup>	11.81 ± 0.51 <sup>fgh</sup>
D.O 45 °C, Inductor NaCl, S.C 80 °C	331.47 ± 0.70 <sup>cde</sup>	8.27 ± 0.05 <sup>j</sup>
D.O 45 °C, Inductor NaCl, S.C 70 °C	328.31 ± 2.94 <sup>def</sup>	10.59 ± 0.14 <sup>hij</sup>
D.O 45 °C, Inductor NaCl, S.C 60 °C	292.01 ± 4.45 <sup>h</sup>	8.89 ± 0.19 <sup>ij</sup>
D.O 45 °C, Inductor Eritritol, S.C 80 °C	338.87 ± 0.53 <sup>bcd</sup>	16.09 ± 0.62 <sup>de</sup>
D.O 45 °C, Inductor Eritritol, S.C 70 °C	315.54 ± 3.97 <sup>g</sup>	21.31 ± 0.84 <sup>ab</sup>
D.O 45 °C, Inductor Eritritol, S.C 60 °C	325.25 ± 4.53 <sup>efg</sup>	14.04 ± 0.76 <sup>ef</sup>

D.O = Deshidratación osmótica, S.C = Secado convectivo.

 Diferentes superíndices significan que los valores medios son significativamente diferentes a  $p < 0,05$ .

**Tabla 17.** Parámetros de color obtenidos del secado convectivo de arándano pretratado osmóticamente con inulina a 50 °Brix.

Tratamiento (Inulina 50 °Brix)	Color	
	Hue (H)	E
Arándano Fresco	274.53 ± 0.14 <sup>f</sup>	10.83 ± 0.40 <sup>def</sup>
Blanco 80 °C	292.05 ± 3.26 <sup>e</sup>	23.56 ± 0.68 <sup>a</sup>
Blanco 70 °C	317.52 ± 3.57 <sup>cd</sup>	12.48 ± 0.04 <sup>cd</sup>
Blanco 60 °C	348.14 ± 1.82 <sup>a</sup>	18.07 ± 0.58 <sup>b</sup>
D.O 65 °C, Inductor NaCl, S.C 80 °C	45.12 ± 1.12 <sup>hi</sup>	5.54 ± 0.81 <sup>k</sup>
D.O 65 °C, Inductor NaCl, S.C 70 °C	34.85 ± 3.22 <sup>ij</sup>	9.12 ± 0.15 <sup>fgh</sup>
D.O 65 °C, Inductor NaCl, S.C 60 °C	53.06 ± 4.44 <sup>h</sup>	10.31 ± 0.61 <sup>efg</sup>
D.O 65 °C, Inductor Eritritol, S.C 80 °C	71.63 ± 0.34 <sup>g</sup>	6.47 ± 0.31 <sup>k</sup>
D.O 65 °C, Inductor Eritritol, S.C 70 °C	310.85 ± 4.71 <sup>d</sup>	8.62 ± 0.08 <sup>ghi</sup>
D.O 65 °C, Inductor Eritritol, S.C 60 °C	21.72 ± 1.19 <sup>jk</sup>	8.26 ± 0.28 <sup>hij</sup>
D.O 55 °C, Inductor NaCl, S.C 80 °C	48.11 ± 0.09 <sup>hi</sup>	6.07 ± 0.58 <sup>k</sup>
D.O 55 °C, Inductor NaCl, S.C 70 °C	57.07 ± 4.20 <sup>h</sup>	11.14 ± 0.24 <sup>de</sup>
D.O 55 °C, Inductor NaCl, S.C 60 °C	82.84 ± 4.86 <sup>g</sup>	6.87 ± 0.40 <sup>jk</sup>
D.O 55 °C, Inductor Eritritol, S.C 80 °C	71.34 ± 4.71 <sup>g</sup>	7.01 ± 0.03 <sup>ijk</sup>
D.O 55 °C, Inductor Eritritol, S.C 70 °C	318.66 ± 2.86 <sup>cd</sup>	6.04 ± 0.24 <sup>k</sup>
D.O 55 °C, Inductor Eritritol, S.C 60 °C	18.27 ± 4.73 <sup>k</sup>	6.15 ± 0.31 <sup>k</sup>
D.O 45 °C, Inductor NaCl, S.C 80 °C	290.74 ± 4.51 <sup>e</sup>	8.43 ± 0.45 <sup>hij</sup>
D.O 45 °C, Inductor NaCl, S.C 70 °C	317.53 ± 2.78 <sup>cd</sup>	10.63 ± 0.36 <sup>ef</sup>
D.O 45 °C, Inductor NaCl, S.C 60 °C	335.58 ± 4.87 <sup>ab</sup>	6.82 ± 0.26 <sup>jk</sup>
D.O 45 °C, Inductor Eritritol, S.C 80 °C	296.04 ± 4.74 <sup>e</sup>	13.63 ± 0.19 <sup>c</sup>
D.O 45 °C, Inductor Eritritol, S.C 70 °C	329.63 ± 0.61 <sup>bc</sup>	11.60 ± 0.32 <sup>de</sup>
D.O 45 °C, Inductor Eritritol, S.C 60 °C	287.54 ± 4.56 <sup>ef</sup>	11.84 ± 0.80 <sup>de</sup>

D.O = Deshidratación osmótica, S.C = Secado convectivo.

Diferentes superíndices significan que los valores medios son significativamente diferentes a  $p < 0,05$ .



**Figura 82.** Secado convectivo de arándanos a 60, 70 y 80 °C respectivamente, pretratado con sacarosa como agente osmótico a 50 °Brix.



**Figura 83.** Secado convectivo de arándanos a 60, 70 y 80 °C respectivamente, pretratado con inulina como agente osmótico a 50 °Brix.



**Figura 84.** Secado convectivo de arándanos a 60, 70 y 80 °C sin pretratamiento osmótico.

### 10.7 Determinación del contenido de antocianinas totales.

El contenido de antocianinas totales, los cuales fueron evaluados después de la etapa de deshidratación osmótica y en fresco se muestran en las Tablas 18, 19 y 20 donde se puede observar que existen diferencias significativas entre los tratamientos evaluados a 30, 40 y 50 °Brix respectivamente. El arándano fresco presentó un contenido de antocianinas totales de  $8.97 \pm 0.50$  mg de cianidina-3-glucosido/g, valor que se acerca a lo reportado por (Prior, y otros, 1998) quien establece un rango de 92.6 y 235.4 mg de cianidina-3-glucosido/100g peso fresco. Los valores más altos de antocianinas totales se obtuvieron en el tratamiento de inulina – NaCl de  $7.18 \pm 0.73$  mg de cianidina-3-glucosido/g y en los tratamientos de sacarosa – NaCl de  $6.94 \pm 0.50$  mg de cianidina-3-glucosido/g, en ambos tratamientos la concentración del medio osmótico fue de 50 °Brix. Los resultados más bajos, fueron de  $2.12 \pm 0.47$  mg de cianidina-3-glucosido/g en los tratamientos evaluados con sacarosa – eritritol y de  $2.27 \pm 0.23$  mg de cianidina-3-glucosido/g para el tratamiento de inulina con eritritol, ambos tratamientos evaluados a concentraciones del medio osmótico de 30 °Brix.

La tendencia que se presentó en todos los tratamientos evaluados durante la deshidratación osmótica fue que los valores más altos se obtuvieron a 45 °C empleando NaCl como inductor y los más bajos siempre fueron a temperaturas de 65 °C con eritritol como inductor, a medida que la temperatura de deshidratación osmótica aumentaba y la concentración del medio osmótico disminuía (40 y 30 °Brix) el contenido de antocianinas totales fue disminuyendo gradualmente. Esto concuerda con lo reportado por Osorio *et al.*, (2007) quien señala que las altas pérdidas en el contenido de antocianinas pueden explicarse debido a su alta hidrosolubilidad y su localizan en la piel que ayuda a que estas pasen por lixiviación a la solución osmótica cuanto menor sea la concentración del medio, pudiendo llegar a obtener productos prácticamente incoloros.

La poca pérdida del contenido de antocianinas totales durante la deshidratación osmótica, se puede atribuir a la eliminación del agua por efecto de los azúcares presentes en la solución osmótica, protegiéndose de esta manera el catión flavilio (2-fenilbenzopirilio), evitando así su degradación, este catión constituye la estructura básica de las antocianidinas (aglicona) a la que se le une un azúcar por medio de un enlace glucosídico para formar las antocianinas tal como reporta Aguilera *et al.*, (2011).

**Tabla 18.** Determinación del contenido de antocianinas totales de los arándanos deshidratados osmóticamente a 30 ° Brix.

Tratamiento 30 °Brix	Contenido de antocianinas (mg/g)
Arándano Fresco	8.97 ± 0.50 <sup>a</sup>
Sacarosa, D.O 65 °C, Inductor NaCl	3.64 ± 0.60 <sup>defg</sup>
Sacarosa, D.O 55 °C, Inductor NaCl	4.80 ± 0.68 <sup>bcde</sup>
Sacarosa, D.O 45 °C, Inductor NaCl	5.43 ± 0.68 <sup>bc</sup>
Sacarosa, D.O 65 °C, Inductor Eritritol	2.12 ± 0.47 <sup>g</sup>
Sacarosa, D.O 55 °C, Inductor Eritritol	2.98 ± 0.77 <sup>fg</sup>
Sacarosa, D.O 45 °C, Inductor Eritritol	3.81 ± 0.77 <sup>cdefg</sup>
Inulina, D.O 65 °C, Inductor NaCl	3.87 ± 0.46 <sup>cdefg</sup>
Inulina, D.O 55 °C, Inductor NaCl	5.09 ± 0.86 <sup>bcd</sup>
Inulina, D.O 45 °C, Inductor NaCl	5.84 ± 0.56 <sup>b</sup>
Inulina, D.O 65 °C, Inductor Eritritol	2.27 ± 0.23 <sup>g</sup>
Inulina, D.O 55 °C, Inductor Eritritol	3.30 ± 0.39 <sup>efg</sup>
Inulina, D.O 45 °C, Inductor Eritritol	4.46 ± 0.30 <sup>bcdef</sup>

D.O = Deshidratación osmótica.

Diferentes superíndices significan que los valores medios son significativamente diferentes a  $p < 0,05$

**Tabla 19.** Determinación del contenido de antocianinas totales de los arándanos deshidratados osmóticamente a 40 ° Brix.

<b>Tratamiento 40 °Brix</b>	<b>Contenido de antocianinas (mg/g)</b>
Arándano Fresco	8.97 ± 0.50 <sup>a</sup>
Sacarosa, D.O 65 °C, Inductor NaCl	4.06 ± 0.43 <sup>ef</sup>
Sacarosa, D.O 55 °C, Inductor NaCl	5.76 ± 0.55 <sup>bcd</sup>
Sacarosa, D.O 45 °C, Inductor NaCl	6.57 ± 0.54 <sup>b</sup>
Sacarosa, D.O 65 °C, Inductor Eritritol	2.22 ± 0.40 <sup>g</sup>
Sacarosa, D.O 55 °C, Inductor Eritritol	3.80 ± 0.80 <sup>ef</sup>
Sacarosa, D.O 45 °C, Inductor Eritritol	4.73 ± 0.61 <sup>cde</sup>
Inulina, D.O 65 °C, Inductor NaCl	4.20 ± 0.60 <sup>de</sup>
Inulina, D.O 55 °C, Inductor NaCl	5.90 ± 0.53 <sup>bc</sup>
Inulina, D.O 45 °C, Inductor NaCl	6.76 ± 0.51 <sup>b</sup>
Inulina, D.O 65 °C, Inductor Eritritol	2.59 ± 0.46 <sup>fg</sup>
Inulina, D.O 55 °C, Inductor Eritritol	3.86 ± 0.46 <sup>ef</sup>
Inulina, D.O 45 °C, Inductor Eritritol	4.67 ± 0.36 <sup>cde</sup>

D.O = Deshidratación osmótica.

Diferentes superíndices significan que los valores medios son significativamente diferentes a  $p < 0,05$ .

**Tabla 20.** Determinación del contenido de antocianinas totales de los arándanos deshidratados osmóticamente a 50 ° Brix.

Tratamiento 50 °Brix	Contenido de antocianinas (mg/g)
Arándano Fresco	8.97 ± 0.50 <sup>a</sup>
Sacarosa, D.O 65 °C, Inductor NaCl	4.30 ± 0.40 <sup>ef</sup>
Sacarosa, D.O 55 °C, Inductor NaCl	5.98 ± 0.35 <sup>bcd</sup>
Sacarosa, D.O 45 °C, Inductor NaCl	6.94 ± 0.50 <sup>b</sup>
Sacarosa, D.O 65 °C, Inductor Eritritol	2.72 ± 0.35 <sup>g</sup>
Sacarosa, D.O 55 °C, Inductor Eritritol	4.04 ± 0.47 <sup>fg</sup>
Sacarosa, D.O 45 °C, Inductor Eritritol	5.24 ± 0.36 <sup>cdef</sup>
Inulina, D.O 65 °C, Inductor NaCl	4.88 ± 0.47 <sup>cdef</sup>
Inulina, D.O 55 °C, Inductor NaCl	6.23 ± 0.57 <sup>bc</sup>
Inulina, D.O 45 °C, Inductor NaCl	7.18 ± 0.73 <sup>b</sup>
Inulina, D.O 65 °C, Inductor Eritritol	3.99 ± 0.30 <sup>fg</sup>
Inulina, D.O 55 °C, Inductor Eritritol	4.70 ± 0.59 <sup>def</sup>
Inulina, D.O 45 °C, Inductor Eritritol	5.53 ± 0.40 <sup>cde</sup>

D.O = Deshidratación osmótica.

Diferentes superíndices significan que los valores medios son significativamente diferentes a  $p < 0,05$ .

El contenido de antocianinas totales evaluado después de la etapa de secado convectivo a 60, 70 y 80 °C, en los tratamientos pretratados osmóticamente, sin pretratamiento, así como el arándano en fresco se muestran en las Tablas 21, 22, 23, 24, 25 y 26 donde se puede observar que existen diferencias significativas entre los tratamientos evaluados a concentraciones previas de pretratamiento osmótico de 30, 40 y 50 °Brix respectivamente.

El arándano fresco presentó un contenido de antocianinas totales de  $8.97 \pm 0.50$  mg de cianidina-3-glucosido/g. Los tratamientos control (sin pretratamiento osmótico) secados convectivamente a 80 °C presentaron valores de  $0.64 \pm 0.03$  mg de cianidina-3-glucosido/g, para el tratamiento evaluado a 70 °C un valor de  $13 \pm 0.03$  mg de cianidina-3-glucosido/g y para el evaluado a 60 °C un valor de  $0.83 \pm 0.05$  mg de cianidina-3-glucosido/g.

Los valores más altos de antocianinas totales se obtuvieron en los tratamientos evaluados a 55 °C en la deshidratación osmótica y a 60 °C en el secado convectivo, empleando inulina – NaCl el cual presentó  $2.22 \pm 0.09$  mg de cianidina-3-glucosido/g y empleando sacarosa – NaCl presentó  $2.08 \pm 0.05$  mg de cianidina-3-glucosido/g, en ambos tratamientos las concentraciones previas del medio osmótico fueron de 50 °Brix.

Los resultados más bajos se obtuvieron en los tratamientos evaluados a 65 °C en la deshidratación osmótica y a 80 °C en el secado convectivo, empleando inulina – eritritol el cual presentó  $0.62 \pm 0.17$  mg de cianidina-3-glucosido/g y empleando sacarosa – eritritol presentó  $0.65 \pm 0.04$  mg de cianidina-3-glucosido/g, ambos tratamientos evaluados a concentraciones previas del medio osmótico de 30 °Brix.

**Tabla 21.** Determinación del contenido de antocianinas totales de los arándanos secados convectivamente, pretratados osmóticamente con sacarosa a 30 ° Brix.

Tratamiento (Sacarosa 30 °Brix)	Contenido de antocianinas (mg/g)
Arándano Fresco	8.97 ± 0.50 <sup>a</sup>
Blanco 80 °C	0.64 ± 0.03 <sup>g</sup>
Blanco 70 °C	1.13 ± 0.03 <sup>cdef</sup>
Blanco 60 °C	0.83 ± 0.05 <sup>efg</sup>
D.O 65 °C, Inductor NaCl, S.C 80 °C	1.01 ± 0.08 <sup>defg</sup>
D.O 55 °C, Inductor NaCl, S.C 80 °C	1.20 ± 0.03 <sup>cde</sup>
D.O 45 °C, Inductor NaCl, S.C 80 °C	0.95 ± 0.03 <sup>defg</sup>
D.O 65 °C, Inductor NaCl, S.C 70 °C	1.33 ± 0.05 <sup>bcd</sup>
D.O 55 °C, Inductor NaCl, S.C 70 °C	1.46 ± 0.20 <sup>bc</sup>
D.O 45 °C, Inductor NaCl, S.C 70 °C	1.31 ± 0.05 <sup>bcd</sup>
D.O 65 °C, Inductor NaCl, S.C 60 °C	1.55 ± 0.20 <sup>bc</sup>
D.O 55 °C, Inductor NaCl, S.C 60 °C	1.64 ± 0.11 <sup>b</sup>
D.O 45 °C, Inductor NaCl, S.C 60 °C	1.53 ± 0.09 <sup>bc</sup>
D.O 65 °C, Inductor Eritritol, S.C 80 °C	0.65 ± 0.04 <sup>g</sup>
D.O 55 °C, Inductor Eritritol, S.C 80 °C	0.73 ± 0.07 <sup>fg</sup>
D.O 45 °C, Inductor Eritritol, S.C 80 °C	0.68 ± 0.13 <sup>g</sup>
D.O 65 °C, Inductor Eritritol, S.C 70 °C	0.74 ± 0.05 <sup>fg</sup>
D.O 55 °C, Inductor Eritritol, S.C 70 °C	0.81 ± 0.06 <sup>efg</sup>
D.O 45 °C, Inductor Eritritol, S.C 70 °C	0.76 ± 0.07 <sup>fg</sup>
D.O 65 °C, Inductor Eritritol, S.C 60 °C	0.78 ± 0.05 <sup>efg</sup>
D.O 55 °C, Inductor Eritritol, S.C 60 °C	0.91 ± 0.09 <sup>defg</sup>
D.O 45 °C, Inductor Eritritol, S.C 60 °C	0.80 ± 0.07 <sup>efg</sup>

D.O = Deshidratación osmótica, S.C = Secado convectivo.

Diferentes superíndices significan que los valores medios son significativamente diferentes a  $p < 0,05$ .

**Tabla 22.** Determinación del contenido de antocianinas totales de los arándanos secados convectivamente, pretratados osmóticamente con inulina a 30 ° Brix.

Tratamiento (Inulina 30 °Brix)	Contenido de antocianinas (mg/g)
Arándano Fresco	8.97 ± 0.50 <sup>a</sup>
Blanco 80 °C	0.64 ± 0.03 <sup>g</sup>
Blanco 70 °C	1.13 ± 0.03 <sup>cdef</sup>
Blanco 60 °C	0.83 ± 0.05 <sup>efg</sup>
D.O 65 °C, Inductor NaCl, S.C 80 °C	1.14 ± 0.10 <sup>cdef</sup>
D.O 55 °C, Inductor NaCl, S.C 80 °C	1.27 ± 0.11 <sup>bcd</sup>
D.O 45 °C, Inductor NaCl, S.C 80 °C	1.00 ± 0.06 <sup>defg</sup>
D.O 65 °C, Inductor NaCl, S.C 70 °C	1.22 ± 0.03 <sup>bcde</sup>
D.O 55 °C, Inductor NaCl, S.C 70 °C	1.50 ± 0.06 <sup>bc</sup>
D.O 45 °C, Inductor NaCl, S.C 70 °C	1.09 ± 0.15 <sup>cdef</sup>
D.O 65 °C, Inductor NaCl, S.C 60 °C	1.30 ± 0.10 <sup>bcd</sup>
D.O 55 °C, Inductor NaCl, S.C 60 °C	1.62 ± 0.12 <sup>b</sup>
D.O 45 °C, Inductor NaCl, S.C 60 °C	1.26 ± 0.13 <sup>bcd</sup>
D.O 65 °C, Inductor Eritritol, S.C 80 °C	0.62 ± 0.17 <sup>g</sup>
D.O 55 °C, Inductor Eritritol, S.C 80 °C	0.77 ± 0.03 <sup>fg</sup>
D.O 45 °C, Inductor Eritritol, S.C 80 °C	0.62 ± 0.05 <sup>g</sup>
D.O 65 °C, Inductor Eritritol, S.C 70 °C	0.74 ± 0.03 <sup>fg</sup>
D.O 55 °C, Inductor Eritritol, S.C 70 °C	0.80 ± 0.04 <sup>efg</sup>
D.O 45 °C, Inductor Eritritol, S.C 70 °C	0.65 ± 0.06 <sup>g</sup>
D.O 65 °C, Inductor Eritritol, S.C 60 °C	0.83 ± 0.05 <sup>efg</sup>
D.O 55 °C, Inductor Eritritol, S.C 60 °C	0.88 ± 0.16 <sup>defg</sup>
D.O 45 °C, Inductor Eritritol, S.C 60 °C	0.78 ± 0.04 <sup>fg</sup>

D.O = Deshidratación osmótica, S.C = Secado convectivo.

Diferentes superíndices significan que los valores medios son significativamente diferentes a  $p < 0.05$ .

**Tabla 23.** Determinación del contenido de antocianinas totales de los arándanos secados convectivamente, pretratados osmóticamente con sacarosa a 40 ° Brix.

Tratamiento (Sacarosa 40 °Brix)	Contenido de antocianinas (mg/g)
Arándano Fresco	8.97 ± 0.50 <sup>a</sup>
Blanco 80 °C	0.64 ± 0.03 <sup>h</sup>
Blanco 70 °C	1.13 ± 0.03 <sup>defg</sup>
Blanco 60 °C	0.83 ± 0.05 <sup>fgh</sup>
D.O 65 °C, Inductor NaCl, S.C 80 °C	1.10 ± 0.10 <sup>defgh</sup>
D.O 55 °C, Inductor NaCl, S.C 80 °C	1.26 ± 0.10 <sup>cdef</sup>
D.O 45 °C, Inductor NaCl, S.C 80 °C	1.08 ± 0.05 <sup>defgh</sup>
D.O 65 °C, Inductor NaCl, S.C 70 °C	1.41 ± 0.06 <sup>bcd</sup>
D.O 55 °C, Inductor NaCl, S.C 70 °C	1.49 ± 0.20 <sup>bcd</sup>
D.O 45 °C, Inductor NaCl, S.C 70 °C	1.38 ± 0.04 <sup>bcde</sup>
D.O 65 °C, Inductor NaCl, S.C 60 °C	1.67 ± 0.19 <sup>bc</sup>
D.O 55 °C, Inductor NaCl, S.C 60 °C	1.78 ± 0.10 <sup>b</sup>
D.O 45 °C, Inductor NaCl, S.C 60 °C	1.61 ± 0.12 <sup>bc</sup>
D.O 65 °C, Inductor Eritritol, S.C 80 °C	0.71 ± 0.05 <sup>gh</sup>
D.O 55 °C, Inductor Eritritol, S.C 80 °C	0.78 ± 0.09 <sup>gh</sup>
D.O 45 °C, Inductor Eritritol, S.C 80 °C	0.72 ± 0.16 <sup>gh</sup>
D.O 65 °C, Inductor Eritritol, S.C 70 °C	0.76 ± 0.10 <sup>gh</sup>
D.O 55 °C, Inductor Eritritol, S.C 70 °C	0.90 ± 0.06 <sup>fgh</sup>
D.O 45 °C, Inductor Eritritol, S.C 70 °C	0.81 ± 0.05 <sup>fgh</sup>
D.O 65 °C, Inductor Eritritol, S.C 60 °C	0.81 ± 0.08 <sup>fgh</sup>
D.O 55 °C, Inductor Eritritol, S.C 60 °C	0.95 ± 0.13 <sup>efgh</sup>
D.O 45 °C, Inductor Eritritol, S.C 60 °C	0.85 ± 0.07 <sup>fgh</sup>

D.O = Deshidratación osmótica, S.C = Secado convectivo.

Diferentes superíndices significan que los valores medios son significativamente diferentes a  $p < 0.05$ .

**Tabla 24.** Determinación del contenido de antocianinas totales de los arándanos secados convectivamente, pretratados osmóticamente con inulina a 40 ° Brix.

Tratamiento (Inulina 40 °Brix)	Contenido de antocianinas (mg/g)
Arándano Fresco	8.97 ± 0.50 <sup>a</sup>
Blanco 80 °C	0.64 ± 0.03 <sup>k</sup>
Blanco 70 °C	1.13 ± 0.03 <sup>defghij</sup>
Blanco 60 °C	0.83 ± 0.05 <sup>hijk</sup>
D.O 65 °C, Inductor NaCl, S.C 80 °C	1.23 ± 0.09 <sup>cdefgh</sup>
D.O 55 °C, Inductor NaCl, S.C 80 °C	1.36 ± 0.06 <sup>bcde</sup>
D.O 45 °C, Inductor NaCl, S.C 80 °C	1.15 ± 0.07 <sup>defghi</sup>
D.O 65 °C, Inductor NaCl, S.C 70 °C	1.30 ± 0.13 <sup>bcdefg</sup>
D.O 55 °C, Inductor NaCl, S.C 70 °C	1.61 ± 0.06 <sup>bc</sup>
D.O 45 °C, Inductor NaCl, S.C 70 °C	1.22 ± 0.10 <sup>cdefgh</sup>
D.O 65 °C, Inductor NaCl, S.C 60 °C	1.42 ± 0.17 <sup>bcd</sup>
D.O 55 °C, Inductor NaCl, S.C 60 °C	1.71 ± 0.14 <sup>b</sup>
D.O 45 °C, Inductor NaCl, S.C 60 °C	1.33 ± 0.15 <sup>bcdef</sup>
D.O 65 °C, Inductor Eritritol, S.C 80 °C	0.75 ± 0.07 <sup>ijk</sup>
D.O 55 °C, Inductor Eritritol, S.C 80 °C	0.87 ± 0.03 <sup>ghijk</sup>
D.O 45 °C, Inductor Eritritol, S.C 80 °C	0.70 ± 0.06 <sup>jk</sup>
D.O 65 °C, Inductor Eritritol, S.C 70 °C	0.84 ± 0.03 <sup>hijk</sup>
D.O 55 °C, Inductor Eritritol, S.C 70 °C	0.92 ± 0.09 <sup>efghijk</sup>
D.O 45 °C, Inductor Eritritol, S.C 70 °C	0.77 ± 0.13 <sup>ijk</sup>
D.O 65 °C, Inductor Eritritol, S.C 60 °C	0.91 ± 0.11 <sup>fghijk</sup>
D.O 55 °C, Inductor Eritritol, S.C 60 °C	0.98 ± 0.10 <sup>efghijk</sup>
D.O 45 °C, Inductor Eritritol, S.C 60 °C	0.89 ± 0.09 <sup>fghijk</sup>

D.O = Deshidratación osmótica, S.C = Secado convectivo.

Diferentes superíndices significan que los valores medios son significativamente diferentes a  $p < 0.05$ .

**Tabla 25.** Determinación del contenido de antocianinas totales de los arándanos secados convectivamente, pretratados osmóticamente con sacarosa a 50 ° Brix.

Tratamiento (Sacarosa 50 °Brix)	Contenido de antocianinas (mg/g)
Arándano Fresco	8.97 ± 0.50 <sup>a</sup>
Blanco 80 °C	0.64 ± 0.03 <sup>j</sup>
Blanco 70 °C	1.13 ± 0.03 <sup>fghi</sup>
Blanco 60 °C	0.83 ± 0.05 <sup>ij</sup>
D.O 65 °C, Inductor NaCl, S.C 80 °C	1.28 ± 0.04 <sup>efgh</sup>
D.O 55 °C, Inductor NaCl, S.C 80 °C	1.37 ± 0.14 <sup>defg</sup>
D.O 45 °C, Inductor NaCl, S.C 80 °C	1.11 ± 0.04 <sup>fghi</sup>
D.O 65 °C, Inductor NaCl, S.C 70 °C	1.52 ± 0.07 <sup>cdef</sup>
D.O 55 °C, Inductor NaCl, S.C 70 °C	1.68 ± 0.12 <sup>bcde</sup>
D.O 45 °C, Inductor NaCl, S.C 70 °C	1.44 ± 0.04 <sup>cdef</sup>
D.O 65 °C, Inductor NaCl, S.C 60 °C	1.81 ± 0.18 <sup>bc</sup>
D.O 55 °C, Inductor NaCl, S.C 60 °C	2.08 ± 0.05 <sup>b</sup>
D.O 45 °C, Inductor NaCl, S.C 60 °C	1.72 ± 0.14 <sup>bcd</sup>
D.O 65 °C, Inductor Eritritol, S.C 80 °C	0.84 ± 0.04 <sup>ij</sup>
D.O 55 °C, Inductor Eritritol, S.C 80 °C	0.92 ± 0.07 <sup>hij</sup>
D.O 45 °C, Inductor Eritritol, S.C 80 °C	0.86 ± 0.06 <sup>hij</sup>
D.O 65 °C, Inductor Eritritol, S.C 70 °C	0.91 ± 0.03 <sup>hij</sup>
D.O 55 °C, Inductor Eritritol, S.C 70 °C	0.96 ± 0.06 <sup>ghij</sup>
D.O 45 °C, Inductor Eritritol, S.C 70 °C	0.93 ± 0.03 <sup>hij</sup>
D.O 65 °C, Inductor Eritritol, S.C 60 °C	0.94 ± 0.09 <sup>hij</sup>
D.O 55 °C, Inductor Eritritol, S.C 60 °C	1.01 ± 0.11 <sup>ghij</sup>
D.O 45 °C, Inductor Eritritol, S.C 60 °C	0.98 ± 0.14 <sup>ghij</sup>

D.O = Deshidratación osmótica, S.C = Secado convectivo.

Diferentes superíndices significan que los valores medios son significativamente diferentes a  $p < 0,05$ .

**Tabla 26.** Determinación del contenido de antocianinas totales de los arándanos secados convectivamente, pretratados osmóticamente con inulina a 50 ° Brix.

Tratamiento (Inulina 50 °Brix)	Contenido de antocianinas (mg/g)
Arándano Fresco	8.97 ± 0.50 <sup>a</sup>
Blanco 80 °C	0.64 ± 0.03 <sup>i</sup>
Blanco 70 °C	1.13 ± 0.03 <sup>fgh</sup>
Blanco 60 °C	0.83 ± 0.05 <sup>hi</sup>
D.O 65 °C, Inductor NaCl, S.C 80 °C	1.36 ± 0.12 <sup>efg</sup>
D.O 55 °C, Inductor NaCl, S.C 80 °C	1.47 ± 0.06 <sup>def</sup>
D.O 45 °C, Inductor NaCl, S.C 80 °C	1.22 ± 0.03 <sup>fgh</sup>
D.O 65 °C, Inductor NaCl, S.C 70 °C	1.84 ± 0.04 <sup>bcd</sup>
D.O 55 °C, Inductor NaCl, S.C 70 °C	1.91 ± 0.07 <sup>bc</sup>
D.O 45 °C, Inductor NaCl, S.C 70 °C	1.69 ± 0.03 <sup>cde</sup>
D.O 65 °C, Inductor NaCl, S.C 60 °C	1.95 ± 0.06 <sup>bc</sup>
D.O 55 °C, Inductor NaCl, S.C 60 °C	2.22 ± 0.09 <sup>b</sup>
D.O 45 °C, Inductor NaCl, S.C 60 °C	1.86 ± 0.04 <sup>bcd</sup>
D.O 65 °C, Inductor Eritritol, S.C 80 °C	0.90 ± 0.04 <sup>hi</sup>
D.O 55 °C, Inductor Eritritol, S.C 80 °C	0.97 ± 0.04 <sup>ghi</sup>
D.O 45 °C, Inductor Eritritol, S.C 80 °C	0.88 ± 0.09 <sup>hi</sup>
D.O 65 °C, Inductor Eritritol, S.C 70 °C	0.96 ± 0.09 <sup>ghi</sup>
D.O 55 °C, Inductor Eritritol, S.C 70 °C	1.01 ± 0.09 <sup>ghi</sup>
D.O 45 °C, Inductor Eritritol, S.C 70 °C	0.94 ± 0.09 <sup>hi</sup>
D.O 65 °C, Inductor Eritritol, S.C 60 °C	1.04 ± 0.17 <sup>ghi</sup>
D.O 55 °C, Inductor Eritritol, S.C 60 °C	1.11 ± 0.07 <sup>fgh</sup>
D.O 45 °C, Inductor Eritritol, S.C 60 °C	1.01 ± 0.15 <sup>ghi</sup>

D.O = Deshidratación osmótica, S.C = Secado convectivo.

Diferentes superíndices significan que los valores medios son significativamente diferentes a  $p < 0.05$ .

Se puede observar que de nueva cuenta los valores más bajos presentes en el contenido de antocianinas (Tablas 21-26) se obtuvieron empleando como inductor eritritol y los más altos empleando NaCl como inductor, el factor de la temperatura también tuvo un impacto ya que los tratamientos evaluados a 60 °C al ser una temperatura más baja, nos permitió obtener valores más altos de antocianinas totales y conforme aumentaba la temperatura a 70 y 80 °C el valor disminuía, mientras que el factor de la concentración del medio osmótico al cual fue pretratado el arándano también tuvo influencia ya que a medida que la concentración disminuía a 30 y 40 °Brix, el contenido de antocianinas disminuía.

Lo anterior puede ser explicado debido a que la degradación del catión flavilio puede variar, dependiendo de la concentración de azúcares o con el fenómeno denominado copigmentación, cuando los azúcares se encuentran a altas concentraciones, la actividad de agua es baja, lo que resultaría conveniente para disminuir las probabilidades de ataque nucleofílico del agua al catión, evitándose la formación de la base carbinol incolora. Sin embargo, cuando los azúcares están en bajas concentraciones la actividad de agua no se ve afectada, por lo que los productos de degradación de los azúcares (hidroximetilfurfural y furfural) acelerarían la degradación de las antocianinas (Kopjar & Piližota, 2009).

El comportamiento bajo de los valores obtenidos en el contenido de antocianinas presentado en los tratamientos en los que se utilizó eritritol, fue similar a lo reportado por (Nowicka & Wojdyło, 2015) quien señala en su trabajo sobre compuestos bioactivos y atributos sensoriales del puré de cereza endulzado con edulcorantes naturales que después de la adición de glicósidos de esteviol o eritritol, el nivel de flavan-3-oles fue más bajo entre un 35% y un 12 % que en el puré de cereza puro, respectivamente, esto debido al impacto de los edulcorantes naturales sobre la desestabilización de los flavan-3-oles, siendo el resultado de interacciones intermoleculares, como la unión preferencial de los oligómeros más grandes a los polisacáridos de la pared celular. Además, como sugirió Ngo et al., (2007) las catequinas y proantocianidinas jugaron un papel importante en la degradación de las antocianinas y el pardeamiento polimérico.

Entre los diferentes autores señalan que las variaciones en el contenido de antocianinas totales, tratadas a mismas condiciones de secado y de pretratamiento osmótico pueden ser explicadas debido a los factores ambientales fluctuantes tales como clima, luminosidad, radiación UV, temperatura, humedad del suelo, disponibilidad de nutrientes, prácticas agronómicas y variado estrés y por las diferentes técnicas analíticas utilizadas (Connor *et al.*, 2002); (Clark & Howard, 2002).

Respecto a las pérdidas en el contenido de antocianinas, una vez evaluados todos los tratamientos, la mayor retención que logramos fue de un 25 % respecto al arándano en fresco, esto representa una pérdida del 75 % en un tiempo de secado convectivo de 14 horas. De acuerdo a Giovanelli *et al.*, (2013) en su trabajo sobre la evaluación del efecto de la osmodeshidratación-secado con aire caliente, sobre las características antioxidantes de los arándanos (*Vaccinium corymbosum* L.), señalo que los ensayos osmóticos con sacarosa a 60 °Brix causaron pérdidas significativas en los componentes antioxidantes (fenoles totales, antocianinas totales e individuales) siendo de un 20 a 60 % de pérdida en el contenido de antocianinas (delfinidina, cianidina y petunidina glucósidos) a 25 °C durante 24 h de osmodeshidratación. Mientras que Gamboa & Silva, (2018) en su trabajo sobre la determinación de la temperatura y concentración de la solución osmótica en la deshidratación del arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) señala una pérdida del 61.63 % en el contenido de antocianina trabajando a temperaturas de 55 °C durante el secado convectivo en un tiempo de 10 horas.

### 10.8 Determinación de la temperatura de transición vítrea.

Los valores de la temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ) de los arándanos sometidos a secado convectivo con pretratamiento osmótico a diferentes condiciones, así como del arándano sometido a secado convectivo sin pretratamiento osmótico se muestran en la Tabla 27 y en las Figuras (85-91). Se puede observar que existen diferencias significativas entre todos los tratamientos y que la temperatura de transición vítrea varío, siendo la más baja de 41.11 °C para el arándano sometido a secado convectivo a 70 °C sin pretratamiento osmótico, la temperatura más alta fue de 77.76 °C para el arándano pretratado osmóticamente (inulina a 50 °Brix, inductor NaCl, deshidratado osmótico a 65 °C) y secado convectivo de 80 °C, para el arándano pretratado osmóticamente (inulina a 30 °Brix, inductor NaCl, deshidratado osmótico a 45 °C) y secado convectivo de 60 °C fue de 75.88, mientras que los tratamientos evaluados a concentración de 40 °Brix tanto con inulina y sacarosa las variaciones fueron muy ligeras.

La razón de encontrar la  $T_g$  más baja en el tratamiento secado convectivamente sin pretratamiento osmótico, y que la  $T_g$  haya aumentado en los arándanos con pretratamientos osmóticos, puede ser explicada debido a los diferentes contenidos de humedad de los tratamientos evaluados, ya que incrementar la humedad disminuye la  $T_g$ , debido a la plastificación del efecto del agua, la cual se basa en el debilitamiento de los enlaces de puentes de hidrógeno y dipolo-dipolo intra e intermacromolecular, dichas interacciones se dan debido principalmente a las fuerzas de atracción por las moléculas de agua, tal como lo reportan Akkaya *et al.*, (2012); Goula *et al.*, (2008).

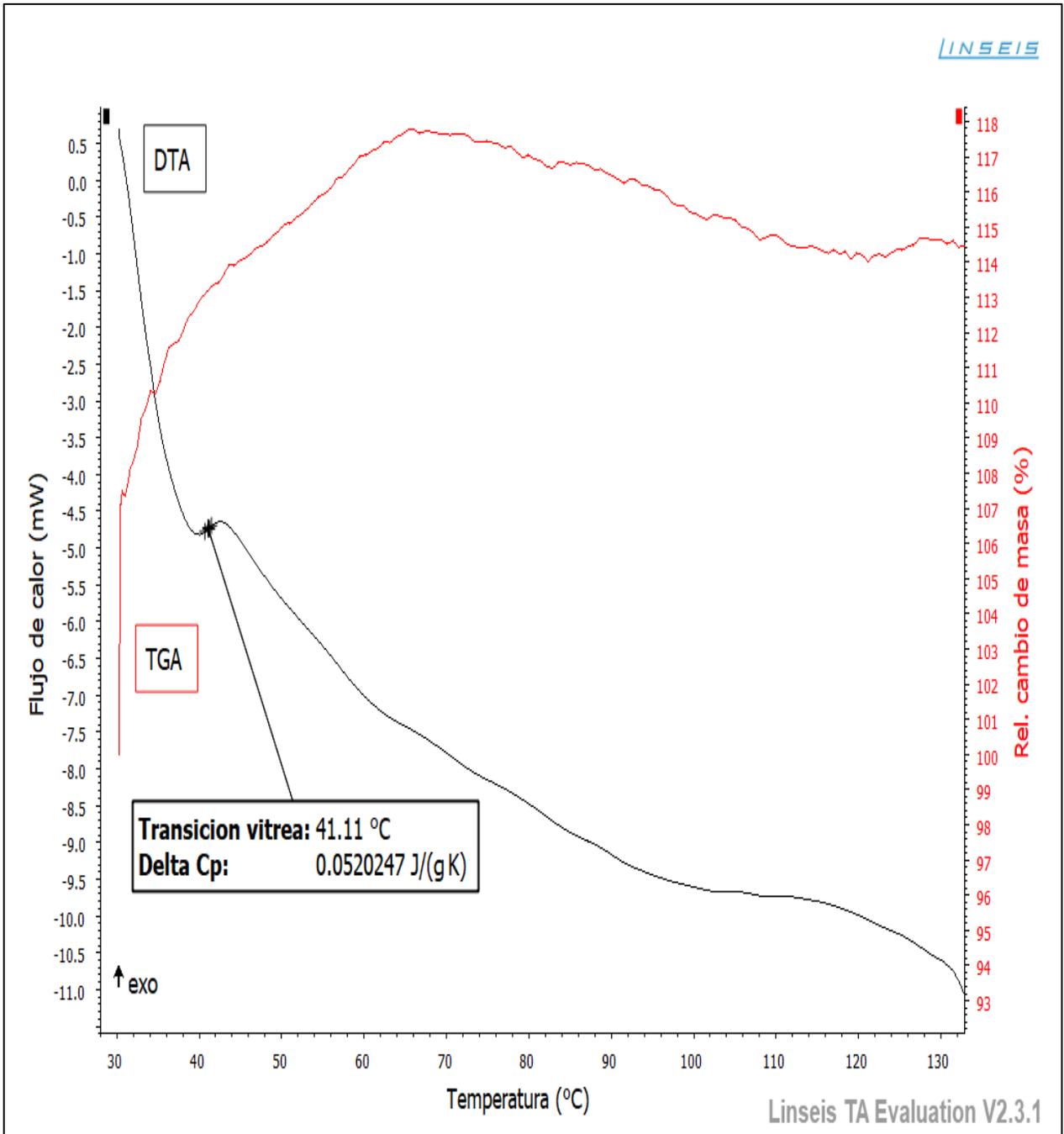
Dentro de los tratamientos evaluados con sacarosa e inulina bajo las mismas condiciones de pretratamiento osmótico y secado convectivo, los valores de  $T_g$  más bajos los encontramos en los tratamientos de sacarosa, este comportamiento podría estar relacionado con la cristalización de la sacarosa causada por la concentración del azúcar en la deshidratación osmótica; por lo tanto, la sacarosa cristalina no estaría contribuyendo a aumentar la  $T_g$  de la muestras, y el agua disponible se encontraría plastificando la fase amorfa restante del sistema, dando lugar a valores bajos de  $T_g$ , según lo señalado por Sette, (2015).

La determinación de la temperatura de transición vítrea (Tg) es muy importante ya que se puede utilizar como un indicador de su estabilidad durante un largo periodo de almacenamiento (Bhandari *et al.*, 1993). Ya que la pegajosidad y el apelmazamiento pueden ocurrir cuando los alimentos se calientan o exponen a humedades muy altas, estos cambios en el estado físico son controlados por las temperaturas de transición vítrea. Mientras que valores de Tg inferiores a las temperaturas de almacenamiento pueden generar problemas de estabilidad como cristalización o apelmazamiento tal como señala Farias *et al.*, (2015).

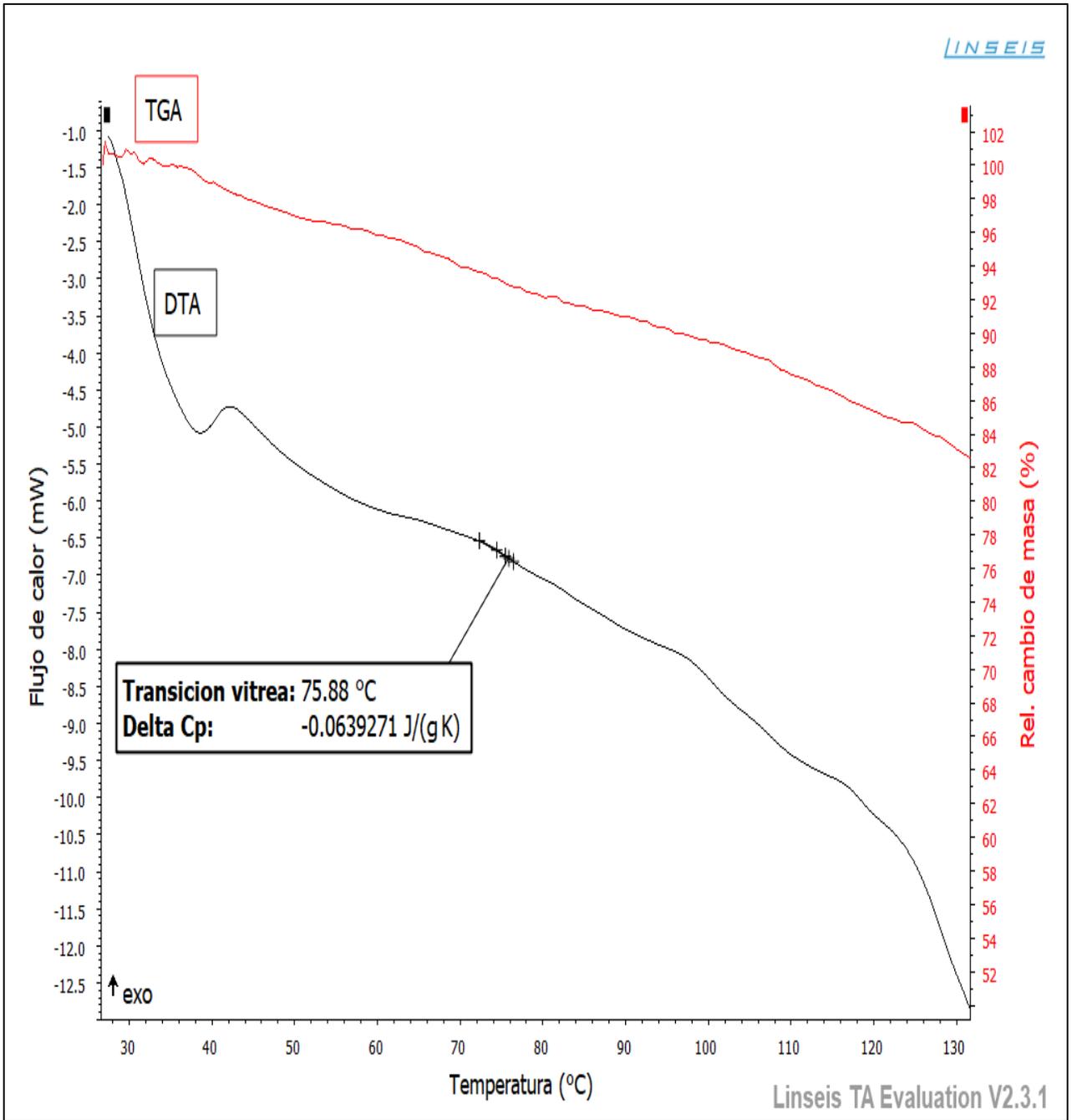
**Tabla 27.** Determinación de la temperatura de transición vítrea en el arándano sometido a secado convectivo con y sin pretratamiento osmótico.

Tratamiento	Temperatura de transición vítrea Tg (°C)
Arándano sometido a secado convectivo a 70 °C sin pretratamiento osmótico	41.11 <sup>g</sup>
Arándano pretratado osmóticamente (inulina a 30 °Brix, inductor NaCl, deshidratado osmótico a 45 °C) y secado convectivo de 60 °C.	75.88 <sup>b</sup>
Arándano pretratado osmóticamente (inulina a 40 °Brix, inductor eritritol, deshidratado osmótico a 55 °C) y secado convectivo de 70 °C.	71.48 <sup>c</sup>
Arándano pretratado osmóticamente (inulina a 40 °Brix, inductor NaCl, deshidratado osmótico a 55 °C) y secado convectivo de 70 °C.	71.17 <sup>d</sup>
Arándano pretratado osmóticamente (sacarosa a 40 °Brix, inductor eritritol, deshidratado osmótico a 55 °C) y secado convectivo de 70 °C.	69.43 <sup>f</sup>
Arándano pretratado osmóticamente (sacarosa a 40 °Brix, inductor NaCl, deshidratado osmótico a 55 °C) y secado convectivo de 70 °C.	70.78 <sup>e</sup>
Arándano pretratado osmóticamente (inulina a 50 °Brix, inductor NaCl, deshidratado osmótico a 65 °C) y secado convectivo de 80 °C.	77.76 <sup>a</sup>

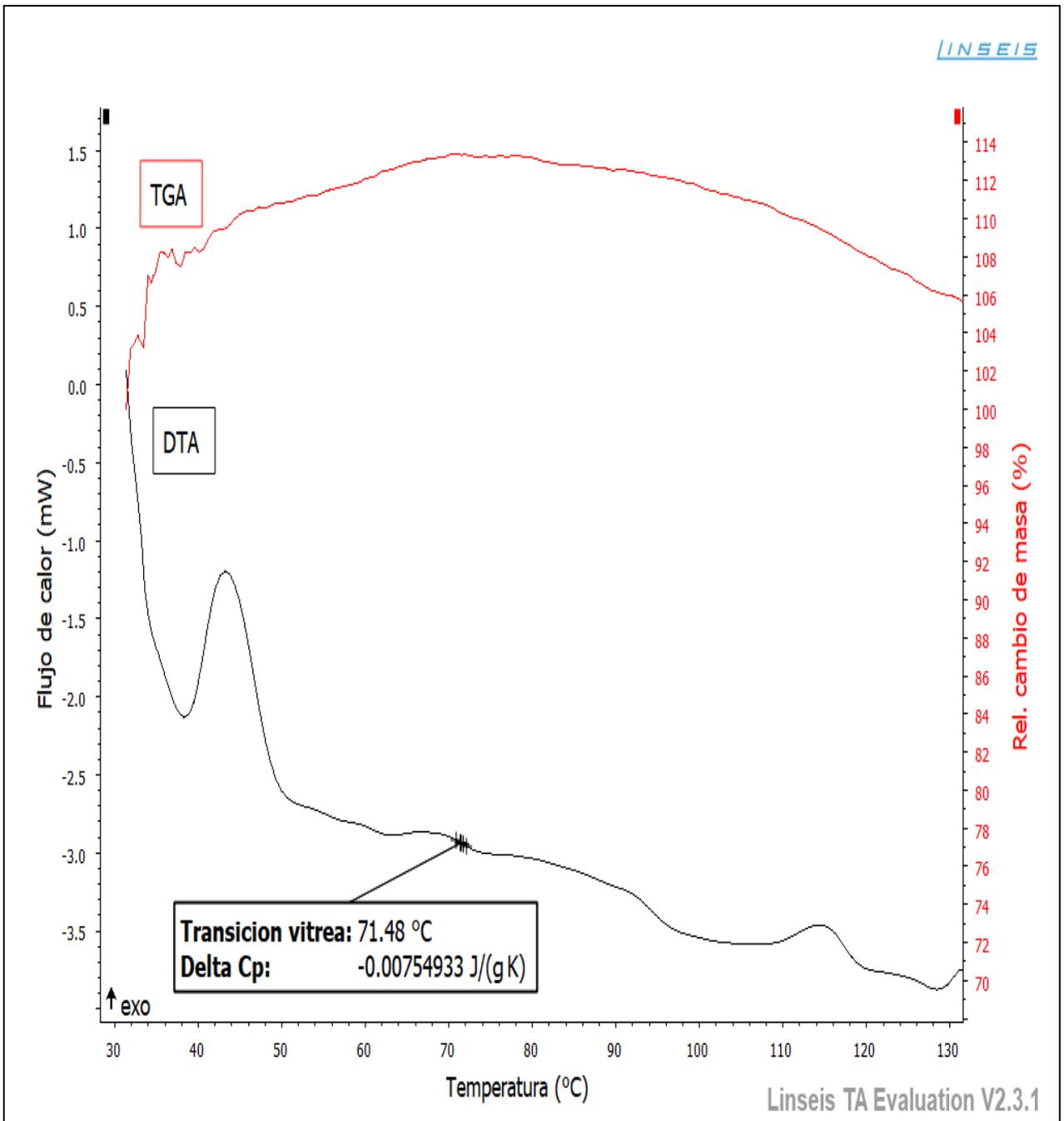
Diferentes superíndices significan que los valores medios son significativamente diferentes a  $p < 0,05$ .



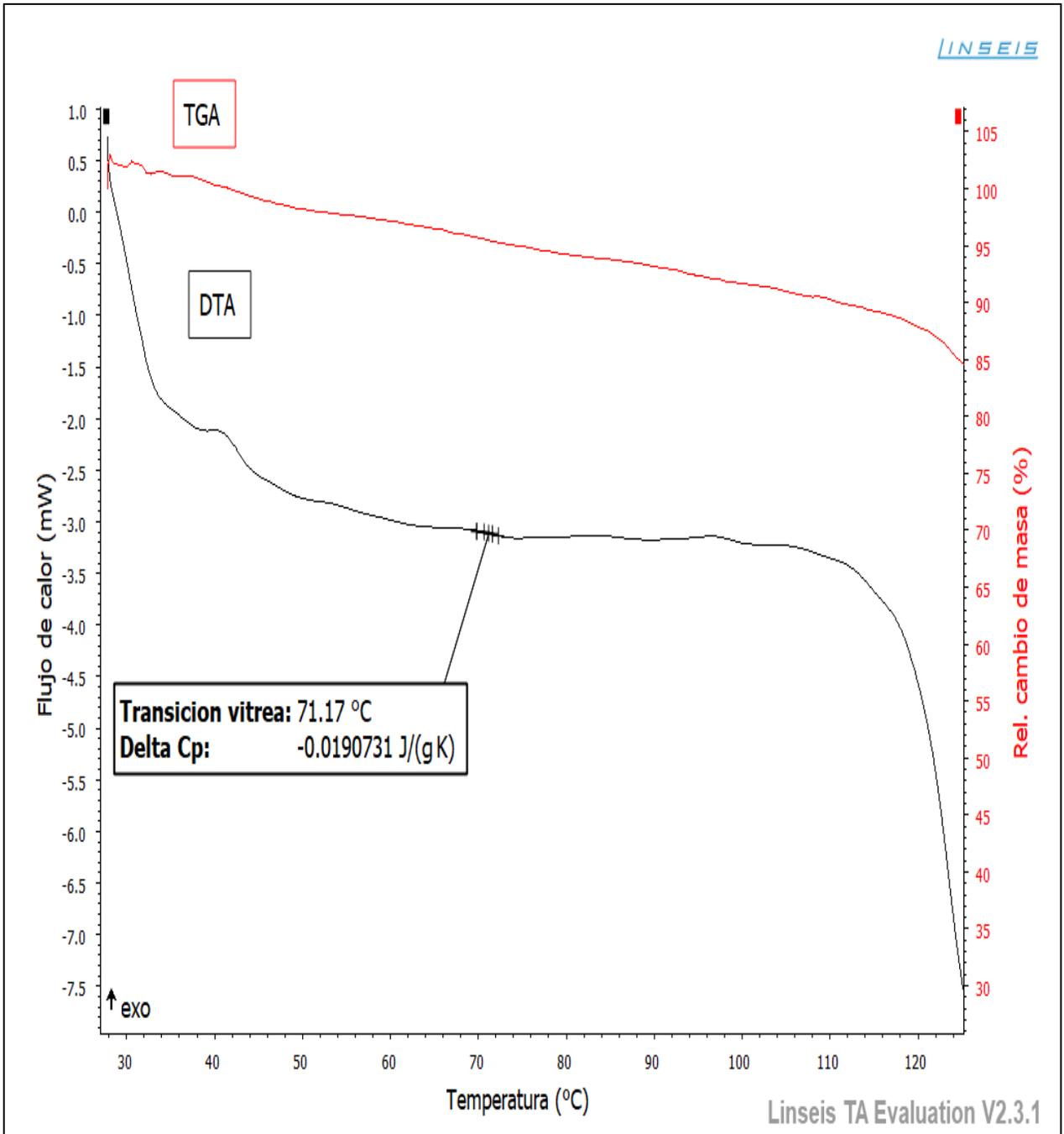
**Figura 85.** Temperatura de transición vítrea del arándano sometido a secado convectivo a 70 °C sin pretratamiento osmótico.



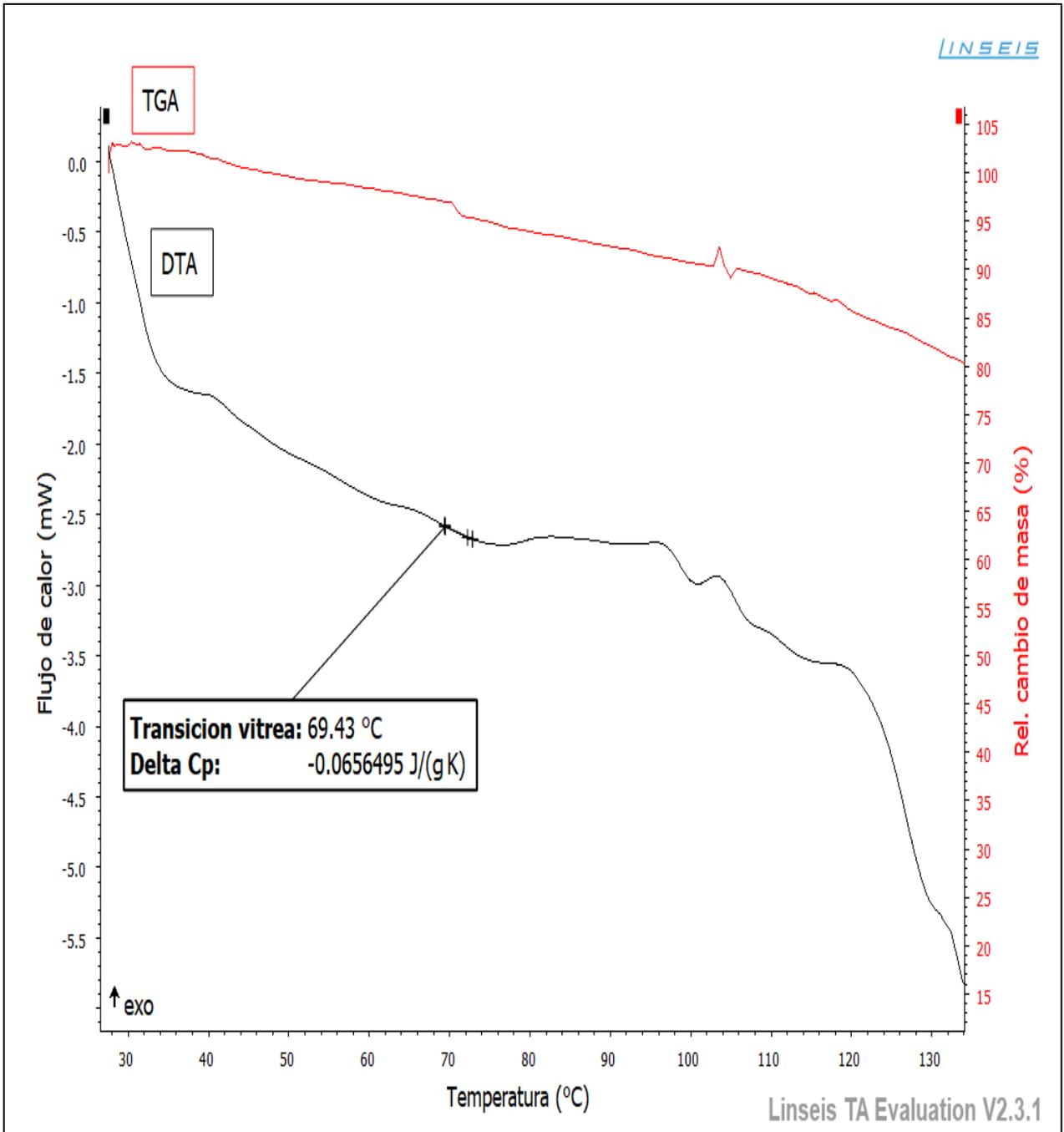
**Figura 86.** Temperatura de transición vítrea del arándano pretratado osmóticamente con inulina a 30 °Brix, empleando como inductor NaCl, temperatura de deshidratación osmótica de 45 °C y secado convectivo de 60 °C.



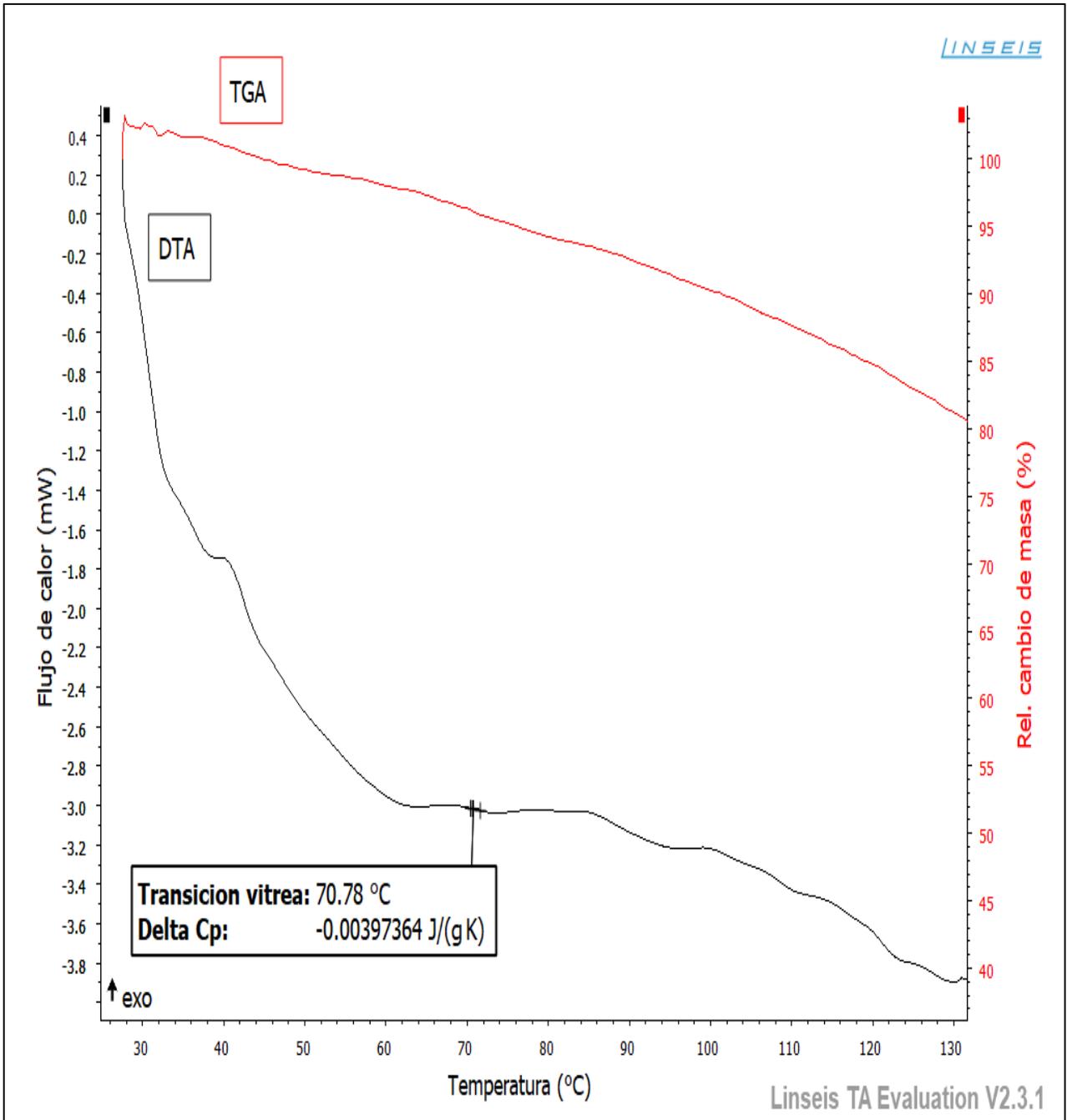
**Figura 87.** Temperatura de transición vítrea del arándano pretratado osmóticamente con inulina a 40 °Brix, empleando como inductor eritritol, temperatura de deshidratación osmótica de 55 °C y secado convectivo de 70 °C.



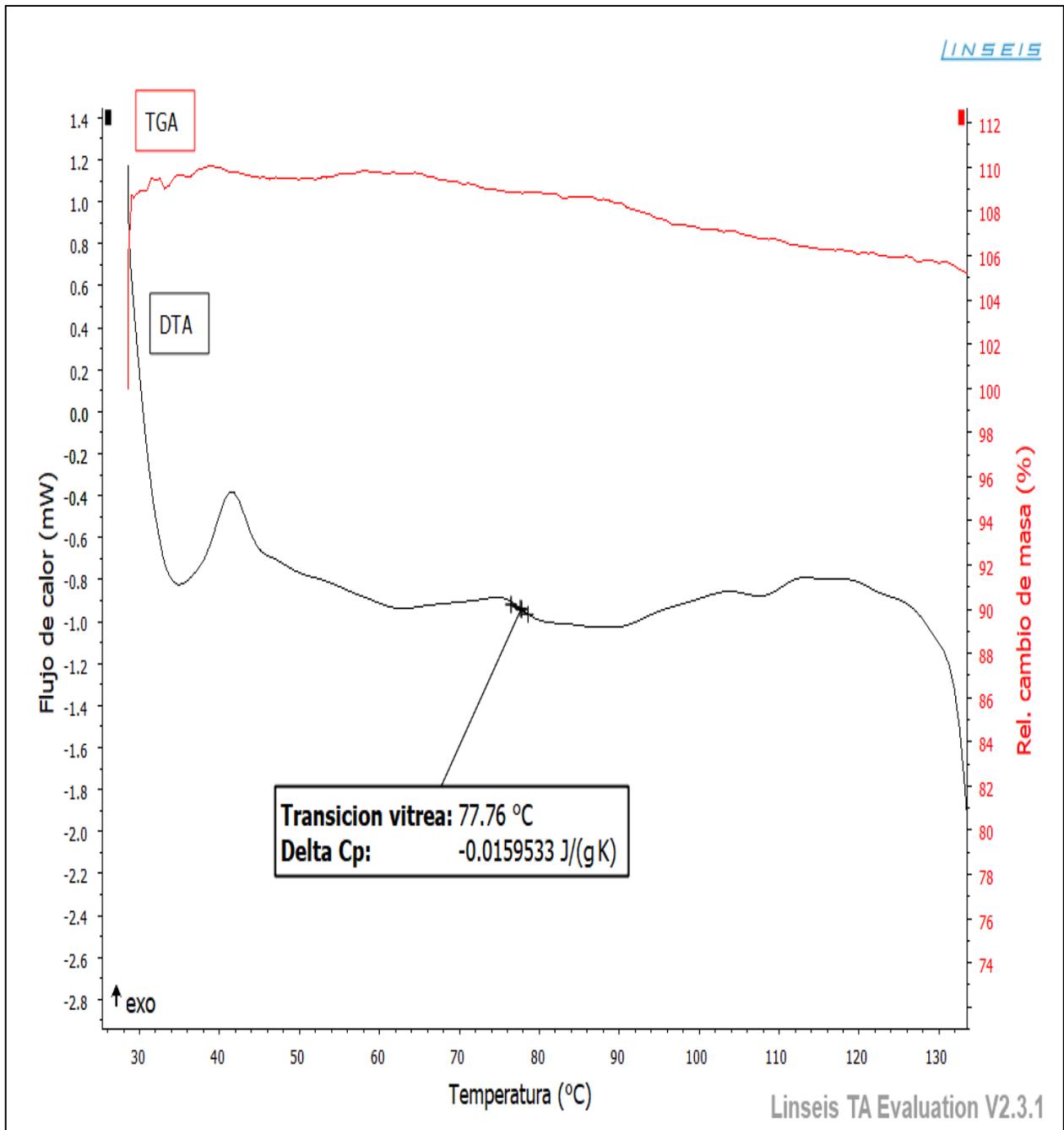
**Figura 88.** Temperatura de transición vítrea del arándano pretratado osmóticamente con inulina a 40 °Brix, empleando como inductor NaCl, temperatura de deshidratación osmótica de 55 °C y secado convectivo de 70 °C.



**Figura 89.** Temperatura de transición vítrea del arándano pretratado osmóticamente con sacarosa a 40 °Brix, empleando como inductor eritritol, temperatura de deshidratación osmótica de 55 °C y secado convectivo de 70 °C.



**Figura 90.** Temperatura de transición vítrea del arándano pretratado osmóticamente con sacarosa a 40 °Brix, empleando como inductor NaCl, temperatura de deshidratación osmótica de 55 °C y secado convectivo de 70 °C.



**Figura 91.** Temperatura de transición vítrea del arándano pretratado osmóticamente con inulina a 50 °Brix, empleando como inductor NaCl, temperatura de deshidratación osmótica de 65 °C y secado convectivo de 80 °C.

### 10.9 Determinación del perfil de textura.

Los resultados de los parámetros del análisis de perfil de textura de los arándanos sometidos a secado convectivo con pretratamiento osmótico a diferentes condiciones, así como del arándano sometido a secado convectivo sin pretratamiento osmótico se muestran en la Tabla 28. Se puede observar que para el arándano sometido a secado convectivo a 70 °C sin pretratamiento osmótico, el valor de dureza y fracturabilidad que presentó fue de  $141.81 \pm 4.49$  N. El arándano pretratado con inulina a 30 °Brix, empleando NaCl como inductor, a temperatura de deshidratación osmótica de 45 °C y posterior secado convectivo de 60 °C tuvo un valor de  $32.64 \pm 3.21$  N para los parámetros de dureza y fracturabilidad, mientras que el valor más bajo fue para el tratamiento evaluado con inulina a 50 °Brix, empleando NaCl como inductor, a temperatura de deshidratación osmótica de 65 °C y posterior secado convectivo de 80 °C que tuvo un valor de dureza de  $8.55 \pm 0.37$  N y de fracturabilidad de  $7.57 \pm 0.20$  N. Como se puede notar, los valores entre los tratamientos evaluados a concentración de 40 °Brix bajo las mismas condiciones de pretratamiento osmótico y el evaluado a concentración de 50 °Brix no presentaron diferencias significativas en los parámetros de dureza y fracturabilidad.

Respecto a la adhesividad, el arándano sometido a secado convectivo a 70 °C sin pretratamiento osmótico tuvo un valor de  $2.95 \pm 4.49$  N. El arándano pretratado con inulina a 30 °Brix, empleando NaCl como inductor, a temperatura de deshidratación osmótica de 45 °C y posterior secado convectivo de 60 °C tuvo el valor más alto que fue de  $3.46 \pm 3.21$  N, mientras que el tratamiento con el valor más bajo fue el evaluado con sacarosa a 40 °Brix, empleando eritritol como inductor, a temperatura de deshidratación osmótica de 55 °C y posterior secado convectivo de 70 °C tuvo un valor de  $0.90 \pm 2.21$  N y fue significativamente diferente a los demás tratamientos evaluados.

Los tratamientos evaluados mediante una previa deshidratación osmótica y secado convectivo, disminuyeron notablemente la dureza y la fracturabilidad respecto al tratamiento que solo fue secado convectivamente, y se puede notar una correlación entre la humedad de los arándanos y los parámetros de dureza y fracturabilidad, ya que a medida que el contenido de humedad en los tratamientos evaluados era mayor, el valor para ambos parámetros aumentaba.

Esto coincide con lo reportado por (Nsonzi & Ramaswamy, 2007) donde señala que las condiciones óptimas de deshidratación osmótica que encontraron (arándanos que fueron osmodeshidratados a concentración de 55 °Brix, temperatura de 50 °C y tiempo de 4.5 h) tuvieron un tiempo total de secado más corto, y un producto con mejor color y textura, es decir más flexible, con valores de dureza más bajos que los arándanos convencionales secados con aire caliente ya que estos presentaron valores de dureza más altos.

Lo anterior puede ser explicado debido a que la rápida evaporación del agua produce una estructura más abierta y un menor grado de contracción como resultado de la expansión del vapor dentro del producto (De Bruijn & Bórquez, 2014). Además, se cree que, si la textura de los arándanos secos es más suave, la calidad es mejor, según señala (Chong , y otros, 2008)

**Tabla 28.** Análisis del perfil de textura en el arándano sometido a secado convectivo con y sin pretratamiento osmótico.

Tratamiento	Dureza (N)	Fuerza de adhesividad (N)	Fracturabilidad (N)
Arándano deshidratado sin pretratamiento osmótico	141.81 ± 4.49 <sup>a</sup>	2.95 ± 4.49 <sup>ab</sup>	141.81 ± 4.49 <sup>a</sup>
Inulina 30 °Brix, D.O 45 °C, S.C 60 °C, NaCl	32.64 ± 3.21 <sup>b</sup>	3.46 ± 3.21 <sup>a</sup>	32.64 ± 3.21 <sup>b</sup>
Inulina 40 °Brix, D.O 55 °C, S.C 70 °C, Eritritol	14.42 ± 3.69 <sup>c</sup>	2.91 ± 3.69 <sup>ab</sup>	7.77 ± 0.40 <sup>c</sup>
Inulina 40 °Brix, D.O 55 °C, S.C 70 °C, NaCl	15.14 ± 1.27 <sup>c</sup>	2.75 ± 1.27 <sup>ab</sup>	7.73 ± 0.10 <sup>c</sup>
Inulina 50 °Brix, D.O 65 °C, S.C 80 °C, NaCl	8.55 ± 0.37 <sup>c</sup>	1.60 ± 0.37 <sup>ab</sup>	7.57 ± 0.20 <sup>c</sup>
Sacarosa 40 °Brix, D.O 55 °C, S.C 70 °C, Eritritol	13.14 ± 2.21 <sup>c</sup>	0.90 ± 2.21 <sup>b</sup>	7.17 ± 0.81 <sup>c</sup>
Sacarosa 40 °Brix, D.O 55 °C, S.C 70 °C, NaCl	12.34 ± 0.22 <sup>c</sup>	2.22 ± 0.22 <sup>ab</sup>	7.47 ± 0.22 <sup>c</sup>

D.O = Deshidratación osmótica, S.C = Secado convectivo.

Diferentes superíndices significan que los valores medios son significativamente diferentes a  $p < 0,05$ .

## 11. Conclusiones.

- En la deshidratación osmótica, el uso de altas concentraciones en la solución y altas temperaturas tienen una relación directa para poder obtener mayores cantidades de remoción de humedad. Además, se pudo demostrar que el uso de inductores tuvo un efecto positivo para obtener mejores resultados, especialmente el empleo de sacarosa con NaCl, y el de inulina con NaCl, que nos permitieron acelerar la pérdida de humedad del arándano.
- Las condiciones experimentales óptimas que maximizan la extracción de humedad en la etapa de deshidratación osmótica se lograron empleando como agente osmótico sacarosa, como inductor NaCl y temperatura de 65 °C logrando extraer casi 2 g H<sub>2</sub>O/g materia seca.
- Los cambios ocurridos en las soluciones osmóticas durante la deshidratación del arándano, los cuales en lugar de disminuir tuvieron un aumento puede ser atribuido a las condiciones experimentales (equipo deshidratador casero) ya que la agitación se realizó manualmente y con la solución expuesta al ambiente, se pudo dar la concentración por evaporación de la solución.
- El uso de los pretratamientos osmóticos nos permitió reducir el tiempo de secado convectivo considerablemente. En el proceso de secado por aire tanto la concentración de la solución osmótica como la temperatura del medio al que fue pretratada la fruta influyen directamente en las tasas de extracción de humedad. En los tratamientos evaluados a temperaturas de 70 y 80 °C, el contenido de humedad fue inferior al 18%, lo que les brinda a los arándanos un grado de estabilidad desde el punto de vista comercial e higiénico.
- Además, el desarrollo de las cinéticas de secado experimental nos puede permitir estimar la factibilidad económica de continuar un proceso de secado más allá de las 10 horas de proceso o combinar de manera adecuada los tiempos de deshidratación osmótica y secado por aire para generar condiciones de proceso a un costo operativo menor.

- La modelación del secado convectivo de arándano empleando los dos mejores modelos encontrados (Newton y Page) para esta investigación, nos proporcionaron buenos ajustes a los datos experimentales y por tanto brindan una buena simulación para la estimación del tiempo de secado óptimo ya que todos los modelos presentaron valores altos para el coeficiente de correlación ( $R^2 \geq 0.95$ ) a las tres temperaturas (60, 70 y 80 °C) sin importar la concentración del medio osmótico utilizado en el pretratamiento.
- Una vez analizadas todas las cinéticas de actividad de agua, en todos los tratamientos evaluados podemos notar que la tendencia es que a medida que aumenta la temperatura (deshidratación osmótica y secado convectivo), y con el incremento de las concentraciones de las soluciones osmóticas utilizadas, existe un decremento mayor de los valores de actividad de agua, logrando alcanzar los valores más bajos de actividad de agua (menores a 0.6) durante las 10 horas de secado convectivo a temperaturas de 70 y 80 °C.
- Durante la deshidratación osmótica la menor degradación de color y los valores más altos en el contenido de antocianinas se obtuvieron a 45 °C empleando NaCl como inductor y a concentraciones de las soluciones osmóticas de 50 °Brix, ya que las altas pérdidas en el contenido de antocianinas pueden explicarse debido a su alta hidrosolubilidad y su localizan en la piel que ayuda a que estas pasen por lixiviación a la solución osmótica cuanto menor sea la concentración del medio, pudiendo llegar a obtener productos prácticamente incoloros.
- En el secado convectivo, la menor degradación de color y los valores más altos en el contenido de antocianinas se obtuvieron en los tratamientos evaluados con concentraciones de 50 °Brix a temperaturas de deshidratación osmótica de 55 °C y a 60 °C en el secado convectivo, empleando inulina – NaCl el cual presentó  $2.22 \pm 0.09$  mg de cianidina-3-glucosido/g y empleando sacarosa – NaCl presentó  $2.08 \pm 0.05$  mg de cianidina--3-glucosido/g. La mayor retención que se logro fue de un 25 % respecto al arándano en fresco, en un tiempo de secado convectivo de 14 horas.

- El uso de pretratamientos osmóticos nos permite obtener mayores temperaturas de transición vítrea respecto a los arándanos secados convectivamente sin pretratamiento osmótico. La temperatura más alta encontrada en esta investigación fue de 77.76 °C para el arándano pretratado osmóticamente (inulina a 50 °Brix, inductor NaCl, deshidratado osmótico a 65 °C) y secado convectivo de 80 °C.
- El empleo de la deshidratación osmótica combinada con el secado convectivo, disminuyeron notablemente la dureza y la fracturabilidad respecto a los arándanos que solo fueron secados convectivamente, logrando así una mejora en la calidad de los mismos.

## 12. Referencias bibliográficas.

- Aguilera-Ortiz, M., Reza-Vargas, M., ChewMadinaveitia, R., & Meza-Velázquez. (2011). Propiedades funcionales de las antocianinas. *Revista de ciencias Biológicas y de la Salud*, 16-22.
- Akkaya, Z., Schröder, J., Tavman , S., Kumcuoglu, S., Schuchmann, H. P., & Gaukel, V. (2012). Effects Of Spray Drying On Physical Properties, Total Phenolic Content And Antioxidant Activity Of Carob Molasses. *International Journal of Food Engineering*. Vol. 8, 1-13.
- Akpinar, E., Bicer, Y., & Yildiz, C. (2003). Thin layer drying of red pepper. *Journal of Food Engineering*, 99 - 104.
- Apkinar, E. K. (2005). Determination of suitable thin layer drying curve model for some vegetables and fruits. *Journal of Food Engineering*. Vol. 73 N°1, 75-84.
- Arteaga, H., Espinoza, M., Aguilar, J., Gomez, E., Cabanillas, J., & Santa Cruz, M. (2015). Efecto de la osmodeshidratación sobre el contenido de antocianinas y capacidad de rehidratación de arándanos (*Vaccinium corymbosum* L.) liofilizados. *Agroindustrial Science*.
- Babalís, S. J., & Belessiotis, V. G. (2004). Influence of the drying conditions on the drying constants and moisture diffusivity during the thin-layer drying of figs. *Journal of Food Engineering*, 449 - 458.
- Baroni , A., & Hubinger, M. (2000). Osmotic dehydration of tomatoes in binary and ternary Solutions. *Dehydration Processes*, 1274-1278.
- Bernal Astorga, A. (2010). "Arándano Perfil Comercial". Secretaría de Desarrollo Rural, Dirección de Comercialización y Planeación del estado de Colima. Obtenido de <https://vdocuments.mx/colima-arandano.html>
- Bhandari, B. R., Senoussi, A., Dumoulin, E. D., & Lebert, A. (1993). Spray drying of concentrated fruit juices. *Drying Technology* , 1081-1092.

- Bohuon, P., Collignan, A., Rios, G. M., & Raoult-Wack, A. L. (1998). Soaking process in ternary liquids: experimental study of mass transport under natural and forced convection. *Journal of Food Engineering*, 451-459.
- Brown, M. E. (2001). Introduction to Thermal Analysis. Techniques and Applications, segunda edición. New York, Secaucus, Estados Unidos.
- Caivano, J. (1995). Sistemas de orden del color (Vol. 12). Buenos Aires., Argentina: Universidad de Buenos Aires - Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo.
- Cardona Serrate, F. (2020). Actividad del agua en alimentos: concepto, medida y aplicaciones. Valencia, España: E.T.S. de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural - Departamento de Tecnología de Alimentos.
- Chong , C. H., Law, C. L., Cloke , M., Hii, C. L., Abdullah, L., & Daud, W. (2008). Drying kinetics and product quality of dried Chempedak. *Journal of Food Engineering*, 525-527.
- Cosentino, E., Acosta, E., Escriche, Y., & Serra, J. (1994). Experiencia De Conservación De Papaya Deshidratada Osmóticamente Al Vacío. Valencia, España: Universidad Politécnica De Valencia.
- De Bruijn, J., & Bórquez, R. (2014). Quality retention in strawberries dried by emerging dehydration methods. *Food Research International*, 42-48.
- Farias-Cervantes, V. S., Medrano Roldán, H., & Andrade González, I. (2015). Efecto de aditivos encapsulantes sobre los extractos de berries deshidratados por aspersión. Durango: Instituto Tecnológico de Durango. División de estudios de posgrado. Doctorado en Ciencias en Ingeniería Bioquímica.
- Fito, P., Chiralt, J., Barat, J., Salvatori, J., & Andrés, A. (1998). Some Advances in Osmotic Dehydration Of Fruit. *Food Science and Technology International.*, 658-665.
- Francis, F. J. (1985). *Cranberries: Effects of Production and Processing on Sensory Quality*. Westpon. CT: AVI Publishing Company, Inc. .

- Gamboa Cruzado, W. B., & Silva Natividad, J. (2018). Determinación de temperatura y concentración de soluto en la deshidratación osmótica de arándano. Chimbote, Perú.
- GIESE, J. (1995). Measuring physical properties of foods. *Food Technology*, 53-63.
- Giovanelli, G., Brambilla, A., & Sinelli, N. (2013). Effects of osmo-air dehydration treatments on chemical, antioxidant and morphological characteristics of blueberries. *Food Science and Technology*, 577-584.
- Giovanelli, G., Brambilla, A., Rizzolo, A., & Sinelli, N. (2012). Effects of blanching pre-treatment and sugar composition of the osmotic solution on. *Food Research International*.
- Giusti, M. M. (2001). Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy. *Current protocols in food analytical chemistry*, 1.
- Giusti, M. M., & Wrolstad, R. E. (2001). Characterization and measurement of Anthocyanins with uv-visible spectroscopy. New York.: Wrolstad RE editors. Current Protocols in Food Analytical Chemistry.
- Goula , A. M., Karapantsios, T. D., Achilias, D. S., & Adamopoulos, K. G. (2008). Water sorption isotherms and glass transition temperatura of spray dried tomato pulp. *Journal of Food Engineering Vol. 85*, 73-83.
- Grabowski, S., Marcotte, M., Quan, D., Taherian, A., Zareifard , M., Poirier , M., & Kudra , T. (2007). Kinetics and Quality Aspects of Canadian Blueberries and Cranberries Dried by Osmo-Convective Method. *Drying Technology: An International Journal*, 367-374.
- Guzman, R. R., & Segura, V. E. (1991). *Introducción a la tecnología de alimentos*. Bogotá:: Unisur.
- Haro Vera, A. A. (2004). Estudio de la Conservación de Arándanos (*Vaccinium corymbosum*) cv. Elliot, mediante Deshidratación Osmótica y Secado por Aire. Determinación de Condiciones Experimentales Óptimas de Procesamiento. Valdivia, Chile.

- Hawkes, J., & Flink, J. (1978). Osmotic Concentration of Fruit Slices Prior to Freeze Dehydration. *Journal of Food Preservation*, 265-284.
- Jepson, R. G., Williams, G., & Graig, J. C. (Octubre de 2012). *Biblioteca Cochrane*.  
Obtenido de <https://www.cochranelibrary.com/es/cdsr/doi/10.1002/14651858.CD001321.pub5/full/es>
- Karathanos, V. T., Kostaropoulos, E., & Saravacos, G. D. (1995). Air Drying kinetics of osmotically dehydrated fruits. *Drying Technology* 1503-1521., 1503-1521.
- Karathanos, V. T., & Belessiotis, V. G. (1999). Application of a Thin-Layer Equation to Drying Data of Fresh and Semi-dried Fruits. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 355-361.
- Kaymak-Ertekin, F. (2002). Drying and rehydrating kinetics of green and red peppers. *Journal of Food Science*, 67, 168–175.
- Keerthi, M., Lakshmi Prasanna, J., Santhosh Aruna, M., & Rama Rao, N. (2014). Review on polyphenols as nature's gift. *Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 445-455.
- Keqing, X. (2004). Optimización del secado por aire caliente de pera (Variedad Blanquilla). Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia - Departamento de tecnología de alimentos.
- Kopjar, M., & Piližota, V. (2009). Copigmentation effect of phenolic compounds on red currant juice anthocyanins during storage. *Croatian Journal of Food Science and Technology*., 16-20.
- Lazarides, H., Fito, P., Chiralt, A., Gekas, V., & Andrzej, L. (1999). Advances in osmotic dehydration. *Processing food*, Processing food.
- Lee, J. D. (2005). Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method: collaborative study. *Journal of AOAC international*, 88(5), 1269-1278.

- Lenart, A., & Flink, J. (1984). Osmotic Concentration of Potatoes. I. Criteria for De End Point of the Osmotic Process. *Journal of Food Technology*, 45-63.
- Lerici, C. L., Pinnavaia, G., Dalla Rosa, M., & Bartolucci, L. (1995). Osmotic dehydration of fruit: influence of osmotic agents on drying behaviour and product quality. *Journal Food Science* 50, 1217-1219.
- Mata, M. (1992). Aportación al desarrollo de un proceso de deshidratación osmótica al vacío para alimentos. Valencia, España.: Universidad politécnica de Valencia.
- Mena, P., Garcia-Viguera, C., & Navarro-Rico, J. (2011). Phytochemical characterisation for industrial use of pomegranate (*Punica granatum L.*) cultivars grown in Spain. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1893-1906.
- Molano, L., Serna, C., & Castaño, C. (1996). Deshidratación de piña variedad Cayena Lisa por métodos combinados. *Revista Cenicafé Vol. 47, No. 3*, 140-158.
- Moreira, R., & Sereno, A. M. (2003). Evaluation of mass transfer coefficients and volumetric shrinkage during osmotic dehydration of apple using sucrose solutions in static and non-static conditions. *Journal of Food Engineering*, 25-31.
- Moyer, R. A., Hummer, K. E., Finn, C. E., Frei, B., & Wrolstad, R. E. (2002). Anthocyanins, phenolics, and antioxidant capacity in diverse small fruits: vaccinium, rubus, and ribes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 519-525.
- Ngo, T., Wrolstad, R. E., & Zhao, Y. (2007). Color quality of Oregon strawberries – impact of genotype, composition, and processing. *Journal of Food Science*, 25–32.
- Nollet, L. M. (1996). *Handbook of food analysis*. New York: M. Dekker.
- Norma Oficial de Método de Prueba para la Determinación de "Grados Brix". (1965). NMX F.
- Nowicka, P., & Wojdyło, A. (2015). Bioactive compounds and sensory attributes of sour cherry puree sweetened with natural sweeteners. *International Journal of Food Science and Technology*, 585–591.

- Nsonzi, F., & Ramaswamy, H. (2007). Quality evaluation of osmo-convective dried blueberries. *Drying Technology: An International Journal*, 705-723.
- Osorio, C., Franco, M., Castaño, M., González-Miret, M., & Heredia, F. (2007). Colour and Flavour changes during osmotic deshydration of fruits. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 353-359.
- Panadés-Ambrosio, G., Treto-Cárdenas, O., Fernández Torres, C., Castro, D., & Núñez de Villavicencio, M. (1996). Pulse Vacuum Osmotic Dehidratation of Guava. *Food Science And Tecnology International. Vol 2*, 301-306.
- Panagiotou, N. M., Karathanos, V. T., & Maroulis, Z. B. (1999). Effect of osmotic agent on osmotic dehydration of fruits. *Drying Technology*, 175-189.
- Parzanese, M. (2006). *Tecnologías para la industria alimentaria: deshidratación osmótica*. Buenos Aires, Argentina.: MINAGRI.
- Pattee, H. E. (1985). *Evaluation of Quality of Fruits and Vegetables*. Westport, CT: The AVI Publishing Company, Inc.
- Pearson, D. (1993). *Técnicas de laboratorio para el análisis de alimentos*. Zaragoza, España: Acribia, S.A.
- Perez-Magarino, S., & Gonzales-Sanjose, M. L. (2003). Application of absorbance values used in wineries for estimating CIELab parameters in red wines. *Food Chemistry*, 301–306.
- Prior, R., Cao, G., Martin, A., Sofic, E., McewenN, J., & O'brien, C. (1998). Antioxidant capacity as influenced by total phenolic anda anthocyanin content, maturity and variety of Vaccinium Species. *J. Agric. Food. Chem*, 2686-2693.
- Ramaswamy, H., & Nsonzi, F. (1998). Osmotic Dehydration Kinetics Of Blueberries. *Drying Technology*, 725-741.
- Raoult-Wack, A. L. (1994). Recent advances in the osmotic dehydration of foods. *Trends in Food Science and Technology*, 225-260.

- Rastogi, N. K., Raghavarao, K., Niranjana, K., & Knorr, D. (2002). Recent development in osmotic dehydration: Methods to enhance mass transfer. *Trends in Food Science & Technology*, 48-59.
- Rosell, J., & Lluch. (1994). Evolución del contenido de azúcares durante la deshidratación osmótica de manzana granny smith, y su relación con la microestructura. Anales de investigación del master en ciencia e ingeniería en alimentos. Universidad politécnica de Valencia.
- Salvatori, D., Andrés, A., Chiralt, A., & Fito, P. (1998). The response some properties of fruits to vacuum impregnation. *Journal of food process engineering*, 59-73.
- Sandoval-Torres, S., Rodríguez-Ramírez, J., Méndez-Lagunas, L., & Sánchez-Ramírez, J. (2006). Rapidez de secado reducida: una aplicación al secado convectivo de platano Roatán. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 5, 35-38.
- Sette, P. A. (2015). *Tecnologías combinadas para el desarrollo de productos de frambuesa deshidratados*. Obtenido de digital.bl.fcen.uba.ar.
- Shewfelt, R. L. (1986). *Flavor and color of fruits as affected by processing*. Westpon. CT.: AVI Publishing Company, Inc. .
- SIAP. (2020). *Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera*.
- Skrede, G. W. (2000). Changes in anthocyanins and polyphenolics during juice processing of highbush blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.). *Journal of food science*, 65(2), 357-364.
- Skrede, G. W. (2000). Changes in anthocyanins and polyphenolics during juice processing of highbush blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.). *Journal of food science*, 65(2), 357-364.
- Soto Medina, G. H., & Guablocho Chávez, Y. (2016). Evaluación de la temperatura y concentración de dos agentes osmodeshidratantes en la obtención de *Vaccinium myrtillus* "arándano" deshidratado. Chachapoyas, Perú.

- SZCZESNIAK, A. S. (1963). Classification of texture characteristics. *Journal of Food Science*, 385-389.
- Togrul, I. T., & Pehlivan, D. (2003). Modeling of drying kinetics of single apricot. *Journal of Food Engineering*, 23-32.
- Tonon, R., Baroni, A. F., & Hubinger, M. D. (2007). Osmotic dehydration of tomato in ternary solutions: Influence of process variables on mass transfer kinetics and an evaluation of the retention of carotenoids. *Journal of Food Engineering*, 509-517.
- Tortoe, C. A. (2010). Review Of Osmodehydration For Food Industry. *African Journal Of Food Science*, 303-324.
- VanTeeling, C. G., Cansfield, P. E., & Gollop, R. (1971). An anthocyanin complex isolated from the syrup of canned blueberries. *Journal of Food Science*, 1061.
- Vega-Galvez , A., Lemus-Mondaca, R., Tello , C., & Aranda, M. (2009). Kinetic Study of Convective Drying of Blueberry Variety O'neil (*Vaccinium corymbosum* L.). *Chilean journal of agricultural research*, 173-176.