Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional

Esta licencia permite a otras combinar, retocar, y crear a partir de su obra de forma no comercial, siempre y cuando den crédito y licencia a nuevas creaciones bajo los mismos términos.

http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA

EVALUACION DE ORIGINALIDAD

CONSTANCIA

El que suscribe, deja constancia que se ha realizado el análisis con el software de verificación de similitud al documento cuyo título es:

ESTIMACION DE LAS ISOTERMAS DE ADSORCION Y DEL CALOR ISOSTERICO PARA ZANAHORIA (*Daucus carota L.*) DESHIDRATADA

Presentado por:

PAREDES POZO SAUL JAVIER

Bachiller del nivel **PREGRADO** de la Facultad de Ingeniería Pesquera y de Alimentos. El resultado obtenido es 4 **% de porcentaje de similitud por** el cual se otorga el calificativo de:

APROBADO

Se adjunta al presente el reporte de evaluación con el software de verificación de originalidad.

Observaciones:

APROBADO OBTUVO EL 4% (MENOR AL 20% REQUERIDO)

Ica, **23** de junio de 2022

.....

JUAN MARINO ALVA FAJARDO
DIRECTOR DE UNIDAD DE INVESTIGACION
FACULTAD DE INGENIERIA PESQUERA Y DE ALIMENTOS

UNIVERSIDAD NACIONAL “SAN LUIS GONZAGA”

FACULTAD INGENIERÍA PESQUERA Y DE ALIMENTOS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE ALIMENTOS

TESIS:

“ESTIMACION DE LAS ISOTERMAS DE ADSORCION Y DEL CALOR ISOSTERICO PARA ZANAHORIA (*Daucus carota L.*) DESHIDRATADA”

Para optar el título profesional de Ingeniero de Alimentos

Bach: PAREDES POZO SAUL JAVIER

ASESOR:

DRA. AVALOS SEGOVIA NELIDA LUCIA

PISCO - ICA

2022

INDICE

	Pág.
RESUMEN	**1**
ABSTRACT	**2**
INTRODUCCION	**3**
CAPITULO I MARCO TEORICO	**4**
1.1. Antecedentes del problema la investigación	**4**
1.1.1 Antecedentes a nivel internacional	**4**
1.1.2 Antecedentes a nivel nacional	**5**
1.1.3 Antecedentes a nivel local	**7**
1.2 Bases teóricas	**7**
1.2.1 Características de la zanahoria	**7**
1.2.1.1 Clasificación taxonómica de la zanahoria	**9**
1.2.1.2 Origen de la zanahoria	**10**
1.2.1.3 Beneficios del consumo de la zanahoria	**10**
1.2.2 Actividad de agua (Aw)	**11**
1.2.3 Isotermas de sorción	**12**
1.2.4 Clasificación de las isotermas de sorción	**14**
1.2.5 Efecto de la temperatura sobre la actividad de agua (Aw)	**15**
1.2.6 Concepto de capa monomolecular	**15**
1.2.7 Modelos matemáticos aplicados al fenómeno de adsorción	**16**

1.2.7.1 Modelo de BET **17**

1.2.7.2 Modelo de Curie **17**

1.2.7.3 Modelo de GAB **18**

1.2.7.4 Modelo de Halsey **18**

1.2.7.5 Modelo de Henderson **19**

1.2.7.6 Modelo de Oswin **19**

1.2.7.7 Modelo de Chung-Pfost **20**

1.2.7.8 Modelo de Smith **20**

1.2.8 Calor isostérico **20**

1.3 Marco conceptual **21**

1.3.1 Isotermas de adsorción **21**

1.3.2 Capa monomolecular **21**

1.3.3 Actividad de agua **21**

1.3.4 Humedad relativa **21**

CAPITULO II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACION **22**

2.1 Situación problemática **22**

2.2. Formulación del problema **23**

2.2.1. Problema general **23**

2.2.2. Problemas específicos **23**

2.3. Delimitación del problema **23**

2.3.1 Delimitación espacial **23**

2.3.2. Delimitación temporal **23**

2.3.3. Delimitación conceptual **24**

2.4. Justificación e importancia de la investigación 24

2.4.1. Justificación 24

2.4.2. Importancia 24

2.5 Objetivos de la investigación 24

2.5.1. Objetivo general 24

2.5.2 Objetivos específicos 25

2.6. Hipótesis de la investigación 25

2.6.1. Hipótesis general 25

2.6.2. Hipótesis especificas 25

2.7 Variables de investigación 25

2.7.1 Identificación de variables. 25

2.7.2. Operacionalización de variables 25

CAPITULO III ESTRATEGIA METODOLOGICA 27

3.1 Tipo, nivel y diseño de investigación 27

3.1.1. Tipo de la investigación 27

3.1.2 Nivel de significación 27

3.1.3 Diseño de la investigación 27

3.2 Población y muestra materia de investigación 28

3.2.1 Población 28

3.2.2 Muestra 28

CAPITULO IV. TECNICAS E INSTRUMENTOIS DE INVESTIGACION 29

4.1. Técnicas de recolección de datos 29

4.2. Instrumentos de recolección de datos 29

4.3. Técnicas de procesamiento, análisis e interpretación de datos 29

CAPITULO V. MATERIALES Y MÉTODOS 30

5.1 Materiales 30

5.2 Método para la obtención de las curvas de adsorción para la zanahoria Deshidratada 31

5.3 Modelo para obtener los parámetros de adsorción y el coeficiente de correlación de la ecuación de G.A.B. 31

5.4 Modelo para obtener los parámetros de adsorción y el coeficiente de correlación de la ecuación de CAURIE 32

5.5 Modelo para obtener los parámetros de adsorción y el coeficiente de correlación de la ecuacion de HALSEY 33

5.6 Modelo para obtener los parámetros de adsorción y el coeficiente de correlación de la ecuación de HENDERSON-THOMPSON 33

5.7 Modelo para obtener los parámetros de adsorción y el coeficiente de correlación de la ecuación de BET 34

5.8 Modelo para obtener los parámetros de adsorción y el coeficiente de correlación de la ecuación de Oswin 34

5.9 Modelo para obtener los parámetros de adsorción y el coeficiente de correlación de la ecuación de Smith 35

5.10 Modelo para obtener los parámetros de adsorción y el coeficiente de correlación de la ecuación de Chung 35

5.11 Fórmula para calcular el error medio relativo 36

CAPITULO VI PRESENTACION, INTERPRETACION Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS 37

6.1 Isotermas de adsorción obtenidas experimentalmente para la zanahoria

Deshidratada **37**

6.2 Isoterma de adsorción y parámetros de adsorción, obtenidos con el modelo G.A.B. a las temperaturas de 20°C , 30°C y 40°C, para la zanahoria deshidratada **38**

6.3 Isotermas de adsorción y parámetros de adsorción, obtenidos con el modelo de Caurie a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C **41**

6.4 Isotermas de adsorción y parámetros de adsorción, obtenidos con el modelo de Halsey a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C **44**

6.5 Isotermas de adsorción y parámetros de adsorción, obtenidos con el modelo de Henderson -Thompson a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C **47**

6.6 Isotermas de adsorción y parámetros de adsorción, obtenidos con el modelo de Oswin. a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C **50**

6.7 Isotermas de adsorción y parámetros de adsorción, obtenidos con el modelo de Smith. a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C **53**

6.8 Isotermas de adsorción y parámetros de adsorción, obtenidos con el modelo de Chung-Pfsot a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C **56**

6.9 Isotermas de adsorción y parámetros de adsorción, obtenidos con el modelo de BET a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C **59**

6.10 Isotermas de adsorción experimental y obtenidas con modelos matemáticos a 20°C, 30°C, 40°C **62**

6.11 Valores del coeficiente de correlación y el error medio relativo **65**

6.12 Calor isostérico **69**

VII CONCLUSIONES **68**

VIII RECOMENDACIONES 69

IX REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 70

INDICE DE FIGURAS

Pag.

Figura 1 La zanahoria y sus partes 9

Figura 2 Isoterma de Adsorción y Desorción 13

Figura 3 Los cinco tipos de isotermas de Van Der Walls 14

Figura 4 Isotermas de sorción a diferentes temperaturas 15

Figura 5 **Curvas de adsorción experimental para la zanahoria deshidratada a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C 38**

Figura 6 Isotermas de adsorción de G.A.B. a la temperatura de 20°C 39

Figura 7 Isotermas de adsorción de G.A.B. a la temperatura de 30°C 39

Figura 8 Isoterma de adsorción de G.A.B. a la temperatura de 40°C 40

Figura 9 Isotermas de adsorción de GAB a 20°C , 30°C y 40°C 40

Figura 10. Isoterma de adsorción de Caurie a la temperatura de 20°C 42

Figura 11. Isoterma de adsorción de Caurie a la temperatura de 30°C 42

Figura 12. Isoterma de adsorción de Caurie a la temperatura de 40°C 43

Figura 13. Isotermas de adsorción de Caurie a 20°C , 30°C y 40°C 43

Figura 14. Isoterma de adsorción de Halsey a 20°C 45

Figura 15. Isoterma de adsorción de Halsey a 30°C 45

Figura 16. Isoterma de adsorción de Halsey a 40°C 46

Figura 17. Isotermas de adsorción de Halsey a 20°C , 30°C y 40°C 46

Figura 18. Isoterma de adsorción de Henderson - Thompson a 20°C 48

Figura 19. Isoterma de adsorción de Henderson - Thompson a 30°C 48

Figura 20. Isoterma de adsorción de Henderson - Thompson a 40°C 49

Figura 21. Isotermas de adsorción de Henderson - Thompson a 20°C , 30°C y 40°C 49

Figura 22. Isoterma de adsorción de Oswin a 20°C 51

Figura 23. Isoterma de adsorción de Oswin a 30°C 51

Figura 24. Isoterma de adsorción de Oswin a 40°C 52

Figura 25. Isotermas de adsorción de Oswin a 20°C , 30°C y 40°C 52

Figura 26. Isoterma de adsorción de Smith a 20°C 54

Figura 27. Isoterma de adsorción de Smith a 30°C 54

Figura 28. Isoterma de adsorción de Smith a 40°C 55

Figura 29. Isotermas de adsorción de Smith a 20°C , 30°C y 40°C 55

Figura 30. Isotermas de adsorción de Chung-Pfsot a 20°C 57

Figura 31. Isotermas de adsorción de Chung-Pfsot a 30°C 57

Figura 32. Isotermas de adsorción de Chung-Pfsot a 40°C 58

Figura 33. Isotermas de adsorción de Chung-Pfsot a 20°C , 30°C y 40°C 58

Figura 34. Isotermas de adsorción de B.E.T. a 20°C 59

Figura 35. Isotermas de adsorción de B.E.T. a 30°C 60

Figura 36. Isotermas de adsorción de B.E.T. a 40°C 60

Figura 37. Isotermas de adsorción de B.E.T. a 20°C , 30°C y 40°C 61

Figura 38. Curva de adsorción para la zanahoria deshidratada a 20°C, datos experimentales y sus modelos 62

Figura 39. Curva de adsorción para la zanahoria deshidratada a 30°C, datos experimentales y sus modelos 63

Figura 40. Curva de adsorción para Tuna deshidratada a 40°C, datos experimentales y sus modelos 64

Figura 41 Calor isostérico a 20°C 66

Figura 42 Calor isostérico a 30°C 67

Figura 43 calor isostérico a 40 °C 67

ÍNDICE DE TABLAS

Pag.

Tabla 1 Sales para la prueba de adsorción 29

Tabla 2 Contenido de humedad de equilibrio para la zanahoria deshidratada a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C, a diferentes actividades de agua 37

Tabla 3 Valores de los parámetros Xm , Cg y K del modelo G.A.B. estimados para la zanahoria deshidratada 41

Tabla 4 Valores de los parámetros γ , Xs del modelo Caurie estimados para zanahoria deshidratada 44

Tabla 5 Valores de los parámetros α y β del modelo Halsey estimados para la zanahoria deshidratada 47

Tabla 6 Valores de los parámetros f , η del modelo Henderson - Thompson estimados para la zanahoria 50

Tabla 7 Valores de los parámetros A y B del modelo Oswin para zanahoria Deshidratada 53

Tabla 8 Valores de los parámetros A y B del modelo Smith para zanahoria Deshidratada 56

Tabla 9 Valores de los parámetros A y B del modelo Chung-Pfsot para zanahoria deshidratada 59

Tabla 10 Valores de los parámetros Xm , C del modelo BET estimados para la zanahoria deshidratada 61

Tabla 11 Coeficientes de correlación y el error medio relativo para la zanahoria. deshidratada 63

AGRADECIMIENTO

En primera instancia agradezco a mis formadores, personas de gran sabiduría quienes ese han esforzado por ayudarme a llegar al punto en el que me encuentro.

Sencillo no ha sido el proceso, pero gracias a las ganas de transmitirme sus conocimientos y dedicación que los ha regido, he logrado importantes objetivos como culminar el desarrollo de mi tesis con éxito y obtener una afable titulación profesional.

DEDICATORIA

A mis padres por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que se incluye este. Me formaron con reglas y

con algunas libertades, pero al final de cuentas, me motivaron constantemente para alcanzar mis anhelos.

Gracias, madre y padre.

RESUMEN

El trabajo de Tesis "**Estimación de las isotermas de adsorción y del calor isostérico para zanahoria (*Daucus carota l.*) deshidratada**" tiene como objetivo evaluar los diferentes modelos matemáticos que se utilizan para obtener las isotermas de adsorción y sus respectivos parámetros y el calor isostérico. Los modelos matemáticos elegidos fueron: GAB, BET, Halsey, Currie y Henderson, Oswin, Smith y Chung-Pfsot

Las conclusiones del trabajo fueron: Se comprueba la teoría de que las curvas de adsorción presentan forma sigmoidal. Los contenidos de humedad para una misma actividad de agua disminuyen en función de la temperatura.

Para obtener las curvas de adsorción con modelos matemáticos se utilizaron los modelos de G.A.B, B.E.T, Halsey, Henderson- Thompson y Curie, Oswin, Smith, y Chung-Pfost presentando alta correlación y el mejor error relativo el modelo de Halsey, seguido del modelo de GAB. Los valores de la capa monomolecular obtenidos del modelo de GAB fueron: para la temperatura de 20°C 7.046 g de agua/100 g.m.s, para 30°C 6.581 g de agua/100 g.m.s, y para 40°C 6.391 g de agua/100 g.m.s

El calor isosterico presento dependencia con el contenido de humedad de equilibrio, disminuyendo con el aumento del contenido de humedad de equilibrio para 20°C de 187.268 hasta 17.206 kJ/mol para humedades entre 7.57 hasta 45.10 g de agua/100 g.m.s.; para 30 °C; de 187.268 hasta 17.168 kJ/mol para humedades entre 6.49 hasta 42.45 g de agua/100 g.m.s.; para 40 °C; 194.117 hasta 18.577 kJ/mol para humedades entre 5.62 hasta 41.03 g de agua/100 g.m.s

Palabras claves: zanahoria deshidratada, isotermas de adsorción, modelos matemáticos, capa monomolecular, contenido de humedad, calor isostérico

ABSTRACT

The thesis work "Estimation of adsorption isotherms and isosteric heat for dehydrated carrot (Daucus carota l.)" aims to evaluate the different mathematical models used to obtain adsorption isotherms and their respective parameters and isosteric heat . The mathematical models chosen were: GAB, BET, Halsey, Currie and Henderson, Oswin, Smith and Chung-Pfsot

The conclusions of the work were: The theory that the adsorption curves have a sigmoidal shape is verified. Moisture contents for the same water activity decrease as a function of temperature.

To obtain the adsorption curves with mathematical models, the GAB, BET, Halsey, Henderson-Thompson and Curie, Oswin, Smith, and Chung-Pfost models were used, presenting a high correlation and the best relative error was the Halsey model, followed by the model of GAB. The values of the monomolecular layer obtained from the GAB model were: for the temperature of 20°C 7.046 g of water/100 grams of dry mass, for 30°C 6.581 g of water/100 grams of dry mass, and for 40°C 6.391 g of water/ 100 grams of dry mass.

The isosteric heat depended on the equilibrium moisture content, decreasing with the increase in the equilibrium moisture content for 20°C from 187.268 to 17.206 kJ/mol for humidities between 7.57 and 45.10 g of water/100 grams of dry mass.; for 30°C; from 187.268 to 17.168 kJ/mol for humidities between 6.49 and 42.45 g of water/100 grams of dry mass.; for 40°C; 194,117 to 18,577 kJ/mol for humidities between 5.62 to 41.03 g of water/100 grams of dry mass.

Keywords: dehydrated carrot, adsorption isotherms, mathematical models, monomolecular layer, moisture content, isosteric heat

I INTRODUCCION

El consumo de frutas y verduras garantiza la ingesta de vitaminas. minerales y fibra alimentaria, además de nutrientes esenciales como fitoesteroles los esteroles vegetales bloquean la absorción del colesterol a nivel intestinal) y flavonoides (que protegen las células del organismo del desarrollo del cancer y otras afecciones) , entre otros antioxidantes.

La zanahoria es una hortaliza de gran consumo a nivel mundial. Se puede consumir de diversas formas, incluso crudas, y su textura y su sabor, resultan muy agradables al paladar. Las zanahorias son ricas en nutrientes, especialmente en vitamina A y carotenoides, también son una fuentes importante de minerales como : el potasio, el fosforo, el magnesio, el yodo y el calcio; y también vitamina B_3 (niacina), vitamina E y K y folatos. Dichos nutrientes actúan en el organismo de diversa maneras, por ejemplo, el betacaroteno actúa como un compuesto antioxidante que se transforma en vitamina A. Esta vitamina en particular, también conocida como retinol, ayuda a promover el buen funcionamiento de la retina humana. Adicionalmente, esta vitamina ayuda a ver mejor cuando hay poca luz.

Las isotermas de adsorción, que representan la relación funcional entre la actividad del agua y el contenido de humedad en el equilibrio a una temperatura dada, caracterizan el estado del agua en alimentos y son de interés en numerosas aplicaciones en la ciencia y tecnología de los alimentos (Pezzutti y Capriste, 1997). El conocimiento de las características de adsorción de agua es necesario para predicciones de la vida útil y determinación de la humedad crítica y actividad de agua para la aceptabilidad de productos que se deterioran por ganancia de humedad (Palou et al., 1997).

CAPITULO I. MARCO TEORICO

1.1 Antecedentes del problema de Investigación

1.1.1. Antecedentes a nivel internacional

Ramírez-Miranda, Mónica (2012) "Determinación de isotermas de sorción en harina de maíz a tres temperaturas y su ajuste a modelos matemáticos" donde manifiesta que en México, la harina de maíz nixtamalizado se produce, almacena y distribuye en grandes volúmenes por empresas de clase mundial, así como por molineros en centros de acopio locales que se encuentran por todo el país. No obstante, la importancia económica de este producto, se carece de valiosa información que aparta el conocimiento de los parámetros termodinámicos y de humedad de monocapa, que describen el comportamiento de la harina durante su distribución y almacenamiento, así como de los valores de humedad seguro que se deben alcanzar para lograr un almacenamiento exitoso. Por ello esta investigación aporta estos datos, utilizando como materia prima las harinas nixtamalizadas por las grandes empresas (industrial). Para, esto se construyeron isotermas de sorción a tres temperaturas (24,30 y 35ºC), en un intervalo de actividad acuosa de 0.074 a 0.970 por el Método de Celda en Equilibrio (PEC), Las isotermas obtenidas, para ambas muestras presentan una forma de tipo II, de las cinco establecidas por Brunauer. Se determinó el valor de monocapa con las ecuaciones de GAB y BET cuyos valores se ubicaron entre 0.06 - 0.14 (g de H_2O/g de solido seco) para harina nixtamalizada industrial y 0.11 – 0.15 (g de H_2O/g de solido seco) para harina nixtamalizada tradicional. Se determinó el contenido de humedad de seguridad (Xs), que indica el contenido de humedad al cual se lograría la máxima estabilidad del alimento durante su almacenamiento con la ecuación de Caurie cuyos valores se ubicaron entre 0.03 y 0.04 (g de H_2O/g de solido seco). Finalmente se

evaluó el calor isotérmico de sorción requerido por la harina de maíz nixtamalizada para alcanzar el equilibrio mediante la ecuación de Clausius- Clapeyron. Los valores de la energía libre de Gibs están en un intervalo de -386 ± 3.61 para harina nixtamalizada industrial y de -161 ± 1.22 para harina nixtamalizada tradicional, por lo que se concluye que el proceso es espontáneo; los valores de entalpia indican que existen fuerzas atractivas en el proceso de sorción y los valores están comprendidos de -16.9 ± 1.2 para harina nixtamalizada industrial y de -15.06 ± 0.6 para harina nixtamalizada tradicional; los valores de entropía están en un intervalo de 13.15 ±4.6 para harina nixtamalizada industrial y de 5.09 ± 1.3 para harina nixtamalizada tradicional, lo que indica que el proceso de sorción en la interface agua-solido es no estructurado o de alto desorden, debido a que al someterlo a un cambio de estado, este rompe su equilibrio inicial y ocurre un desorden en el sistema.

1.1.2. Antecedentes a nivel Nacional

Urquizo Zúñiga Fabiola y Valdivia Salas (2015) "Comparación del efecto del secado combinado; osmodeshidratacion- secado con el secado convencional para la obtención de harina de penca de tuna (Opuntia ficus Indica) " Tesis que consistió en la comparación de un método combinado de osmodeshidratado - secado con el secado convencional, para la penca de tuna. Se emplearon tres tipos de tratamientos: 1) Solución osmótica de azúcar de 40 º Brix, 2) Solución osmótica de azúcar de 50º Brix y 3) Solución osmótica de azúcar de 60° Brix; cada tratamiento se efectuó durante un tiempo aproximado de cuatro horas de inmersión, realizándose mediciones analíticas de pérdida de peso y de Grados Brix, cada treinta minutos por las dos primeras horas y luego cada hora, hasta completar el tiempo indicado. Al terminar la operación de osmodeshidratado las muestras fueron sometidas a secado por aire caliente a una

temperatura de 75°C durante un tiempo máximo de 3.75 horas. Se realizó un análisis físico químico para la materia prima y para las muestras resultantes de los diferentes métodos. Los datos obtenidos, tanto del Secado Convencional como del Secado Combinado, fueron comparados en gráficas de Contenido de humedad vs. Tiempo; Concentración de jarabe - Pérdida de peso vs. Tiempo; Contenido de humedad vs. Velocidad de Secado; también se realizaron comparaciones entre los resultados obtenidos según las concentraciones de solución osmótica, logrando determinar el tratamiento óptimo para la obtención de harina de penca de Tuna. Los resultados determinaron que las muestras que tuvieron un pretratamiento de osmodeshidratado presentaron una mejor cinética de secado, reduciendo el tiempo de secado con aire caliente (secado convencional) mostraron también mejores condiciones de textura y forma. Finalmente se determinó que el tratamiento óptimo fue el realizado con la solución osmótica a 60º Brix.

Matos Chamorro y Rajo Angulo (2010) “Influencia del Tamaño de Partículas en las Isotermas de Adsorción de Harina de Haba (*Vicia faba L.*)”. Cuyo objetivo fue evaluar la influencia del tamaño de partícula sobre la capacidad de adsorción de humedad de la harina de haba (*Vicia faba L.*). En la obtención de la harina fue determinada la cinética de secado, encontrándose como humedad inicial 63 % bh para el haba fresca y 10 % bh en la harina. Las isotermas de adsorción fueron determinadas utilizando el método estático, con soluciones saturadas y de aw conocida (LiCI = 0,11; $MgCl_2$ = 0,23; $NaHCO_3$ = 0,54; NaCI = 0,75; KNO_3 = 0.93), hasta obtener el equilibrio másico a temperatura constante (25 °C); las muestras de diferentes tamaños fueron obtenidas por la utilización de tamices (malla 12, 16, 20 y 32). Los valores experimentales de las isotermas de adsorción se ajustaron a siete modelos matemáticos

aplicados en alimentos. Para el modelo BET el valor de monocapa (Xm) se encuentra entre los valores de 0,02946 y 0,03691 g H_2O / 100g de MS. Mientras que en el modelo GAB el valor de la capa monomolecular varía entre 0,15817 y 0,18936 g H_2O / 100g de MS. La mejor calidad de ajuste se observa para el modelo propuesto por Henderson, con un ERM de 4,57 % para la malla 20.

1.1.3. Antecedentes a nivel local

Palomino Peralta Geraldine (2016) Modelo matemático que se ajusta a la curva isotérmica de adsorción obtenida experimentalmente de la harina de garbanzo *(Cicer arietinum L.*) que tuvo como objetivo evaluar los diferentes modelos matemáticos que se utilizan para obtener las isotermas de adsorción y sus respectivos parámetros. Las muestras se obtuvieron del mercado de la ciudad de Pisco, las pruebas de adsorción se realizaron a las temperaturas de 20, 30 y 40°C. Los parámetros de la isoterma de adsorción obtenida con el modelo matemático de G.A.B. Fueron: para la temperatura de 20°C Xm = 7.26 g de agua/100 g.m.s, Cg = 632.20 y K = 0.865, para 30°C Xm = 6.66 g de agua/100 g.m.s, Cg = 352.09 y K = 0.887, para 40°C Xm = 6.47 g de agua/100 g.m.s, Cg = 281.83 y K = 0.892

1.2. Bases teóricas

1.2.1. Características de la zanahoria

La zanahoria (*Daucus carota L.*) es una planta de clima frio pero cultivada también en regiones tropicales y subtropicales, especialmente en grandes altitudes (IPGRI, 1998) Es una raíz de planta herbácea perteneciente a la familia de las Umbelíferas, género *Daucus*, especie *carota L.*, subespecie *sativus.* (INEN, 2013). La parte que se consume es la raíz, que puede ser preparada cruda en ensaladas, licuada en jugos o cocida en varios platos (Cásseres, 1966).

La parte comestible de la zanahoria es la raíz principal o tubérculo. Suele medir entre 15 y 20 centímetros y pesar entre 100 y 250 gramos. Hay zanahorias amarillas, blancas y rojas, pero la más popular es la anaranjada. La mata tiene hojas parecidas a las de los helechos, y flores blancas o púrpura, con cinco pétalos y cinco estambres. Cuenta con unos tallos largos y apretados que alcanzan los 60 centímetros o más, pero lo que se ingiere es la raíz ancha de corteza exterior y núcleo interior que guarda los nutrientes y el azúcar que le confieren su gusto tan particular. (Flores s.f)

En las zanahorias frescas, el contenido total de azúcar varía entre 3,46 y 10,74% que se distribuye en 0,397g de glucosa, 2,08g de maltosa y 2,41g de sacarosa por 100 gramos de zanahorias frescas (Alabran & Mabrouk, 1973). También se consideran a la fructosa y la maltosa como azúcares comunes encontrados en este tubérculo (IPGRI, 1998). La zanahoria tiene un alto contenido de humedad, 96% (Naranjo, 2015).

La zanahoria, además, es muy valorada nutricionalmente debido a su contenido en β-carotenos (precursor de la vitamina A), con un aporte aproximado de 12 mg/g a 20 mg/g según la variedad (Ventrera et al., 2013), sin distribuirse uniformemente en las raíces; la concentración del pigmento decrece longitudinalmente desde la parte superior hacia el ápice (Rubatzky, Quiros, & Simon, 1999). El floema (parte más externa) de la zanahoria es más rico en sólidos y azúcares que el xilema (parte central) (Figura 1) y acumula potencialmente más carotenos. Una zanahoria de buena calidad es aquella que tiene un corazón pequeño y color naranja intenso uniforme en floema y xilema (Ventrera et al., 2013).

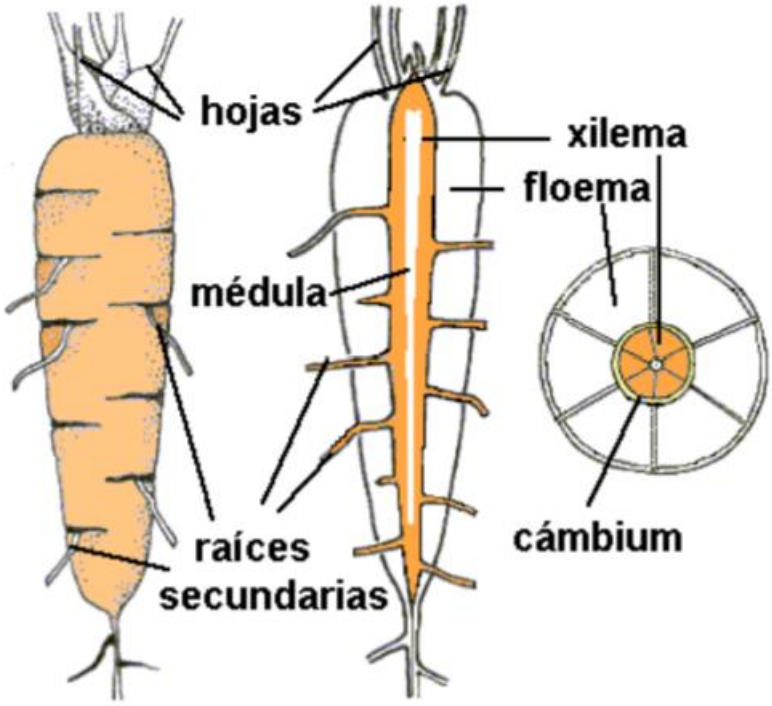

Figura 1. La zanahoria y sus partes

1.2.1.1.Clasificación taxonómica de la zanahoria

Reino	: Plantae
División	: Magnoliophyta
Clase	: Magnoliopsida
Orden	: Apiales
Familia	: Apiaceae
Género	: *Daucus*
Especie	: *Daucus carota L.*

1.2.1.2. Origen de la zanahoria

Los expertos difieren respecto a la región geográfica en que se originó la zanahoria. Algunos consideran que esta especie se desarrolló en la zona europea del mar Mediterráneo, mientras otros consideran que lo hizo en Asia, más específicamente en lo que hoy es Afganistán. En ambas regiones se encuentra zanahoria en estado silvestre. Gracias a documentos antiguos se sabe que antes de utilizarse como alimento la zanahoria fue usada como planta medicinal, para curar problemas digestivos y heridas, mientras que en Grecia antigua se creía que la zanahoria era afrodisíaco.

Durante los siglos IX y XII la zanahoria se expandió en los territorios de bajo influencia árabe, sobre todo en el Mediterráneo oriental. Las variedades de raíz anaranjada se reportaron por primera vez en Holanda en el siglo XVII de donde se distribuyeron y popularizaron por toda Europa y pasaron al continente americano (Morales, 1995)

1.2.1.3. Beneficios del consumo de la zanahoria

El consumo de las zanahorias presenta los siguientes beneficios:

Fortalece los dientes y las encías.

Gracias a su alto contenido en fibra previenen el estreñimiento. Además, calman las molestias gástricas y el exceso de acidez. Por ello, si padecemos gastritis las zanahorias son una excelente elección.

Por su elevado contenido en agua son diuréticas y ayudan a la desintegración de los cálculos renales.

Ricas en potasio y fósforo, las zanahorias son un remedio para mentes cansadas y nervios desatados.

Los betacarotenos son unos poderosos protectores que evitan el envejecimiento prematuro. Protegen nuestra retina y evitan la aparición de cataratas. La ingesta diaria de zanahoria está especialmente recomendada en casos de pérdida de la agudeza visual.

Fortalecen y revitalizan las uñas y el cabello gracias a los betacarotenos que contienen.

1.2.2. Actividad de agua (Aw)

La actividad de agua (aw) es un parámetro que 'indica la disponibilidad de agua en un alimento para que existan reacciones químicas, bioquímicas (por ejemplo, oxidación de lípidos, reacciones enzimáticas, reacción de Maillard) y desarrollo microbiano (Fennema, 2000). Por esto la actividad de agua es un parámetro bastante usado como indicador para predecir la vida útil de un alimento. El concepto de aw fue introducido en 1975 por el microbiólogo Scott y hoy en día se considera junto con la temperatura uno de los parámetros más importantes que influyen en las reacciones de deterioro de Jos alimento (Casp y Abril, 2003, citado por Choque, 2009)

Según Marques (2009), la actividad de agua (aw) es definida por la relación entre la presión parcial del vapor de agua en el alimento y la presión de vapor del agua pura a la . misma temperatura. En el caso de agua pura, la relación entre las presiones es l. Entretanto la actividad de agua de los alimentos es siempre inferior a 1, pues los constituyentes químicos presentes inmovilizan parcialmente el agua. En la realidad, la actividad de agua es la relación entre la fugacidad de la solución {f) y la fugacidad del solvente puro {fa). Se entiende por fugacidad la tendencia del solvente de "escapar de la solución" (Marques, 2009). El agua tiene una presión de vapor baja a temperatura ambiente, por lo que puede considerarse que su comportamiento es ideal en la fase de vapor. (Clemente, 2003). La actividad de agua puede ser expresada por la siguiente ecuación

$$a_w = \frac{P}{P_o} = \frac{HRE}{100}$$

Donde:

P = Presión parcial del vapor de agua en el sistema (alimento)

P_o = Presión de saturación del agua liquida pura a la misma temperatura

HRE = Humedad relativa de equilibrio

En el equilibrio, la actividad de agua del alimento se iguala a la humedad relativa del ambiente en el cual se encuentra. En estas condiciones, el alimento no gana ni pierde agua (Marques, 2009).

Para materiales no higroscópicos la presión de vapor de la superficie es igual a la presión de vapor para el agua pura en la misma temperatura. Para un material higroscópico la presión de vapor de la superficie es más baja que la presión de vapor del agua pura, este hecho se debe mayormente a la estructura y la porosidad del material o alimento (Heldman y Lund, 2007, citado por Choque, 2009).

1.2.3. Isoterma de sorción

La isoterma de un producto relaciona gráficamente, a una temperatura constante, el contenido en humedad de equilibrio de un producto con la actividad termodinámica del agua del mismo, ya que, en el equilibrio, este último parámetro es igual a la humedad relativa del aire que rodea al producto (Vega et al., 2005).

Las isotermas de sorción de humedad para los alimentos representan las propiedades higroscópicas integradas de muchos componentes cuyas propiedades de sorción pueden cambiar debido a las interacciones físicas y químicas causadas por procesos de calor u otros pre-tratamientos (Iglesias y Chirife, 1982, citado por Araujo, 2001).

Las isotermas de sorción de alimentos son obtenidas relacionándose en un gráfico la cantidad de agua sorbida, en función de la actividad de agua, generando mayormente curvas · de formato sigmoide (Araujo, 2001). Una isoterma de. sorción puede ser obtenida en dos direcciones: adsorción y desorción. La primera es obtenida cuand.o un material seco es . colocado en varias atmósferas, aumentando la humedad relativa y midiendo el aumento de peso debido a la ganancia de agua. En la segunda, el material inicialmente húmedo es colocado bajo las mismas condiciones ambientales utilizadas en la adsorción, siendo medida la pérdida de peso, debido a la salida de agua (Kurozawa et al, 2005).

Lo mencionado anteriormente puede observarse en la Figura 2, donde se aprecia las isotermas de adsorción y desorción de humedad características de productos alimenticios.

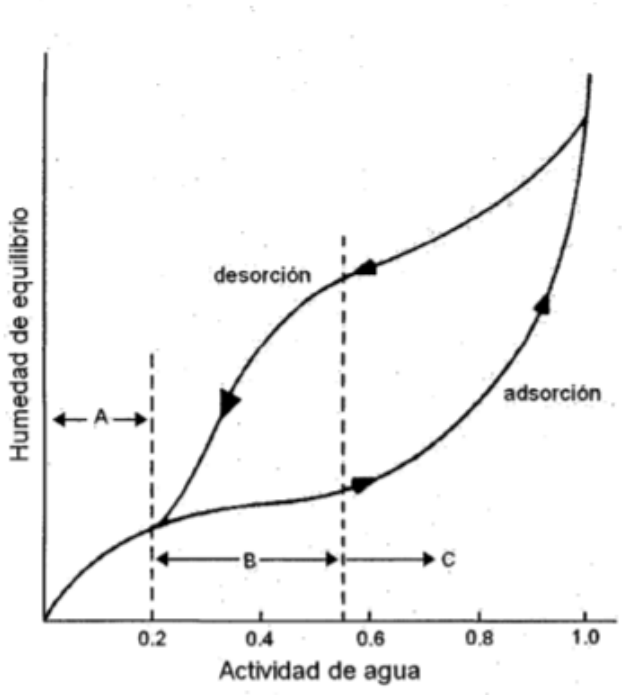

Figura 2. Isoterma de Adsorción y Desorción

1.2.4. Clasificación de las isotermas de sorción

Tóth (2001), citado por Choque (2009) muestra cinco tipos de comportamiento de isotermas de adsorción (Figura 3). Shafiur (2003), citado por Choque (2009), nos dice que si · Jos alimentos contienen compuestos cristalinos hidrosolubles como azúcares o sales, la 17 isoterma es cóncava del Tipo lll, la mayoría de los restantes alimentos tienen isotermas sigmoideas del Tipo ll, el punto de inflexión de la isoterma (Tipo Il) indica el cambio de la capacidad de ligar agua o a las cantidades relativas de agua unida y libre. El Tipo 1 es indicativo de un sólido poroso no hinchable, tal como los silicatos antiaglomerantes "anticraking".

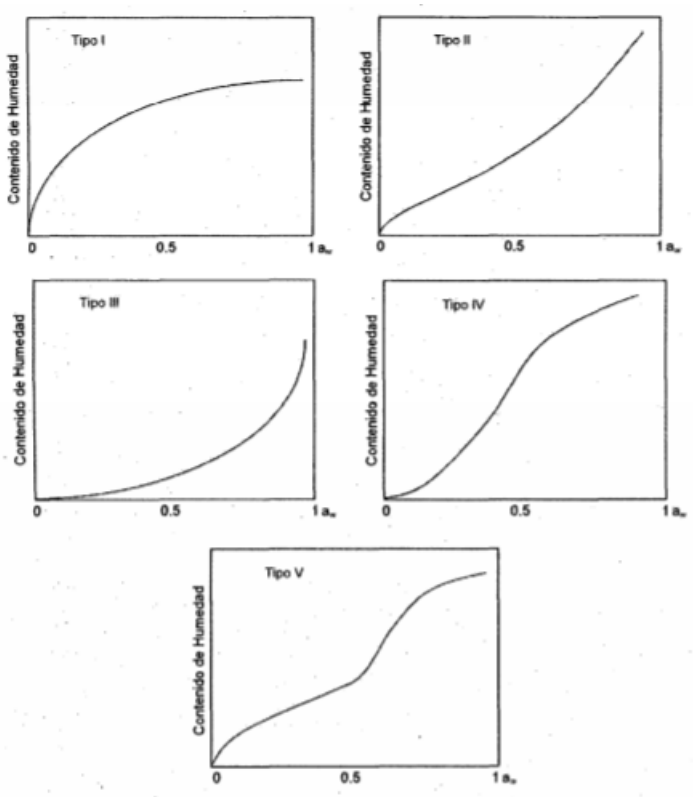

Figura 3. Los cinco tipos de isotermas de adsorción de Van Der Waals

1.2.5. Efecto de la temperatura sobre la actividad de agua(Aw)

En general, la cantidad de agua adsorbida por el alimento disminuye conforme aumenta la temperatura. Dicho de otro modo, si se desea que el alimento mantenga un determinado contenido de agua en equilibrio a una nueva temperatura, superior a la anterior, aumentará su actividad de agua. En suma, un incremento de temperatura tiende a desplazar la isoterma de referencia hacia abajo (ver figura 6). Rodríguez Francisco (2002)

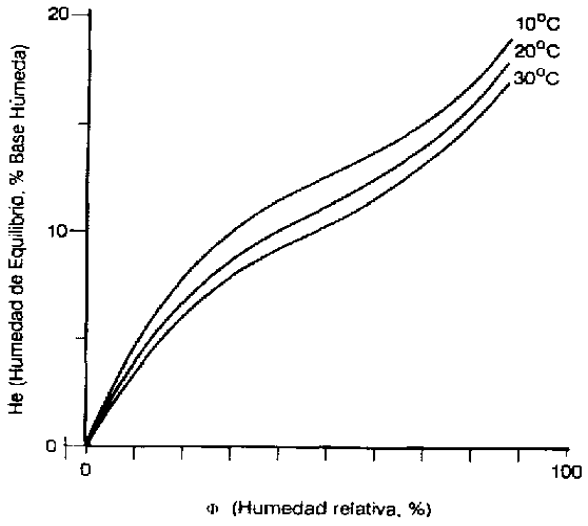

Figura 4. Isotermas de sorción a diferentes temperaturas

1.2.6 Concepto de capa monomolecular .

Los alimentos tienen una composición compleja y heterogénea, entre los componentes figuran proteínas, grasas, sales minerales, carbohidratos, vita-minas, y enzimas, muchos de estos componentes están fuertemente hidratados. El agua y los lípidos contenidos son dependientes entre si y la suma de ambos generalmente es un 80% del total en base húmeda. en las isotermas de sorción la actividad de agua

comprendida entre 0,0 a 0,3 corresponde al agua fuertemente ligada, según la mayoría de los autores, en esa región de la isoterma existe una capa monomolecular de agua fija a los grupos polares de ciertos compuestos , especialmente los grupos $NH3^{+}$ Y COO^{-} De las proteínas y de los grupos OH de los almidones y probablemente, también el agua de cristalización de las sales y azucares.

Considerando el contenido en agua de los alimentos, esta agua representa de 3 a 10 gramos por cien gramos de peso seco desgrasado.

Casi todos los investigadores concluyen de que el valor de la capa monomolecular es teóricamente el contenido de agua que debe tener un producto deshidratado ya que el agua de esta capa no actúa como solvente ni es reactivo, además no se encuentra disponible para los microorganismos y por último es la que protege a las proteínas . Rodríguez Francisco (2002)

1.2.7. Modelos matemáticos aplicados al fenómeno de adsorción

Resulta evidente el interés de disponer de una expresión matemática que exprese, para cada alimento, la relación $X=f(A_W)$. Más de 200 ecuaciones de isotermas han sido propuestas para materiales biológicos. Algunas de ellas están basadas en modelos de adsorción como la ecuación de BET. Otras, sin embargo, son simplemente ecuaciones empíricas con dos o tres parámetros ajustables. Las ecuaciones empíricas son útiles en las propiedades de adsorción del agua en los alimentos. Aunque proporciona información acerca de interacciones con otros componentes (Martínez et al 1999 pág. 155-160), Debido al gran número de ecuaciones de isotermas presentes en la literatura, han sido considerado cinco de ellas, de amplio uso en el ámbito de los alimentos.

Los modelos matemáticos más utilizados:

1.2.7.1. Modelo de BET.

$$\frac{Aw}{n(1-Aw)} = \frac{1}{Xm \cdot C} + \frac{C-1}{Xm \cdot C} \cdot Aw \qquad (2)$$

Dónde:

A_w = Actividad de agua.

X = Humedad del producto Kg H_2O/ Kg sólido seco.

X_m = Humedad del producto correspondiente a una capa monomolecular de agua adsorbida Kg H_2O/ Kg sólido seco.

C = Parámetro relacionado con el calor de adsorción del agua retenida.

El modelo de BET, supone una herramienta muy útil para el análisis de isotermas de sorción y en particular de adsorción de agua en alimentos. No obstante la ecuación 2 se desvía de la linealidad cuando a_w es superior a 0.3 – 0.5. Esto es debido fundamentalmente a que a partir de esos niveles de a_w , los fenómenos que describen mayoritariamente las interacciones del agua en el alimento no son de sorción, sino más bien del tipo soluto-disolvente y el agua empieza a estar presente en el sistema movilizando los solutos en forma de fase liquida (Martínez et al 1999 pág. 155-160).

1.2.7.2. Modelo de Caurie.

$$x = \exp\left[Aw \cdot (\ln\gamma) - \frac{1}{4.5 \cdot x_s} \right] \qquad (3)$$

Donde:

X = Humedad del producto Kg H_2O/ Kg sólido seco.

X_s = Humedad de seguridad que proporcionaría la máxima estabilidad al alimento deshidratado durante el almacenamiento.

R = Parámetro característico de cada producto,

La ecuación de Caurie se adapta bastante bien a las isotermas de humedad de equilibrio de numerosos alimentos, para valores de a_w entre 0 y 0.85 (Labuza, 2000 pág. 49).

1.2.7.3. Modelo de GAB.

$$\frac{Aw}{n} = \frac{1}{Xm \cdot Cg \cdot K} + \frac{Cg - 2}{Xm \cdot Cg} \cdot Aw + \left(K \cdot \frac{1 - Cg}{Xm_{Cg}} \right) \cdot Aw^2 \qquad (4)$$

Donde:

X = Humedad del producto Kgr H_2O /Kgr sólido seco.

Xm y C tienen el mismo significado, respectivamente, que Xm, X y C del modelo de B.E.T.., y k es un parámetro de corrección de las propiedades del agua.

La ecuación de GAB es una extensión de la ecuación de BET, teniendo en cuenta las propiedades modificadas del agua adsorbida en la región multicapas (ecuación 4) Martínez et al, 2000 pág. 155-160), siendo el modelo que mejor ajusta los datos de isotermas de adsorción para la mayoría de los alimentos y muy utilizado para predecir datos de niveles de actividad de agua de aproximadamente 0.9 (Van Den Berg, C. y Brun, S. 1981 pág. 1-43).

1.2.7.4. Modelo de Halsey.

$$X = \alpha \left(\ln \left(\frac{1}{Aw} \right) \cdot \beta \right) \qquad (5)$$

Donde:

X = Humedad del producto Kg H_2O/ Kg sólido seco.

αyβ son dos parámetros característicos del producto.

Esta ecuación teórica, desarrollada a partir de la de B:E:T: , es muy versátil y se ajusta muy bien en el intervalo Aw = 0,10 – 0,80.

1.2.7.5. Modelo de Henderson.

Existen diferentes formas de expresar la ecuación de este modelo, que es preciso citar debido a su amplia utilización en Tecnología de Alimentos. Una de estas expresiones es:

$$n = 0.01 \cdot \left[\frac{-\log \cdot (1 - Aw)}{10^{f}} \right]^{\frac{1}{\eta}} \qquad (6)$$

Dónde:

n = Humedad del producto Kg H_2O/ Kg sólido seco.

λ y σ son dos parámetros característicos del alimento.

La ecuación de Henderson reproduce bastante bien las isotermas de equilibrio para valores de a entre 0,10 y 0,75 (Labuza 1984 pág. 53).

1.2.7.6. Modelo de Oswin.

Este modelo es una ecuación empírica, basado en la expansión de una serie matemática para curvas sigmoidales, se ajusta muy bien entre valores de actividad de agua de 0.0 < aw < 1.0, la ecuación de Oswin ajusta cerca del 57% de las isotermas de alimentos. Los parámetros característicos A y B del modelo de Oswin muestran relación con la temperatura para diferentes isotermas (Choque, 2009).

$$X_e = A \cdot \left[\frac{a_w}{(1 - a_w)} \right]^{B} \qquad \textbf{(7)}$$

Donde:

X_e = Humedad del producto Kg H_2O/ Kg sólido seco.

A y B = Parámetros característicos del modelo.

1.2.7.7. Modelo de Chung-Pfost.

Este modelo permite estimar con determinada precisión los valores de humedad de equilibrio de granos y cereales para los rangos de 20 a 90% de humedad relativa, en función de la temperatura.

$$a_W = \exp\left(\frac{A}{RT}\exp(-BX_e)\right) \quad \textbf{(8)}$$

X_e = Humedad del producto Kg H_2O/ Kg sólido seco.

A y B = Son constantes características del modelo.

1.2.7.8. Modelo de Smith.

La ecuación para el modelo de Smith es la siguiente:

$$M = B + A\cdot\log(1 - a_W)$$

Donde:

M = Humedad al equilibrio del alimento en base seca.

A y B = Constantes del modelo.

a_w = Actividad de agua.

1.2.8 Calor isostérico de sorción

El calor isostérico de sorción del agua se define como la energía que se necesita para desorber el agua de una matriz por unidad de masa liberada. Por ello, el calor isostérico de sorción es una medida de la energía o la vinculación intermolecular entre las moléculas de agua y las superficies adsorbentes. El contenido en humedad, para el que el calor de adsorción es casi igual al calor latente de vaporización del agua pura, es a menudo considerado como un indicador del contenido de agua libre. Wang y Brennan, (1991)

1.3. Marco conceptual

1.3.1. Isotermas de adsorción

Las **isotermas de adsorción** son representaciones gráficas del comportamiento de una partícula adsorbida, sobre la superficie de un sólido o líquido, cuando se incrementa su concentración. Si las partículas adsorbidas corresponden a las de un gas, entonces se toma en cuenta su presión. (Bolívar, G. s.f).

1.3.2. Capa monomolecular

Capa de adsorción de un agente de superficie, en la cual todas las moléculas adsorbidas están en contacto con la capa superficial del adsorbente. Real Academia de Ingeniería (s.f).

1.3.3 Actividad de agua

Medida del agua libre o agua disponible en una matriz alimentaria. Es un factor técnico muy importante en tecnología alimentaria, ya que influencia los tipos de microbios que pueden desarrollarse, y su capacidad para desarrollarse dentro de un producto alimentario. (Hiperbaric s,f).

1.3.4. Humedad relativa

Cociente entre la fracción molar de vapor de agua en un espacio dado y la fracción molar del vapor de agua en su condición de saturación. La razón de masas sólo depende de la determinación de la masa del vapor de agua y la masa del gas seco, por lo que la humedad relativa es una forma absoluta para determinar el contenido de humedad. (Martines, E. 2007).

CAPITULO II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACION

2.1 Situación problemática.

La conservación de los alimentos ha sido, es y será motivo de preocupación para el hombre, debido a la necesidad que tiene de preservarlo de factores físicos y microbiológicos del ambiente. La deshidratación es el procesamiento que permite la conservación de los alimentos debido a la disminución de la actividad de agua (Aw).

Un alimento deshidratado es aquel al que le ha sido extraído gran parte de agua para alargar su vida útil. Al eliminar la humedad, se **e**vita que proliferen los microorganismos que llevarían a malograr el alimento.

Prácticamente podemos encontrar deshidratados todo tipo de alimentos: plantas y flores; semillas y cereales; legumbres; bulbos y hongos; frutas, verduras… Incluso carne y pescado. La mayoría de estos alimentos pueden consumirse directamente deshidratados –como nuestras aceitunas. Otros, por su parte, **pueden** rehidratarse para ser consumidos,

Algunos factores que influyen sobre la estabilidad de los componentes durante el almacenamiento de los alimentos deshidratados son: temperatura, contenido de humedad, presencia o ausencia de luz, pH, presencia de oxígeno y duración del almacenamiento (Quintero, 2008). Por lo tanto, es fundamental conocer el dato del valor adecuado de humedad final a la que la tuna deshidratada debe almacenarse, así como el intervalo de humedades relativas para su almacenamiento. Para obtener esta información, se requiere de la elaboración de las isotermas de adsorción, que son curvas que relacionan, a una temperatura constante, el contenido de humedad de equilibrio con la actividad termodinámica del agua en el producto, en un intervalo dado de humedad o

actividad. El análisis de estas curvas permite analizar el grado de interacción del agua con el sustrato. (Ramírez 2012).

2.2. Formulación del problema

2.2.1. Problema general

¿Qué modelo matemático, presenta mejor ajuste con la isoterma de adsorción obtenida experimentalmente para la zanahoria deshidratada?

2.2.2. Problemas específicos

- ✓ ¿Qué modelo matemático (GAB, BET, Halsey, Curie, Henderson, Oswin, Smith y Chung-Pfost) presenta mejor ajuste con los datos obtenidos experimentalmente en la prueba de adsorción de humedad para la zanahoria deshidratada?
- ✓ ¿De qué manera influye la temperatura en las isotermas de adsorción de humedad para la zanahoria deshidratada?
- ✓ ¿Cuál es el valor de la capa monomolecular para la zanahoria deshidratada?

2.3. Delimitación del problema

2.3.1 Delimitación espacial

Este proyecto se realizará en el laboratorio de Ingeniería de alimentos de la Facultad de Ingeniería Pesquera y de Alimentos de la Universidad Nacional “San Luis Gonzaga” de Ica.

2.3.2. Delimitación temporal

La investigación estará diseñada para ejecutarse de diciembre del 2020 a agosto 2021.

2.3.3. Delimitación conceptual

Este proyecto analizara el estudio del fenómeno de adsorción en la zanahoria deshidratada para determinar las isotermas de adsorción, la influencia de las temperaturas el valor de la capa monomolecular y el calor isostérico.

2.4. Justificación e importancia de la investigación

2.4.1. Justificación

Esta investigación se justifica porque mediante la obtención de las isotermas de adsorción nos permitirá conocer los parámetros que permitirán adecuados para la conservación y almacenamiento de la zanahoria deshidratada.

2.4.2. Importancia

La importancia de la presenta investigación radica en que obtenidos experimentalmente los datos de adsorción mediante el uso de soluciones salinas saturadas y mediante la aplicación de los modelos matemáticos se obtendrá el valor de la capa monomolecular, valor que garantiza que no hay actividad microbiana, no se producen reacciones químicas y el agua no actúa como solvente; asimismo estos valores son útiles para seleccionar empaques e ingredientes por predecir la humedad máxima a permitir durante el almacenamiento.

2.5 Objetivos de la investigación

2.5.1. Objetivo general

Determinar las isotermas de adsorción de la zanahoria deshidratada mediante modelos matemáticos.

2.5.2 Objetivos específicos

- Determinar la correlación de las isotermas de adsorción con los modelos matemáticos de GAB, BET, Halsey, Curie, Henderson, Oswin, Smith y Chung-Pfost
- Determinar la influencia de la temperatura en las isotermas de adsorción para la zanahoria deshidratada
- Determinar el valor de la capa monomolecular.

2.6. Hipótesis de la investigación

2.6.1. Hipótesis general

Las isotermas de adsorción obtenidas con datos experimentales no presentan diferencias con los valores obtenidos mediante modelos matemáticos.

2.6.3. Hipótesis especificas

- ✓ La isoterma de adsorción obtenida con el modelo de GAB, BET, Caurie, Halsey,Henderson, Oswin, Smith y Chung-Pfsot no presentan diferencia con la obtenida experimentalmente.
- ✓ La temperatura influye en las isotermas de adsorción de la tuna deshidratada.
- ✓ El valor de la capa monomolecular garantizará la conservación de la zanahoria deshidratada en el almacenamiento.

2.7 Variables de investigación

2.7.1 Identificación de variables.

Variable independiente: X = Isotermas de adsorción.

Variable dependiente: Y = Aceptación del modelo matemático.

Variable interviniente: Z = Disponibilidad del recurso y disponibilidad de equipos.

2.7.2. Operacionalización de variables

Variable independiente

X = Isotermas de Adsorción.

Dimensión

X_1 = Datos obtenidos con los modelos matemáticos.

Indicadores

$X_{1,1}$ = Actividad del agua.

$X_{1,2}$ = Contenido de humedad.

$X_{1,3}$ = Constantes de adsorción.

Variables dependiente (Y)

Y = Aceptación del modelo matemático.

Dimensión

Y_1 = Modelos matemáticos de B.E.T, G.A.B, Halsey, Henderson, Curie.Smith,Oswin, Chung-Pfost

Indicadores

$Y_{1,1}$ = Coeficiente de correlación.

$Y_{1,2}$ = Error medio relativo.

CAPITULO III ESTRATEGIA METODOLOGICA

3.1 Tipo, nivel y diseño de investigación

3.1.1. Tipo de la investigación

Por el tipo de investigación, la tesis reúne las condiciones metodológicas de una investigación aplicada, en razón, que se utilizaran los conocimientos de la Ingeniería de Alimentos, a fin de aplicarlas en la obtención de las isotermas de adsorción de la zanahoria deshidratada.

3.1.2 Nivel de la investigación

De acuerdo a la naturaleza del estudio de la investigación, reúne por su nivel las características de un estudio experimental, descriptivo y explicativo.

3.1.3 Diseño de la investigación

Para el diseño de la investigación se empleó el método experimental, el cual se identifica por la introducción y manipulación del elemento causal, que es la variable independiente, para de esa manera establecer después el elemento efecto, el cual es la variable dependiente.

Por lo tanto, este método experimental nos ayudara a establecer el contenido de humedad de conservación de la zanahoria deshidratada.

Para las curvas de adsorción se utilizó el método estático utilizando soluciones salinas saturadas que den un rango de actividad de agua de 0,10 a 0,90, las evaluaciones de los datos se efectuaran con los modelos matemáticos indicados anteriormente. Para obtener los parámetros de adsorción, el coeficiente de correlación y el error relativo se empleo el Excel y mathcad 15.

3.2 Población y muestra materia de investigación

3.2.1. Población

La población estará constituida por las zanahorias que se venden en el departamento de Ica.

3.2.2. Muestra

Considerando que tendremos que realizar la deshidratación de la zanahoria, utilizaremos 5 kilos, obtenido el producto secado utilizaremos 1 kilo para las pruebas de adsorción.

CAPITULO IV. TECNICAS E INSTRUMENTOIS DE INVESTIGACION

4.1. Técnicas de recolección de datos

La recolección de datos se realizó a partir de los datos obtenidos experimentalmente de la prueba de adsorción a las temperaturas de 20ºC, 30ºC y 40ºC.

4.2. Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos de recolección de datos serán las campanas de deshidratación, placas konguay, balanza analítica marca Navigator con 2 decimales, higrómetros digital marca HTC-2. Las soluciones salinas saturadas que se utilizaran se presentan en la tabla 1.

Tabla 1

Sales para la prueba de adsorción

Sales
LiCl
$MgCl_2$ $6H_2O$
K_2CO_3
NaBr
$NaNO_3$
ClNa
K_2CrO_4

4.3 Técnicas de procesamiento, análisis e interpretación de datos

Los datos obtenidos experimentalmente serán modelados matemáticamente con los modelos de GAB, BET, Halsey, Caurie y Henderson, utilizaremos para ello el programa Mathcad 15

CAPITULO V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Materiales

Materia prima

- Zanahoria deshidratada

Equipos y materiales de laboratorio

- Placas Konguay
- Campanas de deshidratación
- Balanza de precisión
- Higrómetro
- Termómetros
- Placas Petrix

Reactivos químicos

Soluciones salinas	Humedad relativa		
	20ºC	30ºC	40ºC
ClLi	11.3	11.2	11.1
$Mg\ Cl_2\ 6\ H_2\ O$	33.6	32.8	32.1
$K_2\ C\ O_3$	43.9	43.6	43.4
NaBr	59.2	56.3	58.7
$NaNO_3$	65.5	63.5	61.5
ClNa	75.4	75.6	75.3
$K_2\ Cr\ O_4$	86.6	86.3	85.6

5.2 Método para la obtención de las isotermas de adsorción para la zanahoria deshidratada

Para obtener las isotermas de adsorción para la zanahoria deshidratada en primer lugar se obtuvo la humedad de las muestras, para esto en una placa petrix se pesaron 10 gramos de muestra y se llevaron a la estufa a 105 °C por 3-4 horas hasta peso constante, después se colocaron en una campana de deshidratación y posteriormente se procedió a pesarlo y determinar la humedad y sólidos secos, la prueba se hizo por triplicado y para los cálculos se consideró el promedio de las tres muestras.

Para obtener los parámetros de adsorción para la tuna deshidratada se determinaron los contenidos de humedad de equilibrio utilizando el método estático para lo cual se utilizaron soluciones salinas saturadas a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C. se pesaron 1 gramo de muestra y se colocaron en placa konguay y en campanas que contenían las soluciones salinas saturadas, para las temperaturas de 30°C y 40°C se utilizaron estufas con temperatura regulable.

Después de 15 días se tomó el peso de las muestras colocadas a temperatura de 20°C y 30 °C y para las muestras a 40 ° C después de 48 horas, se calcularon los diferentes contenidos de humedad. Los parámetros de adsorción se determinaron utilizando modelos matemáticos, para lo cual se utilizó el programa Mathcad 15

5.3 Modelo para obtener los parámetros de adsorción y el coeficiente de correlación de la ecuación de GAB.

La ecuación de G.A.B. corresponde a un modelo parabólico, la ecuación y el modelo se presentan a continuación

Ecuación

$$\frac{Aw}{X} = \frac{1}{Xm \cdot Cg \cdot K} + \frac{Cg - 2}{Xm \cdot Cg} \cdot Aw + \left(K \cdot \frac{1 - Cg}{Xm \cdot Cg} \right) \cdot Aw^2$$

Modelo parabolico

$$y = A1 + B1 \cdot x + C1 \cdot x^2$$

Para obtener los parámetros de adsorción (Xm, Cg y K) se realiza el análisis de regresión cuadrática obteniéndose los parámetros A1,B1,C1 y el coeficiente de correlación (R)

5.4 Modelo para obtener los parámetros de adsorción y el coeficiente de correlación de la ecuación de CAURIE

La ecuación de CAURIE para efecto de simplificación se ha linealizado, la ecuación y el modelo se presentan a continuación

Ecuación

$$x := e^{\left(\ln(\gamma) \cdot Aw - \frac{1}{4.5 \cdot Xs} \right)}$$

$$\frac{1}{x} = e^{\left(\frac{1}{4.5 \cdot Xs} - \ln(\gamma) \cdot Aw \right)}$$

Modelo lineal

$$\ln\left(\frac{1}{X} \right) = \frac{1}{4.5 \cdot Xs} - \ln(\gamma) \cdot Aw$$

$$y = A + B \cdot x$$

5.5 Modelo para obtener los parámetros de adsorción y el coeficiente de correlación de la ecuacion de HALSEY

La ecuación de HALSEY para efecto de simplificación se ha linealizado aplicando logaritmo neperiano a ambos lados de la ecuación, la ecuación y el modelo se presentan a continuación

Ecuación

$$x := \alpha \cdot \left(\ln\left(\frac{1}{Aw} \right) \right)^{\beta}$$

Modelo lineal

$$\ln(x) = \ln\left[\alpha \cdot \left(\ln\left(\frac{1}{Aw} \right) \right)^{\beta} \right]$$

$$\ln(x) = \ln(\alpha) + \ln(\beta) \cdot \ln\left(\ln\left(\frac{1}{Aw} \right) \right)$$

$$y = A + B \cdot x$$

5.6 Modelo para obtener los parámetros de adsorción y el coeficiente de correlación de la ecuación de HENDERSON-THOMPSON

La ecuación de HENDERSON-THOMPSON para efecto de simplificación se ha linealizado, la ecuación y el modelo se presentan a continuación

Ecuación

$$x = 0.01 \cdot \left(\frac{-\log(1 - Aw)}{10^{f}} \right)^{\frac{1}{\eta}}$$

Modelo linealizado

$$\log\left(\log\left(\frac{1}{1 - Aw} \right) \right) = f + \eta \cdot \log(100 - x)$$

$$y = A + B \cdot x$$

5.7 Modelo para obtener los parámetros de adsorción y el coeficiente de correlación de la ecuación de BET

La ecuación de BET corresponde a un modelo lineal la ecuación y el modelo se presentan a continuación

Ecuación

$$\frac{Aw}{x \cdot (1 - Aw)} = \frac{1}{Xm \cdot C} + \frac{C - 1}{Xm \cdot C} \cdot Aw$$

Modelo Lineal

$$y = A + B \cdot x$$

5.8 Modelo para obtener los parámetros de adsorción y el coeficiente de correlación de la ecuación de Oswin

La ecuación de Oswin para efecto de simplificación se ha linealizado, la ecuación y el modelo se presentan a continuación

$$x = A \cdot \left(\frac{Aw}{1 - Aw} \right)^{B}$$

Linealizando la ecuacion

$$\ln(x) = \ln(A) + B \cdot \ln\left(\frac{Aw}{1 - AW} \right)$$

5.9 Modelo para obtener los parámetros de adsorción y el coeficiente de correlación de la ecuación de Smith

La ecuación de Smith para efecto de simplificación se ha linealizado, la ecuación y el modelo se presentan a continuación

$$n = A - B \cdot \ln(1 - Aw)$$

$$y = A - B \cdot y$$

5.10 Modelo para obtener los parámetros de adsorción y el coeficiente de correlación de la ecuación de Chung-Pfost

La ecuación de Chung-Pfost para efecto de simplificación se ha linealizado, la ecuación y el modelo se presentan a continuación

$$Xe = A + B \cdot ln(-ln(Aw))$$

$$y = A + B \cdot x$$

5.11 Fórmula para calcular el error medio relativo

Para calcular el error medio relativo se utilizó la siguiente ecuación

$$E = 100 \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{k} \frac{\left(X_{exp} - X_{cal}\right)}{X_{cal}}}{N}} \qquad \text{Ecuación 6}$$

CAPITULO VI PRESENTACION, INTERPRETACION Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 Isotermas de adsorción obtenidas experimentalmente para zanahoria deshidratada

En la tabla 2 se presentan los contenidos de humedad de equilibrio de la zanahoria deshidratada a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C, los datos obtenidos se grafican en la figura 5.

Tabla 2.

Contenido de humedad de equilibrio para la zanahoria deshidratada a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C, a diferentes actividades de agua

Temperatura 20°C		Temperatura 30°C		Temperatura 40°C	
Aw	n (g de agua/ 100 g.m.s)	Aw	n (g de agua / 100 g.m.s)	Aw	n (g de agua / 100 g.m.s)
0.113	7.57	0.112	6.49	0.111	5.62
0.336	9.92	0.328	8.46	0.321	7.98
0.439	11.74	0.436	10.47	0.434	9.78
0.592	16.95	0.563	15.43	0.537	14.22
0.655	21.34	0.635	19.64	0.615	17.90
0.754	30.41	0.756	29.15	0.753	27.84
0.866	45.10	0.863	42.45	0.856	41.03

En la tabla 2 y la figura 7 se observa que el contenido de humedad de equilibrio aumenta con el incremento de la Aw , así mismo para un valor de Aw el contenido de humedad de equilibrio aumenta con la temperatura.

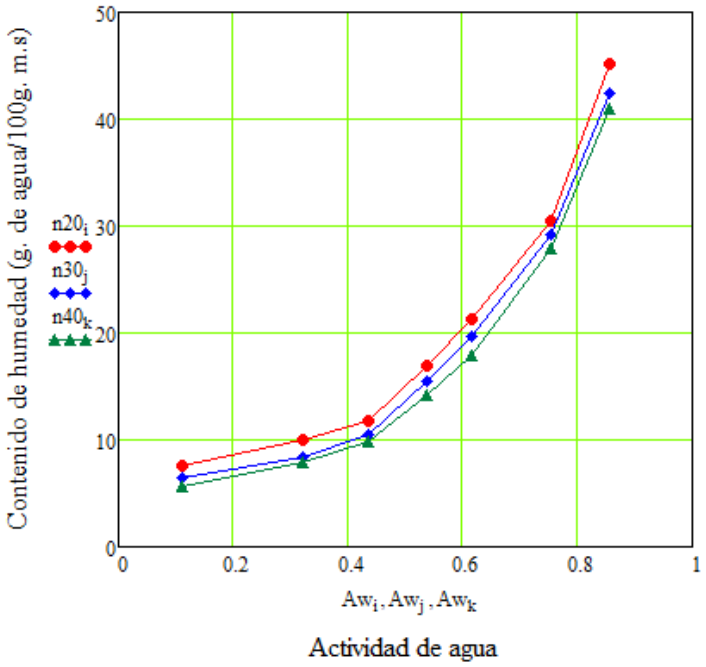

Figura 5. Curvas de adsorción experimental para la zanahoria deshidratada a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C

6.2 Isoterma de adsorción y parámetros de adsorción, obtenidos con el modelo G.A.B. a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C, para la zanahoria deshidratada

En las figuras 6, 7 y 8 se muestran los resultados obtenidos experimentalmente y los calculados mediante el modelo de GAB a las temperaturas de 20, 30 y 40°C, en la figura 9 se presentan las tres curvas y en la tabla 3 los parámetros de la adsorción.

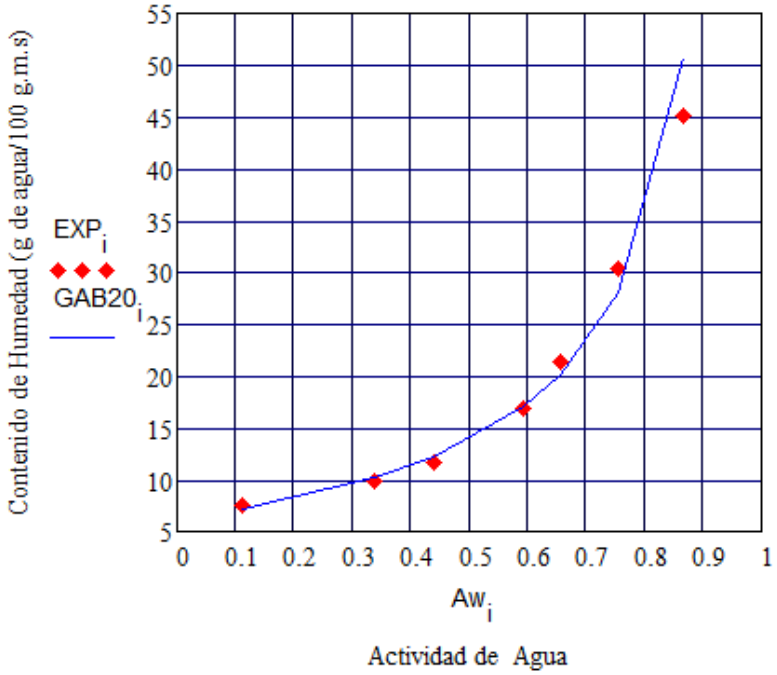

Figura 6. Isotermas de adsorción de G.A.B. a la temperatura de 20°C

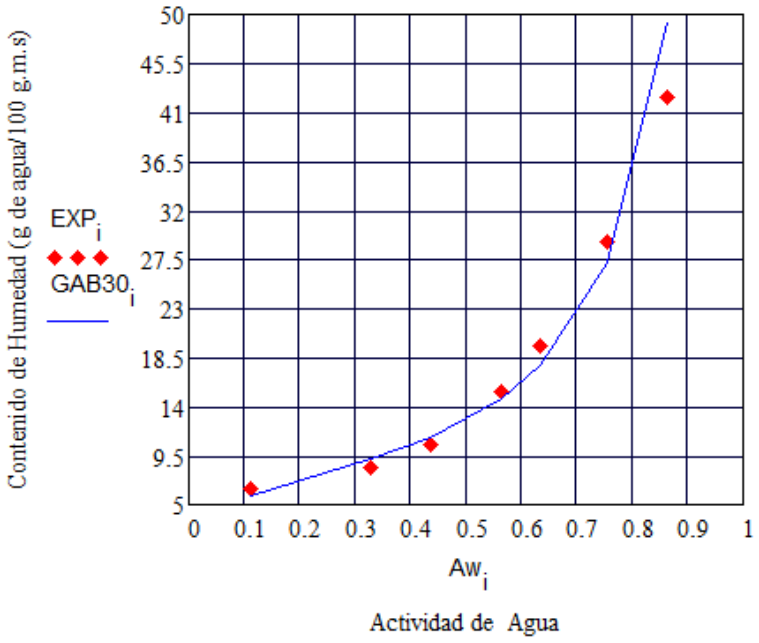

Figura 7. Isotermas de adsorción de G.A.B. a la tempertura de 30°C

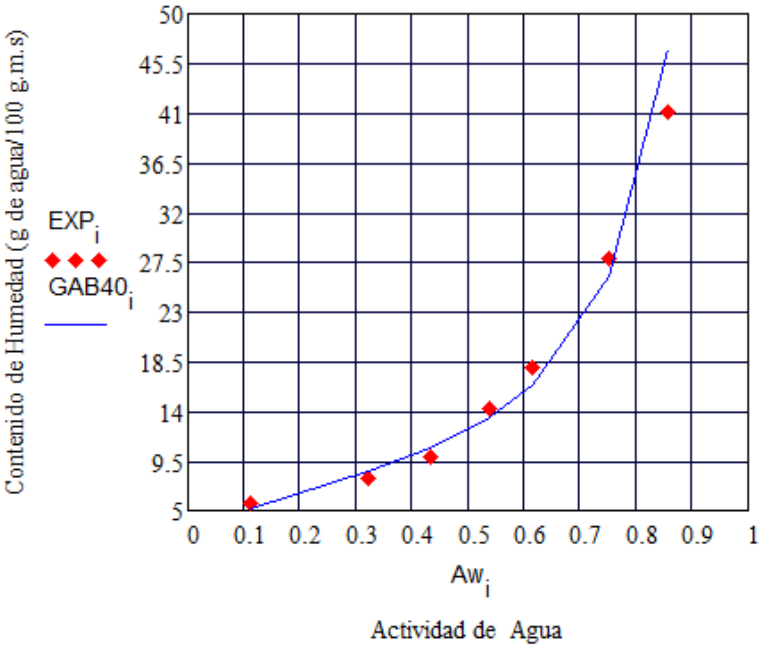

Figura 8. Isoterma de adsorción de G.A.B. a la temperatura de 40°C

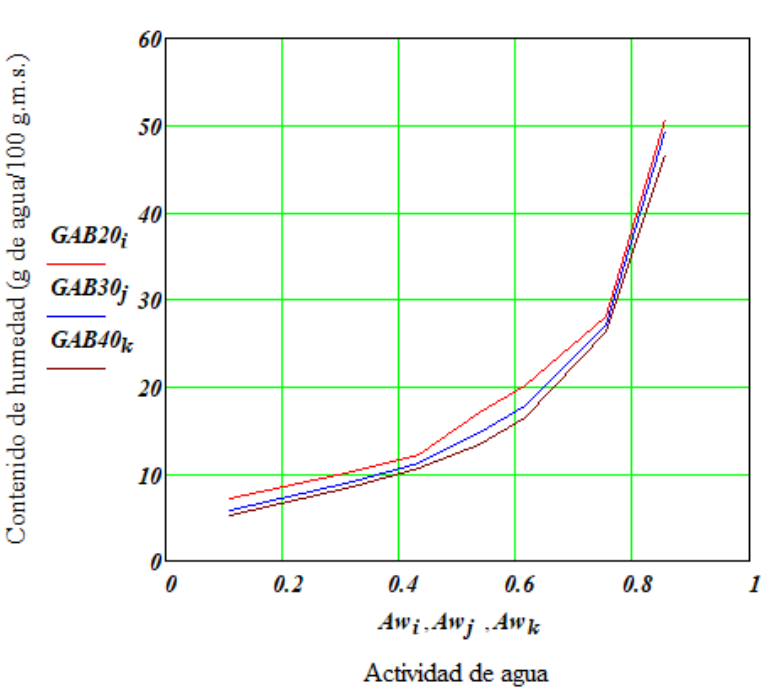

Figura 9. Isotermas de adsorción de GAB a 20°C , 30°C y 40°C

Tabla 3.

Valores de los parámetros Xm , Cg y K del modelo G.A.B. estimados para la zanahoria deshidratada

Parámetros de la ecuación de G.A.B.	T = 20°C	T = 30°C	T = 40°C
Xm (g de agua/100 g. m.s)	7.046	6.581	6.391
Cg (constante)	69.294	29.628	19.888
K (constante)	0.995	1.005	1.01

Con el modelo de GAB se determinó que los valores de la capa monomolecular disminuyen con el aumento de la temperatura (7.076, 6.581, 6.391g de agua/g.m. s); para la constante Cg se observa una disminución con el aumento de la temperatura (69.294, 29.628, 19.888), y para la constante K se observa un aumento con el incremento de la temperatura (0.995, 1.005, 1.01)

6.3 Isotermas de adsorción y parámetros de adsorción, obtenidos con el modelo de Caurie a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C

En las figuras 10, 11 ,12 y 13 se muestran los resultados experimentales y los calculados mediante el modelo de Caurie a las temperaturas de 20, 30 y 40°C, para la zanahoria deshidratada

En la tabla 4 se muestran los parámetros de la ecuación de Caurie

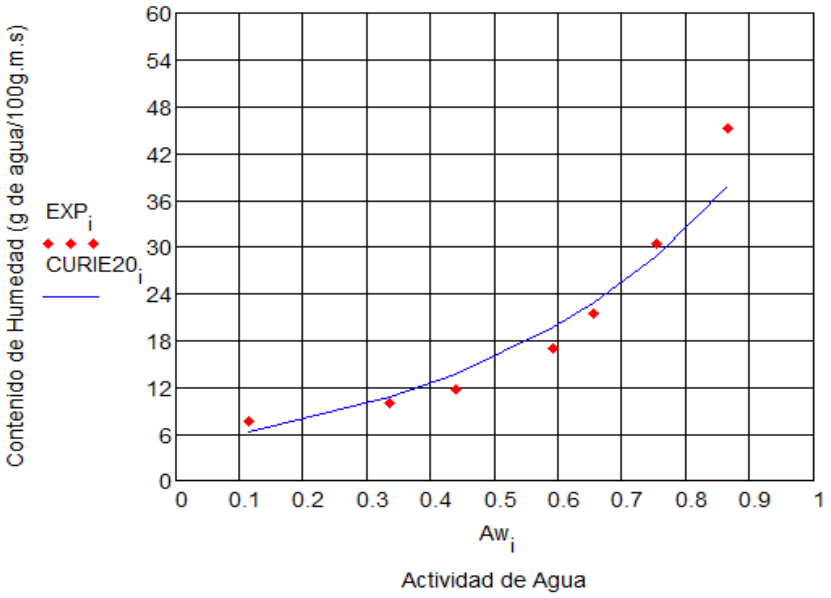

Figura 10. Isoterma de adsorción de Caurie a la temperatura de 20°C

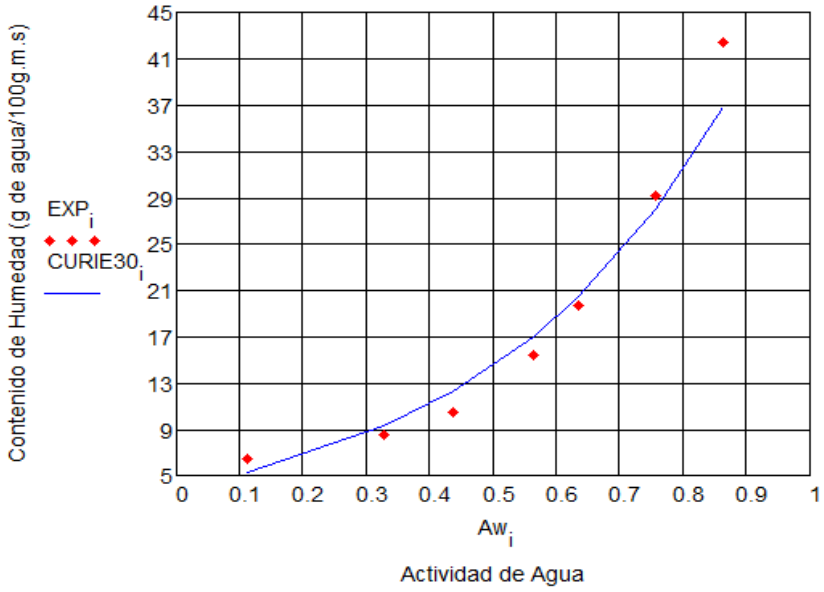

Figura 11. Isoterma de adsorción de Caurie a la temperatura de 30°C

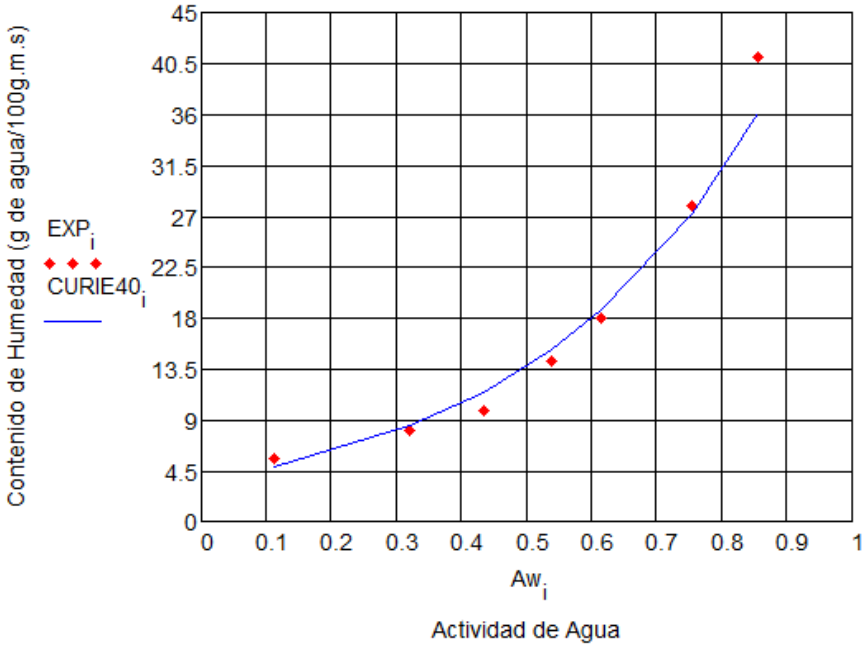

Figura 12. Isoterma de adsorción de Caurie a la temperatura de 40°C

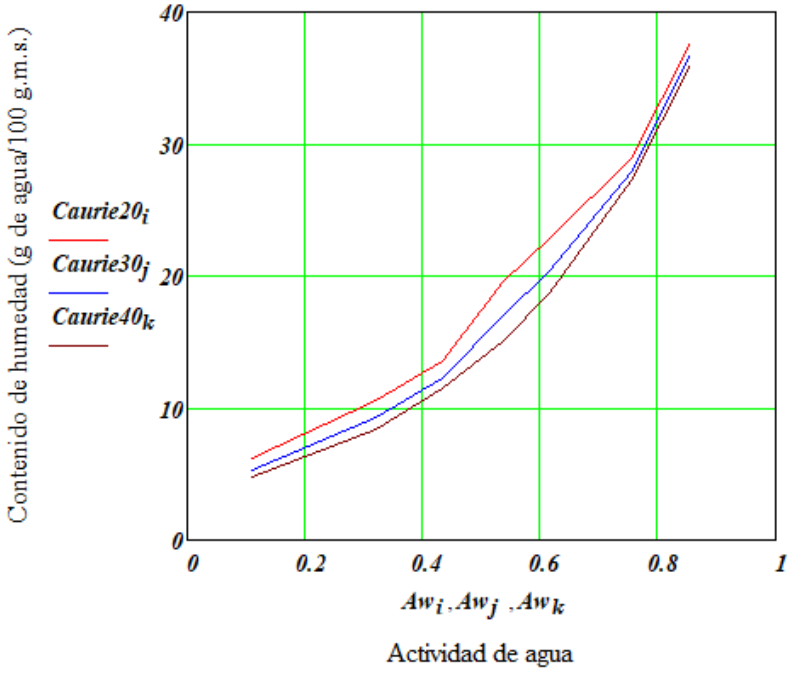

Figura 13. Isotermas de adsorción de Caurie a 20°C , 30°C y 40°C

Tabla 4.

Valores de los parámetros γ , Xs del modelo Caurie estimados para zanahoria deshidratada

Parámetros de la ecuación de Caurie	T = 20°C	T = 30°C	T = 40°C
γ	10.9286	13.1365	15.1254
Xs	-0.1425	-0.1607	-0.1765

Para el modelo de Caurie, se observa que para una actividad de Aw determinada los contenidos de humedad de equilibrio disminuyen con el aumento de la temperatura; el parámetro γ se observa un aumento con el incremento de la temperatura (10.92, 13.13, 15.12) y una disminución del parámetro Xs (-0.14 , -0.16 , -0.17) con el aumento de la temperatura.

6.4 Isotermas de adsorción y parámetros de adsorción, obtenidos con el modelo de Halsey a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C

En las figuras 14, 15 ,16 y 17 se muestran los resultados obtenidos experimentalmente y los calculados mediante el modelo de Halsey a las temperaturas de 20, 30 y 40°C para la zanahoria deshidratada.

En la tabla 5 se muestran los parámetros de la ecuación de Halsey

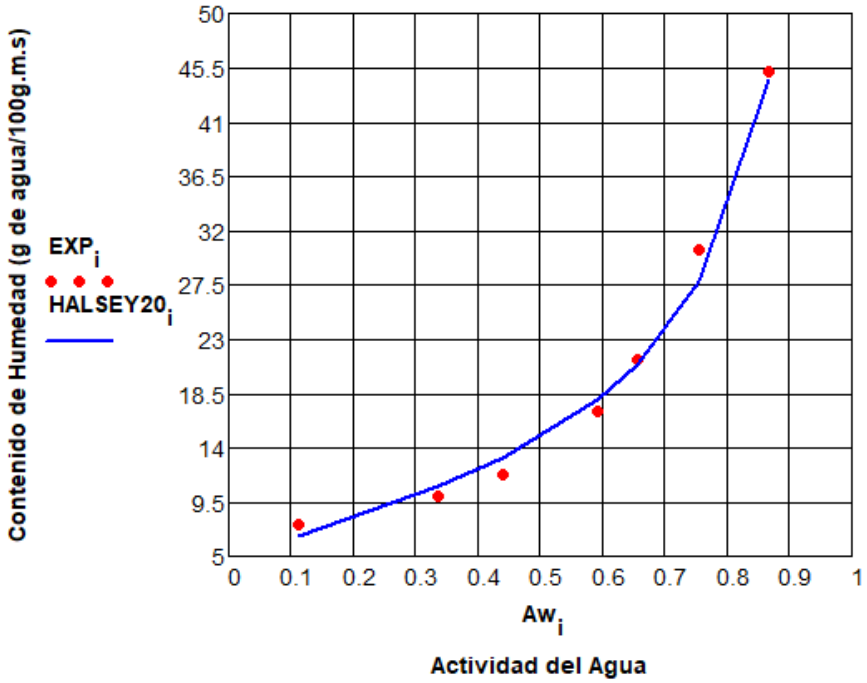

Figura 14. Isoterma de adsorción de Halsey a 20°C

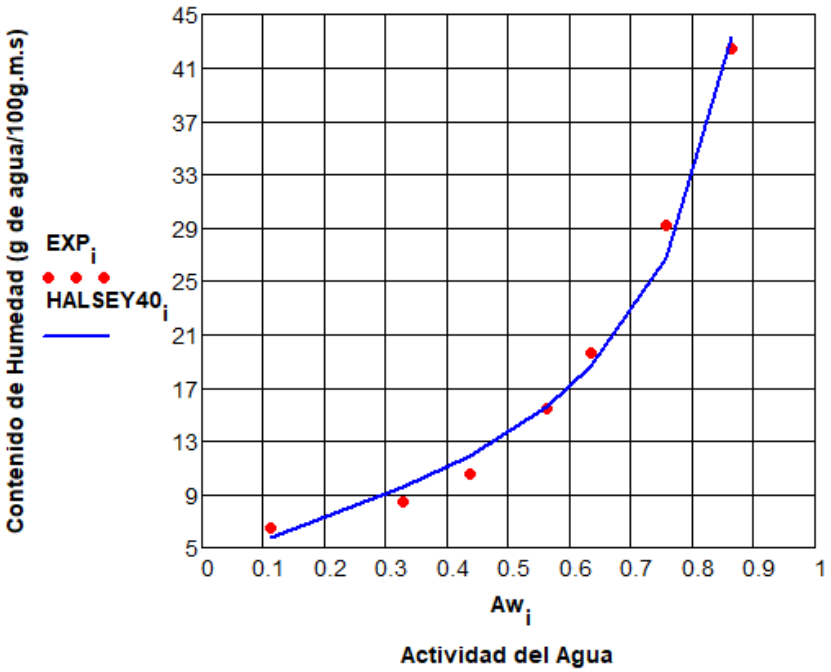

Figura 15. Isoterma de adsorción de Halsey a 30°C

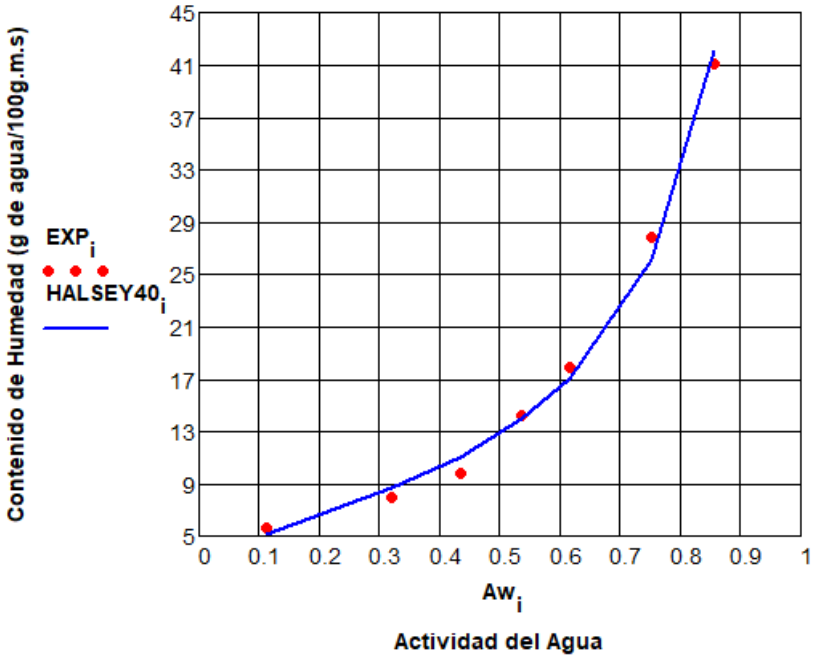

Figura 16. Isoterma de adsorción de Halsey a 40°C

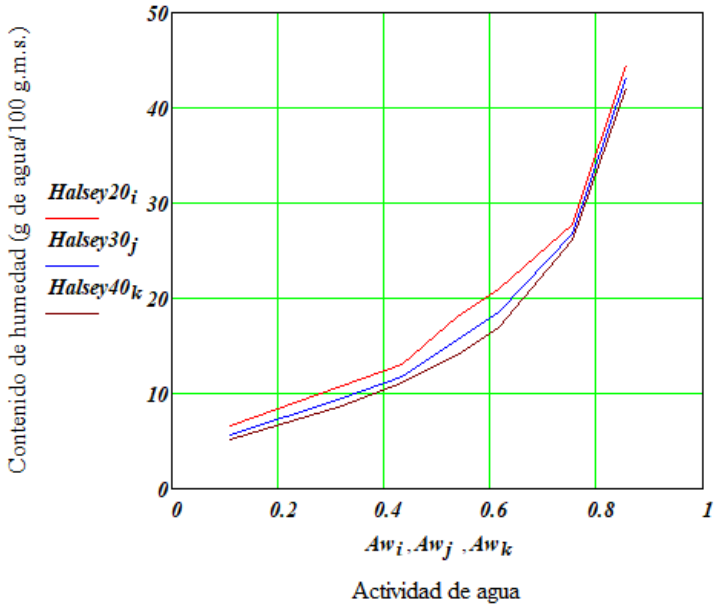

Figura 17. Isotermas de adsorción de Halsey a 20°C , 30°C y 40°C

Tabla 5.

Valores de los parámetros α y β del modelo Halsey estimados para la zanahoria deshidratada

Parámetros de la ecuación de Halsey	T = 20°C	T = 30°C	T = 40°C
α	11.454	10.291	9.58
β	-0.7	-0.75	-0.794

Para el modelo de Halsey, se observa que para una actividad de agua (Aw) determinada los contenidos de humedad de equilibrio disminuyen con el aumento de la temperatura; para el parámetro α se observa que se presenta una disminución con el aumento de la temperatura (11.45, 10.291, 9.58) y para el parámetro β hay una disminución (-0.7, -0.75, -0.794) con el aumento de la temperatura.

6.5 Isotermas de adsorción y parámetros de adsorción, obtenidos con el modelo de Henderson -Thompson a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C

En las figuras 18, 19 ,20 y 21 se muestran los resultados obtenidos experimentalmente y los calculados mediante el modelo de Henderson a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C.

En la tabla 6 se muestran los parámetros de la ecuación de Henderson - Thompson

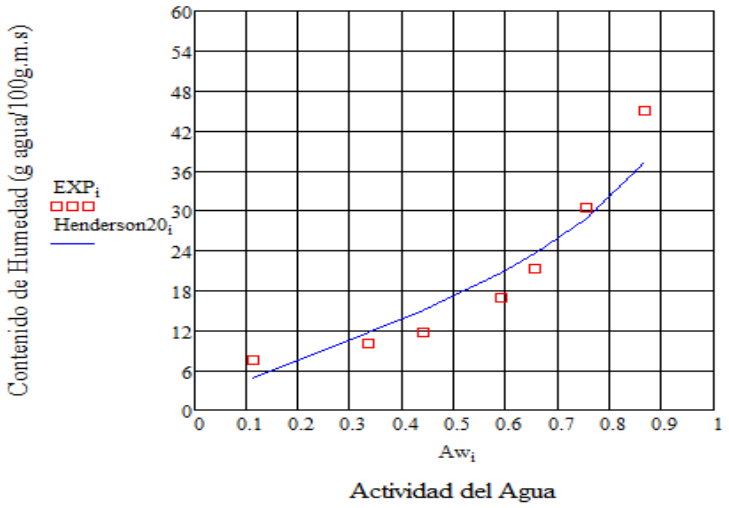

Figura 18. Isoterma de adsorción de Henderson - Thompson a 20°C

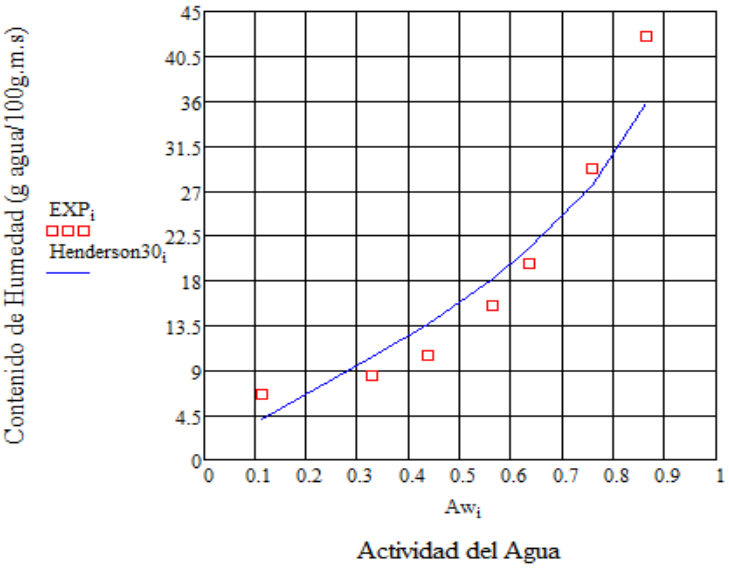

Figura 19. Isoterma de adsorción de Henderson - Thompson a 30°C

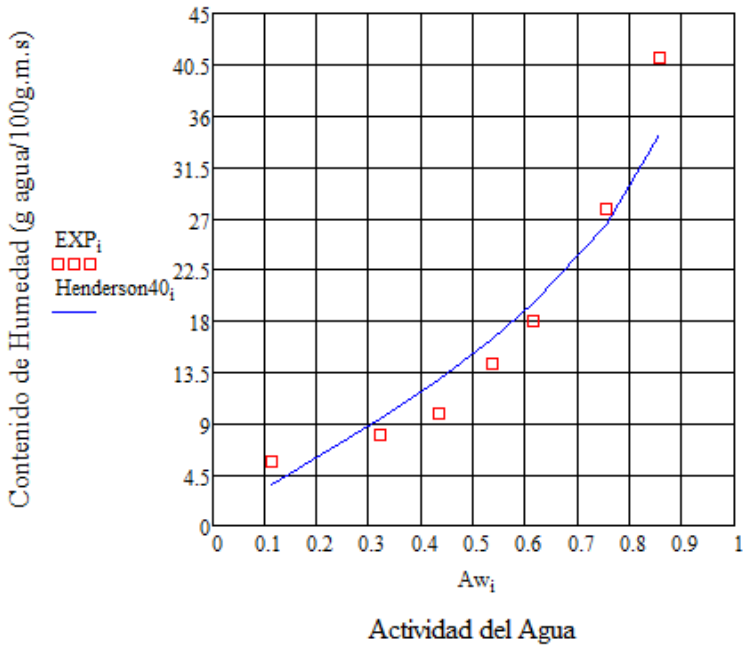

Figura 20. Isoterma de adsorción de Henderson - Thompson a 40°C

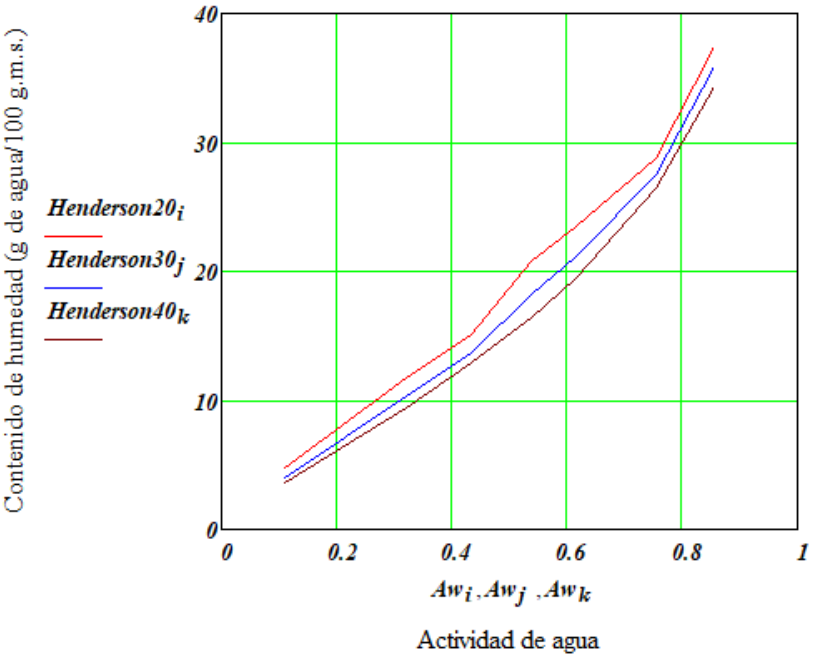

Figura 21. Isotermas de adsorción de Henderson - Thompson a 20°C , 30°C y 40°C

Tabla 6.

Valores de los parámetros f , η del modelo Henderson - Thompson estimados para la zanahoria

Parámetros de la ecuación de Henderson - Thompson	T = 20°C	T = 30°C	T = 40°C
f	4.948	4.649	4.487
η	1.368	1.29	1.248

Para el modelo de Henderson-Thompson, se observa que para una actividad de agua (Aw) determinada los contenidos de humedad de equilibrio disminuyen con el aumento de la temperatura, para el parámetro f se observa una disminución

6.6 Isotermas de adsorción y parámetros de adsorción, obtenidos con el modelo de Oswin. a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C

En las figuras 22, 23 ,24 y 25 se muestran los resultados experimentales y los calculados mediante el modelo de Oswin a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C .

En la tabla 7 se muestran los parámetros de la ecuación de Oswin

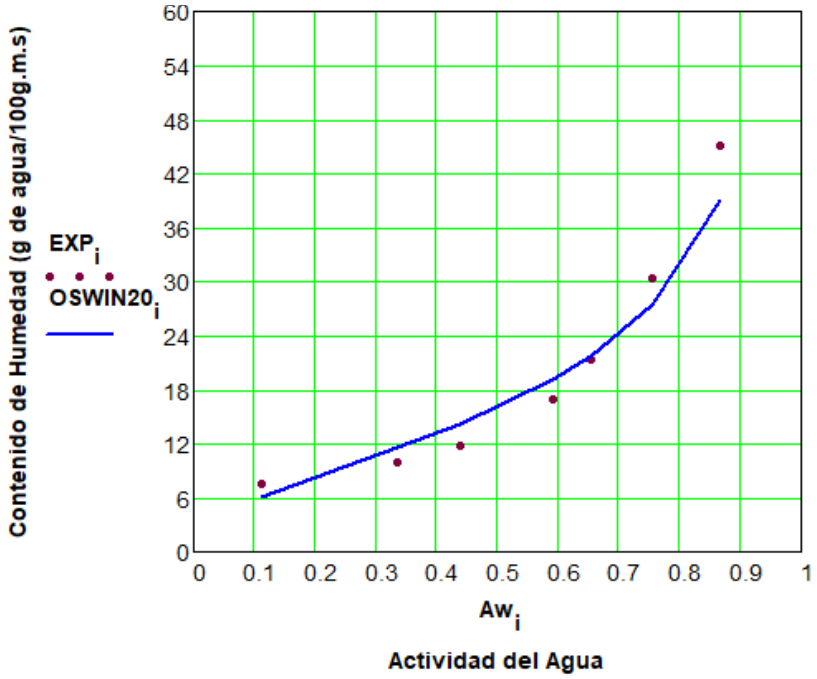

Figura 22. Isoterma de adsorción de Oswin a 20°C

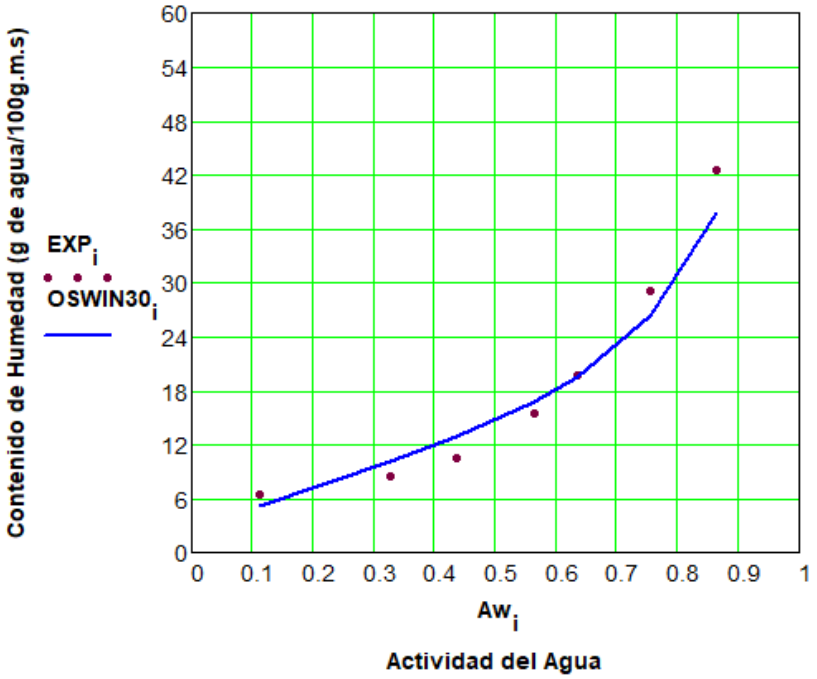

Figura 23. Isoterma de adsorción de Oswin a 30°C

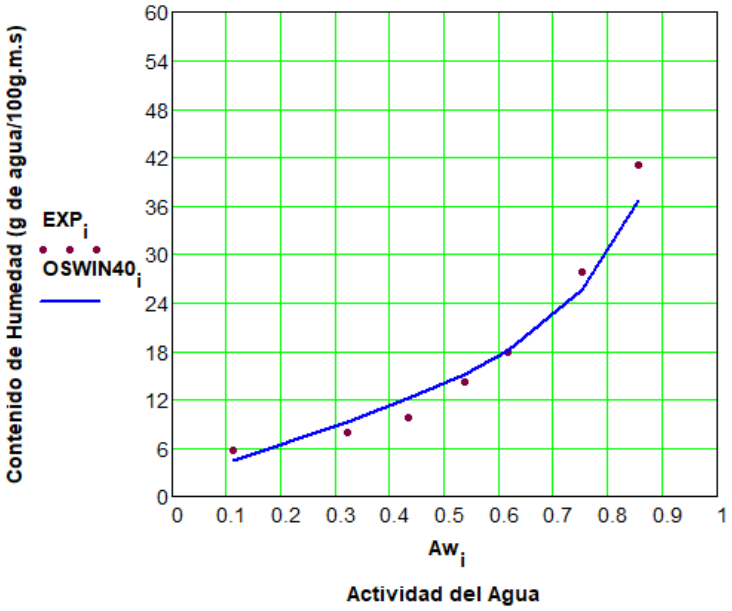

Figura 24. Isoterma de adsorción de Oswin a 40°C

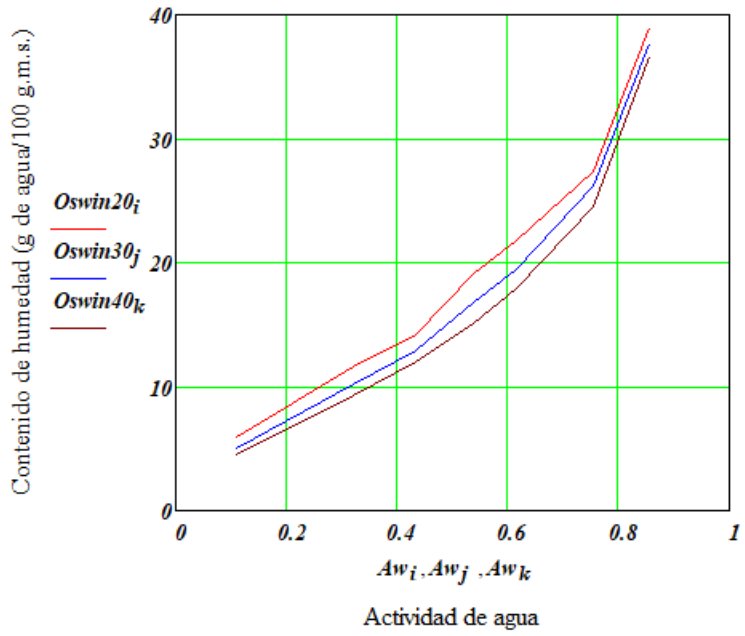

Figura 25. Isotermas de adsorción de Oswin a 20°C , 30°C y 40°C

Tabla 7.

Valores de los parámetros A y B del modelo Oswin para zanahoria deshidratada

Parámetros de la ecuación de Oswin	T = 20°C	T = 30°C	T = 40°C
A	16.01	14.696	13.927
B	0.478	0.512	0.542

Para el modelo de Owin, se observa que para una actividad de agua determinada, los contenidos de humedad de equilibrio disminuyen con el aumento de la temperatura; el parámetro A disminuye (16.01, 14.69, 13.93) con el aumento de temperatura y el parámetro B aumenta (0.478 , 0.512, 0.542) con el aumento de la temperatura

6.7 Isotermas de adsorción y parámetros de adsorción, obtenidos con el modelo de Smith. a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C

En las figuras 26, 27 ,28 y 29 se muestran los resultados experimentales y los calculados mediante el modelo de Smith a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C .

En la tabla 8 se muestran los parámetros de la ecuación de Smith

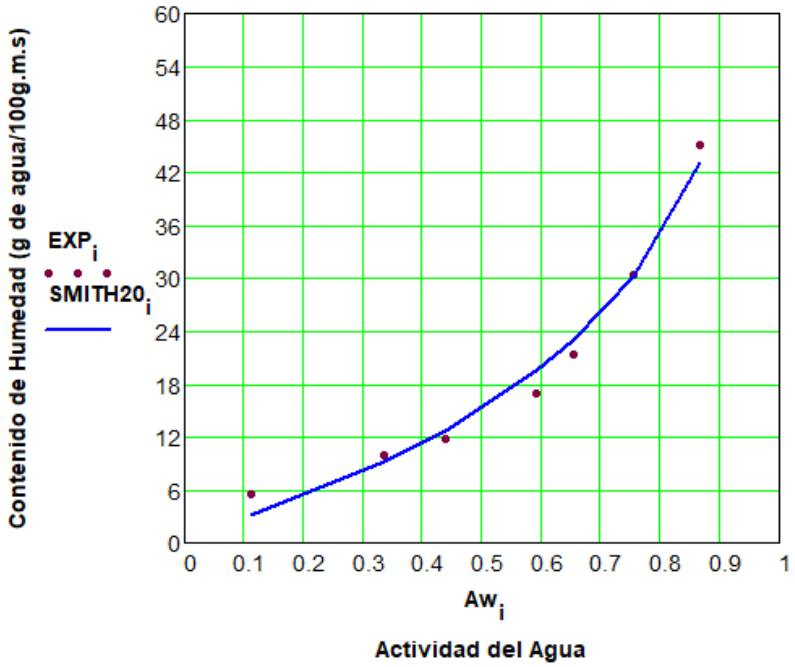

Figura 26. Isoterma de adsorción de Smith a 20°C

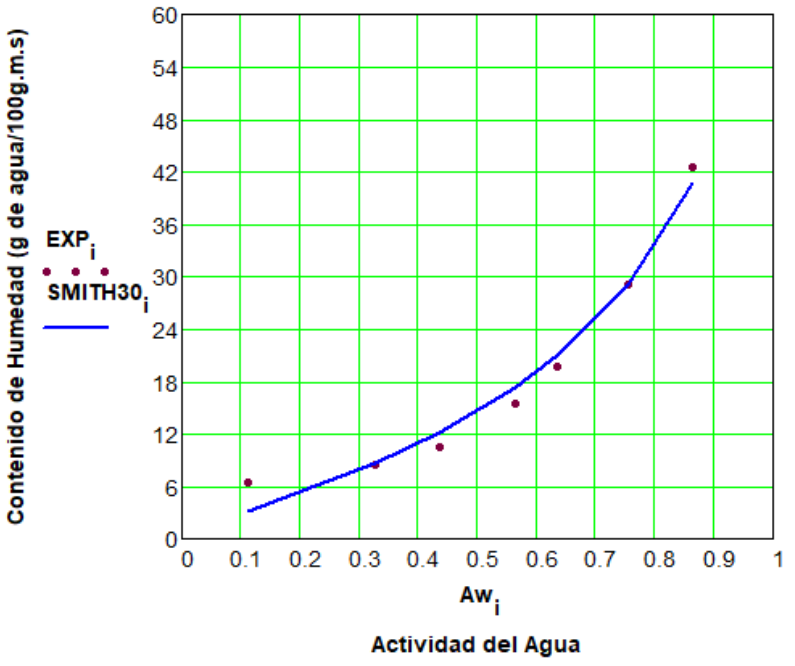

Figura 27. Isoterma de adsorción de Smith a 30°C

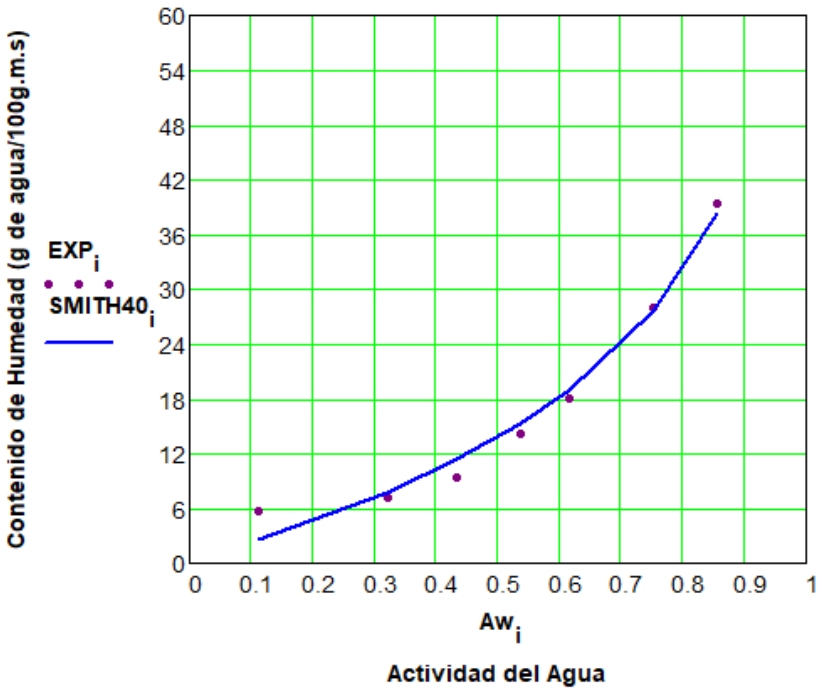

Figura 28. Isoterma de adsorción de Smith a 40°C

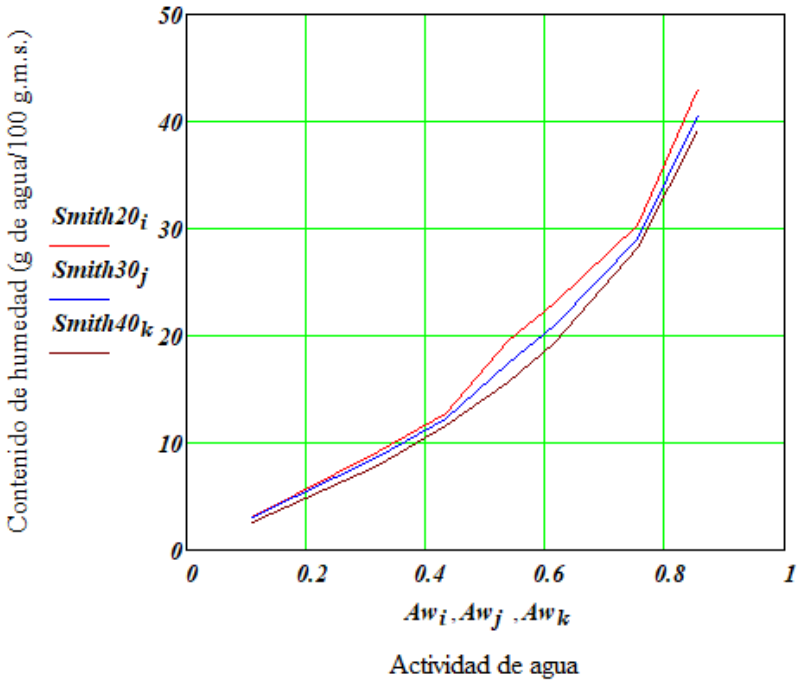

Figura 29. Isotermas de adsorción de Smith a 20°C , 30°C y 40°C

Tabla 8.

Valores de los parámetros A y B del modelo Smith para zanahoria deshidratada

Parámetros de la ecuación de Smith	T = 20°C	T = 30°C	T = 40°C
A	0.516	0.704	0.136
B	-21.205	-20.111	-20.118

Para el modelo de Smith, se observa que para una actividad de Aw determinada, los contenidos de humedad de equilibrio disminuyen con el aumento de la temperatura; el parámetro A disminuye (0.52 , 0.70, 0.14) con el aumento de la temperatura y el parámetro B aumenta (-21.205, -20.111, -20.118) con el aumento de la temperatura

6.8 Isotermas de adsorción y parámetros de adsorción, obtenidos con el modelo de Chung-Pfsot a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C

En las figuras 30, 31 ,32 y 33 se muestran los resultados experimentales y los calculados mediante el modelo de Chung-Pfsot a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C

En la tabla 9 se muestran los parámetros de la ecuación de Chung-Pfsot

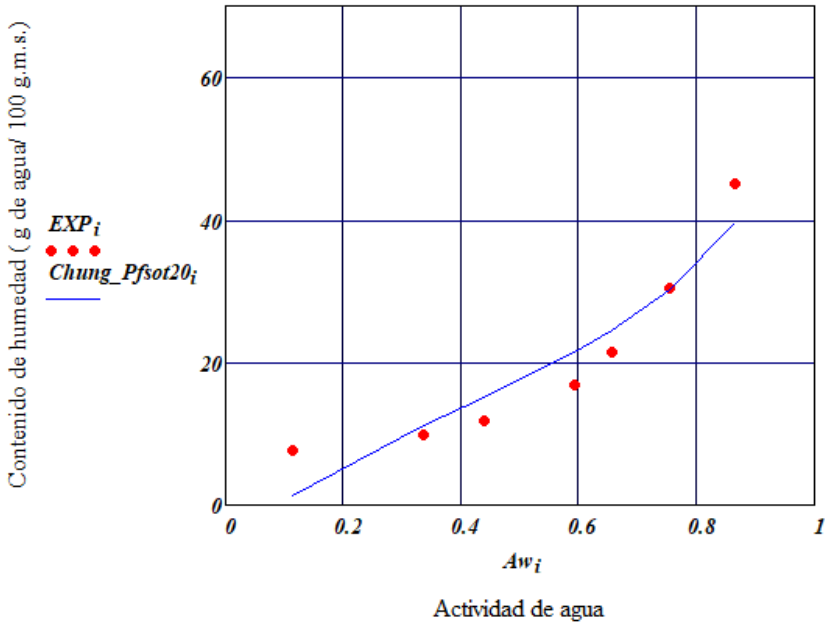

Figura 30. Isotermas de adsorción de Chung-Pfsot a 20°C

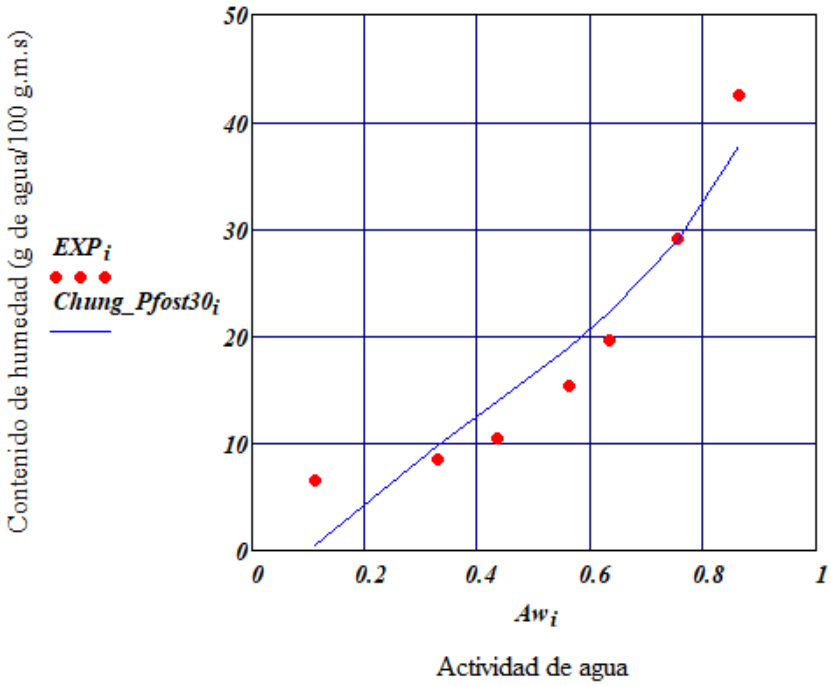

Figura 31. Isotermas de adsorción de Chung-Pfsot a 30°C

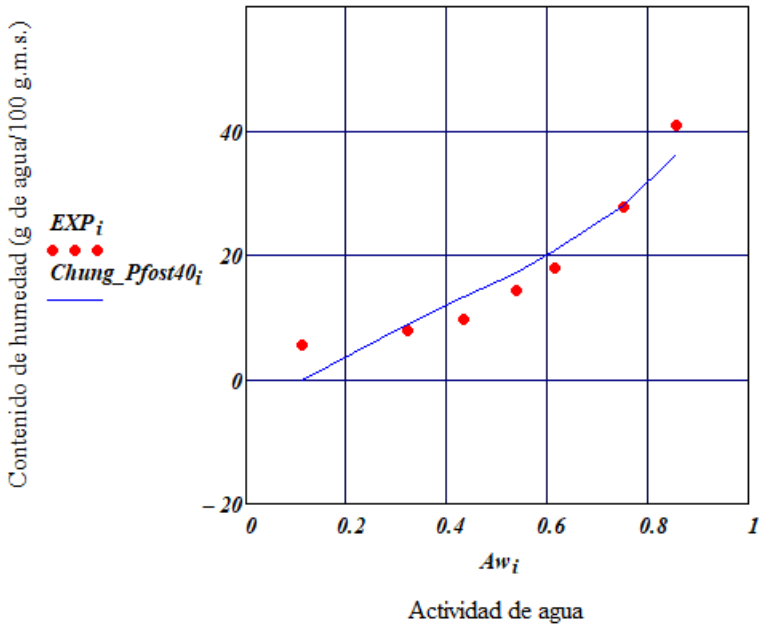

Figura 32. Isotermas de adsorción de Chung-Pfsot a 40°C

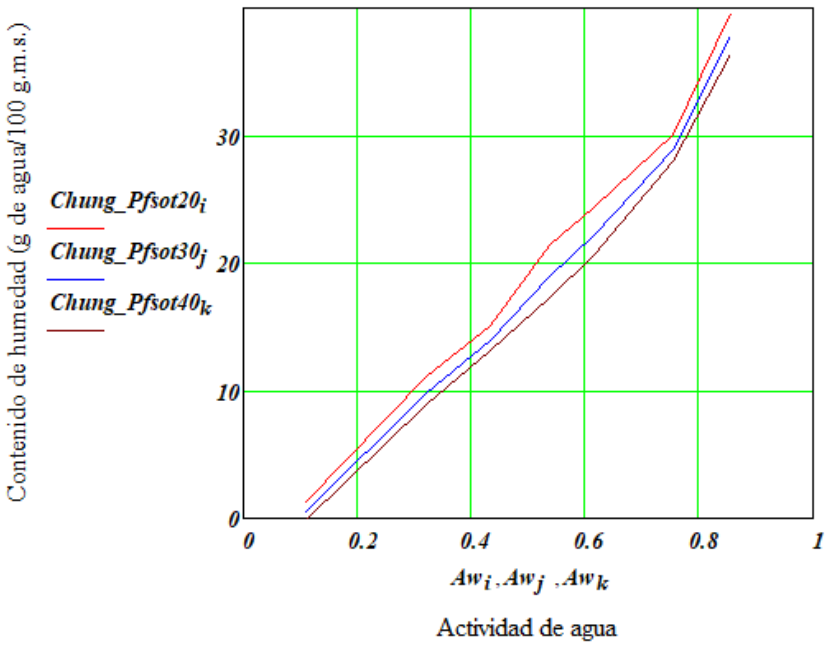

Figura 33. Isotermas de adsorción de Chung-Pfsot a 20°C , 30°C y 40°C

Tabla 9.

Valores de los parámetros A y B del modelo Chung-Pfsot para la zanahoria deshidratada

Parámetros de la ecuación de Chung-Pfsot	T = 20°C	T = 30°C	T = 40°C
A	12.37	11.311	10.722
B	-14.098	-13.827	-13.765

Para el modelo de Chung-Pfsot, se observa que para una actividad de agua (Aw) determinada, los contenidos de humedad de equilibrio disminuyen con el aumento de la temperatura; el parámetro A disminuye (12.37, 11.31, 10.72) con el aumento de la temperatura y el parámetro B presenta un aumento (-14.09, -13.83, -13.76) con el incremento de la temperatura.

6.9 Isotermas de adsorción y parámetros de adsorción, obtenidos con el modelo de BET a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C

En las figuras 34, 35 ,36 y 37 se muestran los resultados experimentales y los calculados mediante el modelo de BET a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C

En la tabla 10 se muestran los parámetros de la ecuación de BET

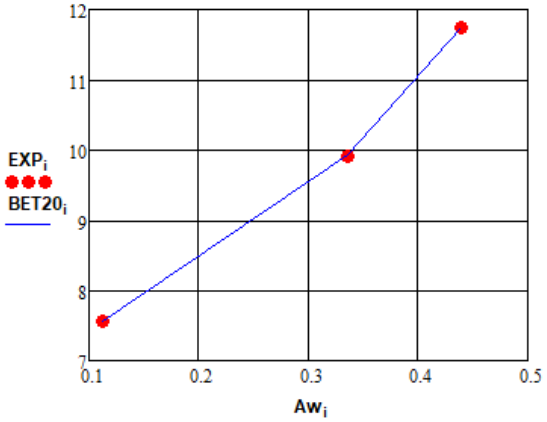

Figura 34. Isotermas de adsorción de B.E.T. a 20°C

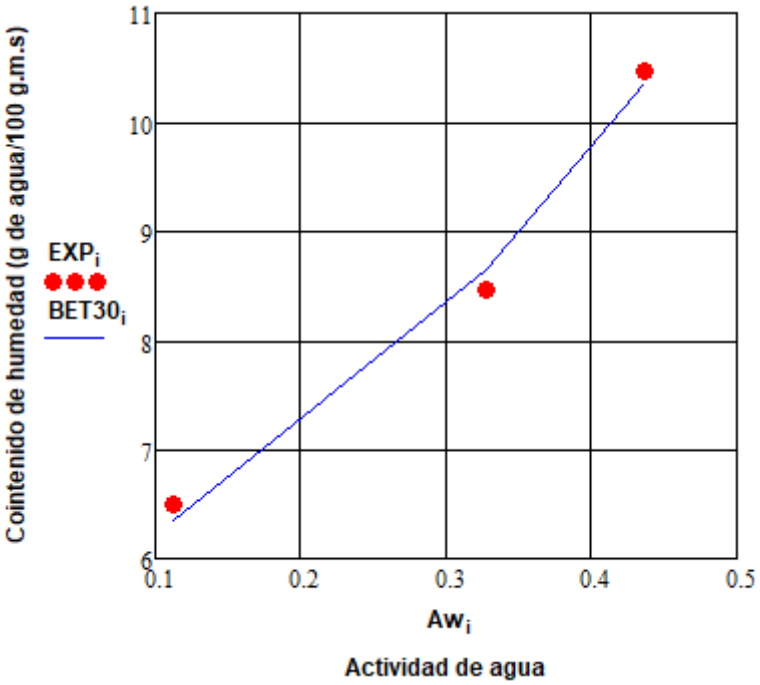

Figura 35. Isotermas de adsorción de B.E.T. a 30°C

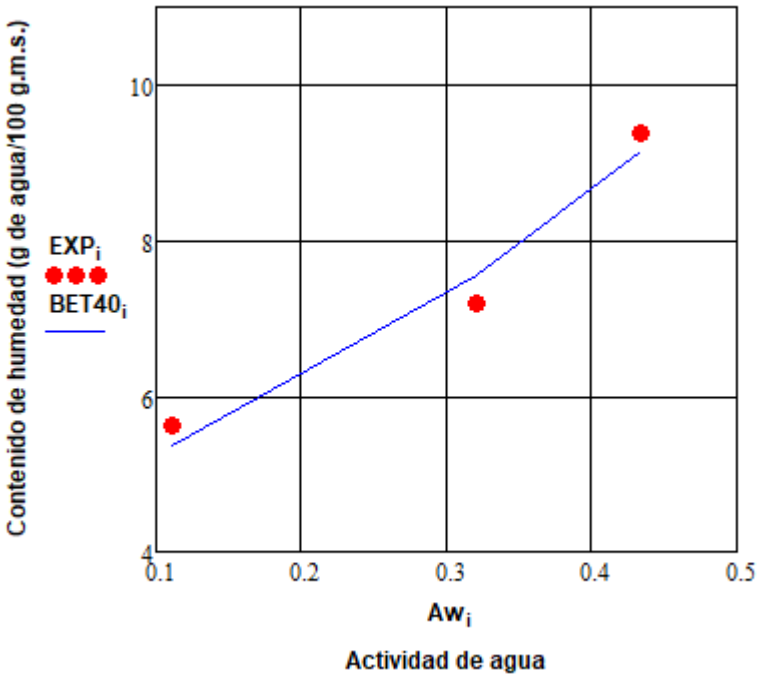

Figura 36. Isotermas de adsorción de B.E.T. a 40°C

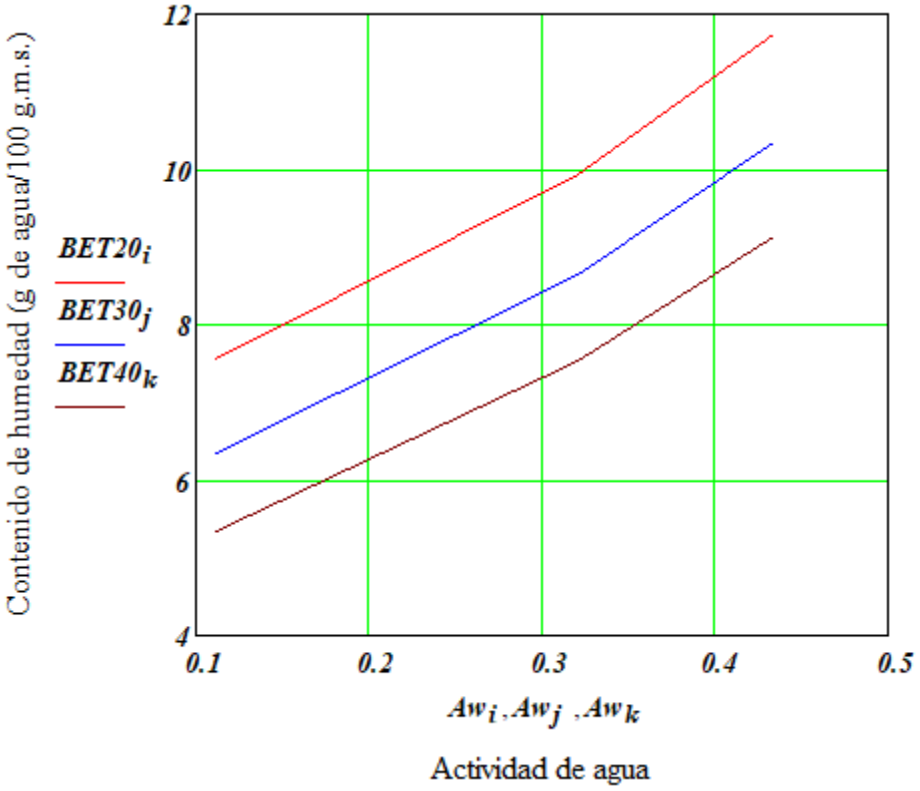

Figura 37. Isotermas de adsorción de B.E.T. a 20°C , 30°C y 40°C

Tabla 10.

Valores de los parámetros Xm , C del modelo BET estimados para la zanahoria deshidratada

Parámetros de la ecuación de BET	T = 20°C	T = 30°C	T = 40°C
Xm	6.558	5.878	5.268
C	-354.429	187.329	74.576

Para el modelo de BET, se observa que para una actividad de Aw determinada los contenidos de humedad de equilibrio disminuyen con el aumento de la temperatura. Los

valores de la capa monomolecular disminuye (6.558, 5.878, 5.27 g de agua /100 g.m.s) con el incremento de la temperatura

6.10 Isotermas de adsorción experimental y obtenidas con modelos matemáticos a 20°C, 30°C, 40°C

En las figuras 38, 39 y 40 se presentan las curvas experimentales y modeladas a 20°C, 30°C y 40°C, respectivamente, utilizando las ocho ecuaciones propuestas

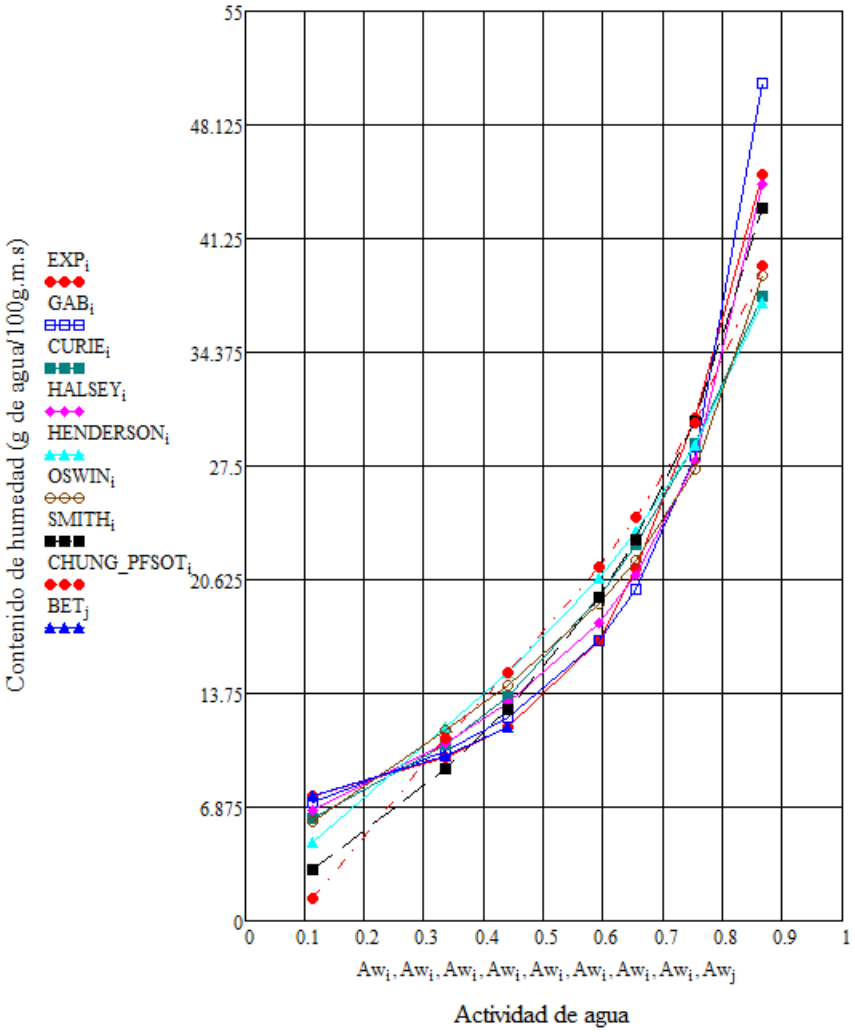

Figura 38. Curva de adsorción para la zanahoria deshidratada a 20°C, datos experimentales y sus modelos

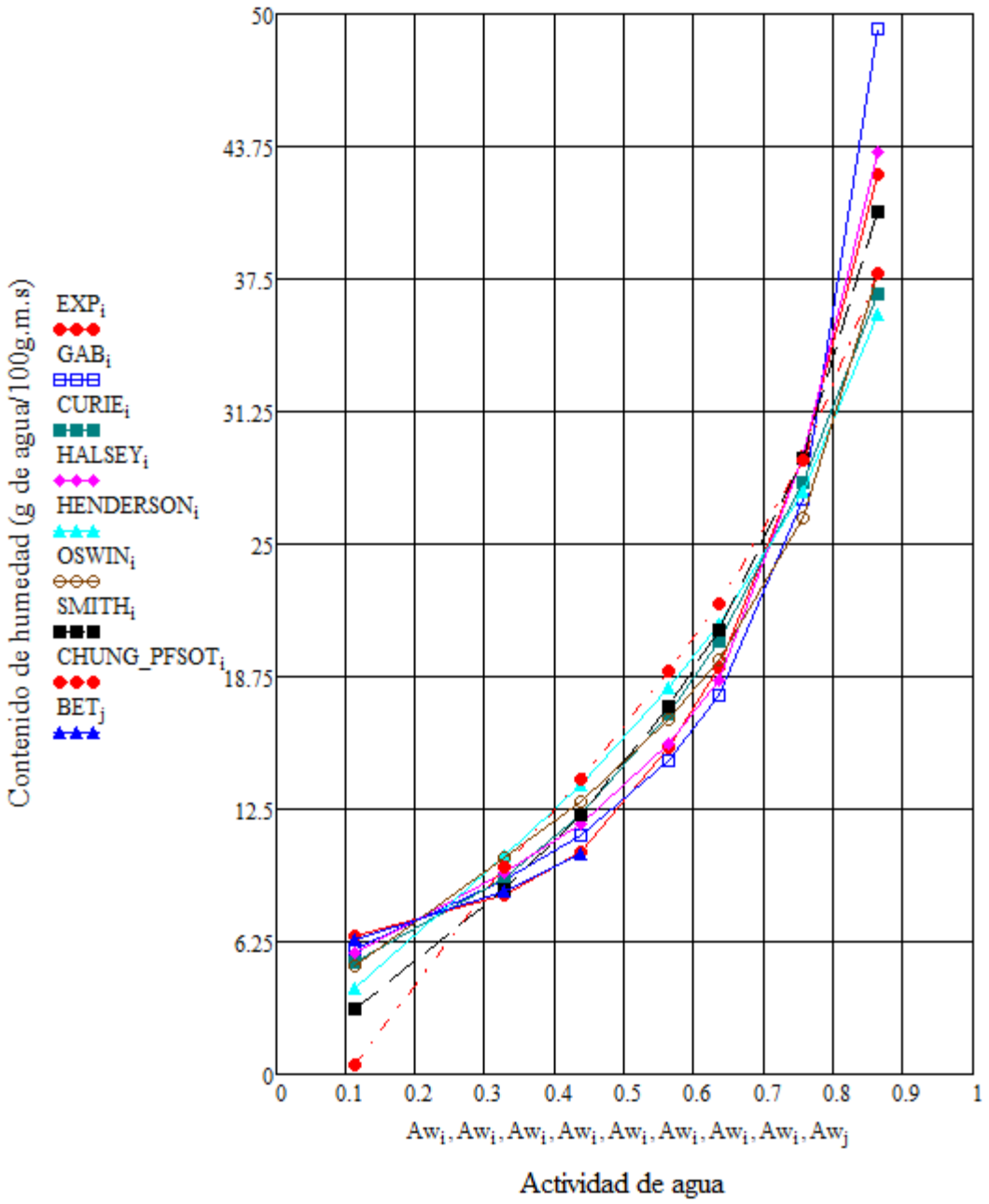

Figura 39. Curva de adsorción para la zanahoria deshidratada a 30°C, datos experimentales y sus modelos

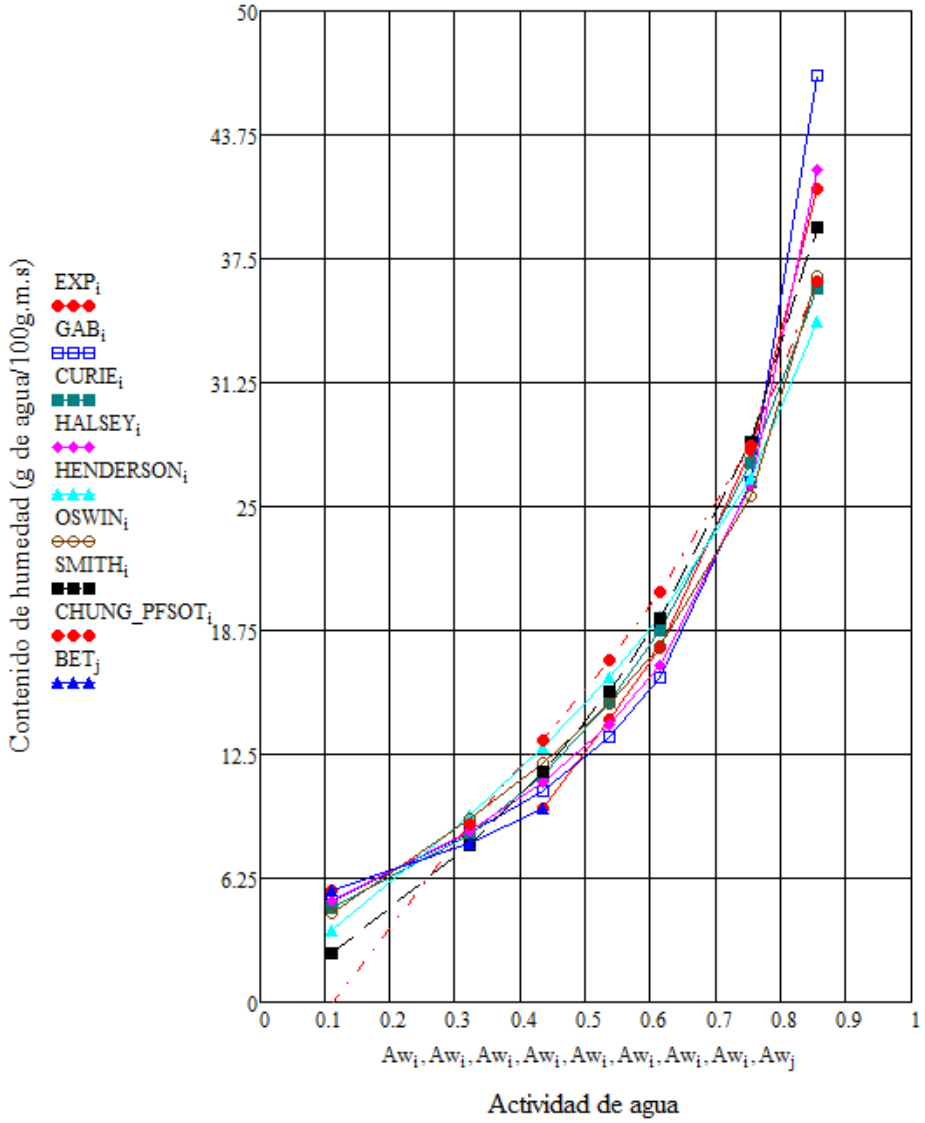

Figura 40. Curva de adsorción para la zanahoria deshidratada a 40°C, datos experimentales y sus modelos

En relación a los modelos matemáticos podemos manifestar que la mayoría de modelos tiene la tendencia a formar curvas sigmoidal a excepción del modelo de BET que es lineal.

6.11 Valores del coeficiente de correlación y el error medio relativo

En la tabla 11, se muestran los valores de los coeficientes de correlación y el error medio relativo de la cada una de las ecuaciones utilizadas para la tuna deshidratada

Tabla 11.

Coeficientes de correlación y el error medio relativo para la zanahoria deshidratada

ECUACIÓN	Temperatura	R	EMS %
GAB	20°C	0.98	6.754
	30°C	0.97	9.516
	40°C	0.96	8.805
CAURIE	20°C	0.97	13.05
	30°C	0.98	13.587
	40°C	0.98	10.503
HALSEY	20°C	0.99	8.326
	30°C	0.99	8.931
	40°C	0.99	7.516
HENDERSON-THOMPSON	20°C	0.93	22.034
	30°C	0.93	22.314
	40°C	0.95	21.289
OSWIN	20°C	0.94	15.208
	30°C	0.95	15.6
	40°C	0.97	14.265
SMITH	20°C	0.97	23.897
	30°C	0.98	21.535
	40°C	0.98	22.691
CHUNG-PFSOT	20°C	0.947	35.472
	30°C	0.954	39.143
	40°C	0.955	42.49
BET	20°C	1.00	0.105
	30°C	0.99	1.923
	40°C	1.00	0.454

De acuerdo a la tabla de coeficientes de correlación y el error medio relativo los modelos matemáticos que presentan mejor ajuste son los de Halsey, BET Y GAB

6.12 Calor isosterico.

En las figuras 41,42 y 43 se presentan los calores isostericos para las temperaturas de 20°C, 30°C y 40 °C a diferentes contenidos de humedad

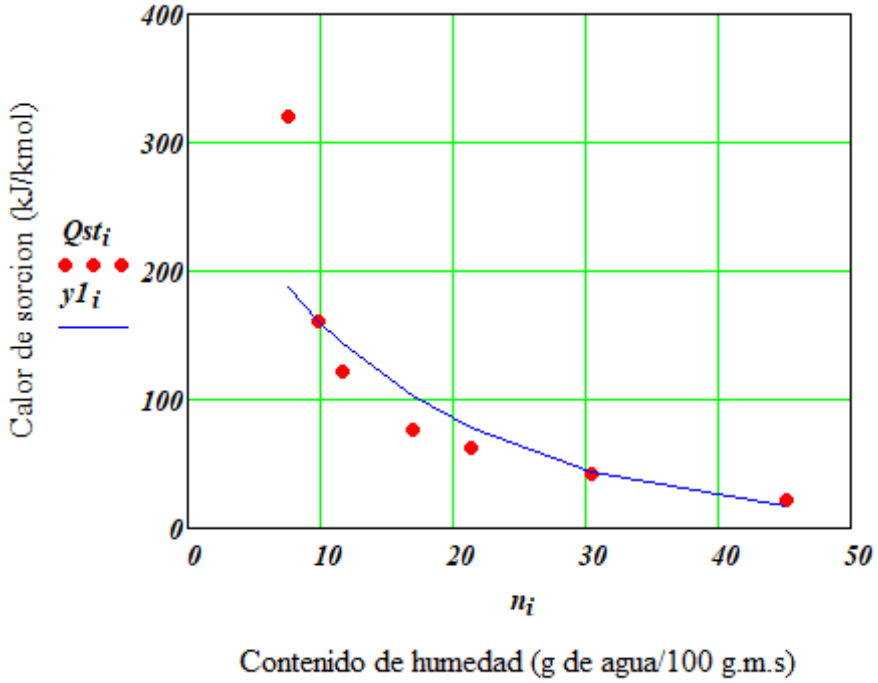

Figura 41. Calor isostérico a 20°C

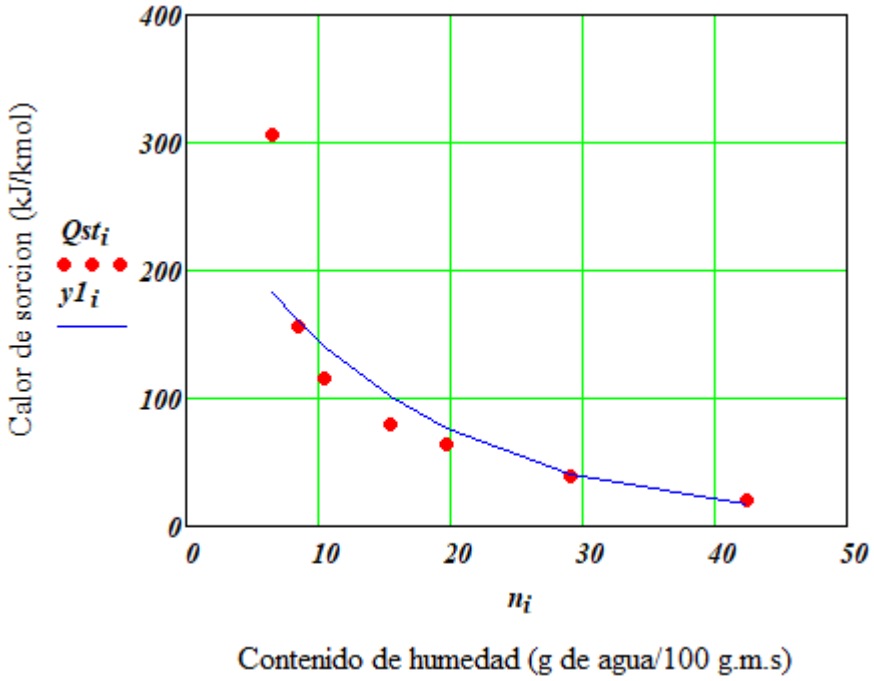

Figura 42. Calor isostérico a 30°C

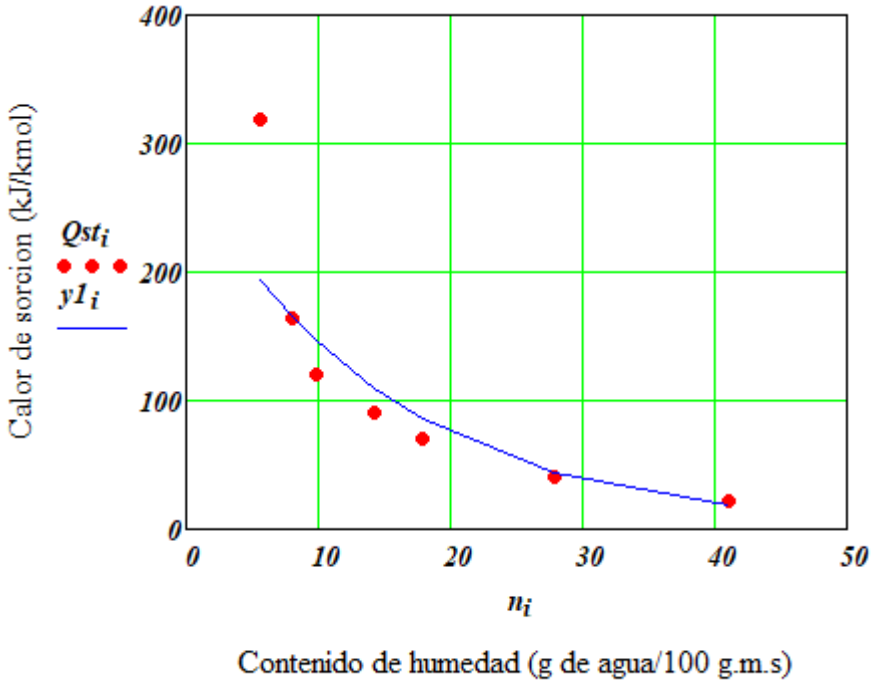

Figura 43. Calor isostérico a 40 °C

De los gráficos se puede apreciar que cuando aumenta el contenido de humedad disminuye el calor isostérico

VII CONCLUSIONES

Se comprueba la teoría de que las curvas de adsorción presentan forma sigmoidal. Los contenidos de humedad para una misma actividad de agua disminuyen en función de la temperatura.

Para obtener las curvas de adsorción con modelos matemáticos se utilizaron los modelos de G.A.B, B.E.T, Halsey, Henderson- Thompson y Curie, Oswin, Smith, y Chung-Pfost presentando alta correlación y el mejor error relativo el modelo de Halsey, seguido del modelo de GAB

El modelo de GAB fue el que se adjunta más a los valores experimentales

Los valores de la capa monomolecular fueron: para la temperatura de 20°C 7.046 g de agua/100 g.m.s, para 30°C 6.581 g de agua/100 g.m.s, y para 40°C 6.391 g de agua/100 g.m.s

El calor isosterico presento dependencia con el contenido de humedad de equilibrio, disminuyendo con el aumento del contenido de humedad de equilibrio para 20°C de 187.268 hasta 17.206 kJ/mol para humedades entre 7.57 hasta 45.10 g de agua/100 g.m.s.; para 30 °C; de 187.268 hasta 17.168 kJ/mol para humedades entre 6.49 hasta 42.45 g de agua/g100 g.m.s.; para 40 °C ; 194.117 hasta 18.577 kJ/mol para humedades entre 5.62 hasta 41.03 g de agua/100 g.m.s

;

VIII RECOMENDACIONES

Realizar investigaciones para obtener las curvas de desorción para la tuna

Realizar trabajos de investigación con otros tipos de frutas.

Realizar investigaciones para determinar la vida útil de la tuna deshidratada.

IX REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

a. Referencias bibliográficas

Barbosa,G. (1997) *Manual de Laboratorio de Ingeniería en Alimentos*. Editorial Acriba, S.A. Zaragoza, España. p. 71-88

Badui, S.(1982) *Química de los Alimentos* Ed Pearson p.29

Choque, D. (2009*). Evaluación de las isotermas de adsorción del Maíz Morado (Zea mays L.)- variedad Canteño.* Tesis de Maestría para optar el grado de Maestro .en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco-Perú

Fennema, O. (1996) *Química de los Alimentos.* Editorial Acribia, S.A. p.36,48,54-57

Gustavo, V. Barbosa-Cánavas (2000) *Deshidratación de Alimentos* Editorial Acribia España

Labuza, T. (1980). *Influence Of Relative Humidity of the Physicochemical State of Lactose in Spray-Dried Sweet Whey Powders.* Journal of Food Processing and Preservation V.45, N.5 p. 1231 -1236

Labuza, T.. (2000) *Essentials of Functional Foods* p. 49-53

Madigan (2003). *Brock: Biología De Los Microorganismos*. (10ª Edición). Ed. Pearson-Prentice-Hall, Madrid. p. 120

Martínez,N.; Andrés, A.; Chiralt , A. y Fito (1999). *Termodinámica y Cinética de Sistemas Alimento Entorno*. España: Editorial Universitaria Politécnica De Valencia, Servicio De Publicaciones. p 155-160

Matos, R. y Rajo A.. (2010) *Influencia del tamaño de partículas en las isotermas de adsorción de harina de haba (Vicia faba L.)* Revista de Investigación en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Vol. 1 Num. 1

Multon,J., Bizot H. (1980). *Water Adsorption in Cereal Food and Wáter Activity Measurement.* p. 97-119

Pilosof, A.M.R. Bartholomai, G.B. , Chirife, J. Boquet, R. (1982). *Effect Of Heat Treatment on Sorption Isotherms and Solubility of Flour and Protein Isolates from Bean Phaseolus_Vulgaris.* Journal of Food Science Vol.47

Quintero, F.. (Junio de 2008). *Determinación de las condiciones de manejo del producto terminado de harina Nixtamalizada y Fortificada*. Instituto Tecnológico Superior de Ciudad Serdán, Ciudad Serdán Puebla.

Ramírez Miranda Monica. (2012) *Determinación de isotermas de sorción en harina de maíz a tres temperaturas y su ajuste a modelos matemáticos* Instituto Politécnico Nacional México p 1,2

Rao, M., Rizvi, S. (1986). *Engineering Properties Of Foods.* Editorial Marce Dekker Inc. New York. P 133-214

Sandoval, A.; Barreiro, J; Tovar, X. y Angueira, M. (2002). *Características de Sorción del Cacao Fermentado en Polvo (Theobroma Cacao)*. Revista Técnica Ingenieria. Universidad de Zulia. V.25 N.1: 1-7

Urquizo Zuñiga Fabiola y Valdivia Salas Karina (2015) *"Comparacion del fcto del secado combinado; osmodeshidratacion- secado con el secado convencional para la obtención de harina de penca de tuna (Opuntia ficus Indica)* Tesis Universidad Nacional de San Agustin requipa – Perú.

Van Den Berg, C. Brun. S(1981) *Water activity and its estimation in food systems theretical aspects.* In Water activity influences on food quality. L.B. Rockland and G.F Stewart(ed) Academic Press, New York p 1-43

Wang, N.; Brennan, J. G. (1991). Moisture sorption isotherm characteristics of potatoes at four temperatures. Journal of Food Engineering, 14(4), 269 – 287.

.

b. Referencias electrónicas

Bolívar, G, (s,f) Isotermas de adsorción: cncepto, tipos, ejemplos Recuperado el 28 de Agosto 2020 de https://www.lifeder.com/isotermas-de-adsorcion/

El comercio (2011) *La tuna cuatro variedades se producen en el país* Recuperado el 24 de Noviembre 2019 de https://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/tuna-cuatro-variedades-se-producen.html

Hiperbaric (s.f) *Actividad de agua* Recuperado el 2 de Setiembre 2020 de https://www.hiperbaric.com/es/actividad-de-agua-aw

Matines, E. (2007) Definiciones de humedad y su equivalente Recuperado el 2 de Setiembre 2020 de http://www.cenam.mx/dme/pdf/TM02.pdf

Ministerio de Agricultura y Riego- Sistema Integrado de Estadística Agraria (2020) *Anuario Estadístico de Producción Agrícola* Recuperado el 14 de Octubre 2020 de http://siea.minagri.gob.pe/siea/?q=produccion-agricola

Olivos, L. (s.f) *La tuna, la reina entre frutas* Recuperado el 12 de Noviembre 2019 de http://blogs.peru.com/infonutricion/2011/10/la-tuna-la-reina-entre-las-frutas.html

Palau, E., Lopes, . & Argaiz, A. (1997) *Effect of temperature on the moisture sorption isotherms of some cookies and corn snacks. Journal of Food Engineering* Recuperado el 21 de Noviembre 2018 de https://www.researchgate.net/publication/223418011_ Effect_of_temperature_on_moisture_sorption_isotherms_of_some_cookies_and _corn_snacks

Pezzutti, A. & Crapiste, G.H. (1997). *Sorptional equilibrium and drying characteristics of garlic. Journal of Food Engineering.* Recuperado el 20 de Noviembre 2018 de http://www.repositorio.furg.br/bitstream/handle/1/6695/ MOMOMOM.pdf?sequence=1

Real Academia de Ingeniería 8s.f*) Capa monomolecular* Reuperado el 28 de Agosto 2020 de http://diccionario.raing.es/es/lema/capa-monomolecular

WIKIPEDIA (s.f) *Opuntia ficus Indica* Recuperado el 2 de Setiembre 2020 de https://es.wikipedia.org/wiki/Opuntia_ficus-indica