



Universidad Nacional

SAN LUIS GONZAGA



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 de la **TESIS** cuyo título es:

**"ISOTERMAS DE ADSORCION PARA EL ARANDANO
(VACCINIUM SP) DESHIDRATADO" - 2022"**

Presentado por:

PISCONTE DE LA CRUZ, SUMIKO ELIZABET

BACHILLER del nivel **PREGRADO** de la **ESCUELA DE INGENIERÍA ALIMENTOS**

Que. Se ha recibido del operador del programa informático evaluador de originalidad de la Facultad de Ingeniería Pesquera y de Alimentos de la UNICA, El informe automatizado de originalidad, el mismo que concluye de la siguiente manera:

El documento de investigación APRUEBA los criterios de originalidad con un porcentaje de similitud de 17%.

Para dar fe, se adjunta al presente el reporte de similitud de las bases de datos de iThenticate.

Pisco, 13 de mayo del 2024


.....
VICTOR HERNAN ELÍAS YUPANQUI
DIRECTOR (I) DE UNIDAD DE INVESTIGACION
FACULTAD DE INGENIERIA PESQUERA Y DE
ALIMENTOS

UNIVERSIDAD NACIONAL “SAN LUIS GONZAGA”
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
Facultad de Ingeniería Pesquera y de Alimentos



“ISOTERMAS DE ADSORCION PARA EL ARANDANO (*Vaccinium*
sp) DESHIDRATADO” - 2022

Línea de Investigación:

Ciencias Naturales, Ingenierías y tecnologías sostenibles

AUTOR:

BACHILLER. SUMIKO ELIZABET PISCONTE DE LA CRUZ

Ica – Perú

2025

DEDICATORIA

A Dios primordialmente por haberme brindado la sabiduría y fortaleza necesaria para emprender y culminar un nuevo reto hacia el conocimiento.

A mis amados Padres por ser los pilares más importantes de mi vida, son mi fuente de motivación para poder superarme cada día más y así poder luchar para que la vida nos depare un futuro mejor.

A mis hermanos Ricardo y Felipe, por su comprensión y su constante apoyo en mi formación académica, además de saber que mis logros también son los suyos, gracias a ellos por confiar siempre en mí.

Y sin dejar atrás a toda mi familia por confiar en mí, a mis abuelos, tíos y primos, gracias por ser parte de mi vida.

AGRADECIMIENTO

Principalmente doy gracias a Dios por guiarme y darme la fortaleza para seguir adelante.

A mi familia por su comprensión y aliento constante, así como su apoyo incondicional durante mis estudios.

Y a todas las personas que de una forma u otra me han apoyado en la realización de este trabajo.

A la Dra. Nélida Avalos Segovia, por su apoyo en la elaboración de mi investigación.

I.	INTRODUCCION	1
1.1.	Situación problemática.....	1
1.2.	Antecedentes	2
1.2.1.	Antecedentes a nivel internacional	2
1.2.2.	Antecedentes a nivel nacional	3
1.2.3.	Antecedentes a nivel local	4
II.	ESTRATEGIA METODOLOGICA	5
2.1.	Lugar de Estudio	5
2.2.	Materia Prima e ingredientes	5
2.2.1.	Materia Prima.....	5
2.3.	Equipos e Instrumentos	5
2.4.	Diseño de Investigación	6
	☐ Tipo de la investigación.....	6
	☐ Nivel de la investigación	6
2.4.1.	Diseño Experimental	6
2.5.	Procesamiento y Análisis de datos	7
2.5.1.	Determinación para la obtención de las curvas de adsorción para el arándano deshidratado	7
2.6.	Técnicas de Recolección de Datos	7
2.7.	Instrumentos de Recolección de Datos	8
2.8.	Población y Muestra.....	8
2.8.1.	Población	8
2.8.2.	Muestra	8
2.9.	Criterio de inclusión.....	8
2.10.	Formulación de tratamiento	¡Error! Marcador no definido.
III.	RESULTADOS	9
3.1.	Tipos de arándano	10
3.2.	Composición química del arándano	11
3.2.1.	Actividad acuosa y su relación con el almacenamiento	12
3.2.2.	Isoterma de adsorción.....	13
3.2.3.	Efecto de la temperatura sobre la actividad de agua (Aw)	14
3.2.4.	Concepto de capa monomolecular.....	14

3.2.5.	Isotermas de adsorción	15
3.2.6.	Capa monomolecular	15
3.2.7.	Actividad de agua	15
3.2.8.	Humedad relativa.....	15
3.3.	Isotermas de adsorción obtenidas experimentalmente para el arándano deshidratado	16
3.4.	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 el arándano deshidratado. ...	17
3.5.	Isotermas de adsorción y parámetros de adsorción, obtenidos con el modelo de Halsey a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C	20
3.6.	Isotermas de adsorción y parámetros de adsorción, obtenidos con el modelo de Caurie a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C.....	22
3.7.	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	25
3.8.	Isotermas de adsorción y parámetros de adsorción, obtenidos con el modelo de Oswin. a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C.....	29
3.9.	Isotermas de adsorción y parámetros de adsorción, obtenidos con el modelo de Smith. a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C.....	31
3.10.	Isotermas de adsorción y parámetros de adsorción, obtenidos con el modelo de BET a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C.....	35
3.11.	Isotermas de adsorción experimental y obtenidas con modelos matemáticos a 20°C, 30°C, 40°C.....	37
IV.	DISCUSIÓN.....	42
V.	CONCLUSIONES.....	43
VI.	RECOMENDACIONES.....	43
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	43

INDICE DE TABLAS

TABLA I. SALES PARA LA PRUEBA DE ADSORCIÓN.....	8
TABLA II. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ARÁNDANO.....	11
TABLA III. CONTENIDO DE HUMEDAD DE EQUILIBRIO PARA EL ARÁNDANO DESHIDRATADO A LAS TEMPERATURAS DE 20°C, 30°C Y 40°C, A DIFERENTES ACTIVIDADES DE AGUA.....	16
TABLA IV. VALORES DE LOS PARÁMETROS X_M , C_G Y K DEL MODEL G.A.B. ESTIMADOS PARA EL ARÁNDANO DESHIDRATADO.....	20
TABLA V. VALORES DE LOS PARÁMETROS A Y B DEL MODELO HALSEY ESTIMADOS PARA ARÁNDANO DESHIDRATADO.....	22
TABLA VI. VALORES DE LOS PARÁMETROS γ , X_S DEL MODELO CAURIE ESTIMADOS PARA ARÁNDANO DESHIDRATADO.....	25
TABLA VII. VALORES DE LOS PARÁMETROS F , η DEL MODEL HENDERSON - THOMPSON ESTIMADOS PARA EL ARÁNDANO DESHIDRATADO..	28
TABLA VIII. VALORES DE LOS PARÁMETROS A Y B DEL MODELO OSWIN PARA EL ARÁNDANO DESHIDRATADO DE.....	31
TABLA IX. VALORES DE LOS PARÁMETROS A Y B DEL MODELO SMITH PARA EL ARÁNDANO DESHIDRATADO.....	34
TABLA 10. VALORES DE LOS PARÁMETROS X_M , C DEL MODELO BET ESTIMADOS PARA EL ARÁNDANO DESHIDRATADO.....	37
TABLA 11. COEFICIENTES DE CORRELACIÓN Y EL ERROR MEDIO RELATIVO PARA EL ARÁNDANO DESHIDRATADO.....	41

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.El arándano.....	9
Figura 2.Arándano azul.....	10
Figura 3.Arándano negro.....	10
Figura 4.Isotermas de sorción a diferentes temperaturas.....	14
Figura 5.Curvas de adsorción experimental para el arándano deshidratado a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C.....	17
Figura 6.Isotermas de adsorción de GAB a la temperatura de 20°C.....	18
Figura 7.Isotermas de adsorción de G.A.B a la temperatura de 30°C	18
Figura 8.Isoterma de adsorción de G.A.B. a la temperatura de 40°C.....	19
Figura 9.Isotermas de adsorción de GAB a 20°C, 30°C y 40°C.....	19
Figura 10.Isoterma de adsorción de Halsey a la temperatura de 20°C.....	20
Figura 11.Isoterma de adsorción de Halsey a la temperatura de 30°C.....	21
Figura 12.Isoterma de adsorción de Halsey a la temperatura de 40°C	21
Figura 13.Isotermas de adsorción de Halsey a 20°C, 30°C y 40°C.....	22
Figura 14.Isoterma de adsorción de Caurie a la temperatura e 20°C.....	23
Figura 15.Isoterma de adsorción de Caurie a la temperatura de 30°C.....	24
Figura 16.Isoterma de adsorción de Caurie a la temperatura de 40°C.....	25
Figura 17.Isotermas de adsorción de Caurie a 20°C, 30°C y 40°C.....	25
Figura 18.Isoterma de adsorción de Henderson - Thompson a 20°C.....	25
Figura 19.Isoterma de adsorción de Henderson - Thompson a 30°C.....	27
Figura 20.Isoterma de adsorción de Henderson - Thompson a 40°C.....	27
Figura 21.Isotermas de adsorción de Henderson - Thompson a 20°C, 30°C y 40°C.....	28
Figura 22.Isoterma de adsorción de Oswin a 20°C.....	29
Figura 23.Isoterma de adsorción de Oswin a 30°C.....	30
Figura 24.Isoterma de adsorción de Oswin a 40°C.....	29
Figura 25.Isotermas de adsorción de Oswin a 20°C, 30°C y 40°C.....	31
Figura 26.Isoterma de adsorción de Smith a 20°C.....	32
Figura 27.Isoterma de adsorción de Smith a 30°C.....	33
Figura 28.Isoterma de adsorción de Smith a 40°C.....	32
Figura 29.Isotermas de adsorción de Smith a 20°C, 30°C y 40°C.....	33
Figura 30.Isotermas de adsorción de B.E.T. a 20°C.....	35

Figura 31. Isotermas de adsorción de B.E.T. a 30°C.....	36
Figura 32. Isotermas de adsorción de B.E.T. a 40°C.....	36
Figura 33. Isotermas de adsorción de B.E.T. a 20°C, 30°C y 40°C.....	37
Figura 34. Curva de adsorción para el arándano deshidratado a 20°C, datos experimentales y sus modelos.....	38
Figura 35. Curva de adsorción para el arándano deshidratado a 30°C, datos experimentales y sus modelos.....	39
Figura 36. Curva de adsorción para el arándano deshidratado a 40°C, datos experimentales y sus modelos.....	39

RESUMEN

El trabajo de Tesis “Isotermas de adsorción para el arándano (*Vaccinium* sp) deshidratado” tuvo como objetivo determinar las isotermas de adsorción del arándano deshidratado mediante modelos matemáticos.

Las conclusiones del trabajo fueron:

Las isotermas obtenidas presentan forma sigmoideal, como la gran mayoría de alimentos

Se comprueba que la temperatura influye en el fenómeno de la adsorción, cuando la temperatura aumenta los contenidos de humedad para un valor determinado del A_w disminuye.

El modelo matemático de GAB es el que presento mayor correlación con los datos obtenidos experimentalmente con un $r = 0.996$ a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $r = 0.998$ a $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ y un $r = 0.992$ a $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, Por otro lado, los valores del error medio relativo fueron: $\text{EMS} = 2.066$ a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\text{EMS} = 1.596$ a $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $\text{EMS} = 3.44$ a $40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Los valores monocapa obtenidos del modelo matemático GAB son: $8,805\text{ g agua}/100\text{ g.m.s}$ a 20°C , $8,479\text{ g agua}/100\text{ g.m.s}$ a 30°C y $7,928\text{ g agua}/100\text{ g}$ a 40°C .

Palabras claves: Arándano deshidratado, isotermas de adsorción, modelos matemáticos, capa monomolecular, contenido de humedad.

ABSTRACT

Thesis work “Adsorption isotherms for dehydrated blueberry (*Vaccinium* sp)” aimed to determine the adsorption isotherms of dehydrated blueberry using mathematical models

The conclusions of the work were:

The isotherms obtained have a sigmoidal shape, like the vast majority of foods.

It is found that the temperature influences the phenomenon of adsorption when the temperature increases the moisture content for a given value of A_v decreases.

The GAB mathematical model is the one that presented the highest correlation with the data obtained experimentally with $r = 0.996$ at $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $r = 0.998$ at $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $r = 0.992$ at $40\text{ }^{\circ}\text{C}$. On the other hand, the error values relative mean were: $\text{EMS} = 2.066$ at $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\text{EMS} = 1.596$ at $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $\text{EMS} = 3.44$ at $40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Single layer values obtained from the GAB mathematical model are: temperature 20°C , $8.805\text{ g water/100 g dry mass}$, 30°C , $8.479\text{ g water/100 g dry mass}$ and 40°C , $7.928\text{ g water/100 dry mass mass}$.

Keywords: Dried cranberry, adsorption isotherms, mathematical models, monolayer. Moisture content

I. INTRODUCCION

Las frutas son un grupo de alimentos imprescindible para una dieta sana y equilibrada. La fruta es probablemente el alimento más popular debido a la variedad de colores y formas. Los arándanos, además de ser visibles a simple vista, son parte de los alimentos que contienen más nutrientes y sustancias naturales sumamente beneficiosas para la salud.

Los arándanos saben muy bien y son buenos para nuestro organismo. Los arándanos tienen innumerables beneficios para la salud: son uno de los alimentos con más antioxidantes, que protegen contra infecciones y estimulan la circulación.

Las isotermas de adsorción reflejan la relación funcional entre la actividad del agua y el contenido de humedad de equilibrio a una temperatura determinada, describen el estado de humedad de los alimentos y son de interés en muchas aplicaciones en la ciencia y la tecnología de los alimentos [1]. Es necesario comprender las características de las isotermas de adsorción de agua para predecir la vida útil y determinar la humedad crítica y actividad de agua para la aceptabilidad de productos que se deterioran por ganancia de humedad [2]

La presente investigación “Determinación de Isotermas de adsorción para arándano (*Vaccinium sp*) deshidratado”, tiene como objetivo determinar las isotermas de adsorción mediante modelos matemáticos; para lo cual se utilizarán los modelos matemáticos de BET, GAB, Halsey, Henderson, Caurie, Oswin, Smith.

1.1. Situación problemática

Las frutas son un grupo de alimentos esenciales para nuestra salud y bienestar, especialmente por su aporte de fibra, vitaminas, minerales y sustancias con propiedades antioxidantes (vitamina C, vitamina E, β -caroteno, licopeno, luteína, flavonoides, antocianinas, etc.). una amplia variedad de organolépticos, la gama de propiedades (sabor, aroma, color, textura, etc.) y los diferentes métodos de preparación los hacen muy aceptables para los consumidores.

Los arándanos son bayas pequeñas, carnosas, esféricas, de 6 a 10 mm de largo, de color negro azulado y coronadas en la parte superior. Es un fruto de arándano o mirtalo, un arbusto o arbusto bajo, a veces rastrero, de 15-80 cm de altura. Hay rizomas rastreros en el suelo que le permiten extenderse por el suelo

del bosque y tallos retorcidos. Los arándanos florecen en la primavera, y suelen madurar a finales o mediados del verano.

La isoterma de sorción se define como la relación entre la actividad de agua o humedad relativa y el contenido de humedad del material a temperatura constante de equilibrio, obtenido cuando el proceso de equilibrio comienza con una muestra húmeda o seca y se permite que se equilibre con la humedad del aire circundante, perdiendo o ganando humedad y reflejando así el régimen hídrico. se une al sistema [3]

La presente investigación “Isotermas de adsorción para el arándano (*Vaccinium* sp) deshidratado tiene como objetivo determinar las isotermas de adsorción del arándano deshidratado utilizando modelos matemáticos; para lo cual se utilizarán los modelos matemáticos de BET, GAB, Halsey, Henderson y Curie

1.2. Antecedentes

Este proyecto analizo el estudio del fenómeno de adsorción en el arándano deshidratado para determinar las isotermas de adsorción, la influencia de las temperaturas y el valor de la capa monomolecular.

1.2.1. Antecedentes a nivel internacional

A nivel internacional tenemos a “Chaves [4] quien elaboro un trabajo de investigación titulado Isotermas de adsorción de berenjenas deshidratadas” donde se manifiesta que: El conocimiento de las isotermas de adsorción de alimentos es importante para el desarrollo de la industria alimentaria, ya que es importante para la optimización de los procesos de secado y el diseño de secadores, la selección de materiales de embalaje, a predicción de la vida útil del producto y los cambios en el contenido de humedad durante el almacenamiento. Uno de los parámetros más importantes en los alimentos deshidratados son las condiciones de equilibrio que definen el límite del proceso, que es un componente importante del gradiente que provoca el movimiento del agua.

La actividad del agua es el factor más importante en el estudio de la estabilidad de los alimentos secos, definida como la relación entre la

presión de vapor del agua en el alimento y la presión de vapor del agua líquida pura a la misma temperatura. Las isotermas de adsorción muestran la relación entre la actividad del agua (a_w) y la humedad de equilibrio (X_e) en productos alimenticios a temperatura y presión constantes. Con el fin de obtener una descripción matemática del proceso, esta relación ha sido cuidadosamente estudiada, por lo que se han propuesto diversas ecuaciones, de las cuales encontramos modelos de Brunauer, Emmett y Teller, que tienen un rango de aplicabilidad limitado, a_w 0.3-0.4, van den Berg Guggenheim, Anderson y el modelo de Boer (GAB) propuesto formalmente por Grid en 1981, el rango aplicable es de 0,1 a 0,9 a_w , el modelo propuesto por Ferro, Chirife, Sancho e Iglesias con un rango de aplicabilidad equivalente al de GAB, entre otros. En los últimos años el modelo de GAB se ha utilizado ampliamente para describir las isotermas de adsorción de diversos alimentos. La aplicabilidad del modelo dependerá más de los objetivos del investigador, como determinar la vida útil del producto, y tendrá una mayor base teórica. Otro factor importante es su simplicidad, ya que los parámetros con menos parámetros tardarán menos en procesarse”

1.2.2. Antecedentes a nivel nacional

A nivel nacional tenemos a “Chamorro y Rajo [5] quien elaboró un trabajo de investigación titulado Influencia del Tamaño de Partículas en las Isotermas de Adsorción del Harina de Haba (*Vicia faba L.*)”. Cuyo objetivo fue: Evaluación del efecto del tamaño de partícula en la capacidad de adsorción de humedad de la harina de haba (*Vicia faba L.*). Una vez obtenida la harina se determinó la cinética de secado y se encontró que la humedad inicial en el haba fresca es de 63% mb y en la harina de 10%. Las isotermas de adsorción se determinaron mediante métodos estáticos utilizando soluciones saturadas y a_w conocida ($\text{LiCl} = 0.11$; $\text{MgCl}_2 = 0.23$; $\text{NaHCO}_3 = 0.54$; $\text{NaCl} = 0.75$; $\text{KNO}_3 = 0.93$) hasta un equilibrio de masas a temperatura constante (25 °C); utilizando tamices (malla 12, 16, 20 y 32) para obtener muestras de diferentes tamaños. Se ajustaron valores

experimentales de isothermas de adsorción a siete modelos matemáticos aplicables a productos alimenticios.

Acerca de B.E.T. los valores de monocapa (X_m) oscilaron entre 0,02946 y 0,03691 g H_2O /100 g.m.s. En el modelo G.A.B, los valores de monocapa oscilaron entre 0,15817 y 0,18936 g H_2O /100 g.m.s. La mejor calidad de ajuste del modelo propuesto por Henderson se observó con 4.57% ERM para la malla 20.

1.2.3. Antecedentes a nivel local

A nivel local tenemos a “Palomino Peralta, G. (2002) [6] 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 son utilizados para obtener las isothermas de adsorción y sus respectivos parámetros. Se tomaron muestras 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 $X_m = 7.26$ g de agua/100 g.m.s, $C_g = 632.20$ y $K = 0.865$, para 30°C $X_m = 6.66$ g de agua/100 g.m.s, $C_g = 352.09$ y $K = 0.887$, para 40°C $X_m = 6.47$ g de agua/100 g.m.s, $C_g = 281.83$ y $K = 0.892$ “

II. ESTRATEGIA METODOLOGICA

2.1. Lugar de Estudio

Esta investigación se realizó en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Pesquera y de Alimentos de la Universidad Nacional “San Luis Gonzaga”

2.2. Materia Prima e ingredientes

2.2.1 Materia Prima

Arándano deshidratado

2.3. Equipos e Instrumentos

Placas Konguay

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

Reactivos químicos

Soluciones salinas	Humedad relativa		
	20°C	30°C	40°C
CaCl ₂	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

2.4. Diseño de Investigación

El diseño de la investigación utiliza un enfoque experimental para identificar elementos causales como variables independientes introduciéndolos y manipulándolos para luego identificar elementos de efecto como variables dependientes.

Por tanto, este método experimental nos ayudará a determinar el contenido de humedad de los arándanos secos.

Se utilizó un enfoque estático para las curvas de adsorción utilizando soluciones salinas saturadas con una actividad de agua entre 0,10 y 0,90, y los datos se evaluaron utilizando el modelo matemático descrito anteriormente. Se utilizó Excel y Mathcad 15 para obtener los parámetros de adsorción, coeficientes de correlación y errores relativos.

- **Tipo de la investigación**

Por el tipo de investigación, este trabajo cumple con las condiciones metodológicas de la investigación aplicada, ya que se utilizarán los conocimientos de la tecnología de alimentos en su aplicación para la obtención de las isothermas de adsorción de arándanos deshidratados.

- **Nivel de la investigación**

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

2.4.1. Diseño Experimental

La investigación radica en que obtenidos experimentalmente los datos de adsorción y mediante modelos matemáticos se obtienen valores de capas monomoleculares, que aseguran que no se produce actividad microbiana, no se producen reacciones químicas y el agua no actúa como disolvente. Estos valores se pueden utilizar para seleccionar envases e ingredientes, prediciendo la humedad máxima permitida durante el almacenamiento.

2.5. Procesamiento y Análisis de datos

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

2.5.1. Determinación para la obtención de las curvas de adsorción para el arándano deshidratado

Para obtener una curva de adsorción de arándanos deshidratados, primero se obtiene el contenido de humedad de la muestra, para ello se pesan 10 g de la muestra en una caja de Petri y se coloca en un horno a 105°C durante 3 - 4 horas hasta que el peso sea constante. Colocar en una campana deshidratadora y pesar y determinar el contenido de humedad y el contenido de materia seca.

Para obtener los parámetros de adsorción de arándanos secos, se determinó el contenido de humedad de equilibrio mediante el método estático utilizando soluciones salinas saturadas a 20°C, 30°C y 40°C. Se pesó una muestra de 1 g y se colocó en una placa Konguay y en una campana extractora que contenía una solución salina saturada usando un horno con temperatura controlada.

Después de 15 días, se pesan las muestras colocadas a 20°C y 30°C y después de 48 horas se calcula la diferencia en el contenido de humedad de las muestras colocadas a 40°C. Los parámetros de adsorción se determinaron mediante un modelo matemático y por lo tanto se utilizó Mathcad 15..

2.6. 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.

2.7. Instrumentos de Recolección de Datos

Se emplearon fichas de registro de laboratorio y hojas de cálculo en excel, donde se consignaron los valores de peso, temperatura y humedad relativa obtenidos en cada ensayo. Estos instrumentos permitieron organizar la información experimental y asegurar la confiabilidad en el procesamiento de los resultados.

TABLA I.
SALES PARA LA PRUEBA DE ADSORCIÓN

Sales
LiCl
MgCl ₂ 6H ₂ O
K ₂ CO ₃
NaBr
NaNO ₃
ClNa
K ₂ CrO ₄

2.8. Población y Muestra

2.8.1. Población

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

2.8.2. Muestra

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

2.9. Criterio de inclusión

Se incluyeron únicamente arándanos frescos de la variedad *Vaccinium corymbosum* provenientes de Ica, en buen estado. Los frutos fueron sometidos a un proceso de deshidratación controlado para obtener muestras homogéneas, almacenados en condiciones higiénicas y considerados válidos solo cuando alcanzaron peso constante, garantizando así la confiabilidad de los resultados.

2.10. Formulación de tratamiento

- ✓ Qué modelo matemático (GAB, BET, Halsey, Caurie, Henderson, ¿Smith y Oswin) presenta mejor correlación con los datos obtenidos experimentalmente en la prueba de adsorción de humedad del arándano?
- ✓ ¿De qué manera influye la temperatura en las isothermas de adsorción de humedad del arándano deshidratado?
- ✓ ¿Cuál es el valor de la capa monomolecular del arándano deshidratado, que garantiza su conservación?

III. RESULTADOS

El contenido de humedad de equilibrio del arándano deshidratado aumentó con la actividad de agua (A_w), pero disminuyó al elevar la temperatura, confirmando la influencia de esta variable en la higroscopicidad del producto. Las isothermas obtenidas fueron de tipo sigmoideal (II), propias de alimentos deshidratados. Entre los modelos evaluados, el modelo GAB fue el más adecuado, al mostrar mejores ajustes y menores errores, seguido del BET en un rango limitado de A_w , mientras que los demás modelos presentaron mayores desviaciones. Asimismo, se observó que la capa monomolecular (X_m) decreció con la temperatura y que el incremento de esta desplazó las isothermas hacia menores valores de humedad, lo que evidencia que condiciones de almacenamiento en temperaturas bajas favorecen la estabilidad del producto.



Figura 1. El arándano

3.1. Tipos de arándano

El arándano (*Vaccinium corimbosum*), que crece en el noreste de Estados Unidos, tiene hojas caducas características con hojas rojas. Llama la atención por sus frutos de color negro azulado, muy grandes y sabrosos, siendo la variedad más cultivada. [9]



Figura 2. Arándano azul

Arándano negro /Arándano Uliginoso (*Vaccinium uliginosum*). Lo podemos encontrar en el hemisferio norte. En las regiones más frías de Europa, Asia y América, se pueden hallar hasta alturas de más de 3000 metros, en las montañas del sur de estas regiones.[9]



Figura 3. Arándano negro

Beneficios del consumo de arándanos

El consumo de arándanos nos ayuda a combatir el riesgo de proliferación de células cancerosas, cuando hay pocas células cancerosas y no dañan otras células. Esto se debe a que los arándanos contienen ácido gálico y resveratrol, dos compuestos importantes que ayudan a reducir los efectos negativos del cáncer. [10]

Es antiinflamatorio

Los arándanos contienen una alta variedad antioxidantes, uno de los más importantes son las proantocianidinas. Estos productos químicos son

fuertes agentes antiinflamatorios. De esta forma, reducen determinada patología, ya que la inflamación es una de las causas más comunes de afecciones como la rigidez o el dolor muscular, así como la fibromialgia. [10]

Previenen enfermedades neurodegenerativas

Los arándanos tienen sustancias que actúan como agentes neuroprotectores, gran parte es debido a su contenido masivo de antioxidantes.

El ácido gálico juega un papel muy importante en el funcionamiento de las neuronas, ya que previene el deterioro de la función cognitiva y el desarrollo de ciertas enfermedades degenerativas, como el Alzheimer y el Parkinson, al oxidar las células, haciendo que se degeneren más lentamente [10]

Ayuda a luchar contra la diabetes

Un estudio de 2010 publicado en el Journal of Nutrition encontró que el consumo de frutas mejoraba la sensibilidad a la insulina en personas obesas que eran resistentes a la hormona. Por lo tanto, los arándanos pueden ayudar a combatir la diabetes. La insulina es una hormona producida por el páncreas que ayuda al cuerpo a metabolizar adecuadamente los carbohidratos y evita que aumente el azúcar en la sangre. [10]

3.2. Composición química del arándano

En tabla 2 se presenta la composición química del arándano

TABLA II.
COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ARÁNDANO

Componentes	Porcentaje
Humedad	86.9
Proteínas	0.3
Grasa	0.1
Carbohidratos	10.2
Fibra	1.3
Cenizas	1.2

Fuente: Centro Nacional de Alimentación y Nutrición Instituto Nacional de Salud.

3.2.1. Actividad acuosa y su relación con el almacenamiento

El agua suele ser el ingrediente principal de los alimentos. El contenido de agua y/o el estado físico afectan las propiedades organolépticas y texturales de los alimentos, así como su estabilidad microbiana y fisicoquímica [11]

Debido a sus propiedades termodinámicas, se cree que ningún otro compuesto puede asumir el papel principal del agua como sustancia importante. Las notables propiedades del agua como el mejor solvente, combinadas con su calor específico inusualmente alto, entalpía de cambio de fase, constante eléctrica y tensión superficial, la hacen ideal para apoyar procesos biológicos en condiciones adversas.

El agua participa en el proceso de deterioro de los alimentos, caracterizado por su actividad de agua (a_w), que es uno de los factores más importantes controlados en la conservación de los alimentos, ya que reduce la posibilidad de deterioro. Para llevar a cabo varios tipos de reacciones bioquímicas y crecimiento de microorganismos donde ocurre un cambio o enfermedad [12]

Comprender las propiedades termodinámicas del comportamiento de absorción de agua es importante para la deshidratación de varias maneras. Primero, las propiedades de los alimentos relacionan la concentración de agua en el alimento con su presión parcial, lo cual es muy importante para el análisis de los fenómenos de transferencia de calor y masa durante la deshidratación. En segundo lugar, determinaron el punto final en el que los alimentos pueden deshidratarse para obtener un producto estable con un contenido de humedad óptimo. En tercer lugar, la entalpía de adsorción proporciona una aproximación de la energía mínima (teórica) necesaria para eliminar una cierta cantidad de agua de los alimentos. Finalmente, en un aspecto fundamental, el conocimiento de las propiedades

termodinámicas puede proporcionar cierta comprensión de las microestructuras relacionadas con los alimentos. [13]

3.2.2. Isoterma de adsorción

Las isothermas de adsorción de alimentos se construyen para determinar la actividad del agua de cada producto alimenticio a una temperatura determinada en función de su contenido de humedad. Una isoterma es una expresión de la relación funcional entre el contenido de humedad de un producto alimenticio (expresado en gramos de agua por 100 gramos de materia seca) y la actividad del agua del mismo alimento. Las isothermas se pueden representar como gráficos o ecuaciones.

En las isothermas de adsorción se pueden observar tres fases:

1. Actividad de agua entre 0 y 0.2. Es el agua que se une tan fuertemente a los alimentos que forma una monocapa, una monocapa de moléculas de agua que cubre toda la superficie de los alimentos, también llamada “monocapa”.
2. Actividad de agua entre 0.2 y 0.8. Es agua débilmente unida en forma de múltiples capas, interactuando con la monocapa a través de enlaces de hidrógeno.
3. Actividad de agua superior a 0.8. Es agua disponible y de gran movilidad. Esta se puede intercambiar con el agua multicapa. Se llama agua a granel y hay dos tipos: agua no ligada y agua atrapada [14]

Otra característica de las isothermas es su variación con la temperatura. En la mayoría de los casos, un aumento de la temperatura significa una disminución del contenido de humedad, y si a_w permanece constante, la higroscopicidad del producto disminuye, es decir, un aumento de temperatura afecta el cambio hacia abajo de la isoterma de adsorción; se puede considerar como la dirección de la isoterma Aproximación del eje [14]

3.2.3. Efecto de la temperatura sobre la actividad de agua (A_w)

En general, a medida que aumenta la temperatura, disminuye la cantidad de agua absorbida por los alimentos. Es decir, si se quiere que el alimento mantenga un cierto equilibrio de humedad a una nueva temperatura superior a la anterior, su actividad hídrica aumentará. En resumen, el aumento de la temperatura tiende a desplazar la isoterma de referencia hacia abajo (ver Figura 4).

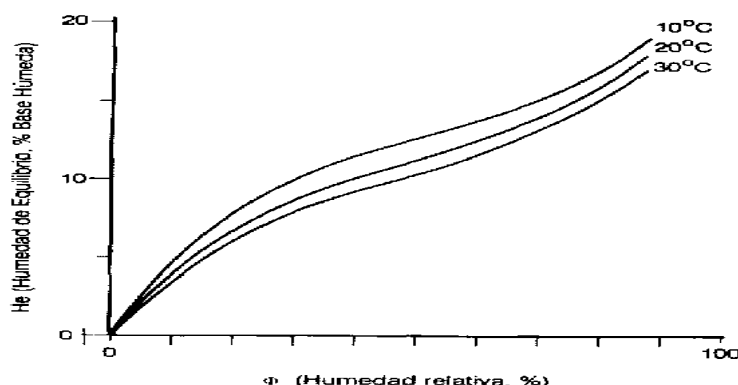


Figura 4. Isotermas de sorción a diferentes temperaturas

3.2.4. Concepto de capa monomolecular

Los alimentos tienen una composición compleja y heterogénea, entre los componentes figuran proteínas, grasas, sales minerales, carbohidratos, vitaminas, y enzimas, muchos de estos componentes están fuertemente hidratados. El agua y los lípidos contenidos son dependientes entre sí 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 NH_3^+ Y COO^- De las proteínas y de los grupos OH de los almidones y probablemente, también el agua de cristalización de las sales y azúcares. Tener en cuenta el contenido de agua del alimento, de 3 a 10 gramos por cien gramos de peso seco desgrasado.

Casi todos los investigadores han concluido que el valor de la capa monomolecular es teóricamente el contenido de agua que debe tener un producto deshidratado, debido a que el agua de esa capa no actúa como solvente ni es reactiva, no apta para los microorganismos y por último es la que protege a las proteínas. [15]

3.2.5. 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. [16]

3.2.6. 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. [17]

3.2.7. 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. [18]

3.2.8. Humedad relativa

La relación entre la fracción molar de vapor de agua en un área determinada y la fracción molar del vapor de agua en su condición de saturación. La razón de masas sólo depende de la determinación de las masas del gas seco y el vapor de agua, por lo que la humedad relativa es una forma absoluta para determinar el contenido de humedad. [19]

3.3. Isotermas de adsorción obtenidas experimentalmente para el arándano deshidratado

A continuación, en la tabla 3 se presentan los contenidos de humedad de equilibrio del arándano deshidratado a las temperaturas seleccionadas de 20°C, 30°C y 40°C, en la figura 7 se presentan las isotermas obtenidas experimentalmente

TABLA III.

CONTENIDO DE HUMEDAD DE EQUILIBRIO DE ARÁNDANOS
DESHIDRATADOS DURANTE DIFERENTES ACTIVIDADES ACUÁTICAS A
20°C, 30°C Y 40°C

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	12.50	0.112	11.36	0.111	10.23
0.336	13.64	0.328	12.50	0.321	11.36
0.439	15.91	0.436	14.77	0.434	13.64
0.592	19.32	0.563	18.18	0.537	17.05
0.653	22.73	0.635	21.59	0.615	19.32
0.755	30.68	0.756	28.41	0.753	26.14
0.866	45.45	0.863	44.32	0.856	43.18

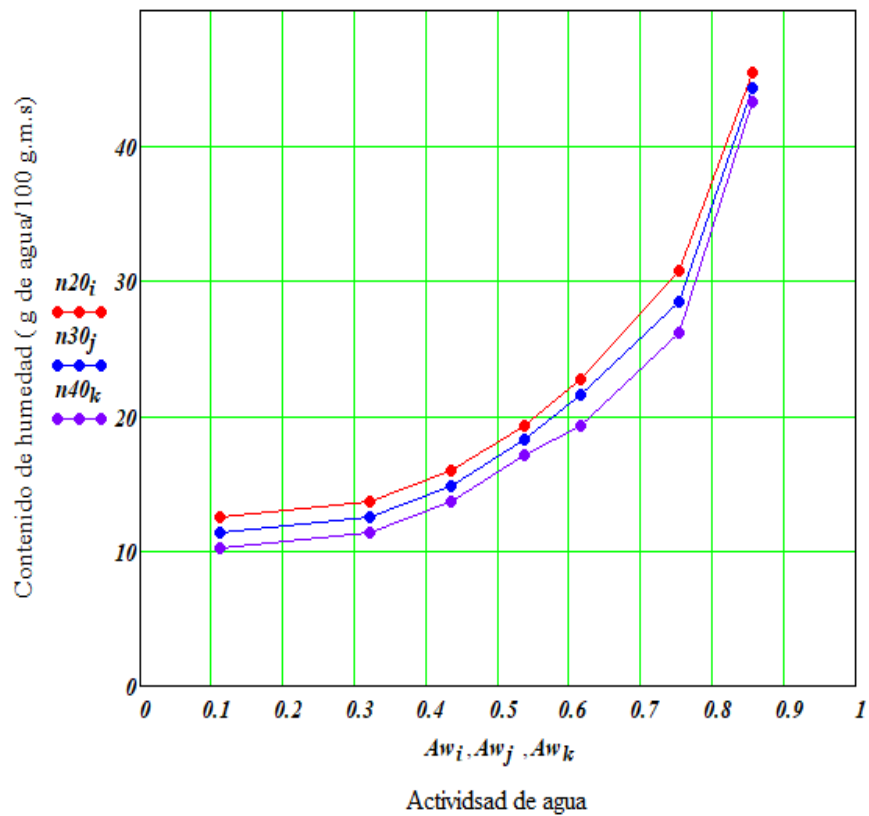


Figura 5. Curvas de adsorción experimentales para arándanos deshidratados a 20°C, 30°C y 40°C

3.4. 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 el arándano deshidratado.

Las Figuras 8, 9 y 10 muestran los resultados obtenidos experimentalmente y calculados utilizando el modelo GAB a 20, 30 y 40 °C, la Figura 11 muestra las tres curvas y la Tabla 4 muestra los parámetros de adsorción.

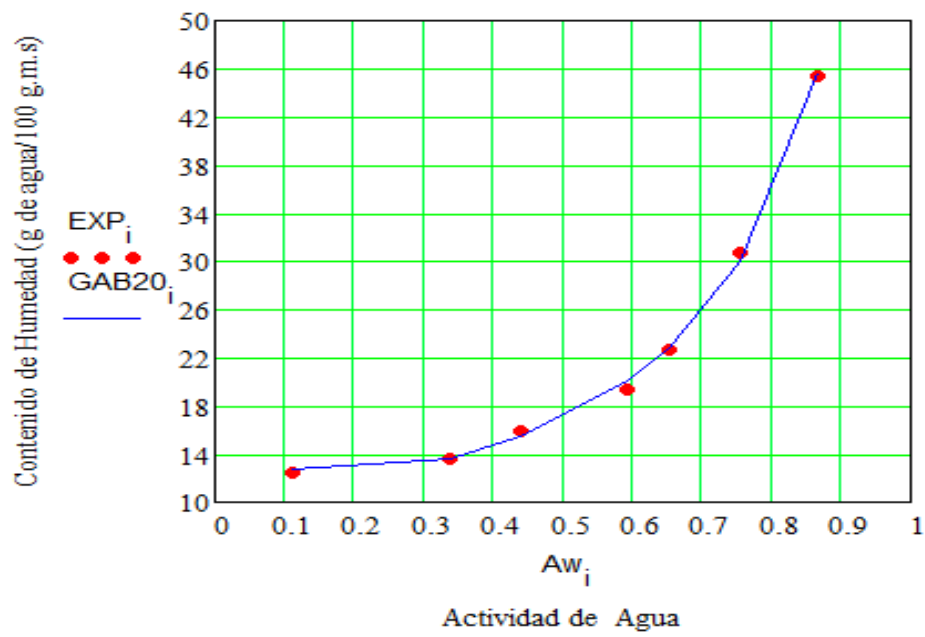


Figura 6. Isotherma de adsorción de GAB a 20°C

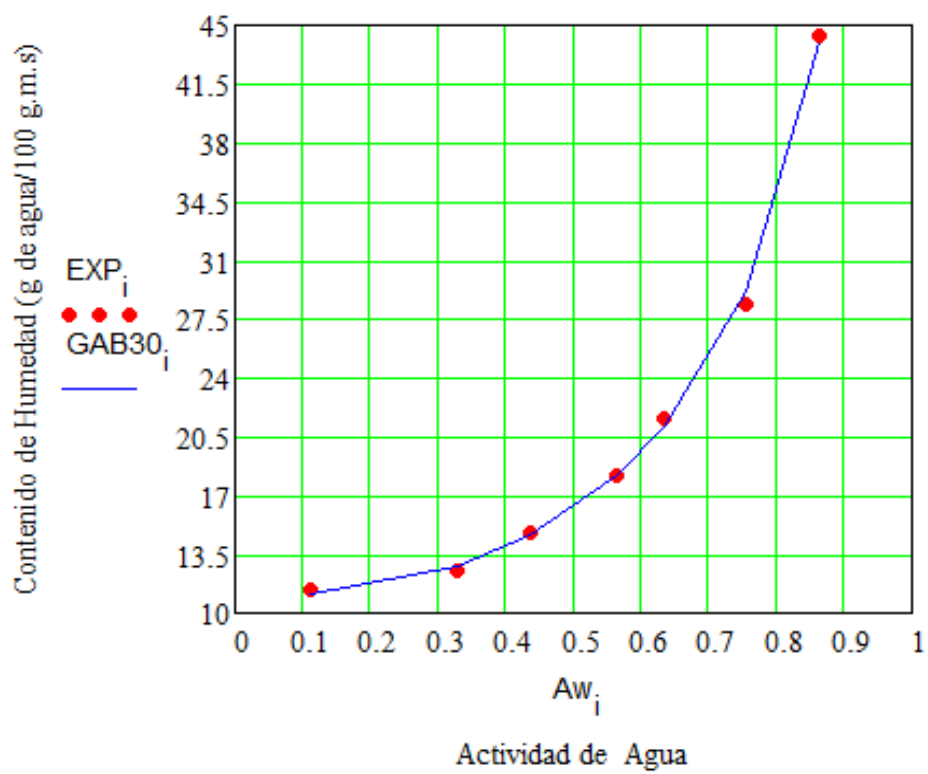


Figura 7. Isotherma de adsorción de G.A.B a 30°C

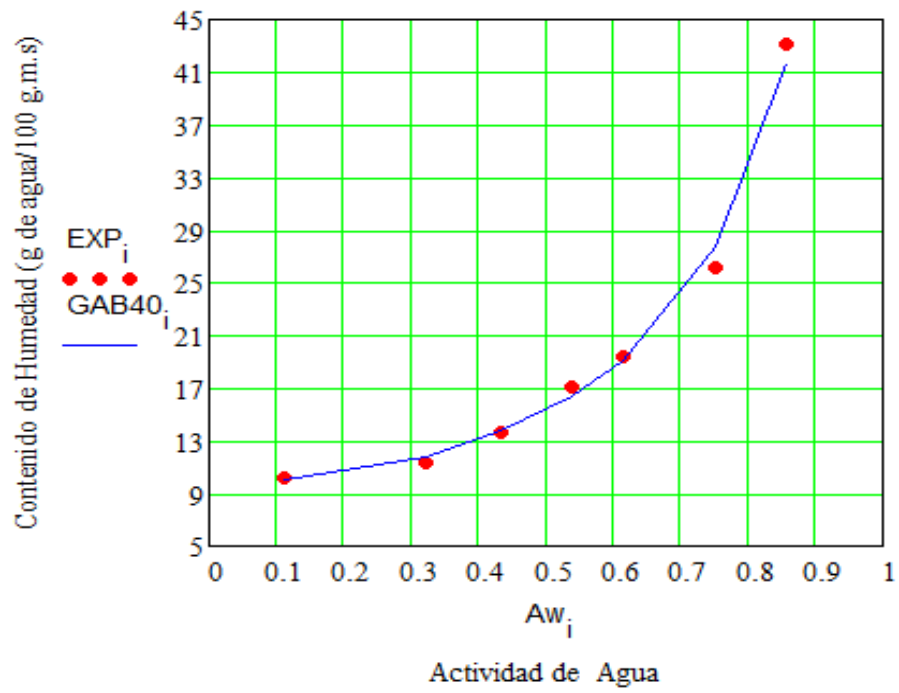


Figura 8. Isotherma de adsorción de G.A.B. a 40°C

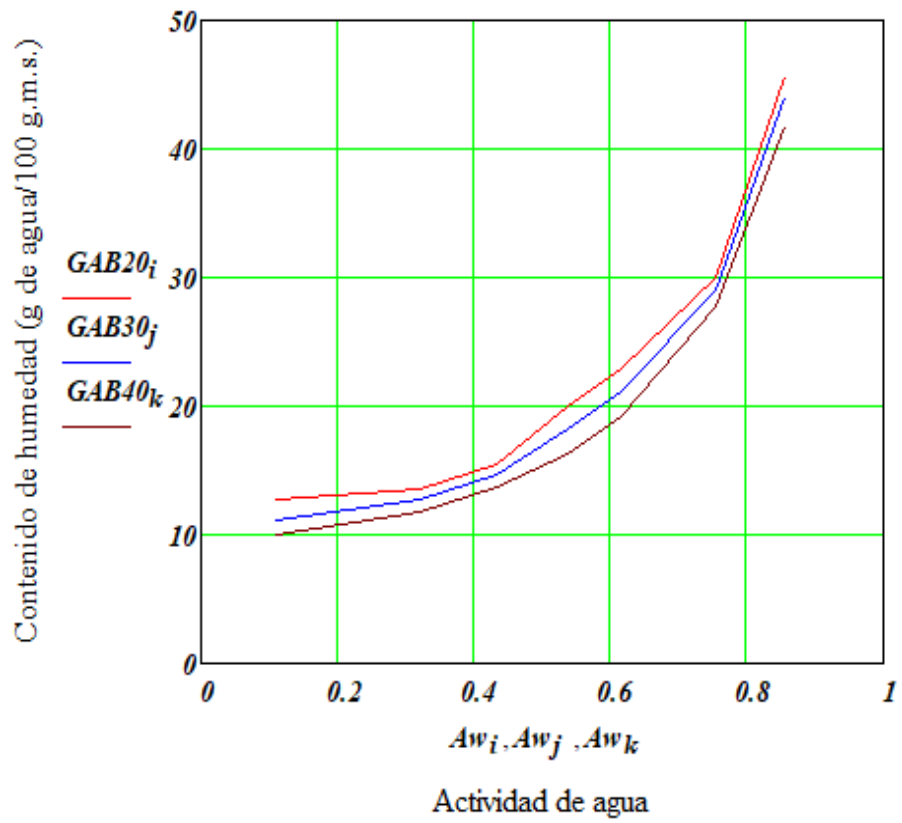


Figura 9. Isotherma de adsorción de GAB a 20°C, 30°C y 40°C

TABLA IV.
VALORES DE LOS PARÁMETROS XM, CG Y K PARA EL MODELO G.A.B.
PERFECTO PARA ARÁNDANOS DESHIDRATADOS

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)	8.805	8.479	7.928
Cg (constante)	-37.816	-55.798	-75.328
K (constante)	0.931	0.934	0.946

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

Las Figuras 12, 13, 14 y 15 muestran los resultados experimentales y los resultados calculados utilizando el modelo Halsey a 20, 30 y 40°C.

La tabla 5 muestra los parámetros de la ecuación de Halsey

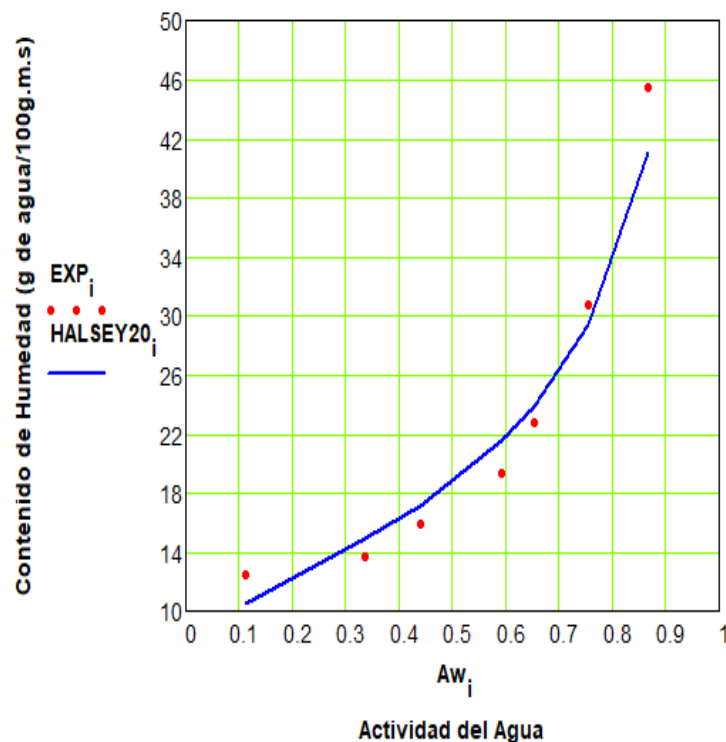


Figura 10. Isoterma de adsorción de Halsey a 20°C

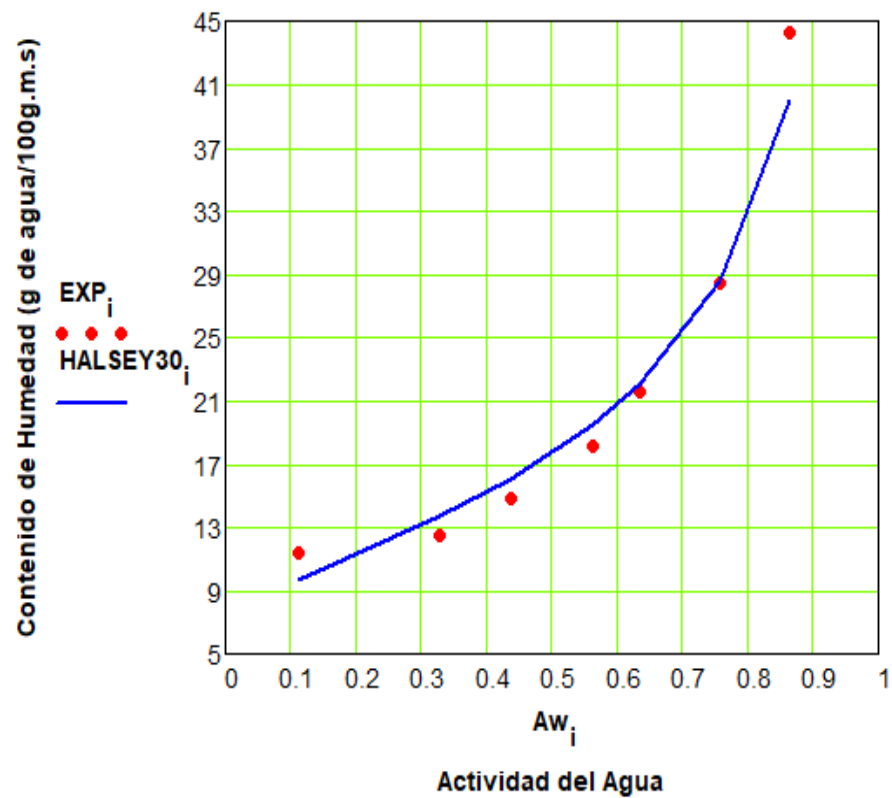


Figura 11. Isoterma de adsorción de Halsey a 30°C

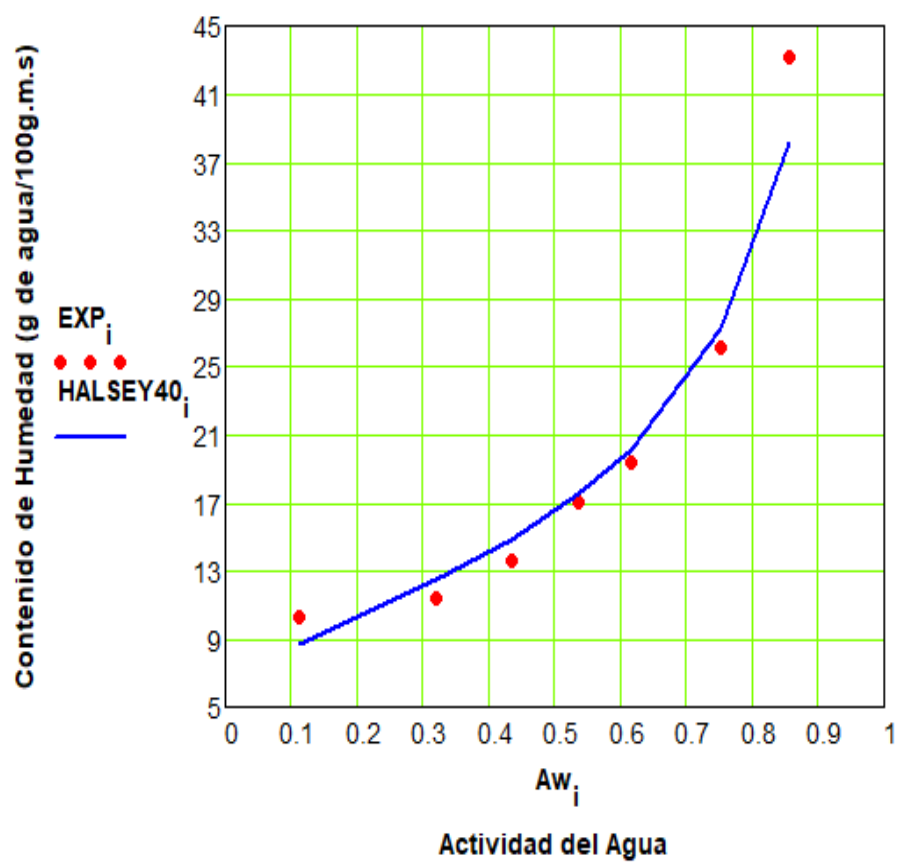


Figura 12. Isoterma de adsorción de Halsey a 40°C

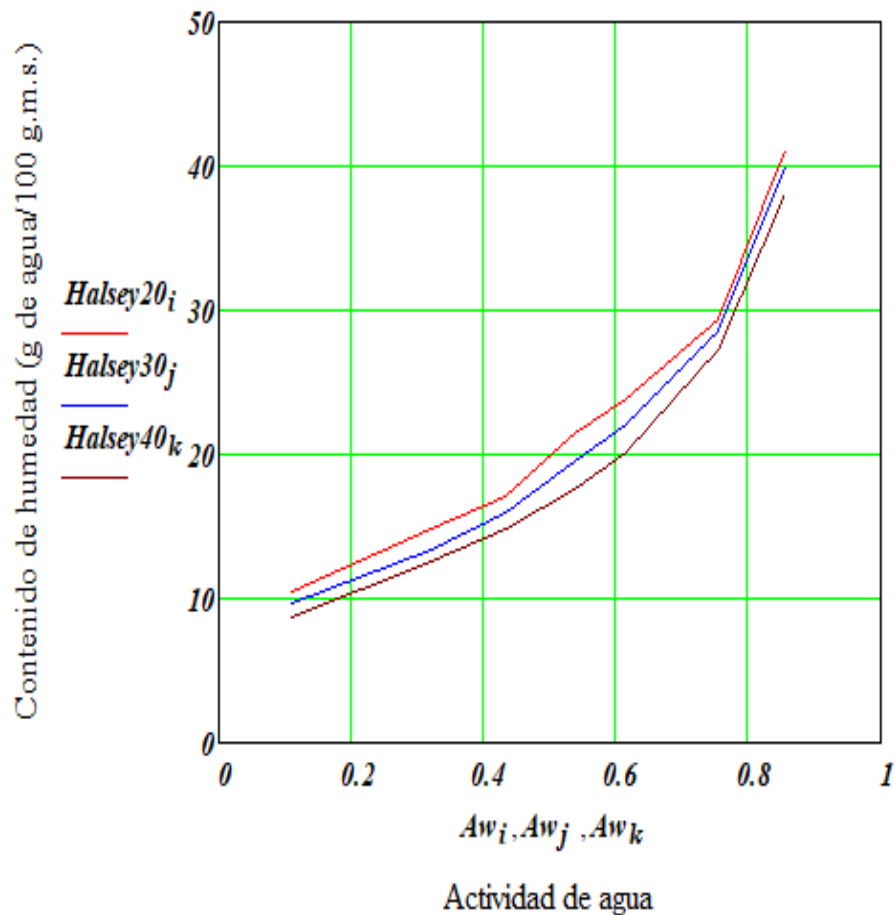


Figura 13. Isotermas de adsorción de Halsey a 20°C, 30°C y 40°C

TABLA V.
VALORES DE LOS PARÁMETROS A Y B DEL MODELO HALSEY
ESTIMADOS PARA ARÁNDANO DESHIDRATADO

Parámetro de la			
ecuación de Halsey	T = 20°C	T = 30°C	T = 40°C
α	15.551	14.536	13.437
β	-0.501	-0.529	-0.561

3.6. Isotermas de adsorción y parámetros de adsorción obtenidos con el modelo de Caurie a 20°C, 30°C y 40°C

Las Figuras 16, 17, 18 y 19 muestran los resultados experimentales y los resultados calculados utilizando el modelo de Caurie a 20, 30 y 40°C.

La tabla 6 muestran los parámetros de la ecuación de Caurie

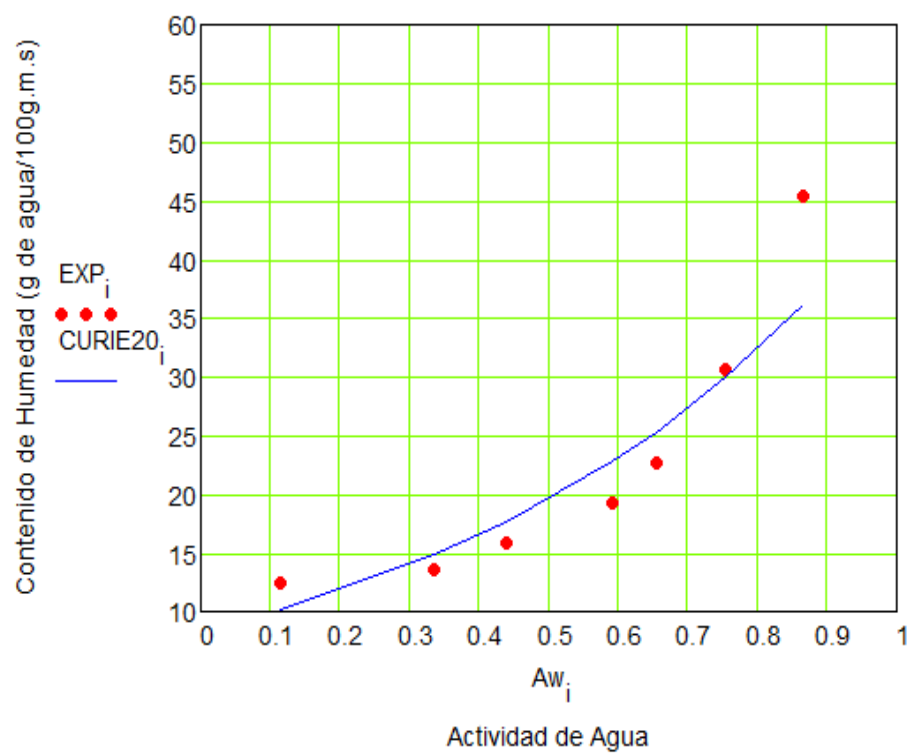


Figura 14. Isoterma de adsorción de Caurie a 20°C

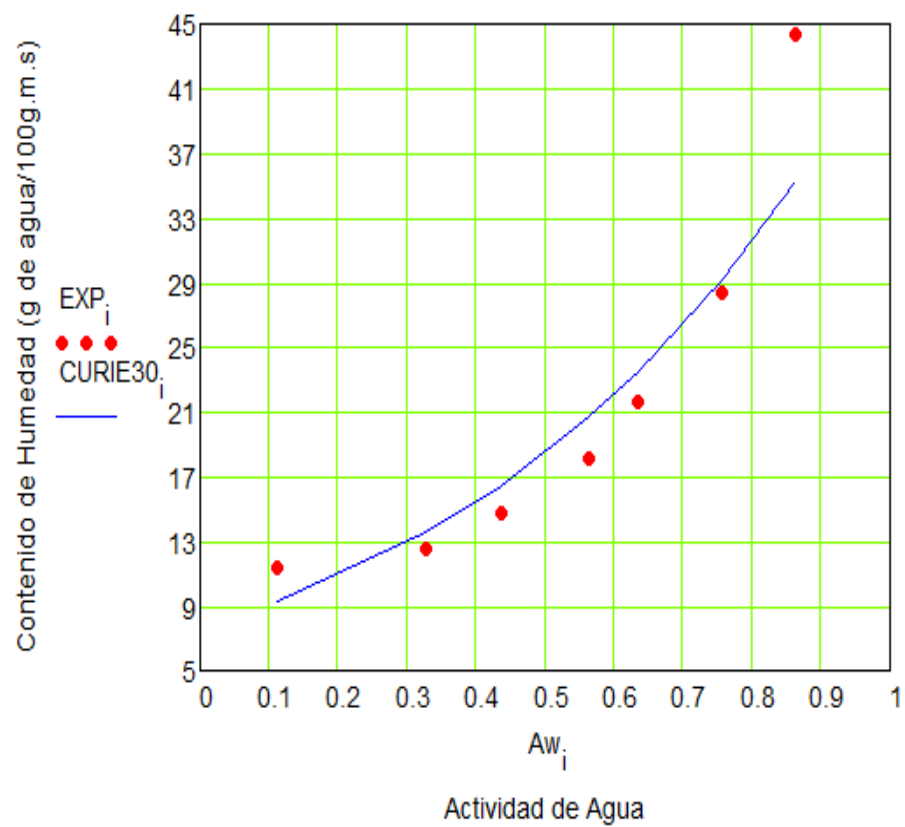


Figura 15. Isoterma de adsorción de Caurie a 30°C

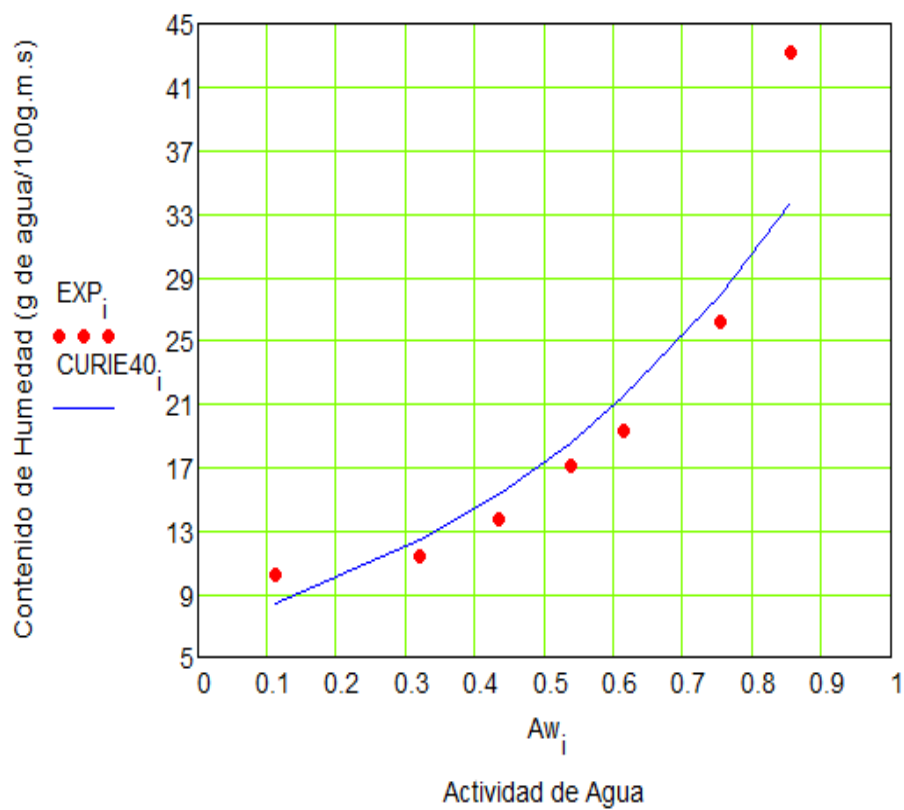


Figura 16. Isoterma de adsorción de Caurie a 40°C

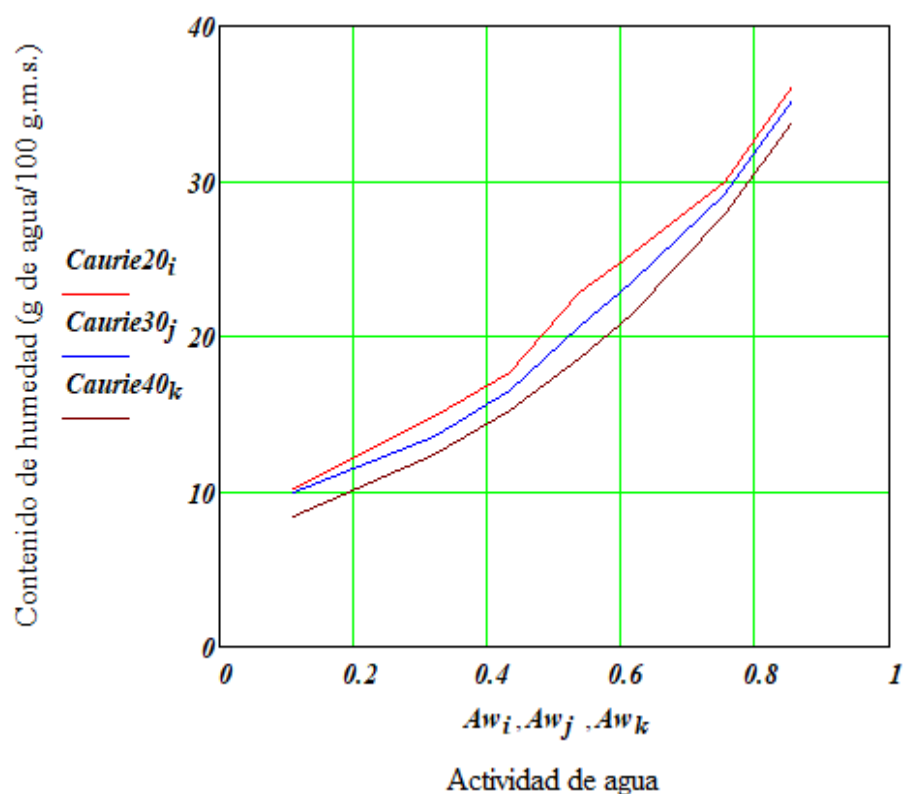


Figura 17. Isotermas de adsorción de Caurie a 20°C, 30°C y 40°C

TABLA VI.

VALORES DE LOS PARÁMETROS γ , X_s DEL MODELO CAURIE
ESTIMADOS PARA ARÁNDANO DESHIDRATADO

Parámetro de la ecuación de Caurie	T = 20°C	T = 30°C	T = 40°C
γ	5.3581	5.9207	6.5301
X_s	-0.1042	-0.1096	-0.1163

3.7. Isotermas de adsorción y parámetros de adsorción obtenidos por el modelo de Henderson -Thompson a 20°C, 30°C y 40°C

Las Figuras 20, 21, 22 y 23 muestran los resultados experimentales a 20°C, 30°C y 40°C y los resultados calculados utilizando el modelo de Henderson.

La Tabla 7 muestra los parámetros de la ecuación de Henderson – Thompson

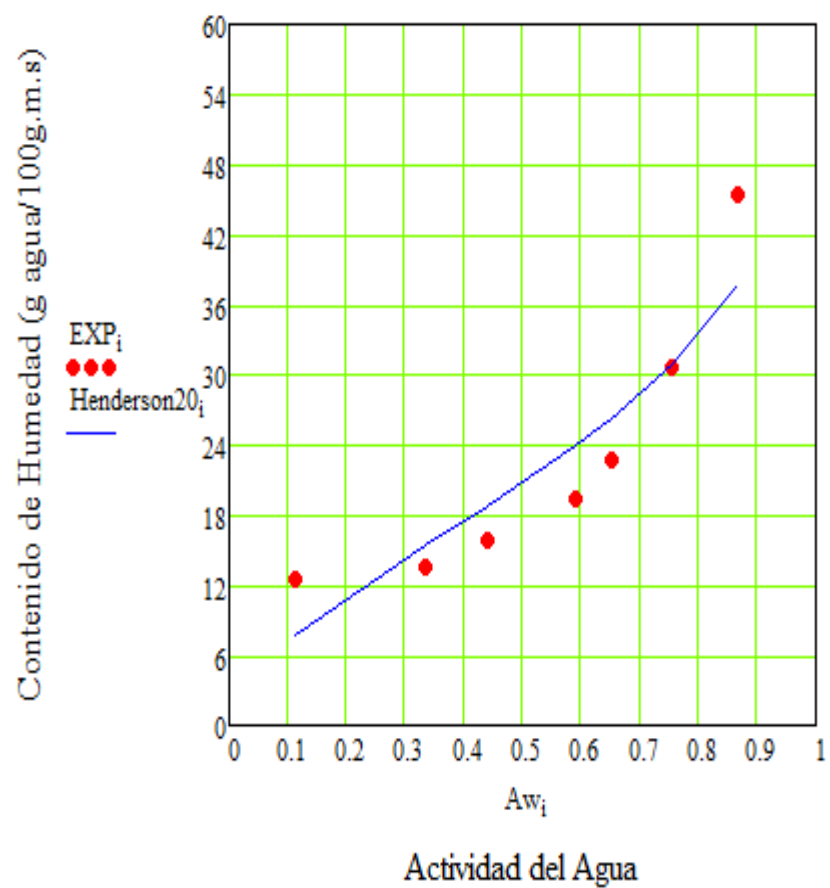


Figura 18. Isotherma de adsorción de Henderson - Thompson a 20°C

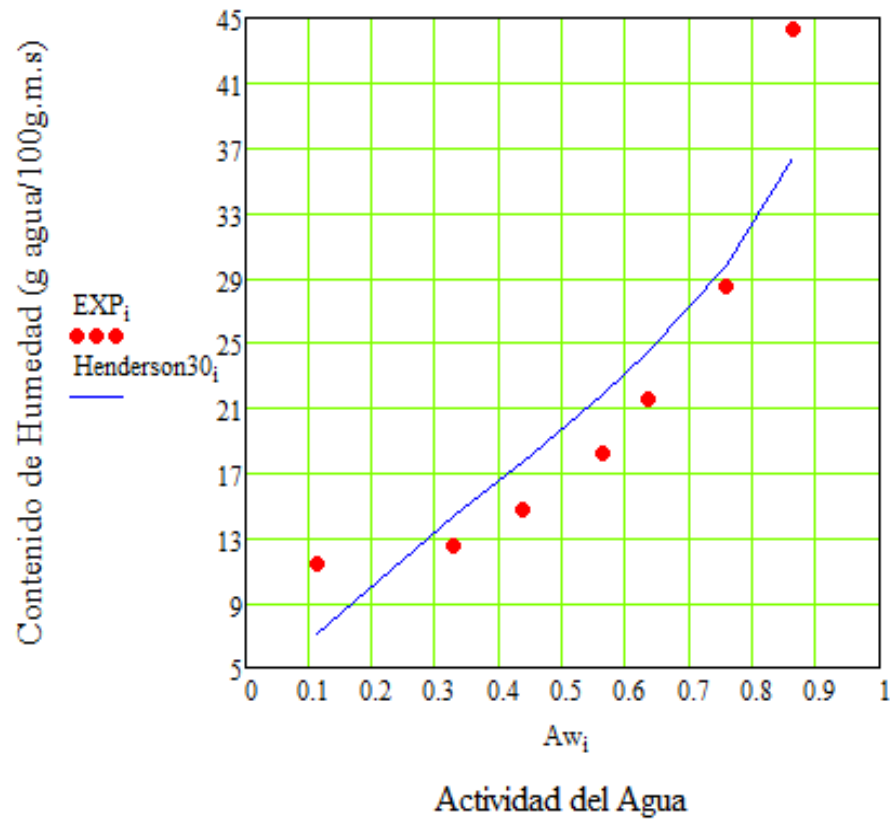


Figura 19. Isotherma de adsorción de Henderson - Thompson a 30°C

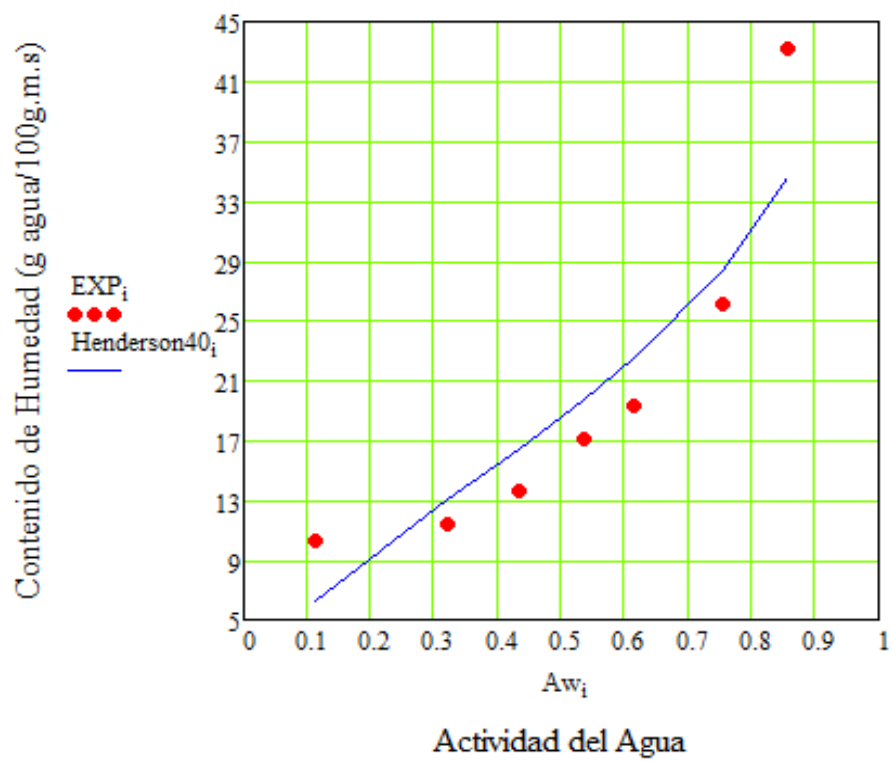


Figura 20. Isotherma de adsorción de Henderson - Thompson a 40°C

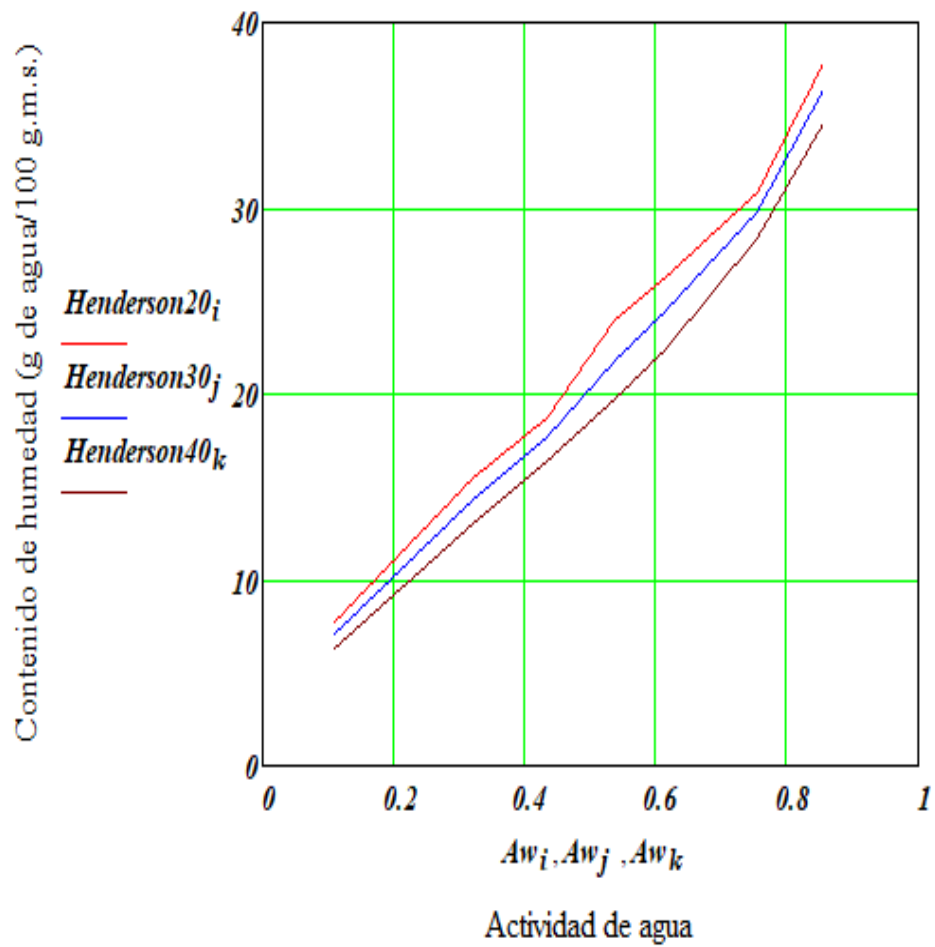


Figura 21. Isotermas de adsorción de Henderson - Thompson a 20°C, 30°C y 40°C

TABLA VII.

VALORES CALCULADOS DEL PARÁMETRO F, η DEL MODELO
 HENDERSON-TOMPSON PARA ARÁNDANOS DESHIDRATADOS

Parámetro de la ecuación de			
Henderson - Thompson	T = 20°C	T = 30°C	T = 40°C
f	6.456	6.204	5.896
η	1.783	1.725	1.645

3.8. Las isotermas de adsorción y los parámetros de adsorción se obtenidos utilizando el modelo de Oswin. Temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C

Las Figuras 24, 25 ,26 y 27 muestran los resultados experimentales y los resultados calculados usando el modelo de Oswin a 20°C, 30°C y 40°C.

La Tabla 8 muestra los parámetros de la ecuación de Oswin

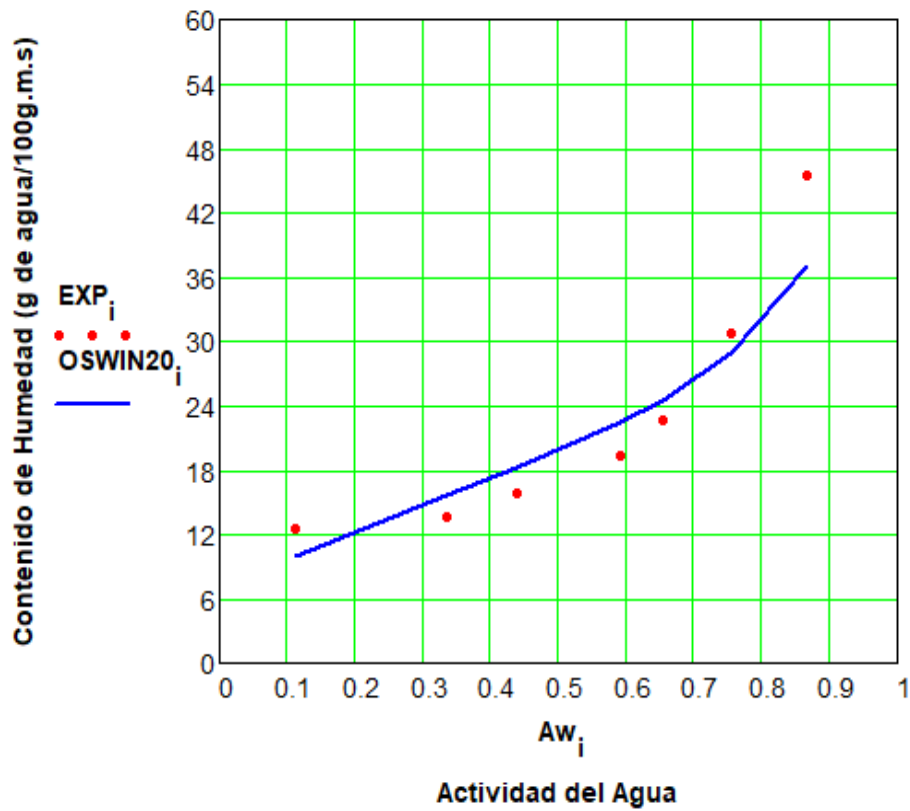


Figura 22. Isoterma de adsorción de Oswin a 20°C

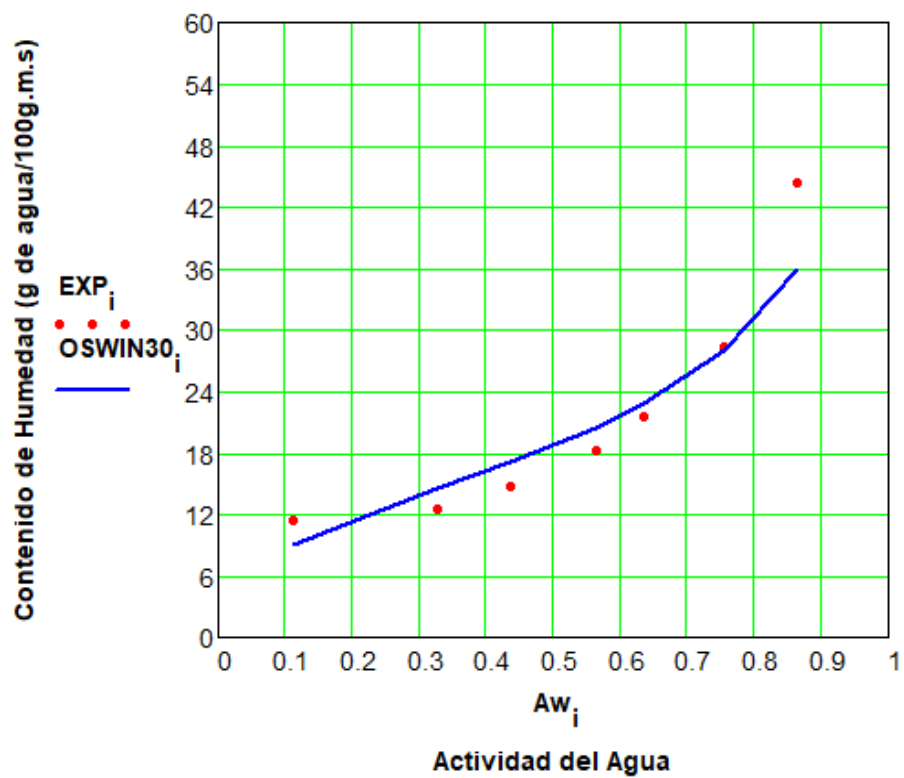


Figura 23. Isoterma de adsorción de Oswin a 30°C

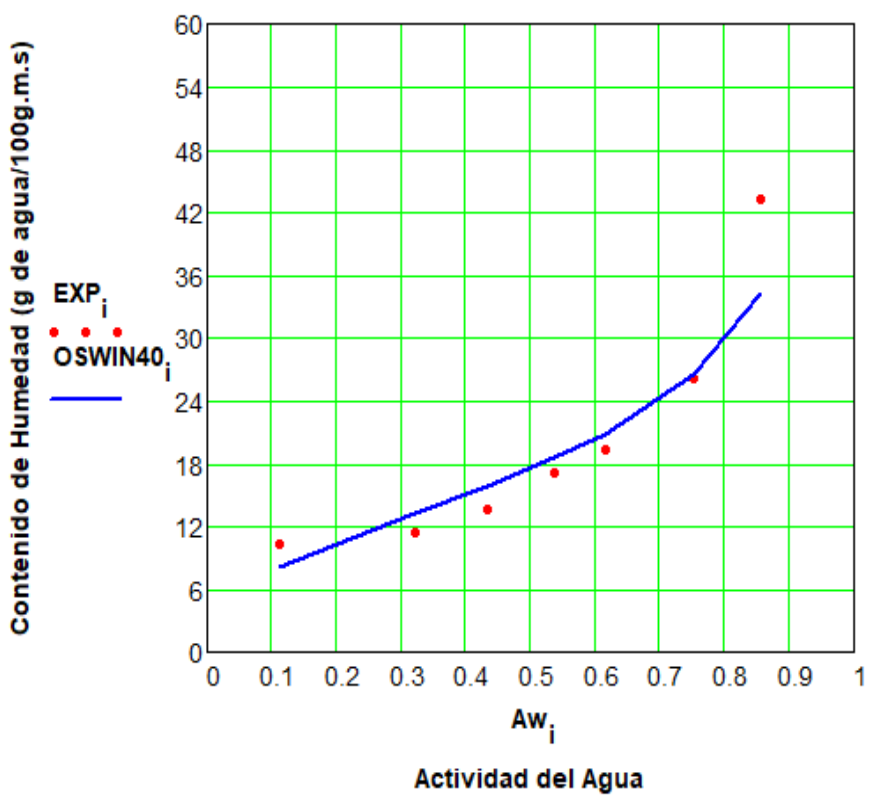


Figura 24. Isoterma de adsorción de Oswin a 40°C

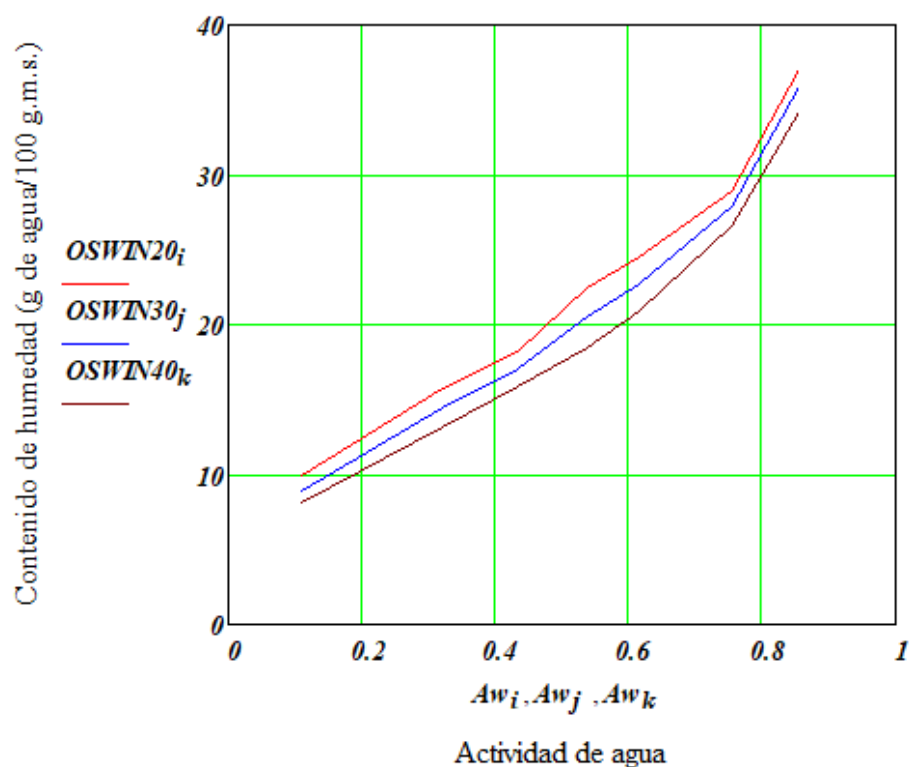


Figura 25. Isotermas de adsorción de Oswin a 20°C, 30°C y 40°C

TABLA VIII.

VALORES DE LOS PARÁMETROS A Y B DEL MODELO OSWIN PARA
ARÁNDANOS DESHIDRATADOS

Parámetros de la ecuación			
de Oswin	T = 20°C	T = 30°C	T = 40°C
A	19.777	18.698	17.206
B	0.336	0.355	0.375

3.9. Isotermas de adsorción y parámetros de adsorción, obtenidos con el modelo de Smith. A 20°C, 30°C y 40°C

Las Figuras 28, 29 ,30 y 31 muestran los resultados experimentales y los calculados mediante el modelo de Smith a 20°C, 30°C y 40°C de temperatura.

La Tabla 9 muestran los parámetros de la ecuación de Smith

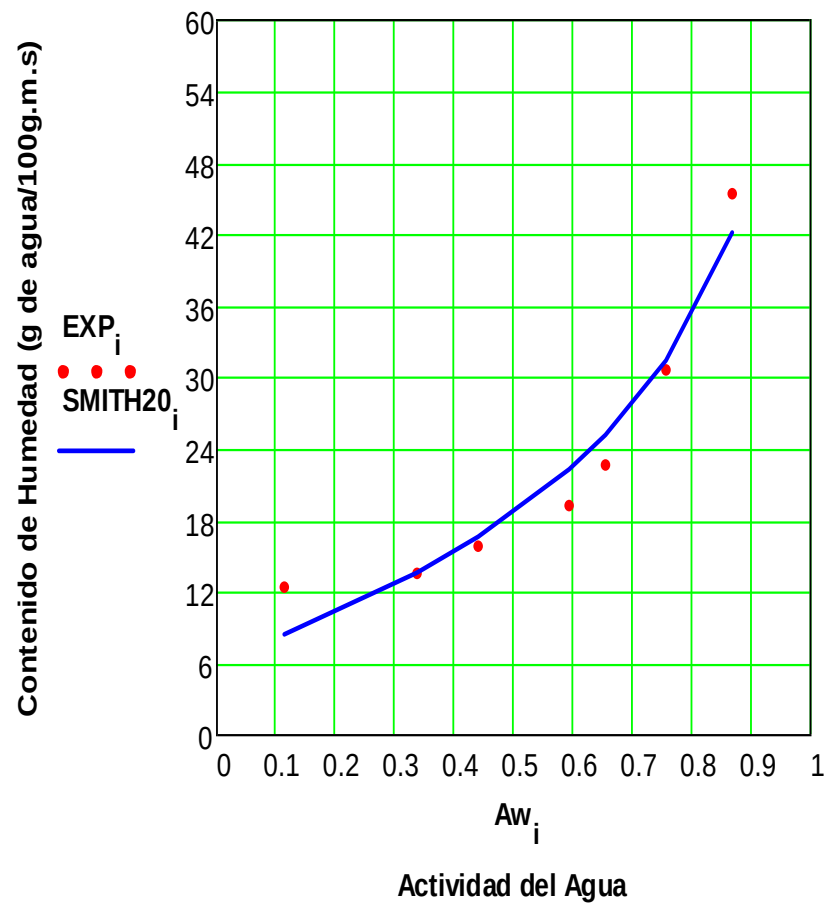


Figura 26. Isoterma de adsorción de Smith a 20°C

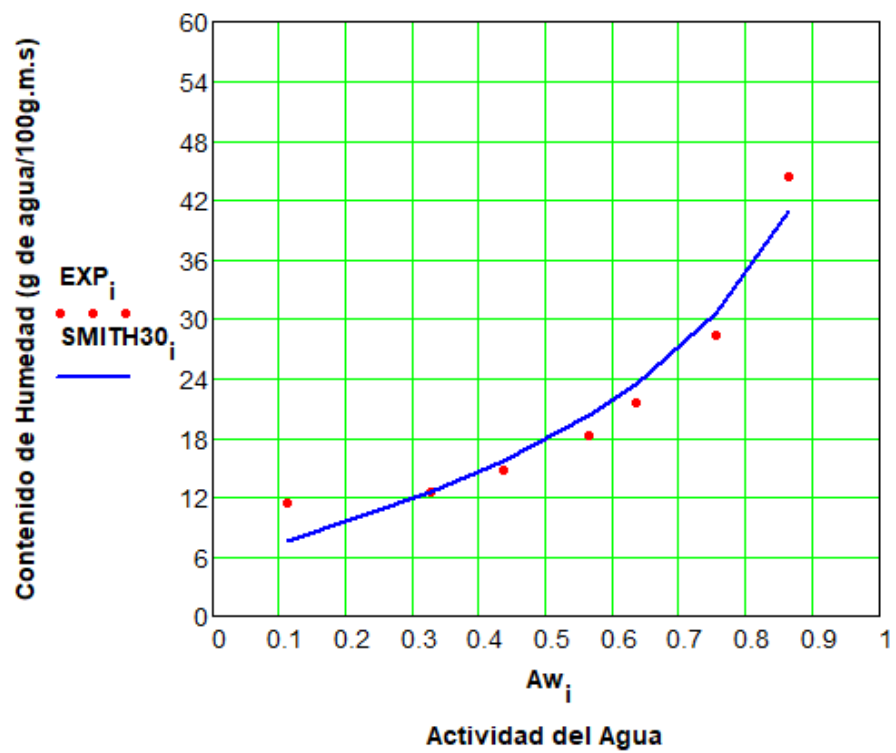


Figura 27. Isoterma de adsorción de Smith a 30°C

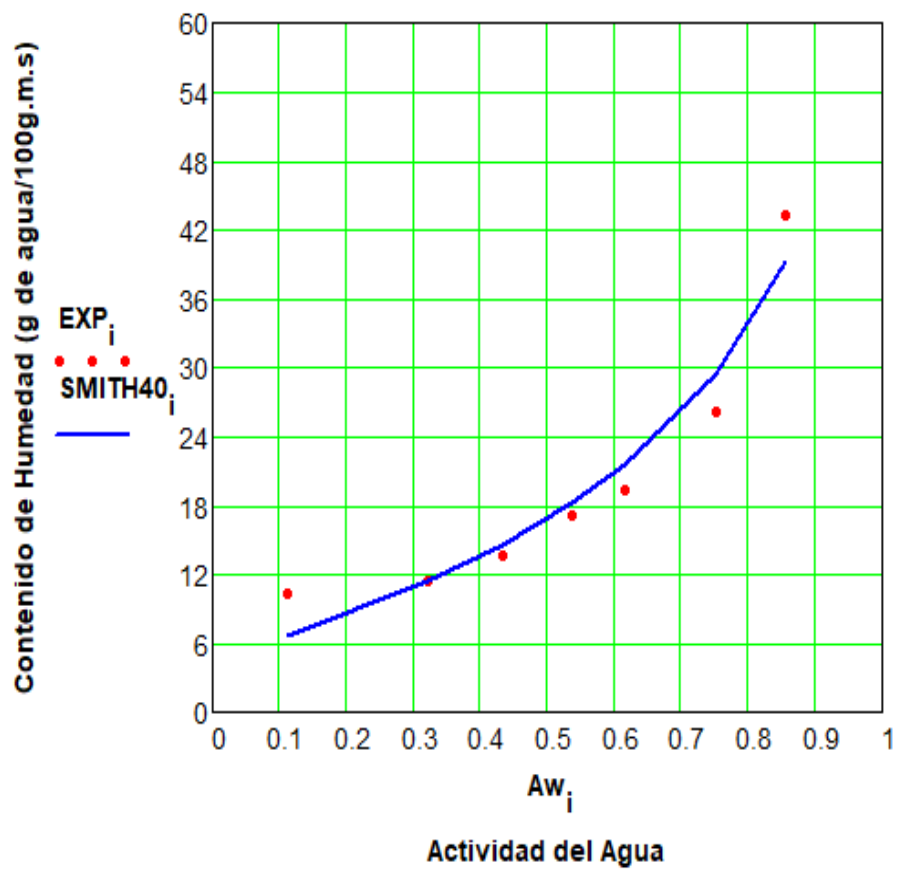


Figura 28. Isoterma de adsorción de Smith a 40°C

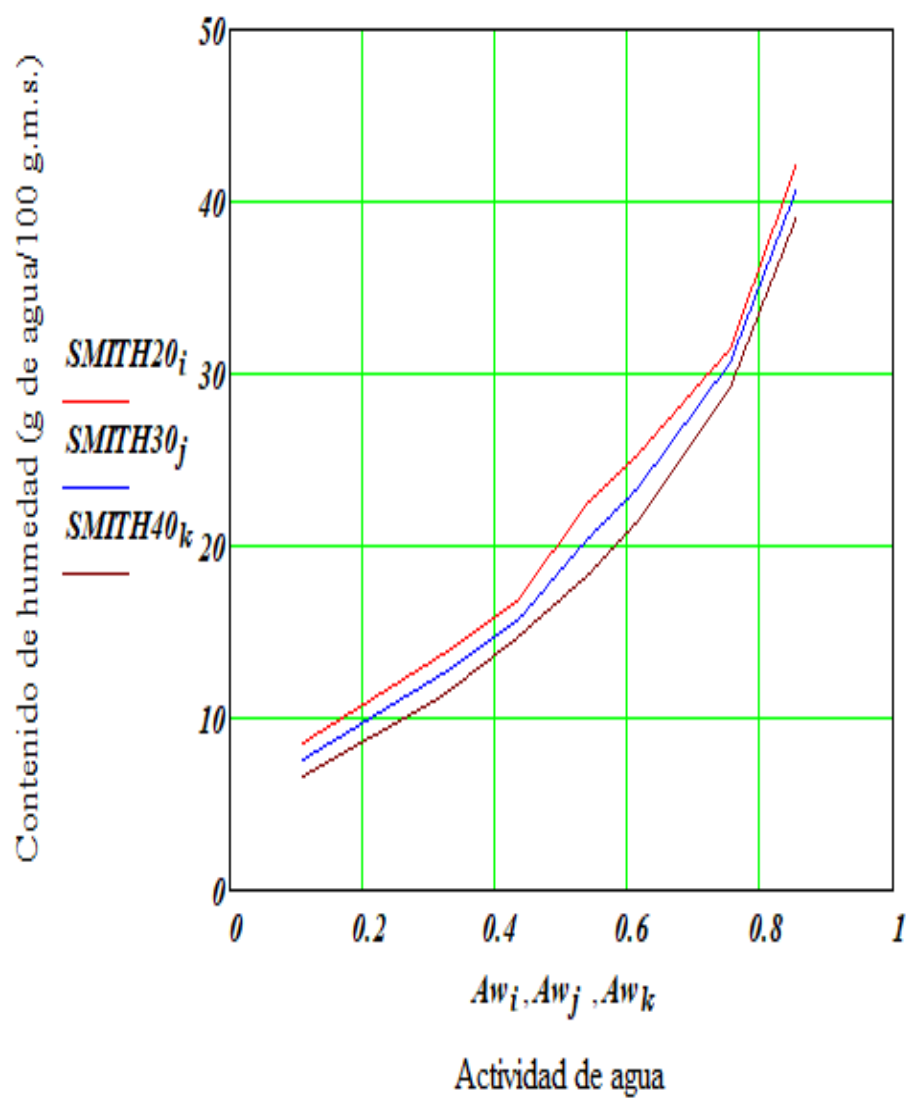


Figura 29. Isotermas de adsorción de Smith a 20°C, 30°C y 40°C

TABLA IX.

VALORES DE LOS PARÁMETROS A Y B EN EL MODELO DE SMITH
 PARA EL ARÁNDANO DESHIDRATADO

Parámetro de la ecuación de			
Smith	T = 20°C	T = 30°C	T = 40°C
A	6.4	5.519	4.434
B	-17.817	-17.792	-17.912

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

Las Figuras 36, 37, 38 y 39 muestran los resultados experimentales y los calculados mediante el modelo de BET a 20°C, 30°C y 40°C de temperatura

La Tabla 10 se muestran los parámetros de la ecuación de BET

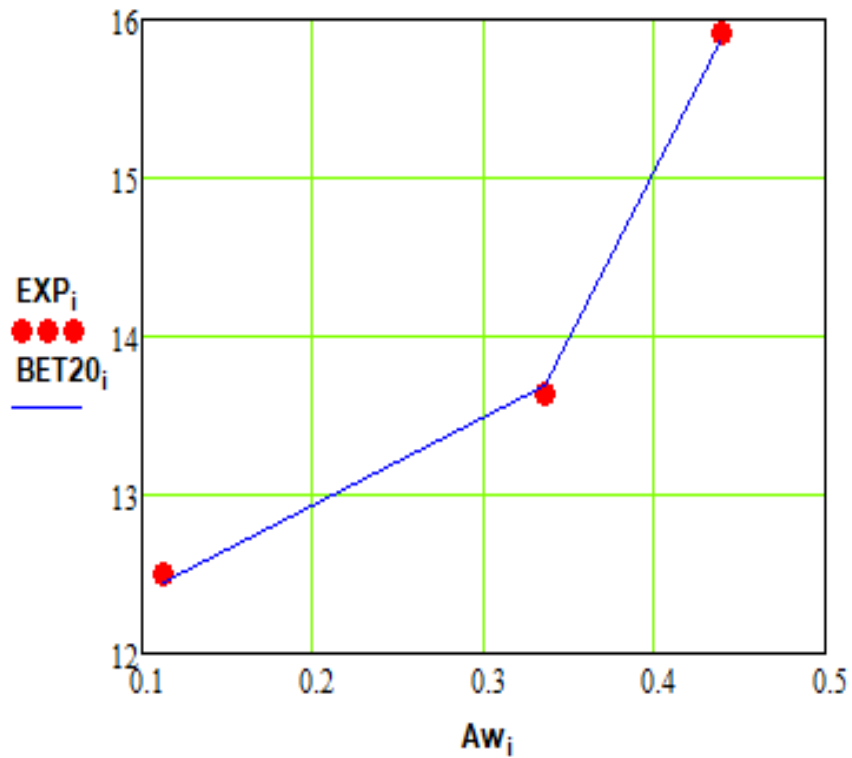


Figura 30. Isotermas de adsorción de B.E.T. a 20°C

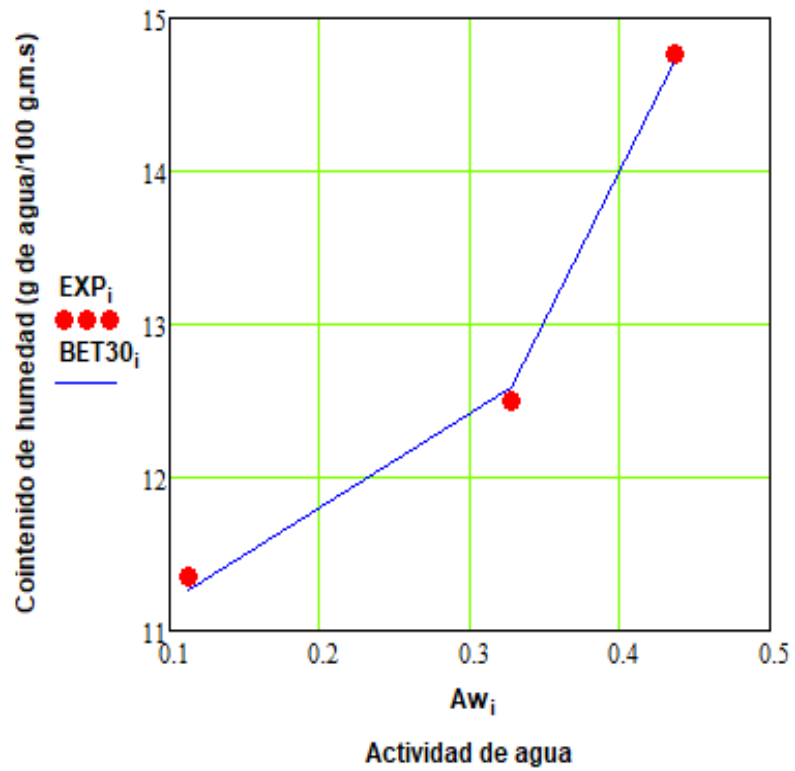


Figura 31. Isotermas de adsorción de B.E.T. a 30°C

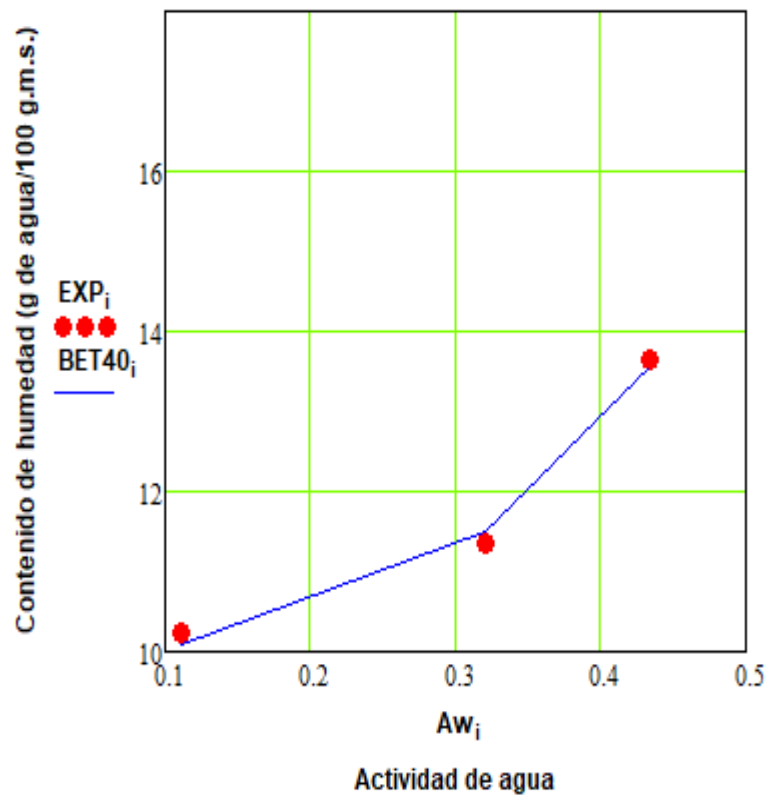


Figura 32. Isotermas de adsorción de B.E.T. a 40°C

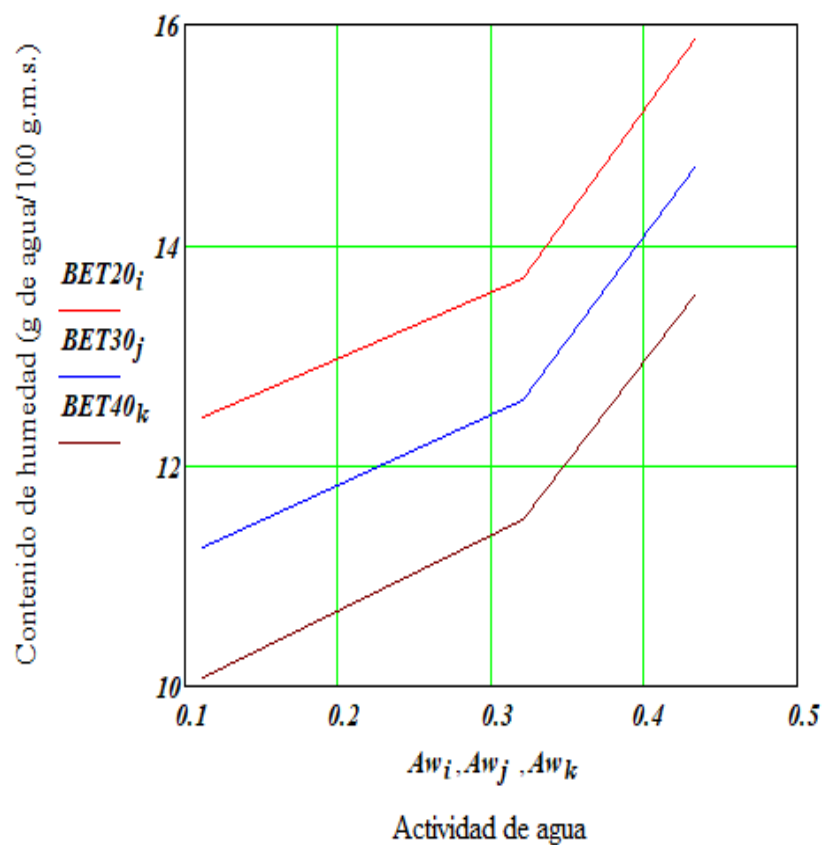


Figura 33. Isotermas de adsorción de B.E.T. a 20°C, 30°C y 40°C

TABLA X.

ESTIMACIONES DE LOS PARÁMETROS X_m , C DEL MODELO BET DE
ARÁNDANOS DESHIDRATADOS

Parámetros de la ecuación

de BET	T = 20°C	T = 30°C	T = 40°C
X_m	8.585	8.033	7.466
C	-35.337	-40.309	-47.974

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

Las Figuras 40, 41 y 42 presentan las curvas experimentales y modeladas a 20°C, 30°C y 40°C, respectivamente utilizando las siete ecuaciones propuesta

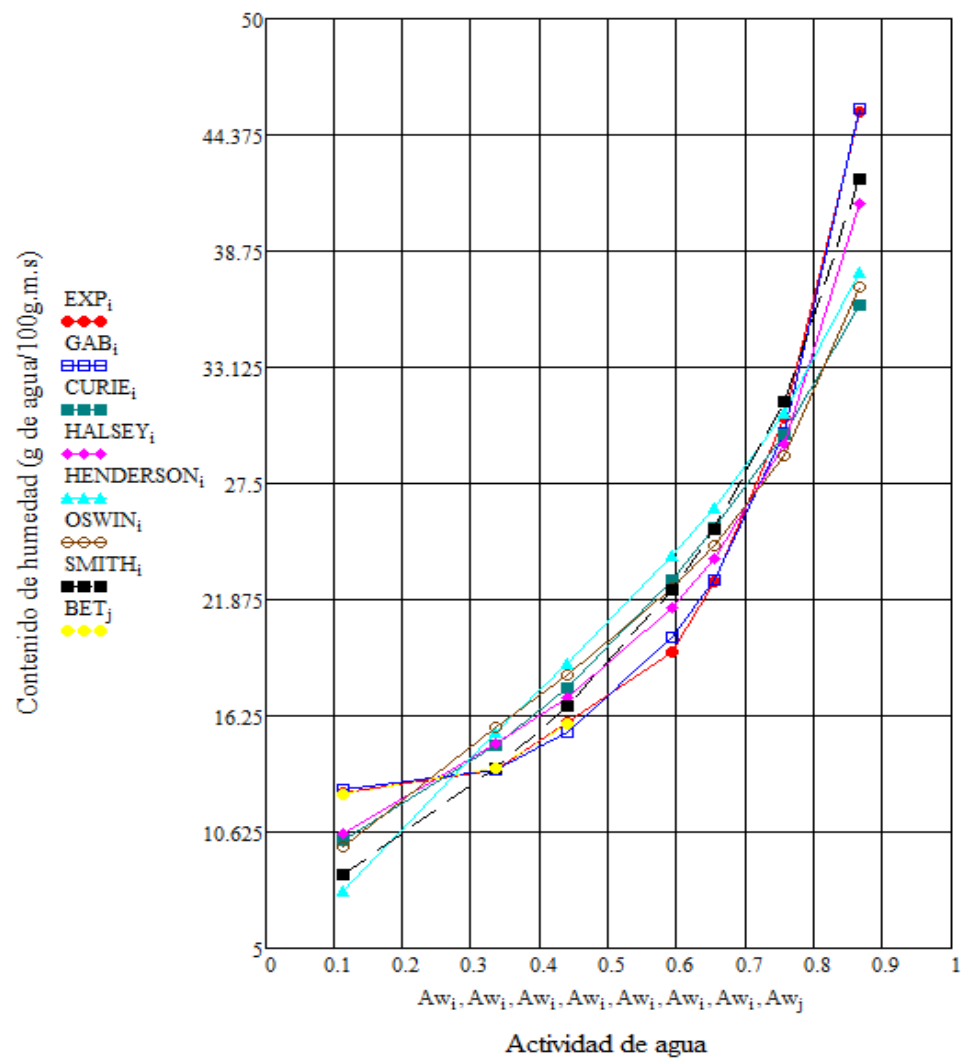


Figura 34. curva de adsorción para el arándano deshidratado a 20°C, datos experimentales y sus modelos

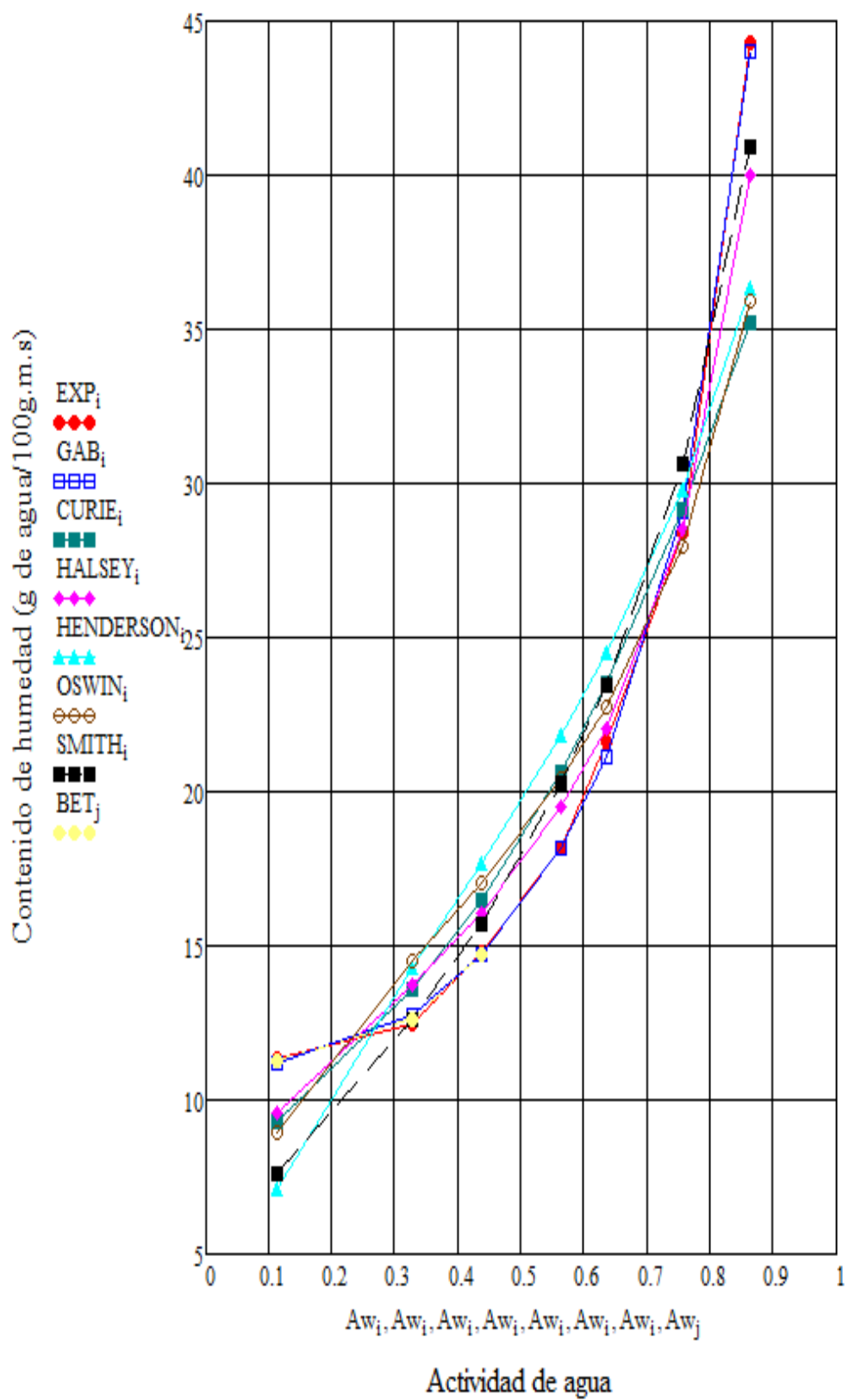


Figura 35. curva de adsorción para el arándano deshidratado a 30°C, datos experimentales y sus modelos

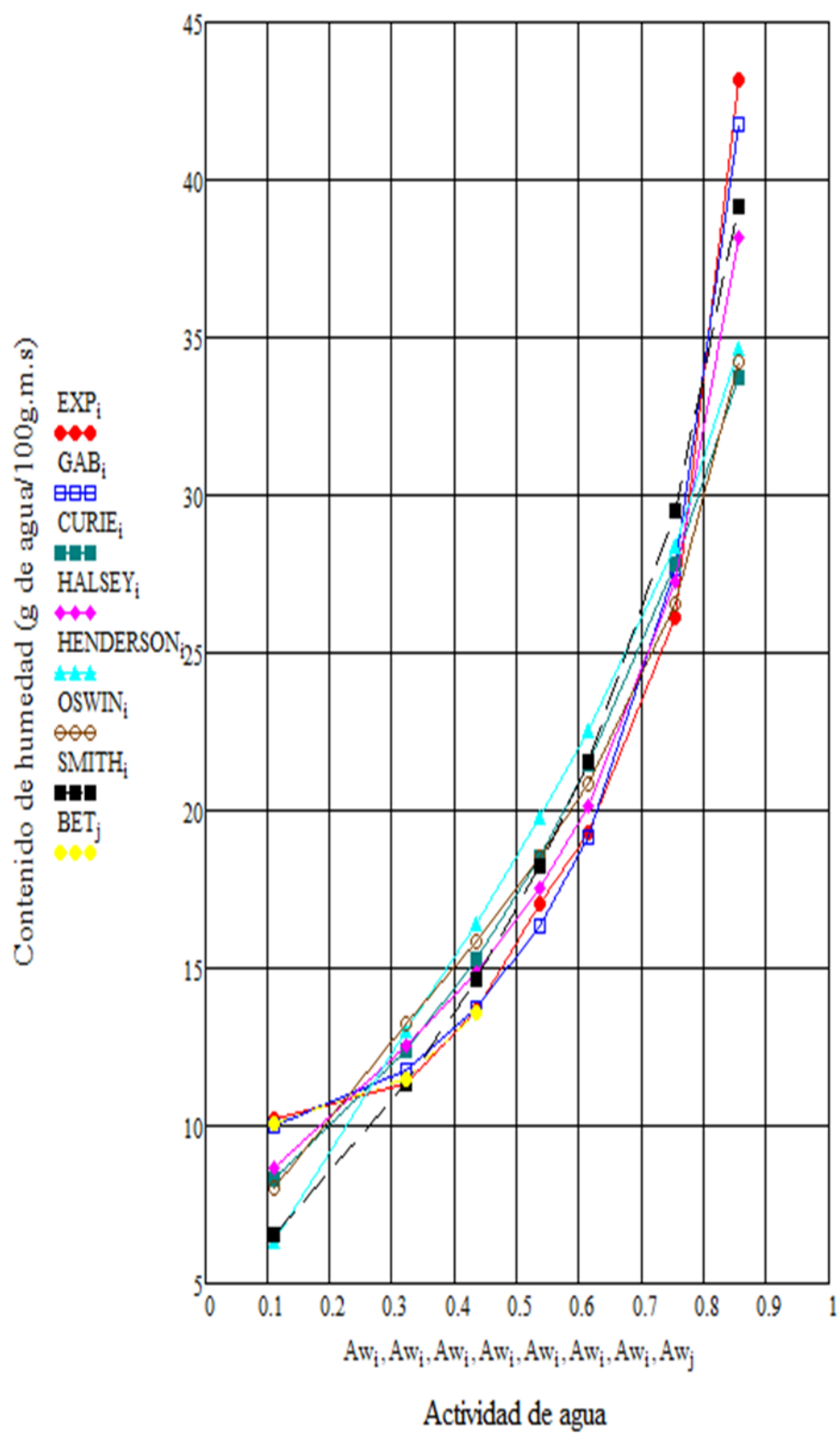


Figura 36. Curva de adsorción para el arándano deshidratado a 40°C, datos experimentales y su modelo

Coeficiente de correlación y valores de error medio relativo.

En la Tabla 11 se muestran los valores de los coeficientes de correlación y los errores relativos medios para cada ecuación para los arándanos deshidratados

TABLA XI.

COEFICIENTES DE CORRELACIÓN Y EL ERROR MEDIO RELATIVO
PARA EL ARÁNDANO DESHIDRATADO

ECUACIÓN	Temperatura	R	EMS %
GAB	20°C	0.996	2.066
	30°C	0.998	1.596
	40°C	0.992	3.44
CAURIE	20°C	0.939	17.455
	30°C	0.950	13.334
	40°C	0.951	13.552
HALSEY	20°C	0.973	9.673
	30°C	0.979	8.942
	40°C	0.978	9.288
HENDERSON-THOMPSON	20°C	0.880	33.756
	30°C	0.891	20.487
	40°C	0.893	21.028
OSWIN	20°C	0.933	14.471
	30°C	0.941	14.577
	40°C	0.942	14.984
SMITH	20°C	0.973	17.888
	30°C	0.975	14.351
	40°C	0.969	15.956
BET	20°C	1.000	0.371
	30°C	1.000	0.698
	40°C	1.000	1.163

IV. DISCUSIÓN

En la tabla 3 y en la figura 7 se observa que el contenido de humedad de equilibrio aumenta con el incremento de la A_w , así mismo para un valor de A_w el contenido de humedad de equilibrio aumenta con la temperatura.

El modelo de GAB determina que los valores de la capa monomolecular disminuyen con el aumento de la temperatura de 8.805 a 7.928 g de agua/100 g.m.s para un intervalo de temperatura de 20 a 40 °C.

Para los modelos Halsey, Caurie, Henderson-Thompson, Oswin y Smith, se observa que para una actividad de A_w determinada los contenidos de humedad de equilibrio disminuyen con el aumento de la temperatura.

Para el modelo de BET, se observa que para una actividad de A_w determinada los contenidos de humedad de equilibrio disminuyen con el aumento de la temperatura. Los valores de la capa monomolecular varían de 9.68 a 8,42 g de agua /100 g.m.s para un rango de temperaturas de 20 a 40 °C

Con relación a los modelos matemáticos podemos manifestar que la mayoría de los modelos tiene la tendencia a formar curvas sigmoidales

V. CONCLUSIONES

Las principales conclusiones del trabajo de investigación son:

Las isothermas obtenidas presentan forma sigmoideal, como la gran mayoría de alimentos.

Se comprueba que la temperatura influye en el fenómeno de la adsorción, cuando la temperatura aumenta los contenidos de humedad para un valor determinado del A_w disminuye.

El modelo matemático de GAB es el que presento mayor correlación con los datos obtenidos experimentalmente con un $r = 0.996$ a 20°C , $r = 0.998$ a 30°C y un $r = 0.992$ a 40°C , Por otro lado, los valores del error medio relativo fueron: $\text{EMS} = 2.066$ a 20°C , $\text{EMS} = 1.596$ a 30°C y $\text{EMS} = 3.44$ a 40°C

Los valores de la capa monomolecular obtenidas del modelo matemático de GAB fueron: para la temperatura de 20°C 8.805 g de agua/100 g.m.s, para 30°C 8.479 g de agua/100 g.m.s, y para 40°C 7.928 g de agua/100 g.m.s

VI. RECOMENDACIONES

Realizar investigaciones para obtener las curvas de desorción para el arándano

Realizar trabajos de investigación con otros tipos de frutas.

Realizar investigaciones para determinar la vida útil del arándano deshidratado.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] G. Barbosa, Manual de Laboratorio de Ingenieria en Alimentos, España: Acriba, S.A, 1997, pp. 71-88.
- [2] S. Badui, Quimica de los alimentos, Mexico: Pearson, 2006, p. 29.
- [3] «Hiperbaric,» [En línea]. Available: <https://www.hiperbaric.com/es/actividad-de-agua-aw/>. [Último acceso: 02 setiembre 2020].
- [4] «Real Academia de Ingenieria,» [En línea]. Available: <https://diccionario.raing.es/es/lema/capa-monomolecular>. [Último acceso: 28 agosto 2020].
- [5] T. Labuza, «Influence Of Relative Humidity of the Physicochemical State of Lactose in Sparey-Dried Sweet Whey Powders,» *Journal of Food Processing and Preservation*, vol. 45, nº 5, pp. 1231-1236, 1980.
- [6] T. Labuza, Essentials of Functional Foods, Gaithersburg: An Aspen Publication, 2003, pp. 49-53.
- [7] M. Madigan, Brock. Biologia de los microorganismos, 10 ed., Madrid: Pearson Prentice Hall, 2003, p. 120.
- [8] N. Martinez, A. Andres y A. C. y. P. Fito, Termodinamica y Cinetica de Sistemas Alimento Entono, España: Universitaria Politecnica de Valencia, 1999, pp. 155-160.
- [9] R. M. y R. Rajo, «Influencia del Tamaño de Particulas en las Isotermas de Adsorcion del Harina de Haba (Vicia faba L.),» vol. 1, nº 1, 2010.

- [10] J. M. y. H. Bizot, Water Adsorption in Cereal Food and Water Activity Measurement, pp. 97-199.
- [11] A. Piloso, G. Bartolomai y J. B. R. Chirife, «"Efecto del tratamiento térmico sobre las isothermas de sorción y la solubilidad de la harina y los aislados de proteína de frijol Phaseolus vulgaris",» *Journal of Food Science*, vol. 47, n° 4, pp. 1288-1290, 1982.
- [12] F. Quintero, Determinacion de las condiciones de manejo del producto terminado de harina Nixtamalizada y Fortificada, Serdan Puebla: Instituto Tecnológico Superior de Ciudad Serdan, 2008.
- [13] M. Ramirez, Determinacion de isothermas de sorcion en harina de maiz a tres temperaturas y su ajuste a modelos matematicos, Mexico: Insituto Politecnico Nacional Mexico, 2012, pp. 1-2.
- [14] M. R. y. S. Rizvi, Engineering Properties Of Foods, New York: Marce Dekker Inc, 1986, pp. 133-214.
- [15] A. Sandoval, J. Barreiro y X. y. A. M. Tovar, Caracteristicas de Sorcion del Cacao Fermentado en Polvo (Thobroma Cacao), vol. 25, Revista Tecnica Ingenieria Universidad de Zulia, 1986, pp. 1-7.
- [16] F. Urquizo Zuñiga y K. Valdivia Salas, omparacion del efecto del secado combinado; osmodeshidartado - secado con el secado convencio nal para la obtencion de harina de penca de tuna (opuntia ficus indica), Areqipa: Tesis Universidad Nacional de San Augustin, 2015.
- [17] C. y. B. S. Van der Berg, Actividad del agua y su estimación en sistemas alimentarios. En: Rockland, LB y Stewarts, GF, Eds.,

Aspectos teóricos en la actividad del agua: Influencia en la calidad de los alimentos, Nueva York: Academic Press, 1981, pp. 1-43.

- [18] G. Bolivar, «Lifeder,» [En línea]. Available: <https://www.lifeder.com/isotermas-de-adsorcion/>. [Último acceso: 28 agosto 2020].

- [19] «El Comercio,» 15 octubre 2011. [En línea]. Available: <https://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/tuna-cuatro-variedades-se-producen.html>. [Último acceso: 24 noviembre 2019].