



Universidad Nacional
SAN LUIS GONZAGA



[Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0)

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>



INFORME DE REVISIÓN

Se ha realizado el análisis con el software antiplagio de la Universidad Nacional "San Luis Gonzaga", por parte de los docentes reponsables, al documento cuyo titulo es:

MODELO MATEMÁTICO QUE SE AJUSTA A LA CURVA DE ADSORCION OBTENIDO EXPERIMENTALMENTE EN EL ESPÁRRAGO DESHIDRATADO (*Asparagus officinalis*)

presentado por:

ERNESTO ALEXANDER PACHAS GUTIERREZ

del nivel **PREGRADO** de la facultad de **INGENIERIA PESQUERA Y DE ALIMENTOS** obteniéndose como resultado una coincidencia de **9.5%** otorgándosele el calificativo de:

APROBADO

Se adjunta al presenta el reporte de evaluación del software antiplagio.


Observaciones:

APROBADO OBTUVO 9.50% (MENOR AL 30% REQUERIDO)

Ica, 15 de Enero de 2020



JULIO HERNAN ARENAS VALER
COORDINADOR
SOFTWARE ANTIPLAGIO
FACULTAD DE INGENIERIA PESQUERA Y FACULTAD DE INGENIERIA PESQUERA Y DE ALIMENTOS



ANGEL PASCASIO RUIZ FIESTAS
ASESOR
SOFTWARE ANTIPLAGIO
FACULTAD DE INGENIERIA PESQUERA Y DE ALIMENTOS

**UNIVERSIDAD NACIONAL “SAN LUIS GONZAGA” DE ICA
FACULTAD DE INGENIERÍA PESQUERA Y DE ALIMENTOS**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE ALIMENTOS



TESIS

**“MODELO MATEMÁTICO QUE SE AJUSTA A LA CURVA DE
ADSORCION OBTENIDO EXPERIMENTALMENTE EN EL
ESPÁRRAGO DESHIDRATADO (*Asparagus officinalis*)”**

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE ALIMENTOS

PRESENTADO POR:

BACHILLER: ERNESTO ALEXANDER PACHAS GUTIÉRREZ

ASESOR:

Dr. NELIDA LUCIA AVALOS SEGOVIA

ICA – PERÚ

2019

DEDICATORIA

Dedico esta investigación a mi madre, por querer lo mejor para mí te admiro y te respeto, gracias por darme tu apoyo siempre por querer lo mejor para mí en todo momento.

A mi esposa por el apoyo incondicional.

A mis hijos mi inspiración para el logro de mis sueños.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a los docentes de la Escuela Ingeniería de Alimentos, quienes se han esforzado por ayudarme y orientarme durante el desarrollo de mi investigación, especialmente a mí asesor, por su valioso apoyo y profesionalismo.

INDICE

	Pag.
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCION	3
I EL PROBLEMA	4
1.1.1 Formulación del problema	5
3.2Objetivos	5
1.2.1 Objetivo general	5
1.2.2 Objetivos específicos	5
1.3 Importancia y justificación de la investigación	5
1.4 Hipótesis	6
II MARCO TEÓRICO	7
2.1 Antecedentes de la investigación	7
2.2 Marco teórico	9
2.2.1 Descripción del espárragos	9
2.2.1.1 Clasificación taxonómica	11
2.2.1.2 Tipos de espárragos	12
2.2.1.3 Composición química del espárragos	16
2.2.2 Isoterma de sorción.	16
2.2.2.1 Clasificación de las isotermas de sorción	19
2.2.2.2 Efecto de la temperatura sobre la actividad de agua	

	2.2.2.3	Concepto de capa monomolecular	22
	2.2.2.4	Modelos matemáticos	23
III		METODOLOGIA	24
	3.1	Tipo y nivel de investigacion	24
	3.2	Materiales	25
	3.3	Método para la obtención de las curvas de adsorción para los espárragos deshidratados	28
	3.3.1	Modelo para obtener los parámetros de adsorción y el coeficiente de correlación de la ecuación de G.A.B.	29
	3.3.2	Modelo para obtener los parámetros de adsorción y el coeficiente de correlación de la ecuación de CAURIE	29
	3.3.3	Modelo para obtener los parámetros de adsorción y el coeficiente de correlación de la ecuación de HALSEY	30
	3.3.4	Modelo para obtener los parámetros de adsorción y el coeficiente de correlación de la ecuación de HENDERSON-THOMPSON	30
	3.3.5	Modelo para obtener los parámetros de adsorción y el coeficiente de correlación de la ecuación de B.E.T	31
	3.3.6	Fórmula para calcular el error medio relativo	31
IV		PRESENTACION Y DISCUSION DE LOS RESULTADOS	31
	4.1	Isotermas de adsorción obtenidas experimentalmente para el esparrago deshidratado.	34

4.2	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 espárragos deshidratado	34
4.3	Isotermas de adsorción y parámetros de adsorción, obtenidos con el modelo de Caurie a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C	37
4.4	Isotermas de adsorción y parámetros de adsorción, obtenidos con el modelo de Halsey a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C	40
4.5	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	43
4.6	Isotermas de adsorción y parámetros de adsorción, obtenidos con el modelo de B.E.T. a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C	46
4.7	Valores del coeficiente de correlación y el error medio Relativo	48
V	CONCLUSIONES	49
VI	RECOMENDACIONES	50
VII	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
	ANEXOS	54

INDICE DE FIGURAS

	Pag.
Fig. 1 El espárrago	12
Fig. 2 Espárragos verdes	13
Fig. 3 Espárragos blancos	15
Fig. 4 Espárragos morados	16
Fig. 5 Curvas de adsorción y desorción	17
Fig. 6 Clasificación de las Isotermas de sorción	20
Fig. 7 Isotermas de sorción a diferentes temperaturas	21
Fig. 8 Curvas de adsorción experimental para los espárragos deshidratados a las temperaturas de 20 ° C, 30 ° C y 40 ° C	34
Fig. 9 Isotermas de adsorción de G.A.B. a la temperatura de 20°C	35
Fig. 10 Isotermas de adsorción de G.A.B. a la temperatura de 30°C	35
Fig. 11 Isoterma de adsorción de G.A.B. a la temperatura de 40°C	36
Fig. 12 Isotermas de adsorción de GAB a 20°C , 30°C y 40°C	36
Fig. 13 Isoterma de adsorción de Caurie a la temperatura de 20°C	38
Fig. 14 Isoterma de adsorción de Caurie a la temperatura de 30°C	38
Fig. 15 Isoterma de adsorción de Caurie a la temperatura de 40°C	39

Fig. 16	Isotermas de adsorción de Caurie a 20°C , 30°C y 40°C	39
Fig. 17	Isoterma de adsorción de Halsey a 20°C	41
Fig. 18	Isoterma de adsorción de Halsey a 30°C	41
Fig. 19	Isoterma de adsorción de Halsey a 40°C	42
Fig. 20	Isotermas de adsorción de Halsey a 20°C , 30°C y 40°C	42
Fig. 21	Isoterma de adsorción de Henderson – Thompson a 20°C	44
Fig. 22	Isoterma de adsorción de Henderson – Thompson a 30°C	44
Fig. 23	Isoterma de adsorción de Henderson – Thompson a 40°C	45
Fig. 24	Isotermas de adsorción de Henderson – Thompson a 20°C , 30°C y 40°C	45
Fig. 25	Isotermas de adsorción de B.E.T. a 20°C	47
Fig. 26	Isotermas de adsorción de B.E.T. a 30°C	47
Fig. 27	Isotermas de adsorción de B.E.T. a 40°C	48
Fig. 28	Isotermas de adsorción de B.E.T. a 20°C , 30°C y 40°C	48

INDICE DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1 Composición nutritiva de los espárragos cocidos	16
Tabla 2. Contenido de humedad de equilibrio para los espárragos deshidratados a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C, a diferentes actividades de agua	33
Tabla 3. Valores de los parámetros X_m , C_g y K del modelo G.A.B. estimados para los espárragos deshidratados	37
Tabla 4. Valores de los parámetros γ , X_s del modelo Caurie estimados para espárragos deshidratados	40
Tabla 5. Valores de los parámetros α y β del modelo Halsey estimados para espárragos deshidratados	43
Tabla 6. Valores de los parámetros f , η del modelo Henderson – Thompson estimados para espárragos deshidratado	46
Tabla 7. Valores de los parámetros X_m , C del modelo B.E.T estimados para el espárragos deshidratado	49
Tabla 8 Coeficientes de correlación y el error medio relativo para los espárragos deshidratados.	50

RESUMEN

El trabajo de Tesis “Modelo matemático que se ajusta a la curva de adsorción obtenido experimentalmente en el espárrago deshidratado (*Asparagus officinalis*)” tiene como objetivo evaluar los diferentes modelos matemáticos que se utilizan para obtener las isotermas de adsorción y sus respectivos parámetros.

Las conclusiones del trabajo fueron: Las curvas de adsorción para el espárragos deshidratado presentan forma sigmoïdal. 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, presentando alta correlación y el mejor error relativo el modelo de G.A.B. Los valores de la capa monomolecular fueron: para la temperatura de 20°C 12.138 g de agua/100 g.m.s, para 30°C 11.834 g de agua/100 g.m.s, y para 40°C 11.004 g de agua/100 g.m.s

Palabras claves: Espárragos, isotermas de adsorción, capa monomolecular, modelos matemáticos

ABSTRACT

The thesis work “Mathematical model that conforms to the adsorption curve obtained experimentally in dehydrated asparagus (*Asparagus officinalis*)” aims to evaluate the different mathematical models that are used to obtain the adsorption isotherms and their respective parameters

The conclusions of the work were: The adsorption curves for the dehydrated asparagus have a sigmoidal shape. The moisture content for the same water activity decreases depending on the temperature. To obtain the adsorption curves with mathematical models, the models of G.A.B, B.E.T, Halsey, Henderson-Thompson and Curie were used, presenting high correlation and the best relative error model G.A.B. The values of the monomolecular layer were: for the temperature of 20 ° C 12.138 g of water / 100 g.d.m, for 30 ° C 11.834 g of water / 100 g.d.m and for 40 ° C 11.004 g of water / 100 g.d.m

Keywords: Asparagus, adsorption isotherms, monomolecular layer, mathematical models

INTRODUCCION

El espárrago es un alimento deseado por todos los países, en donde sus habitantes lo consumen no solo en temporada sino durante todo el año. Ahí es donde nuestro país cumple un papel importante, ¿sabías que en la actualidad el Perú es considerado uno de los principales países exportadores de espárragos del mundo?, y no solo eso, en varias ocasiones ha logrado desplazar a importantes países productores como China y Estados Unidos, y ha sido reconocido mundialmente por la calidad de su producto.

Nuestro país produce básicamente dos tipos de espárragos: el espárrago blanco, que crece bajo tierra y se usa principalmente para las conservas, aunque un porcentaje menor del mismo se exporta fresco. Y el más conocido, el espárrago verde que principalmente se exporta fresco a distintos mercados. En ambos casos, nuestro país exporta esta hortaliza en tres presentaciones: frescos, conservas y congelados. Otra alternativa de conservación es la deshidratación y para esto es importante determinar el contenido de humedad de conservación.

Palou menciona que el conocimiento de las características de adsorción del agua es imprescindible para los pronósticos hacia una vida útil y la decisión de la humedad crítica y actividad de agua para la aprobación de productos que sufren daño por ganancia de humedad (Palou, 1997).

De acuerdo a Pezzutti y Crapiste menciona que desde su perspectiva del secado, las isotermas de adsorción se emplean no sólo para el modelado y la simulación, además para precisar el lugar de conclusión del proceso (Pezzutti y Crapiste, 1997).

CAPITULO I: EL PROBLEMA

3.3 Planteamiento del problema

El espárrago es una hortaliza originaria del Asia, de la cual se utiliza para el consumo, el brote tierno denominado “turión”. Se utiliza frecuentemente en preparaciones especiales de “alta cocina” y es una fuente primordial de compuestos que contribuyen a una adecuada circulación sanguínea.

Los alimentos deshidratados aumentan su vida útil debido a la disminución de la actividad de agua, que origina que el alimento no sea atacado por microorganismos, ni se produzcan reacciones químicas, que disminuyan la calidad nutricional. Pero la captación de humedad cuando estos alimentos no son correctamente empacados y almacenados origina una disminución de la vida útil del alimento. Para obtener este valor que garantice la calidad del alimento se utilizan modelos matemáticos que permiten determinar estos parámetros, pero el problema es la confiabilidad de estas ecuaciones por lo que es necesario hacer una evaluación estadística que nos indique cual se ajusta más a los datos experimentales.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Existe un modelo matemático, que se ajuste a la curva de adsorción obtenidos experimentalmente para los espárragos deshidratados?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Existen la obtención de curvas de adsorción con datos experimentales?
- ¿Existen la obtención de adsorción con modelos matemáticos?
- ¿Existen parámetros de adsorción (valor de la capa monomolecular, contenido de humedad de equilibrio, constante C y K de adsorción)?

1.1 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Evaluar los diferentes modelos matemáticos que se utilizan para obtener las de isothermas de adsorción y sus respectivos parámetros

1.4.2 Objetivos específicos

- Obtener las curvas de adsorción con datos experimentales.
- Obtener las curvas de adsorción con modelos matemáticos.
- Determinar los parámetros de adsorción (valor de la capa monomolecular, contenidos de humedad de equilibrio, constantes C y K de adsorción)

1.3 Importancia y justificación de la investigación

La investigación se justifica por la importancia que se radica mediante la aplicación de los modelos matemáticos obteniendo los parámetros de adsorción y teniendo como uno de ellos el valor de la capa monomolecular, valor que asegure que no hay actividad microbiana y por lo tanto no se produzcan reacciones químicas y sobre todo que la actividad del agua no actúa como solvente.

Además con el desarrollo del trabajo se pudo determinar los valores mínimos de humedad a la que puede ser secar el espárrago. Así mismo brindar información para seleccionar el tipo de empaque que requiere los espárragos deshidratados.

1.4 Hipótesis

1.4.1 Hipótesis General

Existe un modelo matemático, que se ajuste a la curva de adsorción obtenidos experimentalmente para los espárragos deshidratados

1.4.2 Hipótesis Específica

- Existe la obtención de curvas de adsorción con datos experimentales
- Existe la obtención de adsorción con modelos matemáticos
- Existen parámetros de adsorción (valor de la capa monomolecular, contenido de humedad de equilibrio, constante C y K de adsorción)

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

En nuestra Universidad no existen investigaciones referentes a las curvas de adsorción para el espárrago deshidratado.

Como antecedente podemos mencionar el trabajo de investigación de Alfredo Ayala Aponte (2009) Titulado “Estimación de las isothermas de adsorción y del calor isostérico en harina de yuca” donde se determinaron las isothermas de adsorción de humedad en harina de yuca a 20, 25, 30 y 35°C utilizando el método gravimétrico en el intervalo de la actividad del agua entre 0.111 y 0.901; y con los valores experimentales de adsorción se acomodaron mediante los modelos de GAB, BET, Oswin, Smith, Henderson y Chung y Pfof, asimismo el calor isostérico de sorción se resolvió por medio de la ecuación de Clausius-Clapeyron, por otra parte las isothermas alcanzadas mostraron una forma sigmoidea; el contenido de humedad de equilibrio se reduce con el aumento de la T° para un valor constante de actividad de agua. Los modelos de sorción GAB, Oswin y Smith fueron los que mejor se ajustaron a los valores experimentales, para finalizar el Qst disminuyó con el aumento del CHE obteniéndose un valor máximo y un mínimo entre 118.84 y 45.20 Kj/mol para humedades entre 5 y 35 (g agua/g ms) respectivamente

También podemos mencionar el trabajo de investigación de Matos-Chamorro, Alfredo y Rajo-Angulo, Renzo (2009) titulado “Influencia del

Tamaño de Partículas en las Isotermas de Adsorción del Harina de Haba (*Vicia faba L.*) Cuyo objetivo es estimar el dominio del tamaño de partícula sobre la facultad de adsorción de humedad de la harina de haba, en segundo lugar el logro de la harina fue denominada la cinética de secado, hallándose como humedad inicial 63 % bh para el haba fresca y 10 % bh en la harina, asimismo las isotermas de adsorción fueron determinadas empleando el método estático, con soluciones saturadas y de A_w conocida ($\text{LiCl} = 0.11$; $\text{MgCl}_2 = 0.23$; $\text{NaHCO}_3 = 0.54$; $\text{NaCl} = 0.75$; $\text{KNO}_3 = 0.93$), en mi criterio hasta hallar el equilibrio másico a temperatura constante ($25\text{ }^\circ\text{C}$) y si hablamos de las muestras serian de diferentes tamaños ya que fueron obtenidas por el beneficio 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. Por ultimo para el modelo B.E.T. el valor de monocapa, se localiza entre los valores de 0.02946 y 0.03691 g H_2O / 100g de MS; durante el modelo G.A.B el valor de la capa monomolecular varía entre 0.15817 y 0.18936 g H_2O / 100g de MS. Y la mejor calidad de ajuste se determina para el modelo propuesto por Henderson, con un ERM de 4.57 % para la malla 20.

2.2 Marco teórico

2.2.1 Descripción del espárragos

De acuerdo con el autor Altamirano hace referencia a la definición del espárrago como un brote tierno de la esparraguera, esta planta perteneciente a la familia de las lináceas, cuyas yemas comestibles salen en la primavera, asimismo estas hortalizas alcanzan un mayor crecimiento, sobre todo en el estado fresco y refrigerado, alcanzando un total de siembra próximas a las 20 mil hectáreas y una productividad de 20 mil kilos por hectárea. Finalmente en los meses de abril y mayo es cuando se recogen las mejores muestras (Altamirano, 2004).

En su indagación el autor menciona que la parte comestible del espárrago es el brote o yema y parte del tallo y a ellos son denominados espárragos trigueros o amargos ya que brotan rápidamente entre trigales, asimismo por su sabor, son los únicos frescos que se establecen en el mercado desde noviembre hasta abril, además es una planta herbácea, vivaz, de grueso rizoma, con tallo vertical alcanzando un metro y medio de altura debido a que las hojas son pequeñas, blanquecinas, casi invisibles; a la vez las flores aparecen a lo largo del tallo y hace en forma de campana ya que son muy pequeñas, midiendo unos 5mm, con un color verde claro. Por último el término del tallo, es ahí donde comienza a desarrollarse, este tallo es tierno y de textura gruesa a eso lo denominamos espárrago.

Altamirano (2004) en su investigación menciona las características del espárrago entre ellas está la forma, tamaño color y sabor:

Forma: Su forma es alargada, con pequeñas hojas en la punta en forma de escamas.

Tamaño: Mide entre 20 y 40 centímetros de largo. El calibre y peso dependen de la categoría a la que pertenezcan.

Color: Son blancos o verdes, aunque en algunos casos presentan tonalidades violetas o rosadas.

Sabor: Muy suave, con un ligero toque amargo a veces imperceptible.

De acuerdo con el autor Damper, señala que los espárragos carecen de nutrientes, pero tiene abundancia vitaminas A, B y C siendo muy saludables para el ser humano por consiguiente es de fácil digestión; se considera que el fósforo que contiene se transforma en ácido fosfórico dentro del organismo y aplica el acto estimulante que este alimento tiene en el sistema nervioso y como resultados mineralizantes para el esqueleto (Damper, 2015)

Entonces podemos decir que el espárrago lo podemos comer acompañado de alimentos ricos en calcio (cereales), asegura la fijación de éste a nivel de los huesos, como nos define el autor, además descubrimientos nuevos, menciona que es una de las verduras más ricas en *rutína*, sustancia antihemorrágica, en particular los espárragos contienen una sustancia sulfuroso volátil –la *asparagina*, manifestando un irritante olor fétido a la orina, pero regularmente es inocuo para el organismo (Damper, 2015).

Como parte de sus propiedades alimenticias se le apropia diferentes propiedades medicinales como la decocción de sus raíces que es aperitiva y diurética, además se utiliza, constantemente cuando no existan lesiones en las vías urinarias, asimismo en palpitations y otras afecciones cardíacas, infartos de bazo y de hígado, enfermedades pectorales, dolores 11efríticos, ictericia, histerismo y neurosis (Tres, 2006).

2.2.1.1 Clasificación taxonómica

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Liliopsida

Orden: Asparagales

Familia: Asparagaceae

Género: *Asparagus*

Especie: *A. officinalis* (Conabio, 2009).



Fig. 1 El espárrago

2.2.1.2 Tipos de espárragos

Los tipos de espárragos son:

Según Delgado detalla lo siguiente:

a) Variedades de color verde claro o blanco:

- Connovers Colosal.
- Mammouth White

De acuerdo con Delgado, los espárragos se desarrollan bajo tierra y al no recibir la luz solar no desarrolla la clorofila, que es el pigmento causante del color verde de los vegetales, por otro lado dentro de este grupo, destacan, la Argentevil, que es una variedad gruesa y firme, y Darbonne, que son espárragos gruesos de alta productividad. Para finalizar todo esto se comercializa ante todo procesado y la gran mayoría cultivados en la ciudad de la Libertad (Delgado, 1993).

b) Variedades de color verde oscuro:

Martha y Mary Washington Palmetto Argenti Luc 157 UC 72 También llamado espárrago negro, amargo o triguero, esta variedad de espárrago se reproduce en conexión con la luz del sol. Asimismo la clorofila se desarrolla y proporciona a este tipo de espárrago su color verde. Esta variedad son muy considerados por su sabor y son muy vendidas en el mercado y el tiempo que están disponibles son en los meses de noviembre y marzo. Esta variedad de espárrago se vende sobre todo en fresco y en definitiva se cultiva en los departamentos de Lima e Ica (Delgado, 1993).

Características sensoriales:

Según Loayza 2006 detalla las siguientes características:

Forma: Su forma es alargada, con pequeñas hojas en la punta en forma de escamas.

Tamaño: Mide entre 20 y 40 centímetros de largo. El calibre y peso dependen de la categoría a la que pertenezcan.

Color: Son blancos o verdes, aunque en algunos casos presentan tonalidades violetas o rosadas.

Sabor: Muy suave, con un ligero toque amargo a veces imperceptible.

2.2.1.3 Composición química del espárrago

La composición química del espárrago se presenta en la tabla 1.

Tabla 1 Composición nutritiva de los espárragos cocidos

Nutriente	Composición por cada 100g
Agua	92.3
Proteínas	2.2
Grasa	0.2
Carbohidratos	4.6
Fibra	1.6
Cenizas	0.7

Fuente: Loayza (2006), Elaboración Propia

3.4 Isoterma de sorción.

Este término isoterma de adsorción o de desorción es la curva que se manifiesta en el equilibrio y con una temperatura definida, en segundo lugar la cantidad de agua detenida por un alimento en responsabilidad de la humedad relativa de la atmósfera que bordea las isotermas de sorción; en resumen pueden ser alcanzadas en forma empírica o seguidas en base a ecuaciones teóricas, empíricas y semiempíricas (Ayala, 2011).

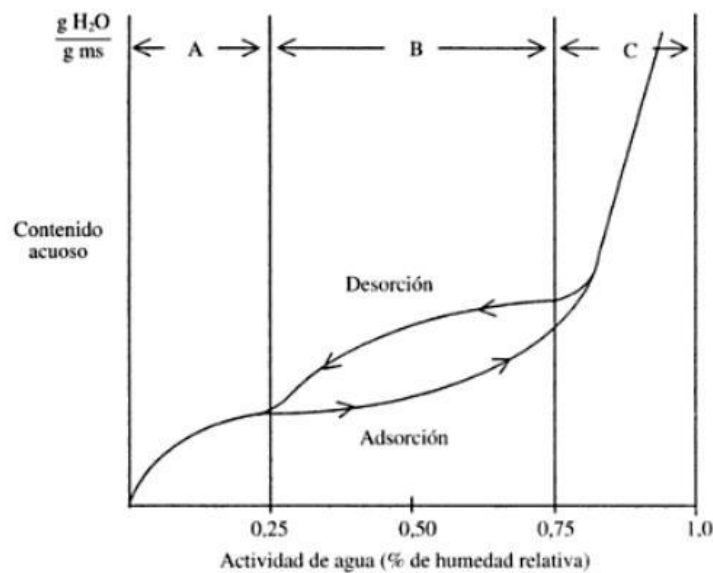


Fig. 5 Curvas de adsorción y desorción

En la figura 5 se diferencian asimismo, tres tramos que se corresponden con otros tantos estados de agua.

Tramo A: Con relación a esta zona el agua se encuentra muy unida al alimento por fuerzas de Van der Waals, el agua puede estar añadido en diferentes grupos, los hidróxidos de los polisacáridos, así como a los carbonilo y aminito de las proteínas. Por otro lado la gran cantidad de agua adherente a estos puntos se denomina como agua monocapa. Asimismo se trata de un agua con una entalpía de vaporización muy alta a la

del agua pura, enormemente permanente y muy difícil deshidratable (Ayala, 2011).

Tramo B: En este tramo la fase del agua esta encerrada en diversas capas que denominamos agua multicapa, la cual se desempeña como disolvente de solutos de bajo peso molecular. Estas fuerzas de lazos a la estructura del alimento son suficientes menos fuertes que en el caso anterior. Asimismo se manifiestan como una entalpía de vaporización todavía superior a la del agua pura constituyendo un medio en ciertos alimentos ya que pueden tener algunas reacciones bioquímicas a esto se puede determinar que en la zona del agua se encuentra en estado *pseudos-liquido* (Ayala, 2011).

Tramo C: El último tramo de agua está detenida por capilaridad o en las células del alimento por tanto el grado de inserción al alimento es en todo caso débil donde luego se manifestara la definición de agua libre. Considerando que estas características están muy próximas a las del agua pura, puede decirse que el agua deshidrata o congela con facilidad. En consecuencia a veces, recibe el nombre de agua biológica. En resumen, si el alimento presenta una A_w dentro del intervalo del tramo C, existirán grandes de que experimente alguna alteración (Ayala, 2011).

De acuerdo con Rodríguez, hace referencia sobre el conocimiento de las isotermas de adsorción de los alimentos ya que es imprescindible para concretar su conservación. A mi entender considero que si se trata del secado de un alimento con aire con una determinada humedad, su contenido estará en proporción si dicha operación es un acopio frigorífico del alimento entonces habrá que indagar a través de investigaciones su isoterma de sorción y el estado para el aire con ambientes,

asimismo asegurando una A_w del resultado capaz de proteger los factibles cambios (Rodríguez, 2010).

Los métodos utilizados para determinar las isotermas de sorción pueden ser gravimétricos, basados en el seguimiento de las variaciones de peso del alimento, manométricas, donde la variable a medir es la presión parcial del vapor de agua en el entorno (igual a la presión de vapor de agua en el alimento cuando se alcanza el equilibrio) o, higrométricos, en los que remide la humedad relativa en equilibrio del aire en contacto con el alimento (Rodríguez, 2010).

2.2.2.1 Clasificación de las isotermas de sorción

La figura 6 indica como suelen clasificarse las isotermas de humedad. La tipo I corresponde a sustancias cristalinas tales como los azúcares. En este caso la estructura cristalina no permite el acceso de la molécula de agua a todos los sitios que potencialmente podrían interaccionar con ella. A medida que la actividad del agua aumenta comienza a ocurrir la disolución de la estructura cristalina. Esto permite una mayor interacción con la molécula de agua y eventualmente la formación de una solución.

La tipo III corresponde a aditivos “anticaking”. Este tipo de compuestos tiene una gran afinidad por la molécula de agua, es decir posee un gran número de sitios donde puede adsorber a la molécula de agua. Es por ello que por unidad de masa pueden adsorber una gran cantidad de humedad sin que por ello aumente la A_w .

La tipo II corresponde a la gran mayoría de los alimentos. La complejidad de los alimentos y distinto tipo de moléculas explican la forma de esta curva.

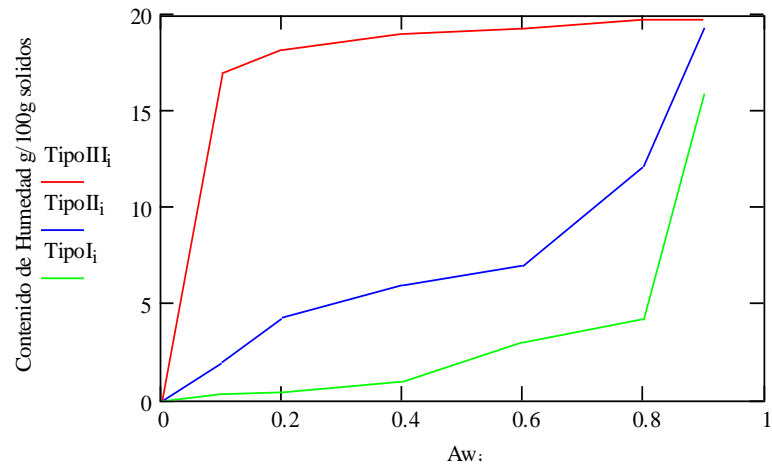


Fig. 6 Clasificación de las Isotermas de sorción

2.2.2.2 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).

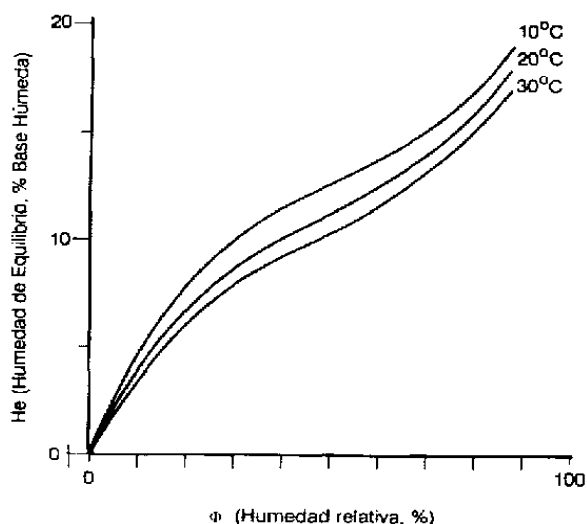


Fig. 7 Isotermas de sorción a diferentes temperaturas

2.2.2.3 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 (Rodríguez, 2002).

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, 2002).

2.2.2.4 Modelos matemáticos

Resulta evidente el interés de disponer de una expresión matemática que exprese, para cada alimento, la relación $X=f(A_w)$. Debido a la dificultad de la determinación experimental del punto crítico P_{cr} , varios investigadores han propuesto diferentes modelos matemáticos que permiten, además de reproducir con mayor o menor grado de aproximación la relación $X= f(A_w)$, calcular el valor de algunos parámetros que nos informan acerca de las condiciones de máxima estabilidad del alimento durante su conservación. Todos los modelos propuestos, son capaces de reproducir con cierto éxito los datos de humedad de equilibrio. Sin embargo ninguno ha podido dar resultados precisos en todo el intervalo de A_w y para los diferentes tipos de alimentos (Ramírez y Cruz, 2014).

Los modelos matemáticos más utilizados:

MODELO DE B.E.T. (Brunaúer, Emmett y Teller)

La isoterma de BET representa una base en la interpretación de isotermas multicapas de sorción y ha sido aplicada en procesos de adsorción de gases y vapores en superficies y sólidos porosos, como también en adsorción de vapor de agua por polímeros y otros productos y materiales, homogéneos o no. Sin embargo el éxito de esta isoterma es de tipo cualitativo más que cuantitativo. Las formas linealizadas de las ecuaciones de isotermas de BET, para la estimación del rango de aplicabilidad, indican que en casi todos los casos, los gráficos resultan lineales solamente en un rango acotado entre $0.05 < a_w < 0.45$. Su principal interés está en la determinación de X_m (Prieto, 2008).

$$\frac{A_w}{n(1 - A_w)} = \frac{1}{X_m \cdot C} + \frac{C - 1}{X_m \cdot C} \cdot A_w$$

Dónde:

A_w = Actividad de agua

X = Humedad del producto Kg H₂O/ Kg sólido seco.

X_m = Humedad del producto correspondiente a una capa monomolecular de agua adsorbida

Kg H₂O/ Kg sólido seco.

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

MODELO DE CAURIE

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

Donde:

X = Humedad del producto Kg H₂O/ Kg sólido seco

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

γ = Constante característica de cada producto,

Este modelo suele dar buenos resultados para muchos alimentos, en el intervalo A_w = 0 – 0,85

MODELO DE G. A. B. (Guggenheim, Anderson, y de Boer)

El modelo de G.A.B. es una ecuación de tres parámetros, utilizado para ajustar los datos de sorción de productos alimenticios hasta actividades de agua de 0.9. Esta ecuación está basada en la teoría de adsorción de BET,

$$\frac{A_w}{n} = \frac{1}{X_m \cdot C_g \cdot K} + \frac{C_g - 2}{X_m \cdot C_g} \cdot A_w + \left(K \cdot \frac{1 - C_g}{X_m \cdot C_g} \right) \cdot A_w^2$$

Donde:

X = Humedad del producto Kg H₂O /Kg sólido seco

X_m = Contenido de humedad de la monocapa

C_g = Constante de Guggenheim, característica del producto y relacionada con el calor de adsorción de la monocapa

K = Constante relacionada con el calor de adsorción de la multicapa

Esta Ecuación se ajusta muy bien para A_w entre 0 y 0,9.

MODELO HALSEY

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

Donde:

X = Humedad del producto Kg H₂O/ Kg sólido seco

α y β son dos constantes que dependen de la temperatura y naturaleza del producto 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 $A_w = 0,10 - 0,80$.

Fuente: (Huillca, 2011)

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:

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

Donde:

n = Humedad del producto Kg H₂O/ Kg sólido seco

f , η = Constantes propias del modelo

CAPITULO III: METODOLOGIA

3.1 Tipo, Nivel de investigacion

3.1.1 Tipo de la investigación

Por el tipo de investigación, la presente 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 el procesamiento de la deshidratación del espárrago.

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.

3.2 Diseño de la Investigación

Para el diseño de la investigación emplearemos el método experimental, el cual se identifica por la introducción y manipulación del elemento causal, el cual 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 del espárrago.

3.3 Materiales

Materia prima

- Espárragos deshidratados

Equipos y materiales de laboratorio

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

Reactivos químicos

Soluciones salinas	Humedad relativa		
	20°C	30°C	40°C
LiCl	11.2	11.2	11.2
KC ₂ H ₃ O ₂	23.2	22	20.4
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	53.7
NaCl	75.5	75.6	75.4
K ₂ Cr O ₄	86.6	86.3	85.6

Método para la obtención de las curvas de adsorción para los espárragos deshidratados

Para obtener las curvas de adsorción 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 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 la muestra colocada a temperatura de 20°C y para las muestras a 30 °C y 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 14

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

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

Ecuación

$$\frac{A_w}{X} = \frac{1}{X_m \cdot C_g \cdot K} + \frac{C_g - 2}{X_m \cdot C_g} \cdot A_w + \left(K \cdot \frac{1 - C_g}{X_m \cdot C_g} \right) \cdot A_w^2$$

Modelo parabolico

$$y = A_1 + B_1 \cdot x + C_1 \cdot x^2$$

Para obtener los parámetros de adsorción (X_m , C_g y K) se realiza el análisis de regresión cuadrática obteniéndose los parámetros A_1, B_1, C_1 y el coeficiente de correlación (R)

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

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

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

Modelo lineal

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

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

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

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

Ecuación

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

Modelo lineal

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

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

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

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

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

Modelo linealizado

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

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

Modelo para obtener los parámetros de adsorción y el coeficiente de correlación de la ecuación de B.E.T

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

Ecuación

$$\frac{A_w}{x \cdot (1 - A_w)} = \frac{1}{X_m \cdot C} + \frac{C - 1}{X_m \cdot C} \cdot A_w$$

Modelo Lineal

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

Fórmula para calcular el error medio relativo

Para calcular el error medio relativo se utilizó la siguiente ecuación

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

Ecuación 6

CAPITULO IV: PRESENTACION Y DISCUSION DE LOS RESULTADOS

4.1 Isotermas de adsorción obtenidas experimentalmente para el esparrago deshidratado.

En la tabla 2 se presentan los contenidos de humedad de equilibrio del esparrago deshidratado a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C, los datos obtenidos se grafican en la figura 8.

Tabla 2. Contenido de humedad de equilibrio para los espárragos deshidratados 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.ms)	Aw	n (g de agua / 100 g.m.s)
0.112	8.65	0.112	8.42	0.112	8.01
0.232	10.82	0.22	10.32	0.204	9.42
0.336	14.56	0.328	13.98	0.321	13.28
0.439	17.20	0.436	16.48	0.434	15.32
0.592	21.20	0.563	20.1	0.537	18.20
0.755	26.61	0.756	25.4	0.754	24.20
0.866	38.80	0.863	36.2	0.856	35.10

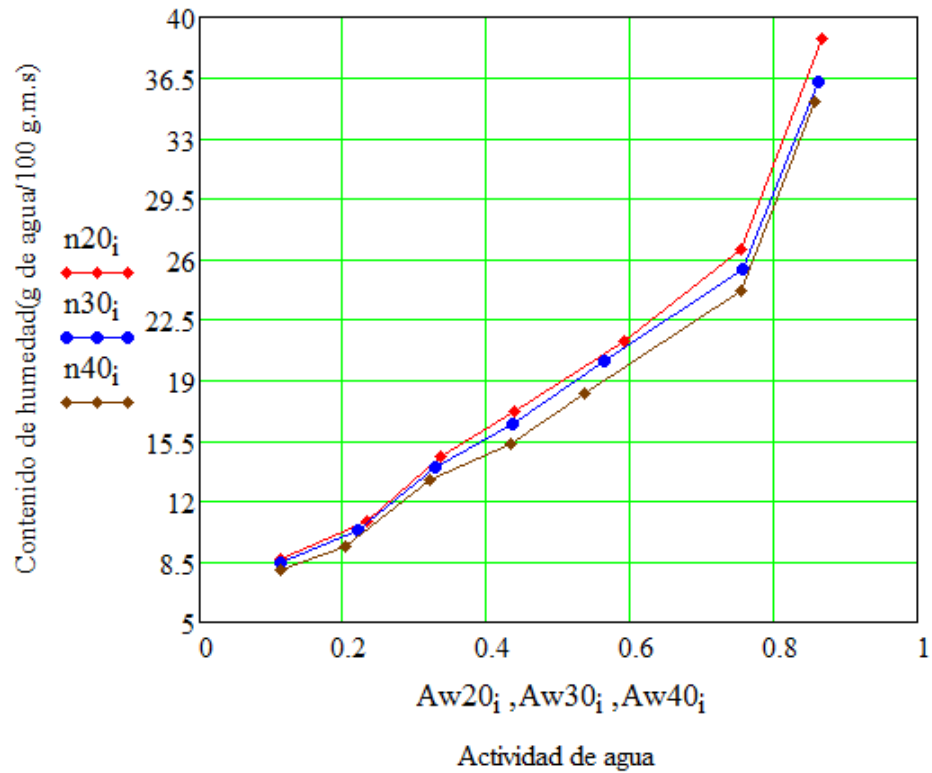


Fig. 8 Curvas de adsorción experimental para los espárragos deshidratados a las temperaturas de 20 ° C, 30 ° C y 40 ° C.

4.2 Isotherma 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 espárragos deshidratado

En las figuras 9, 10 y 11 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 12 se presentan las tres curvas y en la tabla 3 los parámetros de la adsorción.

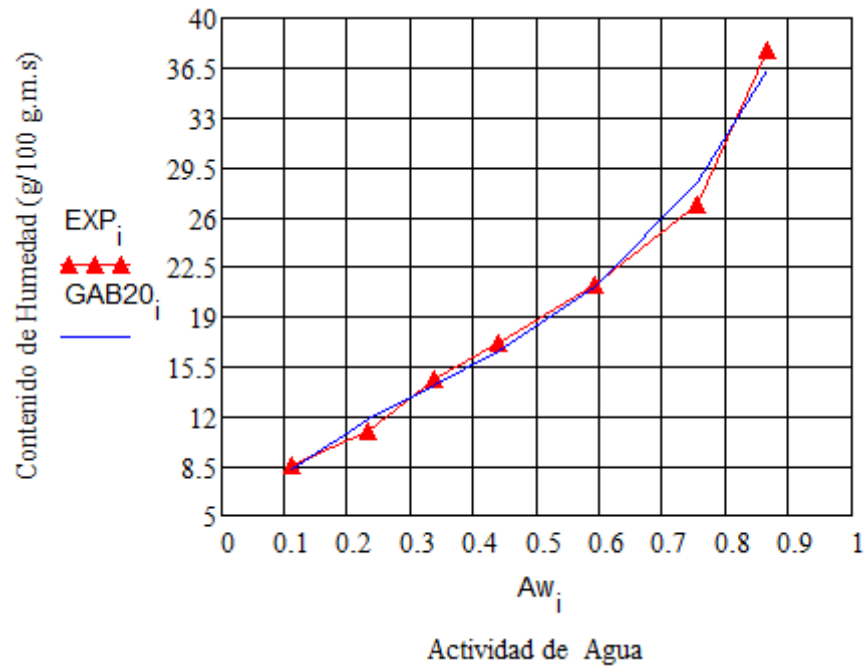


Fig. 9 Isothermas de adsorción de G.A.B. a la temperatura de 20°C

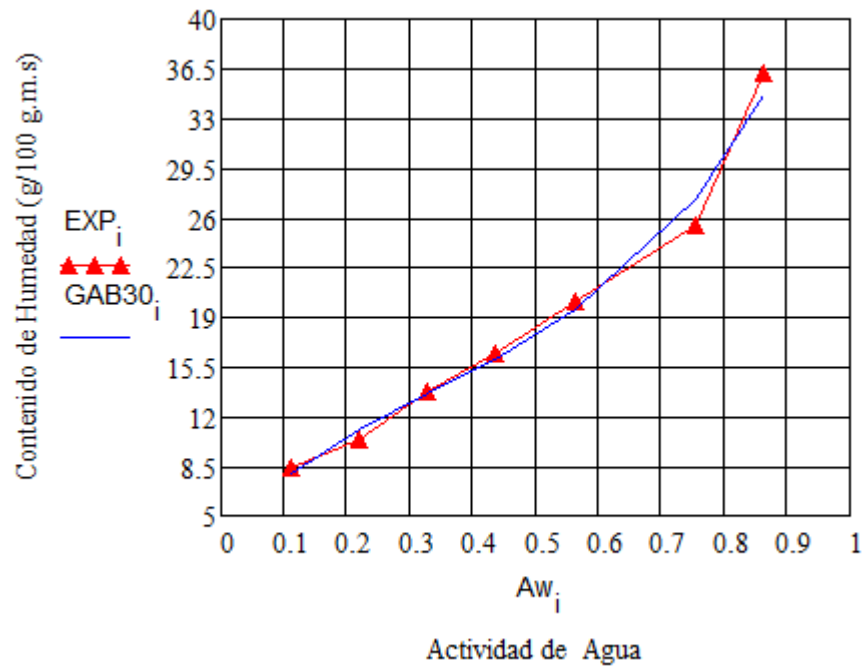


Fig. 10 Isothermas de adsorción de G.A.B. a la temperatura de 30°C

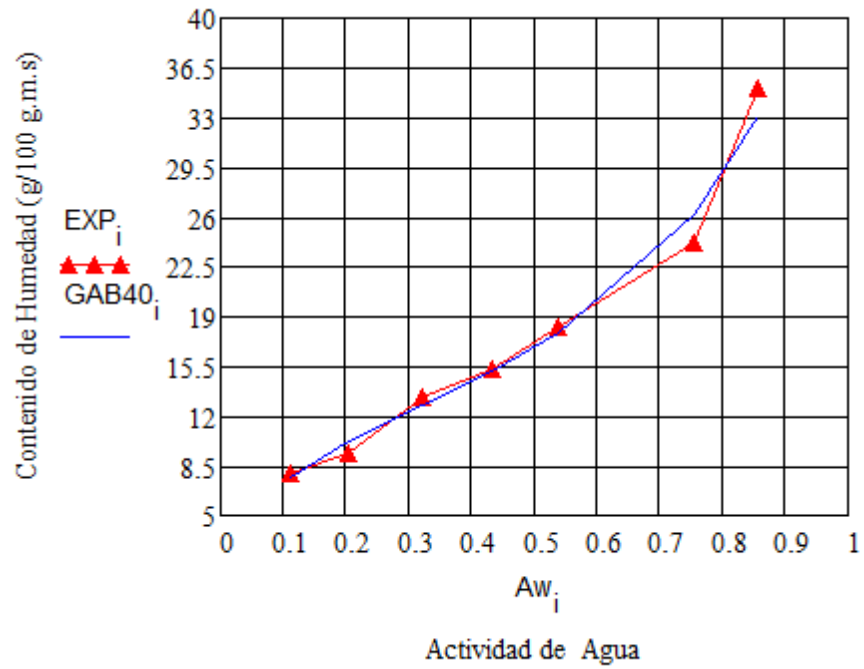


Fig. 11 Isotherm of adsorption of G.A.B. at the temperature of 40°C

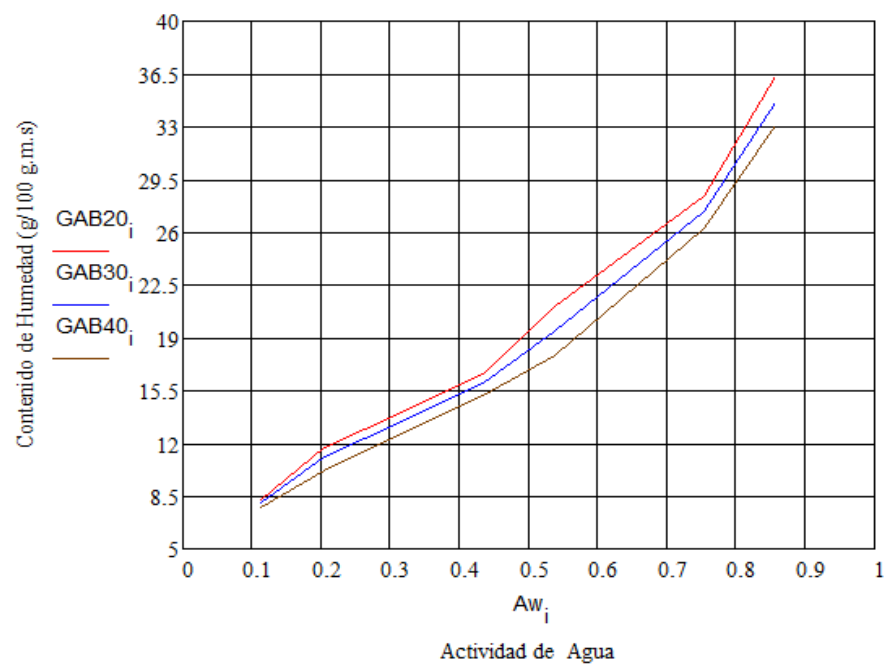


Fig. 12 Isotherms of adsorption of GAB at 20°C, 30°C and 40°C

Tabla 3. Values of the parameters X_m , C_g and K of the G.A.B. model estimated for the dehydrated asparagus

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)	12.138	11.834	11.004
Cg (constante)	17.223	17.201	18.259
K (constante)	0.78	0.773	0.79

4.3 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 13, 14, 15 y 16 se muestran los resultados experimentales y los calculados mediante el modelo de Caurie a las temperaturas de 20, 30 y 40°C.

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

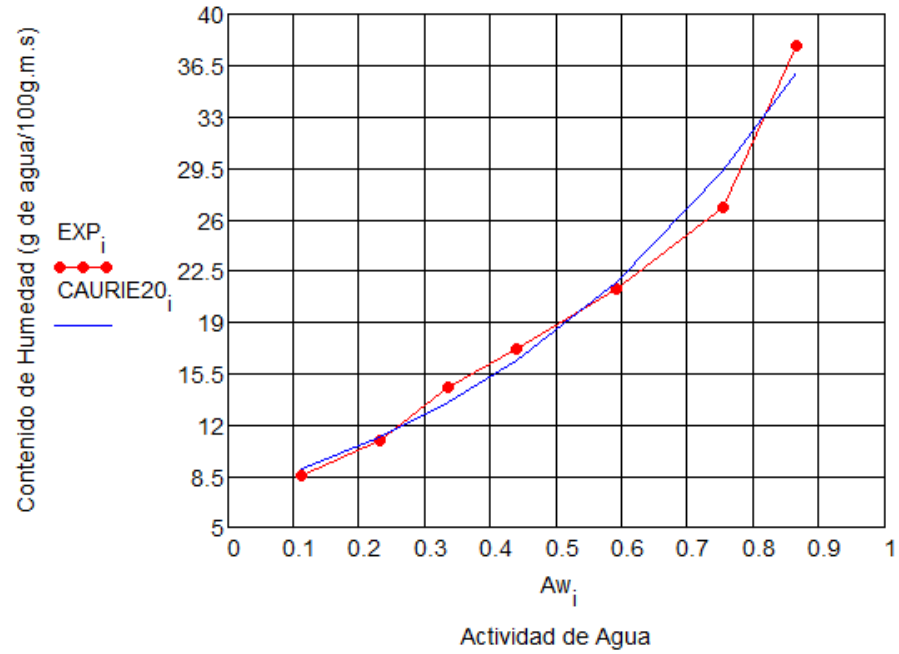


Fig. 13 Isotherma de adsorción de Caurie a la temperatura de 20°C

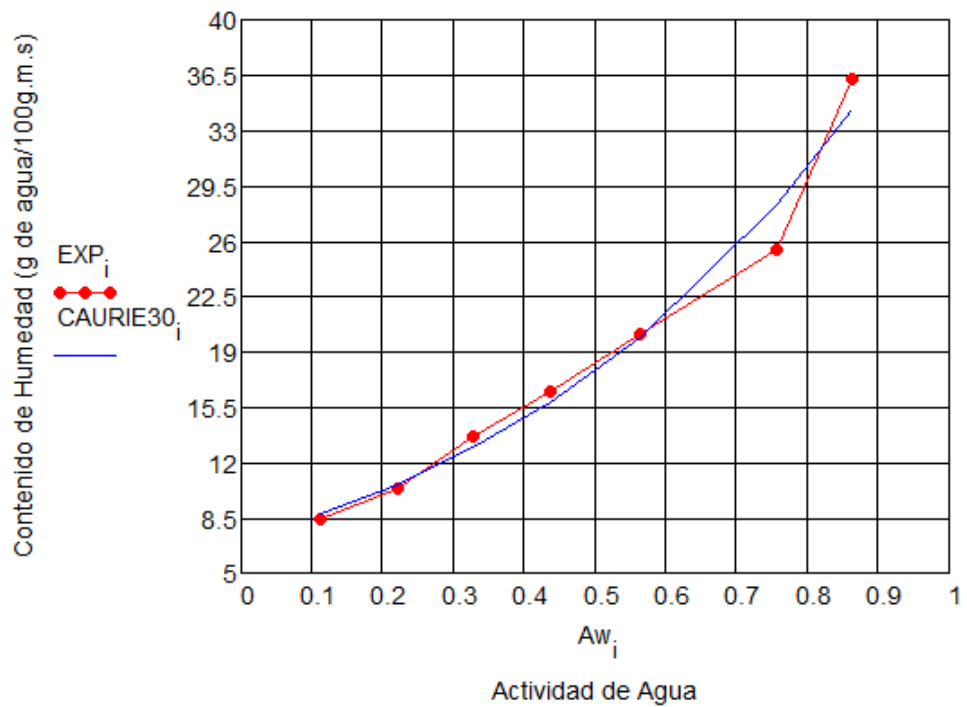


Fig. 14 Isotherma de adsorción de Caurie a la temperatura de 30°C

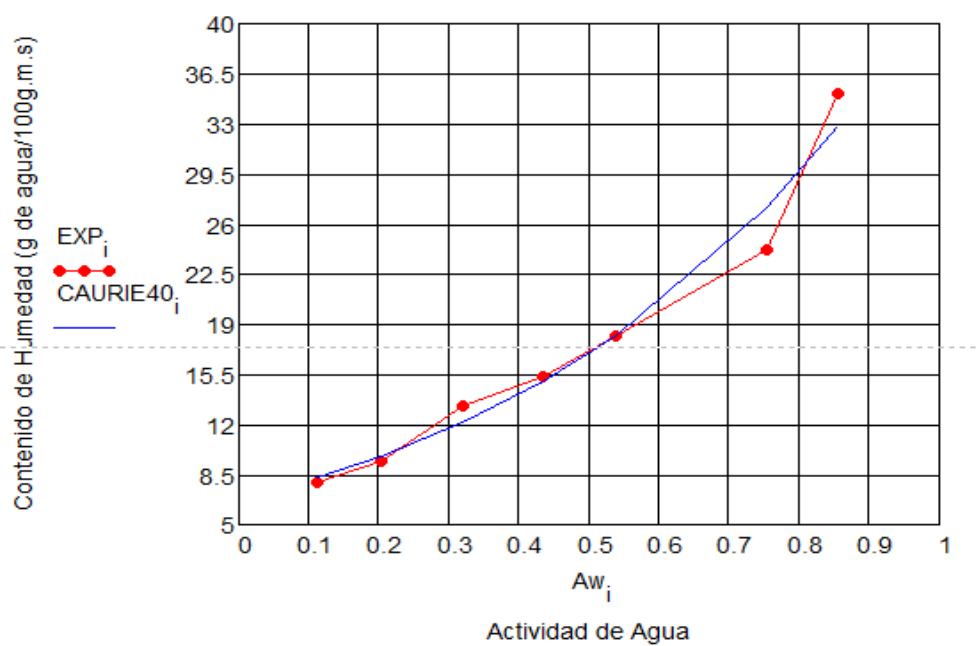


Fig. 15 Isotherma de adsorción de Caurie a la temperatura de 40°C

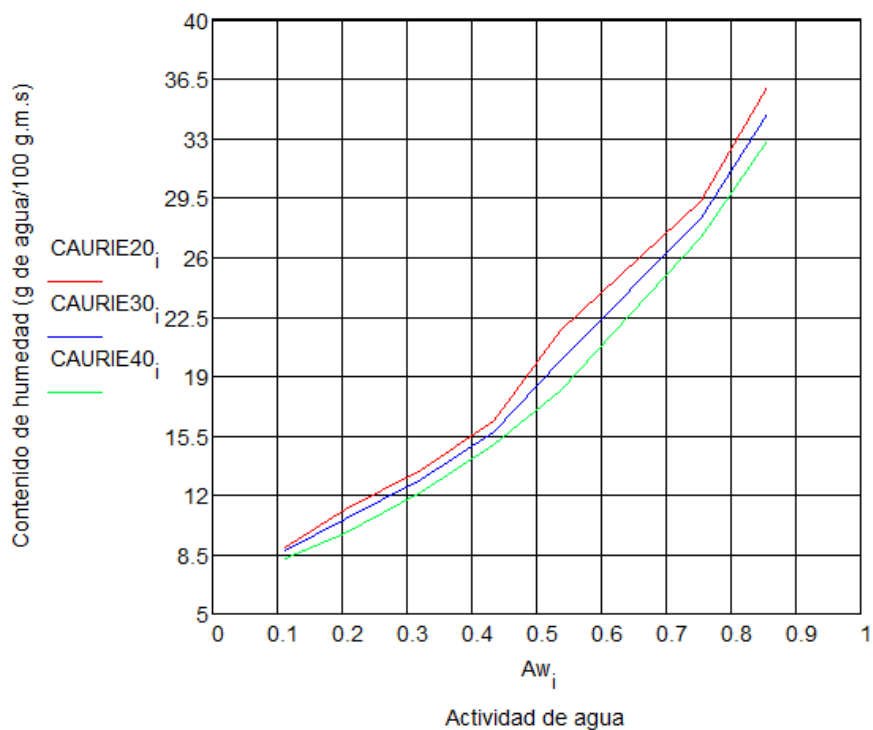


Fig. 16 Isothermas de adsorción de Caurie a 20°C , 30°C y 40°C

Tabla 4. Valores de los parámetros γ , X_s del modelo Caurie estimados para espárragos deshidratados

Parámetros de la ecuación de Caurie	T = 20°C	T = 30°C	T = 40°C
γ	6.352	6.226	6.399
Xs	-0.1121	-0.1134	-0.1169

4.4 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 17, 18 ,19 y 20 se muestran los resultados obtenidos experimentalmente y los calculados mediante el modelo de Halsey a las temperaturas de 20, 30 y 40°C.

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

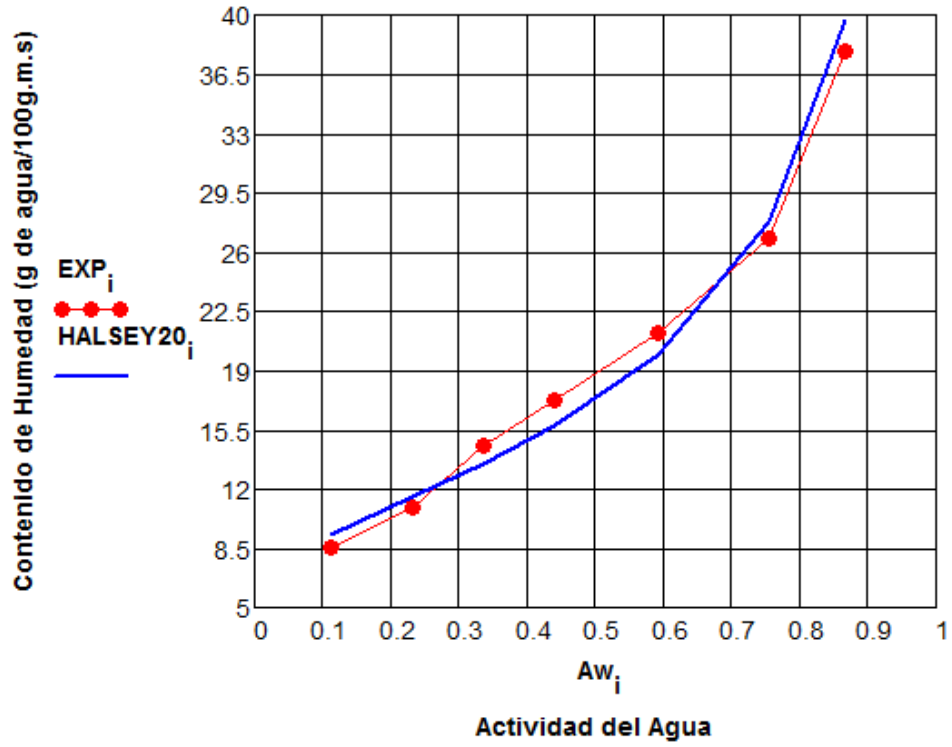


Fig. 17 Isotherma de adsorción de Halsey a 20°C

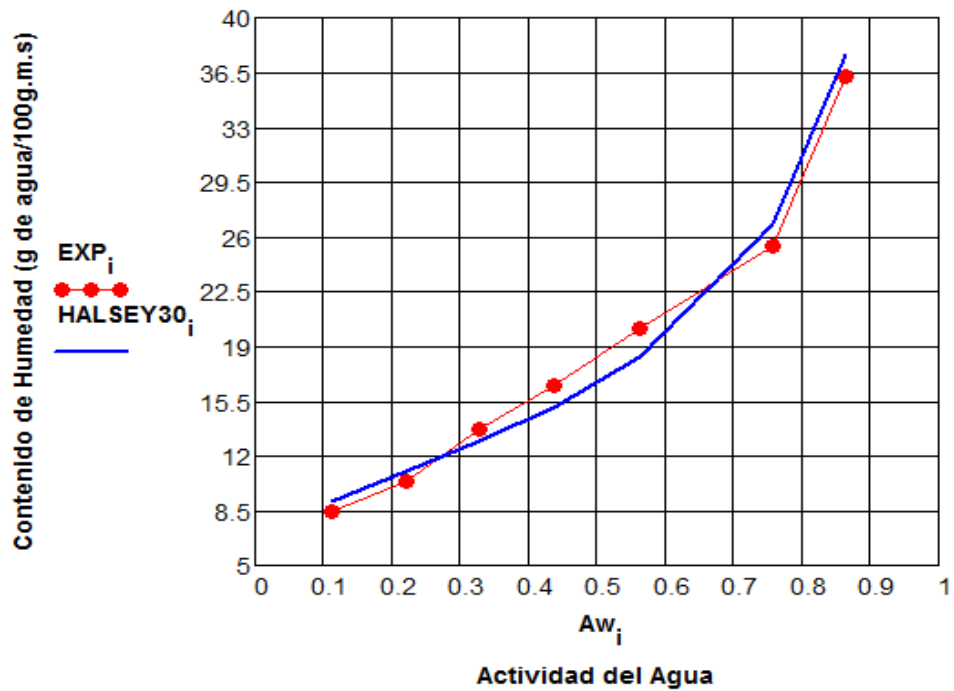


Fig. 18 Isotherma de adsorción de Halsey a 30°C

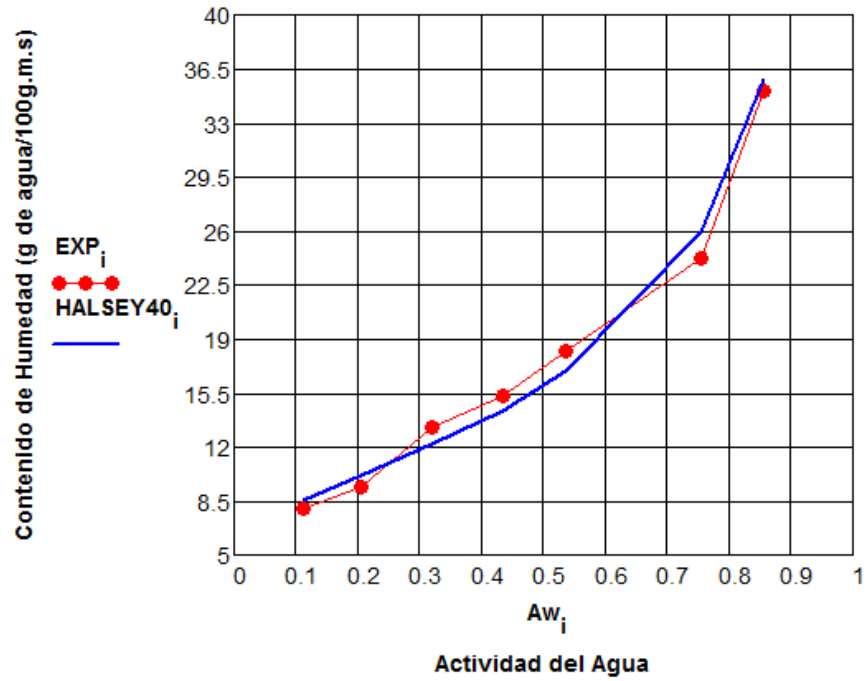


Fig. 19 Isotherma de adsorción de Halsey a 40°C

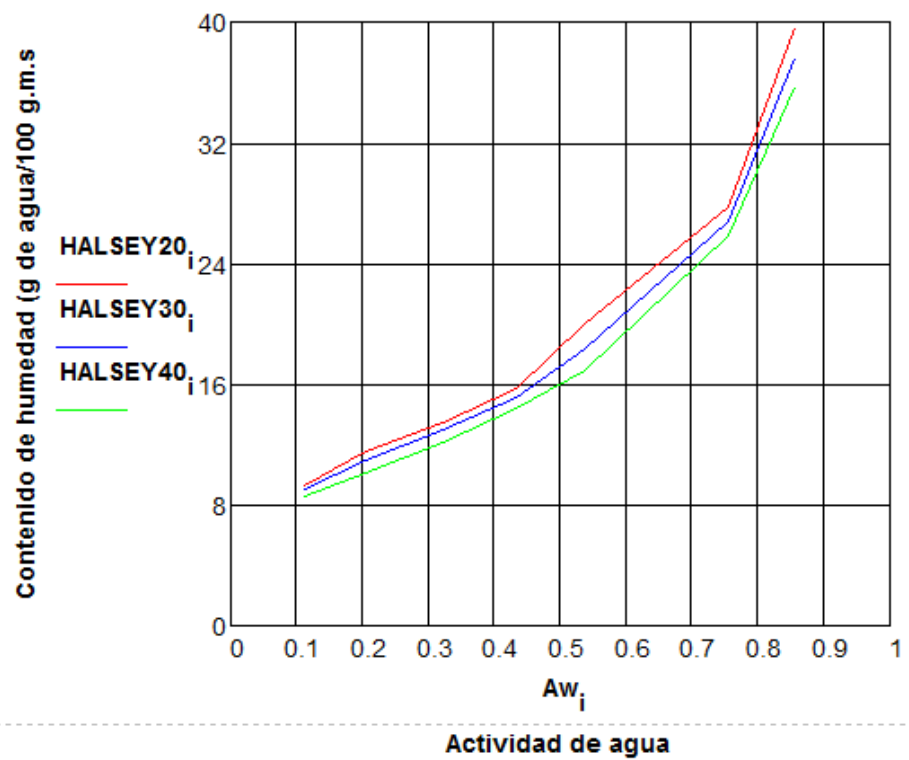


Fig. 20 Isothermas de adsorción de Halsey a 20°C , 30°C y 40°C

Tabla 5. Valores de los parámetros α y β del modelo Halsey estimados para espárragos deshidratados

Parámetros de la ecuación de Halsey	T = 20°C	T = 30°C	T = 40°C
α	14.145	13.704	13.049
β	-0.532	-0.528	-0.542

4.5 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 21, 22 ,23 y 24 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

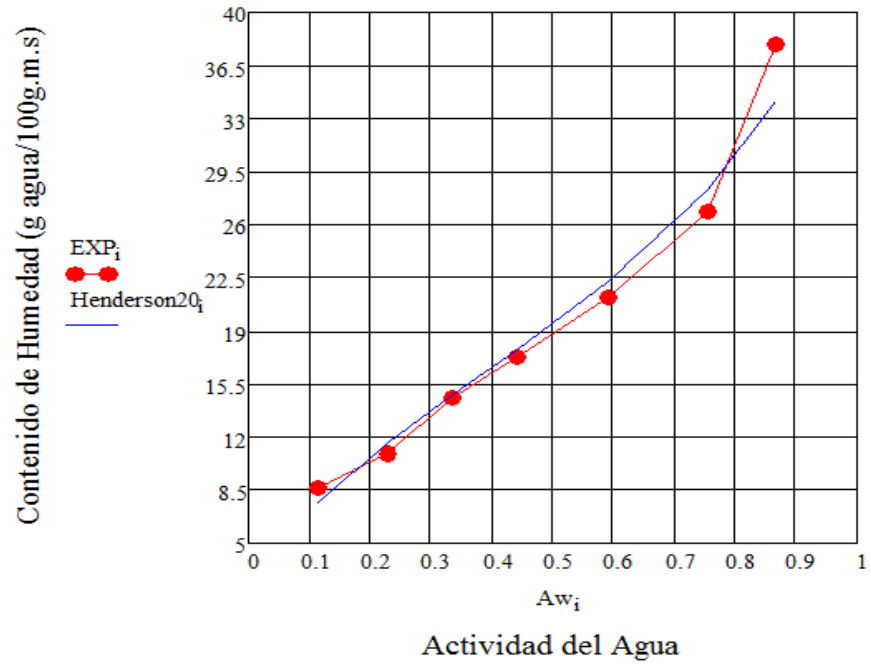


Fig. 21 Isoterma de adsorción de Henderson - Thompson a 20°C

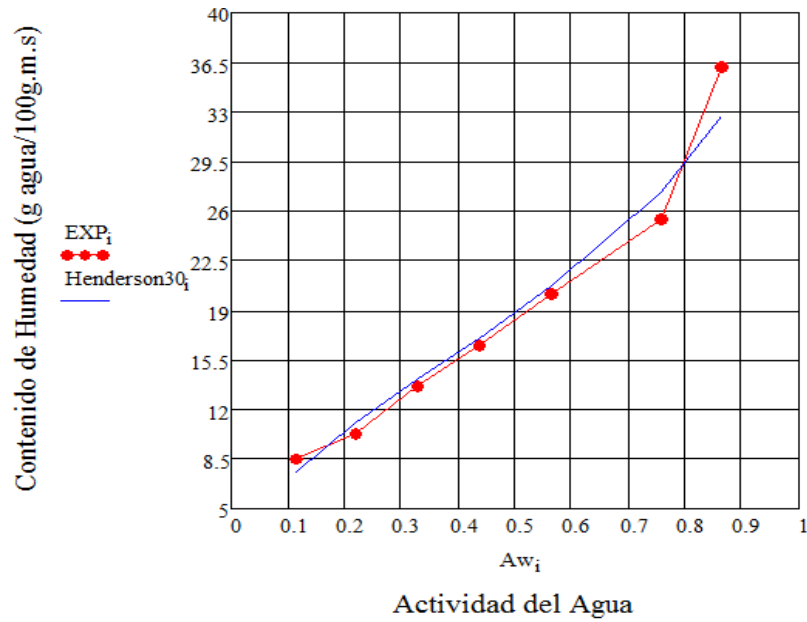


Fig. 22 Isoterma de adsorción de Henderson - Thompson a 30°C

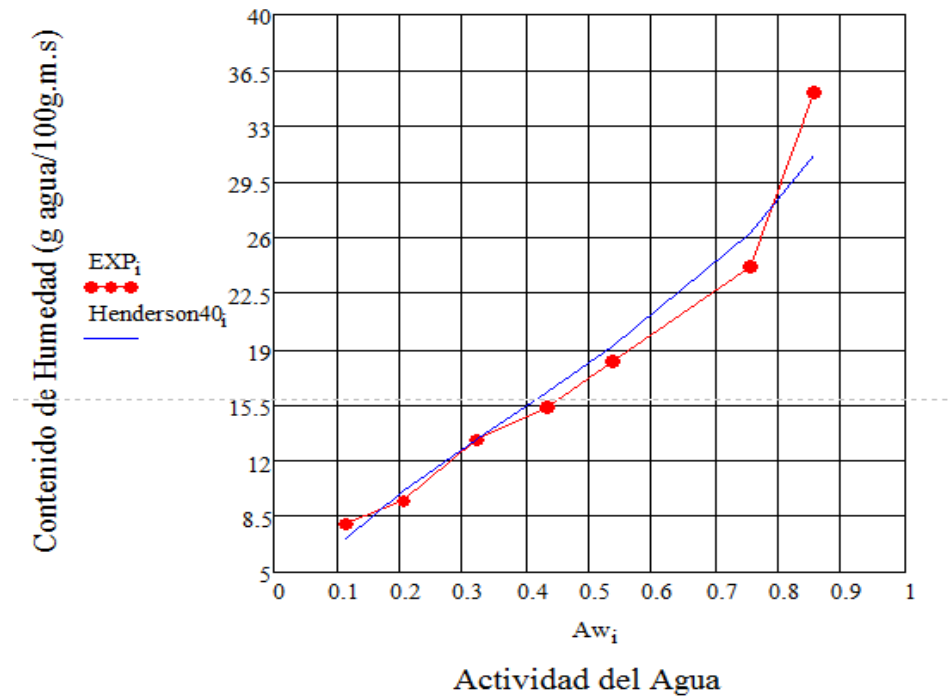


Fig. 23 Isotherma de adsorción de Henderson - Thompson a 40°C

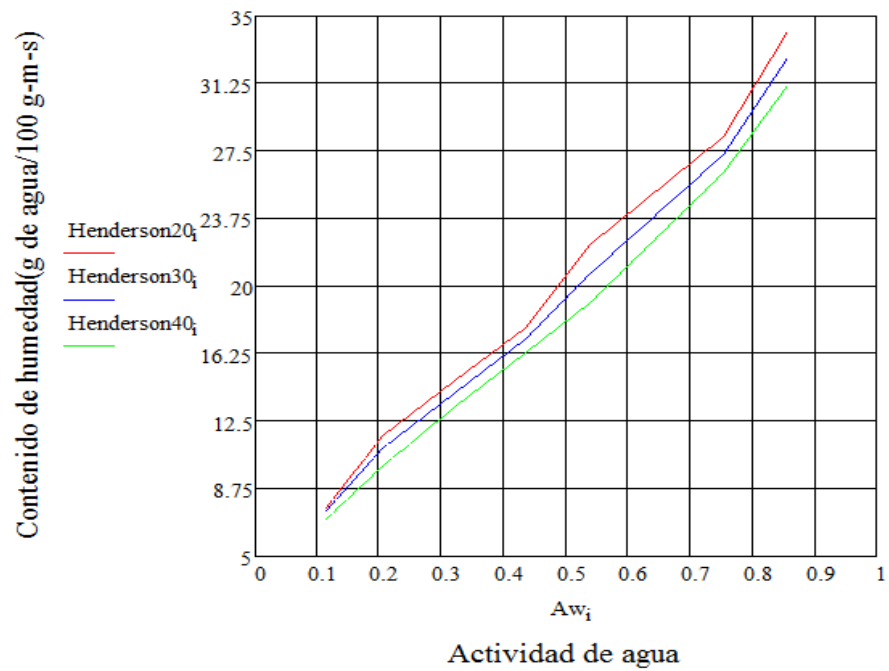


Fig. 24 Isothermas de adsorción de Henderson - Thompson a 20°C , 30°C y 40°C

Tabla 6. Valores de los parámetros f , η del modelo Henderson - Thompson estimados para espárragos deshidratado

Parámetros de la ecuación de Henderson - Thompson	T = 20°C	T = 30°C	T = 40°C
f	6.75	6.779	6.646
η	1.893	1.911	1.881

4.6 Isotermas de adsorción y parámetros de adsorción, obtenidos con el modelo de B.E.T. a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C

En las figuras 25, 26, 27 y 28 se muestran los resultados experimentales y los calculados mediante el modelo de B.E.T. a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C.

En la tabla 7 se muestran los parámetros de la ecuación de B.E.T.

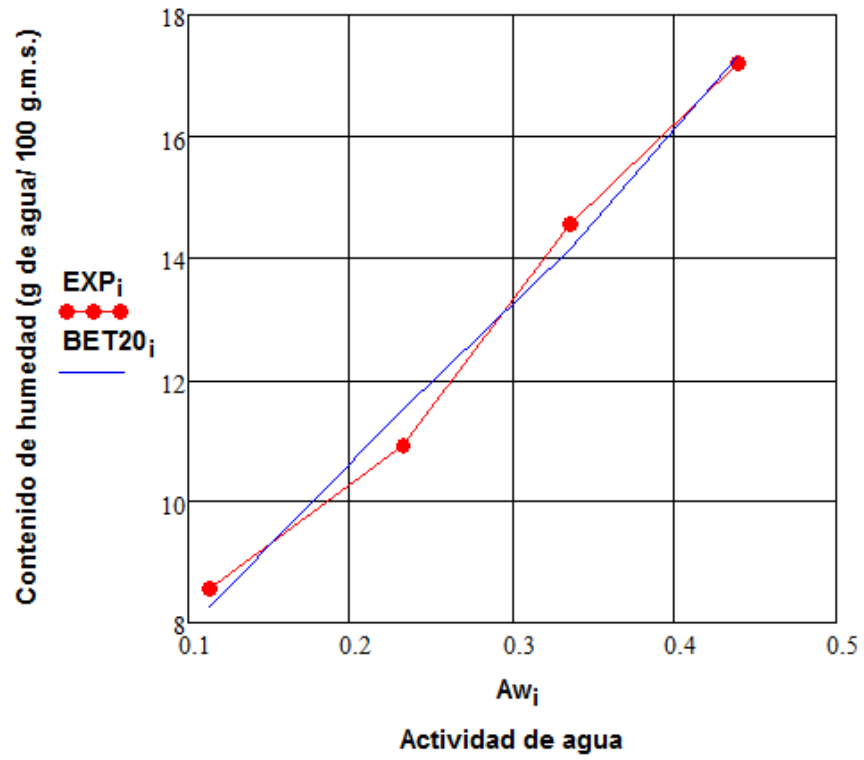


Fig. 25 Isotermas de adsorción de B.E.T. a 20°C

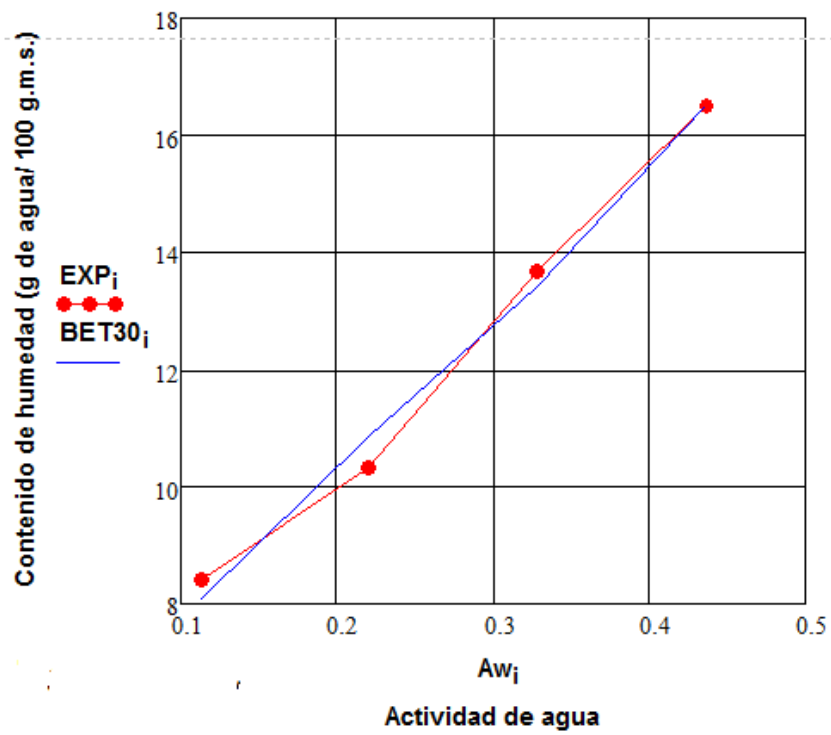


Fig. 26 Isotermas de adsorción de B.E.T. a 30°C

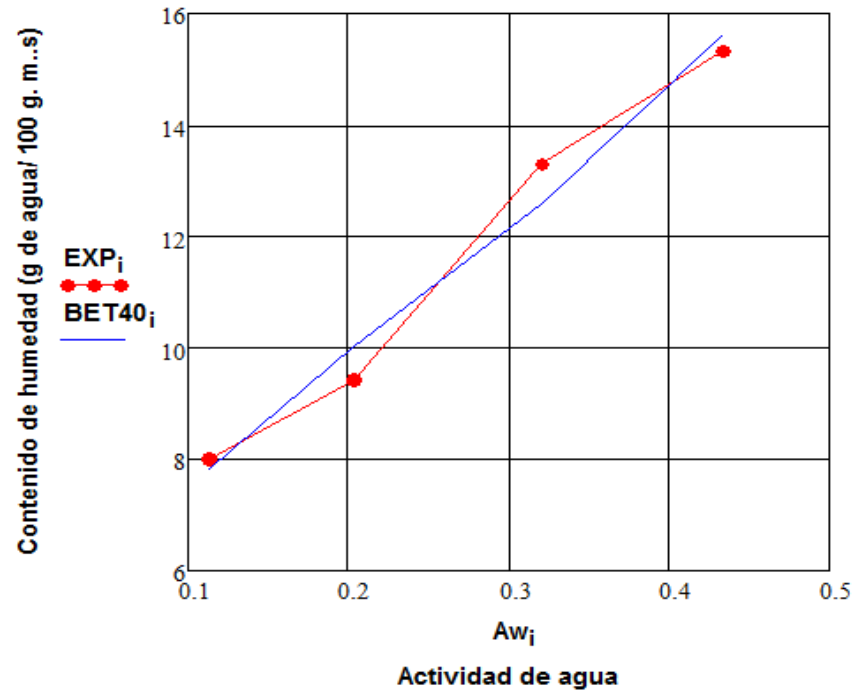


Fig. 27 Isotermas de adsorción de B.E.T. a 40°C

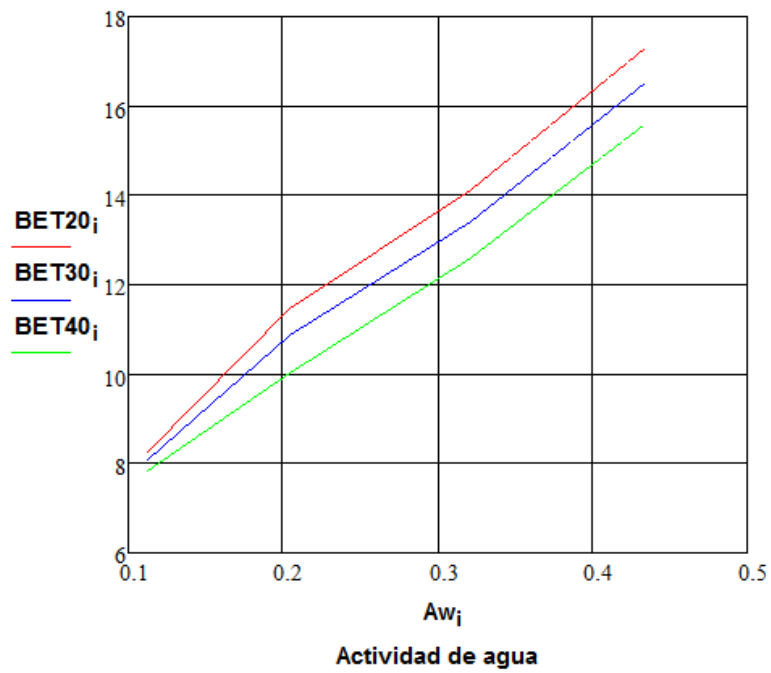


Fig. 28 Isotermas de adsorción de B.E.T. a 20°C , 30°C y 40°C

Tabla 7. Valores de los parámetros X_m , C del modelo B.E.T estimados para el espárragos deshidratado

Parámetros de la ecuación de BET	T = 20°C	T = 30°C	T = 40°C
X_m	10.341	9.879	9.234
C	19.25	21.068	22.858

4.7 Valores del coeficiente de correlación y el error medio relativo

En la tabla 8, se muestran los valores de los coeficientes de correlación y el error medio relativo de la cada una de las ecuaciones utilizadas para los espárragos deshidratados

Tabla 8 Coeficientes de correlación y el error medio relativo para los espárragos deshidratados.

ECUACIÓN	Temperatura	R	EMS %
GAB	20°C	0.995	4.36
	30°C	0.994	5.04
	40°C	0.991	5.50
CAURIE	20°C	0.993	5.54
	30°C	0.993	5.65
	40°C	0.991	6.02
HALSEY	20°C	0.990	6.78
	30°C	0.989	6.79
	40°C	0.990	6.71
HENDERSON- THOMPSON	20°C	0.990	6.65
	30°C	0.988	8.446
	40°C	0.986	7.87
BET	20°C	0.997	3.48
	30°C	0.998	3.39
	40°C	0.994	4.37

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- 1 Las curvas de adsorción para el espárragos deshidratado presentan forma sigmoïdal.
- 2 Los contenidos de humedad para una misma actividad de agua disminuyen en función de la temperatura.
- 3 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, presentando alta correlación y el mejor error relativo el modelo de G.A.B
- 4 Los valores de la capa monomolecular fueron: para la temperatura de 20°C 12.138 g de agua/100 g.m.s, para 30°C 11.834 g de agua/100 g.m.s, y para 40°C 11.004 g de agua/100 g.m.s

5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar trabajos de investigación con otros tipos de vegetales.
- Se recomienda que la Facultad de Ingeniería Pesquera y de Alimentos adquiera un secador con sistema automático pesado con programas para obtener las curvas de secado.
- Se recomienda la adquisición de un equipo para determinar la actividad de agua, asimismo propiciar con mayor énfasis el desarrollo del Modelo matemático que se ajusta a la curva de adsorción obtenido experimentalmente en el espárrago deshidratado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Altamirano, Y. (2004). Espárrago Peruano y su influencia económica en el Mercado.

Recuperado de: <https://www.monografias.com/trabajos34/esparrago-peruano/esparrago-peruano.shtml>

Ayala, A. (2011). *Estimacion de las Isotermas de Adsorcion y del Calor Isotermico en Harina de yucca*. Tesis para optar el grado de Ingeniero Alimentario. Universidad del valle.Cali, Colombia.

Conabio, T. (2009). Catálogo taxonómico de especies de México. 1. In Capital Nat. México. CONABIO, México City.

Chamorro, A. y Rajo, R. (2009). *Influencia del Tamaño de Partículas en las Isotermas de Adsorción del Harina de Haba (Vicia faba L.* Tesis para optar el grado de Ingeniero Alimentario. Tesis Universidad Agraria la Molina, Lima, Perú.

Damper, A- (2015). Beneficios del espárrago en nuestra la salud. Recuperado de: <http://www.danper.com/blog/esparragos-beneficios-para-la-salud/>

Delgado De La Flor, F. (1993). Cultivo del Espárrago. Editorial Edi. Agraria. Lima, Perú.

Huillca, P. (2011) “Determinación de las isothermas de adsorción del ají (*Capsicum annuum* L.)”. Tesis para optar el grado de Ingeniero de Industria Alimentaria. Tesis Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, Perú.

Loayza, V, (2006). Espárragos: Cultivo, Producción e Industrialización. Ediciones Ripalme. Lima, Perú.

Prieto, F. (2008). Evaluación de las isothermas de sorción en cereales. Recuperado de: http://www.fis.cinvestav.mx/~smcsyv/supyvac/19_1/SV1911206.pdf

Rodriguez, A. (2010). *Efecto de las fluctuaciones de temperatura ambiente sobre el valor de la actividad de agua de un alimento deshidratado*. Tesis para optar el grado de Ingeniero en Industrias Alimentarias. Universidad Nacional Centro de Perú, Huancayo, Perú.

Rodríguez, F. (2002). Ingeniería de la Industria Alimentaría Editorial Síntesis. Recuperado de: https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/aguas/La_molecula_del_agua.asp

Ramírez, M. y Cruz. V. (2014). Determinación de las Isotermas de Sorción y las propiedades Termodinámicas de Harina de Maíz. Revista Mexicana de Ingeniería química, 13(1). Disponible en:
<HTTP://WWW.REDALYC.ORG/ARTICULO.OA?ID=620/62031166013>

Tres, J. (2006). Interacción entre fármacos y plantas medicinales. Anales Sis San Navarra, vol.29, n.2, pp. 233-252. ISSN 1137-6627. Doi: 10.4321/S1137-66272006000300007.

ANEXOS

MATRIZ DE CONSISTENCIA

TITULO	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES
<p>“MODELO MATEMÁTICO QUE SE AJUSTA A LA CURVA DE ADSORCION OBTENIDO EXPERIMENTALMENTE EN EL ESPÁRRAGO DESHIDRATADO (<i>Asparagus officinalis</i>)”</p>	<p>¿Existe un modelo matemático, que se ajuste a la curva de adsorción obtenidos experimentalmente para los espárragos deshidratados?</p>	<p>Objetivo general</p> <p>Evaluar los diferentes modelos matemáticos que se utilizan para obtener las de isotermas de adsorción y sus respectivos parámetros</p> <p>Objetivos específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Obtener las curvas de adsorción con datos experimentales. • Obtener las curvas de adsorción con modelos matemáticos. • Determinar los parámetros de adsorción (valor de la capa monomolecular, contenidos de humedad de equilibrio, constantes C y K de adsorción) 	<p>Hipótesis General</p> <p>Existe un modelo matemático, que se ajuste a la curva de adsorción obtenidos experimentalmente para los espárragos deshidratados</p> <p>Hipótesis Específica</p> <ul style="list-style-type: none"> • Existe la obtención de curvas de adsorción con datos experimentales • Existe la obtención de adsorción con modelos matemáticos • Existen parámetros de adsorción (valor de la capa monomolecular, contenido de humedad de equilibrio, constante C y K de adsorción) 	<p>Variable independiente</p> <p>X = Modelo matemático que se ajusta a la curva de Adsorcion</p> <p>Variable dependiente</p> <p>Y = obtenido experimentalmente en el esparrago deshidratado</p>



Foto 1 determinación de las curvas de adsorción con campanas



Foto 2 Determinación de las curvas de adsorción con placas konguay