



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 título es:

### **CORRELACIÓN DE MODELOS MATEMÁTICOS DE ADSORCIÓN DE AGUA EN HARINA DE HABA (Vicia faba L.)**

presentado por:

**ELIAN PAMELA GUILLERMO SANTIAGO**

del nivel **PREGRADO** de la facultad de **INGENIERIA PESQUERA Y DE ALIMENTOS** obteniéndose como resultado una coincidencia de **18.2%** otorgándosele el calificativo de:

**APROBADO**

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

Observaciones:

APROBADO OBTUVO EL 18.2 % (MENOR AL 30% REQUERIDO)

Ica, 16 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 FACULTAD DE INGENIERIA PESQUERA Y  
DE ALIMENTOS

UNIVERSIDAD NACIONAL “SAN LUIS GONZAGA” DE ICA.  
FACULTAD DE INGENIERÍA PESQUERA Y DE ALIMENTOS.  
ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS



“CORRELACIÓN DE MODELOS MATEMÁTICOS DE  
ADSORCIÓN DE AGUA EN HARINA DE HABA

*(Vicia faba L.)”*

**TESIS:**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE ALIMENTOS”

**PRESENTADO POR:**

BACH. GUILLERMO SANTIAGO, ELIAN PAMELA.

BACH. SALDAÑA CANCHARI, LEONARDO.

**ASESOR:**

ING. RUIZ FIESTAS, ANGEL

PISCO – ICA

2018

## SUMARIO

	Pg.
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
I. INTRODUCCIÓN	3
1.1 Planeamiento del problema	4
1.1.1 Formulación del problema	4
1.2 Objetivos	4
1.2.1 Objetivo general	4
1.2.2 Objetivos específicos	5
II. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	6
2.1 Antecedentes de la investigación	6
2.2 Marco teórico	7
2.2.1 Descripción del haba	7
2.2.1.1 Clasificación taxonómica del haba	9
2.2.1.2 Variedades de habas	10
2.2.2 Descripción de la harina de haba	13
2.2.2.1 Propiedades Medicinales	13
2.2.2.2 Composición química de la harina de haba	14
2.2.3 Isoterma de adsorción	15
2.2.3.1 Efecto de la temperatura sobre la (AW)	19
2.2.3.2 Concepto de capa monomolecular	20
2.2.3.3 Modelos matemáticos aplicados al fenómeno de la sorción	21
2.3 MARCO CONCEPTUAL	24

2.3.1	Leguminosa	24
2.3.2	Harina	25
2.3.3	Curva de Adsorción	25
2.3.4	Capa Monomolecular	25
2.3.5	Actividad de Agua	26
2.3.6	Humedad Relativa	26
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	27
3.1	Materiales	27
3.2	Método para la obtención de las curvas de adsorción para la harina de haba	28
3.2.1	Modelo para la obtención de las curvas de absorción y el coeficiente de correlación de la ecuación de G.A.B	29
3.2.2	Modelo para obtener los parámetros de adsorción y el coeficiente de correlación de la ecuación de CAURIE	29
3.2.3	Modelo para obtener los parámetros de adsorción y el coeficiente de correlación de la ecuación de HALSEY	30
3.2.4	Modelo para obtener los parámetros de adsorción y el coeficiente de correlación de la ecuación de HENDERSON - THOMPSON	31
3.2.5	Modelo para obtener los parámetros de adsorción y el coeficiente de correlación de la ecuación de B.E.T	31
3.2.6	Fórmula para calcular el error medio relativo	32
IV.	RESULTADOS	33
4.1	Isotermas de adsorción obtenidas experimentalmente	33
4.2	Isotermas de adsorción y parámetros de adsorción, obtenidas con el modelo de G.A.B a las temperaturas de 20°C, 30°C 40°C.	34

4.3	Isotermas de adsorción y parámetros de adsorción, obtenidas con el modelo de CAURIE a las temperaturas de 20°C, 30°C, 40°C.	37
4.4	Isotermas de adsorción y parámetros de adsorción, obtenidas con el modelo de HALSEY a las temperaturas de 20°C, 30°C, 40°C.	40
4.5	Isotermas de adsorción y parámetros de adsorción, obtenidas con el modelo de HENDERSON – THOMPSON a las temperaturas de 20°C, 30°C, 40°C.	43
4.6	Isotermas de adsorción y parámetros de adsorción, obtenidas con el modelo de B.E.T a las temperaturas de 20°C, 30°C, 40°C.	46
4.7	Isotermas de adsorción experimental y obtenidas con modelos matemáticos a 20°C, 30°C, 40°C.	47
4.8	Valores del coeficiente de correlación y el error medio relativo	52
V.	CONCLUSIONES	54
VI.	RECOMENDACIONES	55
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56

## RESUMEN

El trabajo de Tesis “**Correlación de modelos matemáticos de adsorción de agua en harina de haba (*Vicia faba L.*)**” tiene como objetivo evaluar los diferentes modelos matemáticos que se utilizan para obtener las isothermas de adsorción y sus respectivos parámetros. Los modelos matemáticos elegidos fueron: G.A.B, B.E.T, Halsey, Currie y Henderson

Las conclusiones del trabajo fueron: Las curvas de adsorción obtenidas experimentalmente a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C presentan forma sigmoideal. 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

Los valores de la capa monomolecular fueron: para la temperatura de 20°C 7.511 g de agua/100 g.m.s, para 30°C 6.893 g de agua/100 g.m.s, y para 40°C 6.493 g de agua/100 g.m.s

La evaluación estadística mediante el análisis de regresión indica que el modelo de G.A.B tuvo mejor correlación 0.995 y menor error relativo para 20°C, 0.997 para 30°C y 0.998 para 40°C y un error relativo para la temperatura de 20°C de 2.469, para 30°C de 2.301 y para 40°C de 1.228,

Palabras claves: Harina de haba, isothermas de adsorción, capa monomolecular, modelos matemáticos

## ABSTRACT

The thesis work "Correlation of mathematical models of water adsorption in bean meal (*Vicia faba* L.)" aims to evaluate the different mathematical models that are used to obtain the adsorption isotherms and their respective parameters. The mathematical models chosen were: G.A.B, B.E.T, Halsey, Currie and Henderson. The conclusions of the work were: The adsorption curves obtained experimentally at temperatures of 20 ° C, 30 ° C and 40 ° C 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.

The values of the monomolecular layer were: for the temperature of 20 ° C 7.511 g of water / 100 grams of dry mass for 30 ° C 6.893 g of water / 100 grams of dry mass, and for 40 ° C 6.493 g of water / 100 grams of dry mass

The statistical evaluation by regression analysis indicates that the GAB model had a better correlation of 0.995 and lower relative error for 20 ° C, 0.997 for 30 ° C and 0.998 for 40 ° C and a relative error for the temperature of 20 ° C 2,469, for 30 ° C of 2,301 and for 40 ° C of 1,228,

Key words: Bean flour, adsorption isotherms, monomolecular layer, mathematical models

## I INTRODUCCION

El haba se cultiva principalmente en los andes, fue muy apreciado en la época precolombina, debido al transcurso de los años su consumo ha perdido fuerza debido a las nuevas costumbres tanto socio-culturales como alimenticias. En la actualidad este cultivo ha retomado importancia sobre todo en los países industrializados en donde aprecian sus altos valores nutritivos.

El haba constituye una fuente importante de hidratos de carbono, proteínas y por su contenido en fibras. Posee buenas cantidades de sales minerales (fosfato, calcio, hierro), y además, contiene porcentajes importantes de vitamina B1, B2 y C.

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

Desde el punto de vista del secado, las isotermas de adsorción se utilizan no sólo para el modelado y la simulación, sino también definir el punto final del proceso (Pezzutti y Capriste, 1997). Y además determinar el tipo de empaque y el tiempo de vida útil del producto.

## **1.1 Planteamiento del problema**

El conocimiento de las isotermas de adsorción de alimentos es de gran importancia para el desarrollo en la industria alimentaria, ya que brindan información útil para la optimización del proceso de deshidratado y el diseño de secadores, la selección del material de empaquetamiento, la predicción de la vida útil del proceso y de la evolución en el contenido de humedad durante el almacenamiento.

Chaves (2004)

Para obtener este valor que garantice la calidad del alimento se utilizan modelos matemáticos que permitan determinar estos parámetros, pero el principal problema es la confiabilidad de estos modelos matemáticos por lo que es necesario hacer una correlación que nos indique cual es el modelo que se ajusta más a los datos experimentales-.

### **1.1.1 Formulación del problema**

El modelo matemático de G.A.B presenta mejor correlación con los datos experimentales para la harina de haba.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general**

El modelo matemático de G.A.B presenta mejor correlación con los datos experimentales para las curvas de adsorción de agua

### **1.2.2 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)
- Evaluar estadísticamente los diferentes modelos matemáticos utilizados.

### **1.3 Importancia de la investigación**

La importancia de la investigación radica en la determinación del modelo matemático de adsorción que presente mejor correlación y que permita obtener los parámetros de adsorción que garanticen la prolongación de la vida útil de la harina de haba.

.

## II MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

### 2.1 Antecedentes de la investigación

Como antecedente de trabajos relacionados con nuestro plan de investigación de tesis podemos mencionar que no existe información de correlación de modelos matemáticos de adsorción en harina de haba, pero podemos citar el trabajo similares como el de Armando Tasayco Carbajal (2011) titulado “Determinación de los parámetros de secado y adsorción mediante modelos matemáticos para Pejerrey (*Odontesthes regia regia*) a diferentes temperaturas”, las principales conclusiones del trabajo fueron: Del análisis sensorial se concluye que el pejerrey secado a 60°C tiene mayor aceptación de acuerdo a la escala hedónica de 7 puntos, a el análisis de la varianza y la prueba de Duncan que se realizó con 30 jueces consumidores

Los parámetros de secado para el pejerrey a las temperaturas de 60°C fueron: humedad relativa 45%, humedad critica 1.897 g. de agua/ g.m.s. , humedad de equilibrio 0.087 g. de agua/g.m.s, tiempo del proceso 610 minutos

La tendencia de las isotermas de adsorción del pejerrey corresponde a la forma de la isoterma tipo II, característica de la mayoría de alimentos.

De los modelos analizados para las curvas de adsorción podemos concluir que los modelo de HALSEY y GAB se aproximan más a

los datos obtenidos experimentalmente de acuerdo con el E% calculado y la correlación hallada de los modelos matemáticos

Los valores obtenidos a partir del modelo GAB fueron: para la temperatura de 20°C 9.162 g. de agua/ 100 g.m.s, para la temperatura de 30°C 8.375 g. de agua/ 100 g.m.s, para la temperatura de 40°C 7.553 1 g. de agua/ 100 g.m.s,.

## **2.2 Marco teórico**

### **2.2.1 Descripción del haba**

El haba (*Vicia faba*), es una planta trepadora herbácea, tiene porte recto y erguido, con tallos fuertes y angulosos de hasta 1,6 metros de altura. Muestra hojas alternas, paripinnadas y compuestas, con foliolos anchos de forma oval-redondeada, color verde oscuro, sin zarcillos; el foliolo terminal no existe o se convierte en un zarcillo rudimentario.

Las flores se presentan en racimos de 2 a 8, axilares las cuales son fragantes y grandes, alcanzando los 4 cm, con pétalos blancos manchados de violeta, púrpura o negro. Son hermafroditas, y la planta es capaz de autopolinizarse. Hay que advertir que la fertilización cruzada natural es escasa, salvo en presencia de abejas.

El fruto es una legumbre, posee una vaina alargada de longitud variable entre 10 y 30 cm y consistencia carnosa, tienen un tabique esponjoso con una especie de pelo

afelpado o falso tabique entre las semillas siendo éstas más o menos aplastadas. Dentro de esta vaina se ubican las semillas puestas en fila. La vaina, de color verde en estado inmaduro, se oscurece y se vuelve pubescente al secarse. Los granos en el interior de la misma varían entre 2 y 9.

Las semillas son oblongas, de tamaño más o menos grande, dependiendo también de la variedad, y de color verde amarillento que luego, al sobremadurar, se vuelve bronceado. También hay variedades de grano negruzco y morado.

El peso de una semilla es de uno a dos gramos. El poder germinativo dura de 4 a 6 años. En la semilla comercial el porcentaje mínimo de germinación es del 90 por 100 y la pureza mínima del 99 por 100.

La raíz del haba crece en profundidad hasta alcanzar un largo similar al del tallo de la planta. Como otras fabáceas, los nódulos de la misma tienen la propiedad de fijar nitrógeno en el suelo; aunque hasta un 80% del mismo es consumido por la propia planta, el 20% restante mejora la fertilidad de la tierra, por lo que el cultivo se emplea en sistemas de rotación para fortalecer suelos agotados.

Fuente: [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)



Fig 1 El Haba *Vicia faba*

Funte: [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)

#### 2.2.1.1 Clasificación taxonómica del haba

Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Subclase:	Rosidae
Orden:	Fabales
Familia:	Fabaceae
Subfamilia:	Faboideae
Tribu:	Fabeae
Género:	<i>Vicia</i>
Especie:	<i>V. faba</i>

#### 2.2.1.2 Variedades de habas

Variedades más cultivadas de habas en el Perú:

**Aguadulce o Sevillana:** Es una variedad precoz. Sus matas alcanzan una altura de 80 a 100 cm, tendencia al ahijamiento. Tallos robustos y sin ramificaciones. Las hojas tienen los folíolos de color verde-grisáceo en el envés. Vainas grandes, hasta de unos 30 cm de longitud, muy colgantes. El número de granos por vaina es de 5 a 9. Su ciclo vegetativo está entre los 200-220 días.

<https://www.floresyplantas.net/tipos-de-habas/>

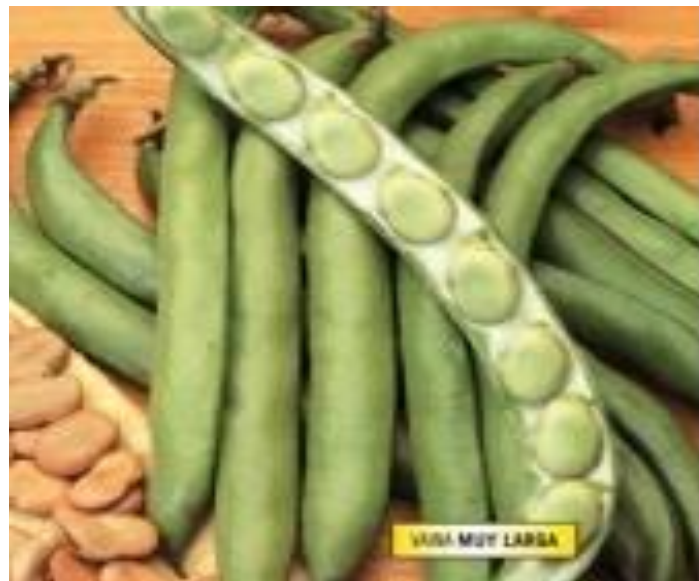


Fig. 2 Haba variedad aguadulce

Fuente: <http://semillasbatlle.es/es/aguadulce-sel-acualonga>

**Morada gitana** Variedad de extraordinaria precocidad, con planta de 90-100 cm de altura, vegetación verde-azulada y

productiva. Vainas semicolgantes de 23-25 cm de longitud con 6-7 semillas/vaina. Alrededor de 25 días más precoz que Muchamiel. Adecuada para siembras muy tempranas en zonas cálidas y tardías en continentales. Semilla de tamaño medio de color violeta brillante. Apta para mercado fresco e industria conservera.

Fuente:<http://www.venta-semillas.com/semillas/semillas-haba-morada-gitana-100gr/55/p>

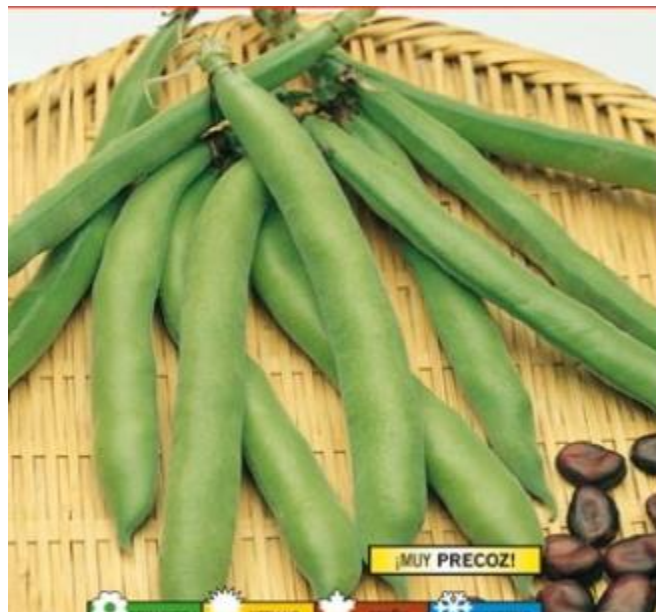


Fig 3 Haba morada gitana

Fuente:<http://www.venta-semillas.com/semillas/semillas-haba-morada-gitana-100gr/55/p>

**Muchamiel:** es la variedad que más se cultiva en la zona mediterránea. Procede de Alicante. Variedad precoz

destinada a verdeo. Plantas de porte alto, con flores blancas y con una mancha negra. Vainas no muy largas entre 15-20 cm. El número de granos por vaina es de 3-7. En Muchamiel (Alicante), también se las conoce como “cuarentenas”, ya que sembradas a mediados de septiembre y transcurridos cuarenta días están aptas para el consumo. Su ciclo vegetativo normal hasta la maduración de la semilla está entre 190 y 200 días.

<https://www.floresyplantas.net/tipos-de-habas/>



**Fig 4 Haba muchamiel**

Fuente: <http://semillasbatlle.es/es/aguadulce-sel-acualonga>

### **2.2.2 Descripción de la harina de haba**

La harina de haba es muy conocida por sus propiedades alimenticias. Fundamentalmente son muy ricas en calorías y proteínas.

Se debe destacar la importancia que tiene la harina de haba y sus propiedades funcionales en la alimentación humana y la medicina.

### **2.2.2.1 Propiedades medicinales**

Beneficios de la harina de haba:

- **Colesterol:** El consumo de haba (fresca o seca) ayuda a eliminar grasas de las arterias, disminuyendo el nivel de colesterol.
  - **Alzheimer:** Por su contenido de lecitina y colina puede ayudar a mejorar los síntomas en los enfermos de Alzheimer.
  - **Panadizos y forúnculos:** Baño con la decocción de hojas hasta que el agua se enfríe.
  - **Afrodisíaco:** Comer haba (fresca o seca) aumenta el deseo sexual.
- Quemaduras:** La harina es magnífica contra las quemaduras de todo género y dará mejores resultados si se mezcla con leche humana, para estos casos se frota suavemente las partes afectadas unos 10 minutos y luego se aplicará compresas de la misma harina. Esta misma es también buena contra las hinchazones de los senos, debido

a una excesiva secreción de la leche, para lo que se aplicará en cataplasma.

Fuente: <http://miestudiodeingenieria.blogspot.pe/2017/03/la-harina-de-habas-y-su-elaboracion-de.html>

### **2.2.2.2 Composición química de la harina e haba**

La harina de haba aportan:

Un alto contenido en proteínas vegetales, superior al de la mayoría de vegetales.

Hidratos de carbono complejos y mucha fibra que ayuda a asimilar mejor los carbohidratos.

Minerales, entre los que destaca su aporte de: potasio, magnesio, calcio, hierro, cobre,

Vitaminas: vitaminas del complejo B principalmente, como el ácido fólico.

En la tabla 1 se presenta la composición química de la harina de haba

Tabla 1 Composición química de la harina de haba

Componente	Composición en 100 g de muestra
Humedad	11.9 g
Proteína	24.3 g
Grasa	1.9 g
Carbohidratos	59.6 g
Fibra	4.4 g
Cenizas	2.3 g

### 2.2.3

#### Isoterma de adsorción

Si se representan distintos valores de la humedad relativa en equilibrio del aire frente al correspondiente contenido de humedad en equilibrio del producto a una temperatura dada, se obtiene una función sigmoide (figura 5) denominada isoterma de sorción, la cual varía según el alimento considerado. Se trata, por tanto, de una característica propia de cada alimento, consecuencia básicamente de cómo se encuentre ligada el agua al mismo y de su estructura y composición. Rodríguez Francisco (2002)

El análisis de la figura 5, donde se representa un comportamiento isotérmico típico, permite distinguir dos clases de isotermas, según el equilibrio se alcance a través de un proceso de humidificación del alimento (adsorción) o

mediante el proceso contrario, de secado (desorción). Se conforma así un ciclo de histéresis, característico de cada alimento. Rodríguez Francisco (2002)

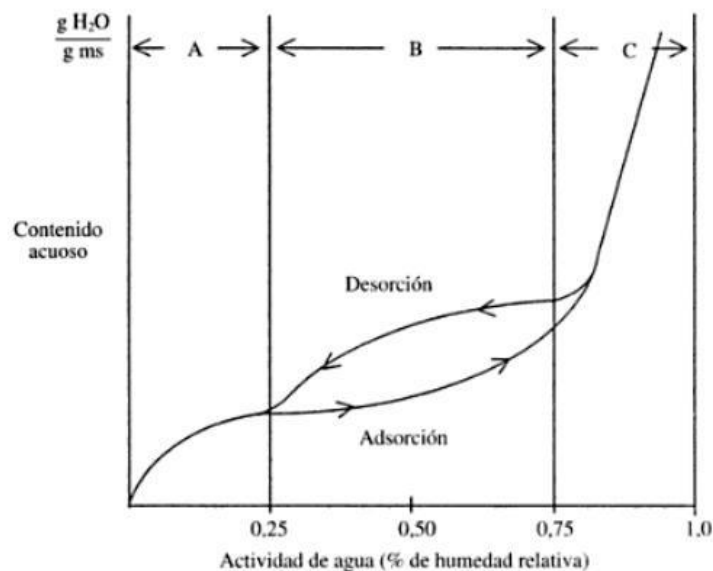


Fig 5 Curvas de adsorción y desorción

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

Tramo A En esta zona el agua se encuentra fuertemente ligada al alimento por fuerzas de Van der Waals, cuando no formando parte de la propia estructura molecular del producto. El agua puede estar asociada a, entre otros grupos, los hidróxidos de los polisacáridos, así como a los carbonilo y aminito de las proteínas. La totalidad del agua unida a estos puntos se conoce como agua monocapa (capa monomolecular de agua). Se trata de un agua con una

entalpía de vaporización muy superior a la del agua pura, sumamente estable y difícilmente congelable o deshidratable. Se habla en este caso, también, de agua rígida.

Tramo B. Corresponde esta fase al agua retenida en diversas capas (agua multicapa), la cual ejerce como disolvente de solutos de bajo peso molecular. Las fuerzas de unión a la estructura del alimento o sustrato seco son bastante menos intensas que en el caso anterior. Presenta una entalpía de vaporización todavía superior a la del agua pura. Constituye un medio en ciertos alimentos pueden tener lugar algunas reacciones bioquímicas. Se dice que el agua en esta zona se encuentra en estado *pseudos-liquido*.

Tramo C. El agua en este tramo esta retenida por capilaridad o en las células del alimento. Su grado de fijación al alimento es en todo caso débil, de ahí el término agua libre. Sus características están muy próximas a las del agua pura. Se deshidrata o congela con facilidad. Es el medio donde se desarrolla el crecimiento microbiano, así como donde se dan las reacciones enzimáticas y bioquímicas. Por ello, a veces, recibe el nombre de agua biológica. Parece claro, por tanto, que si el alimento presenta una  $a_w$  dentro del intervalo del tramo C, existirán grandes de que experimente alguna alteración.

El conocimiento de las isotermas de adsorción de los alimentos es fundamental para plantear su conservación. Así, si se trata del secado de un alimento con aire de una humedad dada, su contenido de humedad en equilibrio es el contenido de humedad mínimo que se puede que se puede alcanzar para una determinada temperatura. Si la operación es un almacenamiento frigorífico del alimento, habrá que buscar a través del estudio de su isoterma de sorción unas condiciones para el aire ambiente tales que aseguren una actividad de agua del producto capaz de preservarlo de posibles alteraciones.

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 Francisco (2002)

### **2.2.3.1 Efecto de la temperatura sobre la actividad de agua( $A_w$ )**

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

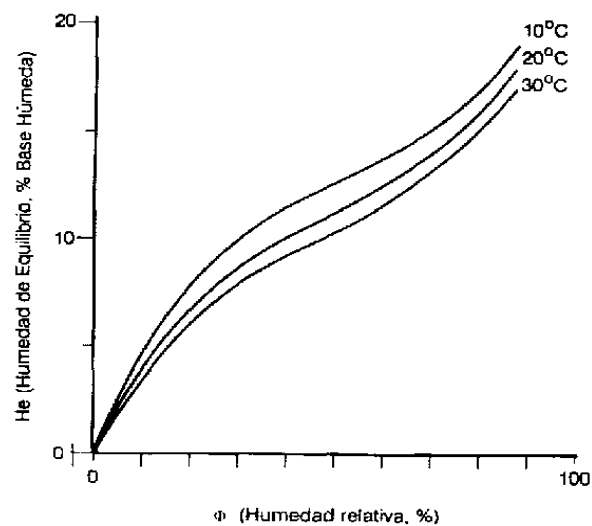


Fig 6. Isotermas de sorción a diferentes temperaturas

### 2.2.3.2 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  $\text{NH}_3^+$  y  $\text{COO}^-$  de las proteínas y de los grupos OH de los almidones y probablemente, también el agua de cristalización de las sales y azúcares.

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

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

### 2.2.3.3 Modelos matemáticos aplicados al fenómeno de la sorción

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 .Karel, (1973)

Los modelos matemáticos más utilizados:

**MODELO DE B.E.T.** (Brunaúer S, 1938)

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

Dónde:

$A_w$  = Actividad de agua

$X$  = Humedad del producto Kg H<sub>2</sub>O/ Kg sólido seco.

$X_m$  = Humedad del producto correspondiente a una capa monomolecular de agua adsorbida  
Kg H<sub>2</sub>O/ Kg sólido seco.

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

Debido a que las hipótesis de este modelo teórico no se cumplen enteramente para muchos materiales, su aplicabilidad se restringe es de  $A_w$  entre 0,05 y 0,40 . Vidal, D. y Fito ,M.P,(1986). Su principal interés está en la determinación de  $X_m$ .

### **MODELO DE CAURIE** (Caurie, 1970 a y b ; 1971)

$$x = \exp \left[ A_w \cdot (\ln \gamma) - \frac{1}{4.5 \cdot X_s} \right] \quad (2)$$

Donde:

$X$  = Humedad del producto Kg H<sub>2</sub>O/ Kg sólido seco

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

$R$  = Parámetro característico de cada producto,

Este modelo suele dar buenos resultados para muchos alimentos, en el intervalo  $A_w = 0 - 0,85$  (Boquet et al ., 1978)

**MODELO DE G. A.B.** (Van den Berg, C y Bruin, S.1981 )

$$\frac{A_w}{n} = \frac{1}{X_m \cdot C_g \cdot K} + \frac{C_g - 2}{X_m \cdot C_g} \cdot A_w + \left( K \cdot \frac{1 - C_g}{X_m C_g} \right) \cdot A_w^2 \quad (3)$$

Donde:

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

$X_m$  y  $C$  tienen el mismo significado, respectivamente, que

$X_m$ ,  $X$  y  $C$  del modelo de B.E.T., y  $k$  es un parámetro de corrección de las propiedades del agua.

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

**MODELO HALSEY** (1948)

$$X = \alpha \left( \ln \left( \frac{1}{A_w} \right) \cdot \beta \right) \quad (4)$$

Donde:

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

$\alpha\beta$  son dos parámetros característicos del producto.

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

### **MODELO DE HENDERSON** (Henderson, 1952)

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

$$n = 0.01 \cdot \left[ \frac{-\log \cdot (1 - A_w)}{10^f} \right]^{\frac{1}{\eta}} \quad (5)$$

Donde:

$X$  = Humedad del producto Kg H<sub>2</sub>O/ Kg sólido seco

$\lambda$  y  $\sigma$  son dos parámetros característicos del alimento.

## **2.3 Marco conceptual**

### **2.3.1 Leguminosa**

La leguminosa o legumbre son alimentos que se dividen en tres grandes categorías: las lentejas (verdes, negras, de color coral, etc.), las judías (blancas, rojas, negras, las habas, etc.) y los garbanzos (garbanzos, guisantes, etc.). Los cacahuets también forman parte de las leguminosas. Estos alimentos tienen propiedades digestivas debido a su gran riqueza en fibras. También tienen una acción

interesante para cortar el apetito siendo pobres en materias grasas y teniendo un bajo índice glucémico.

Fuente: <http://salud.ccm.net/faq/22839-leguminosas-definicion>

### **2.3.2 Harina**

Proviene del latín “Farina”, es una especie de polvo suave y fino, que se saca moliendo una variedad de semillas como el maíz, el trigo, obteniendo un polvo rico en almidón. En el mercado comercial se encuentra un gran grupo de diferentes harinas como la de centeno, avena, arroz, garbanzos, de girasol, acacios, pasando por un proceso de refinamiento en algunos casos el cual le da el color blanquecino, las hay integrales, conteniendo gluten que es una proteína que le da suavidad y consistencia

Fuente: <http://conceptodefinicion.de/harina/>

### **2.3.3 Curva de adsorción**

Es la curva que representa la cantidad de agua que puede captar un alimento del medio ambiente hasta alcanzar el equilibrio a una determinada temperatura. Rodríguez Francisco (2002)

### **2.3.4 Capa monomolecular**

Es el valor del contenido de humedad que representa la capa de agua que está en la superficie de los constituyentes del alimento, y que garantiza que el agua no está disponible para los microorganismos, no se producen reacciones

químicas y no actúa como solvente. Rodríguez Francisco (2002)

### **2.3.5 Actividad de agua**

Actividad acuosa se define como la relación que existe entre la presión de vapor de un alimento dado en relación con la presión de vapor del agua pura a la misma temperatura. Se denomina por regla general como aw del idioma inglés Water activity, aw. Rodríguez Francisco (2002)

### **2.3.6 Humedad relativa**

La humedad del aire se debe al vapor de agua que se encuentra presente en la atmósfera. El vapor procede de la evaporación de los mares y océanos, de los ríos, los lagos, las plantas y otros seres vivos. La cantidad de vapor de agua que puede absorber el aire depende de su temperatura.

Rodríguez Francisco (2002)

## **III MATERIALES Y MÉTODOS**

### **3.1 Materiales**

### **Materia prima**

- Harina de habas

### 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
K <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>2</sub>	23.2	22	20.4
Mg Cl <sub>2</sub> 6 H <sub>2</sub> O	33.6	32.8	32.1
K <sub>2</sub> C O <sub>3</sub>	43.9	43.6	43.4
Mg(NO ) 6 H O	54.9	52	49.2
NaCl	75.5	75.6	75.4
K <sub>2</sub> Cr O <sub>4</sub>	86.6	86.3	85.6

### **3.2 Método para la obtención de las curvas de adsorción para la harina de haba**

Para determinar los parámetros 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 las muestras colocadas a temperatura de 20°C y 30 °C y para las muestras a 40 ° C después de 48 horas, se calcularon los diferentes contenidos de humedad. Los parámetros de adsorción se determinaron utilizando modelos matemáticos, para lo cual se utilizó el programa Mathcad 14

### **3.2.1 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 ( $R$ )

### **3.2.2 Modelo para obtener los parámetros de adsorción y el coeficiente de correlación de la ecuación de CAURIE**

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

Ecuación

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

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

Modelo lineal

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

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

### 3.2.3 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

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

Modelo lineal

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

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

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

### 3.2.4 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

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

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

### 3.2.5 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

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

Modelo Lineal

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

### 3.2.6 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

## IV RESULTADOS

### 4.1 Isotermas de adsorción obtenidas experimentalmente.

En la tabla 2 se presentan los contenidos de humedad de equilibrio de la harina de haba a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C, los datos obtenidos se grafican en la figura 7.

Tabla 2. Contenido de humedad de equilibrio para la harina de haba a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C para un intervalo de actividad de agua de 0.112 a 0.866

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)
0.112	7.42	0.112	7.18	0.112	7.14
0.232	9.32	0.22	8.85	0.204	8.15
0.336	10.12	0.328	9.42	0.321	9.12
0.439	12.53	0.436	11.28	0.434	10.81
0.592	15.52	0.563	13.82	0.537	12.52
0.755	22.21	0.756	21.29	0.754	20.32
0.866	33.13	0.863	30.21	0.856	28.88

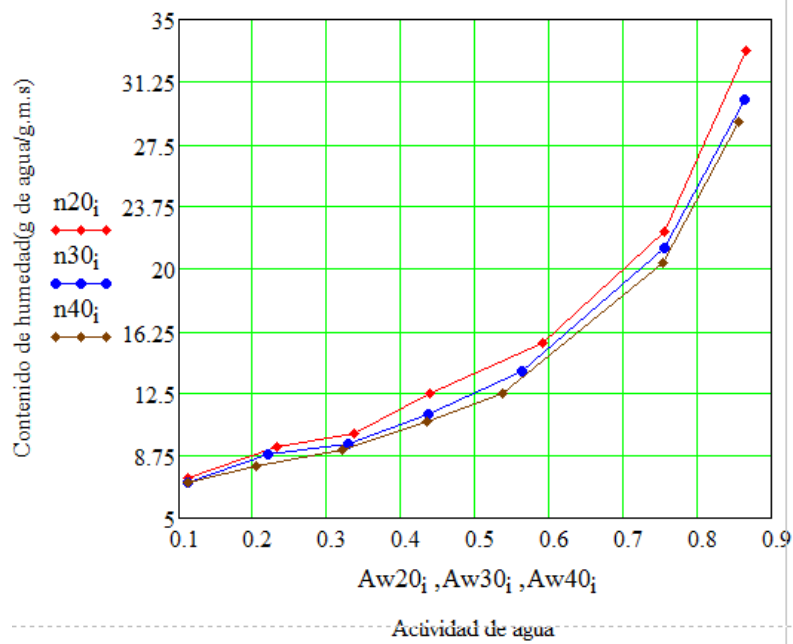


Fig 7 Curvas de adsorción experimental para la harina de haba a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C

#### 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

En las figuras 8, 9 y 10 se muestran los resultados experimentales y los calculados mediante el modelo de GAB a las temperaturas de 20, 30 y 40°C , en la figura 11 se presentan las tres curvas y en la tabla 3 los parámetros de la adsorción.

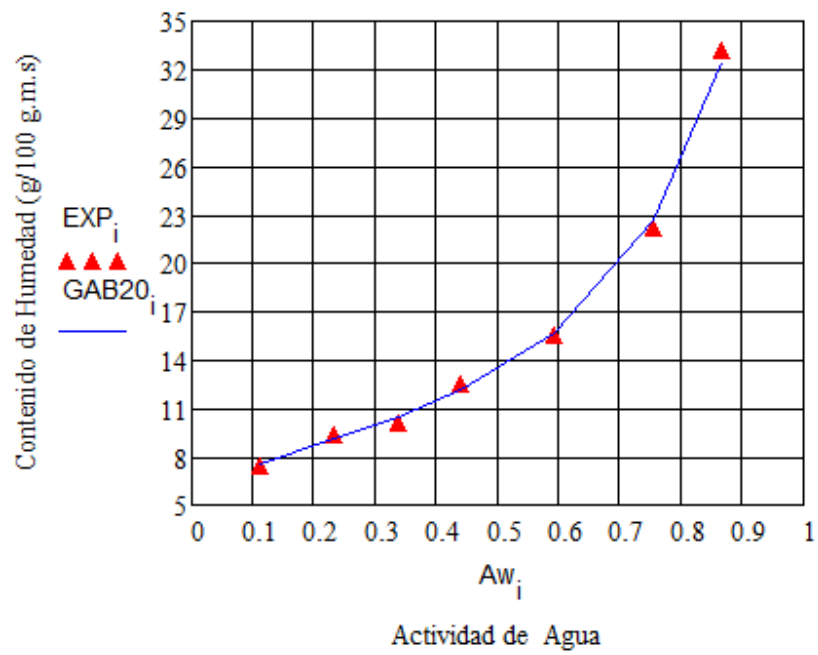


Fig 8 Isothermas de adsorción de G.A.B. a la temperatura de 20°C

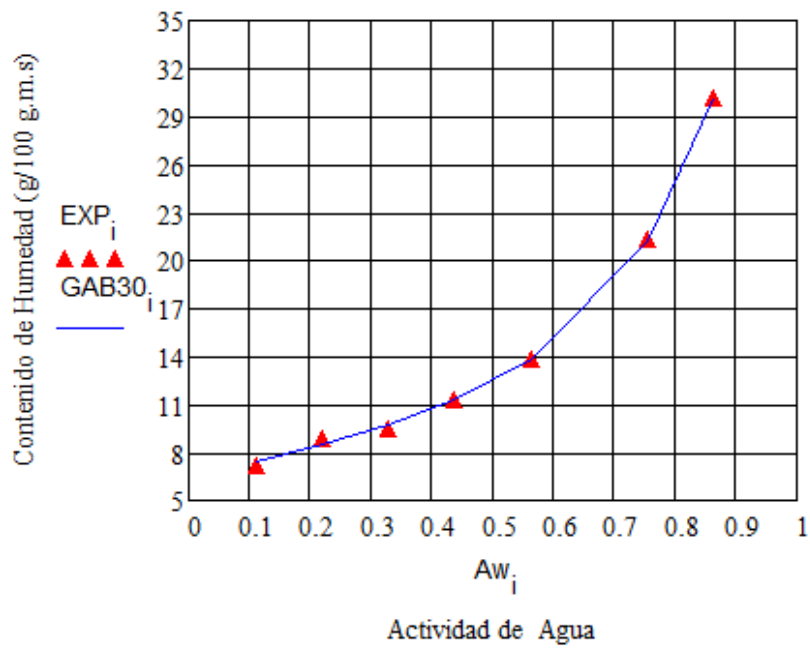


Fig 9 Isothermas de adsorción de G.A.B. a la temperatura de 30°C

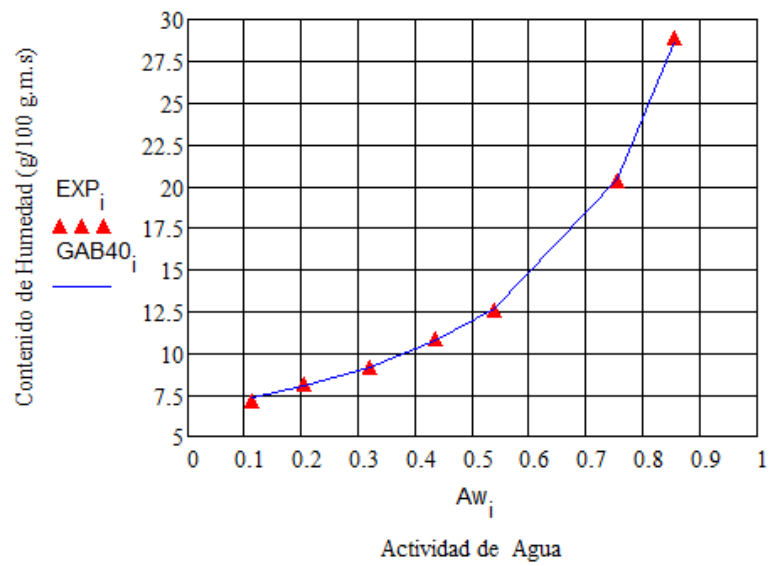


Fig 10 Isotherma de adsorción de G.A.B. a la temperatura de 40°C

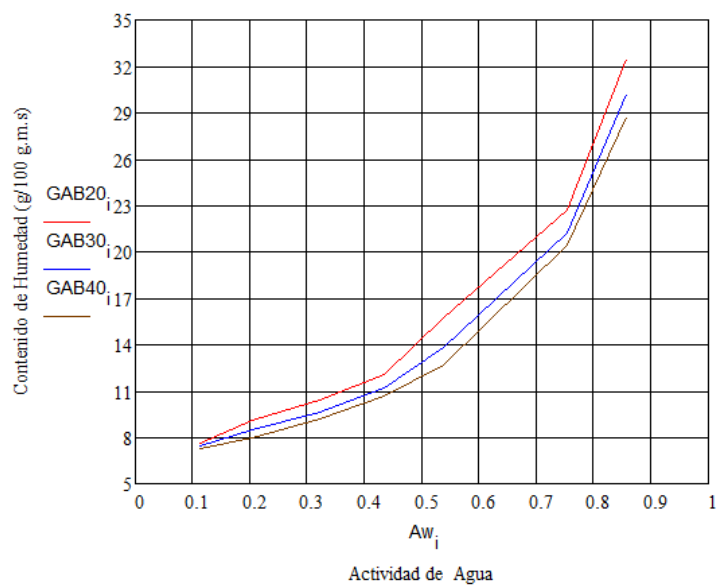


Fig 11 Isothermas de adsorción de GAB a 20°C , 30°C y 40°C

Tabla 3. Valores de los parámetros  $X_m$  ,  $C_g$  y  $K$  del modelo G.A.B. estimados para la harina de haba

Parámetros de la ecuación de G.A.B.	T = 20°C	T = 30°C	T = 40°C
$X_m$ (g de agua/100 g. m.s)	7.511	6.893	6.493
$C_g$ (constante)	89.792	256.447	950.52
$K$ (constante)	0.889	0.895	0.904

#### 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 12, 13 ,14 y 15 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

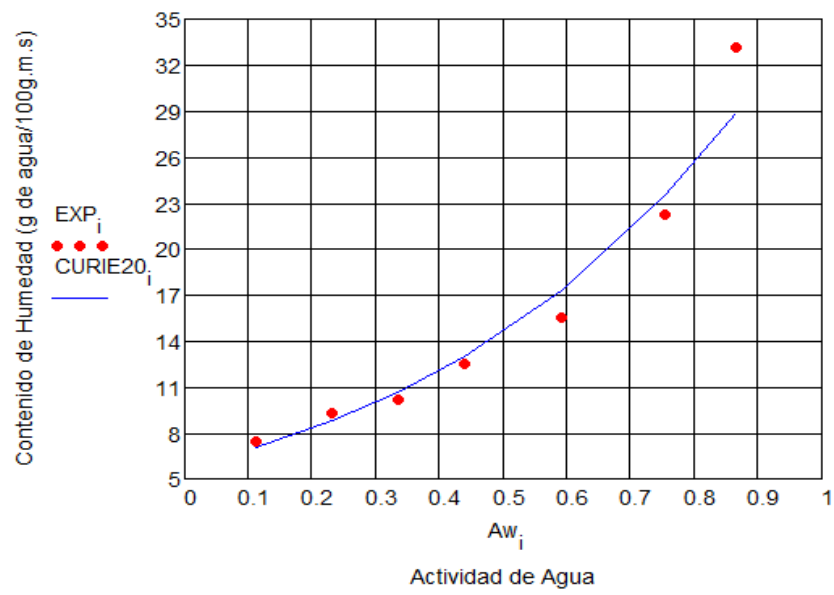


Fig 12 Isotherma de adsorción de Caurie a la temperatura de 20°C

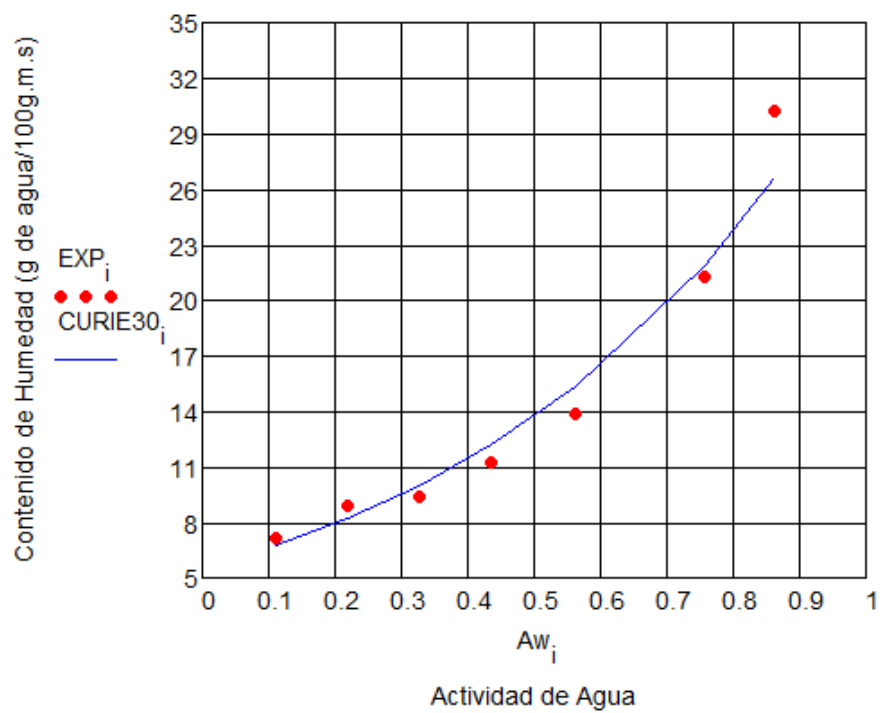


Fig 13 Isotherma de adsorción de Caurie a la temperatura de 30°C

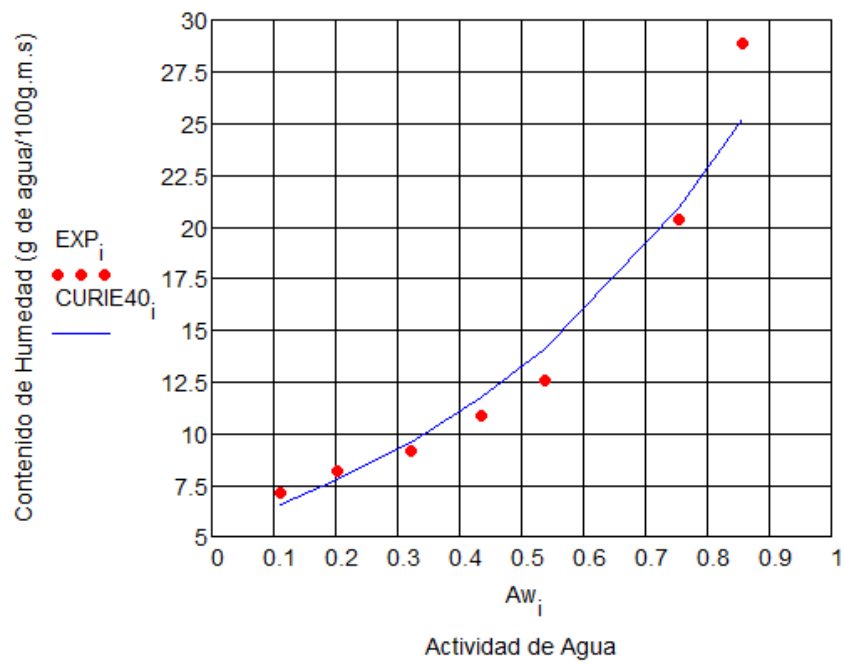


Fig 14 Isotherma de adsorción de Caurie a la temperatura de 40°C

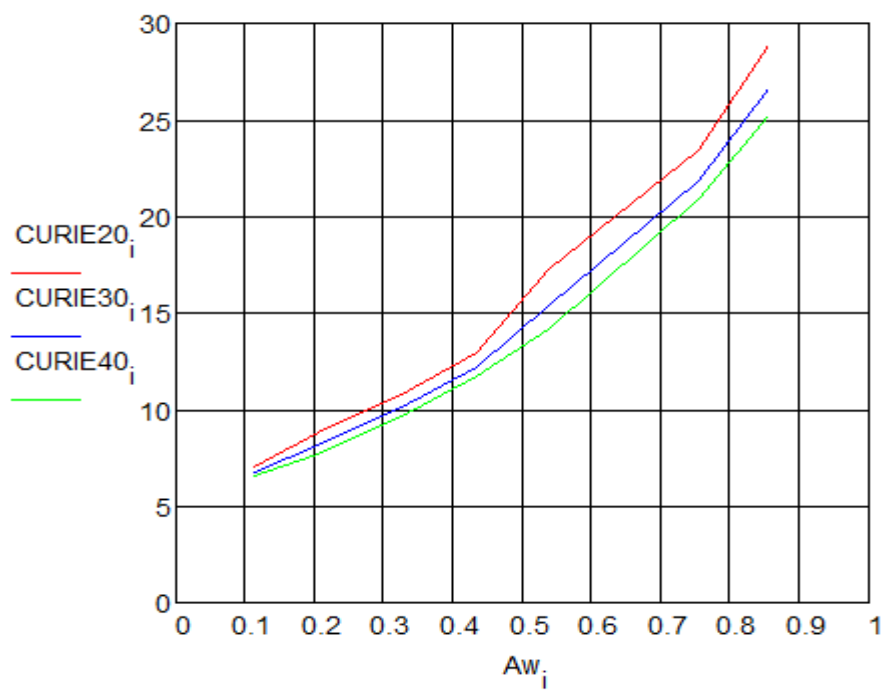


Fig 15 Isothermas de adsorción de Caurie a 20°C , 30°C y 40°C

Tabla 4. Valores de los parámetros  $\gamma$  ,  $X_s$  del modelo Caurie estimados para la harina de haba

Parámetros de la ecuación de Caurie	T = 20°C	T = 30°C	T = 40°C
$\gamma$	65,326	6.251	6.1306
$X_s$	-0.1278	-0.1307	-0.1327

#### 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 16, 17 ,18 y 19 se muestran los resultados experimentales 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

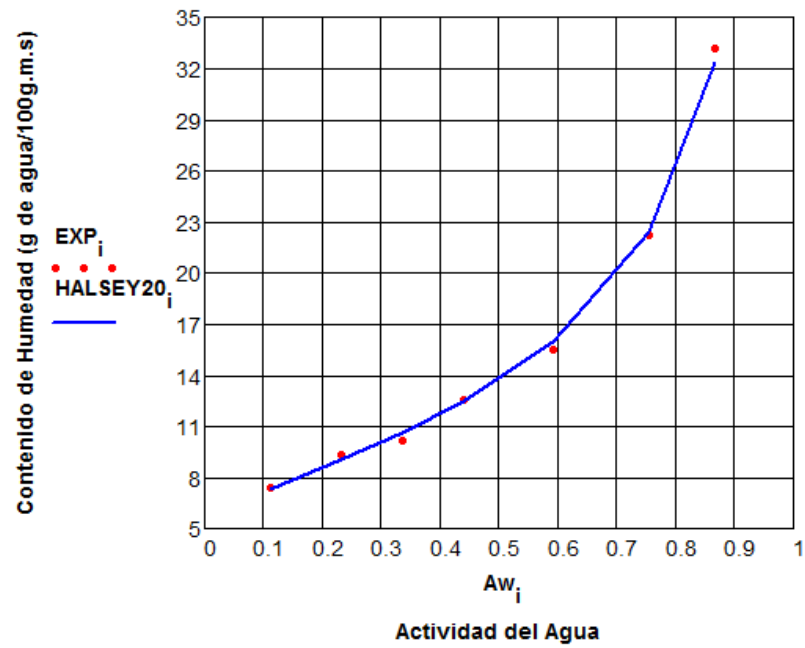


Fig 16 Isotherma de adsorción de Halsey a 20°C

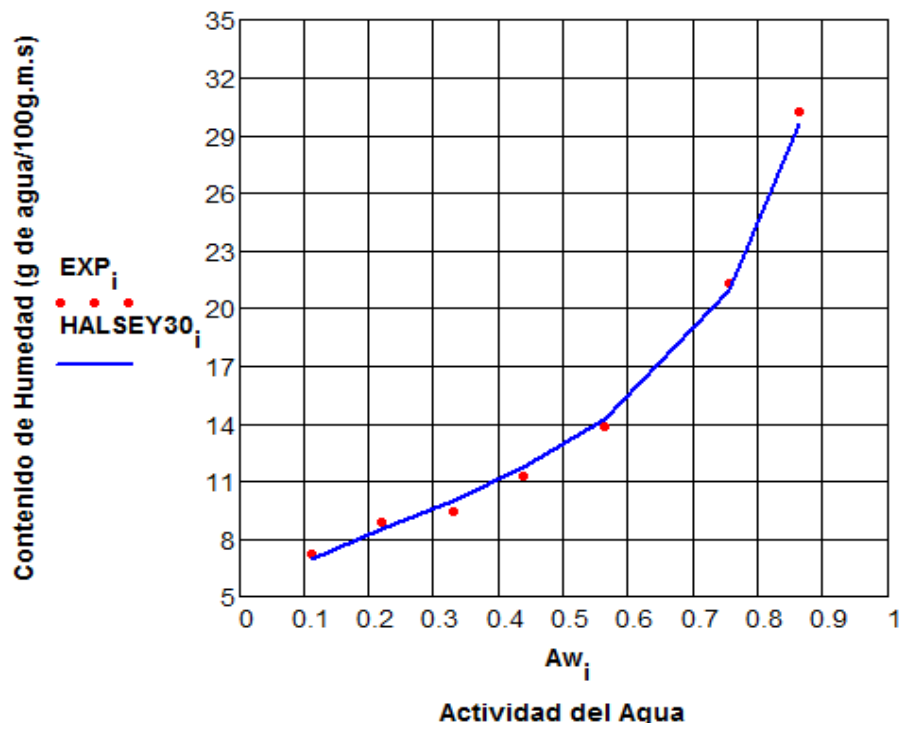


Fig 17 Isotherma de adsorción de Halsey a 30°C

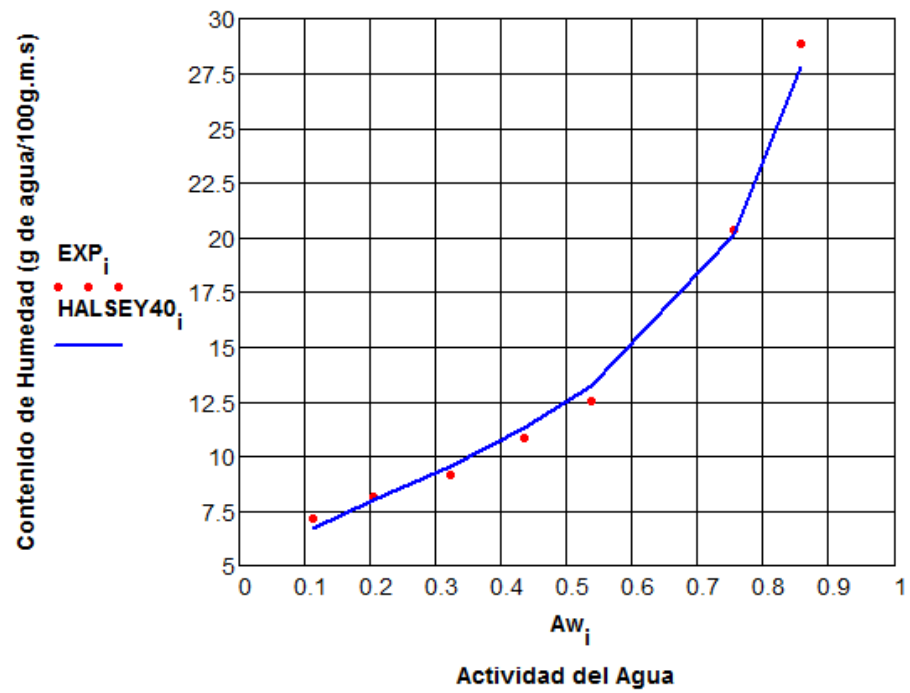


Fig 18 Isotherma de adsorción de Halsey a 40°C

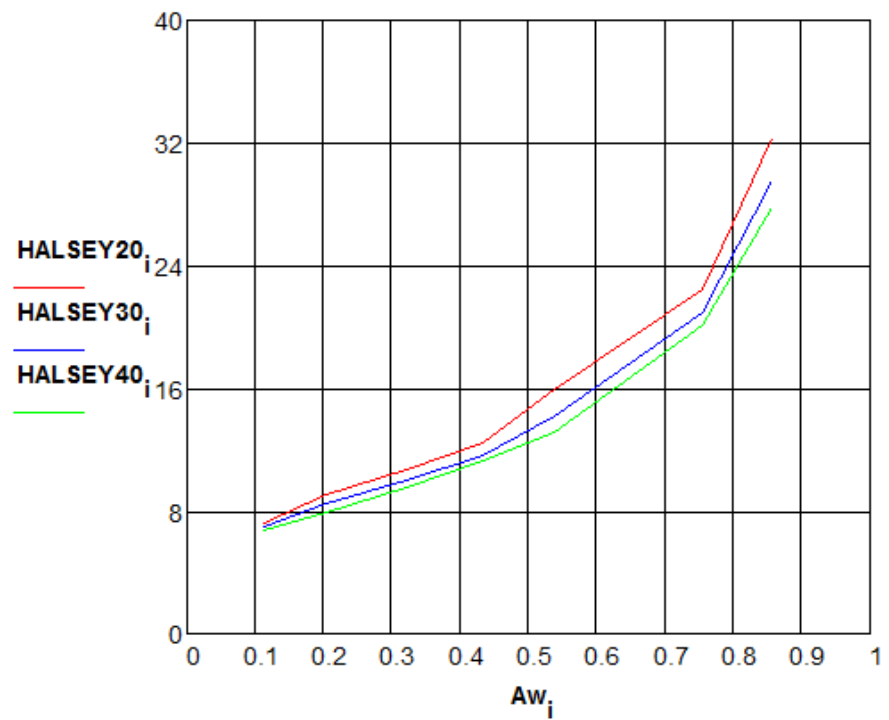


Fig 19 Isothermas de adsorción de Halsey a 20°C , 30°C y 40°C

Tabla 5. Valores de los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$  del modelo Halsey estimados para la harina de haba

Parámetros de la ecuación de Halsey	T = 20°C	T = 30°C	T = 40°C
$\alpha$	11.161	10.562	10.211
$\beta$	-0.549	-0.537	-0.537

#### 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 20, 21, 22 y 23 se muestran los resultados experimentales 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

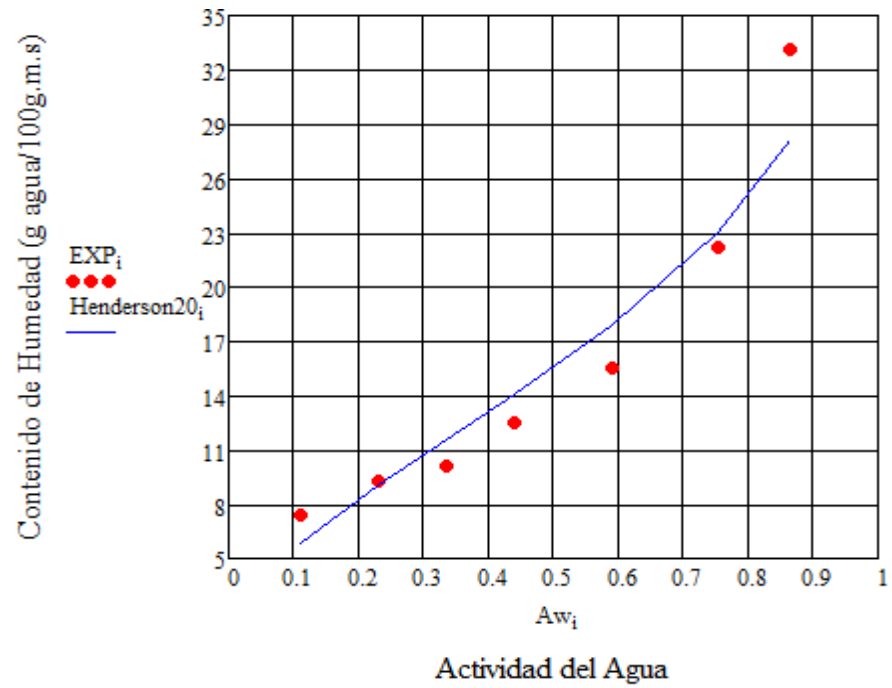


Fig 20 Isoterma de adsorción de Henderson - Thompson a 20°C

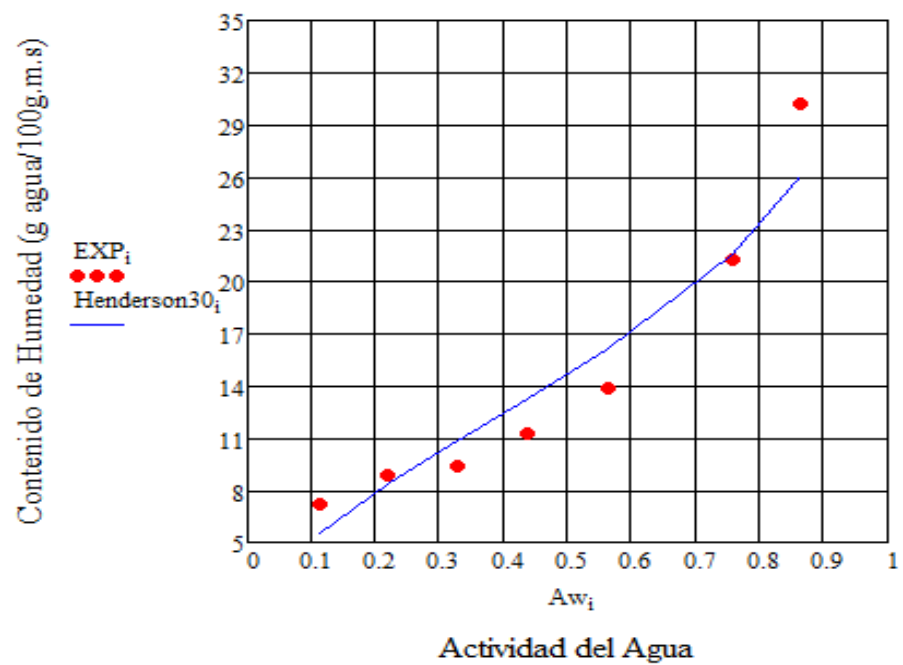


Fig 21 Isoterma de adsorción de Henderson - Thompson a 30°C

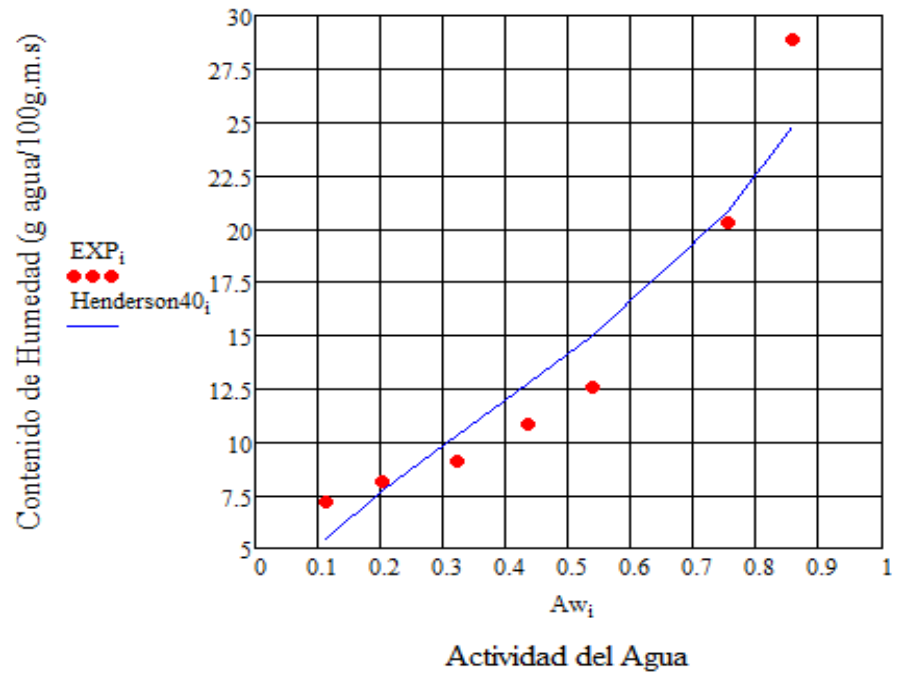


Fig 22 Isotherma de adsorción de Henderson - Thompson a 40°C

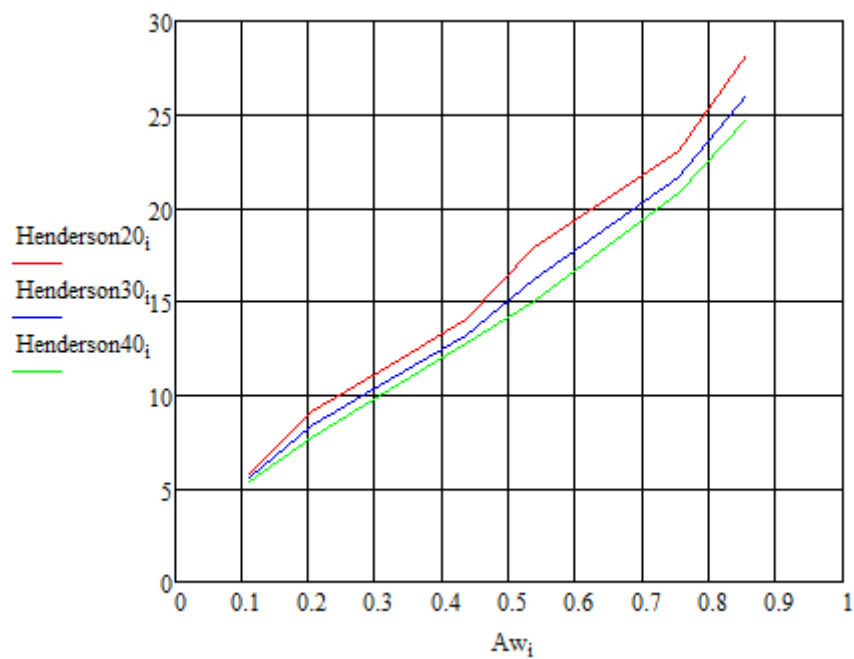


Fig 23 Isothermas de adsorción de Henderson - Thompson a 20°C , 30°C y 40°C

Tabla 6. Valores de los parámetros  $f$  ,  $\eta$  del modelo Henderson - Thompson estimados para la harina de haba

Parámetros de la ecuación de Henderson - Thompson	T = 20°C	T = 30°C	T = 40°C
F	6.249	6.299	6.3
$\eta$	1.794	1.825	1.834

#### 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 24, 25 ,26 y 27 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.

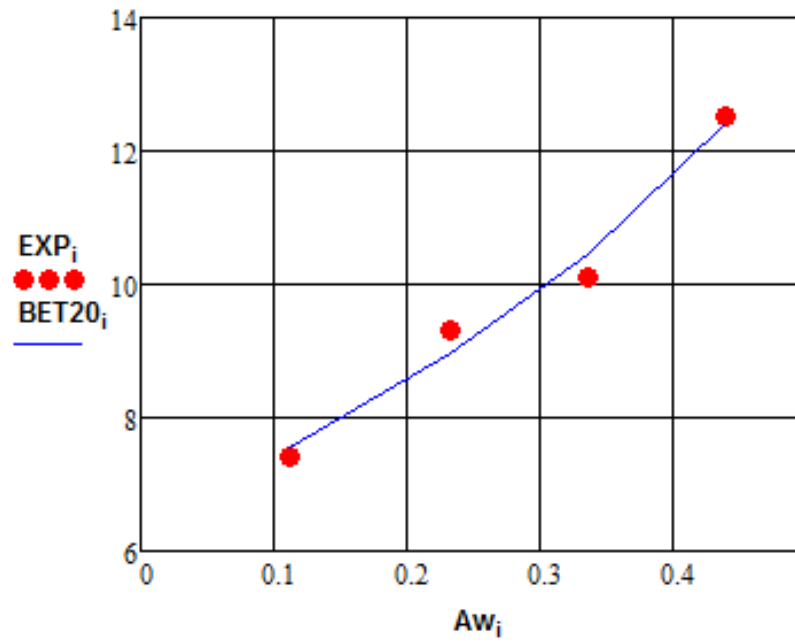


Fig 24 Isothermas de adsorción de B.E.T. a 20°C

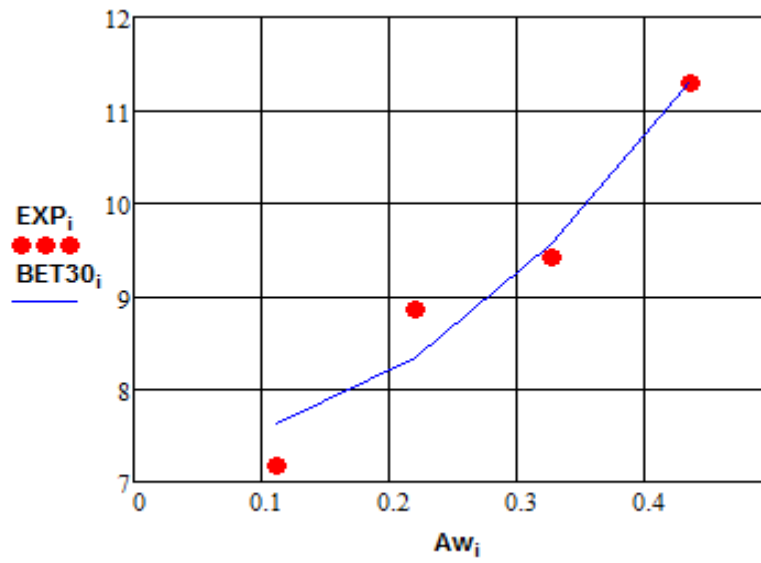


Fig 25 Isothermas de adsorción de B.E.T. a 30°C

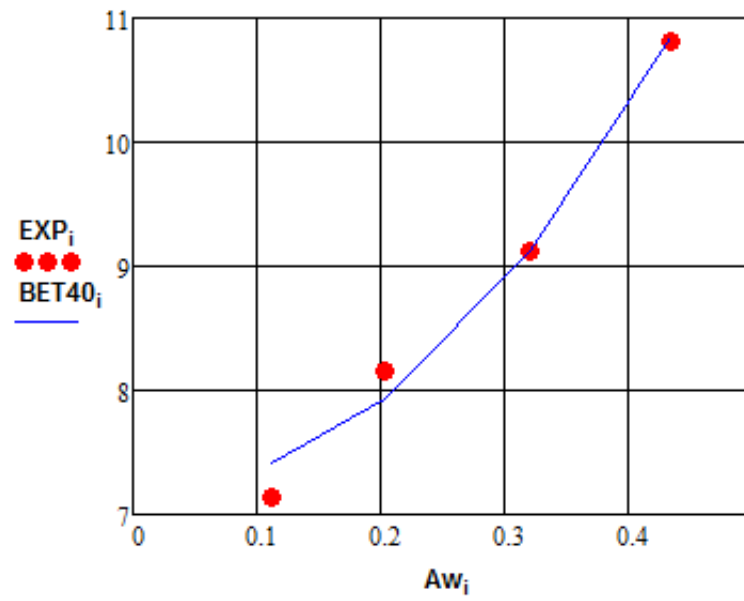


Fig 26 Isothermas de adsorción de B.E.T. a 40°C

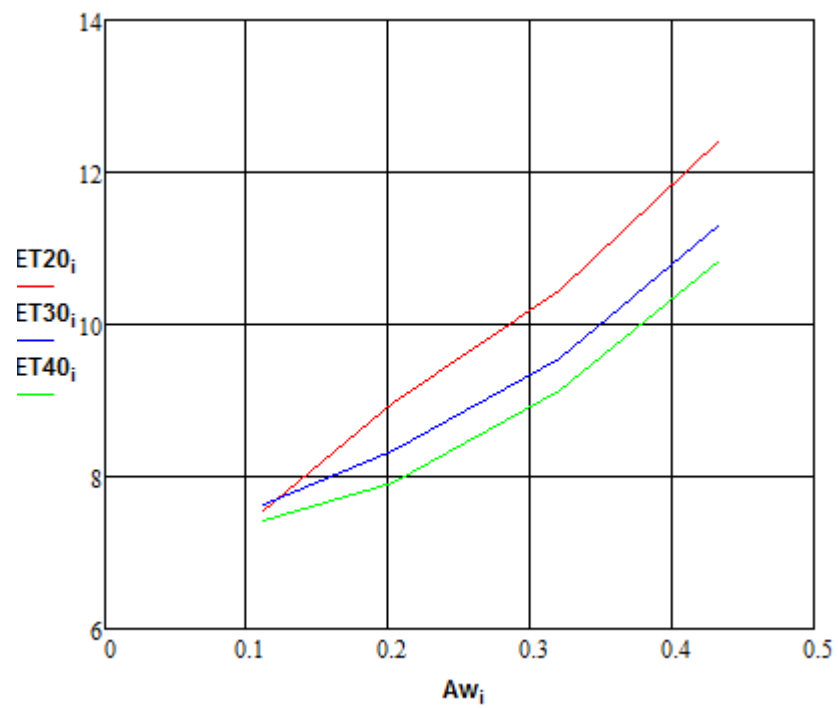


Fig 27 Isothermas de adsorción de B.E.T. a 20°C , 30°C y 40°C

Tabla 7. Valores de los parámetros  $X_m$ ,  $C$  del modelo Henderson - Thompson estimados para la harina de haba

Parámetros de la ecuación de BET	T = 20°C	T = 30°C	T = 40°C
$X_m$	7.012	6.304	5.478
$C$	179.512	-112.897	-100.375

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

En las figuras 28, 29 y 30 se presentan las curvas experimentales y modeladas a 20°C, 30°C y 40°C, respectivamente, utilizando las cinco ecuaciones propuestas

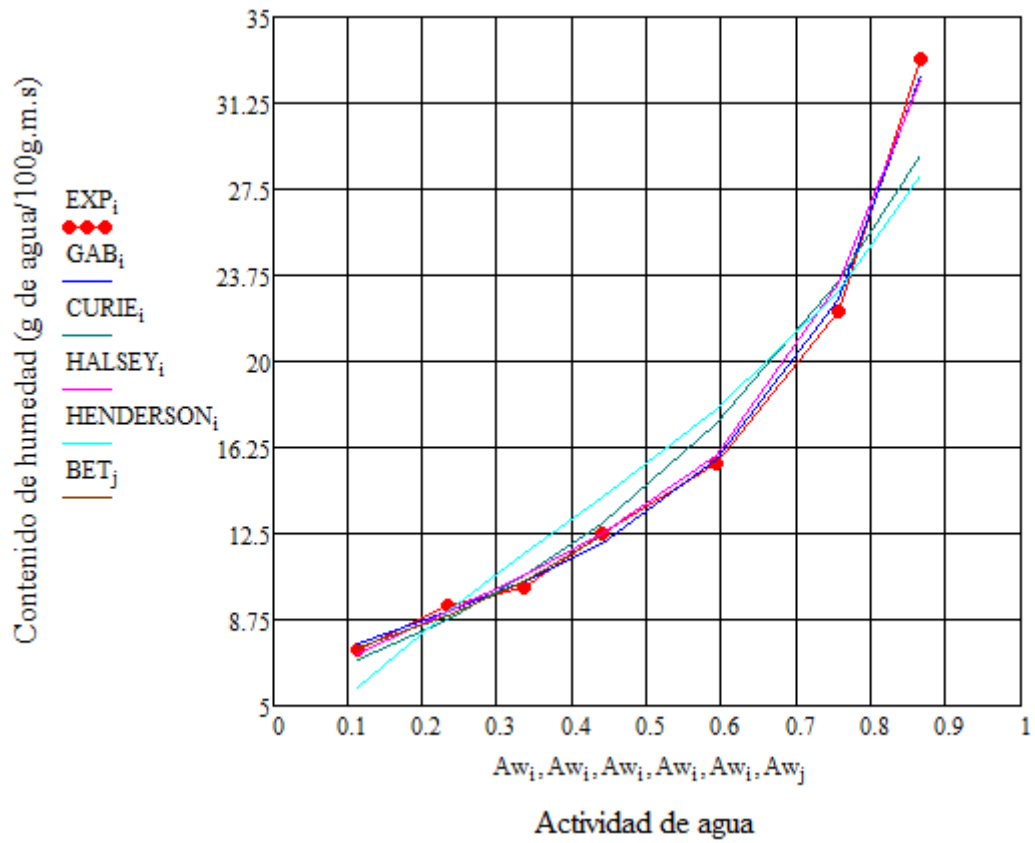


Fig 28 Curva de adsorción para la harina de haba a 20°C, datos experimentales y sus modelos

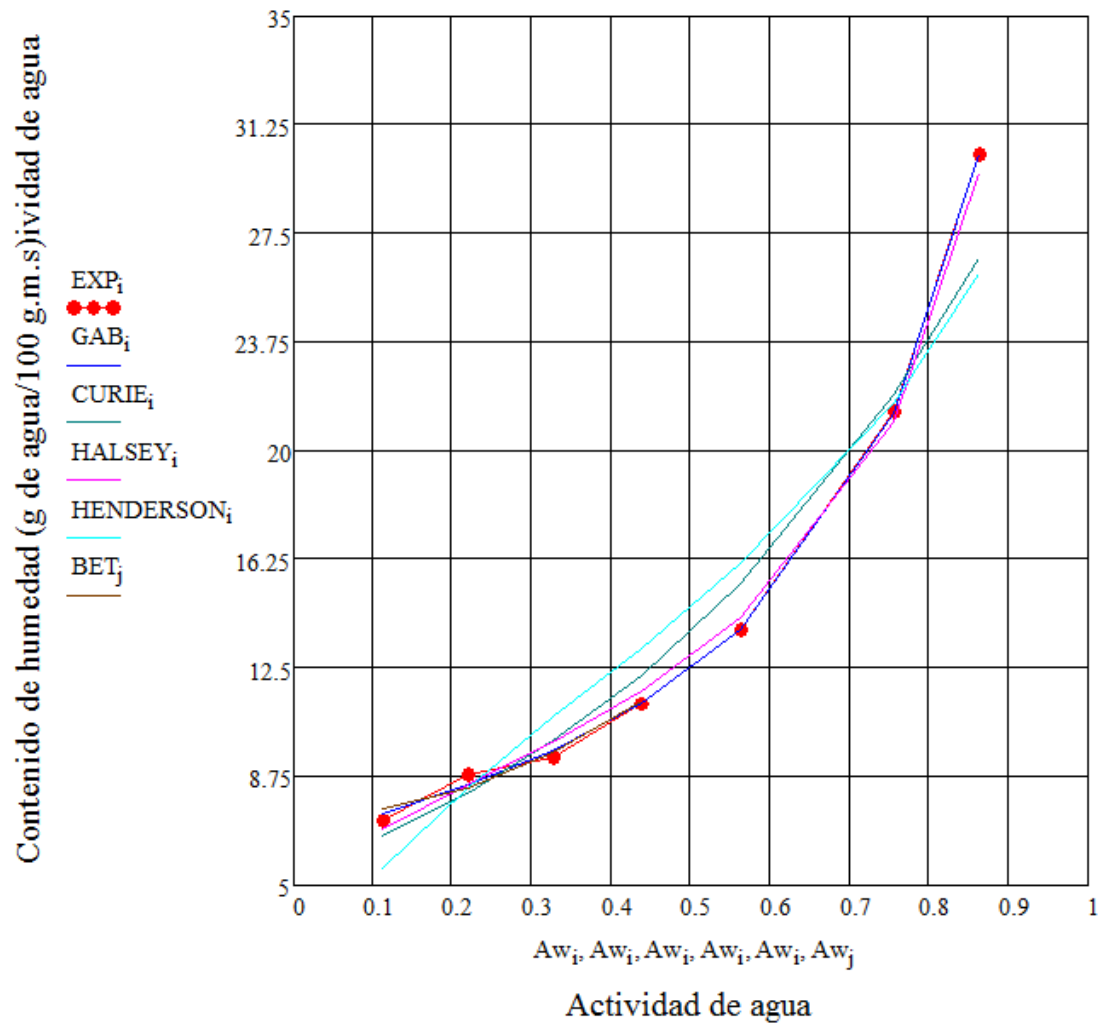


Fig 29 Curvas de adsorción para harina de haba a 30°C, datos experimentales y su modelado

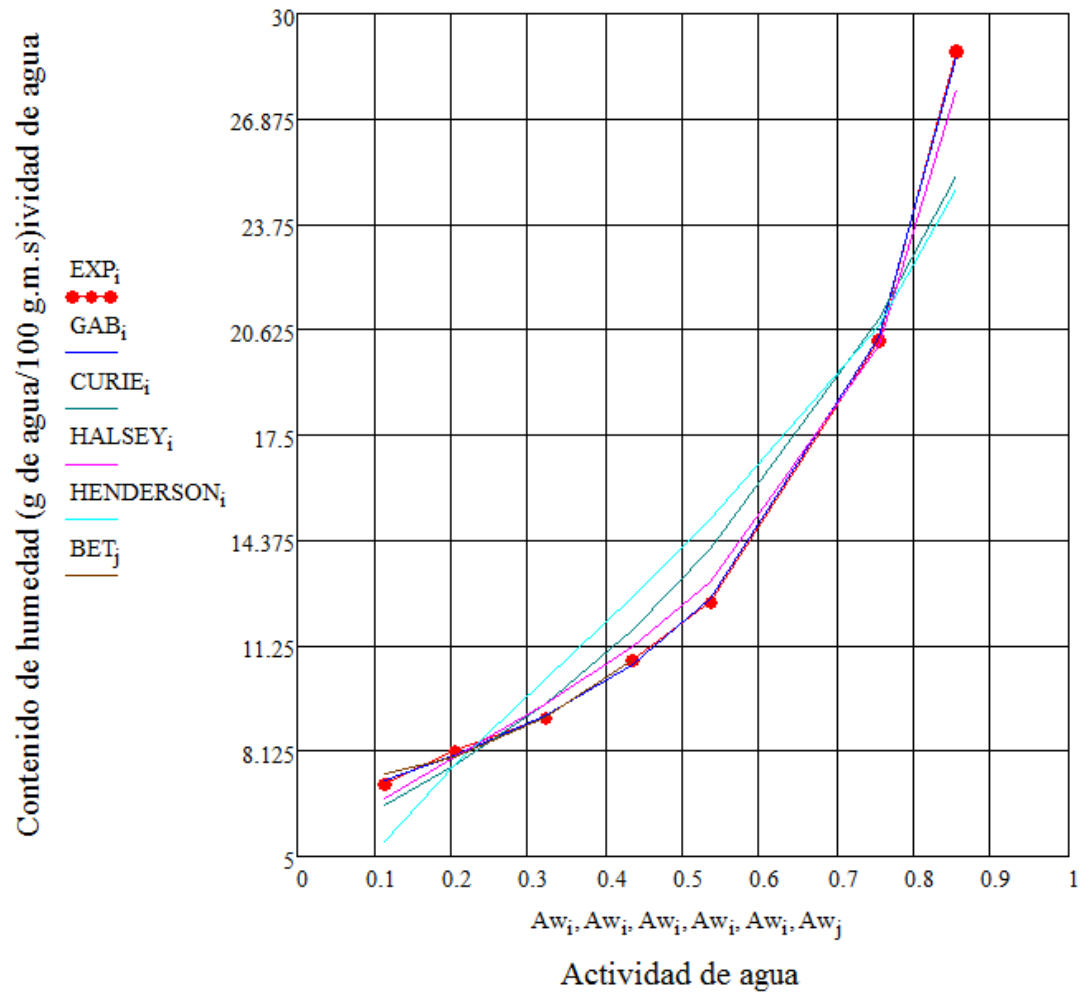


Fig 30 Curvas de adsorción para harina de haba a 40°C, datos experimentales y su modelado

#### 4.8 Valores del coeficiente de correlación y el error medio relativo

En la tabla 5, se muestran los valores de los coeficientes de correlación y el error medio relativo de la cada una de las ecuaciones utilizadas.

Tabla 8 Valores de los coeficientes de correlación y el error medio relativo

ECUACIÓN	Temperatura	R	EMS %
GAB	20°C	0.995	2.469
	30°C	0.997	2.301
	40°C	0.998	1.228
CAURIE	20°C	0.987	7.82
	30°C	0.985	8.179
	40°C	0.983	8.693
HALSEY	20°C	0.998	2.713
	30°C	0.997	4.208
	40°C	0.996	7.969
HENDERSON- THOMPSON	20°C	0.96	13.723
	30°C	0.954	14.655
	40°C	0.947	15.515
BET	20°C	0.998	2.469
	30°C	0.998	4.326
	40°C	1.000	2.526

## V CONCLUSIONES

Las curvas de adsorción obtenidas experimentalmente a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C 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

Los valores de la capa monomolecular fueron: para la temperatura de 20°C 7.511 g de agua/100 g.m.s, para 30°C 6.893 g de agua/100 g.m.s, y para 40°C 6.493 g de agua/100 g.m.s

La evaluación estadística mediante el análisis de regresión indica que el modelo de G.A.B tuvo mejor correlación 0.995 y menor error relativo para 20°C, 0.997 para 30°C y 0.998 para 40°C y un error relativo para la temperatura de 20°C de 2.469, para 30°C de 2.301 y para 40°C de 1.228,

## **VII RECOMENDACIONES**

Realizar investigaciones para obtener las curvas de desorción del haba.

Realizar trabajos de investigación con otros tipos de harina.

Realizar investigaciones para determinar la vida útil de la harina de haba

-

## VIII REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adams M.R y Moss M.O.(1997) Microbiología de los Alimentos  
Editorial Acribia España.

Aguado José(1990)Ingeniería de la industria alimentaría  
volumen I, II, II Editorial Síntesis España.

Badui Dergel Salvador (2006) Química de los Alimentos Ed  
Pearson.

Cheftel, J.C y Cheftel, H (1976) Introducción a la Bioquímica y  
Tecnología de los Alimentos. Editorial Acribia España.

BARBOSA G.V (2000) Deshidratación de Alimentos Editorial  
Acribia Zaragoza España.

BRENNAN J,G (1980) "LAS OPERACIONES DE LA INGENIERIA  
DE LOS ALIMENTOS" Editorial Acribia Zaragoza  
España

EARLE R.L (1988) INGENIERÍA DE LOS ALIMENTOS Editorial  
Acribia Zaragoza España.

DESROISER.N (1980) "CONSERVACION DE ALIMENTOS"  
Editorial Continental S.A. México 1980

GEANKOPOLIS G.J. (1998) "PROCESOS DE TRANSPORTE Y  
OPERACIONES UNITARIAS Editorial CESCA.

LOMAS MARIA DEL CARMEN (2002) "Introducción al cálculo de  
los procesos tecnológicos de los alimentos" Editorial  
Acribia.

- RODRÍGUEZ F. (2002) Ingeniería de la Industria Alimentaria  
 Editorial Síntesis TORRES J.A. (1990) "CONCEPTOS  
 MODERNOS DE PRESERVACION DE ALIMENTOS EN EL  
 MERCADO NORTEAMERICANO. U.N.A. VIDAL
- BROTONS DANIEL (1986) La actividad del agua en los alimentos  
 revista Alimentación grupos y etnología Valencia España  
 1986

### **PÁGINAS DE INTERNET**

<http://www.scielo.br/scielo.php> (2006) "Isotermas de adsorción en  
 harina de maíz (Zea mays L.) **Ciênc. Technol.  
 Aliment. vol.26 no.4 Campinas**

[http://www.inta.gov.ar/ediciones/ria/36\\_1/07\\_.pdf](http://www.inta.gov.ar/ediciones/ria/36_1/07_.pdf) (2006)  
 ISOTERMAS DE ADSORCIÓN Y CINÉTICA DE SECADO  
 DE CIERTAS HORTALIZAS Y AROMÁTICAS  
 CULTIVADAS EN MISIONES GARCÍA, S.V.1; SCHMALKO,  
 M.E.2 ; TANZARIELLO, A.1

[http://www.uniram.com.ar/Jornadas/XVII/Ponencias/foro-  
 laboratorios](http://www.uniram.com.ar/Jornadas/XVII/Ponencias/foro-laboratorios)  
 CAMELOS DE MIEL. MODELIZACIÓN DE CURVAS DE  
 DESORCIÓN DE INGREDIENTES Y DE UNA  
 FORMULACIÓN Stechina D.; Lesa C., Maffioly R. y Alvarez  
 J.

[http://depa.pquim.unam.mx/amyd/archivero/IsotermaGAB\\_5253.pdf](http://depa.pquim.unam.mx/amyd/archivero/IsotermaGAB_5253.pdf)

(2007) Adsorción de agua en alimentos. Isoterma de adsorción de Guggenheim, Anderson y de Boer (GAB). Josefina Viades Trejo.

[http://www.fis.cinvestav.mx/smcsyv/supyvac/19\\_1/SV1911206.pdf](http://www.fis.cinvestav.mx/smcsyv/supyvac/19_1/SV1911206.pdf)

(2008) Evaluación de las isotermas de sorción en cereales para desayuno Francisco Prieto García\*; Alberto José Gordillo Martínez.

<http://www.fao.org/Ag/agl/agll/rla128/UNAS/unas6/unas6-17.htm>

(2008) EVALUACIÓN DE LOS MODELOS B.E.T. Y G.A.B. DE ISOTERMAS DE SORCIÓN EN HARINAS DE PLÁTANO Y YUCA.

[http://docencia.izt.uam.mx/epa/quim\\_alim/material\\_adicional/](http://docencia.izt.uam.mx/epa/quim_alim/material_adicional/)

[Actividad.](#)

(2008) Actividad de agua.

<http://en.scientificcommons.org/22218032> (2009) Isotermas de

desorción de pimientos de padrón (*Capsicum Annuum*l. Var. Longum) (2006).

[http://depa.pquim.unam.mx/amyd/archivero/IsotermaMaizTrigo2\\_1844.pdf](http://depa.pquim.unam.mx/amyd/archivero/IsotermaMaizTrigo2_1844.pdf)

(2009) Determinación de las isotermas de sorción a

tres temperaturas en dos variedades de maíz y trigo, su ajuste a modelos matemáticos y el estudio preliminar de las condiciones de almacenamiento

<https://www.floresyplantas.net/tipos-de-habas/>

<http://miestudiodeingenieria.blogspot.pe/2017/03/la-harina-de-habas-y-su-elaboracion-de.html>

<http://salud.ccm.net/faq/22839-leguminosas-definicion>

<http://conceptodefinicion.de/harina/>