

**“Madre de Dios Capital de la Biodiversidad del Perú”**

# **UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE DE DIOS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
AGROINDUSTRIAL**



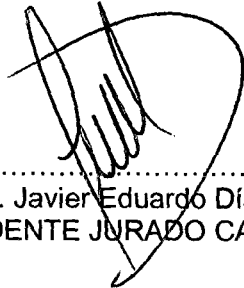
**“EVALUACIÓN DE ISOTERMAS DE ADSORCIÓN EN  
HARINA DE PIJUAYO (*Bactris gasipaes*)”**

**TESISTA: Bach. JUSTINO OVALLE FOCORI**

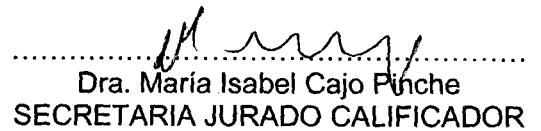
**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**PUERTO MALDONADO – PERÚ  
-2015-**

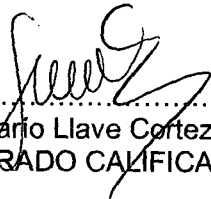
Esta tesis ha sido sustentada y aceptada en la forma presente por el Jurado Calificador de grado, nominado por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, como requisito para optar el título de Ingeniero Agroindustrial.



.....  
Ing. Javier Eduardo Díaz Viteri  
PRESIDENTE JURADO CALIFICADOR



.....  
Dra. María Isabel Cajo Pinche  
SECRETARIA JURADO CALIFICADOR

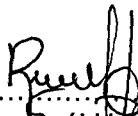


.....  
Ing. Darío Llave Cortez  
VOCAL JURADO CALIFICADOR



.....  
M. Sc. Liset Rodríguez Achata  
ACCESITARIA JURADO CALIFICADOR

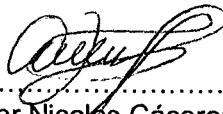
#### ASESORES



.....  
Ing. Raúl Huamán Cruz  
ASESOR - UNAMAD



.....  
Ing. Palmer Vicente Pulla Huilca  
COASESOR



.....  
Dr. Baltazar Nicolás Cáceres Huambo  
COASESOR

**ACTA DE SUSTENTACIÓN PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

En el Anfiteatro N° 01 de la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, siendo las 17:30 horas del día 11 de Junio del 2015, dando cumplimiento a la Resolución N° 057-2015-UNAMAD-DFI, de fecha 26 de Mayo de 2015, se reunieron los Miembros del Jurado para la sustentación del trabajo de tesis intitulado **"EVALUACIÓN DE ISOTERMAS DE ADSORCIÓN EN HARINA DE PIJUAYO (*Bactris gasipaes*)"**, presentado por el Bachiller **Justino Ovalle Focori**, los siguientes docentes:

- |  |             |
|--|-------------|
| • <b>Ing. Javier Díaz Viteri.</b>      | Presidente  |
| • <b>Dra. María Isabel Cajo Pinche</b> | Secretario  |
| • <b>Ing. Rubén Darío Llave Cortez</b> | Vocal       |
| • <b>M.Sc. Liset Rodríguez Achata</b>  | Accesitaria |

Con la finalidad de evaluar el trabajo de tesis intitulado **"EVALUACIÓN DE ISOTERMAS DE ADSORCIÓN EN HARINA DE PIJUAYO (*Bactris gasipaes*)"**, presentado por el Bachiller **Justino Ovalle Focori**. Acto seguido se procedió con la exposición del trabajo de tesis por parte del sustentante, el jurado procede con la fase de preguntas respectivas y luego el sustento del Tesista. Acto seguido el jurado procede a deliberar de forma reservada y libremente, declarando el trabajo expuesto con el calificativo de Buena y una nota de 15, previo a esto el graduado deberá de realizar el levantamiento a las observaciones entregadas por el jurado calificador

En fe de lo cual firmamos la presente acta, siendo las 18:20 horas del día 11 de Junio del 2015, se dio por culminado el presente acto de sustentación.

Ing. Javier Díaz Viteri  
Presidente

ING. RUBÉN DARIÓ LLAVE CORTEZ  
Vocal

Ing. Rubén Darío Llave Cortez  
Vocal

Dra. María Isabel Cajo Pinche  
Secretaria

M.Sc. Liset Rodríguez Achata  
Accesitaria

## **DEDICATORIA**

**A todos los lectores quienes están interesados en la búsqueda de información y la constancia de enriquecer sus conocimientos para que puedan contribuir en la investigación.**

## **AGRADECIMIENTO**

- **A Dios por todo lo hecho; el universo y la vida.**
- **Al Ing. Raúl Huamán Cruz (Asesor), por el asesoramiento de este trabajo de investigación.**
- **Al Ing. Palmer Vicente Pulla Huillca (Co-Asesor), por el co-asesoramiento de este trabajo de investigación.**
- **A la Dra. Celina Obregón Luizar. Jefa del laboratorio de química orgánica de la Carrera profesional de Química de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.**
- **Al Dr. Baltazar Nicolás Cáceres Huambo docente de la Carrera Profesional de Ingeniería Química de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco.**
- **A la Qca. Lizet Rodríguez Achata. Por brindarme las facilidades del laboratorio y brindarme su amistad y sugerencias para la realización de este trabajo de investigación.**
- **A los miembros del jurado conformado por el Ing. Javier Díaz Viteri, Ing. M.Sc. María Cajo Pinche, Ing. Rubén Darío Llave Cortéz, por sus sugerencias, y observaciones que ayudó al enriquecimiento del presente trabajo.**
- **Por último a todos mis amigos y a todas las personas que colaboraron en forma directa e indirecta la realización de este trabajo de investigación.**

## ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	Pág.
ÍNDICE DE CUADROS	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
NOMENCLATURA	IX
RESUMEN	XI
SUMMARY	XII
INTRODUCCIÓN	01
CAPITULO I	
MARCO TEÓRICO.	03
1.1. ANTECEDENTES.	03
1.2. GENERALIDADES DEL PIJUAYO.	06
1.2.1.- CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA.	07
1.2.2.- ECOLOGÍA.	08
1.2.3.- CARACTERIZACIÓN FÍSICO Y COMPOSICIÓN QUÍMICA.	09
1.3.- POTENCIAL NUTRITIVO, SIMBÓLICO Y ESTÉTICO.	10
1.4.- EL AGUA EN LOS ALIMENTOS.	11
1.5.- ACTIVIDAD DE AGUA ( $a_w$ ).	12
1.6.- ISOTERMAS DE SORCIÓN.	13
1.6.1.- INTERÉS DE LAS ISOTERMAS DE SORCIÓN PARA LA TECNOLOGÍA ALIMENTARIA.	15
1.6.2.- CLASIFICACIÓN DE LAS ISOTERMAS DE SORCIÓN.	15
1.6.3.- EFECTO DE LA TEMPERATURA EN LAS ISOTERMAS.	16
1.6.4.- MODELOS MATEMÁTICOS PARA LAS ISOTERMAS DE SORCIÓN.	17
1.6.5.- CALIDAD DE AJUSTE DE LOS MODELOS MATEMÁTICOS.	21
1.6.6.- MÉTODOS DE MEDICIÓN DE ISOTERMAS DE SORCIÓN.	22
1.7.- CALOR ISOSTÉRICO DE SORCIÓN.	23
1.8.- ENERGÍA DE ACTIVACIÓN.	25
1.9.- ALMACENAMIENTO.	26
1.9.1.- FACTORES QUE ALTERAN LOS ALIMENTOS ALMACENADOS.	26

## CAPITULO II MATERIALES Y MÉTODOS.

2.1.- LUGAR DE EJECUCIÓN.	29
2.2.- MATERIALES.	29
2.2.1.- Materia prima.	29
2.2.2.- Equipos de laboratorio.	29
2.2.3.- Materiales.	30
2.2.4.- Reactivos.	30
2.2.5.- Soluciones químicas de desinfección.	30
2.3.- METODOLOGÍA.	31
2.3.1.- Caracterización de la materia prima.	31
2.3.2.- Flujograma para la obtención de la harina de Pijuayo.	32
2.3.3.- Acondicionamiento de las muestras.	33
2.3.4.- Isotermas de Adsorción.	34
2.3.5.- Determinación de la humedad de equilibrio ( $X_e$ ).	36
2.3.6.- Ajuste matemático de las isotermas de adsorción.	37
2.3.7.- Determinación de la monocapa del modelo de GAB.	37
2.3.8.- Determinación del calor isostérico de adsorción ( $q_{st}$ ).	38
2.3.9.- Determinación de la energía de activación ( $E_a$ ).	38

## CAPITULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1.- CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y ANÁLISIS FISICOQUÍMICO.	40
3.2.- HUMEDAD DE EQUILIBRIO.	41
3.3.- ISOTERMAS DE ADSORCIÓN.	52
3.4.- AJUSTE DE LAS ISOTERMAS DE ADSORCIÓN.	53
3.5.- CALOR ISOSTÉRICO DE ADSORCIÓN.	64
3.6.- ENERGÍA DE ACTIVACIÓN.	67
CONCLUSIONES.	69
RECOMENDACIONES.	70
BIBLIOGRAFÍA.	71
ANEXOS.	81

## ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.	
Cuadro 01	Rango de medidas del tamaño físico del fruto entero y de los constituyentes químicos de pijuayo, de 18 árboles analizados en base a 100 g de fruto fresco.	09
Cuadro 02	Contenido nutricional de 100 g de pulpa de pijuayo.	10
Cuadro 03	Ácidos grasos del aceite de pijuayo.	10
Cuadro 04	Métodos para la determinación de las isotermas de sorción.	22
Cuadro 05	Tolerancia a la temperatura de los microorganismos.	27
Cuadro 06	Análisis fisicoquímicos realizados en la harina de pijuayo y sus respectivas normas de determinación.	31
Cuadro 07	Variación de las humedades relativas de equilibrio (%) en función de las tres temperaturas utilizadas en el experimento.	34
Cuadro 08	Sales y ecuaciones utilizadas para obtener la $a_w$ o humedad relativa (%) a una temperatura ( $^{\circ}K$ ) determinada.	35
Cuadro 09	Cantidad de sal y agua recomendadas para la preparación de soluciones salinas saturadas.	36
Cuadro 10	Composición fisicoquímica de la harina de pijuayo ( <i>Bactris gasipaes</i> ).	40
Cuadro 11	Caracterización física y composición del fruto de pijuayo ( <i>Bactris gasipaes</i> )	41
Cuadro 12	Valores de humedad de equilibrio, $X_e$ (g agua/g m.s.) experimental de las muestras secas de harina de pijuayo en función de la actividad de agua ( $a_w$ ) a las temperaturas de estudio.	41
Cuadro 13	Valores de capacidad de adsorción de humedad de la harina de pijuayo a la temperatura de 20°C.	44
Cuadro 14	Valores de capacidad de adsorción de humedad de la harina de pijuayo a la temperatura de 30°C.	47
Cuadro 15	Valores de capacidad de adsorción de humedad de la harina de pijuayo a la temperatura de 40°C.	50



Cuadro 16	Parámetros de ajuste de las isothermas de adsorción de la harina de pijuayo para los diferentes modelos matemáticos con sus respectivos coeficientes de determinación $R^2$ desvío porcentual medio (P), error estándar de humedad (SEM) y distribución de los residuos, a la temperatura de 20°C.	54
Cuadro 17	Parámetros de ajuste de las isothermas de adsorción de la harina de pijuayo para los diferentes modelos matemáticos con sus respectivos coeficientes de determinación $R^2$ desvío porcentual medio (P), error estándar de humedad (SEM) y distribución de los residuos, a la temperatura de 30°C.	55
Cuadro 18	Parámetros de ajuste de las isothermas de adsorción de la harina de pijuayo para los diferentes modelos matemáticos con sus respectivos coeficientes de determinación $R^2$ desvío porcentual medio (P), error estándar de humedad (SEM) y distribución de los residuos, a la temperatura de 40°C.	56
Cuadro 19	Calor isostérico de adsorción ( $q_{st}$ ) de la harina de pijuayo a diferentes valores de humedad de equilibrio.	64
Cuadro 20	Parámetros $Q_0$ y $X_0$ y coeficiente de determinación ( $R^2$ ) ajustado de la ecuación de Tsami et al. (1990).	66
Cuadro 21	Parámetros del modelo de GAB a las diferentes temperaturas de evaluación.	67
Cuadro 22	Energía de activación de los parámetros termodinámicos del modelo GAB.	67

**ÍNDICE DE FIGURAS**

	Pág.
Figura 01 A: Pijuayo en racimo; B. En fruto; C: Pijuayo sin cascara; D: Pijuayo picado	08
Figura 02 Isotermas de Adsorción y de Desorción.	14
Figura 03 Los cinco tipos de isotermas de adsorción de Van der Waals.	16
Figura 04 Influencia de la temperatura en las isotermas de adsorción.	17
Figura 05 Relación de Clausius- Claypeorn para distintos contenidos de humedad.	24
Figura 06 Obtención de harina de pijuayo.	32
Figura 07 Frasco con la muestra de harina de pijuayo.	33
Figura 08 Diagrama de flujo para la determinación de las isotermas de adsorción harina de pijuayo.	39
Figura 09 Isotermas de adsorción de la harina de pijuayo ( <i>Bactris gasipaes.</i> ) a las temperaturas de estudio.	52
Figura 10 Isotermas de adsorción ajustadas mediante el modelo de GAB a las tres temperaturas de estudio.	60
Figura 11 Isotermas de adsorción ajustadas mediante el modelo de HALSEY a las tres temperaturas de estudio.	60
Figura 12 Isotermas de adsorción ajustadas mediante los modelos indicados para la harina de pijuayo a la temperatura de 20°C.	61
Figura 13 Isotermas de adsorción ajustadas mediante los modelos indicados para la harina de pijuayo a la temperatura de 30°C.	61
Figura 14 Isotermas de adsorción ajustadas mediante los modelos indicados para la harina de pijuayo a la temperatura de 40°C.	62
Figura 15 Isotermas de adsorción ajustadas mediante los modelos GAB Y HALSEY para la harina de pijuayo a 20°C.	62
Figura 16 Isotermas de adsorción ajustadas mediante los modelos GAB Y HALSEY para la harina de pijuayo a 30°C.	63
Figura 17 Isotermas de adsorción ajustadas mediante los modelos GAB Y	63

HALSEY para la harina de pijuayo a 40°C.

Figura 18	Curvas de $\ln(a_w)$ versus $1/T$ a diferentes humedades de equilibrio para de la harina de pijuayo.	65
Figura 19	Influencia de la humedad de equilibrio ( $X_e$ ) en el calor de adsorción ( $q_{st}$ ) para de la harina de pijuayo.	65
Figura 20	Distribución de residuos de los modelos de isothermas utilizados para la obtención de las isothermas de adsorción para la harina de pijuayo a 20°C.	93
Figura 21	Distribución de residuos de los modelos de isothermas utilizados para la obtención de las isothermas de adsorción para la harina de pijuayo a 30°C.	94
Figura 22	Distribución de residuos de los modelos de isothermas utilizados para la obtención de las isothermas de adsorción para la harina de pijuayo a 40°C.	95

## NOMENCLATURA.

$Q_{ST}$	=	Calor isostérico total de sorción (kJ/mol).
$q_{st}$	=	Calor isostérico neto de sorción (kJ/mol).
$\lambda$	=	Calor de vaporización del agua pura (kJ/mol).
$q_0$	=	Calor isostérico de sorción de la primera molécula de agua (kJ/mol).
$X_0$	=	Contenido de humedad inicial del material alimenticio (g agua/g.m.s).
$D$	=	Constante en estudio.
$D_0$	=	Factor de Arrhenius.
$E_a$	=	Energía de activación (kJ/kmol).
$m_{eq}$	=	Masa de la muestra en el equilibrio (g).
$m_s$	=	Masa de la muestra seca (g).
b.s.	=	Base seca.
$R^2$	=	Coefficiente de determinación.
$a_w$	=	Actividad de agua.
$f$	=	Fugacidad de la solución.
$f_0$	=	Fugacidad del solvente puro.
$p$	=	Presión parcial de vapor de agua en el sistema (alimento).
$P_0$	=	Presión de saturación del agua líquida pura a la misma temperatura.
HRE	=	Humedad relativa de equilibrio.
$X_e$	=	humedad de equilibrio (g agua/g m.s.).
$X_m$	=	Humedad de la monocapa (g agua/g m.s.).
$C_{BET}$	=	Constante de BET relacionada al calor de sorción.
$C_{GAB}$	=	Constante de Guggenheim, característica del producto y relacionada con el calor de adsorción de la monocapa.
$K_{GAB}$	=	Es un factor de corrección relacionado con el calor de sorción de la Multicapa.
A y B	=	Constantes características de las ecuaciones que dependen de la temperatura y naturaleza del producto.
R	=	Constante universal de los gases, $8,314 \text{ kJ kmol}^{-1} \text{ K}^{-1}$
T	=	Temperatura absoluta (°K).
k y n	=	Constantes características de la ecuación que dependen de la temperatura y naturaleza del producto.
P	=	Desvío porcentual medio (%).
SEM	=	Error estándar medio (%).
N	=	Número de puntos experimentales.

- $n$  = Numero de constantes en el modelo.
- $X_{ei}$  = Contenido de humedad de equilibrio experimental (g agua/g m.s).
- $X_{ci}$  = Contenido de humedad de equilibrio calculada a partir de cada modelo (g agua/g.m.s).

## RESUMEN.

El siguiente trabajo tuvo como objetivo evaluar y determinar las isotermas de adsorción en harina de pijuayo (*Bactris gasipaes*) a las temperaturas de 20°C, 30°C, 40°C, para el rango de  $a_w$  entre 0.10 a 0.87. El contenido de humedad de equilibrio de la harina de pijuayo fueron determinados por el método gravimétrico. Se observó que la humedad de equilibrio disminuye con el incremento de la temperatura, las isotermas presentan un entrecruzamiento desde la  $a_w$  de 0.50 aproximadamente para una humedad de equilibrio de 0.1443g de agua/g m.s. se utilizó seis modelos matemáticos (**GAB, BET, HALSEY, OSWIN, CHUNG-PFOST, HENDERSON**) donde las curvas de adsorción de la harina de pijuayo tuvieron un comportamiento del tipo III, que es una singularidad de muestras ricas en carbohidratos. Las isotermas de **GAB y HALSEY** se ajustaron mejor al comportamiento experimental de adsorción de la harina de pijuayo, presentando coeficientes de determinación  $R^2$  superiores al 96%, **P** menores al 10% **SEM** menores a 0.014 y una dispersión de los residuos de forma aleatoria.

La humedad de la monocapa de GAB,  $X_m$ , presentó dependencia con la temperatura disminuyendo de 0.06583 a 0.06224 g de agua/g m.s de 20°C a 40°C. a partir del modelo de Halsey se calculó los valores de  $X_e$  para obtener los datos del calor isostérico de adsorción,  $q_{st}$ , observándose que esta disminuye con el aumento de la humedad de equilibrio, es decir que se libera energía para la adsorción del agua, de -1,5318 a -1,5512kJ/mol para el rango de humedad de equilibrio de 0.0609 a 0.1443g de agua/g m.s. así mismo se calculó la energía de activación  $E_a$  utilizando la ecuación de Arrhenius, para las variables termodinámicas del modelo de GAB  $X_m$ ,  $C_{GAB}$  y  $K_{GAB}$  presentando su influencia con la temperatura con valores de  $E_a$  1,9177kJ/mol; 41,4151 kJ/mol y -1,8737kJ/mol, respectivamente. Los resultados obtenidos indican que la harina de pijuayo presenta regular a baja capacidad de adsorción de humedad con respecto a otras harinas.

**Palabra clave:** Harina de pijuayo, isoterma de adsorción, calor isostérico, energía de activación.

## SUMMARY.

The following work had as objective to evaluate and to determine the isotherms of adsorption in pijuayo flour (*Bactris gasipaes*) at the temperatures of 20°C, 30°C, 40°C, for the  $a_w$  range among 0.10 at 0.87. The equilibrium humidity content of the pijuayo flour was determined by the method of continuous weight of change of weight. It was observed that the equilibrium humidity diminishes with the increment of the temperature, the isotherms present an cross approximately from the  $a_w$  of 0.50 for a equilibrium humidity of H<sub>2</sub>O/g 0.1443g m.s. Six mathematical models were used (GAB, BET, HALSEY, OSWIN, CHUNG-PFOST, HENDERSON) at which the curves of adsorption of the pijuayo flour had a behavior of the type III, that it is a singularity of rich samples in carbohydrates. The isotherms of GAB and HALSEY were adjusted better to the experimental behavior of adsorption of the pijuayo flour, presenting coefficients of determination  $R^2$  higher to 96%, P smaller to 10% smaller SEE to 0.014 and a dispersion of the residuals in a random way.

The humidity of the monolayer of GAB,  $X_m$ , presented dependence with the temperature diminishing from 0.06583g to 0.06224g of H<sub>2</sub>O/g m.s from 20°C to 40°C. From the Halsey model it was calculated the values of  $X_e$  to obtain the data of the isosteric heat of adsorption,  $q_{st}$ , being observed that this it diminishes with the increase of the equilibrium humidity, this, energy is evolved for the water adsorption, of -1,5318 at -1,5512kJ/mol for the range of equilibrium humidity of 0.0609 to H<sub>2</sub>O/g 0.1443g m.s. likewise the activation energy  $E_a$  was calculated using the equation of Arrhenius, for the thermodynamic variables of the pattern of GAB  $X_m$ ,  $C_{GAB}$  and  $K_{GAB}$ , presenting its influence with the temperature with values of  $E_a$  1,9177kJ/mol ; 41,4151kJ/mol and -1,8737kJ/mol, respectively. The results indicate that the pijuayo flour presents a regular to low capacity of adsorption of humidity with regard to other flours.

Key words: Pijuayo flour, isotherm of adsorption, isosteric heat, activation energy.

## INTRODUCCIÓN.

El pijuayo para palmito, *Bactris gasipaes* H.B.K. (Arecaceae) es considerado un cultivo de importancia agroindustrial en la región Neotropical (CLEMENT & MORA 1987).

El fruto del pijuayo (*Bactris gasipaes*) es típica de la Amazonia Peruana, su sabor característico y particularmente sus características nutritivas y organolépticas que presenta la dotan de gran importancia y aceptación por parte de los consumidores. En el departamento de Madre de Dios existen diversas especies de pijuayo, tanto nativas como especies trabajadas genéticamente, el fruto del pijuayo es utilizado en la gastronomía en diferentes presentaciones, destacando sus propiedades nutritivas.

El pijuayo, molido o en la forma de fruta contiene propiedades nutritivas de vital importancia en la dieta alimentaria, es un producto de gran aplicación en la industria de alimentos, siendo uno de los frutos que pueden ser utilizados como alimento humano y de algunos animales.

Durante el almacenamiento, los alimentos deshidratados incrementan su humedad hasta llegar a un límite de aceptación que corresponde a una actividad de agua ( $a_w$ ) crítica; a partir de ello el producto manifiesta un deterioro que puede ser físico, químico o microbiológico, el cual provoca una disminución de su calidad y vida útil. La harina de pijuayo (*Bactris gasipaes*), a pesar de ser un producto con un bajo contenido de humedad puede sufrir diversas reacciones de deterioro, ya que debido a su naturaleza tiene la capacidad de adsorber agua del ambiente, comprometiendo su calidad sino se encuentra en condiciones adecuadas de almacenamiento.

El conocimiento de las isotermas de sorción de agua y el calor isostérico de sorción son esencialmente importantes para varios procesos de alimentos, como el secado, almacenamiento y embalaje, ya que ayudan a calcular el tiempo de secado, modelar la variación de humedad durante el almacenamiento y seleccionar el material adecuado de empaque (**Gabas et al., 2009**). También brindan información acerca de los mecanismos de sorción y las interacciones entre los componentes del alimento y el agua (**Telis-Romero et al, 2005**).

Se conoce una variada bibliografía disponible a nivel mundial sobre isotermas de adsorción de diversos productos agrícolas a diferentes temperaturas y actividades de



agua  $a_w$ , pero también se ha constatado que en nuestro país son escasas las investigaciones acerca de isotermas de adsorción en productos secos con fines de almacenamiento. (Pulla, 2011).

Por tal razón, la presente investigación se planificó para determinar las isotermas de adsorción en harina de pijuayo (*Bactris gasipaes*) a diferentes temperaturas y actividades de agua (Humedades relativas), con la finalidad de evaluar y encontrar sus condiciones adecuadas de almacenamiento, lo cual asegure la calidad del producto.

Este trabajo tuvo como objetivo general determinar experimentalmente las isotermas de adsorción de humedad en la harina de pijuayo a 03 temperaturas (20, 30, 40)°C y modelar aplicando ecuaciones empíricas de adsorción.

Los objetivos específicos fueron modelar las isotermas de adsorción de humedad en la harina de pijuayo, utilizando seis modelos (BET, GAB, HALSEY, OSWIN, CHUNG PFOST Y HENDERSON), encontrar el modelo que mejor se ajuste a las isotermas y a través de los parámetros termodinámicos que tiene relación con la naturaleza de la harina de pijuayo (*Bactris gasipaes*), determinar el contenido de humedad de la monocapa  $X_m$ , determinar el calor isostérico y la energía de activación.

Suponemos la hipótesis general que las isotermas de adsorción permitirán determinar las condiciones adecuadas de almacenamiento de la harina de pijuayo (*Bactris gasipaes*); aplicando diferentes temperaturas y humedades relativas en la harina de pijuayo (*Bactris gasipaes*) se podrá encontrar la relación que existe con el contenido de humedad y encontrar el modelo que mejor se ajuste a las isotermas y pueda influir en su mejor conservación y/o almacenamiento.

En este trabajo se consideró las variables independientes la temperatura (20, 30, 40)°C y humedades relativas (10.54% - 87.28%) que repercutieron en el contenido de humedad de equilibrio (g agua/g m.s) en la harina de pijuayo (*Bactris gasipaes*).

La muestra de harina de pijuayo (*Bactris gasipaes*) que se utilizó fue la más representativa, homogénea, uniforme, tomando en consideración sus características organolépticas (color, textura, tamaño) para luego proceder a una operación unitaria para transformar en harina de pijuayo (*Bactris gasipaes*).

## CAPITULO I

### MARCO TEÓRICO.

#### 1.1. ANTECEDENTES.

**Silva et al. (2002)**, estudiaron las isotermas y el calor isostérico de sorción en pulpa de mango (*Mangifera indica* L.). Las isotermas de la pulpa de mango fue determinada a las temperaturas de 20, 40 y 60°C y humedades relativas del aire de 29.3 a 82.3%, hasta llegar a la humedad de equilibrio. Posteriormente, cinco modelos matemáticos de sorción (BET, GAB, Halsey, Oswin y Smith) fueron ajustados a los datos experimentales con la finalidad de obtenerse los parámetros de dichos modelos y escoger aquel que mejor representa las isotermas, para el cálculo del calor isostérico de sorción. La elección del mejor ajuste se dio en función del coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y el desvío medio relativo (P). De acuerdo con los resultados, el modelo de GAB fue el que mejor se ajustó a las isotermas de sorción. Los demás modelos también ajustaron satisfactoriamente a los datos experimentales, pudiendo ser empleados para el cálculo de la humedad de equilibrio higroscópico de la pulpa de mango y aun, el calor de sorción vario positivamente de 104.50 a 355.36 kJ/kg.

**Vega et al. (2006)**, determinaron las isotermas de adsorción en harina de maíz (*Zea mayz* L.) a tres temperaturas (7, 22 y 45°C) para el rango de actividad  $a_w$  entre 0.1 y 0.95. Las isotermas se modelaron utilizando siete ecuaciones comúnmente aplicadas en alimentos. La calidad del ajuste se evaluó con el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y el porcentaje de error medio relativo (%E), en función de los cuales se observó que los modelos propuestos por GAB, Oswin Halsey ajustaron de mejor manera los datos experimentales. La humedad de la monocapa ( $X_m$ ) y la humedad de seguridad ( $X_s$ ) presentaron dependencia con la temperatura con valores de  $E_a$  de 13.6 y 3.3 kJ/mol, respectivamente. Se calculó el calor isostérico de adsorción ( $Q_s$ ) usando la ecuación de Clausius-Clapeyron. Obteniéndose un máximo de 21kJ/mol, para la humedad de 0.075 g agua/g m.s., este parámetro se modelo utilizando la ecuación propuesta por Tsami et al. (1990).

**Resende et al. (2006)**, estudiaron las isotermas y el calor isostérico de sorción del fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.). El contenido de la humedad de equilibrio de los granos de fréjol

fue determinado por el método dinámico-gravimétrico para temperaturas entre 25°C y 55°C y actividad de agua para cada temperatura, entre 0.20 y 0.75. Se observó que el contenido de humedad decrece con el aumento de la temperatura para una determinada actividad de agua semejante a los productos higroscópicos. Los datos experimentales fueron ajustados a diversos modelos matemáticos disponibles en la literatura (BET, Chung-Pfost, Copace, GAB, Halsey modificado, Henderson modificado, Oswin, Sabbah y Sigma Copace). Según los análisis estadísticos, el modelo de Halsey modificado fue el que describió mejor la higroscopicidad del fréjol. A partir de los resultados obtenidos se calculó el calor isostérico para cada contenido de humedad de equilibrio. Se observó que el calor isostérico aumenta con la disminución del contenido de humedad del producto, indicando que la reducción del contenido de humedad aumenta la energía necesaria para la remoción de agua. Los valores de calor isostérico para los granos de fréjol en un rango de humedad de 10.10 a 21.71 (% b. s.), varían de 3961 a 2718 kJ/kg.

**Gabas et al. (2009)**, estudiaron las propiedades termodinámicas de sorción de agua de la pulpa de lulo en polvo con encapsulantes. Los datos de humedad de equilibrio de polvo de pulpa de lulo (PL) con y sin aditivos - 58% de maltodextrina (MD) o 58% de goma Arábica (GA) - fueron determinados a las temperaturas de 20, 30, 40 y 50 °C utilizando el método estático gravimétrico para un rango de actividades de agua entre 0.06 y 0.90. Las isotermas presentaron formato sigmoidal del tipo III, y el modelo de GAB fue ajustado satisfactoriamente a los datos experimentales de humedad de equilibrio en función de la actividad de agua. La adición de encapsulantes afectó las isotermas de tal manera que en la misma actividad de agua, las muestras PL + GA y PL + MD presentaron un menor contenido de humedad de equilibrio y no fueron afectadas por la variación de temperatura. Los calores isostéricos de sorción de las pulpas en polvo con encapsulantes fueron mayores (menos negativos) con relación a las pulpas de lulo en polvo, sugiriendo la existencia de sitios polares más activos en el producto sin adición de GA o MD. Una relación exponencial empírica fue utilizada para describir la dependencia del calor de sorción con el contenido de humedad del material.

**Choque, (2009)**, determinó las isotermas de adsorción del Maíz morado (*Zea mays* L.) de la variedad "canteño", a las temperaturas de (18, 25 y 30)°C, para el rango de  $a_w$  de agua de 0.065 a 0.95; se utilizaron 7 modelos matemáticos, siendo los modelos de GAB y Halsey los que mejor se ajustaron al comportamiento experimental de adsorción del maíz morado. Se observó que la humedad de equilibrio disminuye con el

incremento de la temperatura, es así que ocurre un entrecruzamiento de las isothermas a la  $a_w$  de 0.70 para una humedad de equilibrio,  $X_e$ , de 0.17g de agua/g m.s. la humedad de la monocapa ( $X_m$ ), presentó dependencia con la temperatura, disminuyendo de 0.079 a 0.065g de agua/g m.s en el rango de temperaturas de 18 a 30°C; observo también que los datos de calor isostérico aumenta de equilibrio de 0.07 a 0.17g de agua/g m.s. así mismo calculó la energía de activación utilizando la ecuación de Arrhenius para los modelos termodinámicos  $X_m$  y  $C_{GAB}$ , presentando valores de 11.46 y 7.28kJ/kg respectivamente.

**Alakali et al (2009)**, estudiaron las características de adsorción de humedad del jengibre (*Zinziber officinale*) en rodajas. Las muestras secas de jengibre fueron estudiadas para determinarse las condiciones de almacenamiento, la selección de materiales adecuados de empaque y determinar la termodinámica de la adsorción de humedad para la aplicación en el secado. Bajo actividad de agua constante ( $a_w$ ), el contenido de humedad de equilibrio disminuyo con el aumento de la temperatura (20°C, 30°C, 40°C y 50°C respectivamente). El contenido de humedad de equilibrio de todas las muestras aumento con el incremento de la actividad agua, a temperatura constante. La humedad de sorción de las muestras de jengibre con cascara fue mayor que las muestras de jengibre sin cascara, mientras que las muestras de jengibre no escaldados con y sin cascara fue mayor que las muestras de jengibre escaldado con y sin cascara. La ecuación de Henderson permite previsiones más exactas de las isothermas, describiendo mejor los datos de adsorción que los modelos de GAB, Oswin y Halsey, La humedad de la monocapa, en general disminuye con la temperatura para todas las muestras.

El calor isostérico disminuyo cuando el contenido de humedad se aproximó al valor asintótico o al calor latente de vaporización de agua pura ( $\Delta H_{st}=0$ ), mientras que la entropía de sorción aumento con el contenido de humedad.

**Pulla (2011)**, Determinó las isothermas de adsorción del ají (*Capsicum annum L.*) seco. Las isothermas fueron determinadas a las temperaturas de 25°C, 35°C, 40°C, a través del método gravimétrico estático, con soluciones salinas saturadas en un rango de actividades de agua ( $a_w$ ) de 0.11 a 0.85. Las curvas de adsorción del ají seco exhibieron un comportamiento del tipo III, característico de materiales ricos en carbohidratos. Se observó que la humedad de equilibrio ( $X_e$ ) disminuye con el incremento de la temperatura para una determinada  $a_w$ , semejante a la mayoría de los productos agrícolas. Los datos experimentales ( $X_e$  en función de la  $a_w$ ) fueron ajustados a seis modelos de isothermas

comúnmente aplicados en alimentos (BET, GAB, HALSEY, OSWIN, CHUNG-PFOST Y HENDERSON). Según los parámetros estadísticos de análisis, los modelos de Halsey y Gab fueron los que mejor se ajustaron al comportamiento experimental de adsorción del ají seco, presentando valores de coeficientes de determinación  $R^2$  superiores al 96%, desvío porcentual medio P menores del 10% errores estimados de humedad SEM inferiores a 0.022 y una distribución aleatoria de los residuales.

## 1.2.- GENERALIDADES DEL PIJUAYO.

El pijuayo es conocido con nombres nativos como chontaduro, cachipao, peripao, pupunha macanilla, entre otros. En Costa Rica el nombre más generalizado es el Pejibaye, nombre aceptado e incluido como tal en el Diccionario de la Lengua española (*Calzada et al., 1977*).

En el aspecto referente a variedades, los agricultores hablan de la variedad rayada, la variedad roja, la variedad amarilla, pero en el sentido estricto del término no son variedades, sino características de algunos de los numerosos tipos de frutos. Además del color, hay marcadas diferencias en características del fruto, como tamaño, forma, fibrosidad, humedad y sabor.

Hoy y en adelante con la aparición de nuevos mercados y nuevas formas de consumo, así como la alta demanda alimentaria que se está dando en toda la sociedad nacional e internacional, hacen evidente la necesidad de desarrollarse cultivos con especies olvidadas y nativas de esta región amazónica. El pijuayo es una de estas especies, que tiene un alto potencial para la producción de alimentos, madera y fibra, puede cultivarse en sistemas muy compatibles con la ecología de la Amazonía, siendo de esta manera una alternativa de incentivar la plantación por parte de los principales agentes como los agricultores e implantar una política de agroforestación que bien podría acompañarse con algunos cultivos asociados además de poder implementar proyectos agroturísticos para generar actividades laborales articuladas.

En Costa Rica de 3.8 Ha de extensión, esos datos corresponden a un período de 15 años, durante el período de 1959 a 1963, la producción promedio por Ha por año fue de 10,316 kg de frutos. *Johannesen*, citado por *Camacho (1976)*.

Una principal alternativa para el uso del pijuayo, constituye la utilización de sus frutos como ración animal y como alimento humano por poseer alto valor nutritivo y sabor agradable (**Clement, 1986**). El mismo autor sugiere que podría ser un sustituto en potencia para preparar mezclas de harinas en un alimento balanceado (peces, porcinos, aves) consumidas por la población de la Amazonía.

Diferentes autores han realizado determinaciones de la composición química del pijuayo, si bien todas ellas revelan un alto valor nutritivo de esta fruta, existen diferencias en los valores de las determinaciones, debido a la gran diversidad de los frutos analizados.

El pijuayo es una fuente de provitamina A, conteniendo altos porcentajes de carotenos, los cuales son poco destruidos durante el cocimiento. El color del mesocarpo está directamente relacionado con el contenido de carotenoides e inversamente relacionado con el extracto etéreo (**Blanco et al., 1987**).

### 1.2.1.- CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA.

Las especies de pijuayo han sido clasificados bajo dos nombres genéricos: *Bactris* y *Guilielma*. Sin embargo, la tendencia actual es considerarlo bajo el género *Bactris*, del cual han sido descritas 239 especies.

Esta palmera presenta la siguiente clasificación taxonómica desde el punto de vista botánico:

<b>Division:</b>	Fanerógamas
<b>Subtipo:</b>	(subdivisión) Angiospermas
<b>clase:</b>	Liliopsida
<b>Subclase:</b>	Arecidae
<b>Orden:</b>	Arecales
<b>Familia</b>	Arecaceae (palmae)
<b>Género:</b>	<i>Bactris</i>
<b>Especie:</b>	<i>Gasipaes</i>

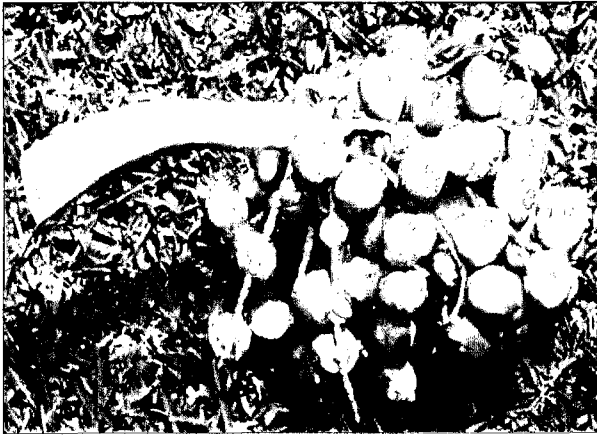
**Nombre científico:** *Bactris gasipaes*

**Nombre común:** pijuayo, chontaduro, pupunha, pejibaye.

Esta especie es propia del trópico calido, húmedo desde la cuenca del Amazonas, hasta la zona central del Brasil y más hacia el norte, hasta Centro América. Los límites de su distribución geográfica corresponden a rutas migratorias de algunas tribus indígenas entre los 16°N y los 17° de latitud °S.

### 1.2.2.- ECOLOGÍA.

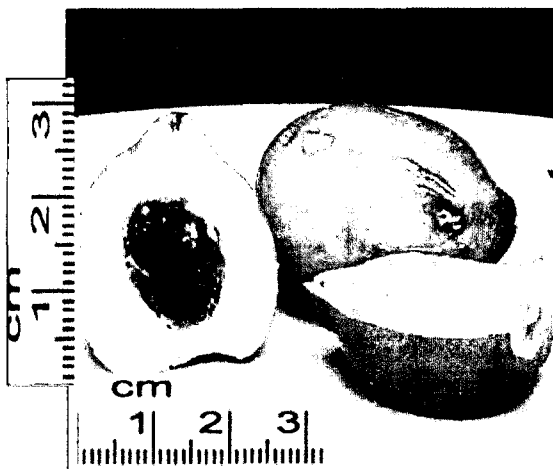
La distribución geográfica del pijuayo silvestre, así como del domesticado, está asociada a la presencia de los bosques tropicales húmedos. Según Mora-Urpí (1995a), la distribución natural se extiende desde Darién en Panamá, hasta la provincia de Santa Cruz en Bolivia y en el estado de Rondonia y posiblemente Mato Grosso en Brasil. No se ha confirmado su presencia natural más al norte o al sur de estos límites. Sin embargo, es posible que el pijuayo fuera cultivado desde Honduras hasta Bolivia, en la época precolombina (Mora-Urpí, 1983). Los límites en la distribución del pijuayo cultivado posiblemente estaban determinados por los extremos de las rutas migratorias de las tribus indígenas que conocieron su cultivo, por precipitaciones inferiores a 1,700 mm por año, por períodos secos superiores a tres y medio a cuatro meses, por zonas pantanosas y por temperaturas anuales inferiores a los 20°C (Mora-Urpí, 1983).



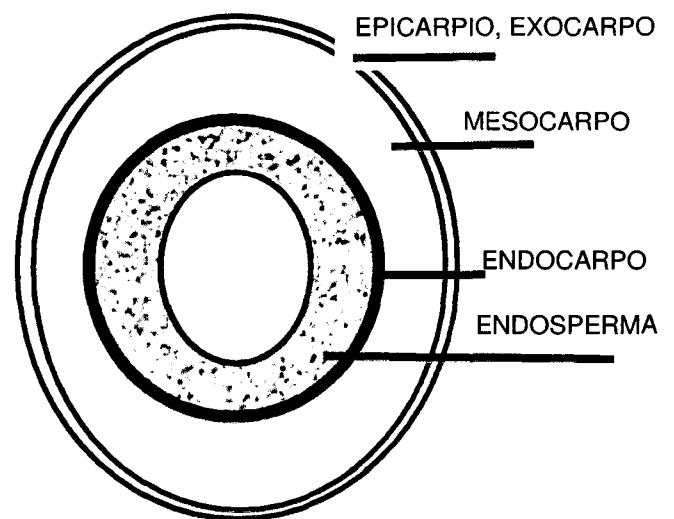
A: Racimos con frutos en drupa.



B. En fruto.



C: Diametro del fruto



D: partes del fruto.

**Figura 1:** A: Pijuayo en racimo; B. En fruto; C: Diametro del fruto; D: partes del fruto.

Fuente: (Mora-Urpí, 1983), [www.pijuayo.org](http://www.pijuayo.org).

### 1.2.3.- CARACTERIZACIÓN FÍSICO Y COMPOSICIÓN FÍSICO-QUÍMICA.

Una principal alternativa para el uso del pijuayo, constituye la utilización de sus frutos como ración animal y como alimento humano por poseer alto valor nutritivo y sabor agradable (**Clement, 1986**). El mismo autor sugiere que podría ser un sustituto en potencia para parte de las proteínas animales consumidas por la población de la Amazonía.

Diferentes autores han realizado determinaciones de la composición química del pijuayo, si bien todas ellas revelan un alto valor nutritivo de esta fruta, existen diferencias en los valores de las determinaciones, debido a la gran diversidad de los frutos analizados.

**Cuadro 1:** Rango de medidas del tamaño físico del fruto entero y de los constituyentes químicos de pijuayo, de 18 árboles analizados en base a 100 g de fruto fresco.

Constituyentes y medidas	Rango		Unidad
	Máximo	Mínimo	
Grasa	76.40	40.00	G
Agua	9.45	1.61	G
Fibra cruda	1.76	0.93	G
Nitrógeno	0.42	0.22	G
Proteína	2.85	1.37	G
Ceniza	0.82	0.42	G
Caroteno	603.00	70.00	mg
Niacina	0.19	0.07	mg
Vitamina C	2.38	0.10	mg
Diámetro	5.40	3.10	cm
Longitud (L)	5.50	3.10	cm
Long hasta diám. más amplio (La)	1.60	0.90	cm
Proporción (La/L)	0.40	0.18	

**Fuente:** Johannessem, 1967.

Según **Soria (1991)** citado por **Brack Egg (1999)**, el fruto del pijuayo posee una gran riqueza nutricional que se aprecia en las Cuadros 02 y 03.



**Cuadro 2:** Contenido nutricional de 100 g de pulpa de pijuayo.

COMPONENTE	PORCENTAJE
Agua	50.7%
Grasa	5.8%
Proteínas	6.3%
Carbohidratos	35.7%
Fibra	1.3%
Cenizas	0.8%
Calcio	14.0 mg
Fosforo	16.0 mg
Hierro	1.0 mg
Vitamina A	867.7 UI
Tiamina	0.05 mg
Riboflavina	0.16 mg
Niacina	1.4 mg
Ácido ascórbico	3.5 mg
Calorías	196.0

**Fuente:** Soria (1991) citado por Brack Egg (1999)

**Cuadro 3:** Ácidos grasos del aceite de pijuayo.

Ácido graso	Composición porcentual del aceite		
Ácido Palmítico	29.3	a	40.2
Ácido Palmitoleico	5.3	a	9.3
Ácido Esteárico	0.4		
Ácido Oleico	50.3	a	53.6
Ácido Linoleico	1.3	a	12.5
Ácido Linolénico	1.8		
Ácidos grasos insaturados	53.7	a	64.6

**Fuente:** Soria (1991) citado por Brack Egg (1999)

### 1.3. POTENCIAL NUTRITIVO, SIMBÓLICO Y ESTÉTICO.

En primera instancia, el pijuayo (*Bactris gasipaes*) es una importante fuente de nutrientes, es una palmera cuyo fruto es fundamental en la dieta alimentaria de diversos pueblos amazónicos, debido a su alto valor nutritivo ya que es utilizable en su totalidad, asegura María Eugenia Yllia, historiadora del arte y otros.

Con esto se refiere a que dicho fruto es rico en vitaminas A y C, fibras, carbohidratos, potasio, magnesio, fósforo, calcio, hierro, zinc, cobre, aceite láurico, omega 3 y 6. Además, la parte central del tallo se consume fresco y del tronco seco se obtiene madera para hacer arcos, flechas, cañas de pescar, arpones, bancas y tallas de madera.

El fruto, que fue en el pasado tan solo de importancia en las zonas productoras, por ser muy perecedero, se vislumbra ahora como de un gran potencial, al industrializarlo en forma de harinas y de otros productos derivados como aceite, betacaroteno y almidón. Las harinas del pijuayo tienen un importante futuro en la nutrición humana, consumiéndose en repostería, panificación y otros preparados. También tiene gran porvenir en nutrición animal, como sustituto o complemento de los granos, en la fabricación de concentrados, y fermentado como ensilaje. La fermentación de los frutos se investiga con vistas a su explotación, en la fabricación de varios compuestos orgánicos. Queda pendiente su posible uso medicinal tal como era practicado por los antiguos pobladores amazónicos y/o indígenas.

#### **1.4. EL AGUA EN LOS ALIMENTOS.**

Según **Clemente (2003)**, el agua es el componente que domina los sistemas alimentarios, influyendo significativamente en las variables del proceso, las características del producto y los factores de estabilidad. Todos los alimentos contienen agua y es bien conocido que aquellos más susceptibles de degradación (tanto física como química) son los que contienen altos niveles de agua. El agua controla la mayoría de los fenómenos físicos, químicos y microbiológicos que ocurren en los alimentos ya que constituye el medio de reacción y es el componente principal en la mayoría de ellos.

No obstante, también se ha observado que diferentes tipos de alimentos con el mismo contenido de agua difieren significativamente en su estabilidad o vida útil. En consecuencia, el contenido de agua por sí solo, no es un indicador real de la estabilidad. Esta situación se atribuye, en parte a diferencias en la intensidad con que el agua se asocia con los constituyentes no acuosos; el agua implicada en asociaciones fuertes es menos susceptible o propensa para las actividades degradativas, tales como el crecimiento de microorganismos y las reacciones químicas de hidrólisis, que el agua débilmente asociada. El término "actividad de

agua" ( $a_w$ ) se implantó para tener en cuenta la intensidad con que el agua se asocia a los diferentes compuestos no acuóso (**Fennema, 2000**).

### 1.5. ACTIVIDAD DE AGUA ( $a_w$ ).

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

Según **Marques (2009)**, la actividad de agua ( $a_w$ ) es definida por la relación entre la presión parcial del vapor de agua en el alimento y la presión de vapor del agua pura a la misma temperatura. En el caso de agua pura, la relación entre las presiones es 1. Entretanto la actividad de agua de los alimentos es siempre inferior a 1, pues los constituyentes químicos presentes inmovilizan parcialmente el agua.

En la realidad, la actividad de agua es la relación entre la fugacidad de la solución ( $f$ ) y la fugacidad del solvente puro ( $f_0$ ). Se entiende por fugacidad la tendencia del solvente de "escapar de la solución" (**Marques, 2009**). El agua tiene una presión de vapor baja a temperatura ambiente, por lo que puede considerarse que su comportamiento es ideal en la fase de vapor. (**Clemente, 2003**). La actividad de agua puede ser expresada por la siguiente ecuación.

$$a_w = \frac{f}{f_0} \approx \frac{p}{p_0} = \frac{HRE}{100} \quad (\text{Ecuación 1})$$

**Donde:**

$a_w$  = actividad de agua.

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

$P_0$  = presión de saturación del agua líquida pura a la misma temperatura.

HRE= Humedad relativa de equilibrio.

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

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

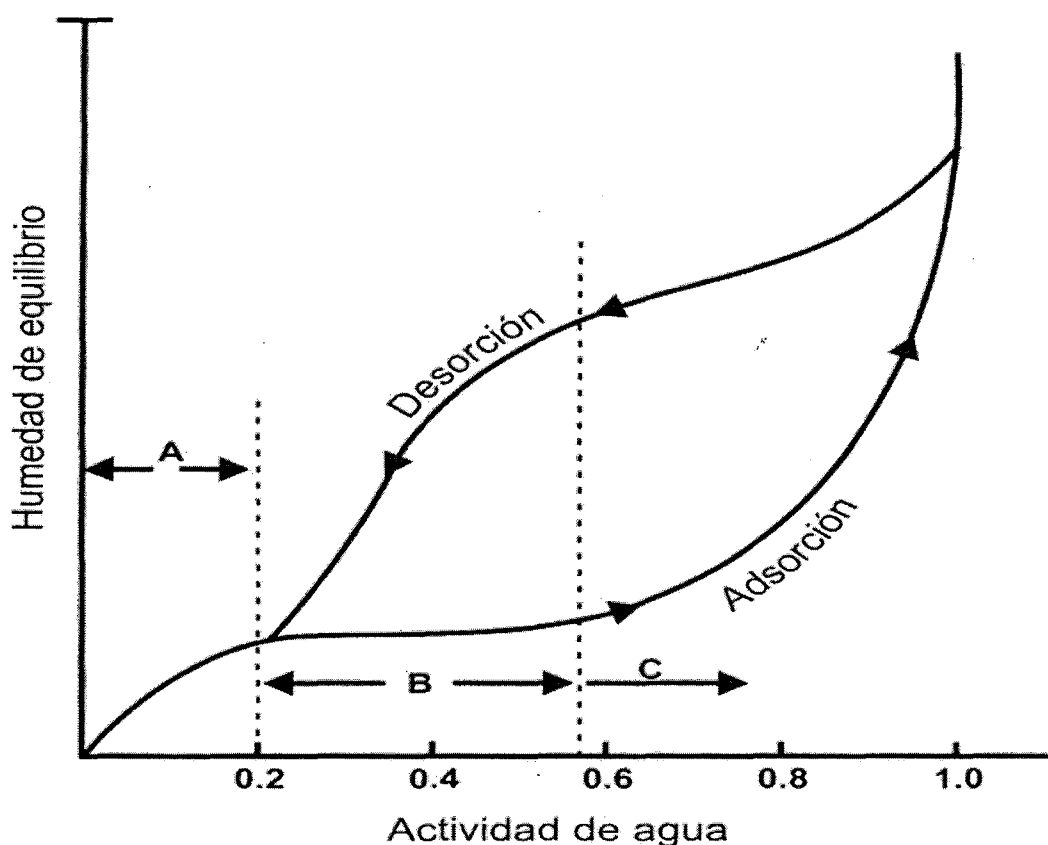
## **1.6. ISOTERMAS DE SORCIÓN.**

La isoterma de un producto relaciona gráficamente, a una temperatura constante, el contenido en humedad de equilibrio de un producto con la actividad termodinámica del agua del mismo, ya que en el equilibrio, este último parámetro es igual a la humedad relativa del aire que rodea al *producto* (**Vega et al., 2006**).

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

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

Lo mencionado anteriormente puede observarse en la Figura 02, donde se aprecia las isotermas de adsorción y desorción de humedad características de productos alimenticios.



**Figura 2.** Isotermas de Adsorción y de Desorción.

Fuente: *Badui (1999)*.

El desfase entre las curvas de adsorción y desorción de la Figura 02, se denomina Histéresis, y puede ocurrir debido a diversos factores tales como condensación capilar, cambios en la estructura física del material, impurezas en la superficie y cambio de fase (*Labuza, 1984, citado por Choque, 2009*), y se observa generalmente en productos altamente higroscópicos (*Heldman y Lund, 2007. citados por Choque, 2009*).

Las isotermas de los alimentos, se dividen en tres regiones (figura 02) denotado por regiones A, B, C. en la región A, las moléculas de agua están enérgicamente ligadas a los sitios específicos en el sólido, estos sitios contienen a los grupos hidroxil de los polisacáridos, carbonil y amino de las proteínas, uniéndose a través de puentes de hidrogeno y fuerzas ion-dipolo. Es así que esta agua no está disponible como solvente y por lo tanto no colabora microbiológicamente, enzimáticamente o químicamente. A esta

zona se le denomina monocapa. En la región B el agua se encuentra en multicapas, menos fuertemente unida, estando presente normalmente en pequeños capilares, y en la región C el agua se presenta estructuralmente y puede presentar soluciones sueltas en grandes capilares o en estado libre (*Fellows, 2000; Shafiur, 2003; Brennan, 2008, citados por Choque, 2009*).

### **1.6.1. INTERÉS DE LAS ISOTERMAS DE SORCIÓN PARA LA TECNOLOGÍA ALIMENTARIA.**

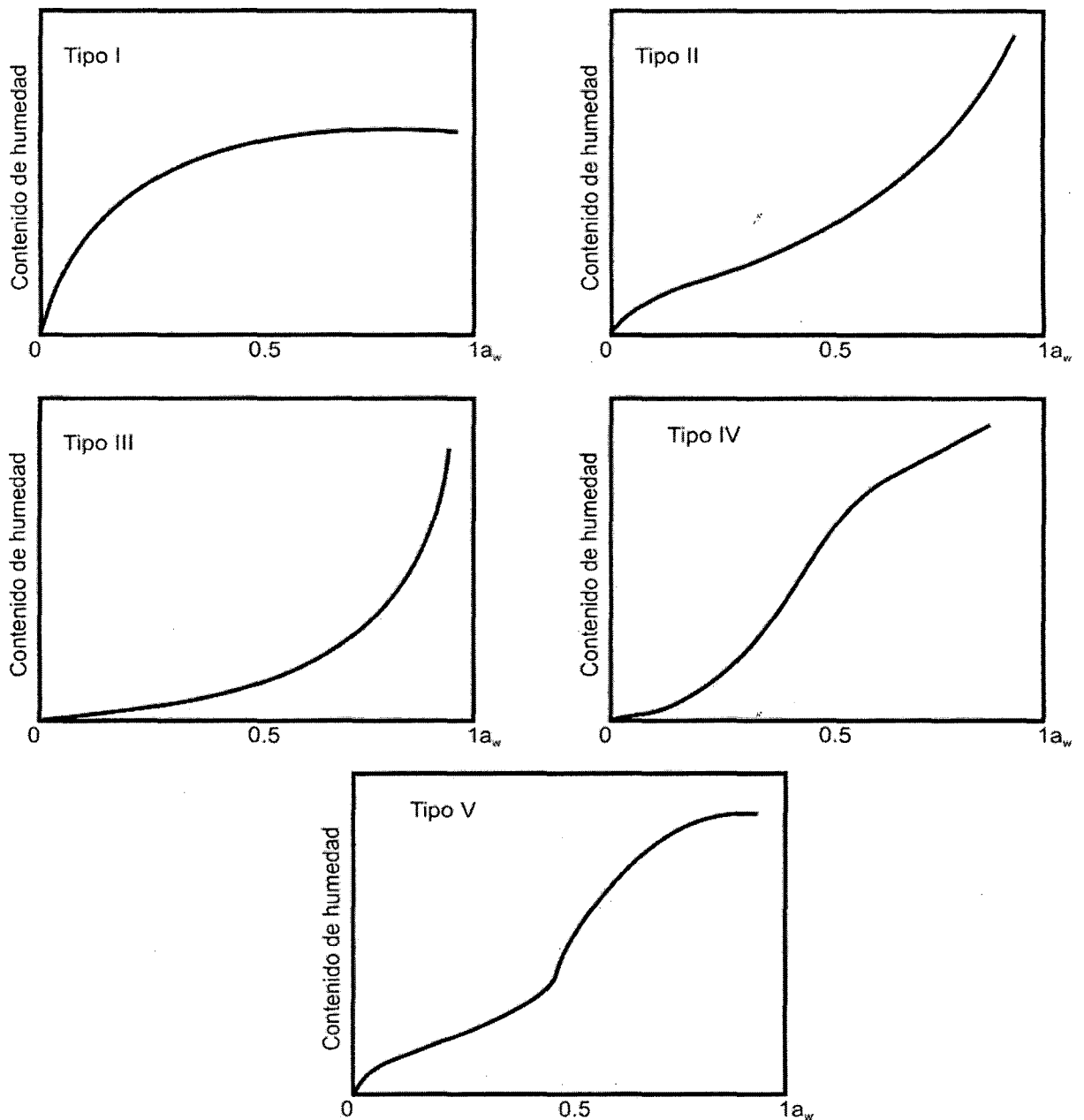
**Según Nogueira (1990)**, el conocimiento de las isotermas de sorción de agua es uno de los medios más apropiados para el estudio de su influencia en los alimentos, pues permite establecer las condiciones ideales para su manipulación y conservación. Permite prever el tiempo de secado, el tiempo de la vida útil de productos deshidratados acondicionados en embalajes permeables y las condiciones de equilibrio después de la mezcla de productos con distintas actividades de agua.

Las isotermas proporcionan información para el establecimiento de relaciones termodinámicas, las cuales permiten una interpretación teórica de los resultados experimentales. A través de estas funciones se puede determinar la energía libre necesaria para la transferencia de moléculas de agua en el estado de vapor hacia la superficie del alimento. Se puede determinar la entalpía o calor de sorción del agua, lo cual proporciona la energía de interacción entre el agua y el alimento, siendo por tanto un índice de gran importancia al proyectarse equipos de secado.

### **1.6.2. CLASIFICACIÓN DE LAS ISOTERMAS DE SORCIÓN.**

**Tóth (2001), citado por Choque (2009)** muestra cinco tipos de comportamiento de isotermas de adsorción (Figura 03). **Shafiur (2003)**, citado por **Choque (2009)**, nos dice que si los alimentos contienen compuestos cristalinos hidrosolubles como azúcares o sales, la isoterma es cóncava del tipo III. La mayoría de los alimentos restantes tienen isotermas del tipo II, el punto de inflexión de la isoterma (Tipo II) indica el cambio de la capacidad de ligar agua a las cantidades relativas de agua unida y libre.

El Tipo I es indicativo de un sólido poroso no hinchable tal como los silicatos antiaglomerantes "anticracking".



**Figura 3:** Los cinco tipos de isothermas de adsorción de Van der Waals.

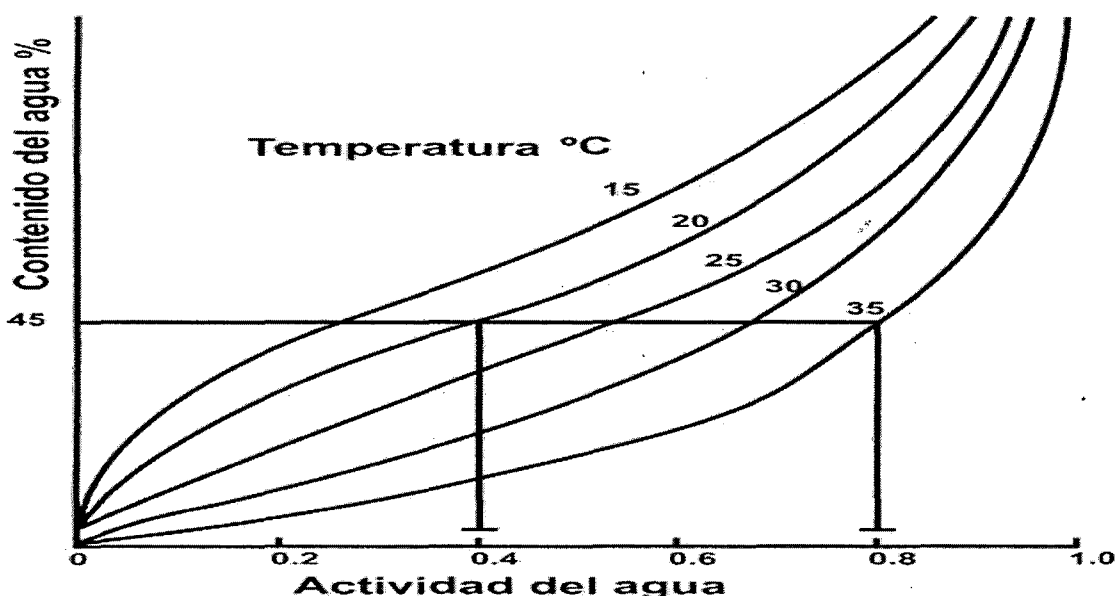
**Fuente:** *Shafiur (2003)*, citado por *Choque (2009)*.

### 1.6.3. EFECTO DE LA TEMPERATURA EN LAS ISOTERMAS.

El efecto de la temperatura es de gran importancia debido a que los alimentos no son mezclas ideales y la actividad de agua cambia con la temperatura. La temperatura afecta la movilidad de las moléculas de agua y el equilibrio entre las fases de vapor y absorbente, Un aumento de la temperatura, para actividad de agua constante, provoca descenso de la cantidad de agua adsorbida. Una excepción a esto se presenta en el caso de ciertos azúcares, constituyentes alimentarios de baja masa molecular que se

disuelven en agua y se vuelven más higroscópicos a temperaturas más altas. Por otra parte, la reactividad química y microbiológica se ve afectada por la relación temperatura-contenido de humedad, ya que un aumento de la temperatura provoca un aumento de la actividad de agua a un contenido de humedad constante (**Barbosa-Cánovas y Vega-Mercado, 2000**).

Badui (1999), indica que el valor de la  $a_w$  se incrementa cuando se eleva la temperatura, ya que igualmente lo hace la presión de vapor, esto se observa en la Figura 04 que muestra la tendencia de la mayoría de los alimentos.



**Figura 4:** Influencia de la temperatura en las isotermas de adsorción.

**Fuente:** *Badui (1999)*.

#### 1.6.4. MODELOS MATEMÁTICOS PARA LAS ISOTERMAS DE SORCIÓN.

Para describir las isotermas de sorción de los alimentos existen multitud de ecuaciones matemáticas de carácter teórico, semiempírico y empírico que modelan las curvas de sorción (**clemente, 2003**). Los modelos teóricos procuran explicar interacciones existentes entre el agua y la estructura del alimento, lo que lleva a un mejor conocimiento de este último. Las ecuaciones empíricas corresponden a la gran mayoría de las ecuaciones utilizadas para el ajuste y en virtud a su naturaleza nos permiten que se llegue a una buena comprensión del alimento (**Moura y Germer, 1997, citado por Araujo, 2001**).



A pesar de que un gran número de ecuaciones teóricas, semiteóricas y empíricas, vienen siendo propuestas para el cálculo de la humedad de equilibrio, ninguna ecuación teórica es capaz de prever exactamente la humedad de equilibrio de productos agrícolas en un amplio rango de temperatura y actividad de agua (humedad relativa) (**Brooker et al., 1974, citado por Nascimento, 2006**).

Las ecuaciones utilizadas en el presente trabajo para describir el comportamiento de las curvas de adsorción de humedad de las muestras secas de harina de pijuayo, son mostradas a continuación.

#### **A. Modelo de BET (Brunauer, Emmet y Teller).**

El modelo de BET es el más utilizado y proporciona un buen ajuste para una variedad de alimentos sobre una región de actividad de agua entre 0.05 y 0.45, siendo expresado de la siguiente forma (**Rizvi, 1986. citado por Gabas. 1998**):

$$X_e = \frac{X_m C_{BET} a_w}{(1 - a_w)(1 + a_w(C_{BET} - 1))} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

$X_e$  = Humedad de equilibrio (g agua/g m.s.).

$X_m$  = Humedad de la monocapa (g agua/g m.s.).

$a_w$  = Actividad de agua.

$C_{BET}$  = Constante de BET relacionada al calor de sorción.

#### **B. Modelo de GAB (Guggenheim, Anderson y De Boer).**

El modelo de GAB es una ecuación de tres parámetros, utilizado para ajustar los datos de sorción de productos alimenticios hasta actividades de agua de 0.9 (Lima, 2006). Este modelo es de amplio uso en alimentos y es recomendado por el proyecto Europeo COST 90, que trata sobre propiedades físicas en alimentos. Esta ecuación está basada en la teoría de adsorción de BET, la cual da una explicación física a los parámetros involucrados en ella (**Kiranoudis et al., 1993; Wolf et al., 1984, citado por Vega et al, 2006**).

**Lomauro et al (1985), citado por Lima (2006)**, verificaron que el modelo de GAB puede representar más del 50% de las isotermas de frutas, vegetales y carnes, en comparación

con ecuaciones de dos parámetros.

El modelo de GAB se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$X_e = \frac{X_m C_{GAB} K_{GAB} a_w}{(1 - K_{GAB} a_w)(1 - (1 - C_{GAB}) K_{GAB} a_w)} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

$X_m$  = Humedad en la monocapa (g agua/g m.s.).

$C_{GAB}$  = Constante de Guggenheim, característica del producto y relacionada con el calor de adsorción de la monocapa.

$K_{GAB}$  = Es un factor de corrección relacionado con el calor de sorción de la multicapa.

Las constantes  $C_{GAB}$  y  $K_{GAB}$  están relacionadas con las interacciones energéticas entre las moléculas de la humedad de la monocapa ( $X_m$ ) y las subsiguientes, en un determinado sitio (Sulamytha, 2009). La constante  $K_{GAB}$  es la tercera constante de la ecuación de GAB, la cual mide la diferencia del potencial químico estándar entre las moléculas de la segunda etapa y aquellas del estado líquido puro; si  $K_{GAB}$  es menor a la unidad, se estimará una sorción menor a la predicha por BET (**Zug, 2002a**). La constante  $C_{GAB}$  se refiere a las interacciones entre los sitios activos del producto y las moléculas de agua (Sulamytha, 2009).

### C. Modelo de Halsey.

**Halsey (1985), citado por Lima (2006)**, desarrollo un modelo matemático que considera la condensación de las multicapas a una distancia relativamente grande de la superficie, asumiendo que la magnitud del parámetro B caracteriza el tipo de interacción entre el vapor y el sólido, pues, si B es grande la atracción entre el sólido es muy específica y no se extiende muy lejos de la superficie, si por el contrario B es pequeño, las fuerzas de atracción predominantes son de Van der Waals y capaces de llegar a grandes distancias de la superficie.

La ecuación está dada de la siguiente manera:

$$a_w = \exp \left[ \frac{A}{X_e^B} \right] \quad (\text{Ecuación 4})$$

Siendo A, B constantes que dependen de la temperatura y naturaleza del producto.

Así mismo, el modelo de Halsey es utilizado para analizar isotermas de sorción de diversos alimentos, mostrando un buen ajuste para productos ricos en almidón, como el maíz, papa y trigo para valores de  $a_w$  que se encuentran entre 0.1 a 0.8 (**Heldman y Lund, 2007, citados por Choque, 2009**).

#### D. Modelo de Oswin.

Este modelo de Oswin es una ecuación empírica, basado en la expansión de una serie matemática para curvas sigmoidales, se ajusta muy bien entre valores de actividad de agua de  $0.0 < a_w < 1.0$  (**Lomauro et al, 1985, citado por Feitosa 1998; Pedroso, 1997**). Según **Lomauro et al. (1985)**, citado por **Araujo (2001)**, la ecuación de Oswin ajusta cerca del 57% de las isotermas de alimentos. Los parámetros característicos A y B del modelo de Oswin muestran relación con la temperatura para diferentes isotermas (**Choque, 2009**).

$$X_e = A \left[ \frac{a_w}{1-a_w} \right]^B \quad (\text{Ecuación 5})$$

#### E. Modelo de Chung-Pfost.

**Assis et al. (1999)**, citado por **Choque (2009)**, muestra el modelo propuesto por Chung-Pfost que permite estimar con determinada precisión los valores de humedad de equilibrio de granos y cereales para los rangos de 20% a 90% de humedad relativa, en función de la temperatura.

$$a_w = \exp \left[ \frac{A}{RT} \exp(-BX_e) \right] \quad (\text{Ecuación 6})$$

Donde A y B son constantes características del modelo, que dependen de la naturaleza del producto.

#### F. Modelo de Henderson.

El modelo empírico de Henderson es uno de los más empleados y describe bien el comportamiento de alimentos tales como granos, cereales y frutas, en un amplio rango de actividad de agua (0.10 a 0.75) (**Kurozawa, 2005**).

$$1 - a_w = \exp(-kX_e^n) \quad (\text{Ecuación 7})$$

Donde k y n son constantes características del modelo, que dependen de la naturaleza del producto.

### 1.6.5. CALIDAD DE AJUSTE DE LOS MODELOS MATEMÁTICOS.

Los criterios utilizados para determinar el mejor ajuste de los modelos a los datos experimentales son: el coeficiente de determinación ( $R^2$ ), el desvío porcentual medio (P), el error estándar de humedad (SEM) y la verificación del comportamiento de la distribución de los residuos, los cuales son parámetros estadísticos ampliamente utilizados por diversos autores en la determinación de isotermas de alimentos (**Henaio, et al., 2009; Duarte, 2008; Resende et al., 2006; Arslan y Togrul, 2006; Siripatrawan y Jantawat, 2006; Correa et al., 2005; Araujo, 2001; Yu et al., 1999**).

El cálculo del desvío porcentual medio (P) y el error estándar de humedad (SEM) se realizan mediante las ecuaciones 8 y 9 respectivamente.

$$P = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{X_{ei} - X_{ci}}{X_{ei}} \right| \quad (\text{Ecuación 8})$$

$$SEM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_{ei} - X_{ci})^2}{N - n}} \quad (\text{Ecuación 9})$$

Donde:

$X_{ei}$  = El contenido de humedad de equilibrio experimental (g agua/g m.s.).

$X_{ci}$  = Contenido de humedad de equilibrio calculada a partir de cada modelo (g agua/g m.s.).

N = Número de puntos experimentales.

n = Número de constantes en el modelo.

**Wang y Brennan (1991)**. Citado por **Fadini et al. (2006)**. Consideran que valores del parámetro P por debajo del 10% indican un ajuste razonable de los datos experimentales a los modelos; así mismo **Resende et al. (2006)** indica que los modelos que presenten mejor ajuste son aquellos que exhiben un mayor  $R^2$  y un menor valor de SEM.

En cuanto a la distribución de los residuos, **Duarte (2008)**, menciona que un modelo es considerado aceptable si la distribución de los residuos es aleatoria, mientras que si la distribución de los residuos es tendenciosa, el modelo es considerado inadecuado para representar el fenómeno en cuestión.

### 1.6.6. MÉTODOS DE MEDICIÓN DE ISOTERMAS DE SORCIÓN.

**Gal (1975)**, citado por **Feitosa (1998)**, al revisar la literatura hizo una clasificación de las técnicas para la medición de las isotermas de sorción de toda clase de materiales sólidos (Cuadro 04). Las isotermas de sorción pueden ser determinadas de acuerdo a dos principios básicos; el gravimétrico y el manométrico o higrométrico. Así mismo, la adición de un tercer grupo suplementario se hace necesaria para acomodar métodos especiales aplicables bajo condiciones extremas (alta actividad de agua), los cuales usualmente no se ajustan con la clasificación de los otros dos grupos.

El principio del método gravimétrico es la determinación de variaciones en el peso de las muestras en equilibrio con diferentes presiones de vapor de agua. Numerosos laboratorios vienen usando el método gravimétrico estático por ser la técnica más simple, a pesar de la demora en su determinación. La humedad de equilibrio entre el producto y la atmósfera circundante es alcanzada sin movimiento del aire. En el método dinámico el aire o el producto permanecen en movimiento, hasta que se alcance el equilibrio. El método manométrico es utilizado en procesos de control de calidad, para la determinación rápida de la actividad de agua. Los métodos especiales, son métodos no convencionales que utilizan una membrana de célula de presión, para determinar la actividad de agua en materiales con alto contenido de humedad.

**Cuadro 4.** Métodos para la determinación de las isotermas de sorción.

1. Métodos gravimétricos	
1.1. Método con registro continuo de cambios de peso	a) Sistemas al vacío b) Sistemas dinámicos
1.2. Método con registro discontinuo de cambios de peso	a) Sistemas estáticos b) Sistemas dinámicos c) Sistemas al vacío
2. Métodos manométricos o higrométricos	
2.1. Métodos manométricos	
2.2. Métodos higrométricos.	
3. Métodos especiales	

Fuente: *Gal (1981), citado por pulla (2011).*

### 1.7. CALOR ISOSTÉRICO DE SORCIÓN.

El calor isostérico es un parámetro de mucha utilidad en los procesos de adsorción y desorción de agua en alimentos (*Vega et al., 2006*). Según *Wang y Brennan (1991)*. Citado por *Duarte (2008)* indican que el calor de adsorción es una medida de la energía liberada en la sorción de agua por el producto, mientras que el calor de desorción representa el requerimiento de energía necesaria para romper las fuerzas intermoleculares entre las moléculas de vapor de agua y la superficie adsorbente. Así, el calor de sorción es considerado un indicador de las fuerzas intermoleculares de atracción entre los locales de sorción y el vapor de agua.

El calor isostérico neto de sorción ( $q_{st}$ ) se define como el calor total de sorción de agua del alimento ( $Q_{st}$ ) menos el calor de vaporización de agua pura ( $\lambda$ ), a una determinada temperatura. Un método largamente utilizado para calcular el calor isostérico de sorción, sea para el proceso de adsorción o para el de desorción, está dado por la ecuación de Clausius- Clapeyron (Ecuación 10) (*Telis-Romero et al., 2005*) mostrada a continuación:

$$\left. \frac{\partial \ln(a_w)}{\partial \left(\frac{1}{T}\right)} \right|_x = \frac{Q_{st} - \lambda}{R} = -\frac{q_{st}}{R} \quad (\text{Ecuación 10})$$

**Donde:**

- $q_{st}$  = Calor isostérico neto de sorción (kJ/mol).
- $Q_{st}$  = Calor isostérico total de sorción (kJ/mol).
- $(\lambda)$  = Calor de vaporización del agua pura (kJ/mol).
- $R$  = Constante universal de los gases  $8.314 \text{ kJ kmol}^{-1}\text{K}^{-1}$ .

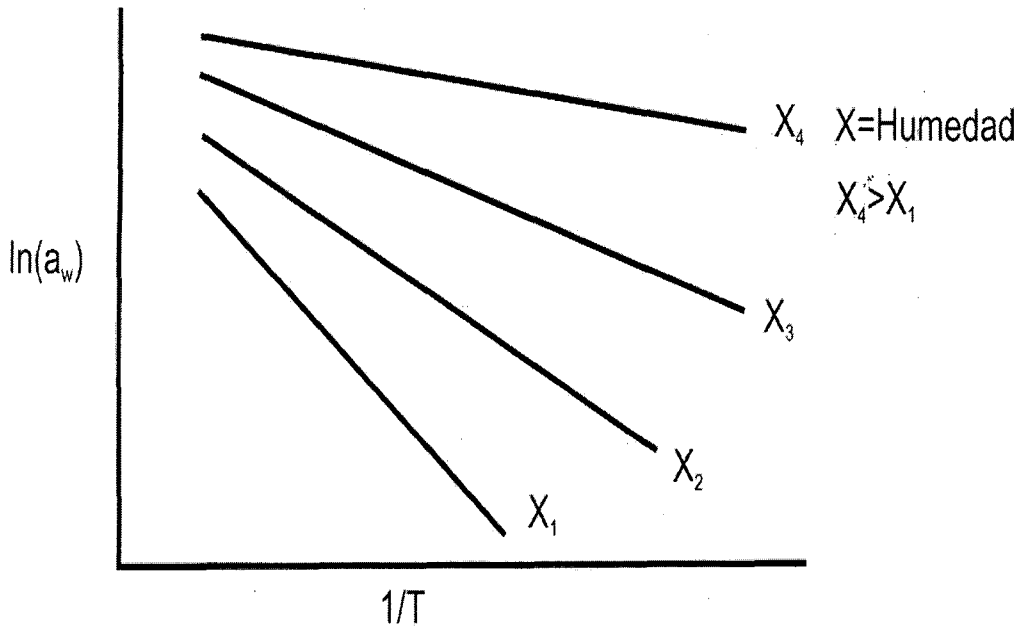
Integrando la ecuación y asumiendo que el calor isostérico líquido de sorción es independiente de la temperatura, se tiene la siguiente expresión:

$$\ln \frac{a_{w1}}{a_{w2}} \Big|_x = \frac{q_{st}}{R} \left[ \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right] \quad (\text{Ecuación 11})$$

Donde  $a_{w1}$  y  $a_{w2}$  son las actividades de agua a las temperaturas  $T_1$  y  $T_2$ ; (K), respectivamente al contenido de humedad.

Experimentalmente, para evaluar y obtener el valor de ( $q_{st}$ ) las isotermas de adsorción se deben evaluar a diferentes temperaturas, graficando  $\ln(a_w)$  vs.  $1/T$ , a sus respectivas

humedades (figura 5), siendo la pendiente  $-q_{st}/R$  (**Heldman y Lund, 2007. citado por choque, 2009, pulla 2011**)



**Figura. 5:** Relación de Clausius- Clayperon para distintos contenidos de humedad.

**Fuente:** *Barbosa-Canovas y vega-Mercado (2000).*

Para **Tsami et al., (1990)**, el conocimiento de la dependencia del calor de sorción del agua en función del contenido de humedad es esencial en el estudio de varios procesos alimentarios, pudiendo ser usado para estimar las necesidades energéticas del proceso de secado, además de proporcionar datos importantes sobre el estado del agua en los productos alimenticios. Es así que **Tsami et al (1990)** utilizan la siguiente relación exponencial empírica entre el calor de sorción y el contenido de humedad para frutas secas, propuesta de la siguiente forma:

$$q_{st} = q_0 \exp(-X_e / X_0) \quad (\text{Ecuación 12})$$

Donde:

$q_0$  = Calor isostérico de sorción de la primera molécula de agua (kJ/mol).

$X_e$  = Contenido de humedad de equilibrio (g agua/g m.s.).

$X_0$  = Contenido de humedad inicial del material alimenticio (g agua/g m.s.).

## 1.8. ENERGÍA DE ACTIVACIÓN.

Una de las más importantes características de un adsorbente heterogéneo es su topografía (la manera en la que los diferentes sitios de adsorción son distribuidos sobre la superficie). Dos modelos son considerados generalmente, el primer modelo ha sido propuesto por Langmuir, que asumió que la superficie está compuesta por dominios isótropos que constan de los mismos sitios de adsorción, de acuerdo con este modelo, los procesos de adsorción que ocurren sobre los diferentes sitios activos están totalmente correlacionados; el otro modelo, de la superficie, supone que en la topografía de los sitios de las diferentes energías es totalmente distribuida al azar en toda la superficie heterogénea (**Zug, 2002b**).

Estos lugares activos se encuentran separados por barreras (topografía de la superficie), siendo cada lugar un sitio de adsorción, que presenta profundidades mínimas. Para que el adsorbato migre de este lugar (monocapa), se requiere energía de activación (**Tóth, 2001, citado por Choque, 2009**).

En los alimentos la higroscopicidad se ve afectada por algunos parámetros como la temperatura, presión y potencial químico (**Heldman y Lund, 2007, citado por Choque, 2009**). Durante la adsorción, las moléculas son ligadas a los sitios activos, a través de puentes de hidrógeno o fuerzas de Van der Waals, y en algunos casos ocurriendo reacciones (**Vega et al., 2006**).

Debido a que estas dislocaciones moleculares suceden por acción del calor, el efecto de la temperatura se puede evaluar a través de la ecuación de Arrhenius (**Heldman y Lund, 2007, citado por Choque, 2009**).

$$\ln(D) = \ln(D_0) - \frac{E_a}{RT} \quad (\text{Ecuación 13})$$

**Donde:**

D es la constante en estudio;  $D_0$  es el factor de Arrhenius.  $E_a$  es la energía de activación (kJ/kmol); R es la constante universal de los gases y T es la temperatura absoluta (°K).

La dependencia con la temperatura de las constantes fisicoquímicas más importantes ( $X_m$ ,  $C_{GAB}$ ,  $K_{GAB}$ ) de la isoterma de GAB, se pueden evaluar con la ecuación de Arrhenius (ecuación anterior); obteniendo de esta forma la energía de activación ( $E_a$ ), que representa la energía necesaria para unir o romper la primera monocapa de agua entre



el sistema solido-agua donde la formación del enlace solido-agua (adsorción) requiere de mayor energía que romper tal unión (desorción) (*Vega et al., 2006*).

### **1.9. ALMACENAMIENTO.**

Las frutas, hortalizas, tubérculos, raíces y granos, son productos que se pueden deteriorar rápidamente una vez cosechados, los cuales si no se someten a un tratamiento adecuado para su conservación, pueden perecer y con ello perder la calidad y su valor comercial (*Ospina y Aldana, 1995, citado por Choque, 2009*).

La buena conservación pasa por un almacenamiento al abrigo de la humedad, del oxígeno del aire y de la luz, que afecta a los pigmentos y cataliza las oxidaciones (*Casp, 2003, citado por choque, 2009*). El deterioro de los alimentos se ve influido por una serie de factores ambientales, entre ellos la temperatura tanto alta como baja, que asociados a los otros factores causan la degradación de los alimentos en un determinado tiempo. Las influencias destructoras serán mayores, mientras mayor sea en tiempo de exposición del alimento a los factores de degradación (*Caps, 2003, citado por choque, 2009*).

#### **1.9.1. FACTORES QUE ALTERAN LOS ALIMENTOS ALMACENADOS.**

Para garantizar una buena preservación de los productos agrícolas hay que tener en cuenta que estos son seres vivos y que en ellos ocurren procesos fisiológicos, como el proceso respiratorio, en los cuales las moléculas al ser oxidadas por el oxígeno producen gas carbónico, agua y liberan energía (*Dendy y Bobraszczyk, 2001, citado por Choque, 2009*).

Los tres factores principales del almacenamiento que influye en la conservación de un determinado producto son la temperatura, la humedad y la composición de la atmósfera (*Brennan, 1980*).

#### **A. TEMPERATURA.**

Independientemente de su efecto sobre los microorganismos, el frío y el calor no controlados pueden causar deterioro de los alimentos (*Ospina y Aldana, 1995, citado por Choque, 2009*).

El ritmo de las reacciones bioquímicas es función de la temperatura, de forma que a temperaturas de almacenamiento más bajas, la alteración de los alimentos debida a

daños de origen bioquímico se ralentiza, a la vez que disminuye el crecimiento de bacterias y mohos (*Brennan, 2008, citado por Choque, 2009*).

Según *Cheftel y Cheftel (2000)* cada especie bacteriana prolifera únicamente entre ciertos límites de temperatura y tiene para su desarrollo, una temperatura óptima. Por eso la temperatura de almacenamiento va a tener una influencia considerable sobre la alteración que pueda padecer un alimento.

En general, teniendo en cuenta la temperatura a la cual proliferan se distinguen tres grupos de microorganismos que afectan a los alimentos, la cual se muestra en el Cuadro 05.

**Cuadro 5:** Tolerancia a la temperatura de los microorganismos.

Microorganismos	Temperatura de desarrollo °C		
	Mínima	Optima	Máxima
Psicrófilos	-15	+10	+20 aprox.
Mesófilos	+5 a +10	+30 a 40	+50 aprox.
Termófilos	+40	+50 a +55	+65

**Fuente:** *Cheftel y Cheftel (2000)*.

En cada grupo se encuentran especies para las cuales el carácter termófilo, mesófilo o psicrófilo es estricto y otras para los que es facultativo; asimismo los límites de temperatura.

Estos datos son suficientes, para confirmar que las posibles alteraciones bacterianas que pudieran presentarse van a variar según la temperatura de almacenamiento.

## **B. HUMEDAD RELATIVA.**

Si la humedad del ambiente de almacenamiento excede la humedad relativa de equilibrio (HRE) del alimento, este aumentará su humedad y viceversa. La adsorción de agua durante la conservación lleva asociada una mayor susceptibilidad al crecimiento de microorganismos, mientras que la pérdida de agua conduce a pérdidas económicas, así como a problemas más específicos como el resquebrajamiento de las cáscaras de los cereales o de las pieles de las frutas y hortalizas (*Brennan, 2008, citado por Choque,*

**2009).**

La humedad ambiente interviene sobre todo en la proliferación de microorganismos en la superficie de los productos alimenticios; pero no hay que olvidarse que varía en función de la temperatura y que por otra parte hay tendencia a establecerse un equilibrio entre la humedad relativa del ambiente y la actividad de agua del producto. Es por tanto un factor que no puede considerarse independientemente de los otros (**Cheftel y Cheftel, 2000**). En el caso ideal, la humedad de almacenamiento debería ser igual a la humedad de equilibrio del alimento (**Brennan, citado por choque, 2009**).

### **C. ATMÓSFERA AMBIENTE.**

Además del vapor de agua, también intervienen otros gases de la atmósfera, tales como el oxígeno, nitrógeno y anhídrido carbónico, los cuales afectan a la flora bacteriana susceptible de alterar un alimento; la presión parcial del oxígeno influye sobre el potencial de oxireducción que tiene un alimento; sin embargo, el que más interviene sobre la flora de alteración es el potencial del alimento, porque, por lo general, resulta poco afectado por las variaciones moderadas de la presión de oxígeno (**Cheftel y Cheftel, 2000**).

## CAPITULO II

### MATERIALES Y MÉTODOS.

#### 2.1. LUGAR DE EJECUCIÓN.

El trabajo de investigación, se desarrolló en el Laboratorio de Procesos Agroindustriales, de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial – Facultad de Ingeniería y en el Laboratorio de Química, ambos pertenecientes a la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios – Puerto Maldonado, durante los meses de Enero a Marzo del 2014. Así mismo, la última parte de la investigación fue llevada a cabo en el Laboratorio de Química orgánica de la Carrera Profesional de Química de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, durante los meses de Abril – Mayo del 2014.

#### 2.2. MATERIALES.

##### 2.2.1. Materia prima.

El material que se va utilizar en la presente investigación es el pijuayo (*Bactris gasipaes*), Cultivado en el fundo “Las Palmeras” de la comunidad de tropezón, en la provincia de Tahuamanu distrito de Iberia Departamento de Madre de Dios. Esta materia prima es obtenida del fruto específicamente del mesocarpo que se le ha acondicionado como harina después de una operación unitaria.

##### 2.2.2. Equipos de laboratorio.

- Estufa T<sup>o</sup> 0-200°C, Marca TOMOS, modelo ODHG-9053A Precisión  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ .
- Estufa Marca MENMERT, modelo UNE -400, Precisión  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ .
- Balanza analítica, marca AND, modelo HR-200, con rango de 0-210g, precisión  $\pm 0.0001\text{g}$ .
- Balanza de precisión, marca GEHAK, rango: 0.2g - de 0 – 6100g  $\pm 0.1\text{g}$
- Cámara digital, marca PANASONIC, modelo LUMIX DMC-SZ1 10x

- Tablet, marca LENOVO, modelo A2107-H

### **2.2.3. Materiales.**

- Placas Petri, marca KIMBLE USA.
- Recipientes de plástico de 1lt, 500ml, 250ml, marca M & R.
- Termómetro de mercurio (rango: 0.100°C)
- Picetas para agua destilada
- Bandejas de malla metálica
- Espátula.
- Campana desecadora.
- Lentes de seguridad.
- Indumentaria (Mascarilla, guantes, lentes, mallas)
- Otros.

### **2.2.4. Reactivos.**

- Cloruro de litio. (LiCl), marca Scharlau Chenie S.A.
- Acetato de Potasio. (KC<sub>2</sub>H<sub>3</sub>O<sub>2</sub>), marca: Productos Químicos. Monterrey, S.A.
- Cloruro de potasio. (KCl), marca Scharlau Chenie S.A.
- Cloruro de sodio. (NaCl), marca Scharlau Chenie S.A.
- Nitrato de sodio. (NaNO<sub>2</sub>), marca HiMedia Laboratories, S.A.
- Nitrato de magnesio. (MgNO<sub>3</sub>), marca Scharlau Chenie S.A.
- Carbonato de potasio. (K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), Ciencia y Técnica S.R.L.
- Cloruro de magnesio. (MgCl<sub>2</sub>), marca Scharlau Chenie S.A.

### **2.2.5. Soluciones químicas de desinfección.**

- Hipoclorito de sodio al 7%
- Alcohol etílico de 96°, Laboratorios LA COPER S.A.C.
- Formol al 40%, Laboratorios LA COPPER S.A.C.

## 2.3. METODOLOGÍA.

### 2.3.1. Caracterización de la materia prima.

El análisis fisicoquímico de las muestras de harina de pijuayo, fue realizado en el Laboratorio de Análisis Químico de la Facultad de Ciencias Químicas, Físicas y Matemáticas de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco - UNSAAC. Los resultados del análisis son mostrados en el cuadro 06.

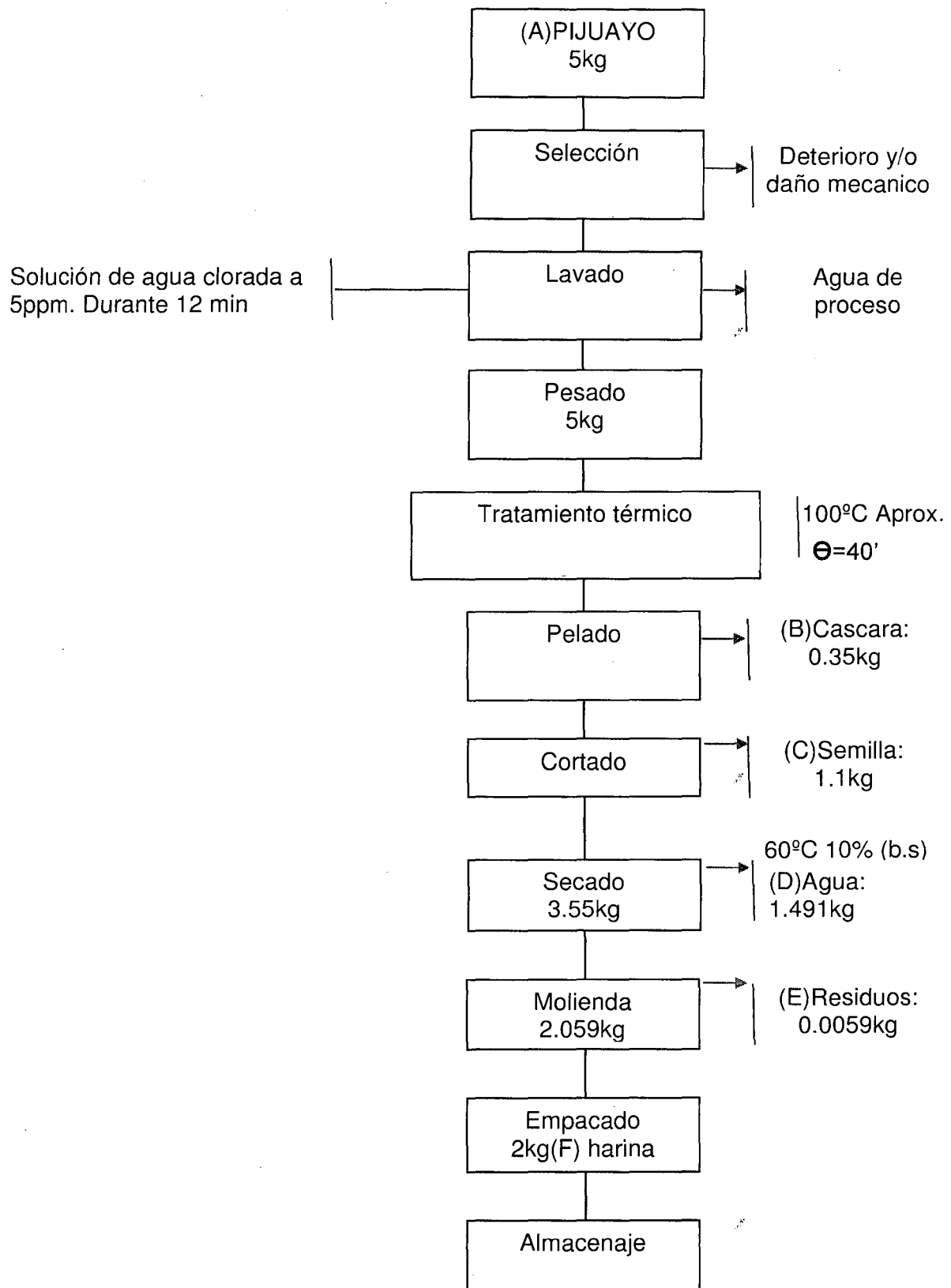
Tipo de análisis fisicoquímicos realizados en la harina de pijuayo y sus respectivas normas de determinación.

**Cuadro 6:** Análisis fisicoquímicos realizados en la harina de pijuayo y sus respectivas normas de determinación.

ANÁLISIS	NORMA
Humedad %	NTP 206.011
Proteína	AOAC 935.39C
Grasa	NTP 206.017
Ceniza	AOAC 935.39B
Fibra	FAO 14/7
Carbohidratos	Diferencia
Energía kcal/100	Calculado
Acidez % (ácido cítrico)	NTP 206.013
Carotenos mg/100	Calculado

**Fuente:** Laboratorio de Análisis Químico de la UNSAAC (2014).

### 2.3.2. Flujograma para la obtención de la harina de Pijuayo.



**Figura 6:** Obtención de harina de pijuayo.

### 2.3.3. Acondicionamiento de las muestras.

La harina de pijuayo se obtuvo en base al diagrama de flujo mostrado en la Figura 6.

Las operaciones más relevantes fueron las siguientes:

Tratamiento térmico a 100 °C por 30, 40 y 50 min, a fin facilitar el pelado, eliminar la presencia de antinutrientes; pelado de manera más rápida. Pelado, se efectuó de manera artesanal utilizando, cuchillos de acero inoxidable, y en forma vertical de arriba hacia abajo; cortado, por la mitad y extracción de la semilla, para luego picarlo en pequeñas rodajas de igual tamaño y espesor en forma horizontal o vertical, cuyas medidas para determinar los parámetros de tiempo, temperatura y espesor fue de 0.2cm, 0.3cm, 0.4 cm; secado, para eliminar agua de la fruta mediante un horno secador de bandeja, marca Electrozone y usando temperaturas 40, 50 y 60°C; molienda, con mallas de 0.5 mm, para molino eléctrico, y para el molino manual; y almacenado en un frasco de vidrio protegido con papel aluminio listo para su utilización en las isotermas de adsorción para determinar la mejor manera de conservar el producto de tal manera que conserven sus características organolépticas (olor, color, sabor).



**Figura 7:** Frasco con la muestra de harina de pijuayo.

**Fuente:** Elaboración propia (2014).



### 2.3.4. ISOTERMAS DE ADSORCIÓN.

La construcción de las isotermas de adsorción, se basó en el método estático gravimétrico o método de control continuo de cambios de peso, descrito por **Jowitt et al. (1983)**, citado por **Gabas (1998)**.

Las humedades relativas fueron obtenidas con soluciones salinas saturadas que cubren un rango de actividad de agua ( $a_w$ ) de 0.11 a 0.85, que pueden ser calculadas a través de las ecuaciones de regresión, determinadas por **Labuza et al. (1985)**, citado por **Pedroso et al., (1997)**. Las sales utilizadas con sus respectivas actividades de agua (humedades relativas) y las ecuaciones de regresión son mostrados en los Cuadros 7 y 8 respectivamente.

**Cuadro 7:** Variación de las humedades relativas de equilibrio (%) en función de las tres temperaturas utilizadas en el experimento.

Nomenclatura	Sal	Humedad relativa		
		20° C	30°C	40° C
Cloruro de Litio	(LiCl)	11.77	11.13	10.54
Acetato de Potasio	(KC <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>2</sub> )	24.92	22.61	20.61
Cloruro de Magnesio	(MgCl <sub>2</sub> )	33.48	32.35	31.31
Carbonato de Potasio	(K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )	44.72	43.99	43.30
Nitrato de Magnesio	(MgNO <sub>3</sub> )	54.73	52.58	50.60
Nitrato de Sodio	(NaNO <sub>2</sub> )	67.58	64.34	61.40
Cloruro de Sodio	(NaCl)	77.21	75.25	73.42
Cloruro de Potasio	(KCl)	87.34	83.79	80.56

**Fuente:** Labuza et al. (1985), citado por Pedroso (1997).

**Cuadro 8.** Sales y ecuaciones utilizadas para obtener la  $a_w$  o humedad relativa (%) a una temperatura ( $^{\circ}\text{K}$ ) determinada.

Nomenclatura	Formula	Ecuación de regresión	R <sup>2</sup>
Cloruro de Litio	(LiCl)	$\ln a_w = (500.95 \ 1/T) - 3.85$	0.976
Acetato de Potasio	(K <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>2</sub> )	$\ln a_w = (861.39 \ 1/T) - 4.33$	0.965
Cloruro de Magnesio	(MgCl <sub>2</sub> )	$\ln a_w = (303.35 \ 1/T) - 2.13$	0.995
Carbonato de Potasio	(K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )	$\ln a_w = (145.00 \ 1/T) - 1.30$	0.967
Nitrato de Magnesio	(MgNO <sub>3</sub> )	$\ln a_w = (356.60 \ 1/T) - 1.82$	0.987
Nitrato de Sodio	(NaNO <sub>2</sub> )	$\ln a_w = (435.96 \ 1/T) - 1.88$	0.974
Cloruro de Sodio	(NaCl)	$\ln a_w = (228.92 \ 1/T) - 1.04$	0.961
Cloruro de Potasio	(KCl)	$\ln a_w = (367.58 \ 1/T) - 1.39$	0.967

Fuente: Labuza et al., (1985), citado por Pedroso (1977).

Las isotermas de adsorción fueron determinadas a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C, con la finalidad de conseguir las humedades de equilibrio de las muestras para cada una de las temperaturas.

Se acondicionaron 08 frascos de vidrio con tapa hermética, en cada uno de los frascos se colocó internamente un pote de plástico (taper) que sirvió de soporte para los recipientes de vidrio (placa petri) donde fueron colocadas las muestras. Primeramente los frascos de vidrio y los potes de plástico fueron limpiados con una solución de formol al 40%, a fin de evitar posibles contaminaciones y el desarrollo de microbiano en las muestras, especialmente el enmohecimiento; así mismo las placas petri fueron limpiadas con alcohol etílico de 96° y posteriormente esterilizadas a 160°C por 3 horas.

Las soluciones salinas saturadas fueron preparadas de acuerdo a las cantidades de sal (g) y agua (ml) recomendados por **Wolf et al. (1985)**, el cual se muestra en el cuadro 09.

**Cuadro 9:** Cantidad de sal y agua recomendadas para la preparación de soluciones salinas saturadas.

Nomenclatura	Sal	Cantidad de preparación	
		Sal (g)	Agua (ml)
Cloruro de Litio	(LiCl)	150	85
Acetato de Potasio	(KC <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>2</sub> )	200	65
Cloruro de Magnesio	(MgCl <sub>2</sub> )	200	25
Carbonato de Potasio	(K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )	200	90
Nitrato de Magnesio	(MgNO <sub>3</sub> )	200	50
Nitrato de Sodio	(NaNO <sub>2</sub> )	200	30
Cloruro de Sodio	(NaCl)	200	60
Cloruro de Potasio	(KCl)	200	80

Fuente: Wolf et al (1985), citado por Pulla (2011).

Posteriormente en cada frasco de vidrio fue colocado un tipo de solución salina saturada, con tres gotas de formol, seguidamente se introdujeron los poteś de plástico que sirvieron para sostener a las placas petri con las muestras. Se pesaron por triplicado muestras de cerca de 2.0000g de harina de pijuayo en las placas petri para luego ser introducidas en los frascos de vidrio los cuales se cerraron herméticamente y se colocaron en una estufa (marca MEMMERT, modelo UNE-400) a las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C respectivamente.

Las muestras fueron pesadas periódicamente cada 24 horas en una balanza analítica (Marca AND, modelo HR-200, de precisión  $\pm 0.0001$  g y Marca OHAUS ADVENTURER, modelo AR 2140, de precisión  $\pm 0.0001$  g) hasta que presenten un peso constante, momento en el cual alcanzan el equilibrio con su ambiente, que se considera cuando la diferencia entre dos pesadas consecutivas fuése igual o inferior a 0.0001g tal como lo recomienda Gabas et al(2009).

### 2.3.5. Determinación de la humedad de equilibrio ( $X_e$ ).

La humedad de equilibrio fue determinada por la diferencia entre la masa de la muestra en equilibrio y su masa seca, tal como lo describe Fiorentin et al. (2010) mediante la siguiente ecuación:

$$X_e = \frac{m_{eq} - m_s}{m_s}$$

**Donde:**

$X_e$  = Humedad de equilibrio (g agua/g m.s.).

$m_{eq}$  = Masa de la muestra en el equilibrio (g).

$m_s$  = Masa de la muestra seca (g).

La masa seca fue determinada en una estufa a 105 °C durante 24 horas (**AOAC, 1990**). Los cálculos de los valores de humedad de equilibrio fueron realizados para cada una de las placas petri, obteniéndose por último la media aritmética de las tres repeticiones para cada solución salina saturada.

**2.3.6. Ajuste matemático de las isotermas de adsorción.**

Los datos experimentales de la humedad de equilibrio fueron ajustados a los modelos matemáticos de BET, GAB, Halsey, Oswin, Chung-Pfost y Henderson (ecuaciones 2, 3, 4, 5, 6 y 7), los cuales son frecuentemente utilizados para la representación de la higroscopicidad de productos agrícolas.

Los modelos matemáticos serán resueltos utilizándose el programa STATISTICA para Windows versión 8.0 y comprobado por el programa Microsoft Excel método solver, a través del análisis de regresión no lineal por el método Quasi-Newton, con un número máximo de 500 iteraciones y un criterio de convergencia de 0.0001. Los ajustes fueron realizados a un nivel de significancia del 5%.

Los criterios utilizados para evaluar la calidad de ajuste de los modelos de isotermas a los datos experimentales fueron, el coeficiente de determinación ( $R^2$ ), el desvío porcentual medio (P) (Ecuación 8), el error estándar de humedad (SEM) (Ecuación 9) y la verificación del comportamiento de la distribución de los residuos.

**2.3.7. Determinación de la monocapa del modelo de GAB.**

La monocapa  $X_m$ , se determinó una vez ajustada la isoterma de GAB (Ecuación 3), para las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C, la determinación fue realizada a través de una regresión no lineal, utilizando el programa estadístico STATISTICA para Windows versión 8.0. y Microsoft Excel método solver para comparar los resultados.

### 2.3.8. Determinación del calor isostérico de adsorción ( $q_{st}$ ).

A partir de las isothermas de adsorción construidas para la harina de pijuayo y ajustadas por el modelo de Halsey, se determinó el calor isostérico de adsorción en función de la humedad de equilibrio ( $X_e$ ) de la harina de pijuayo. La finalidad de este estudio fue analizar los parámetros energéticos en la adsorción de agua por la materia prima, el cual provee una información importante a cerca del mecanismo de adsorción e interacción entre los componentes del producto y el agua. El calor isostérico de adsorción ( $q_{st}$ ) fue calculado a través de la ecuación de Clausius- Clapeyron (Ecuación 10).

Para un intervalo de humedad de equilibrio ( $X_e$ ) de 0.06 a 0.14 g agua/g m.s. fueron calculadas las actividades de agua ( $a_w$ ), utilizando las ecuaciones de regresión de Halsey.

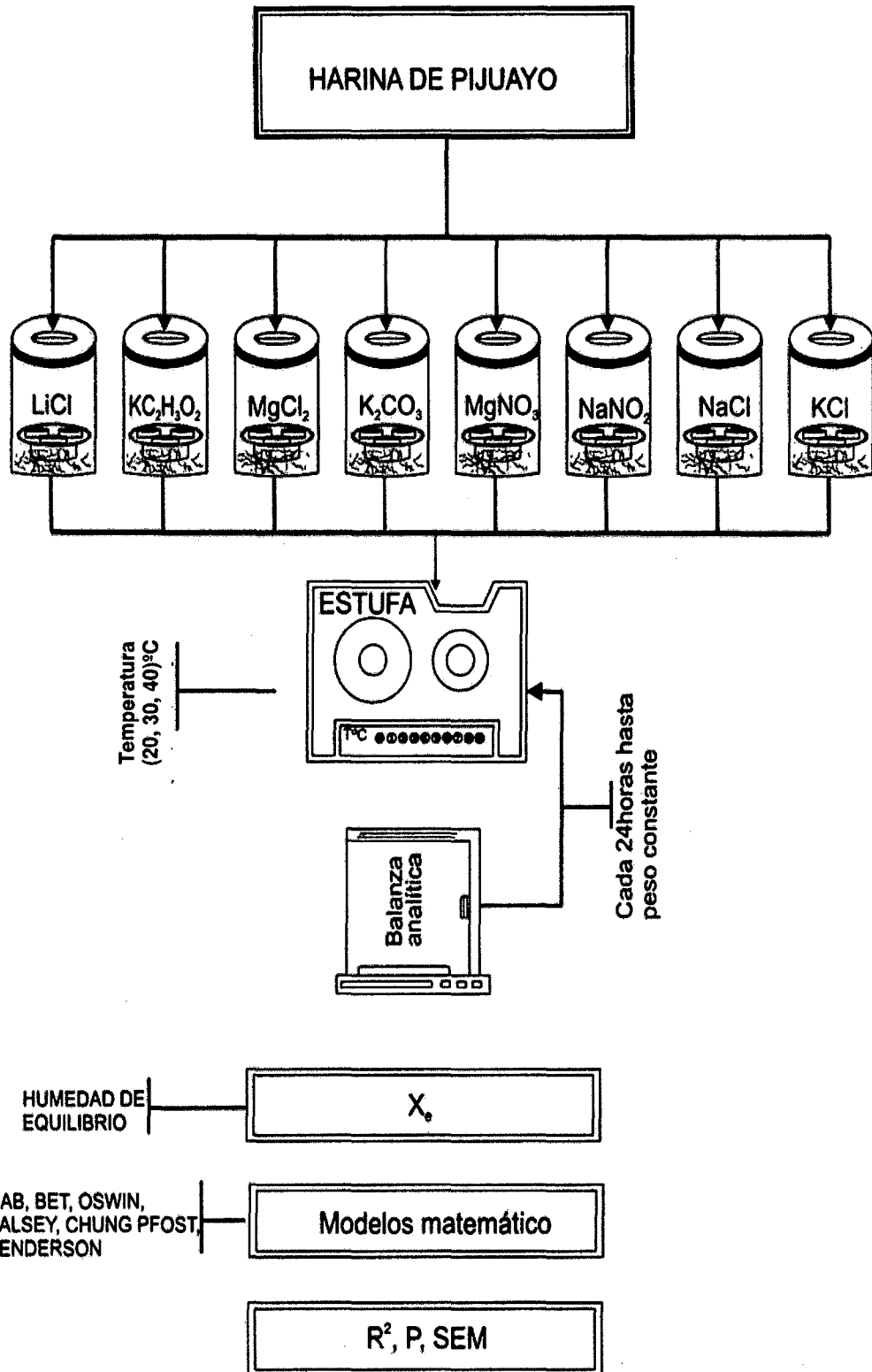
La regresión lineal del logaritmo natural de las actividades de agua  $\ln(a_w)$  versus el inverso de la temperatura en grados Kelvin,  $1/T$ , fue realizada a diferentes humedades donde el valor del  $q_{st}$  correspondió al coeficiente angular de cada recta, multiplicada por la constante universal de los gases  $R$  ( $8.314 \text{ kJ kmol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ). En seguida los datos del  $q_{st}$  y las diferentes  $X_e$  fueron ajustados a la ecuación exponencial de **Tsami et al. (1990)** (ecuación 12), con ayuda del software estadístico STATISTICA para Windows versión 8.0 y el método solver de Microsoft Excel, calculándose los parámetros  $q_0$  y  $X_0$  para la harina de pijuayo.

### 2.3.9. Determinación de la energía de activación ( $E_a$ ).

La energía de activación fue determinada a través de la ecuación de Arrhenius (Ecuación 13), para lo cual se graficó el logaritmo natural de la constante en estudio ( $X_m, C_{GAB} K_{GAB}$ ) versus el inverso de la temperatura en kelvin, es decir  $\ln(D)$  vs  $(1/T)$ , siendo la pendiente  $-E_a/R$ , realizándose posteriormente una correlación de los datos a fin de determinar el valor del coeficiente de determinación ( $R^2$ ).

Los valores de las constantes de GAB, fueron reemplazados en lugar de la constante  $D$  de la ecuación de Arrhenius, es así que el valor de la  $E_a$  tomo diferentes valores cuando fue determinado para cada una de las constantes.

En la Figura 8 se muestra el diagrama de flujo seguido en este trabajo, para la determinación de las isotermas de adsorción en la harina de pijuayo.



**Figura 8.** Diagrama de flujo para la determinación de las isotermas de adsorción harina de pijuayo.

Fuente: Elaboración propia (2014).

## CAPITULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

#### 3.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO.

Los resultados se presentan en el cuadro 10 donde el resultado de la media aritmética corresponde a tres réplicas.

**Cuadro 10:** Composición fisicoquímica de la harina de pijuayo (*Bactris gasipaes*).

ANÁLISIS	SANCOCHADO	HARINA
Humedad (%)	47.71	10,35
Proteína (%)	3.05	4,40
Grasa (%)	3.82	6,01
Ceniza (%)	1.12	1,31
Fibra (%)	5.20	8,46
Carbohidratos (%)	44.30	77,93
Energía kcal/100	202.98	345,40
Acidez % (ácido cítrico)	0.09	0,11
Carotenos mg/100	216.00	378,00
<b>Granulometría:</b>		
Retenido malla 60 ASTM%	-	64.00
Retenido malla 80 ASTM%	-	20.40
Retenido malla 100 ASTM%	-	8.80
Pasa malla 100%	-	6.80

**Fuente:** Laboratorio de Análisis Químico de la UNSAAC (2014).

El cuadro 10 muestra la composición fisicoquímica de la harina de pijuayo en el cual se puede observar que la harina de pijuayo tiene un contenido de humedad 10.35% en base seca sobre 100 gramos de harina, este valor es similar al contenido de humedad de otras harinas (arroz 12%; soya 11%; trigo 15.5%; yuca 13%); y elevados valores de proteína, carbohidratos, carotenos y otros el porcentaje de estos componentes y los obtenidos para grasa, ceniza, fibra y energía (kcal/100). El resultado demuestra mayor cantidad de nutrientes en comparación al mismo fruto sancochado. En cuanto al fruto estos valores son similares al reportado por **Johannessem (1967)**.

**Cuadro 11a.** Caracterización física y composición del fruto de pijuayo (*Bactris gasipaes*).

Caracterización física	
Peso del fruto(g)	84,5
Diametro (cm)	5,0
Altura (cm)	5,5

**Cuadro 11b.** Caracterización física y composición del fruto de pijuayo (*Bactris gasipaes*).

Composición	
Pulpa (mesocarpo) (%)	71
Cascara (exocarpo) (%)	07
Pepa (endocarpo) (%)	22

Los resultados son similares al reportado similares al reportado por **Johannessem (1967)**.

### 3.2. HUMEDAD DE EQUILIBRIO.

La humedad inicial de las muestras de harina de pijuayo fue determinado por el método sugerido por la AOAC, técnica 934.06, presentando un valor de 10.58g agua/100g de muestra seca (m.s.). Los datos experimentales de la humedad de equilibrio ( $X_e$ ) se obtuvieron en función de la actividad de agua ( $a_w$ ) a las temperaturas de estudio de 20°C, 30°C y 40°C, y son mostrados en el cuadro 12. Los valores del peso en el equilibrio ( $X_e$ ) se alcanzaron a los 19, 16 y 14 días para las temperaturas de 20°C, 30°C y 40°C respectivamente.

**Cuadro 12:** Valores de humedad de equilibrio,  $X_e$  (g agua/g m.s.) experimental de las muestras secas de harina de pijuayo en función de la actividad de agua ( $a_w$ ) a las temperaturas de estudio.

SOLUCIÓN SALINA SATURADA	A 20°C		A 30°C		A 40°C	
	$a_w$	$X_e(\text{b.s})^a$	$a_w$	$X_e(\text{b.s})^a$	$a_w$	$X_e(\text{b.s})^a$
(LiCl)	0,1176	0,0604	0,1112	0,0580	0,1055	0,0441
( $\text{KC}_2\text{H}_3\text{O}_2$ )	0,2488	0,0777	0,2258	0,0718	0,2062	0,0645
( $\text{MgCl}_2$ )	0,3346	0,1001	0,3234	0,0904	0,3132	0,0813
( $\text{K}_2\text{CO}_3$ )	0,4471	0,1034	0,4398	0,1001	0,4332	0,0896
( $\text{MgNO}_3$ )	0,5470	0,1172	0,5255	0,1306	0,5061	0,1081
( $\text{NaNO}_2$ )	0,6752	0,1708	0,6429	0,1569	0,6141	0,1432
(NaCl)	0,7718	0,1796	0,7522	0,1579	0,7343	0,1794
(KCl)	0,8728	0,2745	0,8374	0,2060	0,8057	0,2346

a: Promedio de las tres replicas

Fuente: Elaboración propia (2014).



En el cuadro 12 se observa los valores de la humedad de equilibrio  $X_e$  obtenidos experimentalmente en relación con la actividad de agua de las soluciones salinas correspondientes, se puede apreciar dos tendencias de comportamiento de  $X_e$ , primero en las tres temperaturas, para la solución salina LiCl (Cloruro de litio) el valor de  $X_e$ , presenta una tendencia negativa con el incremento de la temperatura, lo que sugiere una desorción, mientras que para las soluciones salinas  $KC_2H_3O_2$  (Acetato de Potasio),  $MgCl_2$ , (Cloruro de Magnesio),  $K_2CO_3$  (Carbonato de Potasio),  $MgNO_3$  (Nitrato de Magnesio),  $NaNO_2$  (Nitrato de Sodio),  $NaCl$  (Cloruro de Sodio),  $KCl$  (Cloruro de Potasio). (siendo  $a_w$  mayor a 0.6) para el mismo intervalo presenta una tendencia aleatoria. **Soleimani, et al. (2006)**, observó que existe una tendencia aleatoria de los datos de  $X_e$  para las isoterms de adsorción de maíz híbrido a las temperaturas de (25, 35)°C, para valores mayores a 0.55 de  $a_w$ .

Según **Rizvi (2005)**, citado por Pulla (2011), la disminución del contenido de humedad de equilibrio con el incremento de la temperatura en los procesos de sorción, está relacionado a los cambios energéticos del sistema, indicando que el aumento de la temperatura, torna termodinámicamente menos estable las moléculas de agua, es decir, aumenta el grado de desorden molecular del agua sorbida en la superficie del sólido, llegando a mayores niveles de energía, favoreciendo de esa manera la ruptura de la ligación intermolecular entre el agua y los sitios de sorción, reduciendo el contenido de agua del producto. A medida que la temperatura varía, la excitación de las moléculas, así como la distancia y por consiguiente, la atracción entre moléculas, también varía. Eso hace que la cantidad de agua sorbida cambie a medida que ocurre una variación en la temperatura a una determinada humedad relativa.

El valor más alto de la humedad de equilibrio que alcanzó la harina de pijuayo fue de 2,7729g a la temperatura de 40°C (ver cuadro 15). **Soleimani et al. (2006)** para el maíz híbrido, encontró a la misma temperatura un valor de  $X_e$  igual a 0.235 de agua/g m.s.

Así mismo se analizó la capacidad de adsorción de humedad de la harina de pijuayo, los resultados se muestran en los cuadros 13, 14, 15, a la humedad relativa de equilibrio (HRE) y a las temperaturas correspondientes.

En el cuadro 13, se puede observar los valores de la humedad de equilibrio (humedad inicial) de cada muestra de harina de pijuayo. Para la solución salina LiCl (Cloruro de

Litio) a la temperatura de 20°C las muestras ceden humedad al medio (valores negativos) cuando llegan al equilibrio de humedad ( $X_e$ ), por lo que sucede una desorción, la muestra que más desorbe está en el día 8 llegando a un peso de 1,9832g con respecto a la muestra inicial de 2,000g. Por otro lado, para el intervalo de las soluciones salinas  $KC_2H_3O_2$  (Acetato de Potasio),  $MgCl_2$ , (Cloruro de Magnesio),  $K_2CO_3$  (Carbonato de Potasio),  $MgNO_3$  (Nitrato de Magnesio),  $NaNO_2$  (Nitrato de Sodio),  $NaCl$  (Cloruro de Sodio),  $KCl$  (Cloruro de Potasio). Las muestras ganan humedad del medio hacia la superficie de la harina de pijuayo, por lo que sucede una adsorción, la mayor adsorción se presenta en la solución salina  $KCl$  (Cloruro de Potasio).

En el cuadro 14, se puede observar los valores de la humedad de equilibrio (humedad inicial) de cada muestra de harina de pijuayo. Para la solución salina  $LiCl$  (Cloruro de Litio) a la temperatura de 30°C las muestras ceden humedad al medio (valores negativos) cuando llegan al equilibrio de humedad ( $X_e$ ), por lo que sucede una desorción, la muestra que más desorbe está en el día 5 llegando a un peso de 1,9889g con respecto a la muestra inicial de 2,000g. Por otro lado, para el intervalo de las soluciones salinas  $KC_2H_3O_2$  (Acetato de Potasio),  $MgCl_2$ , (Cloruro de Magnesio),  $K_2CO_3$  (Carbonato de Potasio),  $MgNO_3$  (Nitrato de Magnesio),  $NaNO_2$  (Nitrato de Sodio),  $NaCl$  (Cloruro de Sodio),  $KCl$  (Cloruro de Potasio). Las muestras ganan humedad del medio hacia la superficie de la harina de pijuayo, por lo que sucede una adsorción, la mayor adsorción se presenta en la solución salina  $NaCl$  (Cloruro de Sodio),  $KCl$  (Cloruro de Potasio).

En el cuadro 15 se puede observar los valores de la humedad de equilibrio (humedad inicial) de cada muestra de harina de pijuayo. Para la solución salina  $LiCl$  (Cloruro de litio) a la temperatura de 40°C las muestras ceden humedad al medio (valores negativos) cuando llegan al equilibrio de humedad ( $X_e$ ), por lo que sucede una desorción, la muestra que más desorbe está en el día 4 llegando a un peso de 1.9835g con respecto a la muestra inicial de 2,0000g. Por otro lado, para el intervalo de las soluciones salinas  $KC_2H_3O_2$  (Acetato de Potasio),  $MgCl_2$ , (Cloruro de Magnesio),  $K_2CO_3$  (Carbonato de Potasio),  $MgNO_3$  (Nitrato de Magnesio),  $NaNO_2$  (Nitrato de Sodio),  $NaCl$  (Cloruro de Sodio),  $KCl$  (Cloruro de Potasio). Las muestras ganan humedad del medio hacia la superficie de la harina de pijuayo, por lo que sucede una adsorción, la mayor adsorción se presenta en la solución salina  $NaCl$  (Cloruro de Sodio),  $KCl$  (Cloruro de Potasio).

Los cuadros 13, 14, 15 son mostrados a continuación:

**Cuadro 13a:** Valores de capacidad de adsorción de humedad de la harina de pijuayo, hasta alcanzar el contenido de humedad de equilibrio  $X_e$  a la temperatura de 20°C.

SAL	MUESTRA INICIAL	TEMPERATURA 20°C					
		DÍA 1 <sup>b</sup>	DÍA 2 <sup>b</sup>	DÍA 3 <sup>b</sup>	DÍA 4 <sup>b</sup>	DÍA 5 <sup>b</sup>	DÍA 6 <sup>b</sup>
<b>LiCl</b>	+0,0003g						
<b>A</b>	2,0000	1,9915	1,9916	1,9905	1,9909	1,9912	1,9906
<b>B</b>	2,0000	1,9835	1,9839	1,9838	1,9842	1,9844	1,9844
<b>C</b>	2,0000	1,9914	1,9920	1,9908	1,9913	1,9931	1,9931
<b>KC<sub>2</sub>H<sub>3</sub>O<sub>2</sub></b>	+0,0003g	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<b>A</b>	2,0000	2,0127	2,0194	2,0182	2,0182	2,0176	2,0174
<b>B</b>	2,0000	2,0106	2,0122	2,0103	2,0109	2,0114	2,0104
<b>C</b>	2,0000	2,0119	2,0178	2,0167	2,0164	2,0167	2,0160
<b>MgCl<sub>2</sub></b>	+0,0003g	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<b>A</b>	2,0000	2,0435	2,0483	2,0492	2,0500	2,0530	2,0522
<b>B</b>	2,0000	2,1633	2,0477	2,0479	2,0492	2,5567	2,0504
<b>C</b>	2,0000	1,9286	2,0554	2,0575	2,0586	1,9361	2,0556
<b>K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></b>	+0,0003g	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<b>A</b>	2,0000	2,0765	2,0791	2,0801	2,0809	2,0806	2,0815
<b>B</b>	2,0000	2,0802	2,0858	2,0867	2,0869	2,0867	2,0873
<b>C</b>	2,0000	2,0696	2,0719	2,0737	2,0733	2,0741	2,0750
<b>MgNO<sub>3</sub></b>	+0,0003g	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<b>A</b>	2,0000	2,0871	2,0908	2,0910	2,0920	2,0925	2,0929
<b>B</b>	2,0000	2,0888	2,0941	2,0940	2,0944	2,0947	2,3422
<b>C</b>	2,0000	1,8324	2,0969	2,0977	2,0991	2,0984	2,7729
<b>NaNO<sub>3</sub></b>	+0,0003g	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<b>A</b>	2,0000	2,1665	2,1780	2,1816	2,1856	2,1865	2,1889
<b>B</b>	2,0000	2,1551	2,1660	2,1685	2,1703	2,1661	2,1686
<b>C</b>	2,0000	2,1700	2,1809	2,1842	2,1873	2,1869	2,1892
<b>NaCl</b>	+0,0003g	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<b>A</b>	2,0000	2,1941	2,2115	2,2135	2,2165	2,2179	2,2195
<b>B</b>	2,0000	2,1922	2,2027	2,2096	2,2086	2,2093	2,2129
<b>C</b>	2,0000	2,2073	2,2158	2,2241	2,2230	2,2232	2,2273
<b>KCl</b>	+0,0003g	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<b>A</b>	2,0000	2,2393	2,2732	2,2958	2,3038	2,3063	2,3072
<b>B</b>	2,0000	2,2355	2,2661	2,2867	2,2953	2,2951	2,2950
<b>C</b>	2,0000	2,2223	2,2465	2,2475	2,2755	2,2737	2,2737

b: pérdida o ganancia de peso en función al peso de la muestra inicial, hasta alcanzar la humedad de equilibrio en base seca (b.s).

Estos datos fueron experimentados en el laboratorio de la Química Orgánica de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco.

**Fuente: Elaboración propia**

**Cuadro 13b:** Valores de capacidad de adsorción de humedad de la harina de pijuayo, hasta alcanzar el contenido de humedad de equilibrio  $X_e$  a la temperatura de 20°C.

TEMPERATURA 20°C							
DÍA 7 <sup>b</sup>	DÍA 8 <sup>b</sup>	DÍA 9 <sup>b</sup>	DÍA 10 <sup>b</sup>	DÍA 11 <sup>b</sup>	DÍA 12 <sup>b</sup>	DÍA 13 <sup>b</sup>	DÍA 14 <sup>b</sup>
1,9917	1,9911	1,9935	1,9935	1,9930	1,9911	1,9919	1,9928
1,9836	1,9832	1,9856	1,9856	1,9856	1,9834	1,9839	1,9860
1,9923	1,9925	1,9943	1,9943	1,9937	1,9931	1,9942	1,9946
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,0187	2,0187	2,0198	2,0198	2,0198	2,0190	2,0197	2,0206
2,0110	2,0120	2,0127	2,0127	2,0124	2,0120	2,0134	2,0134
2,0163	2,0167	2,0169	2,0169	2,0170	2,0170	2,0175	2,0185
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,0524	2,0535	2,0540	2,0540	2,0541	2,0535	2,0539	2,0540
2,0506	2,0491	2,0494	2,0494	2,0492	2,0487	2,0490	2,0500
2,0594	2,0595	2,0595	2,0595	2,0599	2,0601	2,0604	2,0613
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,0820	2,0823	2,0824	2,0824	2,0823	2,0821	2,0822	2,0824
2,0881	2,0885	2,0880	2,0880	2,0887	2,0884	2,0885	2,0889
2,0749	2,0747	2,0753	2,0753	2,0756	2,0753	2,0742	2,0737
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,0923	2,0926	2,0930	2,0930	2,0930	2,0928	2,0934	2,0942
2,0957	2,0963	2,0971	2,0971	2,0961	2,0965	2,0966	2,0971
2,0854	2,0861	2,0865	2,0865	2,0860	2,0865	2,0865	2,0867
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,1893	2,1905	2,1902	2,1902	2,1902	2,1893	2,1900	2,1903
2,1678	2,1688	2,1687	2,1687	2,1687	2,1685	2,1690	2,1697
2,1889	2,1910	2,1899	2,1899	2,1898	2,1896	2,1897	2,1900
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,2196	2,2212	2,2218	2,2218	2,2217	2,2201	2,2201	2,2198
2,2105	2,2121	2,2128	2,2128	2,2119	2,2120	2,2120	2,2101
2,2236	2,2253	2,2260	2,2260	2,2252	2,2259	2,2252	2,2238
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,3074	2,3105	2,3116	2,3116	2,3125	2,3170	2,3170	2,3171
2,2937	2,2950	2,2961	2,2961	2,2967	1,5060	1,5058	1,5032
2,2732	2,2779	2,2785	2,2785	2,2781	2,2827	2,2827	2,2833

b: pérdida o ganancia de peso en función al peso de la muestra inicial, hasta alcanzar la humedad de equilibrio en base seca (b.s).

Estos datos fueron experimentados en el laboratorio de la Química Orgánica de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco.

**Fuente:** Elaboración propia (2014).

**Cuadro 13c:** Valores de capacidad de adsorción de humedad de la harina de pijuayo, hasta alcanzar el contenido de humedad de equilibrio  $X_e$  a la temperatura de 20°C.

TEMPERATURA 20°C				
DÍA 15 <sup>b</sup>	DÍA 16 <sup>b</sup>	DÍA 17 <sup>b</sup>	DÍA 18 <sup>b</sup>	DÍA 19 <sup>b</sup>
1,9931	1,9935	1,9943	1,9954	1,9940
1,9865	1,9865	1,9881	1,9840	1,9851
1,9931	1,9933	1,9949	1,9963	1,9953
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,0206	2,0195	2,0205	2,0209	2,0200
2,0135	2,0132	2,0137	2,0150	2,0563
2,0182	2,0181	2,0178	2,0181	2,0177
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,0536	2,0538	2,0539	2,0550	2,0553
2,0495	2,0498	2,0495	2,0504	2,0505
2,0611	2,0611	2,0614	2,0618	2,0619
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,0820	2,0819	2,0820	2,0821	2,0822
2,0887	2,0889	2,0887	2,0883	2,0886
2,0729	2,0729	2,0728	2,0726	2,0737
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,0928	2,0938	2,0936	2,0927	2,0933
1,9915	1,9917	1,9918	1,9906	1,9913
2,1907	2,1909	2,1913	2,1911	2,1911
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,1898	2,1899	2,1887	2,1881	2,1913
2,1686	2,1678	2,1682	2,1683	2,1691
2,1894	2,1893	2,1888	2,1884	2,1839
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,2199	2,2185	2,2193	2,2184	2,2209
2,2112	2,2097	2,2098	2,2095	2,2127
2,2245	2,2227	2,2229	2,2241	2,2263
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,3170	2,3170	2,3170	2,3169	2,3169
1,5031	1,5015	1,4972	1,5001	1,5001
2,2804	2,2784	2,2748	2,2749	2,2749

b: pérdida o ganancia de peso en función al peso de la muestra inicial, hasta alcanzar la humedad de equilibrio en base seca (b.s).

Estos datos fueron experimentados en el laboratorio de la Química Orgánica de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco.

**Fuente:** Elaboración propia (2014).

**Cuadro 14a:** Valores de capacidad de adsorción de humedad de la harina de pijuayo, hasta alcanzar el contenido de humedad de equilibrio  $X_e$  a la temperatura de 30°C.

SAL	MUESTRA INICIAL	TEMPERATURA 30°C				
		DÍA 1 <sup>b</sup>	DÍA 2 <sup>b</sup>	DÍA 3 <sup>b</sup>	DÍA 4 <sup>b</sup>	DÍA 5 <sup>b</sup>
<b>LiCl</b>	+ -0,0003g					
<b>A</b>	2,0000	1,9959	1,9957	1,9950	1,9953	1,9956
<b>B</b>	2,0000	1,9910	1,9913	1,9904	1,9901	1,9898
<b>C</b>	2,0000	1,9897	1,9894	1,9900	1,9895	1,9889
<b>KC<sub>2</sub>H<sub>3</sub>O<sub>2</sub></b>	+ -0,0003g	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<b>A</b>	2,0000	2,0088	2,0104	2,0116	2,0132	2,0147
<b>B</b>	2,0000	2,0068	2,0084	2,0089	2,0103	2,0117
<b>C</b>	2,0000	2,0092	2,0103	2,0110	2,0121	2,0132
<b>MgCl<sub>2</sub></b>	+ -0,0003g	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<b>A</b>	2,0000	2,0281	2,0307	2,0369	2,0371	2,0372
<b>B</b>	2,0000	2,0303	2,0347	2,0370	2,0376	2,0381
<b>C</b>	2,0000	2,0287	2,0326	2,0365	2,0369	2,0372
<b>K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></b>	+ -0,0003g	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<b>A</b>	2,0000	2,0470	2,0590	2,0647	2,0660	2,0673
<b>B</b>	2,0000	2,0566	2,0622	2,0664	2,0678	2,0692
<b>C</b>	2,0000	2,0575	2,0627	2,0646	2,0658	2,0670
<b>MgNO<sub>3</sub></b>	+ -0,0003g	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<b>A</b>	2,0000	2,0882	2,1091	2,1304	2,1244	2,1184
<b>B</b>	2,0000	2,0848	2,1071	2,1085	2,1094	2,1102
<b>C</b>	2,0000	2,1039	2,1462	2,1251	2,1239	2,1226
<b>NaNO<sub>3</sub></b>	+ -0,0003g	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<b>A</b>	2,0000	2,1187	2,1511	2,1670	2,1699	2,1727
<b>B</b>	2,0000	2,1533	2,1674	2,1752	2,1767	2,1782
<b>C</b>	2,0000	2,1537	2,1683	2,1754	2,1780	2,1806
<b>NaCl</b>	+ -0,0003g	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<b>A</b>	2,0000	2,1374	2,1679	2,1777	2,1784	2,1791
<b>B</b>	2,0000	2,1415	2,1679	2,1748	2,1759	2,1770
<b>C</b>	2,0000	2,1405	2,1602	2,1707	2,1723	2,1739
<b>KCl</b>	+ -0,0003g	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<b>A</b>	2,0000	2,1803	2,2249	2,1919	2,1933	2,1947
<b>B</b>	2,0000	2,1866	2,2275	2,2428	2,2495	2,2562
<b>C</b>	2,0000	2,1845	2,2072	2,2205	2,2363	2,2521

b: pérdida o ganancia de peso en función al peso de la muestra inicial, hasta alcanzar la humedad de equilibrio en base seca (b.s).

Fuente: Elaboración propia (2014).

**Cuadro 14b:** Valores de capacidad de adsorción de humedad de la harina de pijuayo, hasta alcanzar el contenido de humedad de equilibrio  $X_e$  a la temperatura de 30°C.

TEMPERATURA 30°C							
DÍA 6 <sup>b</sup>	DÍA 7 <sup>b</sup>	DÍA 8 <sup>b</sup>	DÍA 9 <sup>b</sup>	DÍA 10 <sup>b</sup>	DÍA 11 <sup>b</sup>	DÍA 12 <sup>b</sup>	DÍA 13 <sup>b</sup>
1,9955	1,9930	1,9926	1,9911	1,9930	1,9930	1,9930	1,9946
1,9902	1,9918	1,9915	1,9890	1,9913	1,9915	1,9916	1,9919
1,9897	1,9902	1,9896	0,4276	1,9901	1,9905	1,9908	1,9907
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,0151	2,0155	2,0153	2,0151	2,0157	2,0160	2,0162	2,0158
2,0119	2,0130	2,0126	2,0122	2,0132	2,0132	2,0131	2,0132
2,0134	2,0137	2,0140	2,0143	2,0133	2,0139	2,0145	2,0148
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,0384	2,0390	2,0393	2,0395	2,0404	2,0405	2,0406	2,0408
2,0380	2,0385	2,0391	2,0396	2,0397	2,0399	2,0401	2,0400
2,0384	2,0393	2,0394	2,0395	2,0391	2,0397	2,0403	2,0402
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,0679	2,0694	2,0694	2,0694	2,0701	2,0700	2,0699	2,0703
2,0692	2,0701	2,0705	2,0708	2,0710	2,0710	2,0709	2,0714
2,0670	2,0680	2,0683	2,0685	2,0690	2,0692	2,0693	2,0695
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,1142	2,1159	2,1142	2,1124	2,1123	2,1137	2,1150	2,1126
2,1090	2,1105	2,1100	2,1094	2,1096	2,1101	2,1106	2,1107
2,1217	2,1182	2,1168	2,1154	2,1133	2,1125	2,1116	2,1103
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,1746	2,1748	2,1750	2,1751	2,1752	2,1755	2,1758	2,1774
2,1782	2,1782	2,1781	2,1779	2,1756	2,1775	2,1793	2,1769
2,1806	2,1805	2,1796	2,1787	2,1785	2,1795	2,1804	2,1806
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,1792	2,1808	2,1808	2,1807	2,1818	2,1818	2,1818	2,1810
2,1774	2,1796	2,1793	2,1790	2,1797	2,1803	2,1809	2,1800
2,1760	2,1767	2,1776	2,1785	2,1783	2,1777	2,1771	2,1774
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,2014	2,2013	2,2027	2,2041	2,2061	2,2067	2,2073	2,2043
2,2550	2,2603	2,2597	2,2591	2,2623	2,2639	2,2654	2,2605
2,2565	2,2575	2,2594	2,2612	2,2622	2,2624	2,2625	2,2624

b: pérdida o ganancia de peso en función al peso de la muestra inicial, hasta alcanzar la humedad de equilibrio en base seca (b.s).

Fuente: Elaboración propia (2014).

**Cuadro 14c:** Valores de capacidad de adsorción de humedad de la harina de pijuayo, hasta alcanzar el contenido de humedad de equilibrio  $X_e$  a la temperatura de 30°C.

TEMPERATURA 30°C		
DÍA 14 <sup>b</sup>	DÍA 15 <sup>b</sup>	DÍA 16 <sup>b</sup>
1,9947	1,9955	1,9962
1,9913	1,9915	1,9916
1,9907	1,9909	1,9911
0,0000	0,0000	0,0000
2,0163	2,0164	2,0165
2,0140	2,0142	2,0144
2,0150	2,0149	2,0148
0,0000	0,0000	0,0000
2,0410	2,0411	2,0411
2,0398	2,0398	2,0398
2,0405	2,0405	2,0406
0,0000	0,0000	0,0000
2,0701	2,0703	2,0705
2,0715	2,0715	2,0715
2,0696	2,0698	2,0700
0,0000	0,0000	0,0000
2,1114	2,1103	2,1091
2,1088	2,1077	2,1065
2,1121	2,1119	2,1117
0,0000	0,0000	0,0000
2,1765	2,1769	2,1773
2,1778	2,1782	2,1785
2,1796	2,1802	2,1807
0,0000	0,0000	0,0000
2,1807	2,1805	2,1803
2,1806	2,1801	2,1796
2,1790	2,1790	2,1789
0,0000	0,0000	0,0000
2,2114	2,2100	2,2085
2,2641	2,2651	2,2661
2,6990	2,2692	2,2677

b: pérdida o ganancia de peso en función al peso de la muestra inicial, hasta alcanzar la humedad de equilibrio en base seca (b.s).

**Fuente:** Elaboración propia (2014).



**Cuadro 15a:** Valores de capacidad de adsorción de humedad de la harina de pijuayo, hasta alcanzar el contenido de humedad de equilibrio  $X_e$  a la temperatura de 40°C.

SAL	MUESTRA INICIAL	TEMPERATURA DE 40°C						
		DÍA 1 <sup>b</sup>	DÍA 2 <sup>b</sup>	DÍA 3 <sup>b</sup>	DÍA 4 <sup>b</sup>	DÍA 5 <sup>b</sup>	DÍA 6 <sup>b</sup>	DÍA 7 <sup>b</sup>
<b>LiCl</b>	+0,0003g							
<b>A</b>	2,0000	1,9858	1,9922	1,9929	1,9887	1,9894	1,9888	1,9911
<b>B</b>	2,0000	1,9858	1,9875	1,9901	1,9851	1,9863	1,9857	1,9857
<b>C</b>	2,0000	1,9875	1,9884	1,9891	1,9835	1,9856	1,9837	1,9850
<b>KC<sub>2</sub>H<sub>3</sub>O<sub>2</sub></b>	+0,0003g	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<b>A</b>	2,0000	2,0119	2,0098	2,0173	2,0099	2,0104	2,0100	2,0130
<b>B</b>	2,0000	2,0093	2,0118	2,0125	2,0118	2,0126	2,0115	2,0123
<b>C</b>	2,0000	2,0126	2,0158	2,0140	2,0158	2,0162	2,0156	2,0153
<b>MgCl<sub>2</sub></b>	+0,0003g	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<b>A</b>	2,0000	2,0378	2,0423	2,0897	2,0430	2,0426	2,0451	2,0427
<b>B</b>	2,0000	2,0436	2,0449	2,0432	2,0458	2,0467	2,0459	2,0463
<b>C</b>	2,0000	2,0371	2,0413	2,0375	2,0433	2,0430	2,0437	2,0420
<b>K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></b>	+0,0003g	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<b>A</b>	2,0000	2,0742	2,0729	2,0721	2,0727	2,0751	2,0745	2,0767
<b>B</b>	2,0000	2,0623	2,0649	2,0646	2,0652	2,0654	2,0649	2,0655
<b>C</b>	2,0000	2,0601	2,0580	2,0603	2,0589	2,0590	2,0599	2,0607
<b>MgNO<sub>3</sub></b>	+0,0003g	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<b>A</b>	2,0000	2,1040	2,0932	2,1149	2,1004	2,0943	2,0905	2,0866
<b>B</b>	2,0000	2,1864	2,1849	2,1860	2,1883	2,1853	2,1846	2,1851
<b>C</b>	2,0000	2,0966	2,0903	2,0947	1,0928	2,0896	2,0390	2,0885
<b>NaNO<sub>3</sub></b>	+0,0003g	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<b>A</b>	2,0000	2,1393	2,1513	2,1395	2,1484	2,1535	2,1522	2,1519
<b>B</b>	2,0000	2,0802	2,1597	2,1526	2,1562	2,1566	2,1622	2,1642
<b>C</b>	2,0000	2,0563	2,1830	2,1756	2,1786	2,1824	2,1865	2,1874
<b>NaCl</b>	+0,0003g	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<b>A</b>	2,0000	2,1619	2,1776	2,1767	2,1733	2,1832	2,1778	2,1767
<b>B</b>	2,0000	2,1778	2,1879	2,1861	2,1819	2,1989	2,1922	2,1946
<b>C</b>	2,0000	2,2473	2,2510	2,2453	2,2399	2,2708	2,2663	2,2671
<b>KCl</b>	+0,0003g	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<b>A</b>	2,0000	2,2740	2,2858	2,2703	2,2944	2,2861	2,3282	2,2911
<b>B</b>	2,0000	2,2826	2,3383	2,3265	2,3113	2,3171	2,3081	2,3216
<b>C</b>	2,0000	1,9612	2,0134	2,0080	2,0148	2,0161	2,0427	2,0203

b: pérdida o ganancia de peso en función al peso de la muestra inicial, hasta alcanzar la humedad de equilibrio en base seca (b.s).

Fuente: Elaboración propia (2014).

**Cuadro 15b:** Valores de capacidad de adsorción de humedad de la harina de pijuayo, hasta alcanzar el contenido de humedad de equilibrio  $X_e$  a la temperatura de 40°C.

TEMPERATURA DE 40°C						
DÍA 8 <sup>b</sup>	DÍA 9 <sup>b</sup>	DÍA 10 <sup>b</sup>	DIA11 <sup>b</sup>	DIA12 <sup>b</sup>	DIA13 <sup>b</sup>	DIA14 <sup>b</sup>
1,9930	1,9905	1,9911	1,9923	1,9934	1,9934	1,9927
1,9876	1,9857	1,9860	1,9873	1,9875	1,9871	1,9860
1,9846	1,9847	1,9852	1,9868	1,9861	1,9889	1,9881
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,0130	2,0102	2,0125	2,0117	2,0130	2,0113	2,0116
2,0111	2,0114	2,0121	2,0125	2,0127	2,0122	2,0122
2,0143	2,0162	2,0187	2,0179	2,0173	2,0167	2,0172
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,0427	2,0430	2,0433	2,0435	2,0435	2,0436	2,0442
2,0459	2,0456	2,0474	2,0476	2,0496	2,0477	2,0490
2,0426	2,0432	2,0427	2,0439	2,0444	2,0442	2,0451
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,0753	2,0733	2,0755	2,0754	2,0729	2,0736	2,0750
2,0636	2,0649	2,0658	2,0655	2,0654	2,0652	2,0665
2,0603	2,0583	2,0592	2,0600	2,0588	2,0587	2,0606
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,0827	2,0856	2,0811	2,0819	2,0834	2,0785	2,0741
2,1846	2,1874	2,1848	2,1833	1,7846	1,7821	1,7822
2,0863	2,0902	2,0878	2,0884	2,0887	2,0869	2,0862
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,1481	2,1501	2,1555	2,1596	2,1535	2,1485	2,1485
2,1594	2,1614	2,1569	2,1609	2,1548	2,1537	2,1557
2,1829	2,1873	2,1851	2,1882	2,1903	2,1757	2,1794
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,1782	2,1787	2,1863	2,1917	2,1917	2,1936	2,1749
2,1922	2,1850	<b>2,7729</b>	2,2046	2,2062	2,2013	2,1837
2,2693	2,2464	2,2583	2,2598	2,2571	2,2571	2,2459
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1,2891	2,3033	2,3162	2,3045	2,3025	2,2915	2,2851
2,3175	2,3006	2,3076	2,3001	2,3041	2,3426	2,3424
2,0134	2,0153	2,0270	2,0163	2,0087	2,0213	2,0054

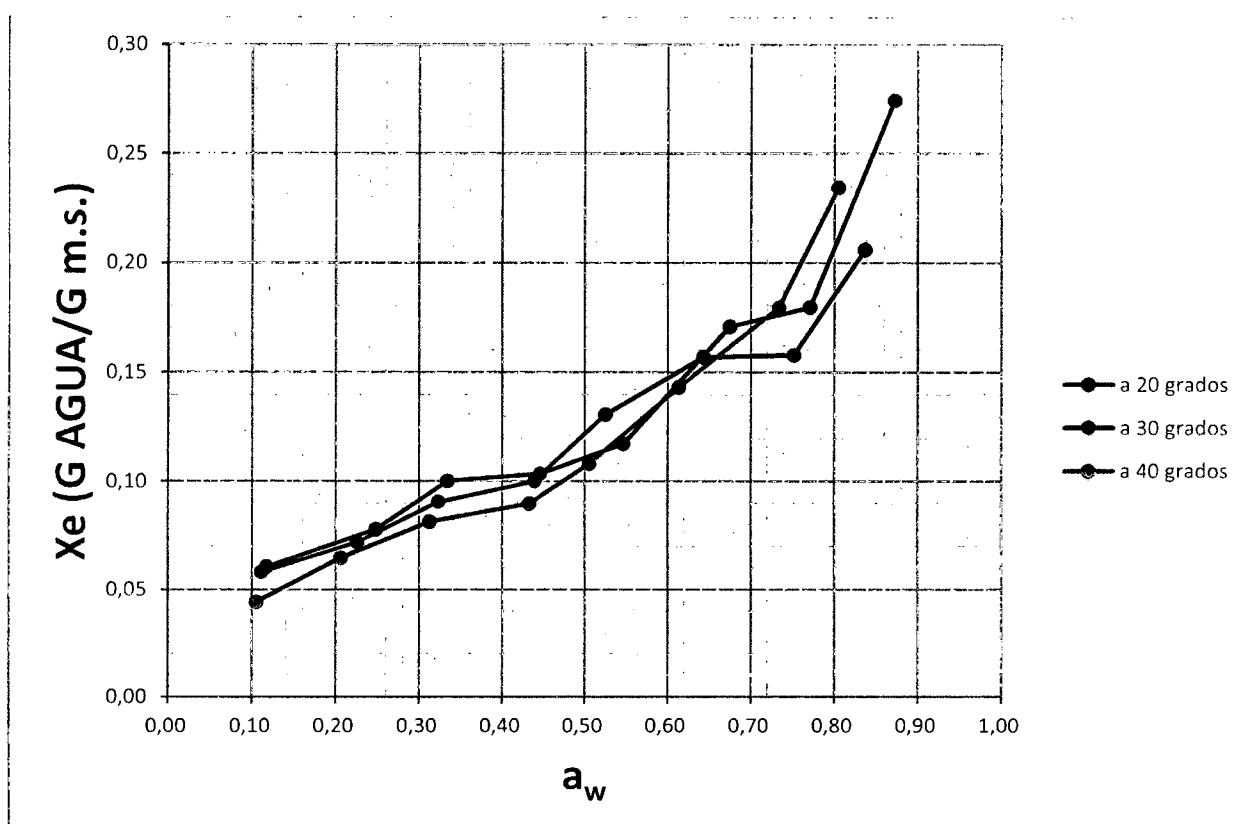
b: pérdida o ganancia de peso en función al peso de la muestra inicial, hasta alcanzar la humedad de equilibrio en base seca (b.s).

**Fuente:** Elaboración propia (2014).

### 3.3. ISOTERMAS DE ADSORCIÓN.

La representación gráfica de los datos experimentales de la humedad de equilibrio ( $X_e$ ) en función de la actividad de agua ( $a_w$ ) de la harina de pijuayo para las tres temperaturas de estudio (cuadro 12), puede ser apreciado en la Figura 9; en esta figura se observa que todas las isothermas presentaron un comportamiento usual en los cereales y frutas secas (*Heldman y Lund, 2007*).

El tipo III de isothermas es típica de alimentos con alto contenido de carbohidratos y sales (*Alakali et al., 2009*). Dicho enunciado se corrobora ya que el constituyente mayoritario de la harina de pijuayo son los carbohidratos 77,93% (cuadro 10).



**Figura 9:** Isothermas de adsorción de la harina de pijuayo (*Bactris gasipaes*.) a las temperaturas de estudio.

Fuente: Elaboración propia (2014).

En la figura 9, se puede apreciar que existe un entrecruzamiento de las isothermas aproximadamente desde una  $a_w$  del 45%, y que por debajo de esta  $a_w$  la humedad tiene dependencia con la temperatura, es decir disminuye con el incremento de la temperatura, lo cual es un comportamiento usual en los cereales y frutas secas (*Heldman y Lund, 2007*). Pues a partir de este valor  $a_w$  de 0,45, 0,50, 0,60 el comportamiento no depende de la temperatura pues un pequeño incremento en la humedad relativa del ambiente

produce un incremento en la humedad de equilibrio de la harina de pijuayo, alterando la calidad del producto en los posibles locales de almacenamiento cuando la humedad relativa es mayor a 0.50 – 60 aproximadamente. De tal manera que se tendría mayor cuidado en el almacenamiento cuando es mayor a ésta humedad mencionada.

**Gabas (1998)**, explica esta intersección de las isothermas, no solo por la cantidad de azúcar presente, sino también a la proporción de cada tipo de azúcar en el alimento. **Shafiur (2003)**, manifiesta que el entrecruzamiento se debe a que en algunos alimentos una parte del soluto (sales y/o azúcar), está ligada a un polímero (almidón y proteína) y la otra parte cristalina o amorfa.

**Shafiur y Labuza (2003)**, afirman que el entrecruzamiento de las isothermas es debido al aumento de la solubilidad de los azúcares simples en el agua, y esta depende de la composición y de la solubilidad de los azúcares, siendo que cuanto menor es el contenido de azúcar la intersección sucede a mayor HRE, mientras que en alimentos con alto amiláceo y proteico esta se ve disminuida y en muchos casos no sucede.

**Vega et al. (2006)** considera que el entrecruzamiento de las curva se debe a un aumento de la actividad enzimática y del movimiento entre moléculas de agua, carbohidratos y proteínas.

El comportamiento de las isothermas a 20°C, 30°C, 40°C, para el intervalo de 0.20 a 0.45 es similar en cuanto a la tendencia para adsorber humedad. De acuerdo al cuadro 12, se considera que la humedad del ambiente de la harina de pijuayo para su almacenamiento debe ser aproximadamente menor a 0.60 o HRE menor a 60%, en el rango de la temperatura de 20°C a 40°C.

### **3.4. AJUSTE DE LAS ISOTHERMAS DE ADSORCIÓN.**

Para predecir el comportamiento de adsorción de humedad en la harina de pijuayo (Cuadro 12), seis modelos ampliamente utilizados en isothermas de alimentos (BET, GAB, Halsey, Oswin, Halsey, Chung-Pfost y Henderson, ecuaciones 2, 3, 4, 5, 6 y 7 respectivamente) fueron ajustados a los datos experimentales de humedad de equilibrio

( $X_e$ ) en función de la actividad de agua ( $a_w$ ).

**Cuadro 16:** Parámetros de ajuste de las isotermas de adsorción de la harina de pijuayo para los diferentes modelos matemáticos con sus respectivos coeficientes de determinación  $R^2$  desvío porcentual medio (P), error estándar de humedad (SEM) y distribución de los residuos, a la temperatura de 20°C.

MODELO	PARAMETROS <sup>a</sup>	$R^2$	P (%)	SEM	DISTRIBUCIÓN DE LOS RESIDUOS <sup>e</sup>
BET <sup>b</sup>	$X_m$ 0,06224	88,22	2,2443	0,0051	TENDENCIOSO
	$C_{BET}$ 54,07430				
GAB	$X_m$ 0,06583	97,93	6,451408	0,0136735	ALEATORIO
	$C_{GAB}$ 55,21752				
	$K_{GAB}$ 0,86730				
HALSEY	A 0,013140	97,93	5,468555	0,009992	ALEATORIO
	B 1,836547				
OSWIN	A 0,119256	97,48	7,751009	0,0119825	LIGERAMENTE ALEATORIO
	B 0,413778				
CHUNG- PFOST <sup>c</sup>	A 9199,627	95,29	9,9889	0,0178	TENDENCIOSO
	B 14,180				
HENDERSON <sup>d</sup>	k -2,32113	91,59	8,597306	0,0100774	TENDENCIOSO
	n 1,98320				

a: Los ajustes fueron estimados a un nivel de significancia del 5%.

b: El rango de  $a_w$  para el modelo de BET fue de 0,11 – 0,45.

c: El rango de  $a_w$  para el modelo de CHUNG PFOST fue de 0,2 – 0,9.

d: El rango de  $a_w$  para el modelo de HENDERSON fue de 0,10 – 0,65.

e: la evaluación de los residuos se realizó a partir de las gráficas de los datos estimados vs los valores residuales (anexo 5).

**Fuente:** Elaboración propia (2014).

**Cuadro 17:** Parámetros de ajuste de las isothermas de adsorción de la harina de pijuayo para los diferentes modelos matemáticos con sus respectivos coeficientes de determinación  $R^2$  desvío porcentual medio (P), error estándar de humedad (SEM) y distribución de los residuos, a la temperatura de 30°C.

MODELO	PARAMETROS <sup>a</sup>	$R^2$	P(%)	SEM	DISTRIBUCIÓN DE LOS RESIDUOS <sup>e</sup>	
BET <sup>b</sup>	$X_m$	0,05941	95,59	3,071686	0,0027948	TENDENCIOSO
	$C_{BET}$	58,41087				
	$X_m$	0,08335				
GAB	$C_{GAB}$	17,26301	96,84	5,946796	0,0105738	ALEATORIO
	$K_{GAB}$	0,71816				
HALSEY	A	0,005600	97,00	0,000292	0,000292	ALEATORIO
	B	2,208303				
OSWIN	A	0,116991	96,95	5,129905	5,129905	LIGERAMENTE ALEATORIO
	B	0,340746				
CHUNG- PFOST <sup>c</sup>	A	9163,954	96,80	4,986047	4,986047	TENDENCIOSO
	B	12,663				
HENDERSON <sup>d</sup>	k	-2,17773	96,04	6,089886	6,089886	TENDENCIOSO
	n	1,79291				

a: Los ajustes fueron estimados a un nivel de significancia del 5%.

b: El rango de  $a_w$  para el modelo de BET fue de 0,11 – 0,45.

c: El rango de  $a_w$  para el modelo de CHUNG PFOST fue de 0,2 – 0,9.

d: El rango de  $a_w$  para el modelo de HENDERSON fue de 0,10 – 0,65.

e: la evaluación de los residuos se realizó a partir de las gráficas de los datos estimados vs los valores residuales (anexo 6).

**Fuente:** elaboración propia (2014).

**Cuadro 18:** Parámetros de ajuste de las isothermas de adsorción de la harina de pijuayo para los diferentes modelos matemáticos con sus respectivos coeficientes de determinación  $R^2$  desvío porcentual medio (P), error estándar de humedad (SEM) y distribución de los residuos, a la temperatura de 40°C.

MODELO	PARAMETROS <sup>a</sup>	$R^2$	P(%)	SEM	DISTRIBUCIÓN DE LOS RESIDUOS <sup>e</sup>
BET <sup>b</sup>	$X_m$ 0,0564	93,87	5,920699	0,0035184	TENDENCIOSO
	$C_{BET}$ 24,9452				
GAB	$X_m$ 0,06224	99,51	3,594486	0,0053038	ALEATORIO
	$C_{GAB}$ 18,90456				
HALSEY	$K_{GAB}$ 0,91529	99,03	4,471492	0,0051617	ALEATORIO
	A 0,025965				
OSWIN	B 1,476869	98,93	6,459565	0,0071533	LIGERAMENTE ALEATORIO
	A 0,112454				
CHUNG-PFOST <sup>c</sup>	B 0,496174	96,04	10,251016	0,0140128	TENDENCIOSO
	A 6959,940				
HENDERSON <sup>d</sup>	k -2,03861	95,69	7,218620	0,0071593	TENDENCIOSO
	n 1,78892				

a: Los ajustes fueron estimados a un nivel de significancia del 5%.

b: El rango de  $a_w$  para el modelo de BET fue de 0,11 – 0,45.

c: El rango de  $a_w$  para el modelo de CHUNG PFOST fue de 0,2 – 0,9.

d: El rango de  $a_w$  para el modelo de HENDERSON fue de 0,10 – 0,65.

e: la evaluación de los residuos se realizó a partir de las gráficas de los datos estimados vs los valores residuales (anexo 7).

Fuente: Elaboración propia (2014).

El análisis de los parámetros que se encuentra en los cuadros (16, 17, 18), indica que los modelos que mejor se ajustan a los datos experimentales son las isothermas de **GAB** y **HALSEY**, los cuales presentan un coeficiente de determinación  $R^2$  mayor a 96.84% y 96.80% respectivamente, **P** (desvío porcentual medio) menores a 6,4514% y 5,4685% respectivamente y **SEM** (error estándar medio) menores a 0,0105738 y 0,009992 respectivamente, a temperaturas de 20°C, 30°C, 40°C respectivamente; asimismo las isothermas de **GAB y HALSEY** muestran una distribución aleatoria de los residuales para las tres temperaturas (anexo 5,6,7). Significando que los modelos modelan acogiendo de manera independiente o en conjunto a todos los datos del experimento tanto en su humedad de equilibrio en función de sus actividades de agua en las temperaturas de estudio. Lo cual no es lo mismo en los demás modelos presentando residuales ligeramente aleatorio (Oswin), tendencioso (BET, Chung-Pfost, Henderson) (anexo 5,6,7).

Resultados similares al reportado en este trabajo fueron observados por Gabas (1998), quien al estudiar las isothermas de sorción de la pulpa y cascara de uva Italia, concluyó que los modelos que mejor ajustaron los datos experimentales fueron el de GAB y Halsey. Así mismo indicó que no hubo diferencia en cuanto a los valores calculados por ambos modelos. **Ccalli (2003)** en su investigación sobre el secado de higos (*Ficus carica L.*), también menciona que el modelo de GAB presentó el mejor ajuste para los datos experimentales de las isothermas de adsorción de higo seco. **Resende (2006)**, basándose en parámetros estadísticos recomendó el modelo de Halsey para la predicción de las isothermas de sorción de los granos de frejol (***Phaseolus vulgaris L.***), evaluadas en rango de temperaturas de 25°C a 45°C. Así también **Sousa (2008)** al estudiar las isothermas de higo (*Ficus carica L.*) in natura y deshidratado osmóticamente, indico que los modelos de **GAB y Halsey** son los que mejor ajustaron los datos experimentales, con valores de  $R^2$  superiores al 97%. Del mismo modo. **Vega et al., (2006)** y **Choque (2009)** citado por **Pulla (2011)**, concluyeron que los modelos de GAB y Halsey modelaron correctamente los datos experimentales de adsorción en la harina de maíz (***Zea mays L.***) y en el maíz morado (*Zea mays L*) variedad "Canteño" respectivamente.

Las figuras 10 y 11 se observa el ajuste de los datos experimentales de la harina de pijuayo a las diferentes temperaturas de evaluación mediante los modelos de GAB y Halsey. Así también las figuras 15, 16, 17. muestran las coincidencias de ambos modelos en cuanto al ajuste de los datos experimentales en este trabajo, siendo ambos modelos ampliamente utilizados para describir el comportamiento de sorción de cereales como el



maíz, trigo, arroz, ajonjolí y frutas secas (*Choque 2009*). Por otra parte, el ajuste con todos los modelos de isotermas de este trabajo es mostrado en las figuras 12, 13, 14

La monocapa  $X_m$  del modelo de GAB, disminuye de 0,06583g a 0,06224g agua/g m.s. para las temperaturas de 20°, 30° y 40°C respectivamente. *Iglesias y Cherife, (1976a)*, hallaron que los valores de la monocapa decrecían significativamente al aumentar la temperatura después de estudiar 100 alimentos y componentes de alimentos, aunque no manifiestan que exista una relación lineal de  $X_m$  con la temperatura. Este hecho se puede deber a la energía cinética asociada a las moléculas de agua, que aumentan cuando la temperatura aumenta, asimismo a la termodinámica de las moléculas, en la que las temperaturas más altas aumentan la tendencia de escape o fuga de las moléculas de vapor (incremento de la energía de las moléculas).

El valor de  $X_m$  se refiere a la cantidad de agua fuertemente adsorbida a grupos polares específicos. (*Shafiur, 2003*).

Durante el primer nivel de adsorción (monocapa) de agua, a bajas  $a_w$ , el agua forma una monocapa que se fija sobre grupos de alta energía de enlace (del tipo  $-CO$ ,  $COO^-$  y  $-NH_3^+$ ) de los constituyentes hidrolíticos (almidones, proteínas y pentosas) de los cereales, mediante atracciones electrostáticas, enlaces dipolares y enlaces de hidrogeno (*Prieto. et al. 2006*), dependiendo de la presencia de poros o capilares en la superficie del adsorbente (*Hermida, 2000*). Este hecho se manifiesta en la región A, como se muestra en la figura 02 en la que se encuentra agua fuertemente ligada.

El parámetro C, ( $C_{GAB}$  y  $C_{BET}$ ), denominado, la constante energética, es un parámetro relacionado con la diferencia de energía de las moléculas de sorbato de la primera capa (monocapa) y las otras capas restantes (comportamiento líquido). (*Zug, 2002a*), manifiesta que la diferencia entre  $C_{GAB}$  y  $C_{BET}$  radica en que el modelo BET considera que el estado de las moléculas de sorbato en la segunda capa y superiores son iguales entre sí, pero diferentes a aquellas del estado líquido. *Prieto et al. (2006)* citado por *Choque (2009)*, menciona que  $C_{GAB}$  es una constante, k una constante correctiva que describe las propiedades de adsorción de agua más allá de la monocapa.

Según *Zug (2002b)*, señala que, cuando  $C_{GAB} \gg 1$ , la adsorción en la primera capa está fuertemente favorecida con relación a las capas más altas, por lo que la primera capa casi se llena completamente antes que comience en las capas superiores. Esta

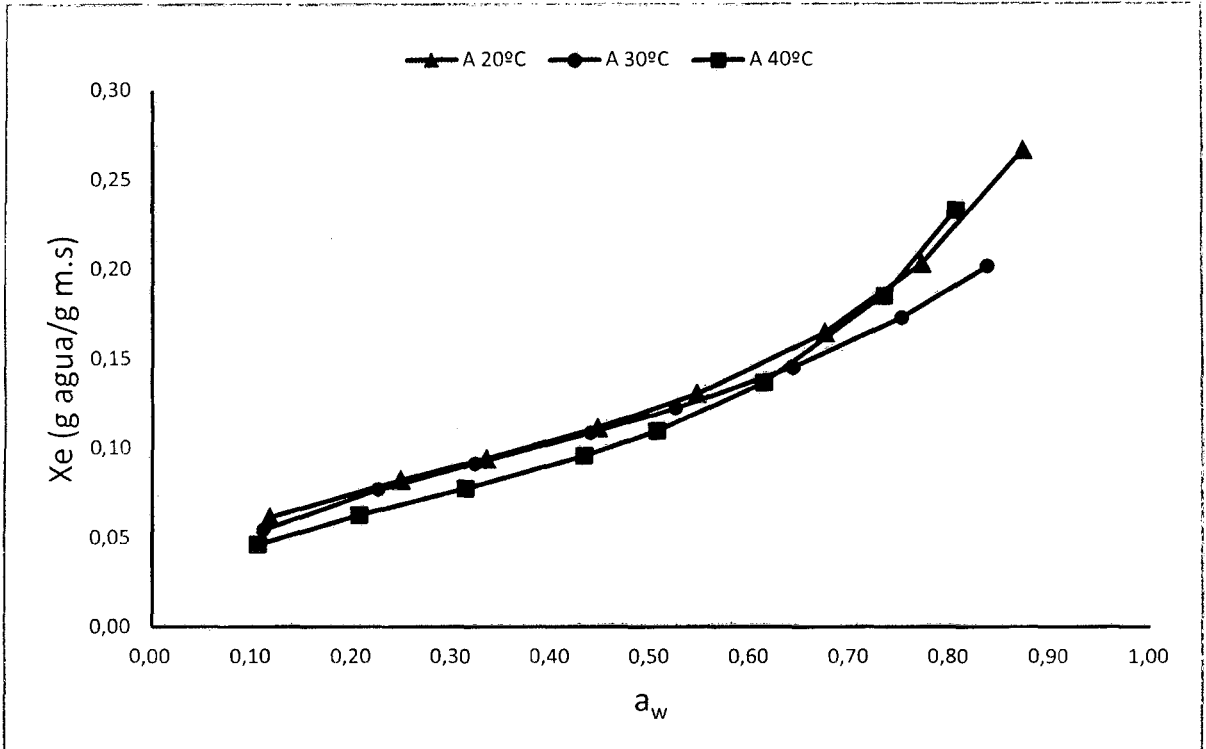
constante es función de las interacciones entre los sitios activos del alimento y las moléculas de agua de la atmosfera (**Correia et al. 2003**).

En los cuadros (16, 17, 18), los valores de  $C_{GAB}$  es mayor a la unidad, esto indica que existe adsorción a nivel de la monocapa, por lo que el contenido de humedad en la monocapa se consigue de manera gradual durante los primeros días. Se puede decir que la harina de pijuayo tiene poca a regular afinidad al agua en comparación de otras harinas, pero es necesario tener las condiciones de almacenamiento para que el producto no sea vulnerable o propenso a ser atacado por mohos y levaduras.

**Assis et al. (1998)**, encontraron valores de  $C_{GAB}$ , relativamente bajos (menores o iguales a la unidad) para ajonjolí, esto se debe a que el ajonjolí, tiene un bajo contenido de carbohidratos **Heldman y Lund (2007)**, reportan valores de  $C_{GAB}$  de adsorción para maíz laminado mayores a la unidad.

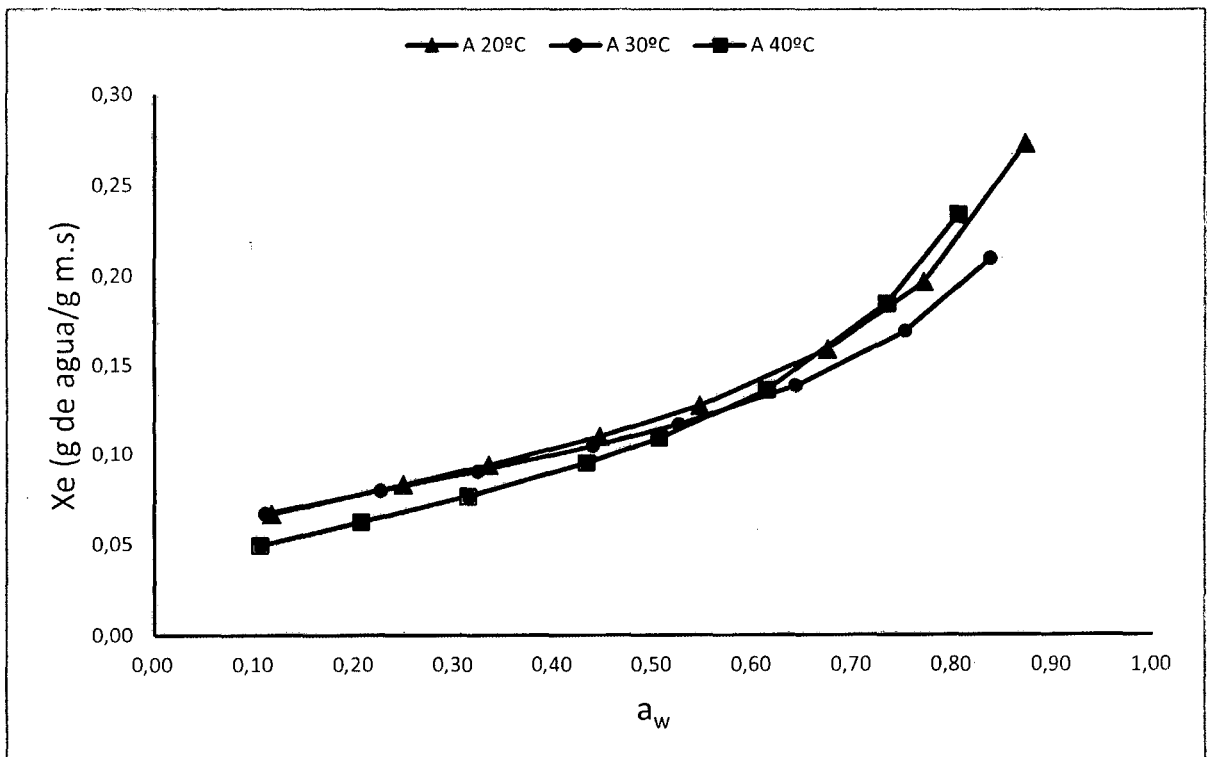
El hecho de que los valores de  $C_{GAB}$ , sean valores mayores a la unidad se puede deber a la topografía de la superficie de la harina de pijuayo, ya que el número de centros activos puede ser mayor, con lo que las ligaciones de enlace de hidrogeno a grupos polares del tipo (-CO, -COO<sup>-</sup> y -NH<sub>3</sub><sup>+</sup>) será mayor. Pero menor en consideración a otras harinas como el maíz.

Así mismo el parámetro  $k$ , presente en el modelo de GAB, conocida como la tercera constante, mide la diferencia de potencial químico estándar entre las moléculas de la segunda etapa y aquellas del estado líquido puro. Si  $k$  es menor a la unidad, se determinará una adsorción menor a la predicha por **BET (Zug, 2002a)**, este hecho se puede comprobar ya que  $X_m$  de BET y  $X_m$  de GAB son menores a la unidad para los tres casos., asimismo los parámetros de GAB tienen aplicación en la energía de activación.



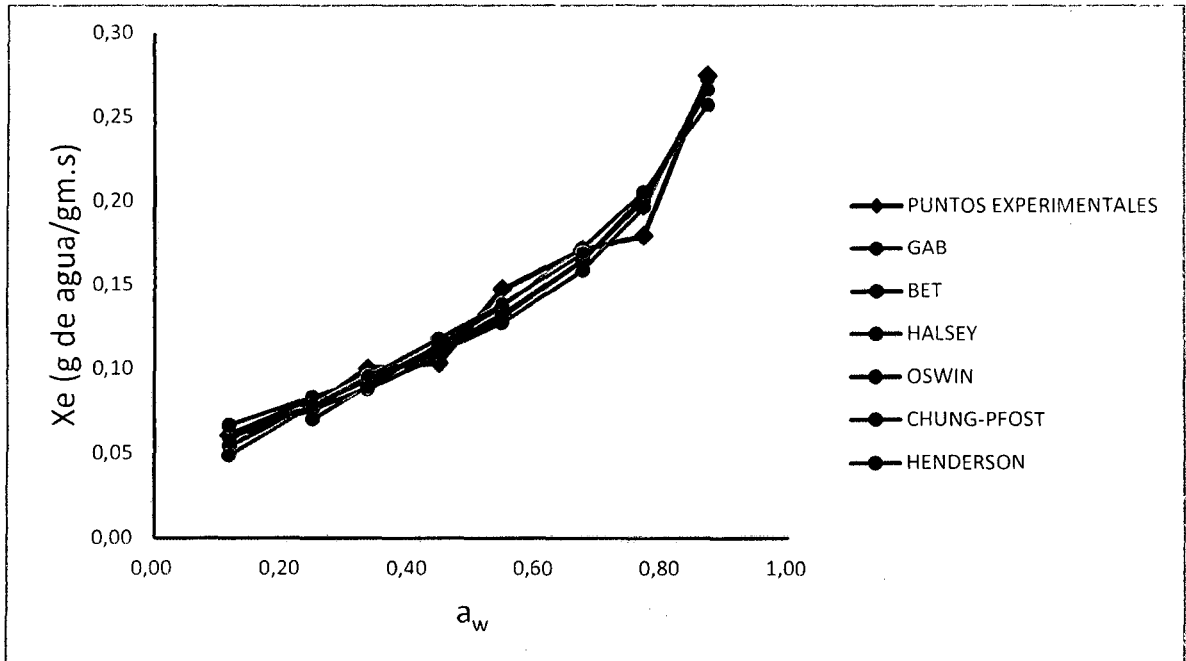
**Figura 10:** Isotermas de adsorción ajustadas mediante el modelo de GAB a las tres temperaturas de estudio.

Fuente: Elaboración propia (2014).

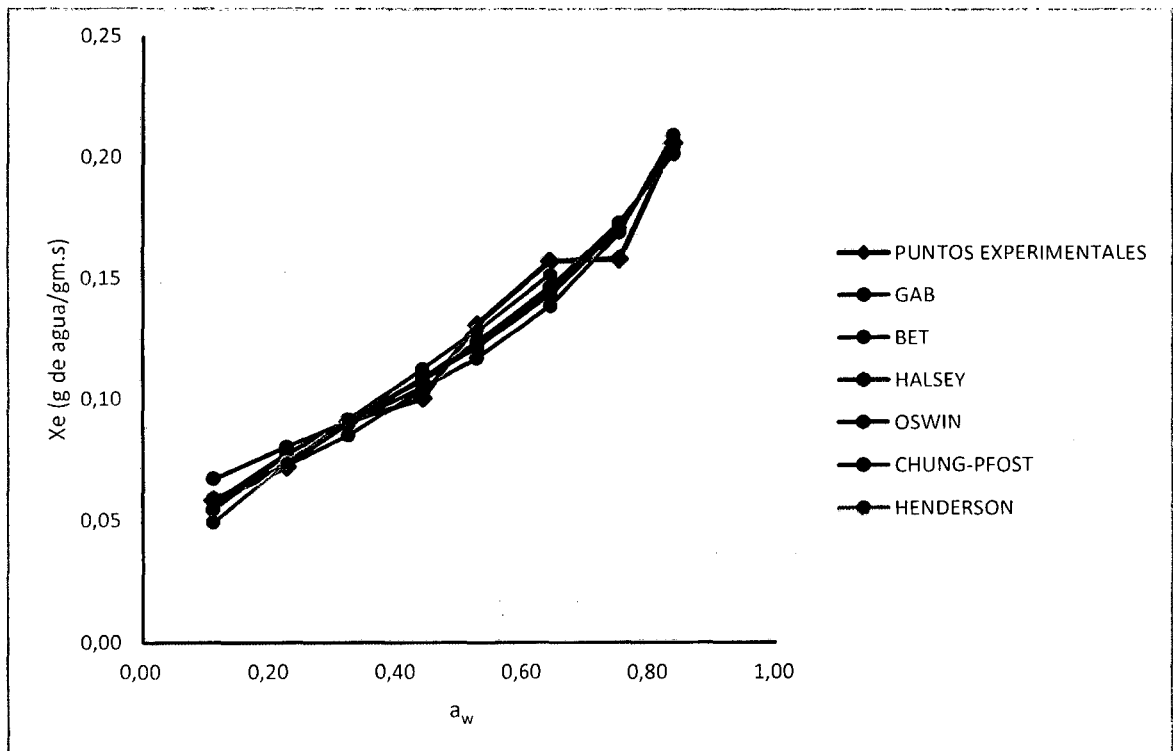


**Figura 11:** Isotermas de adsorción ajustadas mediante el modelo de HALSEY a las tres temperaturas de estudio.

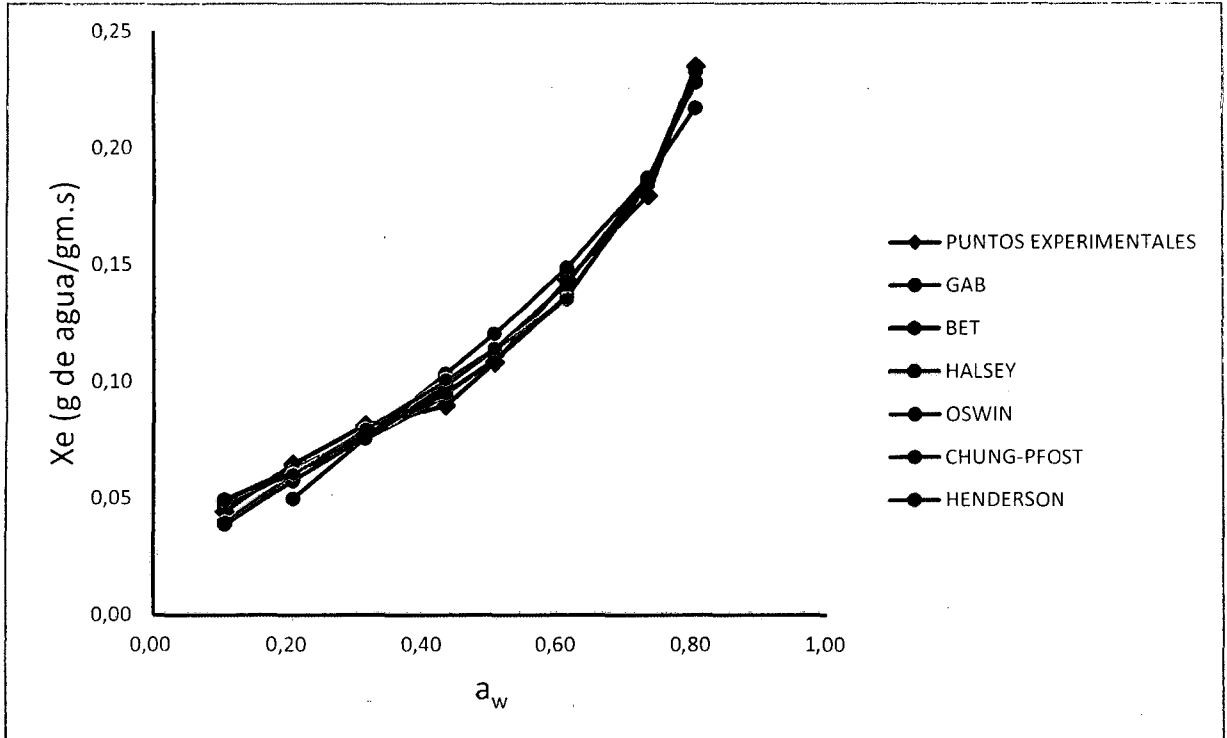
Fuente: Elaboración propia (2014).



**Figura 12:** Isothermas de adsorción ajustadas mediante los modelos indicados para la harina de pijuayo a la temperatura de 20°C.  
**Fuente:** Elaboración propia (2014).

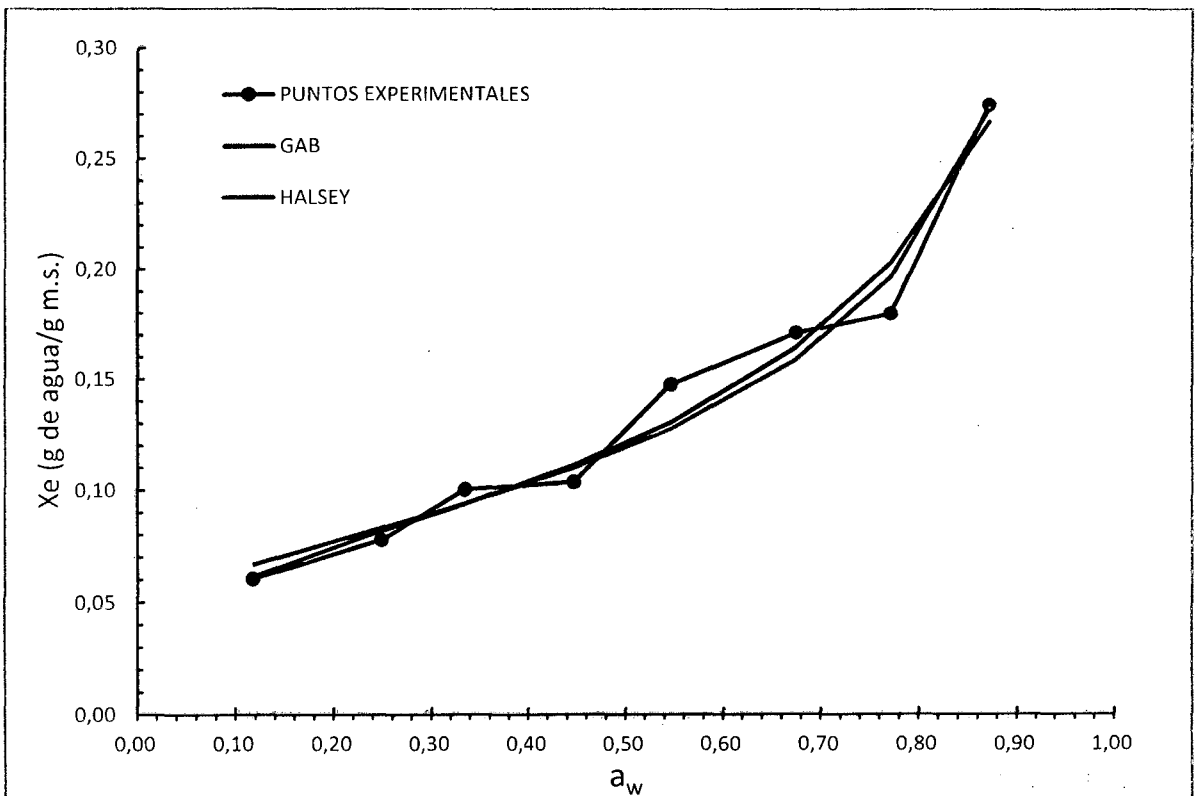


**Figura 13:** Isothermas de adsorción ajustadas mediante los modelos indicados para la harina de pijuayo a la temperatura de 30°C.  
**Fuente:** Elaboración propia (2014).



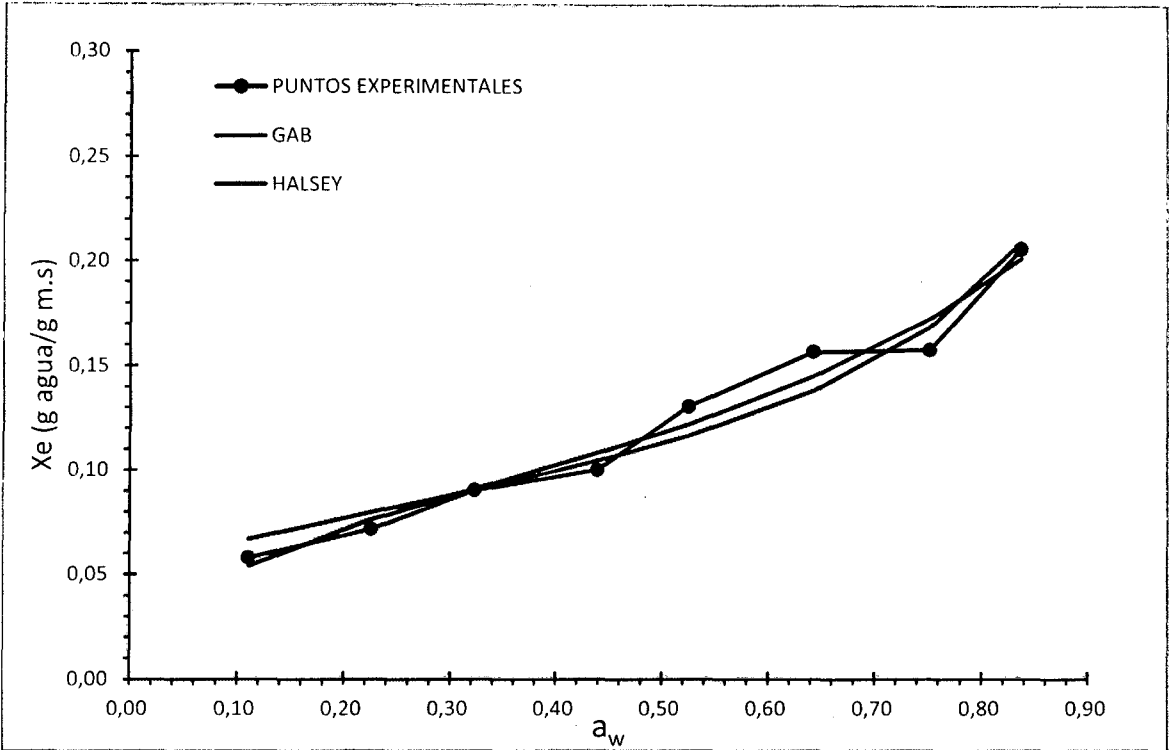
**Figura 14:** Isothermas de adsorción ajustadas mediante los modelos indicados para la harina de pijuayo a la temperatura de 40°C.

Fuente: Elaboración propia (2014).

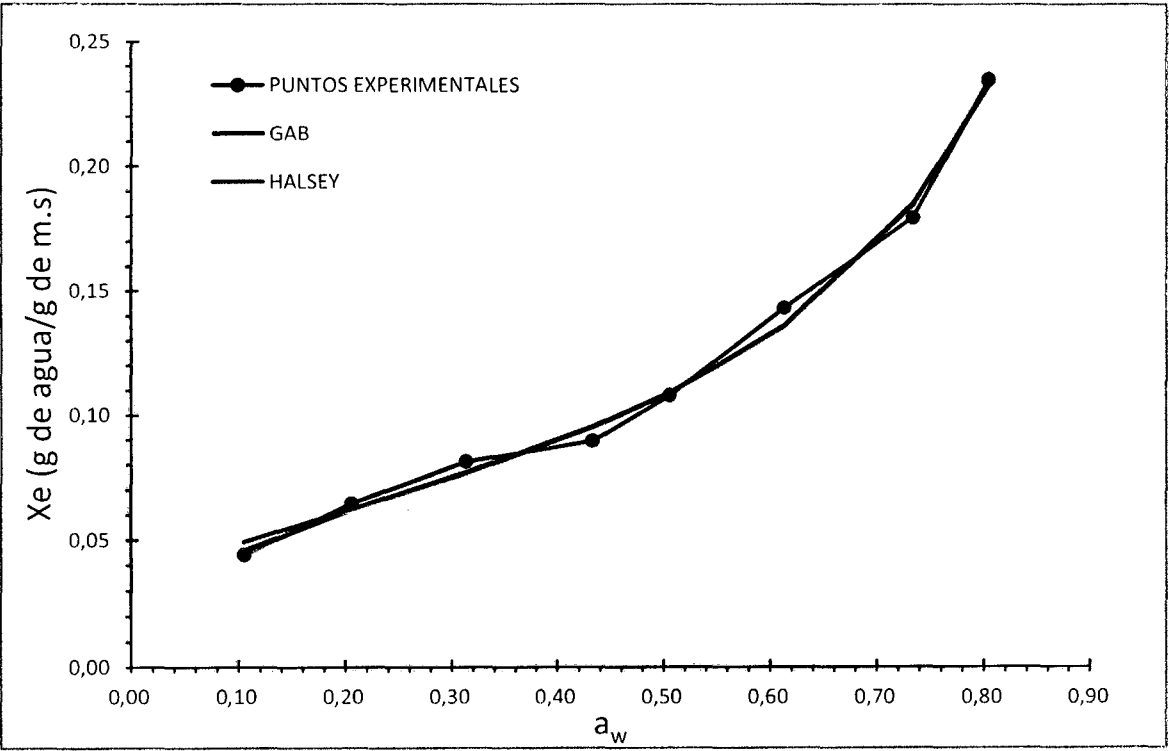


**Figura 15:** Isothermas de adsorción ajustadas mediante los modelos GAB Y HALSEY para la harina de pijuayo a 20°C.

Fuente: Elaboración propia (2014).



**Figura 16:** Isothermas de adsorción ajustadas mediante los modelos GAB Y HALSEY para la harina de pijuayo a 30°C.  
**Fuente:** Elaboración propia (2014).



**Figura 17:** Isothermas de adsorción ajustadas mediante los modelos GAB Y HALSEY para la harina de pijuayo a 40°C.  
**Fuente:** Elaboración propia (2014).

### 3.5. CALOR ISOSTÉRICO DE ADSORCIÓN.

Para determinar el calor isostérico de adsorción ( $q_{st}$ ) de la harina de pijuayo, se consideraron los valores de  $X_e$  predeterminados a las diferentes temperaturas de evaluación mediante el modelo de Halsey, ya que presentó el mejor ajuste de los datos experimentales, así mismo los valores de  $a_w$  fueron calculados a partir de este modelo. El cuadro 19 muestra los valores del calor isostérico de adsorción experimental y calculado mediante las ecuaciones 10 y 12 respectivamente.

**Cuadro 19:** Calor isostérico de adsorción ( $q_{st}$ ) de la harina de pijuayo a diferentes valores de humedad de equilibrio.

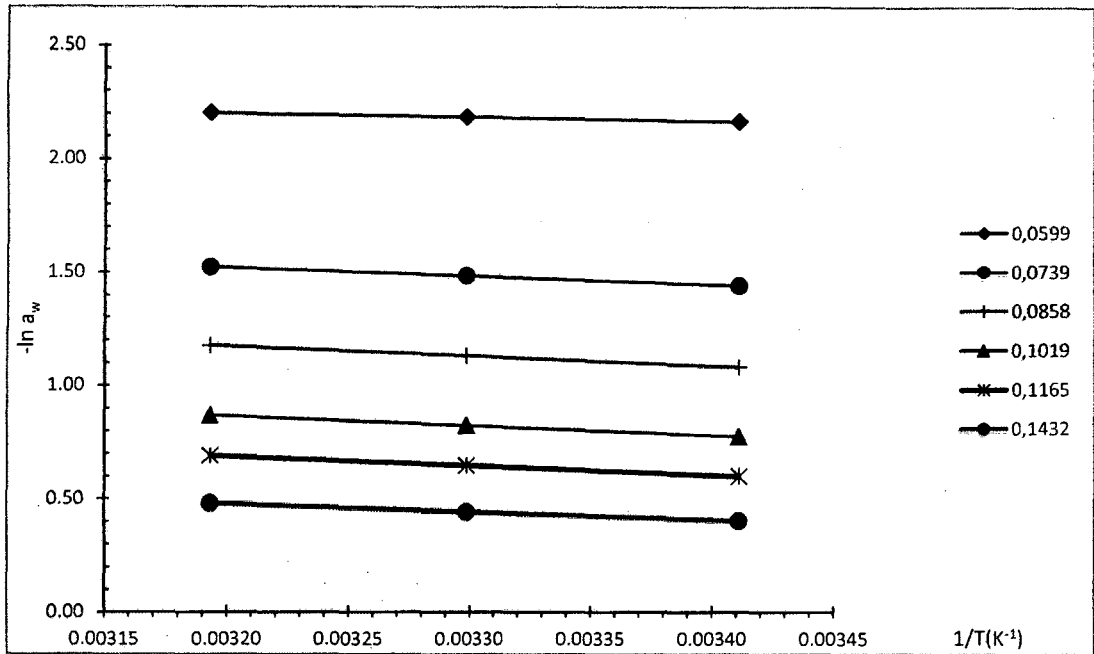
$X_e$ (b.s.)	$q_{st}(\text{kJ/mol})^a$ Experimental <sup>b</sup>	$q_{st}(\text{kJ/mol})^b$ Calculado <sup>c</sup>
0,0599	-1,4081	-1,5318
0,0739	-3,1346	-1,5351 <sup>*</sup>
0,0858	-3,5642	-1,5378
0,1019	-3,5875	-1,5416
0,1165	-3,4071	-1,5450
0,1432	-2,9689	-1,5512

a: Calor isostérico de adsorción experimental obtenido por la ecuación 10.

b: Calor isostérico de adsorción calculado, obtenido por la ecuación 12.

**Fuente:** Elaboración propia (2014).

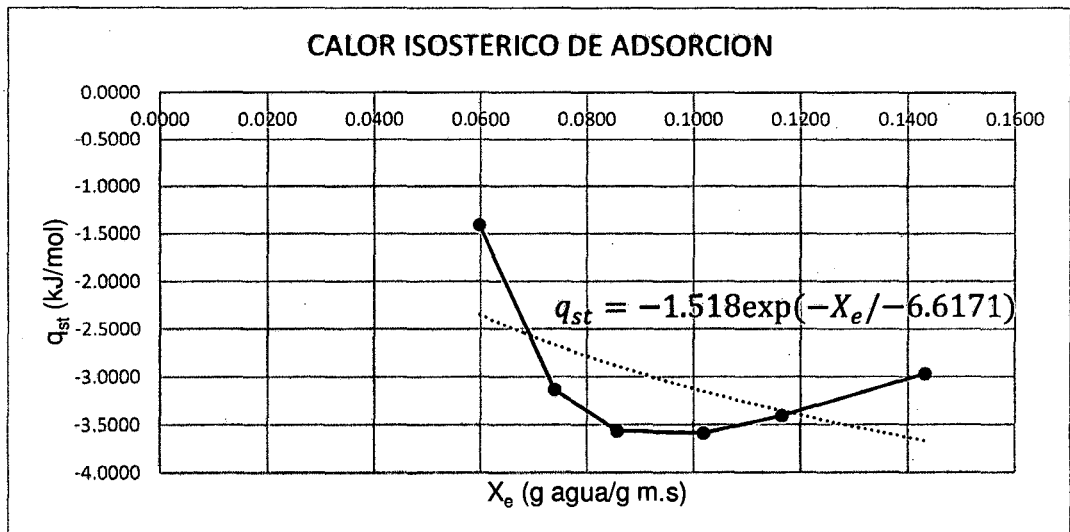
En la figura 18 presenta datos de actividad de agua ( $a_w$ ) en función de la temperatura para cada humedad de equilibrio ( $X_e$ ) en la forma de isósteras. Notándose en este cuadro la influencia de la temperatura en las curvas, es decir, para bajos contenidos de humedad la  $a_w$  aumento con el incremento de la temperatura. Similares tendencias para las isósteras fueron obtenidos por **Tsami et al. (1990)** para uva pasa y ciruelas secas. **Kohayakawa (2004)** para pulpa seca de mango (*Mangifera indica*), **Alakali et al (2009)** para jengibre (*Zinziber officinale*) seco y **Ccalli (2003)** para higo (*ficus carisa L.*) seco.



**Figura 18.** Curvas de  $-\ln(a_w)$  versus  $1/T$  a diferentes humedades de equilibrio para de la harina de pijuayo.

Fuente: Elaboración propia (2014).

En la figura 19 son presentados los valores experimentales del calor isostérico de adsorción ( $q_{st}$ ) en función del contenido de humedad de equilibrio ( $X_e$ ), estimados mediante la ecuación 10. En la figura se puede observar que el  $q_{st}$  decrece desde -1,4081 a -2,9689 kJ/mol, con el aumento de 0.06 a 0.14  $X_e$  g agua/g m.s. aproximadamente.



**Figura 19:** Influencia de la humedad de equilibrio ( $X_e$ ) en el calor de adsorción experimental ( $q_{st}$ ) para la harina de pijuayo.

Fuente: Elaboración propia (2014).



**Tsami et al.** (1990). evaluaron los calores isostéricos de adsorción en varias frutas secas (uva, higo, ciruelo y albaricoque) y estos decrecen de 20 kJ/mol hasta valores cercanos a cero cuando el contenido de humedad se incrementó de 0.05 a 0.50 g agua/g m.s. **Alakali et al. (2009)**, al estudiar las isotermas de adsorción en el jengibre (*Zinziber ofcinali*) seco observó que los  $q_{st}$  decrecieron de 10.113 a 0.851 kJ/mol con un incremento de la humedad de 0.10 a 0.22g agua/g m.s.

Este comportamiento puede ser aplicado considerándose que inicialmente la sorción ocurre en los sitios disponibles más activos, dando origen a una alta energía de interacción. A medida que la mayoría de estos sitios llegan a ser ocupados, la sorción ocurre en menores sitios disponibles, dando origen a bajos calores de sorción (**Gabas, 1998**). **Tsami et al, (1990)** indica que los calores de sorción de agua ( $q_{st}$ ) a bajos contenidos de humedad son una indicación de la fuerte interacción entre los componentes agua-alimento en las frutas secas.

También se aprecia en la figura 19, que a elevados contenidos de humedad los valores de  $q_{st}$  para la adsorción llegan a tener valores negativos. De acuerdo con **Tsami (1991)**, los valores más negativos del  $q_{st}$  indican un mayor grado de agua ligada en la superficie del alimento.

**Cuadro 20:** Parámetros  $Q_0$  y  $X_0$  y coeficiente de determinación ( $R^2$ ) ajustado de la ecuación de Tsami et al. (1990).

Muestra	Parámetros <sup>a</sup>		$R^2$
	$q_0$	$X_0$	
Harina de pijuayo	-1,518	-6,6171	0,34

a: Parámetros a un nivel de significancia del 5%.

Fuente: Elaboración propia (2014).

En la figura 19, se presentan los valores del calor isostérico de adsorción en función del contenido de humedad de equilibrio  $X_e$  (valores específicos), estimados de acuerdo a la ecuación de Tsami, de esta figura se puede concluir que a medida que aumenta la humedad de equilibrio de 0,06 a 0,14g de agua/g m.s., el valor de  $q_{st}$  disminuye de -1,4081 a -2,9689KJ/g de harina de pijuayo (ver cuadro 19), este hecho es usual en alimentos (Labuza, 1984 y Heldman y Lund, 2007). La ecuación de Tsami ajustada, presenta un coeficiente de correlación de  $R^2 = 34\%$ .

#### 4.6. ENERGÍA DE ACTIVACIÓN.

Labuza (1984), los 3 parámetros ( $X_m$ ,  $C_{gab}$  y  $K$ ) caracterizan las interacciones del agua con los macroconstituyentes del alimento y tienen una interpretación termodinámica.

La dependencia con la temperatura de los parámetros termodinámicos del modelo de GAB ( $X_m$ ,  $C_{GAB}$  y  $K_{GAB}$ ) se evaluaron con la ecuación de Arrhenius (ecuación 13). El valor de los parámetros de GAB para cada temperatura es mostrado en el cuadro 21.

**Cuadro 21.** Parámetros del modelo de GAB a las diferentes temperaturas de evaluación.

MODELO	PARÁMETROS	TEMPERATURAS		
		20°C	30°C	40°C
GAB	$X_m$	0,06583	0,08335	0,06224
	$C_{GAB}$	55,21752	17,26301	18,90456
	$K_{GAB}$	0,86730	0,71816	0,91529

Fuente: Elaboración propia (2014).

Los valores de energía de activación,  $E_a$  (kJ/mol), se determinaron graficando el  $\ln(D)$  ( $D$  es un parámetro de la isoterma de GAB) versus  $1/T$  ( $K^{-1}$ ) (ANEXO 09), aplicando la Ecuación 13, obteniendo así la  $E_a$ . Los valores de  $E_a$  son mostrados en el cuadro 22.

**Cuadro 22:** Energía de activación de los parámetros termodinámicos del modelo GAB.

MODELO	PARÁMETROS	$E_a$ (KJ/mol) <sup>a</sup>	$R^2$
GAB	$X_m$	1,9177	0,02
	$C_{GAB}$	41,4151	0,72
	$K_{GAB}$	-1,8737	0,05

a: La energía de activación ( $E_a$ ) siempre es positiva (Pons, 1981).

Fuente: Elaboración propia (2014).

La energía que se disipa para que se adsorba agua hacia la superficie de la harina de pijuayo, para la formación de la monocapa ( $X_m$ ), es decir, para enlazarse sobre los grupos polares específicos de la harina de pijuayo, es 1.9177kJ/mol, para un intervalo de temperatura de 20°C a 40°C. **Vega et al. (2006)**, determinó una  $E_a$  igual a 15.09 kJ/mol a nivel de la monocapa para la harina de maíz, en un rango de temperatura de 7°C a 45°C. Esta diferencia se puede deber a que la harina de maíz presenta mayores grupos activos capaces de adsorber agua, debido probablemente a la mayor presencia de carbohidratos (mayor presencia de grupos OH- por parte de los polímeros de almidon),

asi como  $\text{NH}^+$  y  $\text{COO}^-$  de las proteínas, para la unión con el agua (**Espino, 1995; Vega et al., 2006**). Entonces se puede decir que la harina de pijuayo presenta sobre su superficie menores grupos activos capaces de adsorber humedad y centros activos unidos a moléculas de agua, además de grasas y proteínas, en comparación a otras harinas como el maíz.

En el cuadro 22, se observa que el parámetro  $C_{\text{GAB}}$ , tiene relación con la diferencia de energía de las moléculas adsorbidas de la primera monocapa y las otras restante, ya que relaciona con la entalpía (**Prieto et al., 2006**), esta energía se aprecia en forma de energía de activación que para la harina de pijuayo presenta un valor 41.41514kJ/mol. Que es mayor a la unidad lo cual es indicativo que es un producto adsorbente de humedad.

Por otra parte, el parámetro  $K_{\text{GAB}}$ , hace referencia al potencial químico (Zug, 2002a), es decir la energía necesaria para formar el enlace entre las moléculas de agua y los sitios activos (**Harvey, 2002**), presentó una  $E_a$  de -1,8737 kJmol, notándose poca influencia de la temperatura en este parámetro, incrementando su valor cuando aumenta la temperatura.

$$k = -1,8156T + 84,931$$

De la misma manera el valor de la monocapa  $X_m$  muestra poca a regular dependencia negativa con la temperatura disminuyendo con el aumento de la temperatura, al realizar un análisis de los valores de  $X_m$  a través de una regresión lineal, presenta una ecuación con  $R^2=0,02$ .

$X_m = 0,0024T + 0,7616$ . **Cáceres, (2002)**, encontró una relación lineal negativa para la monocapa  $X_m$  del modelo de GAB, para el secado de uva.

## CONCLUSIONES.

- La humedad de equilibrio en la solución salina LiCl (Cloruro de litio), tuvo un comportamiento análogo a la isoterma de adsorción. Disminuyendo la humedad de equilibrio con respecto a la muestra inicial.
- Las isotermas de adsorción de la harina de pijuayo exhibieron un comportamiento del tipo III para todas las temperaturas de estudio, similar a otros productos alimenticios.
- De acuerdo a los parámetros estadísticos, los modelos que mejor ajustaron los datos experimentales de las isotermas de adsorción de la harina de pijuayo fueron los modelos de GAB, Halsey y Oswin, sin embargo las isotermas de GAB y Halsey ajustaron con valores de  $R^2$  mayores a 95%, desvío porcentual medio (P) menores del 10% y errores estimados de humedad (SEM) inferiores a 0,014.
- Las condiciones de almacenamiento, para asegurar la mayor estabilidad de la harina de pijuayo esta en un intervalo de humedad de 10 a 14% en b.s y menores a 60% HRE para temperaturas entre 20°C a 40°C.
- El valor de humedad de la monocapa ( $X_m$ ) del modelo de GAB presenta regular dependencia negativa con la temperatura, disminuyendo de 0,06583 a 0,06224g agua/g b.s. para el rango de temperatura de 20°C a 40°C. Así mismo, el parámetro  $K_{GAB}$ , muestra poca dependencia lineal positiva con el incremento de la temperatura, aumentando de 0,86730 a 0,91529 en el mismo intervalo de temperatura. Por otra parte el valor de  $C_{GAB}$  es mayor que la unidad y menor con relación a otros productos como el maíz, indicando que la harina de pijuayo presenta baja o regular capacidad de adsorción, se puede almacenar a humedades relativas menores a 60%.
- El calor isostérico de adsorción ( $q_{st}$ ) disminuye con el aumento del contenido de humedad de la harina de pijuayo, disminuyendo de -1,5318 a -1,5512kJ/mol para humedades de 0,06 g agua/g m.s. a 0.14g agua/g m.s.
- La influencia de la temperatura con los parámetros del modelo de GAB, se evaluaron a través de la energía de activación utilizando la ecuación de Arrhenius. Siendo  $E_a=1,9177$ kJ/mol para el parámetro  $X_m$ , 41,4151kJ/mol para la constante termodinámica  $C_{GAB}$ , y -1,8737kJ/mol para  $k$  que es la constante que define el potencial químico.

## RECOMENDACIONES.

- Estudiar la posibilidad de aprovechar integralmente el pijuayo (*Bactris gasipaes*). Por la importancia en la Industria alimentaria, arte, cultura y cosmética.
- Llevar a cabo un estudio para determinar la vida útil de la harina de pijuayo (*Bactris gasipaes*.) durante su almacenamiento a las condiciones sugeridas en este trabajo.
- Realizar un estudio en la determinación de las isotermas de sorción de la harina de pijuayo (*Bactris gasipaes*.) a las temperaturas de 45°C, 50°C y 60°C, con la finalidad de encontrar los parámetros adecuados para el secado de este producto (humedad final del producto y la energía requerida para su secado).

**BIBLIOGRAFÍA**

1. Alakali J., Irtwange, S. V. and Satimehin, A. (2009). **"Moisture adsorption characteristics of ginger slices"**. Ciencia y tecnologia de Alimentos, Campinas, 29(1): 155-164. Campinas, São Paulo – Brasil.
2. A.O.A.C. (1990). **"Official methods of analysis of the association of official analytical chemists"**. Arlington. VA, USA.
3. Araujo, C. M. (2001). **"Suco de camu-camu (Myrciaria dubia H.B.K Mc Vaugh) microencapsulado obtido através de secagem por atomização"**. Tese de Doutorado em Engenharia de Alimentos, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo - Brasil.
4. Arslan, N and Togrul, H (2006). **"The fitting of various models to water sorption isotherms of tea stored in a chamber under controlled temperature and humidity"**. Journal of Stored Products Research, 42: 112-135.
5. Badui. S. (1999), **"Química de los alimentos"**. Cuarta edición. Editorial Pearsor. Educación de México, S.A. de C.V. México.
6. Barbosa, A. (2003). **"Encapsulação de oleoresina de páprica por atomização em goma arábica em aglomerados porosos de amido/gelatina: estabilidade e aplicação"**. Tese de Doutorado em Alimentos e Nutrição, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, São Paulo - Brasil.
7. Barbosa-Cánovas, G. y Vega-Mercado. H. (2000). **"Deshidratación de alimentos"**. Editorial ACRIBIA, S.A. Zaragoza - España.
8. Brack Egg A. (1999) **"Diccionario enciclopédico de plantas medicinales"**. Centro de Estudios Regionales Andinos "Bartolome de Las Casas", Cusco.
9. Brennan, J. G., Butters, J. R., Cowell N. D. y Illily. A.E.V.(1980). **"Las operaciones de la ingeniería de los alimentos"**. Segunda edición: Editorial ACRIBIA. S.A Zaragoza - España.

10. Cáceres, B. N. (2002). "**Simulação e otimização de um secador industrial de túnel para frutas**". Tese de Doutorado em Engenharia de Alimentos, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, São Paulo - Brasil.
11. Calzada, "**El pijuayo, giliellma H.B.K. o Bactris gasipaes**". (1977). Lima Peru, Universidad Agraria la Molina, programa Frutales Nativos.
12. Cardona, J. A., Lopera, G. L., Montoya, A. M., Montoya, A. M., Peña. J. D., Gil, M., Benavides, J. F., Caicedo, M. R., Ríos, L. A. y Restrepo, G. M. (2006). "**Obtención de oleoresina de pimentón (*Capsicum annuum L.*)**". VITAE. Revista de la Facultad de Química Farmacéutica, Universidad de Antioquia, 13(1): 5-9. Medellín, Medellín - Colombia.
13. Ccalli, H. (2003). "**Secagem de figo (*Ficus carica L.*) da variedade "Gigante de Valinhos" em secador de bandejas**". Tese de Mestrado em Engenharia de Alimentos, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campiñas. Campiñas, Sao Paulo - Brasil.
14. Cheftel, J. y Cheftel, H. (1976). "**Introducción a la bioquímica y tecnología de alimentos, Volumen I**". Editorial ACRIBIA, S.A. Zaragoza - España.
15. Choque, D. (2009). "**Evaluación de las isotermas de adsorción del Maíz Morado (*Zea mays L.*) - variedad Canteño**". Tesis de Maestría para optar el grado de Maestro en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco - Perú.
16. Clemen, C.R, J Mora Urpi and S. Costa Rica, (1985). "**Estimación del Area/días de la palma del pejibaye (*Bactris gasipaes H.B.K*)**". en Revista Biologica Tropical, 33(2) p 99-105.
17. Clemente, G, (2003). "**Efecto de la contracción en la cinética de secado de músculos de jamón**". Tesis Doctoral para obtener el grado de Doctora en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Departamento de Tecnología de Alimentos. Universidad Politécnica de Valencia - España.

18. Correa, P. C., (Duarte. A. L. Resende, O. e Menezes, D. (2005). "**Obtenção e modelagem das isotermas de dessorção e do calor isostérico de dessorção para grãos de trigo**". Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campiña Grande, 7(1): 39-48. Campiña Grande, Paraíba - Brasil.
19. Díaz, J. (2002). "**Deshidratación por aire caliente de músculo de camarón gigante de malasia (*Macrobrachium rosenbergii*)**". Tesis de Ingeniero Agroindustrial. Facultad de Ingeniería Agroindustrial. Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto - Perú.
20. Dorantes. L., Ortiz, A., Juárez, K. y Gutierrez, G. "**Estudio del secado convectivo de *Capsicum annuum* variedad poblano**". Alimentos Ciencia e Ingeniería, Ambato, 16(3): 205 -207. Ambato-Ecuador.
21. Duarte, A. L. (2008). "**Variación das propriedades físico-mecênicas e da qualidade da mamona (*ricinus communis* L.) durante a secagem e o armazenamento**". Tese de Doutorado em Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais - Brasil.
22. Eluan, A., Meller, L. H. y Silva, R. (2008). "**Comportamento higroscópico do acai (*Euterpe oleracea* Mart.) e cupuaçu (*Teobroma grandiforum* Schum.) em pó**". Ciencia y Tecnología de Alimentos, Campiñas, 28(4): 895-901. Campiñas, São Paulo - Brasil.
23. Espino, R. C. (1995). "**Evaluación de los modelos de GAB, BET, Pfo et al. y Henderson-Thompson en la descripción de isotermas de adsorción en sémola de maíz y maíz opaco - 2 (*Zea mays* L.)**". Tesis de Ingeniero en Industrias Alimentarias. Facultad de Industrias Alimentarias. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima - Perú.
24. Fadini, A. L., Pereira, P. M., Pereira, D. C., Zaratini, Bonifacio. M. e Batista. G (2006). "**Isotermas de sorção de umidade e estudo de estabilidade de Macadâmias Drageadas**". Brazilian Journal of Food Technology. 9(2): 83-88
25. Feitosa, R. M. (1998). "**Caracterização físico-química do suco e pó de acerola (*Malpighia punicefoli* L.)**". Tese de Doutorado em Engenharia de Alimentos,



Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.  
Campinas. São Paulo - Brasil.

26. Fennema, O. R. (2000). "**Química de los alimentos**". Segunda edición. Editorial ACRIBIA, S.A. Zaragoza - España.
27. Ferreira, C. D. y Pena, R. S. (2003). "**Comportamento higroscópico da farinha de pupunha (*Bactris gasipaes*)**". Ciencia y Tecnología de Alimentos, Campinas, 23(2): 251-255. Campinas, São Paulo - Brasil.
28. Fiorentin, L. D., Menon, B. T., Barros, S. T. D., Pereira, N. C., Lima, O. C. e Modense, A. N. (2010). "**Isotermas de sorção do resíduo agroindustrial bagaço de laranja**". Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande. 14(6): 653- 659. Campina Grande, Paraíba- Brasil.
29. Gabas, A. L. (1998). "**Secagem de uva Itália em leito fixo**". Tese de Mestrado em Engenharia de Alimentos, Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, São Paulo - Brasil.
30. Gabas, A. L., Nicoletti, V R., Amara!, P. J. y Teüs-Romero J. (2007). "**Effect of maltodextrin and arabic gum in water vapor sorption thermodynamic properties of vacuum dried pineapple pulp powder**". Journal of Food Engineering, 82: 246-252.
31. Gabas, A. L., Telis-Romero J., Giraldo-Gomez, G. I. y Nicoletti, V. R. (2009). "**Propiedades termodinámicas de sorción de agua de la pulpa de lulo (*Solanum quitoense Lam*) en polvo con encapsulantes**". Ciencia y Tecnología de Alimentos. Campinas 29(4): 911-918. Campinas. Sao Paulo - Brasil.
32. Gonzalez M. M y orellana. A. D. (2003). "**Recolección de germoplasma de chile tipo habanero (*Capsicum chinense Jacq.*) en el departamento del Peten**". Instituto de Ciencia y tecnología Agrícola (ICTA).
33. Harvey, D. 2002. "**Química Analítica Moderna**". Edit McGraw Hill. España.
34. Henao, J. D., Queiroz, M. R. e Haj-Isa, N. M. A. (2009). "**Umidade de equilibrio**

- de café cereja descascado baseada em métodos estático e dinâmico**". Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, 13(4): 470-476. Campina Grande, Paraíba - Brasil.
35. Hernández, J. A., Ochoa, A. A., López, E. y García, H. S. (2009). "**Extracción de capsaicinoides durante la deshidratación osmótica de chile Habanero en salmuera**". Ciencia y Tecnología Alimentaria 7(2): 127—134. México.
36. Iguedjtal, T., Louka, N. and Allaf, K. (2007). "**Sorption isotherms of potato slices dried and texturized by controlled sudden decompression**". Journal of Food Engineering (2007), doi: 10.1016/j.jfoodeng.2007.06.028.
37. Iglesias A. H., (1976a). "**Monolayer values in water vapor sorption on dehydrated foods and foods components. Food Science Technology**". V9.
38. Johannessen, C.L. "**Pejibayes In Production**". Turrialba, Costa Rica, IICA, S.F.
39. Kohayakawa, M. (2004). "**Secagem de manga Haden utilizando secador de leito fixo e secador acoplado a bomba de calor**". Tese de Mestrado em Engenharia de Alimentos, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, São Paulo - Brasil.
40. Kurosawa, L. E. (2005). "**Efeito das condições de processo na cinética de secagem de cogumelo (*Agaricus blazei*)**". Tese de Mestrado em Engenharia de Alimentos, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas. São Paulo - Brasil.
41. Kurozawa, L. E., El-Aouar, Â. A. e Murr, F.E.X (2005). "**Obtenção de isotermas de dssorção de cogumelo in natura e desidratado osmoticamente**". Ciencia y Tecnologia de Alimentos, Campinas 25(4): 828-834. Campinas, São Paulo – Basil.
42. Lima, E. E. (2006). "**Produção e arinazenamento da farinha de facheiro (*Cereus squamosus*)**". Tese de Mestrado em Engenharia Agrícola, Área de concentração em armazenamento e processamento de produtos agrícolas, Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, Paraíba - Brasil.

43. Leal, C. M. (2010). "**Caracterização e análise experimental do recobrimento de sementes de jambu (*Spilanthes oleracea*) em leite fluidizado**". Tese de Doutorado em Engenharia Química, Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, Sao Paulo - Brasil.
44. Martinelli, L. (2008). "**Construção e desenvolvimento de um secador de leite pulso- fluidizado para secagem de pastas e polpas**". Tese de Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos, Area de Concentração: Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho. São José do Rio Preto, São Paulo - Brasil.
45. Marques, M. A. (2009). "**Influência de encapsulantes e do método de secagem nas propriedades físico-químicas e atributos de qualidade de polpa de niaracujá (*passiflora eilulis f. flavicarpa*) em pó**". Tese de Doutorado em Engenharia e Ciência de Alimentos, Área de Concentração: Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho. São José do Rio Preto, São Paulo - Brasil.
46. Marques, M. A., Telis-Romero, J. y Nicoletti, V. R. (2010). "**Efect of drying method on the adsorption isotherms and isosteric heat of passion fruit pulp (*Passifora eduli*) powder**". *Ciência y Tecnologia de Alimentos*, Campinas, 30(4): 993-1000. Campinas, Sao Paulo - Brasil.
47. Molina-Filho, L., Marques, M. A. Teliş-Romero, J. y Romeiro, S. H. (2006). "**Influência da temperatura e da concentração do cloreto de sodio (NaCl) nas Isotermas de sorção da carne de tambaqui (*Colossoma Macroparum*)**". *Ciência y Tecnologia de Alimentos*, Campinas, 26(2): 453-458. Campiñas São Paulo - Brasil.
48. Mora Urpi, J., (1984). "**The Pejibaye Palm (*Bactris gasipaes* H.B.K)**". BNCR/FAO San Jose. 15p.
49. Moreira, P. (1999). "**Estudo da cinética de desidratação por imersão e secagem de tomate cereja (*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme*)**". Tese de Mestrado em Engenharia de Alimentos, Faculdade de Engenharia de

Alimentos, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, São Paulo - Brasil.

50. Nascimento, F. M. (2006). "**Secagem e armazenamento da polpa de pitanga (*Eugenia uniflora* L.)**". Tese de Mestrado em Engenharia Agrícola, Área de Concentração em armazenamento e processamento de produtos agrícolas, Universidade Federal de Campina Grande. Campiã Grande, Paraíba - Brasil.
51. Nogueira, R. (1990). "**Comportamento higroscópico do suco de laranja liofilizado**". Tese de Doutorado em Ciência dos Alimentos, Area de Bromatologia, Faculdade de Ciência Farmacêuticas, Universidade de São Paulo. São Paulo - Brasil.
52. Oliveira, E. G., Rosa G. S. Moraes, M.A y Pinto A.A (2009). "**Moisture sorption characteristics of microalgae (*Spirulina platensis*)**". Brazilian Journal of chemical Engineering, 26(1): 189-197.
53. Pedroso, C. M. (1997). "**Cinética de secagem do milho superdoce (*Zea mays* L.)**". Tese de Mestrado em Engenharia de Alimentos, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, São Paulo – Brasil.
54. Pons, G. (1981). "**Fisicoquímica, curso básico para las profesiones científicas**". Edición 5ª. Editorial Universo S.A. Lima - Perú.
55. Pulla, H. (2011). "**Determinación de las isotermas de adsorción del ají (*Capsicum annuum* L.) seco**". Tesis en Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios.
56. Prieto, F., Gordillo, A., Prieto, J., Gomez, C.; Roman A. 2006. "**Evaluacion de las isotermas de sorcion en cereales para desayuno**". Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnologia de Superficies y Materiales.
57. Rengifo, E. L., Ruiz, L., Ríos, .1., Pérez, D. y Ortiz, S. (2001). "**Plantas medicinales y biocidas de la Amazonia Peruana**". Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana, IIAP. Iquitos - Perú.
58. Resende, O., Correa, P. C. Duarte, A. L. e Menezes, D. (2006). "**Isotermas e calor isostérico de sorção do feijão**". Ciencia y Tecnología de Alimentos, Campinas,

26(3): 626-631. Campiñas, São Paulo – Brasil.

59. Restrepo, M., Llanos, N. y Fonseca, C. E. (2007). **“Composición de las oleorresinas de dos variedades de ají picante (habanero y tabasco) obtenidas mediante lixiviación con solventes orgánicos”**. Revista Lasallista de Investigación. 4( 1): 14-19. Antioquia - Colombia.
60. Reyes, M., Gómez-Sánchez, L., Espinoza, C., Bravo, F., Ganoza, L. y Centro Nacional de Alimentación y Nutrición. (2009). **“Tablas Peruanas de Composición de Alimentos”**. Comité editor instituto Nacional de Salud - Ministerio de Salud del Perú. Lima - Perú.
61. Saravacos, G. D., Tsiourvas, D, A. y Tsami, E. (1986). **“Effect of temperature on the water adsorption isotherms of sultanas raisins”**. Journal of Food Science, 51(2): 381- 387.
62. Silva, A. L. (1999). **“Obtenção e avaliação de oleorresina de páprica”**. Tese de Doutorado em Tecnologia de Alimentos, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, são Paulo – Brasil.
63. Silva M. M., Gouveia, J.P.G e Almeida, F. A. C. (2002). **“Dessoro e calor isostérico em polpa de manga (*Mangifera indica* L.)”**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, 6(1): 123-127. Campina Grande, Paraíba - Brasil.
64. Silva R., Belo, N. y Costa M. D. (2010). **“Comportamiento higroscópico do açai em pó”**. Revista Brasileira de productos Agroindustriais., Campina Grande, 12(2): 153-161. Campina Grande, Paraíba — Brasil.
65. Siripatrawan, U. and Jantawat, P. (2006). **“Determination of moisture sorption isotherms of jasmine rice crackers using BET and GAB models”**. Food Science and Technology International, 12 (6):459-465.
66. Sousa, S, (2008). **“Obteno de figos secos por desidrato osmótica e secagem convectiva”**. Tese de Doutorado em Engenharia de Alimentos,

Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.  
Campinas, São Paulo - Brasil.

67. Sulamytha, T. (2009). "**Comportamento higroscópico de pós de diferentes variedades de manga (*mangifera indica L.*)**". Tese de Mestrado em Tecnologia de Alimentos, Área de concentração: Ciências e Tecnologia de Alimentos, Departamento de Tecnologia de Alimentos Universidade Federal do Ceará. Fortaleza - Brasil.
68. Telis-Romero, J., Kohayakawa, M. N., Silveira, V. Pedro, M. A. M. e Gabas, A. L. (2005). "**Enthalpy-entropy compensation base don isotherms of mango**". *Ciência y Tecnología de Alimentos*, Campinas, 25(2): 297-303. Campinas, São Paulo - Brasil.
69. Timmermann, E. O., Chirife, J. y Iglesias, H. A. (2001). "**Water Sorption isotherms of food and foodstuffs: BET or GAB parameters**". *Journal of Food Engineering*, 48: 19-31.
70. Tsami, E., Maroulis, Z. B., Marinos-Kouris, D. and Saravacos, G. D. (1990). "**Heat of sorption of water in dried Fruits**". *International Journal of Food Science and Technology*, 25: 350-359.
71. Tsami, E. (1991). "**Net isosteric heat of sorption in dried fruits**". *Journal of Food Engineering*, 14:327-335.
72. Valeriano, R. (2009). "**Secagem por atomização do suco do açaí: Influência das variáveis do processo, qualidade e estabilidade do produto**". Tese de Doutorado em Engenharia de Alimentos, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, São Paulo - Brasil.
73. Vega, A., Lara, E. y Lemus, R. (2005). "**Isotermas de adsorción en harina de maíz (*Zea mays L.*)**". *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, Campinas, 26(4): 821-827. Campinas, Sao Paulo - Brasil.
74. Villachica, H. (1996). "**Frutales y Hortalizas Promisorias de la Amazonia**". Tratado de Cooperación Amazónica, TCA. Lima - Perú.

75. Yu, L., Mazza, G. and Jayas, S. (1999). "**Moisture sorption characteristics of freeze- dried, osmofreeze-dried, y osmo-air-dried cherries y blueberries**". American Society of Agricultural Engineers, 42(1): 141-147.
76. Zug, J. (2002a). "**Isothermas de adsorción: Bases Mecanico- Estadísticas**". Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires – Argentina.
77. Zug, J. (2002b). "**Fisicoquímica Especial. Isotherma de sorción de tres etapas y modelos sorción restringida**". Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires - Argentina.

ANEXOS



## ANEXO 01. DATOS DESARROLLADO DE LA HUMEDAD DE EQUILIBRIO A 20°C

**Cuadro 23a:** Valores de capacidad de adsorción de humedad de la harina de pijuayo a la temperatura de 20°C.

SAL	MUESTRA INICIAL	TEMPERATURA 20°C					
		DÍA 1 <sup>b</sup>	DÍA 2 <sup>b</sup>	DÍA 3 <sup>b</sup>	DÍA 4 <sup>b</sup>	DÍA 5 <sup>b</sup>	DÍA 6 <sup>b</sup>
LiCl	+0,0003g						
	A 2,0000	1,9915	1,9916	1,9905	1,9909	1,9912	1,9906
	B 2,0000	1,9835	1,9839	1,9838	1,9842	1,9844	1,9844
	C 2,0000	1,9914	1,9920	1,9908	1,9913	1,9931	1,9931
K <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>2</sub>	+0,0003g	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	A 2,0000	2,0127	2,0194	2,0182	2,0182	2,0176	2,0174
	B 2,0000	2,0106	2,0122	2,0103	2,0109	2,0114	2,0104
	C 2,0000	2,0119	2,0178	2,0167	2,0164	2,0167	2,0160
MgCl <sub>2</sub>	+0,0003g	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	A 2,0000	2,0435	2,0483	2,0492	2,0500	2,0530	2,0522
	B 2,0000	2,1633	2,0477	2,0479	2,0492	2,5567	2,0504
	C 2,0000	1,9286	2,0554	2,0575	2,0586	1,9361	2,0556
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	+0,0003g	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	A 2,0000	2,0765	2,0791	2,0801	2,0809	2,0806	2,0815
	B 2,0000	2,0802	2,0858	2,0867	2,0869	2,0867	2,0873
	C 2,0000	2,0696	2,0719	2,0737	2,0733	2,0741	2,0750
MgNO <sub>3</sub>	+0,0003g	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	A 2,0000	2,0871	2,0908	2,0910	2,0920	2,0925	2,0929
	B 2,0000	2,0888	2,0941	2,0940	2,0944	2,0947	2,3422
	C 2,0000	1,8324	2,0969	2,0977	2,0991	2,0984	2,7729
NaNO <sub>3</sub>	+0,0003g	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	A 2,0000	2,1665	2,1780	2,1816	2,1856	2,1865	2,1889
	B 2,0000	2,1551	2,1660	2,1685	2,1703	2,1661	2,1686
	C 2,0000	2,1700	2,1809	2,1842	2,1873	2,1869	2,1892
NaCl	+0,0003g	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	A 2,0000	2,1941	2,2115	2,2135	2,2165	2,2179	2,2195
	B 2,0000	2,1922	2,2027	2,2096	2,2086	2,2093	2,2129
	C 2,0000	2,2073	2,2158	2,2241	2,2230	2,2232	2,2273
KCl	+0,0003g	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	A 2,0000	2,2393	2,2732	2,2958	2,3038	2,3063	2,3072
	B 2,0000	2,2355	2,2661	2,2867	2,2953	2,2951	2,2950
	C 2,0000	2,2223	2,2465	2,2475	2,2755	2,2737	2,2737

b: pérdida o ganancia de peso en función al peso de la muestra inicial, hasta alcanzar la humedad de equilibrio en base seca (b.s).

Fuente: Elaboración propia (2014).

**Cuadro 23b:** Valores de capacidad de adsorción de humedad de la harina de pijuayo a la temperatura de 20°C.

TEMPERATURA 20°C							
DÍA 7 <sup>b</sup>	DÍA 8 <sup>b</sup>	DÍA 9 <sup>b</sup>	DÍA 10 <sup>b</sup>	DÍA 11 <sup>b</sup>	DÍA 12 <sup>b</sup>	DÍA 13 <sup>b</sup>	DÍA 14 <sup>b</sup>
1,9917	1,9911	1,9935	1,9935	1,9930	1,9911	1,9919	1,9928
1,9836	1,9832	1,9856	1,9856	1,9856	1,9834	1,9839	1,9860
1,9923	1,9925	1,9943	1,9943	1,9937	1,9931	1,9942	1,9946
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,0187	2,0187	2,0198	2,0198	2,0198	2,0190	2,0197	2,0206
2,0110	2,0120	2,0127	2,0127	2,0124	2,0120	2,0134	2,0134
2,0163	2,0167	2,0169	2,0169	2,0170	2,0170	2,0175	2,0185
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,0524	2,0535	2,0540	2,0540	2,0541	2,0535	2,0539	2,0540
2,0506	2,0491	2,0494	2,0494	2,0492	2,0487	2,0490	2,0500
2,0594	2,0595	2,0595	2,0595	2,0599	2,0601	2,0604	2,0613
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,0820	2,0823	2,0824	2,0824	2,0823	2,0821	2,0822	2,0824
2,0881	2,0885	2,0880	2,0880	2,0887	2,0884	2,0885	2,0889
2,0749	2,0747	2,0753	2,0753	2,0756	2,0753	2,0742	2,0737
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,0923	2,0926	2,0930	2,0930	2,0930	2,0928	2,0934	2,0942
2,0957	2,0963	2,0971	2,0971	2,0961	2,0965	2,0966	2,0971
2,0854	2,0861	2,0865	2,0865	2,0860	2,0865	2,0865	2,0867
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,1893	2,1905	2,1902	2,1902	2,1902	2,1893	2,1900	2,1903
2,1678	2,1688	2,1687	2,1687	2,1687	2,1685	2,1690	2,1697
2,1889	2,1910	2,1899	2,1899	2,1898	2,1896	2,1897	2,1900
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,2196	2,2212	2,2218	2,2218	2,2217	2,2201	2,2201	2,2198
2,2105	2,2121	2,2128	2,2128	2,2119	2,2120	2,2120	2,2101
2,2236	2,2253	2,2260	2,2260	2,2252	2,2259	2,2252	2,2238
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,3074	2,3105	2,3116	2,3116	2,3125	2,3170	2,3170	2,3171
2,2937	2,2950	2,2961	2,2961	2,2967	1,5060	1,5058	1,5032
2,2732	2,2779	2,2785	2,2785	2,2781	2,2827	2,2827	2,2833

b: pérdida o ganancia de peso en función al peso de la muestra inicial, hasta alcanzar la humedad de equilibrio en base seca (b.s).

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 23c:** Valores de capacidad de adsorción de humedad de la harina de pijuayo a la temperatura de 20°C.

TEMPERATURA 20°C				
DÍA 15 <sup>b</sup>	DÍA 16 <sup>b</sup>	DÍA 17 <sup>b</sup>	DÍA 18 <sup>b</sup>	DÍA 19 <sup>b</sup>
1,9931	1,9935	1,9943	1,9954	1,9940
1,9865	1,9865	1,9881	1,9840	1,9851
1,9931	1,9933	1,9949	1,9963	1,9953
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,0206	2,0195	2,0205	2,0209	2,0200
2,0135	2,0132	2,0137	2,0150	2,0563
2,0182	2,0181	2,0178	2,0181	2,0177
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,0536	2,0538	2,0539	2,0550	2,0553
2,0495	2,0498	2,0495	2,0504	2,0505
2,0611	2,0611	2,0614	2,0618	2,0619
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,0820	2,0819	2,0820	2,0821	2,0822
2,0887	2,0889	2,0887	2,0883	2,0886
2,0729	2,0729	2,0728	2,0726	2,0737
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,0928	2,0938	2,0936	2,0927	2,0933
1,9915	1,9917	1,9918	1,9906	1,9913
2,1907	2,1909	2,1913	2,1911	2,1911
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,1898	2,1899	2,1887	2,1881	2,1913
2,1686	2,1678	2,1682	2,1683	2,1691
2,1894	2,1893	2,1888	2,1884	2,1839
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,2199	2,2185	2,2193	2,2184	2,2209
2,2112	2,2097	2,2098	2,2095	2,2127
2,2245	2,2227	2,2229	2,2241	2,2263
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,3170	2,3170	2,3170	2,3169	2,3169
1,5031	1,5015	1,4972	1,5001	1,5001
2,2804	2,2784	2,2748	2,2749	2,2749

b: pérdida o ganancia de peso en función al peso de la muestra inicial, hasta alcanzar la humedad de equilibrio en base seca (b.s).

**Fuente:** Elaboración propia (2014).

**Cuadro 24a:** Valores de capacidad de adsorción de humedad de la harina de pijuayo a la temperatura de 30°C.

SAL	MUESTRA INICIAL	TEMPERATURA 30°C				
		DÍA 1 <sup>b</sup>	DÍA 2 <sup>b</sup>	DÍA 3 <sup>b</sup>	DÍA 4 <sup>b</sup>	DÍA 5 <sup>b</sup>
<b>LiCl</b>	+0,0003g					
<b>A</b>	2,0000	1,9959	1,9957	1,9950	1,9953	1,9956
<b>B</b>	2,0000	1,9910	1,9913	1,9904	1,9901	1,9898
<b>C</b>	2,0000	1,9897	1,9894	1,9900	1,9895	1,9889
<b>KC<sub>2</sub>H<sub>3</sub>O<sub>2</sub></b>	+0,0003g	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<b>A</b>	2,0000	2,0088	2,0104	2,0116	2,0132	2,0147
<b>B</b>	2,0000	2,0068	2,0084	2,0089	2,0103	2,0117
<b>C</b>	2,0000	2,0092	2,0103	2,0110	2,0121	2,0132
<b>MgCl<sub>2</sub></b>	+0,0003g	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<b>A</b>	2,0000	2,0281	2,0307	2,0369	2,0371	2,0372
<b>B</b>	2,0000	2,0303	2,0347	2,0370	2,0376	2,0381
<b>C</b>	2,0000	2,0287	2,0326	2,0365	2,0369	2,0372
<b>K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></b>	+0,0003g	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<b>A</b>	2,0000	2,0470	2,0590	2,0647	2,0660	2,0673
<b>B</b>	2,0000	2,0566	2,0622	2,0664	2,0678	2,0692
<b>C</b>	2,0000	2,0575	2,0627	2,0646	2,0658	2,0670
<b>MgNO<sub>3</sub></b>	+0,0003g	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<b>A</b>	2,0000	2,0882	2,1091	2,1304	2,1244	2,1184
<b>B</b>	2,0000	2,0848	2,1071	2,1085	2,1094	2,1102
<b>C</b>	2,0000	2,1039	2,1462	2,1251	2,1239	2,1226
<b>NaNO<sub>3</sub></b>	+0,0003g	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<b>A</b>	2,0000	2,1187	2,1511	2,1670	2,1699	2,1727
<b>B</b>	2,0000	2,1533	2,1674	2,1752	2,1767	2,1782
<b>C</b>	2,0000	2,1537	2,1683	2,1754	2,1780	2,1806
<b>NaCl</b>	+0,0003g	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<b>A</b>	2,0000	2,1374	2,1679	2,1777	2,1784	2,1791
<b>B</b>	2,0000	2,1415	2,1679	2,1748	2,1759	2,1770
<b>C</b>	2,0000	2,1405	2,1602	2,1707	2,1723	2,1739
<b>KCl</b>	+0,0003g	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<b>A</b>	2,0000	2,1803	2,2249	2,1919	2,1933	2,1947
<b>B</b>	2,0000	2,1866	2,2275	2,2428	2,2495	2,2562
<b>C</b>	2,0000	2,1845	2,2072	2,2205	2,2363	2,2521

b: pérdida o ganancia de peso en función al peso de la muestra inicial, hasta alcanzar la humedad de equilibrio en base seca (b.s).

Fuente: Elaboración propia (2014).

**Cuadro 24b:** Valores de capacidad de adsorción de humedad de la harina de pijuayo a la temperatura de 30°C.

TEMPERATURA 30°C							
DÍA 6 <sup>b</sup>	DÍA 7 <sup>b</sup>	DÍA 8 <sup>b</sup>	DÍA 9 <sup>b</sup>	DÍA 10 <sup>b</sup>	DÍA 11 <sup>b</sup>	DÍA 12 <sup>b</sup>	DÍA 13 <sup>b</sup>
1,9955	1,9930	1,9926	1,9911	1,9930	1,9930	1,9930	1,9946
1,9902	1,9918	1,9915	1,9890	1,9913	1,9915	1,9916	1,9919
1,9897	1,9902	1,9896	0,4276	1,9901	1,9905	1,9908	1,9907
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,0151	2,0155	2,0153	2,0151	2,0157	2,0160	2,0162	2,0158
2,0119	2,0130	2,0126	2,0122	2,0132	2,0132	2,0131	2,0132
2,0134	2,0137	2,0140	2,0143	2,0133	2,0139	2,0145	2,0148
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,0384	2,0390	2,0393	2,0395	2,0404	2,0405	2,0406	2,0408
2,0380	2,0385	2,0391	2,0396	2,0397	2,0399	2,0401	2,0400
2,0384	2,0393	2,0394	2,0395	2,0391	2,0397	2,0403	2,0402
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,0679	2,0694	2,0694	2,0694	2,0701	2,0700	2,0699	2,0703
2,0692	2,0701	2,0705	2,0708	2,0710	2,0710	2,0709	2,0714
2,0670	2,0680	2,0683	2,0685	2,0690	2,0692	2,0693	2,0695
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,1142	2,1159	2,1142	2,1124	2,1123	2,1137	2,1150	2,1126
2,1090	2,1105	2,1100	2,1094	2,1096	2,1101	2,1106	2,1107
2,1217	2,1182	2,1168	2,1154	2,1133	2,1125	2,1116	2,1103
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,1746	2,1748	2,1750	2,1751	2,1752	2,1755	2,1758	2,1774
2,1782	2,1782	2,1781	2,1779	2,1756	2,1775	2,1793	2,1769
2,1806	2,1805	2,1796	2,1787	2,1785	2,1795	2,1804	2,1806
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,1792	2,1808	2,1808	2,1807	2,1818	2,1818	2,1818	2,1810
2,1774	2,1796	2,1793	2,1790	2,1797	2,1803	2,1809	2,1800
2,1760	2,1767	2,1776	2,1785	2,1783	2,1777	2,1771	2,1774
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,2014	2,2013	2,2027	2,2041	2,2061	2,2067	2,2073	2,2043
2,2550	2,2603	2,2597	2,2591	2,2623	2,2639	2,2654	2,2605
2,2565	2,2575	2,2594	2,2612	2,2622	2,2624	2,2625	2,2624

b: pérdida o ganancia de peso en función al peso de la muestra inicial, hasta alcanzar la humedad de equilibrio en base seca (b.s).

Fuente: Elaboración propia (2014).

**Cuadro 24c: Valores de capacidad de adsorción de humedad de la harina de pijuayo a la temperatura de 30°C.**

TEMPERATURA 30°C		
DÍA 14 <sup>b</sup>	DÍA 15 <sup>b</sup>	DÍA 16 <sup>b</sup>
1,9947	1,9955	1,9962
1,9913	1,9915	1,9916
1,9907	1,9909	1,9911
0,0000	0,0000	0,0000
2,0163	2,0164	2,0165
2,0140	2,0142	2,0144
2,0150	2,0149	2,0148
0,0000	0,0000	0,0000
2,0410	2,0411	2,0411
2,0398	2,0398	2,0398
2,0405	2,0405	2,0406
0,0000	0,0000	0,0000
2,0701	2,0703	2,0705
2,0715	2,0715	2,0715
2,0696	2,0698	2,0700
0,0000	0,0000	0,0000
2,1114	2,1103	2,1091
2,1088	2,1077	2,1065
2,1121	2,1119	2,1117
0,0000	0,0000	0,0000
2,1765	2,1769	2,1773
2,1778	2,1782	2,1785
2,1796	2,1802	2,1807
0,0000	0,0000	0,0000
2,1807	2,1805	2,1803
2,1806	2,1801	2,1796
2,1790	2,1790	2,1789
0,0000	0,0000	0,0000
2,2114	2,2100	2,2085
2,2641	2,2651	2,2661
2,6990	2,2692	2,2677

b: pérdida o ganancia de peso en función al peso de la muestra inicial, hasta alcanzar la humedad de equilibrio en base seca (b.s).

**Fuente:** Elaboración propia (2014).

**Cuadro 25a:** Valores de capacidad de adsorción de humedad de la harina de pijuayo a la temperatura de 40°C.

SAL	MUESTRA INICIAL	TEMPERATURA DE 40°C						
		DÍA 1 <sup>b</sup>	DÍA 2 <sup>b</sup>	DÍA 3 <sup>b</sup>	DÍA 4 <sup>b</sup>	DÍA 5 <sup>b</sup>	DÍA 6 <sup>b</sup>	DÍA 7 <sup>b</sup>
<b>LiCl</b>	+0,0003g							
<b>A</b>	2,0000	1,9858	1,9922	1,9929	1,9887	1,9894	1,9888	1,9911
<b>B</b>	2,0000	1,9858	1,9875	1,9901	1,9851	1,9863	1,9857	1,9857
<b>C</b>	2,0000	1,9875	1,9884	1,9891	1,9835	1,9856	1,9837	1,9850
<b>KC<sub>2</sub>H<sub>3</sub>O<sub>2</sub></b>	+0,0003g	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<b>A</b>	2,0000	2,0119	2,0098	2,0173	2,0099	2,0104	2,0100	2,0130
<b>B</b>	2,0000	2,0093	2,0118	2,0125	2,0118	2,0126	2,0115	2,0123
<b>C</b>	2,0000	2,0126	2,0158	2,0140	2,0158	2,0162	2,0156	2,0153
<b>MgCl<sub>2</sub></b>	+0,0003g	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<b>A</b>	2,0000	2,0378	2,0423	2,0897	2,0430	2,0426	2,0451	2,0427
<b>B</b>	2,0000	2,0436	2,0449	2,0432	2,0458	2,0467	2,0459	2,0463
<b>C</b>	2,0000	2,0371	2,0413	2,0375	2,0433	2,0430	2,0437	2,0420
<b>K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></b>	+0,0003g	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<b>A</b>	2,0000	2,0742	2,0729	2,0721	2,0727	2,0751	2,0745	2,0767
<b>B</b>	2,0000	2,0623	2,0649	2,0646	2,0652	2,0654	2,0649	2,0655
<b>C</b>	2,0000	2,0601	2,0580	2,0603	2,0589	2,0590	2,0599	2,0607
<b>MgNO<sub>3</sub></b>	+0,0003g	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<b>A</b>	2,0000	2,1040	2,0932	2,1149	2,1004	2,0943	2,0905	2,0866
<b>B</b>	2,0000	2,1864	2,1849	2,1860	2,1883	2,1853	2,1846	2,1851
<b>C</b>	2,0000	2,0966	2,0903	2,0947	1,0928	2,0896	2,0390	2,0885
<b>NaNO<sub>3</sub></b>	+0,0003g	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<b>A</b>	2,0000	2,1393	2,1513	2,1395	2,1484	2,1535	2,1522	2,1519
<b>B</b>	2,0000	2,0802	2,1597	2,1526	2,1562	2,1566	2,1622	2,1642
<b>C</b>	2,0000	2,0563	2,1830	2,1756	2,1786	2,1824	2,1865	2,1874
<b>NaCl</b>	+0,0003g	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<b>A</b>	2,0000	2,1619	2,1776	2,1767	2,1733	2,1832	2,1778	2,1767
<b>B</b>	2,0000	2,1778	2,1879	2,1861	2,1819	2,1989	2,1922	2,1946
<b>C</b>	2,0000	2,2473	2,2510	2,2453	2,2399	2,2708	2,2663	2,2671
<b>KCl</b>	+0,0003g	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<b>A</b>	2,0000	2,2740	2,2858	2,2703	2,2944	2,2861	2,3282	2,2911
<b>B</b>	2,0000	2,2826	2,3383	2,3265	2,3113	2,3171	2,3081	2,3216
<b>C</b>	2,0000	1,9612	2,0134	2,0080	2,0148	2,0161	2,0427	2,0203

b: pérdida o ganancia de peso en función al peso de la muestra inicial, hasta alcanzar la humedad de equilibrio en base seca (b.s).

**Fuente:** Elaboración propia.

**Cuadro 25b:** Valores de capacidad de adsorción de humedad de la harina de pijuayo a la temperatura de 40°C.

TEMPERATURA DE 40°C						
DÍA 8 <sup>b</sup>	DÍA 9 <sup>b</sup>	DÍA 10 <sup>b</sup>	DÍA11 <sup>b</sup>	DÍA12 <sup>b</sup>	DÍA13 <sup>b</sup>	DÍA14 <sup>b</sup>
1,9930	1,9905	1,9911	1,9923	1,9934	1,9934	1,9927
1,9876	1,9857	1,9860	1,9873	1,9875	1,9871	1,9860
1,9846	1,9847	1,9852	1,9868	1,9861	1,9889	1,9881
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,0130	2,0102	2,0125	2,0117	2,0130	2,0113	2,0116
2,0111	2,0114	2,0121	2,0125	2,0127	2,0122	2,0122
2,0143	2,0162	2,0187	2,0179	2,0173	2,0167	2,0172
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,0427	2,0430	2,0433	2,0435	2,0435	2,0436	2,0442
2,0459	2,0456	2,0474	2,0476	2,0496	2,0477	2,0490
2,0426	2,0432	2,0427	2,0439	2,0444	2,0442	2,0451
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,0753	2,0733	2,0755	2,0754	2,0729	2,0736	2,0750
2,0636	2,0649	2,0658	2,0655	2,0654	2,0652	2,0665
2,0603	2,0583	2,0592	2,0600	2,0588	2,0587	2,0606
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,0827	2,0856	2,0811	2,0819	2,0834	2,0785	2,0741
2,1846	2,1874	2,1848	2,1833	1,7846	1,7821	1,7822
2,0863	2,0902	2,0878	2,0884	2,0887	2,0869	2,0862
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,1481	2,1501	2,1555	2,1596	2,1535	2,1485	2,1485
2,1594	2,1614	2,1569	2,1609	2,1548	2,1537	2,1557
2,1829	2,1873	2,1851	2,1882	2,1903	2,1757	2,1794
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2,1782	2,1787	2,1863	2,1917	2,1917	2,1936	2,1749
2,1922	2,1850	2,7729	2,2046	2,2062	2,2013	2,1837
2,2693	2,2464	2,2583	2,2598	2,2571	2,2571	2,2459
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1,2891	2,3033	2,3162	2,3045	2,3025	2,2915	2,2851
2,3175	2,3006	2,3076	2,3001	2,3041	2,3426	2,3424
2,0134	2,0153	2,0270	2,0163	2,0087	2,0213	2,0054

b: pérdida o ganancia de peso en función al peso de la muestra inicial, hasta alcanzar la humedad de equilibrio en base seca (b.s).

Fuente: Elaboración propia (2014).



**ANEXO: 02:****CUADRO 26:** HUMEDAD DE EQUILIBRIO Xe (g de agua/g de m.s) PARA LAS MUESTRAS DE HARINA DE PIJUAYO PARA LAS TRES TEMPERATURAS CON SUS RESPECTIVAS REPETICIONES.

Solución salina	A 20°C					A 30°C					A 40°C				
	MUESTRA					MUESTRA					MUESTRA				
	$a_w$	X <sub>e</sub> (A)	X <sub>e</sub> (B)	X <sub>e</sub> (C)	X <sub>e</sub> , prom	$a_w$	X <sub>e</sub> (A)	X <sub>e</sub> (B)	X <sub>e</sub> (C)	X <sub>e</sub> , prom	$a_w$	X <sub>e</sub> (A)	X <sub>e</sub> (B)	X <sub>e</sub> (C)	X <sub>e</sub> , prom
LiCl	0,1176	0,0592	0,0660	0,0559	0,0604	0,1112	0,0592	0,0563	0,0585	0,0580	0,1055	0,0378	0,0434	0,0513	0,0441
KC <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>2</sub>	0,2488	0,0773	0,0864	0,0695	0,0777	0,2258	0,0713	0,0764	0,0677	0,0718	0,2062	0,0629	0,0599	0,0706	0,0645
MgCl <sub>2</sub>	0,3346	0,1046	0,0867	0,1090	0,1001	0,3234	0,0856	0,1056	0,0801	0,0904	0,3132	0,0795	0,0841	0,0802	0,0813
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0,4471	0,1053	0,1070	0,0979	0,1034	0,4398	0,1009	0,1021	0,0973	0,1001	0,4332	0,0981	0,0864	0,0844	0,0896
MgNO <sub>3</sub>	0,5470	0,1151	0,0208	0,2159	0,1172	0,5255	0,1197	0,1173	0,1549	0,1306	0,5061	0,0996	0,1206	0,1040	0,1081
NaNO <sub>2</sub>	0,6752	0,1526	0,2052	0,1545	0,1708	0,6429	0,1520	0,1589	0,1599	0,1569	0,6141	0,1331	0,1372	0,1593	0,1432
NaCl	0,7718	0,1855	0,1747	0,1786	0,1796 <sup>b</sup>	0,7522	0,1598	0,1532	0,1605	0,1579	0,7343	0,1553	0,1620	0,2208	0,1794
KCl	0,8728	0,2289	0,3905	0,2041	0,2745	0,8374	0,2079	0,2011	0,2090	0,2060	0,8057	0,3131	0,2747	0,1161	0,2346

A, B y C son las repeticiones de las experiencias para la determinación de Xe.  
Xe, prom, es el promedio de las repeticiones.

## ANEXO 03.

**CUADRO 27:** CONTENIDO DE LA HUMEDAD DE EQUILIBRIO PROMEDIO PARA LA HARINA DE PIJUAYO EN BASE SECA A SUS RESPECTIVAS ACTIVIDADES DE AGUA Y TEMPERATURAS.

SOLUCIÓN SALINA SATURADA	A 20°C		A 30°C		A 40°C	
	$a_w$	$X_e(\text{b.s})^a$	$a_w$	$X_e(\text{b.s})^a$	$a_w$	$X_e(\text{b.s})^a$
(LiCl)	0,1176	0,0604	0,1112	0,0580	0,1055	0,0441
(KC <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>2</sub> )	0,2488	0,0777	0,2258	0,0718	0,2062	0,0645
(MgCl <sub>2</sub> )	0,3346	0,1001	0,3234	0,0904	0,3132	0,0813
(K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )	0,4471	0,1034	0,4398	0,1001	0,4332	0,0896
(MgNO <sub>3</sub> )	0,5470	0,1172	0,5255	0,1306	0,5061	0,1081
(NaNO <sub>2</sub> )	0,6752	0,1708	0,6429	0,1569	0,6141	0,1432
(NaCl)	0,7718	0,1796	0,7522	0,1579	0,7343	0,1794
(KCl)	0,8728	0,2745	0,8374	0,2060	0,8057	0,2346

## ANEXO 04

**CUADRO 28:** CARACTERÍSTICA DE LAS SALES UTILIZADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LAS ISOTERMAS DE ADSORCIÓN PARA LA HARINA DE PIJUAYO.

Sal	Formula	Peso molecular (g/mol)	Grado	Presentación	porcentaje de pureza	Marca	Especificaciones
Cloruro de Litio	(LiCl)	42,39	AR	Perlas	99,1	Fermont	ACS**
Acetato de Potasio	(K <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>2</sub> )	98,15	AR	Polvo	99	Scharlau	ACS
Cloruro de Magnesio	(MgCl <sub>2</sub> )	99,9	AR	Perlas	99,9	Fermont	ACS
Carbonato de Potasio	(K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )	138,21	AR	Polvo	99	Scharlau	ACS
Nitrato de Magnesio	(MgNO <sub>3</sub> )	256,41	AR	Cristales	99,8	Fermont	ACS
Nitrato de Sodio	(NaNO <sub>2</sub> )	84,99	AR	Cristales	100	Mallinckrodt	ACS
Cloruro de Sodio	(NaCl)	58,44	AR	Cristales	100	Mallinckrodt	ACS
Cloruro de Potasio	(KCl)	74,55	AR *	Cristales	100	Mallinckrodt*	ACS

\* Grado reactivo.

ANEXO 05. EVALUACIÓN DE LOS RESIDUALES EN LAS ISOTERMAS DE ADSORCIÓN PARA LA HARINA DE PIJUAYO (*Bactris gasipaes*).

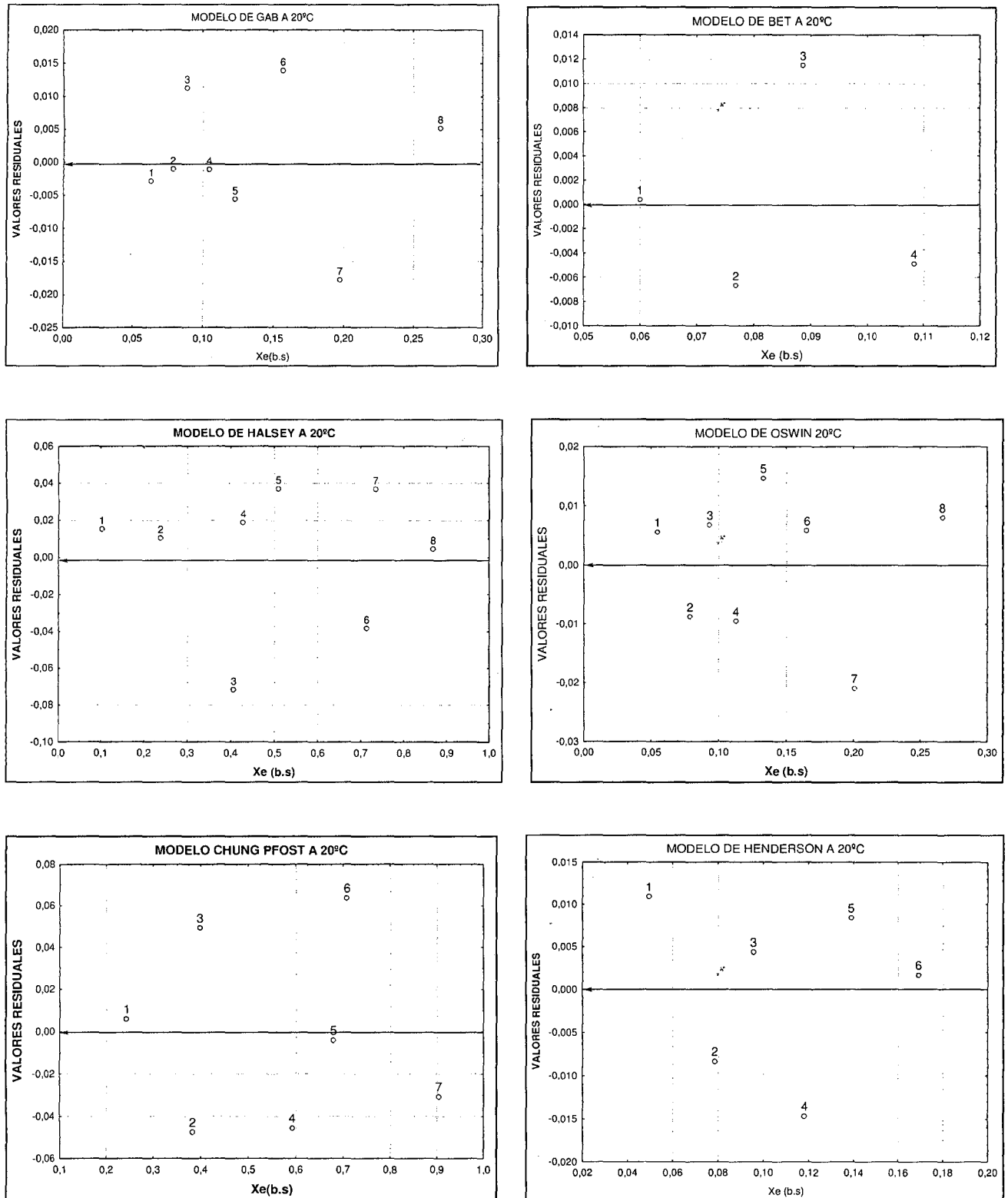
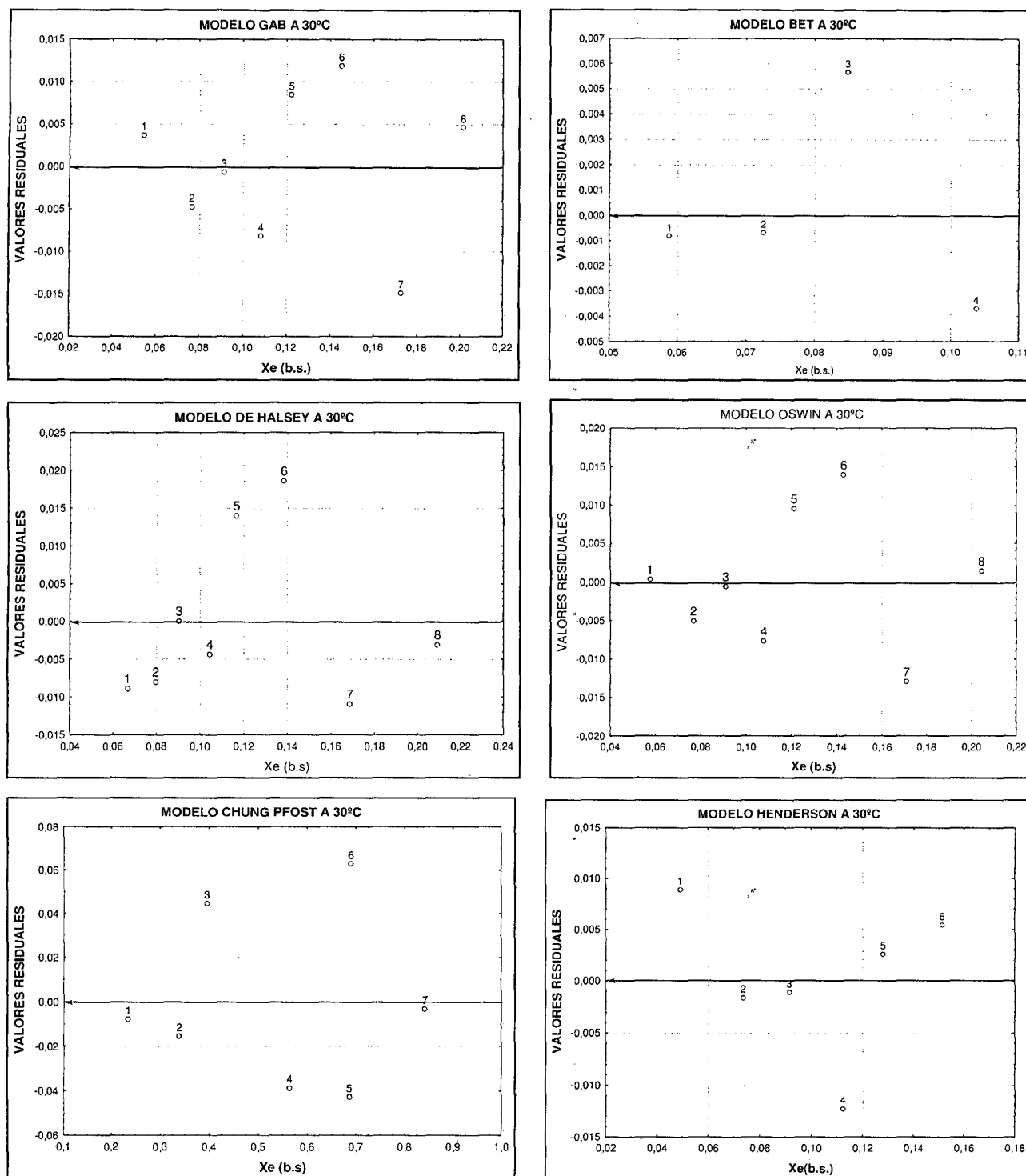


Figura 20: Distribución de residuos de los modelos de isotermas utilizados para la obtención de las isotermas de adsorción para la harina de pijuayo a 20°C.

Fuente: Elaboración propia (2014).

ANEXO 06. EVALUACIÓN DE LOS RESIDUALES EN LAS ISOTERMAS DE ADSORCIÓN PARA LA HARINA DE PIJUAYO (*Bactris gasipaes*).



**Figura 21:** Distribución de residuos de los modelos de isotermas utilizados para la obtención de las isotermas de adsorción para la harina de pijuayo a 30°C.

Fuente: Elaboración propia (2014).

ANEXO 07. EVALUACIÓN DE LOS RESIDUALES EN LAS ISOTERMAS DE ADSORCIÓN PARA LA HARINA DE PIJUAYO (*Bactris gasipaes*).

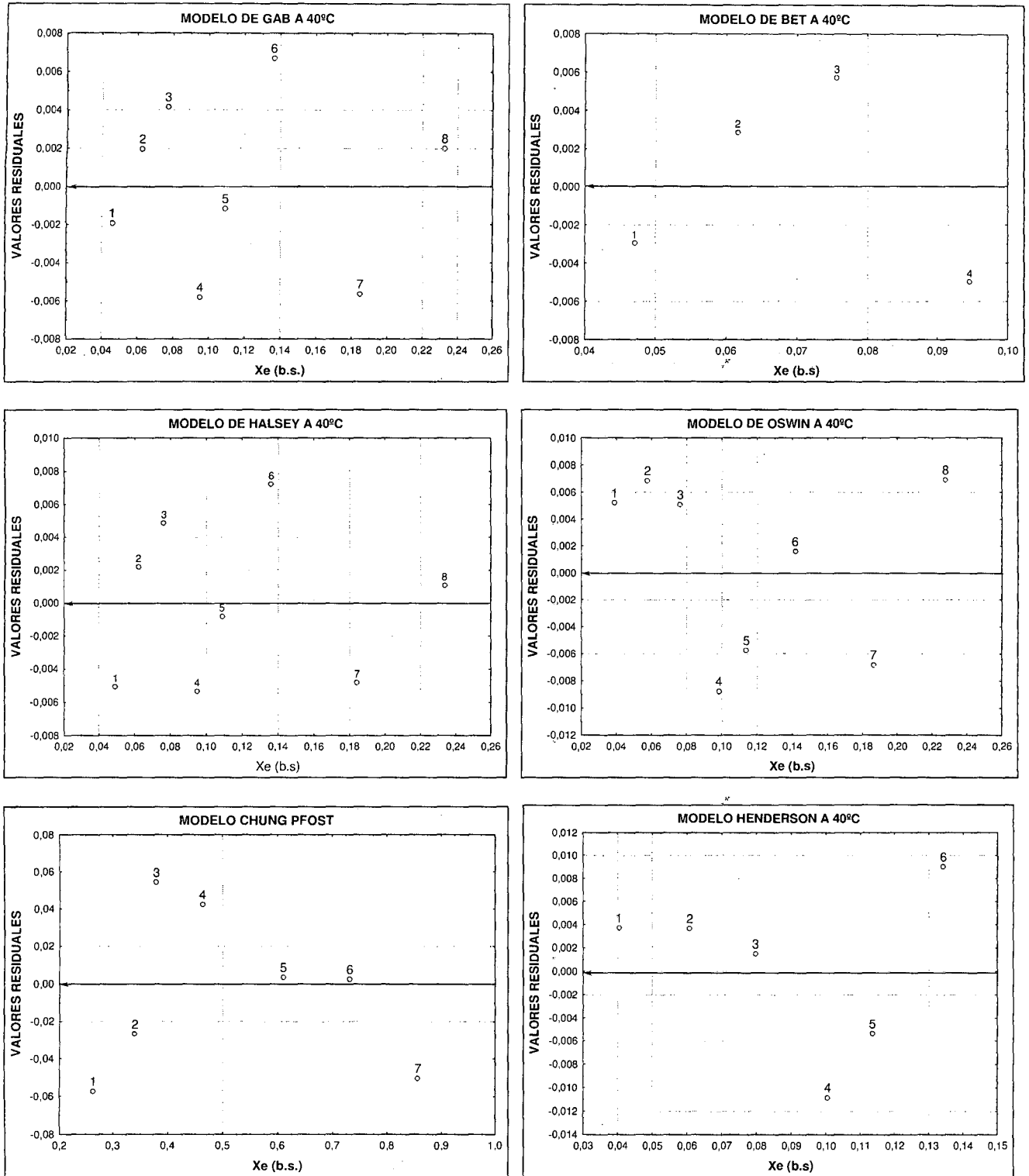


Figura 22: Distribución de residuos de los modelos de isotermas utilizados para la obtención de las isotermas de adsorción para la harina de pijuayo a 40°C.

Fuente: Elaboración propia (2014).

ANEXO 08: PARÁMETROS  $a_w$  Y  $q_{st}$  DETERMINADOS A PARTIR DEL MODELO HALSEY CONSIDERANDO EL RANGO DE  $X_e$  de 0.06 a 0.14.43g de agua/g m.s. A LAS TEMPERATURAS DE ESTUDIOS.

ANEXO 8.1 PARÁMETROS DEL MODELO HALSEY.

20°C		30°C		40°C	
A	B	A	B	A	B
0,009461	1,929403	0,012270	1,851798	0,015763	1,764968

a: Parámetros estimados con un nivel de significancia del 5%.

ANEXO 8.2: VALORES DE ACTIVIDADES DE AGUA DETERMINADOS MEDIANTE EL MODELO HALSEY.

20°C		30°C		40°C	
$X_e$	$a_w$	$X_e$	$a_w$	$X_e$	$a_w$
0,0599	0,114967	0,0609	0,112644	0,0609	0,110806
0,0739	0,236892	0,0751	0,226784	0,0751	0,218217
0,0858	0,339051	0,0869	0,322787	0,0869	0,308824
0,1019	0,460658	0,1031	0,438642	0,1031	0,419330
0,1165	0,549186	0,1177	0,524406	0,1177	0,502280
0,1432	0,668793	0,1443	0,642675	0,1443	0,618730

ANEXO 8.3 VALORES DE  $\ln(a_w)$  y  $1/T$  ( $K^{-1}$ ) A LA HUMEDAD DE EQUILIBRIO CORRESPONDIENTE.

	HUMEDAD DE EQUILIBRIO, $X_e$ (b.s.)					
	0,0599	0,0739	0,0858	0,1019	0,1165	0,1432
$1/T(K^{-1})$	$\ln(a_w)$	$\ln(a_w)$	$\ln(a_w)$	$\ln(a_w)$	$\ln(a_w)$	$\ln(a_w)$
0,00341	2,16311	1,44015	1,08160	0,77510	0,59932	0,40228
0,00330	-2,18352	-1,48376	-1,13076	-0,82407	-0,64549	-0,44212
0,00319	-2,19997	-1,52226	-1,17498	-0,86910	-0,68860	-0,48009

ANEXO 8.4 VALORES DE  $q_{st}$  DETERMINADOS POR LA ECUACIÓN DE Clausius Clayperon y TSAMI.

$X_e$ (b.s.)	$q_{st}(\text{kJ/mol})^a$ Experimental <sup>b</sup>	$q_{st}(\text{kJ/mol})^a$ Calculado <sup>c</sup>
0,0599	-1,4081	-1,5318
0,0739	-3,1346	-1,5351
0,0858	-3,5642	-1,5378
0,1019	-3,5875	-1,5416
0,1165	-3,4071	-1,5450
0,1432	-2,9689	-1,5512

a: Los valores fueron calculados considerando un R de los gases ideales igual a  $8.314 \text{ kJ kmol}^{-1}\text{K}^{-1}$

b: Valores obtenidos por la ecuación de Clausius – Clapeyron.

c: Valores obtenidos por la ecuación de Tsami et al, (1990), calculado a un nivel de significancia del 5%.

Fuente: Elaboración propia (2014).

ANEXO 09: ENERGÍA DE ACTIVACIÓN  $E_a$  CALCULADOS A PARTIR DE LA ECUACIÓN DE ARRHENIUS, PARA LOS PARÁMETROS  $C_{GAB}$ ,  $X_m$  Y K (evaluados a un nivel de significancia del 5%).

ANEXO 9.1 Datos para el cálculo de la  $E_a$  de la  $X_m$

T(°C)	$X_m$	T(°K)	$\ln(X_m)$	$1/T(\text{K}^{-1})$
20	0,06583	293,15	-2,7207	0,0034
30	0,08335	303,15	-2,4847	0,0033
40	0,06224	313,15	-2,7768	0,0032

R =	0,0083	kJ/mol-K
- $E_a/R$ =	230,6638	
$E_a$ =	<b>1,9177</b>	kJ/mol



ANEXO 9.2: Datos para el cálculo de la  $E_a$  de la  $C_{GAB}$ .

$T(^{\circ}C)$	$C_{GAB}$	$T(^{\circ}K)$	$\ln(C_{gab})$	$1/T(K^{-1})$
20	55,21752	293,15	4,0113	0,0034
30	17,26301	303,15	2,8486	0,0033
40	18,90456	313,15	2,9394	0,0032

$$R = 0,008314 \text{ kJ/mol-K}$$

$$-E_a/R = 4981,372517$$

$$E_a = 41,41513111 \text{ kJ/mol}$$

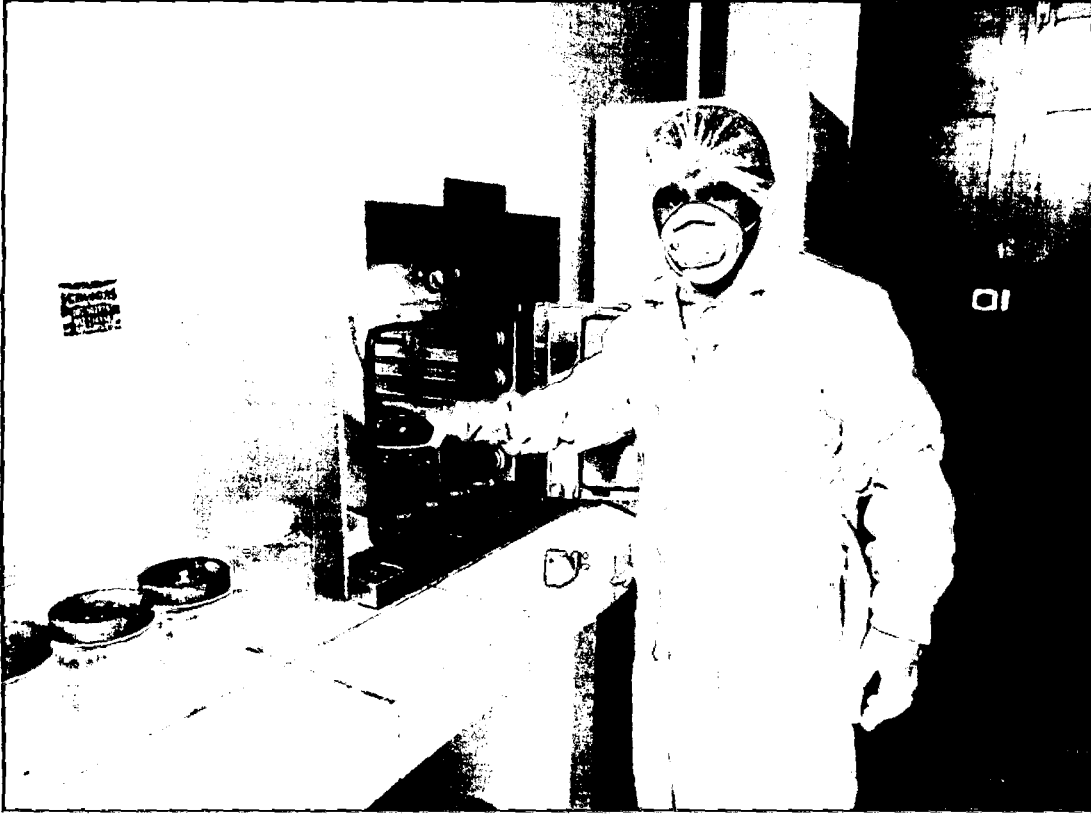
ANEXO 9.3: Datos para el cálculo de la  $E_a$  de la  $K_{GAB}$ .

$T(^{\circ}C)$	$K_{GAB}$	$T(^{\circ}K)$	$\ln(k_{gab})$	$1/T(K^{-1})$
20	0,86730	293,15	-0,1424	0,0034
30	0,71816	303,15	-0,3311	0,0033
40	0,91529	313,15	-0,0885	0,0032

$$R = 0,008314 \text{ kJ/mol-K}$$

$$-E_a/R = -225,3725$$

$$E_a = -1,8737 \text{ kJ/mol}$$



Fotografía tesista



Fotografía muestras placa Petri después del experimento



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

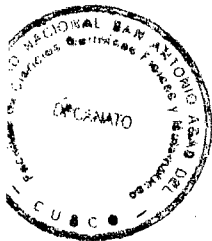
Av. de la Cultura 722  
Pabellón C - Of. 106

Apartado Postal 921 - Cusco Perú  
Teléfono - fax - modem: 224831

**UNIDAD DE PRESTACIONES DE SERVICIO DE ANALISIS QUIMICO  
DEPARTAMENTO ACADEMICO DE QUIMICA**

**INFORME DE ANALISIS**

Nº0174-13-LAQ



SOLICITANTE: JUSTINO OVALLE FCCORI

MUESTRA : PIJUAYO HARINA

FECHA : C/11/03/2013

RESULTADO ANALISIS FISICOQUIMICO:

Humedad %	11.44
Proteina %	5.46
Grasa %	6.52
Ceniza %	1.96
Fibra %	8.40
Carbohidratos %	74.62
Energía Kcal/100	345.40
Acidez % (Ac.Cítrico)	0.11
Carotenos mg/100	378.00

Cusco, 14 de Marzo 2013



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco  
Unidad de Prestación de Servicios Analíticos

Melquedes Herrera Arístida  
RESPONSABLE DEL LABORATORIO  
DE ANALISIS QUIMICO



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

## FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

Av. de la Cultura 722  
Pabellón C - Of. 106

Apartado Postal 921 - Cusco Perú  
Teléfono - fax - modem: 224831



### UNIDAD DE PRESTACIONES DE SERVICIO DE ANALISIS QUIMICO DEPARTAMENTO ACADEMICO DE QUIMICA INFORME DE ANALISIS

Nº0087-14-LAQ

SOLICITANTE: JUSTINO OVALLE FCCORI

MUESTRA : HARINA DE PIJUAYO

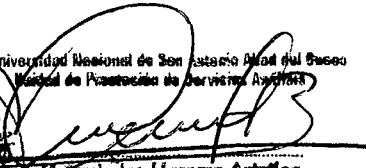
FECHA : C/17/02/2014

#### RESULTADO ANALISIS FISICOQUIMICO:

=====	
Humedad %	10.35
Proteina %	4.40
Grasa %	6.01
Ceniza %	1.31
Fibra %	8.46
Carbohidratos %	77.93
Granulometría:	
Retenido malla 60 ASTM %	64.00
Retenido malla 80 ASTM %	20.40
Retenido malla 100 ASTM %	8.80
Pasa malla 100 %	6.80
=====	

\*

Cusco, 20 de Febrero 2014

  
 Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco  
 Unidad de Prestación de Servicios Académicos  
 LABORATORIO DE ANALISIS QUIMICO  
 Mariquitos Herrera Arce  
 RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE ANALISIS QUIMICO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS, FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

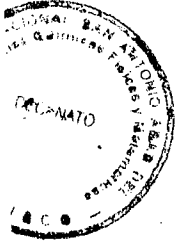
Av. de la Cultura 722  
Pabellón C - Of. 106

Apartado Postal 921 - Cusco Perú  
Teléfono - fax - modem: 224831

**UNIDAD DE PRESTACIONES DE SERVICIO DE ANALISIS QUIMICO  
DEPARTAMENTO ACADEMICO DE QUIMICA**

**INFORME DE ANALISIS**

Nº0173-13-LAQ



SOLICITANTE: JUSTINO OVALLE FOCORI

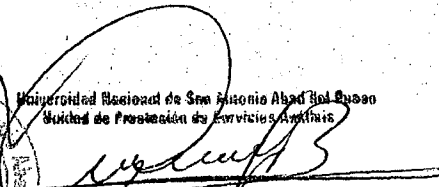
MUESTRA : PIJUAYO SANCOCHADO

FECHA : C/11/03/2013

RESULTADO ANALISIS FISICOQUIMICO:

Humedad %	47.71
Proteina %	3.05
Grasa %	3.82
Ceniza %	1.12
Fibra %	5.20
Carbohidratos %	44.30
Energía Kcal/100	202.98
Acidez % (Ac.Cítrico)	0.09
Carotenos mg/100	216.00

Cusco, 14 de Marzo 2013

  
 Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco  
 Unidad de Prestación de Servicios Analíticos  
**Melquiades Herrera Artoles**  
 RESPONSABLE DEL LABORATORIO  
 DE ANALISIS QUIMICO