

# EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DE SORCIÓN DE LA UCHUVA (*Physalis peruviana* L.)

## SORPTION THERMODYNAMICS PROPERTIES EVALUATION OF THE CAPE GOOSEBERRY (*Physalis peruviana* L.)

## SORÇÃO TERMODINÂMICA AVALIAÇÃO DAS PROPIEDADES GOOSEBERRY CAPE (*Physalis peruviana* L.)

FARID B. CORTÉS<sup>1</sup>, ANDRÉS BETANCOURT<sup>2</sup>, BENJAMIN ROJANO<sup>3</sup>, VERONICA LÓPEZ<sup>1</sup>, ERIKA ARENAS<sup>2</sup>

### RESUMEN

*El equilibrio de sorción de agua a diferentes temperaturas (25, 35, 50 y 60°C) en un rango de humedad relativa, de 0.10 a 0.85, se determinó para la uchuva usando un método gravimétrico estático. El calor isostérico y la energía libre de Gibbs se calcularon desde el equilibrio de sorción. Los modelos de GAB, BET, SMITH, el modificado de Halsey, el modificado Chung-Pfost, el modificado de Oswin y el modificado de Henderson fueron probados para ajustar los datos experimentales. El modelo GAB fue el más adecuado para describir las curvas de sorción. Los valores de contenido de humedad de la monocapa para la sorción a diferentes temperaturas fueron calculados usando el modelo BET. El calor isostérico decrece con el incremento en el contenido de humedad, mientras que la energía libre de Gibbs incrementa.*

---

**Recibido para evaluación:** 03/02/2011. **Aprobado para publicación:** 03/10/2011

- 1 Escuela de Química y Petróleos, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín
- 2 Facultad de Ingeniería Química, Escuela de Ingenierías, Universidad Pontificia Bolivariana
- 3 Laboratorio de Ciencias de los Alimentos, Escuela de Ciencias Básicas, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín

**Correspondencia:** fbcortes@unal.edu.co

## ABSTRACT

*The equilibrium sorption of water at different temperatures (25, 35, 50 and 60°C) at a relative humidity range, from 0.10 to 0.85, was determined using a static gravimetric method. Isotheric heat and Gibbs free energy were calculated from the sorption equilibrium. The models of GAB, BET, SMITH, the modified Halsey, modified Chung-Pfost on the modified Oswin and Henderson was tested to fit the experimental data. The GAB model is most appropriate to describe the sorption curves. The moisture content values for the monolayer adsorption at different temperatures were calculated using the BET model. Isotheric heat decreases with increasing moisture energy increases.*

## RESUMO

*O equilíbrio de sorção de água em diferentes temperaturas (25, 35, 35 e 60 ° C) em uma faixa de umidade relativa, entre 0,10 e 0,85, foi determinada utilizando um método estático gravimétrico. Isotérico de calor e energia livre de Gibbs foram calculados a partir do equilíbrio de sorção. Os modelos de GAB, BET, SMITH, o Halsey modificado, modificado Chung-Pfost na Oswin modificado e Henderson modificado foram testados para ajuste dos dados experimentais. O modelo GAB é o mais adequado para descrever as curvas de adsorção. Os valores de umidade para a adsorção em monocamada em diferentes temperaturas foram calculadas utilizando o modelo de BET. calor isotérico diminui com o aumento da umidade, enquanto o aumento da energia livre de Gibbs.*

## INTRODUCCIÓN

El agua en las frutas estimula diversas reacciones químicas que afectan su calidad [1, 2]. La actividad del agua en los productos alimenticios es equivalente a la humedad relativa del aire en equilibrio con el producto [1]. Determinar el estado del equilibrio termodinámico de sorción entre la humedad relativa del aire que circunda el adsorbente y la actividad de agua en la fruta, es un prerrequisito básico para entender los procesos de transferencia de masa [2].

Las isothermas de sorción, el calor isotérico de sorción y la energía libre de Gibbs son parámetros importantes en la ingeniería de los alimentos, en la modelación de los procesos de sorción y secado, además en el control de la calidad y estabilidad durante el almacenamiento de los alimentos [3, 4]. Estos parámetros además proveen información acerca de los mecanismos de sorción y las interacciones entre los componentes de los alimentos y el agua [5]. La energía requerida para los procesos de secado de la fruta y el cambio en la energía libre de Gibbs son obtenidos desde las isothermas de sorción.

En la literatura, hay muchos modelos matemáticos que describen el comportamiento de la sorción de agua en la comida [6, 7], los cuales son presentados en el trabajo de Lopes-Filho *et al.* [8] e Iglesias y Chirife [9]. Algunos de estos modelos están basados en las teorías de los mecanismos

### PALABRAS CLAVES:

Equilibrio de sorción, Calor isotérico, Energía libre de Gibbs de porción

### KEYWORDS:

Physalis, Equilibrium sorption, Isotheric heat, Gibbs free energy of sorption.

### PALAVRAS CHAVE:

Physalis, o equilíbrio de sorção, O calor isotérico, Energia livre de Gibbs de adsorção

de sorción, y otros son empíricos o semiempíricos [10]. El modelo más apropiado debe ser seleccionado por su grado de ajuste con los datos experimentales y el significado físico de sus parámetros. El modelo de Guggenheim, Anderson y Boer (GAB) [11], y el modelo de Brunauer, Emmet y Teller (BET) [12] son más usados debido a sus fundamentos teóricos [13, 14]. Sin embargo, el modelo BET tiene limitaciones por su rango de aplicación, debe estar entre 0.1 - 0.5 [15]. También hay otros modelos empíricos o semiempíricos que han sido usados por su grado de ajuste, tales como el modelo de Smith y los modificados de: Chung-Pfost, Halsey, Henderson y Oswin [9, 16-19].

Para este estudio se seleccionó la uchuva (*Physalis peruviana L.*) una fruta de gran importancia en la economía colombiana por su potencial agroindustrial debido a sus altos índices de exportación como fruta fresca o en diversos productos modificados. Es la fruta exótica más exportada en Colombia, con indicadores económicos que generan divisas por más de \$26,7 millones de dólares [20]. La uchuva tiene un alto contenido de compuestos volátiles potenciadores del sabor como los 3- y 5-hidroxyesteres y otros hidroxiesteres glicoconjugados [21, 22]. Además, cuenta con una excelente fuente de provitamina A y vitamina C, que ofrecen propiedades antioxidantes y un alto contenido de agua [23, 24].

Actualmente no existen estudios que reporten las propiedades del equilibrio termodinámico de sorción de la uchuva. Por lo tanto, el objetivo principal de este estudio fue determinar el efecto de la temperatura en las isothermas de sorción y en las propiedades termodinámicas de sorción (calor isostérico y energía libre de Gibbs) de agua en la uchuva en un rango de temperatura de los 25-60°C. Además se evaluaron siete modelos de isothermas de sorción disponibles en la literatura.

## MÉTODO

### Materiales

La uchuva fresca fue comprada en un Mercado local. Las muestras fueron lavadas en agua clorada (50 ppm cloro activo) y cortada en cilindros. Las muestras preparadas fueron usadas directamente para obtener las isothermas de sorción.

Las sales higroscópicas usadas en la obtención de las isothermas de sorción como: el cloruro de sodio (NaCl), cloruro de potasio (KCl), acetato de potasio (CH<sub>3</sub>COOK), cloruro de litio (LiCl), bromuro de sodio (NaBr), nitrato de sodio (NaNO<sub>3</sub>), carbonato de potasio (K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), acetato de sodio (CH<sub>3</sub>COONa) fueron desarrollados por Merck (Darmstadt, Germany). El Agua desionizada (Millipore, Bedford, MA).

### Método Gravimétrico estático (isothermas de sorción)

Las muestras frescas de uchuva se usaron en el montaje experimental de sorción. Las isothermas de desorción de agua fueron obtenidas a partir del método gravimétrico a 25, 35, 50 y 60° C. El método determina el contenido de humedad de la uchuva a diferentes actividades de agua para cada una de las temperaturas evaluadas. Se prepararon siete soluciones saturadas de las sales (LiCl, CH<sub>3</sub>COOK, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, NaBr, NaNO<sub>3</sub>, NaCl y KCl) en el rango de actividades de aguas entre 0,10 y 0,85 a diferentes temperaturas. Las muestras de uchuva fueron localizadas en recipientes plásticos herméticos, como se describe en estudios previos [25]. Los experimentos se realizaron por triplicado para cada una de las muestras. Los recipientes plásticos para la sorción fueron colocados en una cabina con temperatura controlada a 25, 35, 50 y 60°C ± 1°C, respectivamente. Las muestras fueron pesadas periódicamente antes de llegar al equilibrio. Este punto es encontrado cuando la diferencia en peso entre tres medidas consecutivas no excede el 0.01%. El tiempo requerido para lograr el equilibrio fue de 50 días.

### Modelo Matemático

**Isothermas.** Varios modelos se han utilizado en la literatura para correlacionar las isothermas de sorción de vapor de agua en los alimentos [7, 8]. En este trabajo, fueron seleccionados siete modelos para describir el equilibrio de sorción de la uchuva: GAB [11], BET [12], Smith [16], modificado por Chung-Pfost [17], modificado por Halsey [9], modificado por Henderson [18] y el modificado de Oswin [19]. Estos modelos se presentan en el Cuadro 1.

El modelo de GAB [11], ha sido ampliamente usado para correlacionar los datos experimentales de adsorción de equilibrio de los alimentos debido a su base teórica. Este

**Cuadro 1.** Modelos para isotermas de sorción

Autor	Ecuación
GAB [21]	$X = \frac{\alpha X_m K A_w}{(1 - K A_w)[1 + (\alpha - 1) K A_w]}$
BET [22]	$X = \frac{X_m \cdot \alpha \cdot A_w}{(1 - A_w) \cdot (1 + (\alpha - 1) \cdot A_w)}$
Smith [26]	$X = A \text{Log}(1 - A_w) + B$
Modificado de Chung-Pfost [27]	$A_w = \exp\left[\frac{-A}{T+B} \exp(-CX)\right]$
Modificado de Halsey [19]	$A_w = \exp\left[\frac{-\exp(A+BT)}{X^C}\right]$
Modificado de Oswin [29]:	$A_w = (A+BT) \left(\frac{X}{1-X}\right)^C$
Modificado de Henderson [28]	$1 - A_w = \exp[-A(T+B)X^C]$

modelo es una modificación del modelo de BET [12]. En los modelos utilizados,  $X$  es el contenido de humedad en equilibrio,  $X_m$  es el contenido de humedad en base seca para la monocapa,  $A$ ,  $B$  y  $C$  son los parámetros de ajuste para cada uno de los modelos mencionados y  $T$  es la temperatura en equilibrio.  $K$  es una constante relacionada con el efecto de la temperatura (ver ecuaciones (1) y (2)).

$$K = K_0 \exp\left(\frac{\Delta H_k}{RT}\right) \text{ Donde } \Delta H_k = L_T - H_n \quad (\text{Ec.1})$$

$$\alpha = \alpha_0 \exp\left(\frac{\Delta H_\alpha}{RT}\right) \text{ Donde } \Delta H_\alpha = H_m - H_n \quad (\text{Ec.2})$$

Donde,  $\Delta H_k$  y  $\Delta H_\alpha$  son funciones de la sorción de agua:  $\Delta H_\alpha = H_m - H_n$  y  $\Delta H_k = L_T - H_n$ . En las ecuaciones (1) y (2),  $K_0$  es una constante de ajuste para la temperatura, y  $H_m$  y  $H_n$  son los calores de sorción de monocapa y multicapa, respectivamente. Finalmente,  $L_T$  es el calor latente de vaporización del agua pura.

## Propiedades Termodinámicas de Sorción

La energía de sorción es la energía requerida o disipada durante el proceso de desorción o adsorción, respectivamente [26, 27]. Esta propiedad energética puede ser calculada a partir del equilibrio termodinámico establecido entre la fase condensada y el gas usando la ecuación de Clapeyron para el equilibrio de sorción. Esta propiedad es expresada termodinámicamente de la siguiente manera [26]:

$$Q = \left(\frac{v_n}{v_g} - 1\right) RZ \left(\frac{\partial \ln P}{\partial (1/T)}\right)_x = H_g - \overline{H}_n \quad (\text{Ec.3})$$

donde,  $P$  y  $T$  son la presión y la temperatura de equilibrio, respectivamente.  $R$  es la constante de los gases,  $Z$  es el factor de compresibilidad ( $Z = 1$  para gas ideal and  $Z \neq 1$  para gas real), y  $v_n$  y  $v_g$  representa el volumen parcial de las especies adsorbidas y la fase gaseosa.  $H_g$  y  $\overline{H}_n$  son la entalpia molar de la fase gaseosa y la entalpia molar de la fase adsorbida, respectivamente. Si se desprecia el volumen molar de la fase condensada y la fase gaseosa, y se considera esta última como gas ideal se obtiene la ecuación de Clausius-Clapeyron [28]:

$$Q = -R \left(\frac{\partial \ln A_w}{\partial (1/T)}\right)_x = H_g - \overline{H}_n \quad (\text{Ec.4})$$

El calor isostérico obtenido mediante la ecuación de Clausius-Clapeyron es independiente de la temperatura y de la presión, y es calculada con base en la pendiente de una línea recta (condición isostérica) basada en

la relación " $\ln A_w$ " vs. " $1/T$ ". De un grupo de datos isostéricos experimentales para un alimento, es posible evaluar el calor isostérico de sorción usando la ecuación (4). Basado en las semejanzas de los procesos de adsorción y condensación, los cambios de la energía libre de Gibbs pueden ser determinados

[29]. Esta relación está basada en el equilibrio que presenta la fase gaseosa y la fase adsorbida; la cual está representada por:

$$\Delta G = \bar{R}T \ln \left( \frac{P}{P_s} \right) = -A \quad (\text{Ec.5})$$

donde,  $P_s$  es la presión de saturación,  $A$  es el trabajo molar de sorción, la cual es una función de la temperatura, saturación y presión de equilibrio.  $\Delta G$  Es la energía libre de Gibbs.

### Análisis Estadístico

La identificación de los parámetros para cada uno de los modelos fue presentado usando el método del gradiente optimizado. La función objetivo fue seleccionada para minimizar las diferencias entre la humedad teórica y la experimental. La calidad del ajuste de los modelos utilizados fueron evaluados usando los resultados del coeficiente de correlación ( $r$ ), error cuadrático promedio ( $MRE\%$ ) y la medida del error estándar ( $SEM$ ).

$$RME\% = \frac{100}{n} * \sum_1^n \left| \frac{X_{\text{exp}} - X_{\text{cal}}}{X_{\text{exp}}} \right| \quad (\text{Ec.6})$$

$$SEM = \sqrt{\frac{\sum_1^n (X_{\text{exp}} - X_{\text{cal}})^2}{d_f}} \quad (\text{Ec.7})$$

Donde,  $X_{\text{exp}}$  y  $X_{\text{cal}}$  son las humedades experimentales y calculadas, respectivamente, y  $n$  es el numero de observaciones.

## RESULTADOS

### Isotermas de sorción ajustado con modelos

La Figura 1 muestra las isotermas experimentales para la uchuva a 25, 35, 50 y 60°C, en un rango de

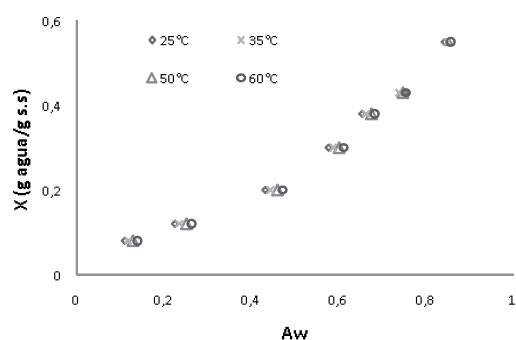
actividades del agua entre 0,10 y 0,85, y la humedad en el equilibrio en 0,08 y 0,55 (g agua/g seco).

La humedad en el equilibrio incrementa cuando hay una disminución de la temperatura a una actividad de agua constante. Para analizar el efecto de la temperatura, las isotermas de sorción fueron ajustadas usando los modelos de BET [12] y Smith [16] para cada una de las temperaturas.

Los parámetros identificados para las isotermas de sorción son presentados en los cuadros 2 y 3, y las curvas calculadas se muestran en la Figura 2.

Los comportamientos encontrados experimentalmente y descritos por los modelos de BET [12] y Smith [16] son típicos de los alimentos [9, 15]. Como se reportó en el Cuadro 2, la humedad contenida en la monocapa ( $X_m$ ) se calculó por una regresión no lineal usando el modelo de BET [12], la cual fue casi constante a bajas temperaturas (por debajo de 35°C), contrario a lo que se reportó a temperaturas mayores o iguales a 50°C. De hecho, el supuesto es que los sitios de sorción activa son fijos pero pueden disminuir debido a la interacción entre las moléculas del agua (tipo enlaces de hidrogeno), que se ven afectados por la temperatura [30]. En los Cuadros 2 y 3 se muestran los parámetros y el error promedio relativo para cada uno de los modelos (BET y Smith). Los resultados del ajuste (Cuadros 2 y 3) mostraron que los parámetros dependen de la temperatura, que a pesar de tener una tendencia bien definida nunca se estabilizó. En todos los casos evaluados la regresión no lineal es un buen ajuste, el coeficiente de correlación fue superior a 0,99. Los modelos que mejor se ajustaron a los datos

**Figura 1.** Isoterma de sorción experimental para la uchuva a 25, 35, 50 y 60°C.

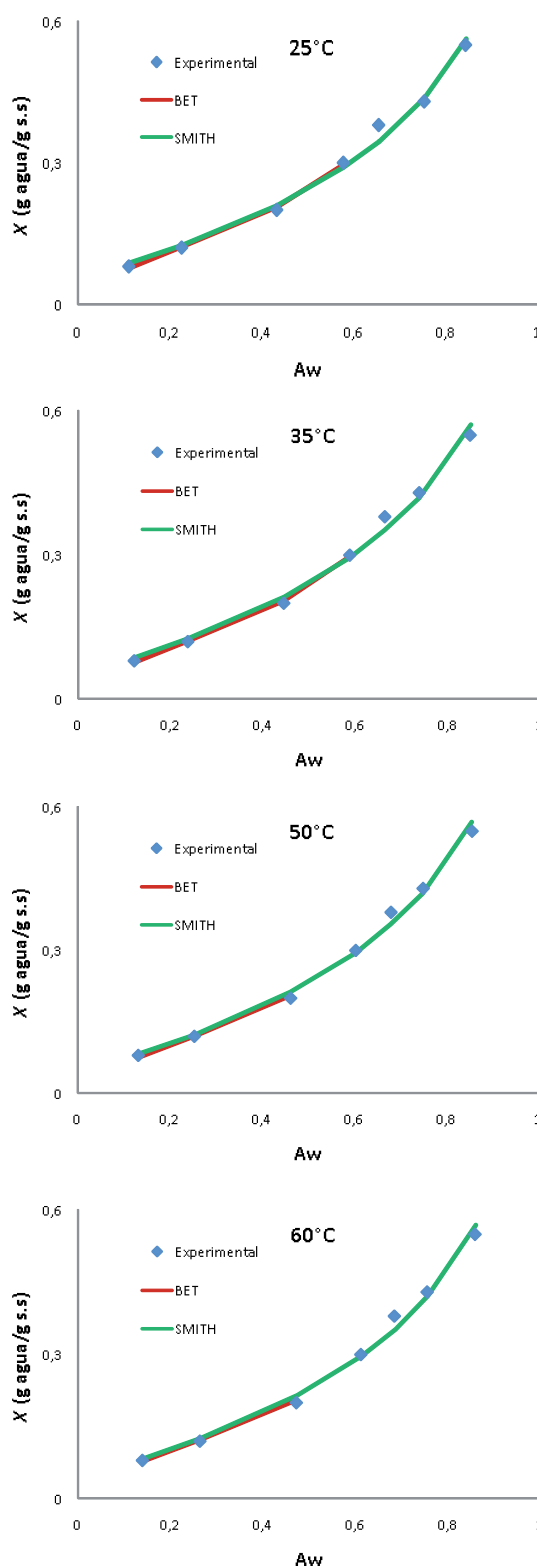


experimentales fueron el de BET [12] seguido por el de Smith [16]. El modelo BET reportó un *MRE%* y *SEM* de 3,1% y 0,0091. Sin embargo, el modelo de Smith [16] representó los datos experimentales de sorción para todo el rango evaluado de actividades del agua debido a la restricción impuesta por el modelo de BET [12].

Para observar la influencia de la temperatura en la isoterma, los datos experimentales fueron correlacionados con los modelos GAB [11], modificado de Chung-Pfost [17], modificado de Halsey [9], modificado de Henderson [18] y modificado de Oswin [19], y los parámetros resultaron ser independientes de la temperatura. Los resultados de la regresión no lineal son presentados en el Cuadro 4 y los parámetros para el modelo GAB [11] en el Cuadro 5.

El contenido de humedad obtenido a partir de los modelos fue comparado con los parámetros estadísticos incluyendo el coeficiente de correlación (*r*), el error relativo promedio (*MRE%*) y el error estándar (*SEM*). Sin embargo, el modelo GAB [11] tenía el valor más alto de *r* y más bajo de *MRE%* y *SEM* de todos los

**Figura 2.** Comparación de las isotermas de sorción experimentales y las calculadas por el modelo de BET y el modelo de Smith a 25, 35, 50 y 60°C.



**Cuadro 2.** Parámetros calculados para el modelo BET a 25, 35, 50 y 60°C.

T (°C)	X <sub>m</sub>	A	MRE%	SEM	r
25	0,1368	7,8092	3,06	0,0091	0,997
35	0,1339	7,3526	2,61	0,0082	0,998
50	0,1289	7,0706	2,37	0,0074	0,998
60	0,1260	6,8507	2,18	0,0069	0,998

**Cuadro 3.** Parámetros calculados para el modelo Smith a 25, 35, 50 y 60°C.

T (°C)	α	B	MRE%	SEM	r
25	-0,2745	0,05469	4,80	0,020	0,990
35	-0,2768	0,05008	4,62	0,020	0,991
50	-0,2723	4,49745	4,02	0,018	0,992
60	-0,2697	4,2042	3,94	0,019	0,992

**Cuadro 4.** Parámetros calculados para 4 modelos independiente de la temperatura ( $r$ ,  $MRE\%$ ,  $SEM$ )

Modelo	A	B	C	MRE%	SEM	r
Modificado Oswin	0,2584	-3,79E-4	0,4938	8,33	2,80	0,980
Modificado Halsey	-2,5767	-2,65E-3	1,6040	16,2	13,6	0,955
Modificado Henderson	6,94E-2	1,2531	5,32E2	5,87	1,32	0,991
Modificado Chung-Pfost	977,93	315,58	5,252	10,19	2,10	0,983

**Cuadro 5.** Parámetros calculados para el modelo GAB

Modelo	Parámetros					MRE	SEM	r
GAB	$X_m$ 0,2310	$K_0$ 0,7607	$\alpha_0$ 2,4198	$\Delta H_\alpha$ (kJ/kg) 5,2219	$\Delta H_k$ (kJ/kg) -0,1060	5,74	1,13	0,992

modelos probados. En la Figura 3 se muestra una ligera diferencia entre los datos experimentales evaluados con los diferentes modelos, principalmente en la región de baja humedad debido a la dificultad en la medición del equilibrio de sorción.

Al comparar los ajustes de los cinco modelos probados, el modelo GAB [11] presentó el mejor ajuste con respecto a los datos experimentales de equilibrio de sorción para la Uchuva. Este modelo es también útil para los investigadores por que sus parámetros tienen un significado físico y permiten comparaciones con otros alimentos [31]. En este sentido, el Cuadro 5 muestra el valor positivo de  $\Delta H_\alpha$  (5,2219 kJ/kg), lo que indica que la energía de enlace entre las moléculas de agua en la monocapa y el alimento fue mayor que los enlaces formados por las moléculas de agua en la multicapa.  $\Delta H_k$  fue negativo (-0,1060 kJ / kg) y casi cero, mostrando que los enlaces entre las moléculas de agua fueron un poco mas fuertes que los enlaces formados en la multicapa y un calor mas alto de vaporización [32]. Una discusión mas detallada de la interacción de los enlaces entre las moléculas del agua y la fruta será tratada con el calor isostérico de sorción.

## Propiedades termodinámicas

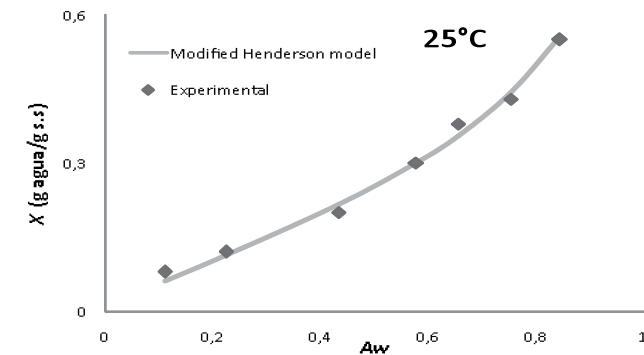
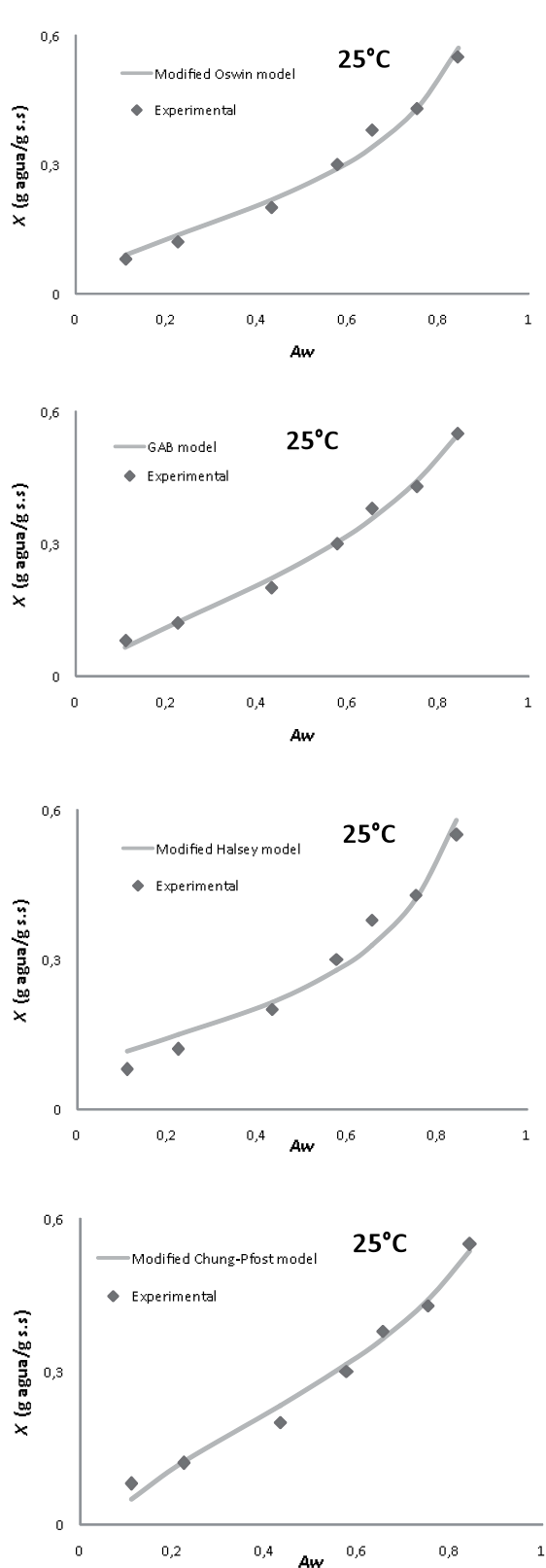
El calor isostérico fue obtenido a partir de la pendiente de las isostéras a diferentes humedades en el equilibrio. Los diferentes valores isostéricos se derivaron de las isotermas de sorción experimentales a 25, 35, 50 y 60°C (Figura 4).

Los valores de los calores isostéricos basados en la humedad de la fruta en el equilibrio se muestran en la Figura 4, los cuales disminuyen a medida que se aumentó la humedad, especialmente a humedades bajas (<0,2 g agua/g base seca). Esto indica que las moléculas de agua fueron fuertemente retenidas por la posible presencia de sitios activos.

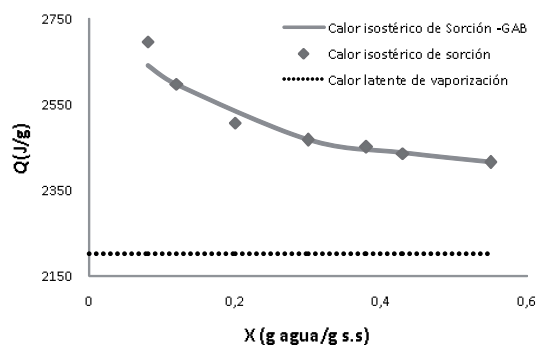
En altos contenidos de humedad (>0,2 g agua/g db), los valores del calor isostérico están cerca al calor de evaporación de agua debido a que las interacciones entre las moléculas de agua y la matriz sólida se diluyeron por la presencia de puentes de hidrogeno, que fueron menores que los reportados para enlaces con sitios activos [30]. El comportamiento, descrito por el calor isostérico en función de la humedad de la uchuva, es característico de las frutas y los alimentos. Adicionalmente, se calculó el calor isostérico de sorción



**Figura 3.** Comparación de las isothermas de sorción experimentales y calculadas por 4 modelos.



**Figura 4.** Calor Isostérico de Sorción para la Uchuva



basado en modelo GAB [11]. Los valores de actividad fueron calculados usando los parámetros a diferentes condiciones experimentales de temperaturas y una humedad constante (Cuadro 5).

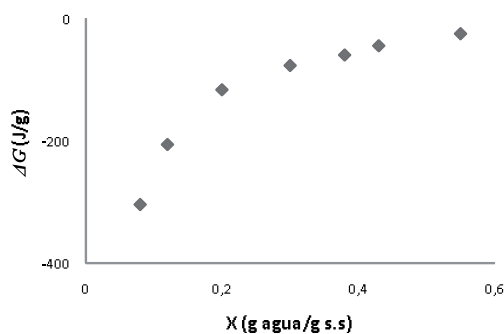
La Figura 4 muestra la comparación del calor isostérico experimental y el teórico basado en el modelo GAB [11]. Los resultados teóricos están de acuerdo con los datos experimentales, con un error cuadrático promedio de menos de 1%. Los resultados para la uchuva coinciden con los reportados para otras frutas [4, 32].

La energía libre de Gibbs de sorción es un criterio que define el estado de espontaneidad de los procesos termodinámicos. Cada punto de humedad en equilibrio tiene un valor mínimo y negativo de energía libre de Gibbs. A medida que incrementa la cantidad adsorbida de agua en la superficie de la matriz alimenticia, la energía libre de Gibbs tiende a cero. En este caso, las fuerzas intermoleculares dominantes dentro del proceso son las interacciones fluido-fluido. Este



resultado refleja la consistencia termodinámica de los datos experimentales. Valores negativos de  $\Delta G$  (baja humedad) muestra un fuerte proceso de sorción exotérmico que las humedades más altas, debido a las interacciones de sitios activos altamente energéticos en la superficie de la uchuva (Figura 5).

Figura 5. Energía libre de Gibbs para la Uchuva



## CONCLUSIONES

Las humedades de las isothermas de sorción de la uchuva a 4 temperaturas (25, 35, 50 y 60°C) y los diferentes niveles de humedad relativa fueron determinados mediante el uso del método gravimétrico estático. El contenido de humedad en el equilibrio aumenta con la disminución de la temperatura con una humedad relativa constante.

Además, la dependencia de la temperatura de las isothermas de sorción se podría predecir con una exactitud razonable. Entre los modelos de sorción elegidos para ajustarse a las curvas de sorción, la ecuación de GAB [11] es la que mejor describe las isothermas de sorción de la uchuva. Los valores de humedad de la monocapa para la desorción a diferentes temperaturas se determinaron mediante una ecuación modificada de BET. El calor de sorción de los frutos de uchuva disminuyó con un aumento en el contenido de humedad, mientras que la energía libre de Gibbs se incrementó con el aumento de la humedad.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a COLCIENCIAS, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín y a la Universidad

Pontificia Bolivariana sede Medellín por el apoyo logístico y financiero.

## REFERENCIAS

- [1] LAHSASNI, S. y FLIYOU, M. Adsorption-desorption isotherms and heat of sorption of prickly pear fruit (*Opuntia ficus indica*), *Energy Conversion and Management*, 45, 2004, p. 249-261.
- [2] COMAPOSADA, J., GOU, P. y ARNAU, J. The effect of sodium chloride content and temperature on pork meat isotherms, *Meat Science*, 55, 2000, p. 291-295.
- [3] LAHSASNI, S., KOUHILA, M., MAHROUZ, M. y FLIYOU, M. Moisture adsorption-desorption isotherms of prickly pear cladode (*Opuntia ficus indica*) at different temperatures, *Energy Conversion and Management*, 44, 2003, p. 923-936.
- [4] MULET, A., GARCÍA-PASCUAL, P., SANJUÁN, N. y GARCÍA-REVERTER, J. Equilibrium isotherms and isosteric heats of morel (*Morchella esculenta*), *Journal of Food Engineering*, 53, 2002, p. 75-81.
- [5] GABAS, A.L., MENEGALLI, F.C., y TELIS-ROMERO, J. Water sorption enthalpy-entropy compensation based on isotherms of plum skin and pulp, *Journal of Food Engineering*, 65, 2000, p. 680-684.
- [6] BELGHIT, A. y BENNIS, A. Experimental analysis of the drying kinetics of cork, *Energy Conversion and Management*, 50, 2009, p. 618-625.
- [7] IGLESIAS, H. A. y CHIRIFE, J. Handbook of food isotherms: Water sorption parameters for food and food components. 1st ed., Academic Press, New York, 1982.
- [8] LOPES-FILHO, J.F., ROMANELLI, P.F., BARBOZA, S.H.R., GABAS, A.L. y TELIS-ROMERO, J. Sorption Isotherms of Alligator's Meat (*Caiman crocodrilus yacare*). *Journal of Food Engineering*, 19, 2002, p. 119-126.
- [9] IGLESIAS, H. y CHIRIFE, J., Prediction of effect of temperature on water sorption isotherms of food materials, *Journal of Food Technology*, 11, 1976, p. 107-113.
- [10] AVIARA, N.A., AJIBOLA, O. ONI, S.A. Sorption Equilibrium and thermodynamic Characteristics of Soya Bean. *Biosystems Engineering*, 87, 2004, p. 179-190.
- [11] VAN DEN BERG, C. Description of water activity of food engineering purposes by means of the

- GAB model of sorption. In McKenna BM. (eds), *Engineering foods*, Elsevier, New York, (1984).
- [12] BRUNAUER, S., EMMETT, P.H. y TELLER, E. Adsorption of gases in multi-molecular layers. *Journal of the American Chemical Society*, 60, 1938, p. 309–19.
- [13] RAHMAN, S. *Food properties handbook*. CRC Press, Inc, Florida, 1995.
- [14] MCMINN, W.A.M. y MAGEE, T.R.A. Thermodynamic properties of moisture sorption of potato, *Journal of Food Engineering*, 60, 2003, p. 157-165.
- [15] LABUZA, T.P. Sorption phenomena in foods. *Food technology*, 23, 1968, p. 15–9.
- [16] SMITH, S.E. The sorption of water vapour by high polymers, *Journal of the American Chemical Society*, 69, 1947, p. 646.
- [17] PFOST, H.B., MOURER, S.G., CHUNG, D.S. and Milliken G.A., Summarizing and reporting equilibrium moisture data for grains. In *ASAE*, 76, 1976, p. 3520.
- [18] THOMPSON, T.L., PEART, R.M. y FOSTER, G.H. Mathematical simulation of corn drying, a new model. *Trans ASAE*, 11, 1986, p. 582–586.
- [19] OSWIN, C.R. The kinetics of package life. III. Isotherm. *Journal Society Chemistry Industrial*, 65, 1946, p. 419–421.
- [20] Legiscomex. [www.legiscomex.com](http://www.legiscomex.com). Last accessed 13 MARZO DE 2012
- [21] BERGER, R.G., DRAWERT, F. y KOLLMANNBERGER, H. The flavour of Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.). *Z. Lebensm. Unters. Forsch.* 188, 1989, p. 122–126.
- [22] MAYORGA, H., DUQUE, C., KNAPP, H., WINTERHALTER, P. Hydroxyester disaccharides from fruits of Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.), *Phytochemistry*, 59, 2002, p. 439–445.
- [23] GUTIÉRREZ, T.M., HOYOS, O.L. y PÁEZ, M.I. Ascorbic acid determination in Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.), for high-performance liquid chromatography (HPLC). *Revista de la Facultad de Ciencias Agropecuarias*, 15, 2007, p. 70-79.
- [24] AGUAYO, E. Effects of calcium ascorbate treatments and storage atmosphere on antioxidant activity and quality of fresh-cut apple slices, *Postharvest Biology and Technology*, 57, 2007, p. 52–60.
- [25] KAYMAK-ERTEKIN, F. y SALTANOGLU, M. Moisture sorption isotherm characteristics of peppers. *Journal of Food Engineering*, 47, 2001, 225–233.
- [26] CORTÉS, F.B., CHEJNE, F. CARRASCO-MARÍN, F., MORENO-CASTILLA, C. y PÉREZ-CADENAS, A. F. Water adsorption on zeolite 13X: Comparison of the two methods based on mass spectrometry and thermogravimetry. *Adsorption*, doi:10.1007/s10450-010-9206-5, 2010
- [27] CORTÉS, F.B., CHEJNE, F., MEJÍA, J.M. y LONDOÑO, C. Mathematical model of the sorption phenomenon of methanol in activated coal, *Energy Conversion and Management*, 50, 2009, p. 1295-1303.
- [28] CORTÉS, F.B. y CHEJNE, F. A rapid and novel approach for predicting water sorption isotherms and isosteric heats of different meat types, *Meat Science*, 2010, doi:10.1016/j.meatsci.2010.07.017
- [29] POLANYI, M. Adsorption von Gasen (Dampfen) durch ein festes nichtfluchtiges Adsorbens, *Verhandlungen der Deutschen Physekalischen Gesellschaft* 18, 1916, p. 55-80.
- [30] GARCIA-PEREZ, J., CARCEL, J., CLEMENTE, G., MULET, A. Water sorption isotherms for lemon peel at different temperatures and isosteric heat. *LWT- Food Science and Technology*, 41, 2008, p. 18-25.
- [31] TIMMERMAN, E.O., CHIRIFE, J. e IGLESIAS, H.A. Water sorption isotherms of foods and foodstuffs: BET or GAB parameters? *Journal of Food Engineering*, 48, 2001, p.19–31.
- [32] MULET, A., GARCIA-REVERTER, J., SANJUAN, R. y BON, J. Sorption isosteric heat determination by thermal analysis and sorption isotherms. *Journal of Food Science*, 64, 1999, p. 64–68.