

MODELADO DE LAS ISOTERMAS DE DESORCIÓN DEL ÑAME (*Dioscorea rotundata*)

MODELS OF DESORPTION ISOTHERMS OF YAM (*Dioscorea rotundata*)

EVERALDO MONTES

Ingeniero Químico, M Sc, Universidad de Córdoba, emontes@sinu.unicordoba.edu.co

RAMIRO TORRES

Ingeniero Químico, Esp. Grupo de Investigaciones en Procesos Agroindustriales, Universidad de Córdoba

RICARDO ANDRADE

Ingeniero Químico, Esp. Grupo de Investigaciones en Procesos Agroindustriales, Universidad de Córdoba

OMAR PÉREZ

Ingeniero Químico, M Sc. Grupo de Investigaciones en Procesos Agroindustriales, Universidad de Córdoba

JOSÉ MARIMON

Ingeniero de Alimentos, Universidad de Córdoba, joseph21_3@hotmail.com

ISABEL MEZA

Ingeniera de Alimentos, Universidad de Córdoba, imeza@estudiantes.unicordoba.edu.co

Recibido para revisar febrero 5 de 2008, aceptado abril 16 de 2008, versión final abril 24 de 2008

RESUMEN: Se determinaron experimentalmente los valores de contenido de humedad de equilibrio para ñame (*Dioscorea rotundata* variedades 9811-089 y 9811-091) a las temperaturas de 45, 55 y 70 °C y humedades relativas entre 10 y 67%. Las muestras se adecuaron en rodajas de 6.38 cm de diámetro y 0.5 cm de espesor. Se empleó la técnica experimental del método dinámico para determinar las isotermas de desorción. Los datos obtenidos fueron analizados para cada temperatura, determinándose las isotermas para las variedades estudiadas, las cuales fueron estadísticamente iguales entre sí para una misma temperatura. Las isotermas de desorción fueron ajustadas a los modelos matemáticos de GAB, BET, Smith, Oswin, Henderson y el modelo de Peleg y se determinó que el modelo de Peleg es el más adecuado para correlacionar los datos obtenidos.

PALABRAS CLAVE: *Dioscorea rotundata*, humedad de equilibrio, modelo de Peleg, Curva de desorción.

ABSTRACT: It has been experimentally determined the equilibrium moisture content values for yam (*Dioscorea rotundata* 9811-089 and 9811-091) at 45, 55 and 70°C temperatures and moistures between 10 and 67%. Samples were adapted to 6.38 cm diameter and 0.5 cm thickness slices. Employing the experimental technique of dynamic method to determine the desorption isotherm. Obtained data were analyzed for each temperature, being determined isotherms for the studied varieties, which were statistically equal to each other at the same temperature. Desorption isotherms were fixed to GAB, BET, Smith, Oswin, Henderson and Peleg mathematic models and was determined that the Peleg model is the most adequate for correlate the obtained data.

KEYWORDS: *Dioscorea rotundata*, equilibrium moisture, Peleg model, desorption curve.

1. INTRODUCCIÓN

El ñame pertenece a la familia *Discoreaceae*, genero *Dioscorea*. Se encuentra distribuido en las regiones tropicales de alta pluviosidad, contiene fécula abundante y constituye un importante alimento en las regiones tropicales [1, 2, 3]; Una vez cosechado este tubérculo, contiene entre 50 y 80 % de humedad, lo cual lo hace susceptible al deterioro [4], hecho que sumado a un bajo nivel tecnológico provoca importantes pérdidas poscosecha (20 - 30%), en especial durante el almacenamiento [1, 5].

La producción mundial de ñame se ha incrementado desde el año 1998, tanto en valor como en volumen en forma constante hasta alcanzar un total de 48.674.430 ton en el 2005 [6]; consecuentemente, se hace necesario obtener mayor información sobre los aspectos de procesamiento y almacenamiento que disminuyan las pérdidas de este promisorio tubérculo y permitan generarle un valor agregado.

Una importante alternativa para prolongar el periodo de vida útil del ñame, es la deshidratación; no obstante, se desconocen muchos aspectos relacionados con la cinética de secado del ñame, en especial con las isotermas de desorción, las cuales no son mas que la relación de equilibrio que vincula el contenido de agua de un producto con la temperatura y humedad del aire circundante [7].

La humedad de equilibrio de un alimento en función de la humedad relativa del aire, es una información muy útil para los procesos de secado, preservación y acondicionamiento de los materiales alimenticios; además, facilita estructurar sistemas de almacenamiento, rehidratación y determinar la estabilidad de un gran número de alimentos [8, 9].

En la actualidad las teorías de la estructura de sólidos y de los fenómenos superficiales no permiten predecir la variación del contenido de humedad de equilibrio de diversos materiales con base en los principios fundamentales. No obstante, se ha intentado correlacionar los datos experimentales mediante modelos matemáticos,

los cuales proporcionan resultados satisfactorios en ciertos rangos de actividad de agua y ciertos tipos de alimentos; debido a las limitaciones que ofrecen estos modelos, se hace necesario determinar los contenidos de humedad de equilibrio por vía experimental, bien sea empleando el método dinámico o el método estático [10, 11].

En este trabajo se determinaron las curvas de humedad de equilibrio del ñame *D. rotundata* variedades 9811-089 y 9811-091, adecuadas en geometrías de rodajas, mediante el método dinámico y se correlacionaron los datos obtenidos a los modelos matemáticos de GAB, BET, Oswin, Smith, Henderson y Peleg.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Obtención y adecuación de la muestra

Los tubérculos de ñame de la variedad *Dioscorea Rotundata* (9811-091, 9811- 089) fueron suministrados por el banco de germoplasma del Programa de Biotecnología Agrícola (PBA) de la facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Córdoba. Las muestras fueron sometidas a procesos de: Selección y clasificación (desechando los tubérculos en mal estado y utilizando tubérculos de tamaños y formas similares), lavado superficial, pelado (eliminando la cáscara utilizando cuchillos), corte en rodajas de radio y espesor de 3.19 y 0.5 cm. respectivamente) y por ultimo se pesaron.

2.2 Equipos y procedimiento

Se utilizó una cámara de secado experimental, provista de un ventilador Blower de 1/4 HP para forzar el aire de secado, un sistema de calefacción compuesto por dos resistencias en alambre de 110V con recubrimiento en acrílico puestas en C, un sistema de control automático de temperatura (Makthermo Mc-17), un sistema de control de humedad (Full Gauge Mt-530R) compuesto por una resistencia y una unidad de refrigeración de 1/5 HP. Además el equipo

cuenta con dos bandejas de acero inoxidable de dimensiones 40x30x2cm.

Se utilizó una balanza analítica (Mettler PS4000 con exactitud $\pm 0,01$ g), un termohigrómetro (Durotherm con escala de -10 a 50°C y exactitud $\pm 1^\circ\text{C}$; Humedad relativa con exactitud $\pm 1\%$), una tajadora empleada para asegurar la homogeneidad del espesor de las muestras estudiadas y moldes de acero inoxidable.

2.3 Humedad inicial

Previo a los ensayos de humedad de equilibrio se determinó la humedad inicial del ñame por el método de estufa a 105 °C durante 24 horas [12].

2.4 Curvas de humedad de equilibrio

Para la obtención de los datos de humedad de equilibrio se empleó el método dinámico [13]. Los datos experimentales fueron obtenidos a las temperaturas de 45, 55 y 70°C y humedades relativas comprendidas entre 10 y 64 % para las variedades de *Dioscorea rotundata* (9811-089 y 9811-091) adecuadas en rodajas. Los datos se registraron cada dos horas hasta alcanzar el equilibrio (peso constante), manteniendo constante la velocidad y la humedad relativa del aire de secado.

Se graficó el contenido de humedad de equilibrio en base seca contra la humedad relativa del aire, para obtener las curvas de humedad de equilibrio [14]. Los datos experimentales fueron ajustados a los modelos matemáticos de GAB, BET, Oswin, Smith, Henderson y Peleg (Tabla 1), seleccionando el mejor modelo teniendo en cuenta los criterios estadísticos: coeficiente de determinación, error medio estimado (1) y desvío medio relativo (2) y utilizando análisis de regresión no lineal para estimar las constantes de los modelos.

$$SE = \sqrt{\left(\frac{\sum (V_{\text{exp}} - V_p)^2}{GRL} \right)} \quad (1)$$

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|V_{\text{exp}} - V_p|}{V_{\text{exp}}} \quad (2)$$

donde P es el desvío medio relativo (%), SE es el error medio estimado, V_{exp} es el valor obtenido experimentalmente, V_p es el valor obtenido por el modelo y n es el número de datos experimentales.

2.5 Procesamiento y análisis estadístico

En la construcción de las curvas de humedad equilibrio se empleó un diseño completamente al azar; experimento factorial en tres factores que fueron: temperatura en tres niveles (45, 55 y 70°C), variedad de ñame *D. rotundata* en dos niveles (9811-091 y 9811-089), humedad relativa en 6 niveles para cada temperatura (45°C: 25, 30, 40, 50, 60 y 64%; 55°C: 15, 20, 27, 30, 42 y 47 %; 70°C: 10, 15, 17, 20, 25 y 33 %). Se realizaron tres repeticiones por tratamiento.

Los resultados experimentales fueron sometidos al test de Shapiro Wilk, para determinar distribución normal. Se realizaron análisis de varianza (ANOVA) al 95% de confiabilidad, usando un modelo de tres vías de clasificación (variedad, temperatura y geometría) con interacciones. Para la comparación de medias se usó el test de Duncan con un nivel de significancia del 5 %; todos los datos fueron procesados y evaluados a través del software Statistica 7.0 [15].

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Humedad inicial

Los contenidos de humedad inicial para las variedades de *D. rotundata* 9811-089 y 9811-091 fueron muy similares, 2.32% (b.s) y 2.34% (b.s) respectivamente, esto se puede atribuir las condiciones semejantes de cultivo: tipo de suelo, nutrientes, condiciones ambientales y tiempo de cosecha [5].

Tabla1. Modelos de isotermas de sorción para humedad de equilibrio**Table 1.** Sorption isotherm models for equilibrium moisture

Modelo Matemático	Ecuación
<i>GAB</i>	$X_e = \frac{X_m C K A_w}{(1 - K A_w)(1 - K A_w + C K A_w)}$
<i>BET</i>	$\frac{X_e}{X_m} = \frac{C A_w}{1 - A_w} \left[\frac{1 - (N + 1)(A_w)^N + N(A_w)^{N+1}}{1 - (1 - C)A_w - C(A_w)^{N+1}} \right]$
<i>OSWIN</i>	$X_e = A \left(\frac{A_w}{1 - A_w} \right)^B$
<i>SMITH</i>	$X_e = M_b - M_a \ln [(1 - A_w)]$
<i>HENDERSON</i>	$X_e = \left[\frac{-\ln (1 - A_w)}{A} \right]^{1/B}$
<i>PELEG</i>	$X_e = K_1 A_w^{n_1} + K_2 A_w^{n_2}$

X_e es la humedad de equilibrio (kg de agua/kg sólido seco), A_w es la actividad de agua (decimal), N es el número de camadas moleculares, X_m es el contenido de humedad de la monocamada molecular, C es una constante de BET relacionada con el calor de sorción de la camada molecular y A , B , M_a , M_b y K , K_1 , K_2 son parámetros de ajuste.

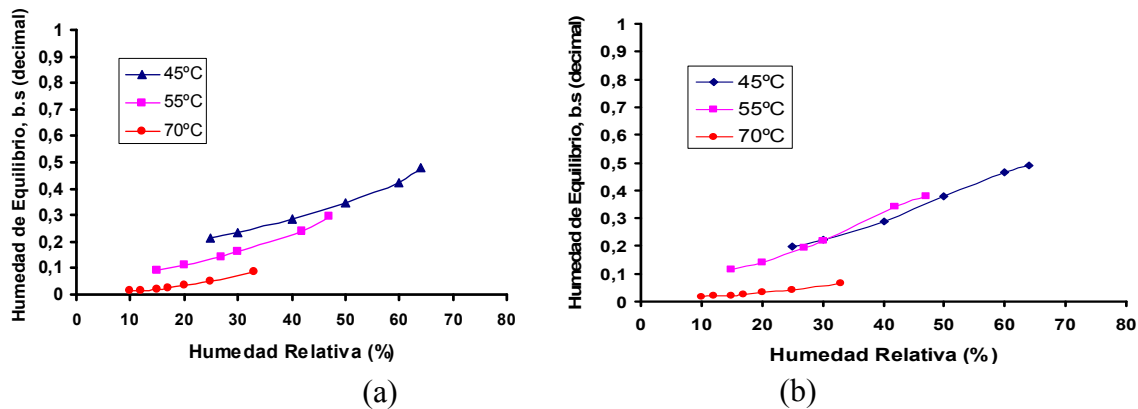
Fuente: Palmeira, *et al.* (2004); Cardoso, *et al.* (2004); Al-Muhtaseb, *et al.* (2004).

3.2 Influencia de las variables temperatura y humedad relativa en el contenido de humedad de equilibrio

Los contenidos de humedad de equilibrio se incrementan con el aumento de la humedad relativa, para las variedades de *Disocorea rotundata* 9811-089 y 9811-091 (figura 1), esto concuerda con la mayoría de los productos alimenticios [16, 17], en especial se observa que para valores altos de porcentajes de humedad relativa el contenido de humedad de equilibrio aumenta con gran rapidez [18] y en general cuando la humedad relativa es baja, la humedad

de equilibrio para alimentos con alto porcentaje de almidón, como es el caso del *D. rotundata*, es mayor que para alimentos que poseen mayores porcentajes de sólidos solubles como el mango [19] y la guayaba [7].

El efecto de la temperatura sobre el contenido de humedad de equilibrio es inverso; para una misma humedad relativa a menor temperatura le corresponde un mayor contenido de humedad de equilibrio y viceversa, coincidiendo con lo reportado para secado de ñame [20, 21], harina de papa [10], berenjena [22], quinoa [13], cebolla [9], pimiento rojo [23] y papaya chilena [18].

**Figura 1.** Isotermas de desorción para ñame: (a) *D. rotundata* 9811-089, (b) *D. rotundata* 9811-091**Figure 1.** Desorption isotherm for yam: (a) *D. rotundata* 9811-089, (b) *D. rotundata* 9811-091

En el análisis de varianza (ANOVA) se encontró una influencia altamente significativa, a un nivel de confiabilidad del 95%, de las variables temperatura y humedad relativa sobre el contenido de humedad de equilibrio, lo que concuerda con lo reportado para harina de ñame

[24]. En tanto, la variedad y las interacciones temperatura-variedad no tuvieron influencia significativa (Tabla 2). Este hecho puede obedecer a la similitud composicional entre las variedades, principalmente en cuanto al contenido de humedad inicial.

Tabla 2 ANOVA para la Humedad de equilibrio de ñame (Xb.s) de *D. rotundata* variedades 9811-089 y 9811-091
Table 2. ANOVA for equilibrium moisture yam (Xb.s) in varieties *D. rotundata* 9811-089 and 9811-091

Fuente	DF	Tipo I SS	Media	F-Valor	Pr>F
Temperatura	2	2.99241700	1.49620850	217.36	<0.0001
Variedad	1	0.02663788	0.02663788	3.87	0.0505
HRE	1	1.26072921	1.26072921	5168.28	<0.0001
Temperatura*Variedad	2	0.03210722	0.01605361	2.33	0.0997

3.3 Modelación matemática de las curvas de humedad de equilibrio

De acuerdo a los ajustes obtenidos y a la evaluación de cada modelo propuesto y utilizando el coeficiente de determinación (R^2), error medio estimado (SE) y desvío medio relativo (P %), se consideró la ecuación propuesta por Peleg, como la que mejor se ajusta a los datos de humedad de equilibrio de *D. rotundata* variedades 9811-089 y 9811-091 para las tres temperaturas: 45, 55 y 70 °C (Tabla 3).

Sin embargo, se evidencia que los modelos de GAB, BET, Oswin y Smith describen satisfactoriamente las isothermas de desorción para *Dioscorea rotundata*, una vez que sus valores de coeficiente de determinación fueron superiores a 90% y los errores medios relativos inferiores al 10%, excepto para el modelo de Henderson, que en un gran porcentaje de las condiciones estudiadas no cumplió con estos parámetros, concordando con las isothermas de

desorción y de calor isostérico de desorción para granos de trigo [25].

Estudios semejantes aplicados a harina de papa [10], arveja [26], frijol [27] y carne curada [28], han reportado que el modelo de Peleg provee una buena descripción de los datos experimentales para la determinación del contenido de humedad de equilibrio.

El análisis de varianza (ANOVA) sobre las constante del modelo de Peleg, mostró que existe influencia significativa a un porcentaje de confiabilidad del 95% de la variable temperatura, sobre las constantes: K_1 , K_2 , n_1 y n_2 del modelo matemático de Peleg, observándose un incremento de K_1 , K_2 , n_1 y una disminución de n_2 como consecuencia del aumento en la temperatura (tabla 3). Sin embargo, la variedad no influyó significativamente sobre dichas constantes; no siendo éstas diferentes estadísticamente para cada variable a un nivel de significancia del 5%.

Tabla 3. Valores estimados para los modelos de desorción ajustados
Table 3. Estimated values for fitting models desorption

Modelo	Constantes y estadísticos	Variedad 9811-089			Variedad 9811-089		
		45°C	55°C	70°C	45°C	55°C	70°C
GAB	Xm	8.639	2.912	0.136	13.59	2.131	0.343
	C	0.379	0.133	0.448	0.094	0.453	0.192
	K	0.213	1.312	2.111	0.569	0.693	2.074
	R ² (%)	95.60	93.79	90.14	99.32	98.46	86.42
	P (%)	6.214	9.329	9.213	2.818	4.819	23.89
	SE	0.022	0.020	0.010	0.010	0.013	0.006
BET	Xm	0.706	1.601	6.397	0.664	6.397	8.673
	C	2.908	4.960	6.892	2.856	6.892	7.438
	R ² (%)	91.22	91.42	86.56	93.22	93.73	88.65
	P (%)	7.369	2.250	0.436	6.700	2.500	12.94
	SE	0.091	0.028	0.011	0.084	0.031	0.003
OSWIN	a	0.353	0.316	0.221	0.365	0.424	0.129
	b	0.495	0.762	1.332	0.552	0.768	1.014
	R ² (%)	99.09	94.20	90.11	99.09	98.53	85.63
	P (%)	2.282	9.162	16.30	2.708	5.363	23.93
	SE	0.009	0.018	0.008	0.011	0.013	0.007
SMITH	a	0.106	0.426	0.251	0.079	0.581	0.163
	b	0.356	0.016	-0.018	0.414	0.015	-0.003
	R ² (%)	99.19	94.00	88.42	99.19	98.57	84.64
	P (%)	2.116	9.269	19.47	2.573	5.204	24.57
	SE	0.009	0.019	0.009	0.011	0.012	0.007
HENDERSON	a	0.079	0.081	0.126	0.077	0.070	0.139
	b	0.079	0.081	0.126	0.077	0.070	0.139
	R ² (%)	80.70	93.25	80.62	91.46	98.12	83.93
	P (%)	13.80	10.18	31.62	10.75	5.269	26.05
	SE	0.045	0.020	0.012	0.035	0.014	0.007
PELEG	K ₁	2.609	2.077	0.922	0.139	0.451	1.247
	K ₂	0.507	0.309	0.262	0.729	0.451	0.071
	n ₁	7.372	3.967	3.132	0.204	1.143	3.364
	n ₂	0.635	0.647	1.371	1.527	1.143	0.648
	R ² (%)	99.57	94.70	92.11	99.50	98.58	90.46
	P (%)	1.917	8.988	9.24	2.149	5.087	9.84
	SE	0.007	0.019	0.009	0.009	0.014	0.007

En la figura 3 se observa que las isothermas de desorción de *D. rotundata*, ajustadas de acuerdo al modelo matemático de Peleg, para las variedades 9811-089 y 9811-091, tienen una forma sigmoidal, características de la mayoría de alimentos como frutas y verduras [23]. Se aprecia, además, que un aumento de la humedad

relativa para cada temperatura resulta en un aumento de la humedad de equilibrio, siendo la tasa de desorción mas alta al inicio del proceso y disminuyendo continuamente a medida que se aproxima a la humedad de equilibrio, resultado que coincide con lo reportado para *Spondias lutea* l [29].

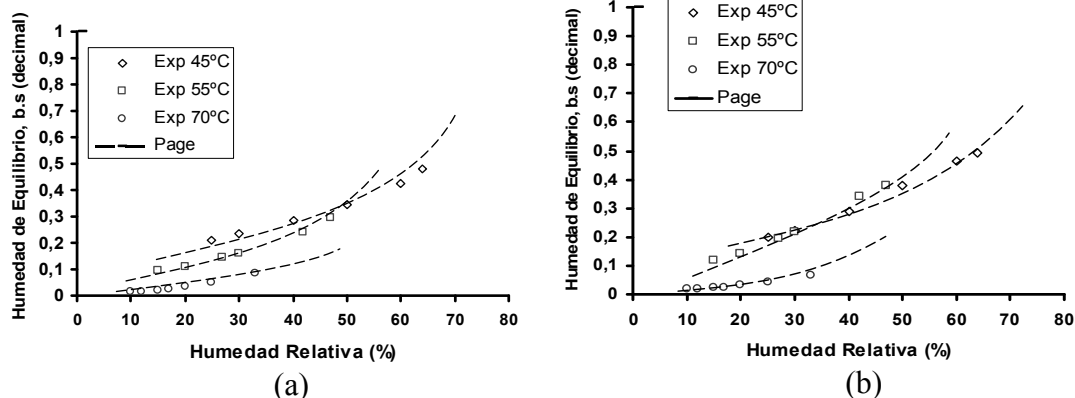


Figura 3. Isotherma de desorción experimental de *D. rotundata* modelada con la ecuación de Peleg.
a) variedad 9811-089 y b) variedad 9811-091

Figure 3. Experimental desorption isotherm of *D. rotundata* modeling with Peleg equation
a) variety 9811-089 y b) variety 9811-091

4. CONCLUSIONES

El contenido de humedad de equilibrio para las variedades de *D. rotundata* 9811-089 y 9811-091 a las temperaturas de 45, 55 y 70 °C no presentó diferencia estadística significativa a un nivel de significancia del 5 %.

El incremento en la humedad relativa provoca aumentos en el contenido de humedad de equilibrio de las variedades de *Discorea rotundata*, mientras la temperatura presenta un efecto inverso.

El comportamiento de las isothermas de desorción para las variedades 9811-089 y 9811-091 de *Dioscorea rotundata* es descrito satisfactoriamente por los modelos de GAB, BET, Oswin, Smith y Peleg; siendo este ultimo el que mejor describe el comportamiento de las curvas de desorción.

El modelo de Henderson no describe satisfactoriamente el comportamiento de las isothermas de desorción para las variedades 9811-089 y 9811-091 de *Dioscorea rotundata*.

REFERENCIAS

[1] GUZMAN, M. y BUITRAGO, G. ÑAME: Producción de Semilla por Biotecnología. Santa fe de Bogotá: Unibiblos: 17-20, 2000.

[2] LAMADRID, J. y MERLANO, R. Evaluación de las propiedades tecnofuncionales de los almidones de ñame de cuatro variedades de *Dioscorea rotundata* (9811-076, 9811-079, 9811-090, 9603-041), Ingeniero de Alimentos, Universidad de Córdoba, Montería. 2006.

[3] SANGRONIS, E., TEXEIRA, P., OTERO, M., GUERRA, M. y HIDALGO, G. Manaca, batata y ñame: posibles sustitutos del trigo en alimentos para dos etnias del Amazonas Venezolano. Revista Alan Venezolana; 56 (1), 11, 2006.

[4] FALADE, K., OLURIN, T., IKE, E. & AWORH O. Effec of pretreatment and

temperature on air – Drying of *Discorea alata* and *Discorea rotundata* slices. Journal of food engineering. 80(4), 1002-1010, 2007.

[5] SIERRA, O. y MUNIVE, J. 2007. Determinación de las mejores condiciones del proceso de secado de dos variedades de ñame (D. alata 9506-021; 9506-027), para la obtención del mayor contenido de almidón. Departamento de Ingeniería de alimentos, Universidad de Córdoba, 2007.

[6] IMA (Instituto de mercadeo agropecuario de Panamá). Vigilancia Competitiva del Ñame. 2007. Disponible: [http://www.ima.gob.pa/downloads/análisis_del_Ñame\(Inteligencia\)PDF](http://www.ima.gob.pa/downloads/análisis_del_Ñame(Inteligencia)PDF). [Citado 12-07-2007].

[7] CARDOSO, F., PALMEIRA, J., RODRIGUES, M., HONORATO, F. y ALVES, S. Comparación de modelos matemáticos de calor isotérmico de desorción en pulpa de Guayaba. Revista Brasileira de almacenamiento. 29 (1), 28-34, 2004.

[8] BADUI, S. Química de los alimentos. 3 ed. Alhambra Mexicana, México, 648, 1993.

[9] CORREA, P., DA SILVA, P., y ALMEIDA, L. Estudo das propriedades físicas e de transporte na secagem de cebola (*Allium cepa* L.) em camada delgada. Ciência y tecnologia de los alimentos, 24 (3), 319-326, 2004.

[10] AL-MUHTASEB, A., McMINN, W. & MAGEE, T. Water sorption isotherms of starch powders. Part 1: Mathematical description of experimental data. Journal of food Engineering. 61 (3), 297-307, 2004.

[11] CORZO, O. & FUENTES, A. Moisture Sorption isotherms and modeling for pre-cooked flours of Pigeon pea (*Cajanus cajan* L millsp) and lima bean (*Canavalia ensiformis*). Journal of food Engineering. 65 (3), 443-448, 2004.

[12] AOAC. Assocciation of Oficial Analytical Chemist. Oficial methods of análisis. 16 th edition. Washington, 3005, 1997.

- [13] FIGUEREDO, A., CROZZA, D. y PAGANO, A. Secado en capa delgada de Granos de Quinoa. 2004. Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos "Córdoba 2004" Disponible: <http://www.agenciacordobaciencia.cba.gov.ar/CongresoAlimentos/presentaciones/Panel%20Cereales%20y%20Oleaginosas%20-%202026-11-04%201015hs/DE%20FIGUEIREDO-CROZZA-PAGANO.pdf>. [Citado 12-07-2007].
- [14] GEANKOPLIS, C. Procesos de transporte y operaciones unitarias. 3a. Edición. Compañía Editorial Continental S. A. de C. V. México, 1022, 1998.
- [15] STATSOFT, Inc. STATISTICA (data analysis software system), 7.0, 2004. Disponible: <http://www.statsoft.com>. [Citado 12-07-2007].
- [16] PRADO, A. Isotermas de Desorción y Modelos matemáticos. Ciencia y tecnología de alimentos. 19 (1), 143-146, 1999.
- [17] SILVA, M., GOUVEIA, J. y ALMEIDA, F. 2002. Desorción y calor isoterico en pulpa de Mango. Revista Brasileira de Ingeniería Agrícola y Ambiental. 6(1), 123-127, 2002.
- [18] VEGA, A. y LEMUS, R. Modelado de la cinética de secado de papaya chilena (*basconcellea pubescens*). Información tecnológica. 17 (3), 23-31, 2006.
- [19] OCAMPO, A. Modelo cinético del secado de la Pulpa de mango. Revista EIA (Escuela de Ingeniería de Antioquia). N° 5, 119-128, 2006.
- [20] PÉREZ, P. Determinación de parámetros para el secado de ñame. Sincelejo: Departamento de Ingeniería Agrícola, Universidad de Sucre, 1990.
- [21] FIOREZE, R. & MORINI, B. Yam (*Dioscorea* sp.) drying with different cuts and temperatures: experimental and simulated results. Ciênc. Tecnol. Aliment. 20 (2), 262-266, 2000.
- [22] CHAVES, M., SGROPPO, S. y AVANZA, J. Cinética de Secado de Berenjena (*Solanum melongena* L.). Universidad nacional del nordeste. Comunicaciones científicas y tecnológicas. Corrientes, Argentina. Resumen E-60, 2003.
- [23] VEGA, A., ANDRES, A. y FITO, P. Modelado de la cinética de secado del pimiento Rojo (*capsicum annum* L. cv Lamuyo). Información tecnológica. 16(6): 3-11, 2005.
- [24] OYELADE, O., TUNDE-AKINTUNDE, T. & IGBEKA, J. Predictive equilibrium moisture content equations for yam (*Dioscorea rotundata* Poir) flour and hysteresis phenomena under practical storage conditions. Journal of Food Engineering. 87, 229-235, 2008.
- [25] CORREA, P., DUARTE, A. y RESENDE, O. Obtención y modelación de las Isotermas de desorción de calor isoterico de desorción para granos de Trigo. Revista Brasileira de Productos Agroindustriales, Campina Grande. 17 (1), 39-38, 2005.
- [26] RAHMAN, M., PERERA, C. y THEBAUD, C. Desorption isotherms and heat puma drying kinetics of peas. Food Research International. 30 (7), 485-491, 1998.
- [27] AFONSO, P. y CORREA, P. Comparação de modelos matemáticos para descrição da cinética de secagem em camada fina de sementes de feijão. Revista Brasileira de ingeniería agrícola y ambiental. 13 (3), 349-353, 1999.
- [28] DELGADO, A. & SUN, D.W. Desorption isotherms for cooked and cured beef and park. Journal of food engineering. 51 (2), 163-170, 2002.
- [29] PALMEIRA, J., SILVA, E., CARDOSO, F., DO NASCIMENTO, J. y DA SILVA, M. Isotermas de dessorcao em frutos de cajá (*spondia lútea* L.). Revista Brasileira de almecenamiento. 29 (2), 76-81, 2004.