

**CALOR LATENTE DE VAPORIZACION EN EL
AMARANTO**
(Amaranthus hybridus)

*Juan de Dios Alvarado¹, Esthela Toaza²
y Guadalupe Coloma²*

**Universidad Técnica de Ambato
Ambato, Ecuador**

RESUMEN

Se determinó en dos muestras de semillas molidas de "ataco" o "sangoracha" (*Amaranthus hybridus*), por el método manométrico, la presión de vapor a cuatro temperaturas y 10 humedades, en un rango de 26.8 y 3.6 g/100 g de materia seca.

La relación entre la presión de vapor de la harina y la presión de vapor del agua a las diferentes temperaturas, para cada humedad, se describe en forma satisfactoria por ecuaciones geométricas. Estas se presentan, y fueron utilizadas para determinar el calor latente de vaporización del producto a partir de la pendiente, según la ley de Othmer.

Se establece y discute una ecuación exponencial que relaciona la razón de calores latentes con la humedad, expresada en base seca, que permite calcular con suficiente exactitud los valores del calor latente de vaporización de amaranto, en especial a bajos contenidos de agua.

Los datos que se exponen, son útiles para cálculos en operaciones como secado y extrusión, procedimientos ampliamente aplicados en cereales.

Manuscrito modificado recibido: 17-3-89.

- 1 Ingeniero en Alimentos, M. Sc. en Tecnología de Alimentos, Profesor Principal de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos de la Universidad Técnica de Ambato, Casilla 916, Ambato, Ecuador.
- 2 Ingenieras en Alimentos, Auxiliares de Investigación, FCIAL-UTA, Casilla 334, Ambato, Ecuador.

INTRODUCCION

El calor latente de vaporización en granos de cereales lo definen Brooker, Bakker-Arkema y Hall (1) como la energía requerida para vaporizar la humedad desde el producto. Hoy día se expresa en J/kg, y es una propiedad utilizada en cálculos relacionados con procesos como el secado y la evaporación.

Según Hall (2), en muchas aplicaciones de secado el calor latente se determina considerando la evaporación del agua libre según lo indicado en las tablas de vapor. Sin embargo, el uso de estos datos, sobre todo en el caso de cultivos que acusan un bajo contenido de agua, provoca un error considerable.

De acuerdo con Gonzáles y Bressani (3), los granos de amaranto se cosechan con una humedad de 52 g/100 g y deben ser secados hasta 16 a 14 g/100 g antes de almacenarlos. Varios investigadores han notificado valores más bajos de humedad para varias especies, entre ellos, Teutónico y Knorr (4), y Sánchez Marroquín *et al.* (5).

Heldman y Singh (6) por su parte, destacan la importancia de la termodinámica para entender y evaluar los parámetros que describen el cambio de fase. Señalan que el calor latente de vaporización de compuestos puros, como el agua, puede ser descrito como una función de la presión, mediante la ecuación de Clausius-Clapeyron, la que permite llegar a la expresión:

$$\ln(p) = - (L/RT_A) + C$$

donde p es la presión, L es el calor latente de vaporización, R es la constante de los gases, T_A es la temperatura absoluta, y C una constante.

En el caso de productos alimenticios que contienen sólidos y otros componentes que influyen sobre el calor latente de vaporización, es posible elaborar una ecuación similar en la forma siguiente:

$$\ln(p') = (L'/RT_A) + C$$

Por combinación de las dos ecuaciones anteriores a temperaturas absolutas iguales (T_A), es posible obtener la ecuación siguiente:

$$\ln(p') = (L'/L)\ln(p) + C'$$

según la cual, un gráfico del logaritmo de la presión de vapor del producto alimenticio (p') y el logaritmo de la presión del agua pura (P) a varias temperaturas, debe ser una línea recta; la pendiente es la razón entre el calor latente de vaporización del alimento (L') y del agua pura (L); y C' es una constante.

La ecuación corresponde a la correlación presentada por Othmer (7) y se aplica frecuentemente para determinar los valores del calor latente de vaporización de alimentos, pues los datos para el agua son conocidos.

Además, Hall (2) informa datos de variación de la razón de calores latentes como función de la humedad en maíz, alfalfa y trigo. La ecuación exponencial correspondiente al trigo permite establecer que para un contenido de 10 g de agua por 100 g de materia seca, el valor del calor latente de vaporización es 42% mayor que el del agua; Brooker, Bakker-Arkema y Hall (1) informan valores comprendidos entre 25 y 35%, mayores que los del agua para trigo, maíz y sorgo (1).

El propósito del trabajo que nos ocupa fue determinar y presentar los valores del calor latente de vaporización en semillas de una variedad de amaranto, considerando la necesidad de disponer de la información para su aplicación en el diseño de sistemas de almacenamiento o secado al que es sometido el grano.

MATERIAL Y METODOS

Se utilizaron dos muestras de semillas de amaranto, de color negro y brillante que, según Peralta (8), corresponden a *Amaranthus hybridus*, conocido como "ataco o sangoracha". Estas fueron deshidratadas en estufa a 30°C y molidas; a intervalos regulares de tiempo se obtuvieron submuestras para medir la presión de vapor del agua en el alimento; inmediatamente después se determinó la humedad por triplicado en balanza Brabender a 110°C por dos horas o más, hasta obtener peso constante.

El método manométrico utilizado para medir la presión de vapor corresponde al indicado por Toledo (9). Este consiste en evacuar las llaves del equipo, evacuar la sección manométrica, evacuar la sección del recipiente que contiene la muestra, esperar que se alcance el equilibrio térmico del sistema; cerrar la llave que conecta con la bomba de vacío, y proceder a la lectura manométrica en el momento que se estabiliza el nivel; las lecturas manométricas fueron repetidas cuatro veces con miras a confirmarlas. Se trabajó a 15°, 20°, 25° y 30°C, temperaturas registradas en el alimento, y los valores de diferencia de nivel registrados en el aceite, expresados en Pascales, fueron corregidos según indican Lewicki *et al* (10), para considerar las diferencias de temperaturas respecto a la sección manométrica. En la Figura 1 se muestra el esquema del equipo.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los valores de presión de vapor, en Pascales, registrados en dos muestras de semillas de amaranto molidas, a cuatro temperaturas y en un rango de humedad comprendido entre 3.6 y 26.8 g/100 g de materia seca —que comprende las condiciones comunes para el almacenamiento del grano— se exponen en la Tabla 1. En ésta se incluyen los valores correspondientes al vapor saturado del agua, calculados de los datos de ASME y notificados por Toledo (9), pues es la sustancia de referencia. Según se aprecia, la presión dismi-

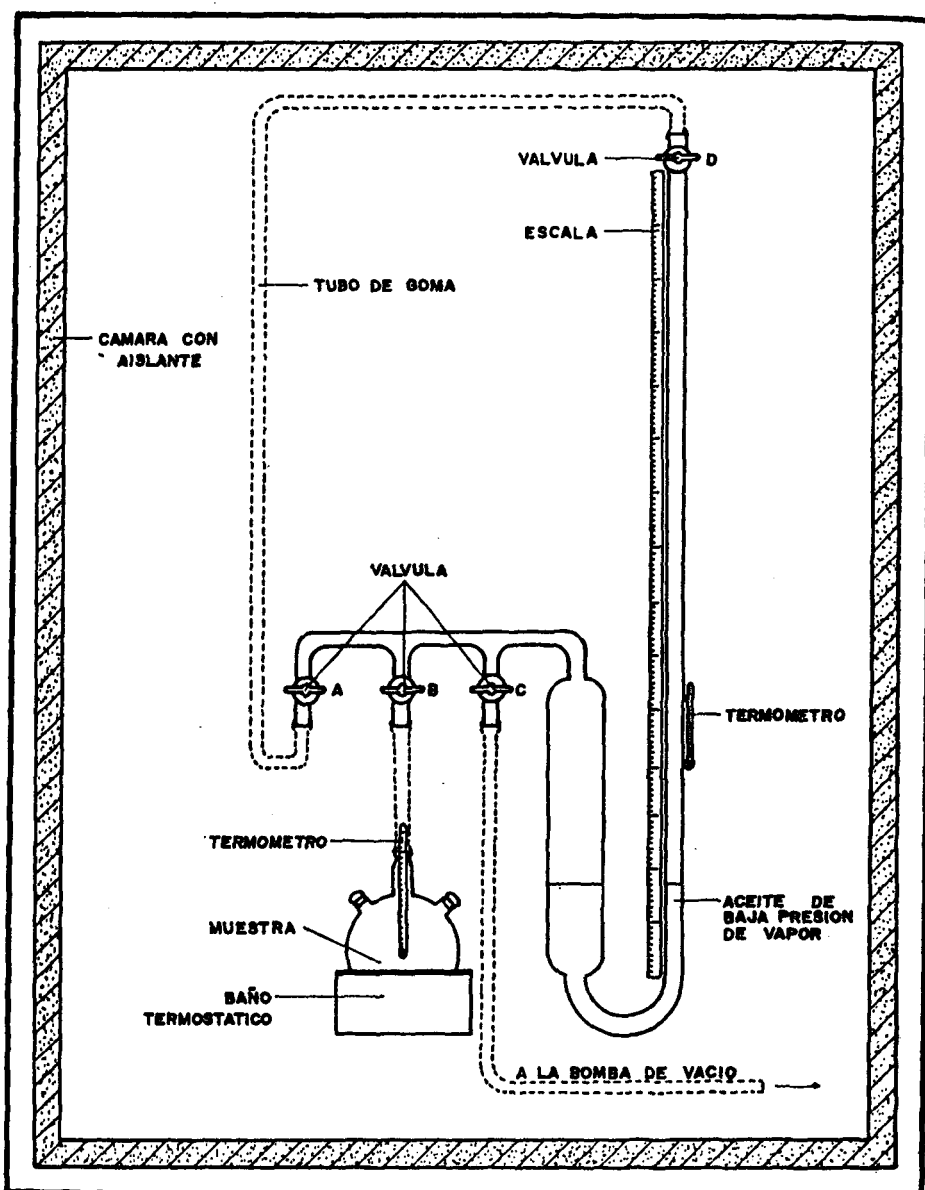


FIGURA 1

Manómetro para medir la presión de vapor del agua en alimentos

TABLA 1

**VALORES DE PRESION DE VAPOR (Pascuales) REGISTRADOS
EN HARINAS DE SEMILLAS DE AMARANTO, A
DIFERENTES HUMEDADES Y TEMPERATURAS**

Humedad (g/100 g seco)	Temperatura (°C)			
	15	20	25	30
26.8	1,189	1,703	2,268	3,299
16.3	867	1,314	1,718	2,628
12.5	714	1,108	1,636	2,271
12.3	467	822	1,064	1,653
3.6	195	406	634	1,018
21.2	1,020	1,512	2,075	2,816
16.6	815	1,262	1,617	2,86
13.2	671	1,063	1,415	2,056
10.3	504	830	1,245	1,717
3.8	213	436	615	911
Agua*	1,705	2,337	3,160	4,242

* Según Toledo, R.T. (9).

nuye a menores contenidos de agua, y aumenta a temperaturas mayores.

Como se observa en la Figura 2, el graficar en escalas logarítmicas los valores de presión de vapor registrados en una de las muestras de amaranto contra los del agua a las mismas temperaturas, para cada humedad se obtiene una línea recta. Lo anterior permite comprobar que se cumple el principio de Othmer (7), quien estableció que las presiones de vapor de líquidos, de sólidos, de soluciones con un constituyente no volátil, de soluciones que contienen dos o más constituyentes volátiles, de hidratos que pierden agua por eflorescencia, y de otros materiales bajo descomposición, dan líneas rectas cuando se grafican en papel logarítmico contra los valores de presiones de vapor de una sustancia de referencia a las temperaturas correspondientes. De acuerdo con su ecuación, la pendiente de la línea es igual a la razón entre el calor latente necesario para producir la vaporización del agua en el alimento, y el calor latente del agua pura.

En la Tabla 2 se presentan los términos de la ecuación de Othmer correspondientes a las 10 humedades, obtenidos por análisis de regresión lineal. Los valores de los coeficientes de correlación, próximos o superiores a 0.99, permiten establecer el alto grado de asociación entre los valores considerados en todos los casos. Los valores de la pendiente aumentan conforme la humedad disminuye; por el contrario, los valores del intercepto disminuyen. Las ecuaciones pueden ser utilizadas para calcular el calor latente

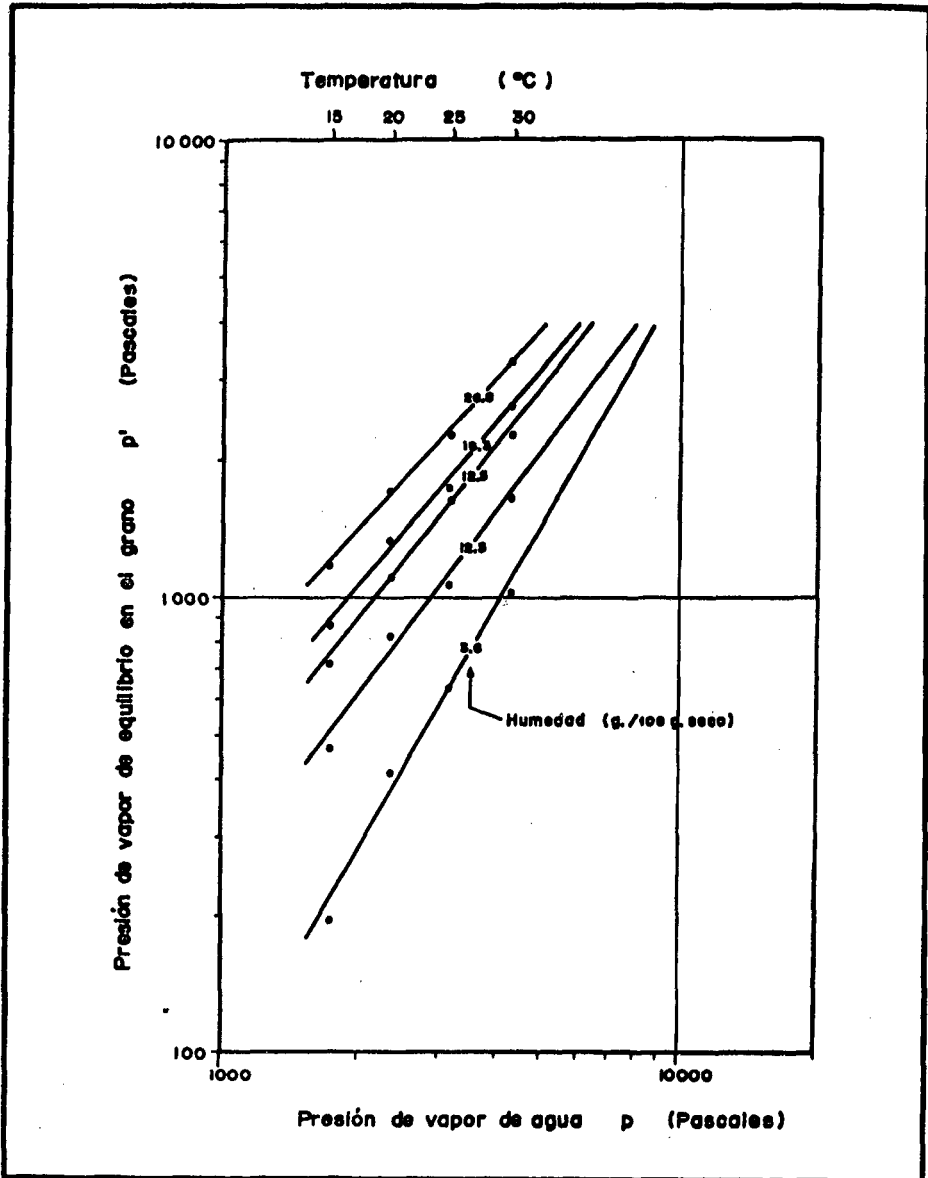


FIGURA 2

Gráfico de Othmer para determinar calores latentes de vaporización en harinas de semillas de amaranto con diferente humedad (g/100 g seco)

TABLA 2

**TERMINOS DE LA ECUACION DE OTHMER PARA
LA DETERMINACION DEL CALOR LATENTE DE
VAPORIZACION EN AMARANTO**

Humedad (g/100 g seco)	$\ln p' = (L'/L) \ln p + C'$		
	(L'/L)	C'	Coefficiente de correlación
26.8	1.10239	-1.12415	0.997
21.2	1.10846	-1.30197	0.998
16.6	1.14354	-1.78424	0.991
16.3	1.18387	-2.03804	0.993
13.2	1.20151	-2.40437	0.994
12.5	1.27263	-2.87938	0.998
12.3	1.33540	-3.74316	0.983
10.3	1.34640	-3.75981	0.993
3.8	1.55283	-6.10210	0.974
3.6	1.78245	-7.92118	0.989

o bien el valor de la actividad del agua. Alvarado, Toaza y Coloma (11), señalan que a 20°C, la humedad a la que se espera que los granos molidos de amaranto alcancen su mayor estabilidad, es de 10.6 g/100 g de materia seca; según la ecuación más próxima, para 10.3 g/100 g seco el valor de (L'/L) es 1.34640, y como el calor latente del agua pura a 20°C $L = 2.4544$ MJ/kg, el valor del calor latente para vaporizar la humedad en amaranto con estas condiciones será: $L' = 1.34640 * 2.4544 = 3.3046$ MJ/kg. Además, es posible calcular la actividad del agua, pues la presión de vapor del agua pura a 20°C, es 2337 Pa su logaritmo natural 7.7566, aplicando la ecuación $\ln p' = 1.34640 * 7.7566 - 3.7598 = 6.6837$ y $p' = 799$ Pa, el valor de actividad del agua corresponde a $(799/2337) = 0.34$ que compara con 0.32 informado. Se pueden hacer cálculos similares para las otras humedades en el rango de temperaturas considerado.

La relación entre la razón de calores latentes y la humedad expresada como porcentaje de materia seca, es descrita en forma satisfactoria ($r^2 = 0.913$) por una curva de ajuste exponencial (Figura 3). La ecuación establecida considerando las 10 observaciones es:

$$(L'/L) = 1 + 0.84 e^{-0.09(x)}$$

siendo \bar{x} la humedad como porcentaje en base seca. Si se considera una humedad de 10 g/100 g de materia seca, la aplicación de la ecuación permite establecer que $(L'/L) = 1.3415$; en consecuencia, el calor latente de vaporización en el grano será un 34% mayor que el

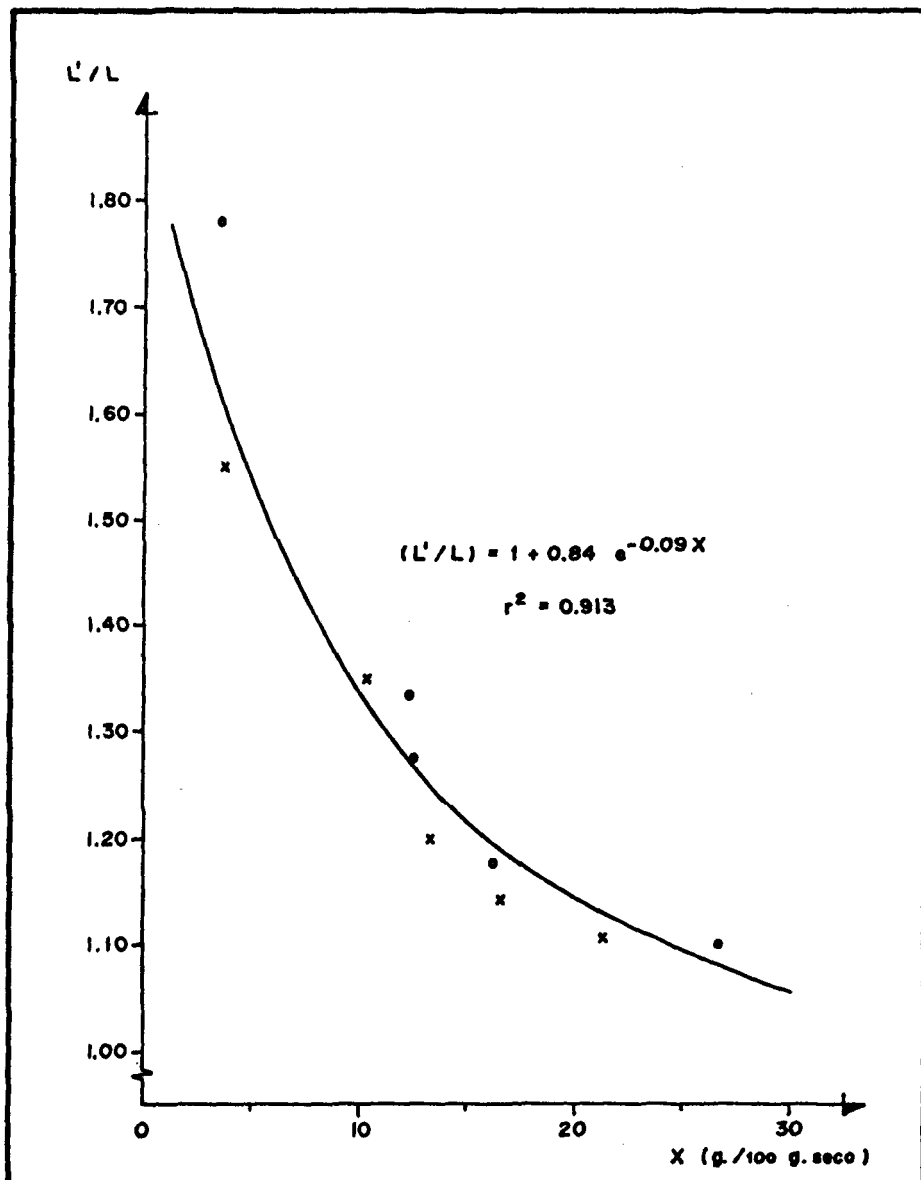


FIGURA 3

Humedad contra razón de calores latentes de harina de semillas de amaranto y agua

del agua pura; el valor se encuentra dentro del rango establecido en otros cereales y es similar, en especial, al del maíz desgranado (1,2). La ecuación se puede utilizar en un rango amplio de humedad y a diferentes temperaturas para calcular los valores del calor latente de vaporización en amaranto, pues según Othmer, su relación también se cumple a temperaturas mayores. Considerando un grano recién cosechado con un contenido de agua de 60g/100 g seco, la aplicación de la ecuación conduce a $(L'/L) = 1.0038$, a 60°C para agua pura $L = 2.3586$ y $L' = 2.3676$ MJ/kg, prácticamente igual al del agua pura. Por otro lado, si se considera un grano con una humedad de 16g/100 g seco $(L'/L) = 1.1990$, calculado a 60C $L' = 2.8280$ MJ/kg, se requerirá un 20% más de energía para vaporizar a igual masa de agua, en la etapa final de secado previo al almacenamiento.

En conclusión, las ecuaciones que se han presentado en este trabajo pueden ser aplicadas para realizar cálculos en operaciones en las que se requiere conocer el calor latente de vaporización del amaranto con mayor exactitud, tales como transferencia de calor, secado y extrusión, que se utilizan en la tecnología de cereales.

SUMMARY

LATENT HEAT OF VAPORIZATION IN AMARANTH

(*Amaranthus hybridus*)

The vapor pressure at four temperatures and 10 moisture contents in a range between 26.8 and 3.6 g/100 dry matter, were determined by the manometric method in two samples of milled amaranth seeds, known as "ataco" or "sangoracha".

For each humidity, the relationship between vapor pressure of the flour and vapor pressure of water at different temperatures is satisfactorily described by power equations, which are herein presented. The slope was used in the determination of latent heat of vaporization, according to Othmer's law.

An exponential equation describing the relationship between the rate of latent heat and moisture content on a dry basis are established and discussed. This allows calculation with sufficient exactitude of the latent heat of vaporization values in amaranth, particularly at low moisture contents.

The data are useful in calculations for drying or extrusion operations, largely applied in cereals.

BIBLIOGRAFIA

1. Brooker, D.B., F.W. Bakker-Arkema & C.W. Hall. Drying Cereal Grains. Westport Conn., The AVI Publishing Co. Inc., 1981, p. 83-85.
2. Hall, C.W. Drying and Storage of Agricultural Crops. Westport, Conn., The AVI Publishing Co. Inc., 1980, p. 16-38.
3. Gonzáles, J.M. & R. Bressani. Una guía para el cultivo de amaranto de grano.

- Resumen de experiencias en la finca experimental del INCAP El Amaranto y su Potencial, Boletín N° 2: 5-7, 1987
4. Teutónico, Rita A. & R. Knorr. Amaranth: composition, properties and applications of a rediscovered food crop. *Food Technol.*, 39(4): 49-60, 1985.
 5. Sánchez-Marroquín, A., A. Feria-Morales, S. Maya & V. Ramos-Moreno. Processing, nutritional quality and sensory evaluation of amaranth enriched corn tortilla. *J. Food Sci.*, 52: 1611-1614, 1987.
 6. Heldman, D.R. & R.P. Sigh. *Food Process Engineering*. 2nd. ed. Westport, Conn., the AVI Publishing Co. Inc., 1981, p. 217-218.
 7. Othmer, D.F. Correlating vapor pressure and latent heat data. A new plot. *Ind. Eng. Chem.*, 32: 841-856, 1940.
 8. Peralta, E. Situación del amaranto en el Ecuador. *El Amaranto y su Potencial*, Boletín N° 2: 3-4, 1985.
 9. Toledo, R.T. *Deshidratación de Alimentos. IV Curso Avanzado de Tecnología de Alimentos*. Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos. Ambato, Ecuador, 1985.
 10. Lewicki, P.P., G.C. Busk, P.L. Peterson & T.P. Labuza. Determination of factors controlling measurement of a_w by the vapor pressure manometric technique. *J. Food Sci.*, 43: 244-246, 1978.
 11. Alvarado, J. de D., E. Toaza & G. Coloma. Isotermas de desorción en amaranto. *Arch. Latinoamer. Nutr.*, 40(3): 387-394, 1990.