

# CINÉTICA DE SECADO DE *Pisum sativum* L. (ARVEJA VERDE) VARIEDAD USUI

## Drying kinetics of *Pisum sativum* L. (Green peas) variety Usui

Javier S. Córdova<sup>1,2</sup>, José R. Juárez<sup>1</sup>, Luz M. Cerrón<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Farmacia y Bioquímica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. <sup>2</sup> Universidad Nacional del Centro del Perú

### RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo determinar los parámetros de cinética de secado de *Pisum sativum* L., tales como: velocidad y tiempo de secado, humedad de equilibrio y crítica; los cuales son muy importantes para un secado eficiente y de calidad. Además, se estudió la eliminación de agua presente en el alimento, para lo cual se utilizó un secador de bandejas por aire caliente a 50°C, determinándose el contenido de humedad del alimento a diferentes tiempos de exposición a dicho aire, hasta lograr el peso constante del alimento. Los resultados obtenidos fueron: tiempo y velocidad de secado de *Pisum sativum* L. (arveja verde), 594,36 minutos y 0,00108 gH<sub>2</sub>O/m<sup>2</sup>.min, respectivamente; humedad de equilibrio, 0,071 gH<sub>2</sub>O/g sólidos secos, y humedad crítica, 0,501 gH<sub>2</sub>O/g sólidos secos. Los valores mencionados fueron analizados mediante la curva de secado y determinados por el método analítico de la teoría de secado de alimentos.

**Palabras claves:** Arveja verde, secado, velocidad de secado, tiempo, humedad, *Pisum sativum* L.

### SUMMARY

The present study aimed to determine the drying kinetics parameters in *Pisum sativum* L., such as speed and drying time, equilibrium moisture and critical moisture; which are very important for efficient drying and quality. Moreover, was studied removal of water present in the food, for which was used a tray dryer with hot air at 50 °C, determining moisture content of the food at different times of exposure to hot air, until achieving constant weight of food. The results obtained were: drying time and speed of *Pisum sativum* L. (peas green), 594,36 minutes and 0,00108 gH<sub>2</sub>O/m<sup>2</sup>.min, respectively; equilibrium moisture, 0,071 gH<sub>2</sub>O/g dry solids, and critical moisture, 0,501 gH<sub>2</sub>O/g dry solids. The values obtained were analyzed using the drying curve and determined by the analytical method of food drying theory.

**Keywords:** Green peas, drying, drying speed, time, humidity, *Pisum sativum* L.

### INTRODUCCIÓN

La arveja fresca se comercializa en los mercados de abasto, a precios diferentes que suelen ser rentables para los productores; en el caso de no lograrse la venta en su estado fresco, una de las alternativas es secarla y venderla como producto seco. La deshidratación es una de las operaciones más antiguas usadas para conservar alimentos, dando lugar a productos secos tradicionales como carnes, pescados, frutas y quesos, entre otros<sup>(1)</sup>. En las últimas décadas, "nuevos" productos, llamados alimentos de humedad intermedia o baja, tales como café soluble, leche en polvo y las formulaciones deshidratadas para la preparación de puré de papa, han tenido un éxito notable, se trata de una operación unitaria utilizada en las diferentes industrias del procesamiento de alimentos a nivel artesanal e industrial.

### MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolló en el laboratorio de Análisis y Tecnología de Alimentos de la Facultad de Ingeniería

en Industrias Alimentarias - Universidad Nacional del Centro del Perú. Se procedió a deshidratar *Pisum sativum* L. (arveja verde) variedad Usui, en un secador de cuatro (04) bandejas, basado en el método de Geankoplis<sup>(2)</sup>.

#### Determinación de los datos experimentales

El equipo experimental (secador de bandejas), fue lo más semejante posible al secadero donde se efectúa realmente el secado de la arveja verde y las condiciones del aire fueron constantes. El trabajo consistió en registrar el cambio de masa del alimento en el tiempo.

#### Determinación de humedades

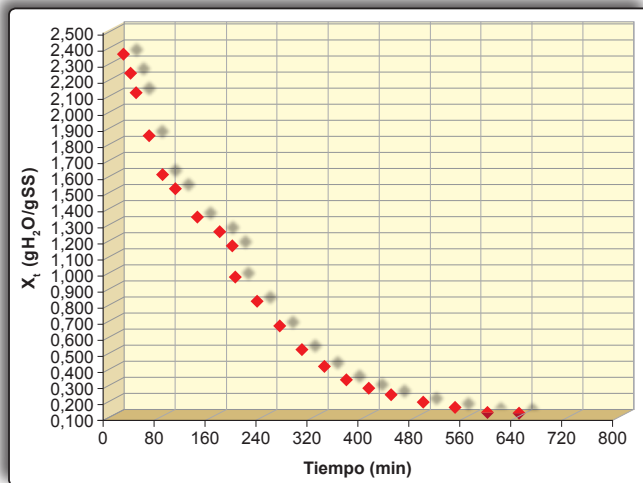
Se han determinado: humedad crítica, humedad de equilibrio y humedad libre, a diferentes tiempos de análisis y control.

#### Determinación del tiempo y velocidad de secado

Con los datos experimentales se ha determinado analíticamente el tiempo y velocidad de secado y, a partir de esto, se elaboraron las curvas respectivas.

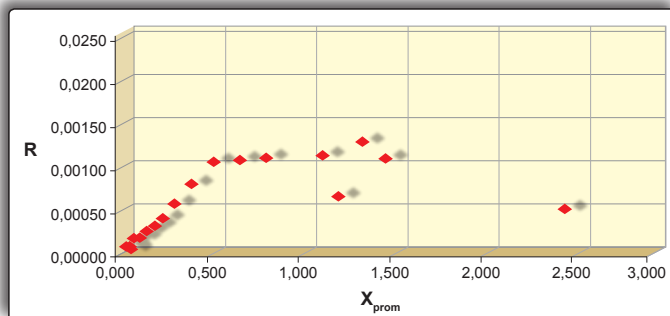
## RESULTADOS

La arveja verde se secó en un secador de bandejas, teniendo en cuenta que la bandeja y la muestra tuvieron un peso de 299,1 y 120,0 g, respectivamente. Luego se realizaron los cálculos referentes al secado, a partir de los datos experimentales obtenidos durante dicho proceso, determinándose la curva de secado



**Figura 1.** Curva de secado de la arveja:  $X_t$  - Tiempo.

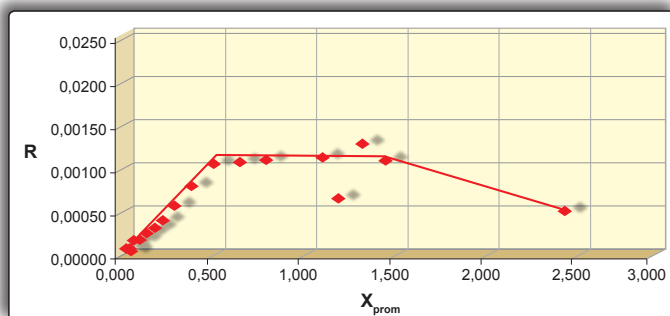
$X_t$ : Humedad libre total en  $gH_2O/g$  sólidos secos



**Figura 2.** Curva de secado de la arveja:  $R - X_{prom}$ .

$X_{prom}$ : Humedad libre promedio en  $gH_2O/g$  sólidos secos

$R$ : Velocidad de secado en  $gH_2O/m^2 \cdot min$



**Figura 3.** Curva de secado de la arveja:  $R - X_{prom}$ .

$X_{prom}$ : Humedad libre promedio en  $gH_2O/g$  sólidos secos

$R$ : Velocidad de secado en  $gH_2O/m^2 \cdot min$

y otros parámetros que corresponden a la cinética (figuras 1, 2 y 3).

Se utilizaron métodos analíticos descritos en la teoría de secado de alimentos, para determinar la humedad de equilibrio y sólidos secos, siendo los resultados  $0,071 gH_2O/g$  sólidos secos y  $33,6 g$ , respectivamente. Respecto a la humedad crítica, se determinó de la misma forma, y con este valor se halló la velocidad de secado de la arveja (tabla 1).

En consecuencia, luego de obtener los resultados del secado de la arveja, se determinó la función o regla de correspondencia de la inversa de velocidad de secado en función de la humedad promedio, dada por:

$$Y = 706,3X^{-0,799} \quad \text{con } r^2 = 0,7634$$

Donde:

Y: Inverso de la velocidad de secado

X: Humedad libre promedio

r: Coeficiente de determinación

Para esto, se ajustó los datos experimentales, para así conseguir la línea de tendencia y la regla de correspondencia; posterior a esto se controló el tiempo de secado (figura 4).

El tiempo de secado fue de  $594,36$  minutos para la arveja. Se obtuvo a partir de la teoría de secado de los alimentos, considerando tiempos tanto a velocidad constante como decreciente (tabla 2). Dichos tiempos fueron determinados por los métodos analítico y gráfico, haciéndose reportes para cada periodo.

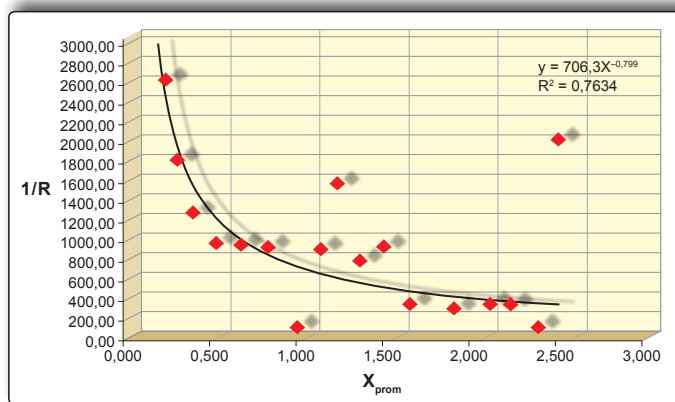
## DISCUSIÓN

En la figura 1, se observa el comportamiento típico de la variación de humedad total en  $gH_2O/g$  sólidos secos, frente al tiempo transcurrido en minutos; en ella se aprecian los tres periodos de secado antes mencionados correspondiendo el tramo recto al período constante <sup>(2)</sup>. Esta curva es asintótica con el eje horizontal.

En las figuras 2 y 3, se presenta la variación de la velocidad de secado "R" expresada en  $gH_2O/m^2 \cdot min$ , frente a la humedad libre promedio visualizándose los tres periodos de secado <sup>(3)</sup>.

De la figura 3 se determinó la velocidad durante el periodo en la que ésta permanece constante,  $R_c = 0,00108 gH_2O/m^2 \cdot min$  <sup>(4)</sup>.

También se determinaron otros parámetros de la cinética de secado, considerados de importancia en el presente trabajo de investigación <sup>(5)</sup>, tales como la Humedad libre crítica ( $X_c$ ), que para la muestra analizada fue de aproximadamente  $0,501 gH_2O/g$  sólidos secos; la Humedad de equilibrio obtenida



**Figura 4.** Ajuste de la curva de secado de la arveja:  $1/R - X_{prom}$ .  
 1/R : Inversa de la velocidad de secado en  $m^2 \cdot min/gH_2O$   
 $X_{prom}$  : Humedad libre promedio en  $gH_2O/g$  sólidos secos

**Tabla 1.** Secado de arveja.

Muestra	Humedad crítica ( $gH_2O/g$ sólidos secos)	Velocidad de secado ( $gH_2O/min \cdot m^2$ )
Arveja deshidratada	0,501	0,00108

**Tabla 2.** Tiempo en los diferentes periodos de secado.

Periodo de secado	Tiempo (minutos)
A velocidad decreciente	369,0875
A velocidad constante	225,2715

hasta peso constante durante el secado estimada en  $0,071 g H_2O/g$  sólidos secos.

Al respecto, Lewis <sup>(6)</sup>, señala que este período se caracteriza por estar la superficie del alimento siempre húmeda y a la temperatura de bulbo húmedo del aire, terminando cuando el alimento alcanza su humedad crítica.

En el período de secado a velocidad constante se mantuvo una *T<sub>bs</sub>* (temperatura de bulbo seco) moderadamente elevada de  $50^\circ C$ , baja humedad relativa y una velocidad media de  $3 m/s$  <sup>(7)</sup>.

En las figuras 3 y 4 se presentan las curvas para determinar el tiempo de secado para el período decreciente <sup>(2, 8)</sup>. Dado que no se conoce la relación funcional entre la Velocidad de secado (R) y la Humedad libre promedio ( $X_{prom}$ ), se recurrió a una determinación por regresión potencial para obtener la mejor línea de ajuste, con un valor del coeficiente de determinación ( $r^2$ ) de  $0,764$  y la función de:  $Y = 706,3X^{-0,799}$ ; de tal forma presenta un  $76\%$  de correlación entre las variables independiente y dependiente. El resultado es aceptable y confiable porque supera el  $70\%$  de correlación. Con esta función se podría determinar la velocidad de secado y el tiempo de secado, teniendo en cuenta que esta no es la única forma para determinar el tiempo de secado <sup>(2,3)</sup>.

En el período decreciente, la velocidad de transferencia de masa es la que controla el secado; esta agua o vapor de agua que migra hacia la superficie está ligada a los constituyentes de la arveja y su desplazamiento es lento, lo que se corrobora con el tiempo hallado de  $6,2$  horas <sup>(2,3)</sup>. La velocidad de salida del agua en este período depende de la temperatura del aire y del tamaño de la partícula de alimento, no afectándole la humedad relativa ni la velocidad del aire <sup>(9,10)</sup>.

## CONCLUSIONES

- Los parámetros de la cinética de secado de la arveja verde son: Velocidad de secado  $R_c = 0,00108 gH_2O/m^2 \cdot min$ ; Tiempo de secado  $594,36$  minutos, Humedad de equilibrio  $0,071 gH_2O/g$  sólidos secos y Humedad crítica  $0,501 gH_2O/g$  sólidos secos. El tiempo total de secado, sin incluir el período de inducción, fue de  $10,0$  horas.
- La variedad Usui de la arveja verde presenta una humedad de  $72\%$ , sólidos totales de  $28\%$  y, la función de la inversa de velocidad de secado y =  $706,3x^{-0,799}$ ;  $r^2$  es  $76,4 \%$ .

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Zhai S, Su H, Taylor R y Slater NKH. Pure ice sublimation within vials in a laboratory lyophiliser; comparison of theory with experiment. *Chemical Engineering Science* 2005, 60(4): 1167-76.
2. Geankoplis CJ. *Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias*. 3ª ed. Cecca. México DF, 1998.
3. Fang Y, Selomulya C y Chen XD. On measurement of food powder reconstitution properties. *Drying Technology* 2007, 26(1): 3-14.
4. Kreith F, Bohn M. *Principios de Transferencia de Calor*. 1ª ed. Thomson Learning. México DF, 2000.
5. Himmelblau DM. *Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering*. 6ª ed. Prentice Hall. México DF, 1997.
6. Lewis MJ. *Propiedades Físicas de los alimentos y los sistemas de Procesado*. 1ª ed. Acribia. Zaragoza, 1993.
7. Manrique J. *Transferencia de Calor*. 2ª ed. Oxford University Press. México DF, 2002.
8. vavSingh P, Heldman D. *Introduction to Food Engineering*. 4ª ed. Elsevier Publishing. London, 2009.
9. Barbosa GV, Vega H. *Deshidratación de alimentos*. 1ª ed. Acribia. Zaragoza, 2000.

## Correspondencia

Nombre: Ing. Javier Saúl Córdova Ramos  
 Dirección: Jr. Puno 1002 – Lima 01 - Perú  
 E-mail: javier.cordova.ramos@hotmail.com