

ENSAYO DE UN TUNEL DE SECADO DE BANDEJAS A ESCALA PILOTO CON PESADA IN SITU

**QUINTERO RUIZ, N. A², FIORENTINI, C^{1,2}; FASCIOLO, E⁴, RINGEGNI,
P³, RIMOLDI, C³ Y GINER, S. A^{1,2,3}.**

¹ **Comisión de Investigaciones Científicas (CIC), Provincia de Buenos Aires,
Argentina**

² **Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecología de Alimentos (CIDCA),
Universidad Nacional de La Plata (UNLP)-CONICET, Calle 47 y 116 (B1900 AJJ)
La Plata, Argentina. Tel/Fax: 0221-4249287 E-mail: saginer@ing.unlp.edu.ar**

³ **Facultad de Ingeniería, UNLP.**

⁴ **ERFAS-INGELEC, La Plata.**

1. Resumen

El objetivo fue disponer de un secador piloto que facilitara el estudio de la deshidratación de alimentos en condiciones controladas. Usando un túnel preexistente de acero inoxidable, se incluyó un conducto interior de aluminio. El espacio entre ambos se llenó con aislación térmica de fibra de vidrio. La cámara de secado consistió en un bastidor con tres bandejas metálicas de 0.20 m de lado, separadas entre sí para el paso del aire. Mediante una palanca, los soportes del bastidor podían apoyarse sobre una balanza digital ubicada fuera de la cámara y debajo del túnel, a efectos de determinar la masa del alimento sin tener que retirar la muestra del secador. El sistema cuenta con control de temperatura y velocidad del aire, que fue impulsado por un ventilador axial, aguas arriba de la cámara de secado. El ensayo del equipo se realizó para verificar la uniformidad del secado en las tres bandejas y consistió en la evaporación de agua destilada en función del tiempo, para tres ensayos alternativos: bandeja superior, bandeja intermedia y bandeja inferior, utilizando una temperatura de aire de 60°C. Se determinaron velocidades de evaporación prácticamente coincidentes en las tres bandejas, lo que habilita la realización de estudios cinéticos de la deshidratación de los alimentos para investigación, y la utilización del equipo para la enseñanza de ingeniería química.

2. Introducción

Los equipos de secado de escala de laboratorio de tipo educacional a menudo carecen de un sistema de pesada in situ, lo cual obliga a perturbar el proceso cada cierto tiempo extrayendo la muestra para pesada externa y reponiéndola, o si lo poseen, el instrumento de pesada, a menudo una celda de carga, no alcanza la exactitud requerida para determinar en forma confiable la masa remanente de la muestra en función del tiempo. El equipo debe mantener controlados automáticamente la temperatura del aire a la entrada a la cámara de secado y la velocidad del aire, puesto que si bien éstas condiciones de operación pueden ajustarse mediante reguladores, dependen del valor medio de la tensión de línea que a veces varía durante el día. Al mismo tiempo, los equipos educacionales importados son onerosos y no suelen alcanzar la calidad suficiente para realizar investigaciones. Con el objetivo de contar con un equipo de

secado de bandejas, que es el más flexible y adaptable a casi todo tipo de alimentos, a efectos de utilizarlo en docencia de la orientación alimentos de ingeniería química e investigación, se formó un grupo de trabajo entre investigadores de la Facultad de Ingeniería (Áreas Departamentales Ingeniería Química y Aeronáutica) de la Universidad Nacional de La Plata a efectos de desarrollar el prototipo. El sistema de pesada in situ, aunque diferente al utilizado por Bruce y Sykes (1983), Bruce (1985) y Sokhansanj y Bruce (1987), que es para flujo a través de lechos particulados y no paralelo a las bandejas como en el presente trabajo, ha estado inspirado por aquellos desarrollos pioneros.

3. Objetivos

a) Desarrollar un secador, que permita medir cinéticas de secado de alimentos en condiciones controladas de temperatura y flujo de aire.

b) Comprobar la uniformidad del secado midiendo la velocidad de evaporación de agua destilada en las tres bandejas que contiene el equipo, utilizadas alternativamente

4. Materiales y Métodos:

4.1. Equipo: Túnel de secado. El equipo, originalmente existente con deficiencias, fue refaccionado y en partes reconstruido (véase Fig1).



FIGURA 1. Túnel de secado

TABLA 1. Partes Constituyentes del equipo

Código	Parte
a.	Conducto paralelo de derivación
b.	Resistencias internas de calentamiento del aire
c.	Deflector de derivación
d.	Control automático de temperatura del aire
e.	Controlador de velocidad de aire
f.	Balanza digital de precisión

g.	Cámara de secado aislada térmicamente
h.	Sensores de temperatura del aire
i.	Orificio para tomar medidas de temperatura sin contacto

TABLA 2. Características generales del equipo

Dimensiones totales externas	
Longitud	318 cm
Altura	200 cm
Ancho	74 cm
Dimensiones internas de la cámara de secado	
Longitud en el sentido del flujo	35 cm
Altura	31 cm
Ancho, perpendicular al flujo	30 cm
Rango de velocidad de aire	1 – 3,5 m/s
Rango de temperatura del aire	Ambiente + 10°C – Ambiente + 70°C
Capacidad bruta de la balanza	3000 g
Resolución de la balanza	0,01 g

4.2 Técnica experimental:

4.2.1. Pesado de las muestras previo a la puesta en marcha.

- Con la palanca "A" en posición horizontal (balanza liberada), colocar las muestras a secar en las bandejas extraíbles de acero inoxidable y ubicarlas en la estructura porta bandejas. (Figura 2 y 3)
- Encender la balanza y proceder de acuerdo al manual del fabricante de ésta hasta que se tenga indicación de cero de carga.
- Cerrar la puerta de la sección de secado.
- Mover la palanca "A" (Fig. 2) 90 grados antihorario respecto a la posición horizontal. La estructura porta bandejas se apoyará sobre la balanza. Registrar el peso de las muestras a secar.
- Girar la palanca "A" (Fig. 2) en sentido horario hasta que quede en posición horizontal nuevamente, de esta forma quedará liberada la balanza del peso. De no cumplirse este paso, y se pusiera en marcha el túnel de secado estando la balanza cargada, las cargas fluctuantes provocadas por el flujo de aire podrían producir una reducción de la vida útil de la balanza.

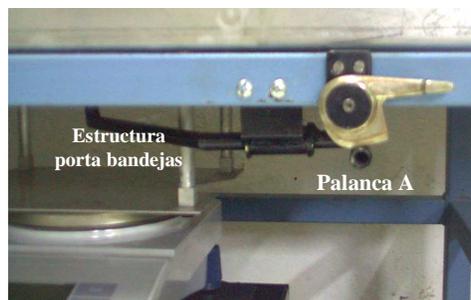


FIGURA 2. Mecanismo para pesar muestras

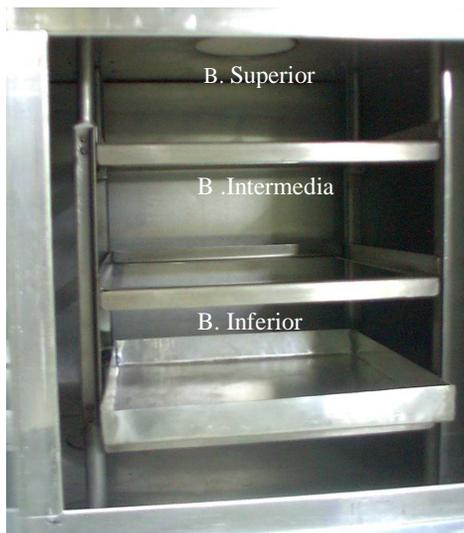


FIGURA 3. Bastidor porta bandejas

4.2.2. Puesta en marcha

Cumplida la etapa descrita anteriormente, se procederá a la puesta en marcha de túnel de secado de alimentos con la siguiente secuencia:

- a) Asegurar que el túnel esté conectado a la línea eléctrica.
- b) Posicionar la llave principal de corte eléctrico (térmica) en posición encendido.
- c) Verificar el adecuado cierre de la puerta de la sección de secado.
- d) La palanca "B" (apertura y cerrado de las compuertas de derivación de flujo) debe posicionarse en UNO. En esta posición el flujo de aire circulará en dirección y a través de las bandejas. (Fig. 4.)
- e) Posicionar la llave del ventilador en la posición de encendido.
- f) Verificar que haya indicación de velocidad de aire. De no haber indicación de este parámetro por medio del sensor de velocidad de hilo caliente y a través del indicador, no encender las resistencias.
- g) Encender las resistencias y a seleccionar la temperatura de trabajo.
- h) Regular la velocidad del aire deseada para el secado de alimentos con la perilla de control de velocidad de aire.



FIGURA 4. Palanca de derivación "B"

4.2.3. Pesado de las muestras durante y al final del proceso de secado.

Para proceder al pesado de las muestras se deberá seguir el siguiente esquema:

- a) Posicionar la palanca "B" (Fig. 4) en la posición UNO. Esta acción desviaré el flujo de aire a través del conducto paralelo de derivación, evitando que éste perturbe la medición.
- b) Esperar aproximadamente 10 segundos hasta que la indicación de velocidad del aire sea mínima.
- c) Girar la palanca "A" (Fig. 2) en sentido antihorario (90° respecto a la horizontal) de manera de acoplar la estructura porta bandejas a la balanza. Registrar el valor del peso del producto
- d) Volver la palanca "A" (Fig. 2) a la posición horizontal, con el extremo hacia la derecha.
- e) Ubicar la palanca "B" (Fig. 4) en la posición DOS con el fin de hacer circular, nuevamente, el flujo de aire por la sección de secado.
- f) Para realizar otras determinaciones de pesos, proceda de la manera detallada desde el paso a) al f).

4.2.4. Una vez finalizado el proceso de secado de las muestras, proceder a:

- a) Apagar las resistencias.
- b) Asegurarse que la palanca "B" (Fig. 4) esté en la posición DOS es su posición natural. Esta acción hará que el sistema de varillas y puertas no quede bajo carga mecánica en los períodos en que el sistema no se utiliza.
- c) Asegurar que la estructura porta bandejas quede desacoplada de la balanza ubicando la palanca "A" (Fig. 2) en la posición horizontal con el extremo hacia la derecha
- d) Abrir la puerta de la sección de secado y retirar las muestras
- e) Girar, en sentido anti horario, la perilla del control de velocidad de aire hasta el valor cero y posteriormente girar la perilla encendido a la posición apagado.
- f) Apagar, secuencialmente, la llave maestra y la llave térmica.

4.3. Ensayos de verificación realizados

Los ensayos se realizaron evaporando agua de una sola bandeja por vez, ubicada. En el primer ensayo la bandeja se ubicó en el estante superior, en el segundo en el intermedio, y en el tercero en el inferior (Fig. 3) . Se realizaron duplicados, llevando a cabo los tres ensayos nuevamente en las mismas condiciones (Fig. 2). En cada ensayo, la bandeja en estudio se llenó con una cantidad de agua destilada suficiente para formar una capa de 5 mm de espesor, lo cual representa 200 g.

Los ensayos se realizaron a temperatura constante de aire de 60°C y una velocidad de aire de 1,5 m/s, que es típica de la operación de los secaderos de bandejas. Estos datos se verificaron por medio de los termómetros de mercurio en vidrio instalados en el equipo y por medio de sensores de temperatura de circuito integrado.

Para realizar las pruebas se acondicionó el equipo previamente a la temperatura y velocidad de aire durante 40 minutos para asegurar que las condiciones fueran homogéneas antes de introducir la bandeja cargada con agua. Se tomó el peso inicial de la bandeja, y luego, cada 10 minutos, siguiendo el procedimiento ya descrito en 4.2. Utilizando la ecuación de transferencia de masa interfacial para el sistema (Fiorentini y Giner, 2008) se puede hallar un coeficiente efectivo de transferencia de materia k_{pef}

$$-\frac{dm_w}{dt} = k_{pef} * A * (p_s - p_{va}) \quad (1)$$

Integrando, se obtiene

$$m_w(t) = m_{w0} - k_{pef} * A * (p_s - p_{va}) * t \quad (2)$$

La ecuación 2 se puede expresar en forma más conveniente, dividiendo por la masa inicial de agua, m_{w0}

$$\frac{m_w(t)}{m_{w0}} = 1 - \frac{k_{pef} * A * (p_s - p_{va}) * t}{m_{w0}} \quad (3)$$

5. Resultados

Los resultados obtenidos en la primera prueba realizada, fueron satisfactorios, para verificarlos se realizó una segunda prueba durante un período mayor de tiempo.

Las gráficas que relacionan los datos para cada una de los ensayos se muestran a continuación en la Figura 5 (izquierda) y (derecha):

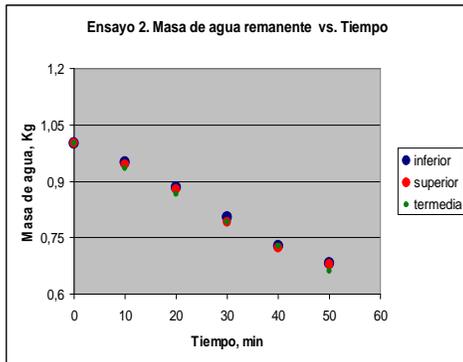
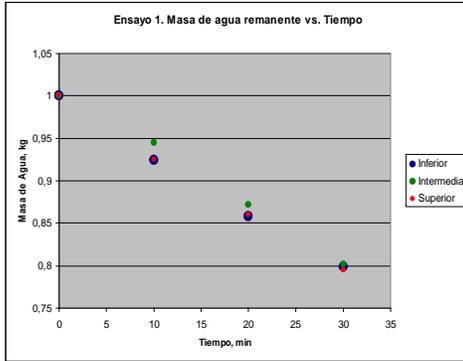


FIGURA 5. Resultados experimentales de los ensayos expresados en la forma de la ecuación (3), m_w/m_{w0} en función del tiempo. Se observa coincidencia de las velocidades de secado

TABLA 3. Ecuación de la recta que correlaciona los parámetros Masa de agua retirada y tiempo

Posición de la bandeja	Ensayo 1	Ensayo 2.
Inferior	$y = -0,0067x + 0,9958$	$y = -0,0067x + 1,0081$
Intermedia	$y = -0,0067x + 1,0048$	$y = -0,0068x + 1,0005$
Superior	$y = -0,0068x + 0,9974$	$y = -0,0067x + 1,0038$

Donde y = masa de agua remanente/masa de agua inicial, sin unidades
 x = tiempo en minutos

6. Conclusiones

- Se construyó un equipo que permite evaluar de forma adecuada e in situ los parámetros necesarios para calcular cinéticas de secado de alimentos: peso de la muestra, y temperatura del producto en función de la velocidad y temperatura del aire y de su espesor

- Se comprobó la uniformidad del secado en las tres bandejas superpuestas que contiene el equipo, mediante la evaporación de agua destilada para una temperatura de 60° C y velocidad de 1,5 m/s.

Bibliografía

-Bruce, D M; Sykes, R A (1983) Apparatus for determining mass transfer coefficients at high temperatures for exposed particulate crops, with initial results for wheat and hops. *Journal of Agricultural Engineering Research* 28(5)385-400

-Bruce, D M (1985) Exposed-layer barley drying: Three models fitted to new data up to 150°C *Journal of Agricultural Engineering Research*, 32(4), 337-348

- Fiorentini, C, Leiva Díaz, E. y Giner, S A. (2008) A mass transfer model for the drying of an innovative tomato gel. *Food Science and Technology International* 14 (1), 39-46

-Sokhansanj, S y Bruce, D M (1987) A conduction model to predict grain temperatures in grain drying simulation *Transactions of the ASAE* 30 (4), 1181-1184