

## **DETERMINACIÓN DE LOS ÍNDICES DE PERFORMANCE DE DIFERENTES SECADEROS SOLARES**

**Adolfo Iriarte y Víctor García**

Grupo de Energías Renovables Catamarca, INENCO – CONICET  
Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Catamarca. E-mail: [iriarteadolfo@gmail.com](mailto:iriarteadolfo@gmail.com)

*Recibido: 02-05-2022; Aceptado: 31-05-2022*

**RESUMEN.-** El secado de productos agrícolas es ampliamente usado en la región del Noroeste Argentino. En Catamarca, nuestro grupo ha desarrollado una serie de secaderos que fueron ensayados con diferentes productos. El objetivo del presente trabajo es caracterizar los secaderos solares con circulación de aire con convección natural y forzada. También se incorporaron ensayos de laboratorio controlados, con pequeñas muestras de producto. Se analiza la cinética de secado de los distintos secaderos solares con diferentes productos, en condiciones climáticas reales y en el laboratorio. Mediante un análisis de regresión se determinó una curva característica de los secaderos y se determinó el Índice de Performance de Secado (IPS), que caracteriza su efectividad. Estos datos corresponden al secado de pimiento para pimentón, zanahoria, manzana y arándano en diferentes tipos de secaderos. De la comparación de estos valores de los índices obtenidos, se puede inferir si el diseño debe ser mejorado para optimizar el proceso de secado, siempre que el secado sea controlado adecuadamente.

**Palabras claves:** Índice – Performance – Secaderos – Solares

## **DETERMINATION OF THE PERFORMANCE INDEXES OF DIFFERENT SOLAR DRYERS**

**ABSTRACT.-** The drying of agricultural products is widely used in the Argentine Northwest region. In Catamarca our group has developed a series of dryers that were tested with different products. The objective of this work is to characterize solar dryers with air circulation with natural and forced convection. Also, controlled laboratory tests were incorporated, with small product samples. The drying kinetics of the different solar dryers with different products is analyzed under real climatic conditions and in the laboratory. Through a regression analysis, a characteristic curve of the dryers was determined and the drying performance index (IPS), which characterizes its effectiveness, was determined. These data correspond to the drying of pepper for paprika, carrot, apple and blueberry in different types of dryers. From the comparison of these values of the indexes obtained, it can be inferred whether the design should be improved to optimize the drying process, provided that the drying is adequately controlled.

**Keywords:** Index – Performance – Dryers – Solar

### **1. INTRODUCCION**

Un método estándar para probar un equipo solar necesita brindar garantía de calidad, seguridad y confiabilidad del sistema. Además, ayuda a la comparación entre dos (o más) equipos bajo ciertas condiciones, fomentando así la industria manufacturera para lograr una producción de calidad y eficiencia competitiva. Sin embargo, para desarrollar un método de prueba confiable, es necesario realizar experimentos rigurosos de evaluación del desempeño, bajo una variedad de condiciones de prueba. Existen muchos procedimientos para evaluar distintos equipos solares tales como colectores, cocinas, equipos fotovoltaicos, etc., incluso normas ISO y ASHARE, con distintas recomendaciones para mediciones.

El secado térmico por aire convectivo, utilizando la energía solar, ha sido ampliamente estudiado considerando varios aspectos de diseño y desarrollo. Asimismo, se han realizado ensayos de diferentes tipos de secadores solares sean directos

(Singh et al., 2006; Saleh y Badran, 2009; Iriarte et al., 2018), indirectos (El-Sebaei et al., 2002; Sreekumar et al., 2008, García et al. 2019) o mixtos (Tripathy y Kumar, 2009, Bistoni et al. 2008, 2019).

Jannot y Coulibaly (1998) propusieron un nuevo índice llamado "capacidad evaporativo" para la calificación de la actuación del calentador solar de aire en un secador solar (colector y cámara de secado). La propuesta índice complementa la eficiencia del colector como un indicador de rendimiento. El estudio indica que la propuesta de la capacidad es un criterio superador de la eficiencia térmica, para evaluar el rendimiento del sistema secador, pero aun dependen fuertemente de las condiciones climáticas. Para la comparación del rendimiento térmico entre diferentes diseños de secadores, (León et al., 2002) revisaron varios procedimientos de prueba existentes reportados en la literatura y sugirieron algunas pautas de prueba con respecto a ciertos parámetros: temperatura máxima de secado, eficiencia de secado del primer día, cantidad de producto

cargado, facilidad de carga, etc. Sin embargo, la influencia de las variables climáticas en estos parámetros lo hace muy poco comparable con ensayos realizados en otras épocas del año.

Por otro lado, hay otras opciones planteadas como considerar las pérdidas y la eficiencia como factores importantes para comparar dos equipos con o sin carga, la eficiencia de secado,  $\eta_a$ , y considerar como un parámetro de prueba la proporción de la cantidad de agua evaporada en función de la intensidad de la radiación solar incidente durante un período dado de tiempo (Bena y Fuller, 2002; Forson et al., 2007).

También hay que tener en cuenta que las características de los alimentos tienen una influencia significativa en la eficiencia de secado, incluso un secador probado con el mismo producto para diferentes condiciones de funcionamiento o diferentes productos con las mismas condiciones de funcionamiento pueden no dar resultados de eficiencia consistentes. Incluso un secador probado con el mismo producto para diferentes condiciones de funcionamiento o diferentes productos con las mismas condiciones de funcionamiento pueden no dar resultados de eficiencias consistentes.

Singh y Kumar (2012) realizaron un protocolo estandarizado para determinar una curva generalizada de secado y calcular el índice de performance del secadero (IPS), permitiendo la comparación de secaderos sobre una base equitativa, para obtener resultados independientes de las variables del proceso que influyen en el rendimiento del secador. Este método se realiza sobre la base de datos experimentales de la relación de contenido de humedad - tiempo de secado y propone un nuevo concepto para desarrollar un protocolo estándar para la evaluación del rendimiento de un secador determinado. La metodología propuesta facilita la generación de una única curva característica generalizada que representa 16 parámetros de la cinética de secado, identificando un parámetro adimensional llamado índice de rendimiento del secador, que caracteriza la efectividad del sistema de secado. Los ensayos de validez y coherencia del método se realizaron con pruebas sobre diferentes secaderos solares y productos, en condiciones climáticas reales.

El presente estudio determina el Índice de Performance del Secado (IPS) para cada secadero construido y ensayado por nuestro Grupo de Investigación, utilizando el método estandarizado por Singh y Kumar en 2012, como una forma de caracterizar la efectividad del sistema de secado, con condiciones climáticas reales y para diferentes productos. Se muestra una tabla del comportamiento en términos de performance de cada modelo y las curvas características para los secaderos de algunos modelos.

## 2. MATERIALES Y METODO

Para el estudio se utilizaron siete modelos de secaderos solares y dos convencionales. Entre los secaderos solares se usaron el protocolo en cuatro modelos con convección natural y tres con convección forzada. Los convencionales fueron: Túnel de secado en convección forzada con temperatura, humedad y flujo de aire controlado, para pequeñas cantidades de producto; estufa de secado de laboratorio de 3,3 kW, capacidad máxima de 23,5kg, con cinco bandejas de 0,99 x 0,68 m, humedad, temperatura y flujo variable. Los modelos en los que se aplicó el protocolo se muestran en las fotos de las figuras 1 al 8. Las figuras 1, 2, 3 y 5, están descritas en Bistoni et al. (2016). La figura 4 en García et al. (2019); la figura 6 está disponible en Iriarte et al. (2017).

### 2.1. Descripción de los prototipos.

Con el propósito de explicitar cómo se aplica el protocolo se describirán los secaderos y la cinética de tres sistemas; a) túnel de secado de laboratorio con condiciones controladas, figura 7, b) convección natural, figura 4 y c) convección forzada, figura 5.

### 2.2. Túnel de secado de laboratorio.

El túnel de secado de laboratorio, figura 7, está formado por un tubo aislado de sección cuadrada de 0,31 m, cada lado. Es un sistema abierto sin recirculación del aire. El aire se calienta mediante seis resistencias eléctricas envainadas en cuarzo de 500 W cada una. Posee tres bandejas ubicadas al final del túnel. El aire del ambiente exterior es ingresado al recinto de secado, por succión mediante un ventilador centrífugo de ½ HP (flujo de 0,041kg s<sup>-1</sup>). El aire circula en paralelo a las bandejas. En la figura 9 se muestra un esquema del túnel de secado de laboratorio: (1) Entrada de aire; (2) Ventilador centrífugo; (3) Resistencias; (4) Medidores temperatura, humedad y control de velocidad de aire; (5) Salida de aire.

Convección natural:



Fig. 1 Secaderos tendaleros con cobertura plástica (microtúnel).



Fig. 2. Secadero solar con chimenea ("secadero chimenea").



Fig. 3. Secadero solar con estantes escalonados ("secadero escalera").



Fig. 4. Secadero solar con estantes escalonados doble. ('Secadero escalera doble').

Convección forzada:



Fig. 5. Secadero solar tipo túnel ('secadero túnel')



Fig 6. Secadero solar tipo túnel con recirculación ('secadero túnel').



Fig. 7. Túnel de secado de laboratorio.



Fig. 8. Estufa de secado de laboratorio.

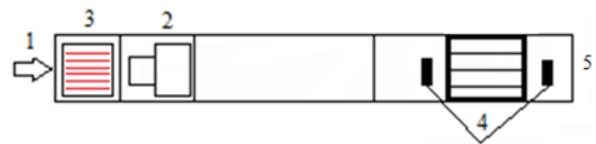


Fig. 9. Esquema túnel de secado de laboratorio con condiciones controladas

### 2.3 Secadero solar con estantes escalonados doble.

En la figura 4 se muestra un "secadero estante doble" que consta de dos módulos iguales del secadero estante, acoplados entre sí. Cada módulo tiene forma de una caja prismática rectangular de 2,00 x 1,00 m de base por una altura de 0,50 m. Estas estructuras se construyeron con caños de 20 x 20 x 2 mm, unidos mediante soldadura. Los cerramientos laterales y el fondo de los dos módulos acoplados están realizados con placas autoportantes resistentes a la intemperie, toda la superficie lateral y fondo es cubierto por una chapa de hierro, conformando una pared hueca de 0,05 m de espesor. En su interior se puso una aislación de lana de vidrio entre ambas caras. La chapa de hierro fue pintada de negro para aumentar la colección de radiación solar.

En los dos primeros compartimientos, la cubierta es rebatible, lo que permite sacar las bandejas. La tercera bandeja se ingresa por la parte posterior de la caja. Las bandejas miden 1,00 x 0,60 m y están construidas con un marco metálico de caño estructural de 10 x 10 x 2 mm, con una malla media sombra. Tiene seis bandejas por módulo, dos por cada estante. Tanto estas aberturas como las posteriores poseen elementos de cierre hermético para evitar pérdidas de calor hacia el exterior y el movimiento se hace alrededor de un eje horizontal ubicado en un extremo, girando hacia arriba.

En la parte superior de la cubierta trasera de cada módulo tiene dos chimeneas construidas con tubos de PVC circulares de 0,15 m de diámetro. La entrada del aire exterior al secadero es por su parte inferior, mediante un ducto de 0,4 m<sup>2</sup>. En la parte interna de este ducto se colocaron 6 resistencias tipo velas de 500 W cada una, para calefacción auxiliar. Todo el secadero está montado sobre una estructura metálica construida con perfiles tipo L de 50 x 50 x 5 mm, con una inclinación de 30° con respecto a la horizontal, figuras 8 y 9.

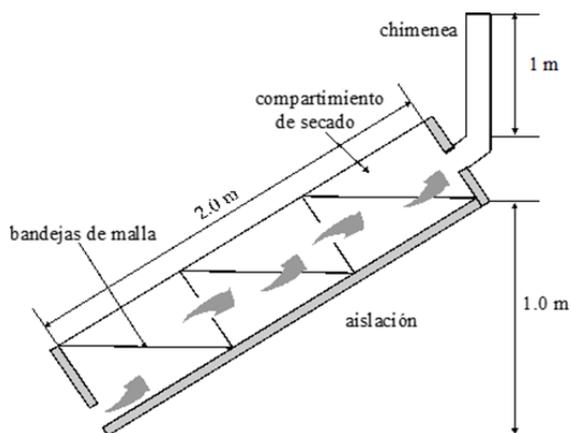


Fig. 9. Esquema del secadero convección natural

#### 2.4. Secadero solar tipo túnel (“secadero túnel”).

El secadero, figuras 5 y 10, consiste en un tendalero de 0,80 m de alto, 1,80 m de ancho y 16 m de largo, dividido en dos partes; una parte es el colector solar y la otra el secador, que también recibe radiación solar. Ambas partes están en el mismo plano, como puede verse en la figura 10. Tanto el colector como el secador tienen una placa colectora de papel de aluminio pintada de negro y por debajo 0,05 m de aislación de lana de vidrio. A 0,20 m sobre placa colectora (sector colector) y sobre las bandejas (sector secadero) hay una cubierta plana de plástico UV térmico, formando un ducto por donde circula el aire, impulsado por dos ventiladores axiales de 45 W cada uno, colocados en el ingreso al colector. Todo el sistema, colector y secadero, tiene una segunda cubierta semicircular de plástico.

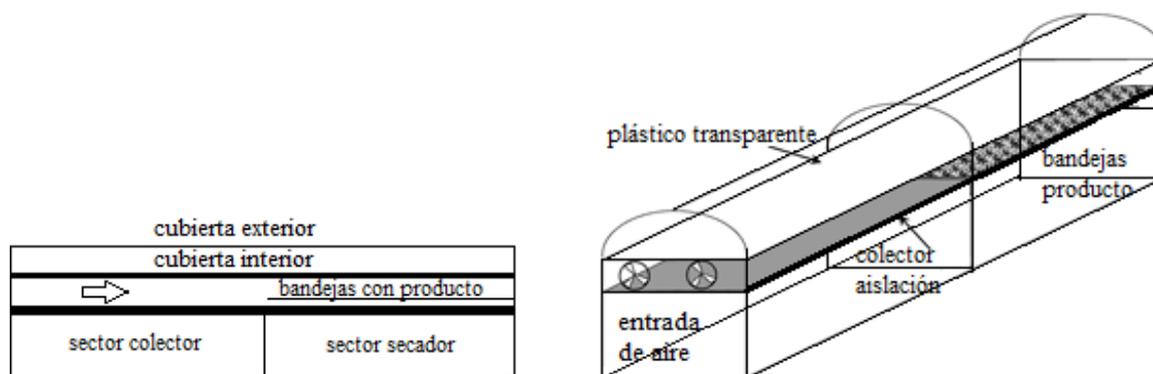


Fig.10. Esquema secadero solar tipo túnel

La carga y descarga por los costados del módulo de secado, en bandejas que tienen un ancho de 0,85 m y un largo de 0,98 m, con estructura de madera y cubiertas con media sombra, para sostener el producto. El gabinete de secado tiene una capacidad para 16 bandejas, ocho de cada lado. Una vez dentro del módulo, las bandejas son protegidas por unas puertas, que permiten lograr estanqueidad en el secador (Iriarte et al., 2015).

#### 2.5 Análisis teórico del protocolo.

El método fue desarrollado por Singh y Kumar (2012) y consiste en relacionar el contenido de humedad-tiempo de secado con un índice de performance (IPS) del secadero que representa la capacidad de secado y permite obtener una única curva representativa del mismo, “curva característica generalizada”.

La metodología que se utiliza para la obtención del IPS y trazar la curva de un secador fue determinar en el laboratorio y en campo las distintas relaciones de MR, contenido de humedad relativa en base seca, con los parámetros: energía térmica absorbida, flujo de masa, densidad de carga, espesor del corte de producto, diferentes condiciones ambientales, etc. en total fueron 16 cinéticas de secado. El ajuste estadístico se realizó con curvas de regresión no lineal características de los sistemas de secado, en particular con aquellas que mejor ajustan para el caso de productos frutihortícolas. En esta situación se usó la ecuación de Henderson y Pabis (Kavak Alpınar & Bicer, 2008; Iriarte et al., 2018):

$$MR = \frac{M_t}{M_0} = a \exp\left[-(k \cdot t)\right] \quad (1)$$

donde  $M_t$  es el contenido de humedad en bases seca en un instante de tiempo y  $M_0$  el valor inicial.

La constante  $k$  que se obtiene por el ajuste de regresión es un parámetro importante que indica la capacidad de secado del sistema, dependiendo de las condiciones de operación y no es comparable con otras situaciones. En esta experiencia se ha encontrado que el parámetro  $(k \cdot t)$  se mantiene en un valor constante, dentro de los errores de ajuste, por lo tanto, se puede expresar que el producto  $(k \cdot t)$ , término adimensional, constante para ese secadero -se denomina  $\tau$ -, con lo cual se puede trazar una nueva curva de secado que contiene el conjunto de parámetros que intervienen en el secado y diferentes condiciones del test del producto-secadero (Singh & Kumar, 2012).

De esta forma la relación a considerar para la cinética de secado será:

$$MR = \frac{M_t}{M_0} = \exp\left[-IPS \cdot \tau\right] \quad (2)$$

Para los valores experimentales obtenidos durante la operación de los secaderos diseñados y construidos por el

grupo, se aplicará esta metodología y se realizará una comparación entre los IPS más probables de cada modelo.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^N \frac{(MR_{exp,i} - MR_{pred,i})^2}{N - z} \quad (3)$$

$$MBE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pred,i}) \quad (4)$$

$$RMSE = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{pred,i} - MR_{exp,i})^2 \right]^{1/2} \quad (5)$$

### 2.7. Instrumentación

Para medir la temperatura se colocaron termopares tipo T, calibrados ( $\pm 0,5$  °C.) en diferentes puntos del colector y cámara de secado. Para la recolección de estos datos se utilizó un Data Logger tipo ADAM conectado a una PC. La humedad relativa y temperatura a la entrada, sobre bandejas, en el producto, la salida del secadero y puntos estratégicos se midieron con Data Logger tipo HOBOS inalámbricos con sensores internos y externos; temperatura ( $\pm 0,5$  °C) y humedad ( $\pm 1\%$ ). Las muestras se pesaron con una balanza electrónica (0,1g) y el producto con una balanza de plato ( $\pm 1$  g). La radiación solar se midió con un piranómetro inclinado Kipp & Zonen ( $\pm 5$  %). Se dispone de una estación meteorológica en el lugar de la experiencia. El tiempo de secado esta expresado en horas.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSION

Para analizar la aplicación y consistencia del nuevo análisis de la cinética de secado se tomaron en cuenta los tres modelos de secaderos seleccionados y el procesamiento de los datos reales registrados en distintos años y bajo diferentes condiciones climáticas. En todos los productos utilizados, para la determinación del peso seco, se colocaron tres muestras en una estufa a 104 °C, hasta obtener peso constante.

### 3.1. Cinética de secado: el Túnel de secado en laboratorio

Para la evaluación del secadero se utilizó zanahoria de la variedad Chantenay adquirida en un comercio local; se

cortaron manualmente en rodajas circulares de aproximadamente 5 mm de espesor y fueron seleccionadas de forma tal que su diámetro fuera aproximadamente constante, manteniéndose el mismo criterio para los diferentes ensayos realizados. No se las sometió a ningún tratamiento. El peso inicial promedio de todas las muestras fue de 0,390 kg aproximadamente. La temperatura del aire a la entrada de la cámara de secado fue de 40°C y con una humedad relativa promedio del 35%, con una velocidad de aire sobre el producto del orden de 0,5 ms<sup>-1</sup> (García et. al, 2019).

Procesando los valores experimentales de MR en función del tiempo, ecuación 1, se obtienen mediante un software estadístico los valores de k. Con el producto de k\*t se obtiene parámetro adimensional  $\tau$  (tau) y mediante el ajuste estadístico de los datos experimentales obtenidos de la ecuación 2, se obtiene el IPS. En la tabla 1 se muestran los resultados de los dos ajustes. Donde  $\sigma$  es la desviación estándar.

### 3.2. Secadero solar con estantes escalonados doble

Para la evaluación del secadero se utilizó zanahoria de la variedad Chantenay, con iguales características de las descritas anteriormente y sometida a idénticos procedimientos. Para determinar las curvas de secado en el secadero solar directo se colocaron dos muestras por cada bandeja, se las pesó cada hora retirándolas del secadero y se consideró el promedio por bandeja. Para pesar las muestras se utilizó una balanza electrónica con apreciación 0,1g. El secadero se cargó con 25 kg de zanahoria. Para la determinación del contenido de humedad se utilizaron 12 muestras de aproximadamente 5 gr cada una, ubicadas en el secadero. Se realizaron pesajes horarios durante el día.

En el análisis de los datos experimentales se tomaron como horas diurnas el periodo comprendido entre las 8 h hasta las 19 h y como horas nocturnas a partir de las 19 h hasta la 8 h del día siguiente. Los ensayos fueron los primeros días de diciembre. Para la determinación de k y del IPS se utilizaron los datos experimentales promedios de todas las bandejas.

Utilizando los mismos procedimientos para verificar el protocolo se obtuvieron los valores que se muestran en la tabla 2.

Tabla 1. Valores de k y IPS con sus respectivos parámetros estadísticos. Túnel laboratorio

	<b>k</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b><math>\sigma</math></b>	<b><math>\chi^2</math></b>	<b>MBE</b>	<b>RMSE</b>	<b>IPS</b>
<b>MR=a + exp (-k*t)</b>	0,187	0,982	0,010	0,00022	0,00660	0,013	
<b>MR=exp (IPS*t)</b>		0,976	0,43	0,00033	-00019	0,016	0,941

Tabla 2. Valores de k y IPS con sus respectivos parámetros estadísticos. Secadero Convección natural

	<b>k</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b><math>\sigma</math></b>	<b><math>\chi^2</math></b>	<b>MBE</b>	<b>RMSE</b>	<b>IPS</b>
<b>MR=a + exp (-k*t)</b>	0,139	0,975	0,007	0,0023	-0,0050	0,045	
<b>MR=exp (IPS*t)</b>		0,971	0,39	0,0028	-0,0007	0,049	0,948

Tabla 3. Valores de k y IPS con sus respectivos parámetros estadísticos. Secadero túnel

	<b>k</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b><math>\sigma</math></b>	<b><math>\chi^2</math></b>	<b>MBE</b>	<b>RMSE</b>	<b>IPS</b>
<b>MR=a + exp (-k*t)</b>	0,096	0,950	0,062	0,0055	0,0100	0,070	
<b>MR=exp (IPS*t)</b>		0,971	0,39	0,0084	-0,0019	0,019	0,954

### 3.3. Secadero solar tipo túnel

El secadero se cargó con 80 kg de pimiento para pimentón de diferentes variedades, en la segunda quincena de marzo. Se colocó el producto cubriendo la superficie de las bandejas y con una sola capa.

La determinación de los parámetros de secado se realizó a través de nueve muestras de cada variedad, de aproximadamente 100 gr cada una, ubicadas en diferentes lugares del secadero.

### 3.4. Curva característica generalizada.

La ecuación 2 es una relación importante que describe la variación entre parámetros adimensionales, MR y  $\tau$  ( $= k t$ ). La curva individual obtenida del ajuste de los datos experimentales a través del análisis de regresión se conoce como “Curva característica de secado generalizada” de un secador dado. Además, el parámetro adimensional DPI de la ecuación 2 puede definirse como un índice de rendimiento del secador que representa la capacidad de secado de un sistema determinado.

La ecuación 2 puede ser representada en una curva similar a las que usamos para describir la cinética de secado, si graficamos MR como fracción de  $\tau$  ( $= k t$ ). En el caso del túnel de secado en laboratorio la curva característica generalizada y la curva de la cinética en función del tiempo, se muestran en la figura 11.

IPS es la medida de efectividad del secadero ensayado y depende exclusivamente del diseño del mismo. De hecho, mayor valor de IPS indica un sistema de secado más eficiente.

En la tabla 4 se muestran los valores de  $k$  e IPS para los distintos secaderos construidos y ensayados. Un análisis de los valores obtenidos para cada secadero muestra una coherencia con las prestaciones de los mismos, se advierte una diferencia entre los que funcionan en convección natural y los forzados.

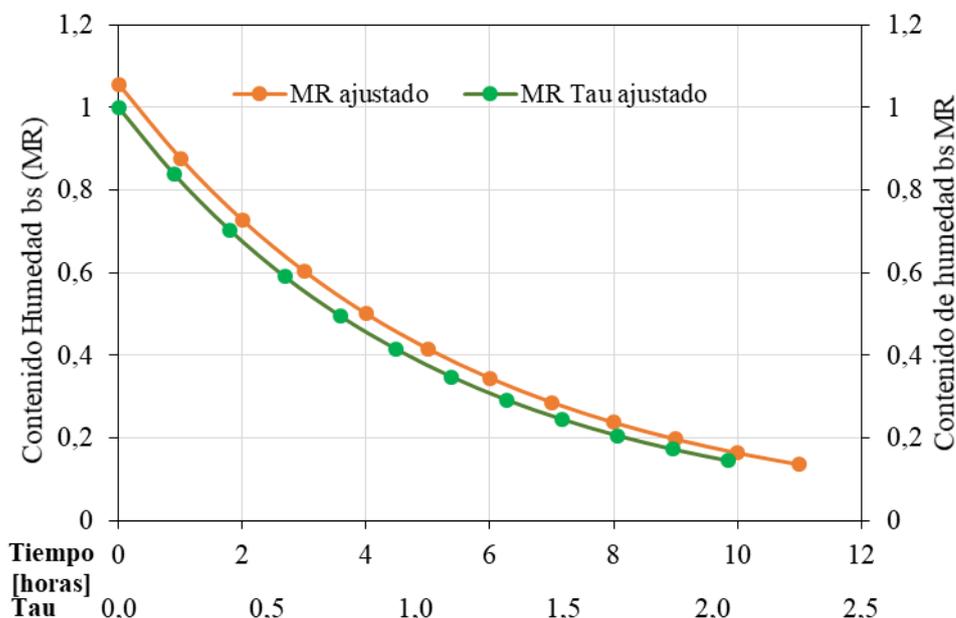


Fig. 11. Curva característica generalizada. Variación de MR en función del tiempo y de Tau.

## 4. CONCLUSIONES

Se concluye que el parámetro propuesto, IPS es más o menos independiente de diferentes condiciones de funcionamiento y de las características del producto alimenticio.

Los valores de IPS obtenidos son consistentes entre ellos para todas las condiciones de prueba, permitiendo su uso como un adecuado parámetro de prueba para la comparación de rendimiento entre varios diseños de secadores sobre una base equitativa. Además, los resultados del IPS para el clima real y las condiciones, así como para la variedad de productos alimenticios, valida el concepto de un método de prueba.

Este tipo de enfoque resulta interesante porque facilita la comparación de resultados experimentales para diferentes condiciones de prueba en términos de una única curva de secado generalizada.

Por lo tanto, el método de prueba propuesto puede considerarse como el más racional entre todos los métodos existentes y sería una herramienta eficaz para las instituciones de investigación, agencias de estandarización para calificar varios diseños de secadores solares de una manera significativa.

Tabla 4. IPS de los secaderos utilizados

Secadero	Producto kg	Tiempo Secado [h]	k	k RMSE	IPS	$\sigma$	IPS R <sup>2</sup>	IPS $\chi^2$	IPS RMSE	IPS MBE
<b>Convección Natural</b>										
Chimenea	Pimiento 27,2 kg	32,7	0,046	0,002	0,830	0,004	0,921	0,00685	0,079	-0,0179
Microtúnel	Pimiento 99,5 kg	26	0,036	0,022	0,897	0,021	0,973	0,0010	0,0315	0,0087
Escalera	Pimiento 11 kg	26	0,067	0,002	0,934	0,024	0,973	0,0020	0,046	-0,0079
Escalera Doble	Zanahoria 25 kg	16	0,139	0,046	0,948	0,060	0,971	0,00280	0,0497	0,0007
<b>Convección Forzada</b>										
Tipo túnel 2 ventiladores	Pimiento 80 kg	21	0,096	0,070	0,954	0,049	0,938	0,0084	0,0196	0,0019
Tipo túnel 3 ventiladores	Manzana 61,8 kg	29	0,137	0,057	0,977	0,129	0,978	0,0057	0,0584	-0,0082
Tipo Túnel Recircula	Zanahoria 84 kg	20	0,145	0,045	0,999	0,037	0,974	0,00206	0,043	0,0082
<b>Ensayos de Laboratorio</b>										
Túnel Laboratorio	Zanahoria 0,390 kg	11	0,187	0,013	0,941	0,043	0,982	0,00032	0,0358	-0,0018
Túnel Laboratorio	Arándano S-Joaquín 0,150 kg	19	0,094	0,0365	0,992	0,085	0,985	0,0027	0,0367	0,0030
Estufa Laboratorio	Arándano S-Joaquín 1,27 kg	40	0,070	0,0412	0,925	0,060	0,977	0,0034	0,0526	0,0065

## REFERENCIAS

- ASHRAE Standard 93-1986 (1986). Method of Testing to Determine the Thermal Performance of Solar Collectors. American Society for Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Atlanta (USA).
- Bena, B., Fuller, R.J. (2002). Natural convection solar dryer with biomass back-up heater. *Solar Energy* 72 (1), 75–83.
- Bistoni S., Iriarte A., García V. & Watkins M., Estudio de un ensayo de secado de tomate en secadero solar indirecto, *Investigaciones en Facultades de Ingeniería del NOA*, 2, 55- 60, 2008.
- Bistoni S, A. Iriarte, V. García y M. Calahorra (2016). Análisis del secado de pimiento *capsicum annuum l* en Chilecito, La Rioja. Aportes para la apropiación de tecnología solar. *Revista del CIZAS*, 16-17, 20-44. <https://agrarias.unca.edu.ar/revista-del-cizas/#1534625284246-f8a25a8b-91c1>.
- Bistoni, A. Iriarte y V. García (2019). Diseño, construcción y evaluación de un secadero solar compacto. *Revista del CIZAS* 20 (1y 2), 80: 101. Recuperado de: <https://agrarias.unca.edu.ar/wp-content/uploads/2020/CIZAS/5.%20Bistoni,%20Iriarte.pdf>
- El-Sebaei, A.A., Aboul-Enein, S., Ramadan, M.R.I., El-Gohary, H.G. (2002). Experimental investigation of an indirect type natural convection solar dryer. *Energy Conversion and Management* 43 (16), 2251–2266.
- Forson, F.K., Nazha, M.A.A., Rajakaruna, H. (2007). Modeling and experimental studies on a mixed mode natural convection solar crop dryer. *Solar Energy*, 81 (3), 346–357.
- García V., S. Bistoni, A. Iriarte A., Rugani. Secado de zanahoria en un secadero solar compacto. *Avances en Energías Renovables y Ambiente*, Vol. 23, pp 2.37-2.44, 2019.
- Iriarte A. y S. Bistoni (2018). Secado de manzana en secadero túnel de laboratorio y en secadero solar en convección natural. Modelización de la cinética de secado. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 22, 2:1-1 <http://portalderevistas.unsa.edu.ar/ojs/index.php/averma/article/view/1191>.
- Iriarte A. V. García y S. Bistoni (2015). Ensayos y simulación de un nuevo tendalero solar activo tipo túnel. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 19, 02.29-02.38. <http://portalderevistas.unsa.edu.ar/ojs/index.php/averma/article/view/1757>.
- Iriarte A, S. Bistoni, V. García y V. Luque (2017). Ensayo y simulación de un secadero solar compacto. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 21, 801-810. <http://portalderevistas.unsa.edu.ar/ojs/index.php/averma/article/view/1268>.
- ISO 9459 (part-1) (1993). Solar Heating Domestic Water Heating Systems: Performance Rating Procedure.

- Jannot, Y., Coulibaly, Y. (1998). The “evaporative capacity” as a performance index for a solar-drier air-heater. *Solar Energy* **63** (6), 387–391.
- Kavak Akpınar E. & Bicer Y. (2008). Mathematical modelling of thin layer drying process of long Green pepper in solar dryer and under open sun. *Energy Conversion and Management*, **48**, 1367-1375.
- Leon, M.A., Kumar, S., Bhattacharya, S.C. (2002). A comprehensive procedure for performance evaluation of solar food dryers. *Renewable and Sustainable Energy* **6**, 367–393.
- Singh, P.P., Singh, S., Dhaliwal, S.S. (2006). Multi-shelf domestic solar dryer. *Energy Conversion and Management*, **47**, 1799–1815.
- Singh S. & S. Kumar (2012). New approach for thermal testing of solar dryer: Development of generalized drying characteristic curve, *Solar Energy*, **86**, 1981 – 1991.
- Sreekumar, A., Manikantan, P.E., Vijayakuma, K.P. (2008). Performance of indirect solar cabinet dryer. *Energy Conversion and Management* **49**, 1388–1395.
- Saleh, A., Badran, I. (2009). Modeling and experimental studies on a domestic solar dryer. *Renewable Energy*, **34**, 2239–2245.
- Sreekumar, A., Manikantan, P.E., Vijayakuma, K.P. (2008). Performance of indirect solar cabinet dryer. *Energy Conversion and Management*, **49**, 1388–1395.
- Tripathy y Kumar, 2009, Tripathy, P.P., Kumar, S. (2009). Influence of sample geometry and rehydration temperature on quality attributes of potato dried under open sun and mixed mode solar drying. *International Journal of Green Energy*, 143–156.