

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

“ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS CINÉTICOS  
DE SECADO CONVECTIVO USANDO EL  
MODELO DE PAGE EN FRUTAS Y HORTALIZAS  
PRETRATADAS CON DIFERENTES MÉTODOS”

Tesis para optar al título profesional de:

**Ingeniera Agroindustrial**

**Autoras:**

Karla Jaquelyn Ramirez Rojas

Laurita Rocio Silva Verde

**Asesores:**

Dr. Meliza Lindsay Rojas Silva

Dr. Alberto Claudio Miano Pastor

MBA. Ing. Mylena Karen Vílchez Torres

Trujillo - Perú

**JURADO EVALUADOR**

Jurado 1 Presidente(a)	<b>Ricardo David Vejarano Mantilla</b>	<b>41260201</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	<b>Cesia Elizabeth Boñón Silva</b>	<b>40222757</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	<b>José Manuel Cedano Romero</b>	<b>45070233</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

## **DEDICATORIA**

A Dios por brindarnos paciencia y sabiduría en todo momento para poder culminar  
con éxito nuestra carrera universitaria.

Con mucho cariño a nuestra familia, en especial a nuestros padres por su apoyo  
incondicional, consejos y aprendizajes.

A nosotras mismas, por nuestra de fuerza de voluntad, compromiso y dedicación en  
todo nuestro periodo universitario.

## **AGRADECIMIENTO**

Principalmente a Dios, por brindarnos la vida y  
guiarnos por el sendero correcto.

A nuestros amados padres, por ser la base  
fundamental de nuestra formación como seres humanos, por  
ser nuestro ejemplo y motivo de superación cada día.

A nuestros docentes, en especial al Dr. Claudio Miano  
Pastor y la Dra. Meliza Rojas Silva, por su apoyo constante y  
sus valiosos conocimientos impartidos durante nuestra  
formación académica.

Al proyecto “Mecanismos de mejora del proceso de  
secado de alimentos por pretratamientos con ultrasonidos de  
alta potencia y promotores de flujo Marangoni”, a través de  
su unidad ejecutora ProCiencia. [Contrato número 406-2019]  
por su apoyo financiero.

**Tabla de contenido**

JURADO CALIFICADOR	2
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO	4
TABLA DE CONTENIDO	5
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	8
RESUMEN	9
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	10
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	12
2.1. TIPO DE ESTUDIO	12
2.1.2. Enfoque	12
2.1.2. Nivel	12
2.1.3. Diseño	12
2.1.3.1. Criterios de selección de artículos	12
2.1.3.2. Procedimiento de extracción de datos	14
2.1.3.3. Modelado matemático	14
2.1.3.4. Análisis estadístico	15
2.2. ASPECTOS ÉTICOS	16
CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIONES	17
3.1. Selección de artículos	17
3.2. Reajuste de datos	26
3.3. Efecto del producto sobre los parámetros cinéticos de Page, $k$ y $n$	40

3.4. Efecto de los pretratamientos sobre la variación de los parámetros cinéticos de Page, $k$ y $n$ .	46
3.5. Consideraciones finales	64
CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES	67
REFERENCIAS	68

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Metodología PICO	14
<b>Tabla 2.</b> Información general de artículos seleccionados para la extracción y análisis de datos	19
<b>Tabla 3.</b> Parámetros cinéticos y de bondad de ajuste del modelo de Page a los datos de secado experimentales extraídos de los artículos seleccionados	28

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Flujo de Información a Través de las Diferentes Etapas de una Revisión Sistemática	13
<b>Figura 2.</b> Flujo de Información a Través de las Diferentes Etapas de una Revisión Sistemática	17
<b>Figura 3.</b> Efecto del producto sobre el parámetro cinético “k”, a 60°C	40
<b>Figura 4.</b> Análisis jerárquico de conglomerados de productos clasificados por el efecto sobre el parámetro cinético "k", a 60°C	42
<b>Figura 5.</b> Efecto del producto sin tratamiento sobre el parámetro cinético “n”	44
<b>Figura 6.</b> Frecuencia de los posibles valores que puede tomar el parámetro cinético "n"	45
<b>Figura 7.</b> Efecto de los pretratamientos sobre la variación de los parámetros cinéticos del modelo de Page, k y n, a 40°C	46
<b>Figura 8.</b> Efecto de los pretratamientos sobre la variación de los parámetros cinéticos del modelo de Page a 55°C	48
<b>Figura 9.</b> Efecto de los pretratamientos sobre la variación de los parámetros cinéticos del modelo de Page a 65°C	50
<b>Figura 10.</b> Efecto de los pretratamientos sobre la variación del parámetro cinético k a 50°C	53
<b>Figura 11.</b> Efecto de los pretratamientos sobre la variación del parámetro n a 50°C	54
<b>Figura 12.</b> Efecto de los pretratamientos sobre la variación del parámetro cinético k a 60°C	57
<b>Figura 13.</b> Efecto de los pretratamientos sobre la variación del parámetro cinético n a 60°C	58
<b>Figura 14.</b> Efecto de los pretratamientos sobre la variación del parámetro cinético k a 70°C	61
<b>Figura 15.</b> Efecto de los pretratamientos sobre la variación del parámetro cinético n a 70°C	62



## RESUMEN

El objetivo de la investigación fue describir la influencia de los tratamientos aplicados a frutas y hortalizas antes del secado convectivo sobre los parámetros cinéticos del modelo de Page. Para ello, se utilizó la metodología PRISMA y PICO y se realizó la búsqueda y selección de estudios considerando diferentes criterios de inclusión y exclusión. Luego, mediante el software xyExtract Graph Digitizer, se extrajo los datos experimentales de las gráficas de cinética de secado de cada estudio. Posteriormente, el modelo de Page se ajustó a los datos experimentales para obtener los parámetros  $k$  y  $n$ , validando su eficacia mediante los parámetros de bondad de ajuste. Como resultado, se encontró que los pretratamientos de congelación criogénica [nitrógeno líquido,  $-196\text{ °C}$ ] y abrasión [10 rpm, 15min] mejoraron la velocidad de secado ( $>k$ ); mientras que la luz ultravioleta pulsada [7.2 J/cm<sup>2</sup>, 10-50 pulsos] y la congelación convencional [congelador,  $-18\text{ °C}$ , 96 h] disminuyeron considerablemente este parámetro. Por otro lado, los diferentes tipos de estructuras de los productos y las diferentes condiciones de pretratamiento generaron variación sobre el parámetro  $n$ , indicando modificación de estructura, destacando el pretratamiento de blanqueado. En conclusión, los pretratamientos influyeron tanto positiva como negativamente sobre los parámetros del modelo de Page.

**PALABRAS CLAVES:** Cinética de secado, pretratamientos, secado convectivo, modelo de Page, frutas y hortalizas

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Las frutas y hortalizas son seres vivos que contienen altos niveles de vitaminas, minerales y fitoquímicos, especialmente antioxidantes (Karam et al., 2016), lo que las convierte en alimentos de interés para la industria, pero también en productos altamente susceptibles al deterioro. Para prolongar la vida útil de estos alimentos, el secado convectivo es uno de los métodos de conservación más utilizado (García-Pérez et al., 2015). La eliminación de agua mediante el secado inhibe las reacciones de deterioro que acortan su vida, además de reducir el peso del producto, optimizar el transporte y almacenamiento (Castro et al., 2018). No obstante, posee varias limitaciones, como un alto consumo de energía, tiempo de secado prolongado y degradación de compuestos susceptibles al calor que se encuentran en frutas y hortalizas (Dehghannya et al., 2018).

En este sentido, la industria alimentaria con el fin de mejorar dichos inconvenientes, ha recurrido a la aplicación de diferentes pretratamientos (Llavata et al., 2020; Tao et al., 2018). Estos incluyen tratamientos químicos como los de solución química (hiperosmótica, alcalina, sulfito y ácido, etc.) y de gas ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  y  $\text{O}_3$ ) así como físicos, como los térmicos (agua caliente, vapor, choque de vapor sobrecalentado, calentamiento óhmico y por microondas, etc.) y no térmicos (ultrasonidos, congelación, campo eléctrico pulsado y alta presión hidrostática, etc.) (Deng et al., 2019). Dichos pretratamientos cambian la estructura y composición de los productos originando diferentes cinéticas de secado, las cuales son descritas por distintos modelos matemáticos (Tayyab Rashid et al., 2020).

Por lo tanto, para comprender el comportamiento de secado de frutas y hortalizas previamente tratadas, es necesario considerar algunos parámetros, como el tiempo y el contenido de humedad (Karakaplan et al., 2019). Por esta razón, se han propuesto varios modelos matemáticos para explicar el proceso de secado, siendo, los modelos de secado de

capa fina los más usados para estos alimentos. Dichos modelos se dividen en teóricos, semiteóricos y empíricos (Doymaz, 2012b). Por un lado, los modelos teóricos permiten una interpretación fenomenológica de sus parámetros, sin embargo, para su aplicación se deben considerar demasiados supuestos. En cuanto a los modelos del segundo y tercer grupo, con menos suposiciones, proporcionan resultados que permiten describir y predecir mejor el comportamiento del proceso de secado, pues dependen de los datos experimentales (Onwude et al., 2016). No obstante, los modelos semiteóricos en contraste con los empíricos demuestran un mejor ajuste (Janjai et al., 2011). Destacando al modelo de Page, ya que ha sido adoptado como estándar estadounidense en el modelado en capa fina de productos agrícolas y biológicos (ANSI/ANSE, 2014).

Diversos estudios han utilizado diferentes modelos matemáticos para describir la cinética de secado, con previo tratamiento, de frutas y verduras, como el jengibre (Osae et al., 2019), mora (Kaveh et al., 2020), zanahoria (Doymaz, 2017; Ricce et al., 2016), manzana (Shewale et al., 2019), entre otras. Sin embargo, al considerar distintos modelos matemáticos, no se ha enfocado en la descripción e interpretación adecuada de los parámetros de cada modelo, ya que estos no pueden ser comparados entre sí. Por otro lado, se encuentra la variabilidad de materias primas empleadas, donde es difícil evidenciar el efecto en la mejora del proceso de secado con el uso de un determinado pretratamiento. Esto conlleva a que no exista una comparación equilibrada entre las velocidades de secado y tiempos de secado, dos de los indicadores cinéticos más importantes que permiten determinar la calidad del proceso. Por todo lo mencionado, el objetivo de este trabajo es describir la influencia de los tratamientos aplicados a las frutas y hortalizas antes del secado convectivo sobre los parámetros cinéticos del modelo de Page a partir de datos bibliográficos conformados por artículos originales de alto impacto.

## CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de Estudio

#### 2.1.2. Enfoque

Cuantitativo, pues se resuelve mediante el uso de la estadística descriptiva.

#### 2.1.2. Nivel

Descriptivo, ya que, su finalidad es medir o recopilar información sobre las variables a los que se refieren y se someten a un análisis (Hernández Sampieri et al., 2014).

#### 2.1.3. Diseño

Metaanálisis tradicional, pues, se analiza estadísticamente los resultados extraídos de estudios primarios, con el objetivo de integrar los hallazgos obtenidos (Manterola et al., 2013).

##### 2.1.3.1. Criterios de selección de artículos

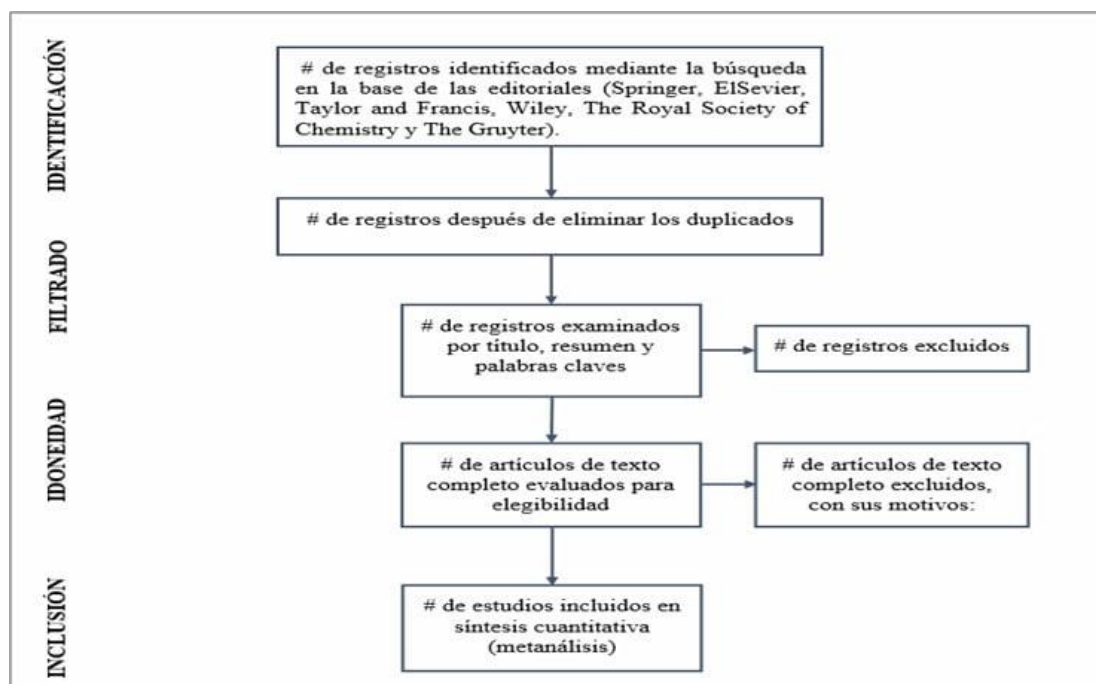
Para guiar la investigación de artículos se consideraron seis criterios: publicaciones de alta calidad en forma de artículos, es decir, documentos que presentaban una descripción general de la investigación, incluyendo objetivo, metodología detallada, resultados y discusión; artículos que hayan sido publicados y/o pertenezcan a las editoriales: Springer, Elsevier, Taylor and Francis, Wiley, The Royal Society of Chemistry y The Gruyter; publicaciones en idioma inglés en revistas donde los artículos pasan una revisión por pares; temática en relación con los pretratamientos aplicados y su efecto en la cinética de secado convectivo en frutas y hortalizas; estudios que presenten gráfica de cinética de secado con humedad o humedad adimensional en el tiempo y que el rango de temperatura de la misma sea entre 40-70 °C y publicaciones en los últimos quince años desde enero de 2006 hasta agosto 2021. Por otro lado, se excluyeron: investigaciones de idioma diferente al inglés;

estudios que presenten pretratamientos químicos como sales (NaOH, CaCl<sub>2</sub>, entre otros), ácidos orgánicos (ácido cítrico, ácido ascórbico, entre otros) y aceites (oliva, girasol, entre otros) aplicados antes del secado convectivo en frutas y hortalizas; artículos sobre los pretratamientos aplicados a la cinética secado en frutas y hortalizas fuera del contexto de secado convectivo; tesis, libros, comunicaciones, informes técnicos, actas y resúmenes de conferencias.

El método de selección de las publicaciones se desarrolló tomando en consideración el diagrama de flujo de 4 etapas de la Declaración PRISMA (Figura 1). Esta metodología tiene como propósito favorecer a los autores a mejorar la presentación de las revisiones sistemáticas y metaanálisis (Moher et al., 2014).

**Figura 1**

*Flujo de Información a Través de las Diferentes Etapas de una Revisión Sistemática.*



Luego, en la Tabla 1 se muestra la descripción de los factores correspondientes a la metodología PICO que sirvieron para evaluar cada artículo ya seleccionado.

**Tabla 1**

*Metodología PICO*

<b>Población</b>	<b>Intervención</b>	<b>Comparación</b>	<b>Resultados</b>
<b>P</b>	<b>I</b>	<b>C</b>	<b>O</b>
Frutas y hortalizas tratadas con técnicas físicas o químicas que sean posteriormente secadas mediante el método de secado convectivo.	Pretratamientos físicos y químicos (Ultrasonido, Deshidratación osmótica, osmosonificación, congelación criogénica, congelación convencional, plasma frío, abrasión, blanqueado, alta presión hidrostática, etanol y luz ultravioleta pulsada).	Efecto de la aplicación del pretratamiento frente al control y entre pretratamientos.	Aumento del parámetro cinético de velocidad de secado ( $k$ ).  Cambios estructurales debido a los pretratamientos ( $n$ ).

### 2.1.3.2. Procedimiento de extracción de datos

De los artículos seleccionados se extrajo el gráfico de cinética de secado como imagen en formato Mapa de bits. A continuación, utilizando el software xyExtract Graph Digitizer (v5.1, <http://www.df.ufcg.edu.br/>, Brasil) se cargó la figura convertida en el formato mencionado. Para extraer los datos, se definió la coordenada mínima y máxima de los ejes “X” y “Y”, así como los puntos experimentales haciendo click en el centro de los mismos. Finalmente, se guardó los datos extraídos de los puntos seleccionados y se importó en una hoja de cálculo para su posterior modelización.

### 2.1.3.3. Modelado matemático

Para la modelización de datos, se utilizó la ecuación de Page (Page, 1949) (Ecuación 1), donde  $MR(t)$  es la humedad adimensional en el tiempo de secado ( $t$ ), el parámetro " $k$ " representa la velocidad de secado relacionada con la pendiente de la curva de secado en la etapa inicial del proceso y " $n$ " representa el "tipo de difusión" debido a la estructura de la muestra. Además, de acuerdo con Ramirez et al. (2017)  $n$  debe ser constante, es decir, un valor  $n$  único a cualquier temperatura. Por lo tanto, cuando se contó en un mismo estudio con datos de secado a diferentes temperaturas, se calculó un único valor de  $n$  y diferentes valores de  $k$ , los cuales minimicen la suma de errores cuadrados (SSE, ecuación 2). Cuando  $n = 1$ , significa que la transferencia de masa es difusional, de lo contrario cuando  $n < 1$  se considera como "subdifusión" y cuando  $n > 1$  se considera como "superdifusión", indicando que intervienen otros mecanismos de transferencia como la capilaridad, por ejemplo (Simpson et al., 2017).

$$MR(t) = e^{-k * t^n} \quad (1)$$

$$SSE = \sum_{i=1}^n (M_{experimental} - M_{model})^2 \quad (2)$$

#### 2.1.3.4. Análisis estadístico

El modelo de Page (ecuación 1) se ajustó a los datos extraídos de los artículos seleccionados, identificando los valores de  $k$  y  $n$  minimizan la suma de errores cuadrados (SSE, ecuación 2) entre los valores experimentales y predichos en diferentes tiempos de secado. Para esto, se utilizó una regresión no lineal utilizando el algoritmo de gradiente reducido generalizado implementado en la herramienta "Solver" de Excel 2016. Para validar el uso del modelo de Page se evaluó la bondad de ajuste a través del valor del coeficiente de determinación ( $R^2$ ), los valores de la desviación media cuadrática (RMSD, ecuación 3), la RMSD normalizada (NRMSD, ecuación 4) y graficando los valores de

humedad obtenidos por el modelo ( $M_{model}$ ) en función de los valores experimentales ( $M_{experimental}$ ). La regresión lineal (ecuación 5) de estos valores generó tres parámetros, que se usaron para evaluar la descripción de los valores experimentales por el modelo, es decir, la pendiente lineal ( $a$ , debe estar lo más cerca posible a 1) y el intercepto ( $b$ , debe estar lo más cerca posible a cero).

$$RMSD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (M_{experimental} - M_{model})^2}{n}}$$

(3)

$$NRMSD = 100 * \frac{RMSD}{(M_{experimental})_{maximum} - (M_{experimental})_{minimum}} \quad (4)$$

$$M_{model} = a * M_{experimental} + b$$

(5)

Por otro lado, para la interpretación de los parámetros cinéticos se realizó un Análisis Jerárquico de Conglomerados. Este análisis se hizo para el comportamiento de  $k$  de las muestras sin tratamiento a 60 °C. Se realizó un gráfico dendrograma y se usó como método distancia euclídea al cuadrado sin estandarizar. La regla de fusión utilizada fue el "enlace único". Se utilizó el software SPSS Statistics 23 (International Business Machines). Mientras que para la interpretación de la variación de los parámetros  $k$  y  $n$ , generada por los pretratamientos se utilizó estadística descriptiva para distinguir los pretratamientos que afectaron en mayor y menor intensidad a la cinética de secado.

## 2.2. Aspectos éticos

En este trabajo de investigación se cumplieron aspectos éticos en cuanto a la fidelidad de la información, ya que aborda investigaciones de fuentes confiables sin



incurrir al plagio, pues toda información utilizada fue citada y referenciada garantizando que esta investigación se trabajó de manera fidedigna.

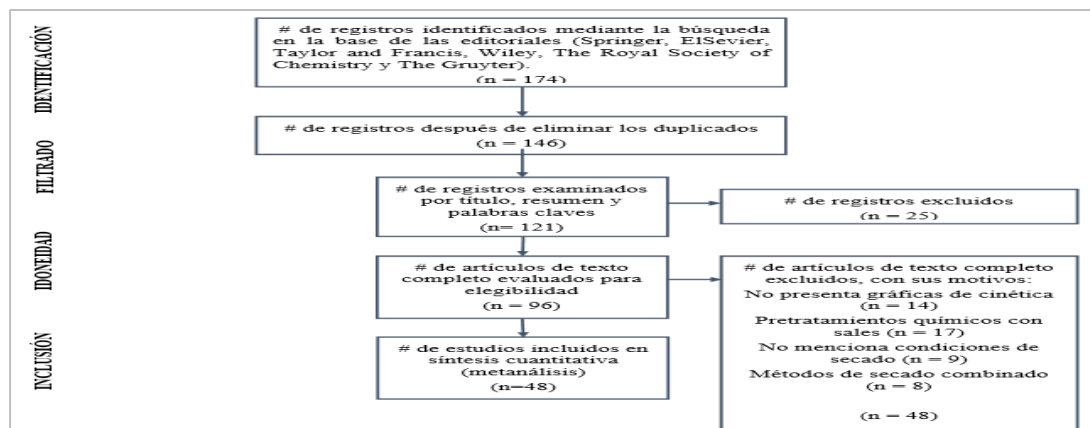
### CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 3.1. Selección de artículos

La Figura 2 detalla el flujograma PRISMA. En este se muestra noventa y seis estudios idóneos obtenidos después del filtrado, de los cuales cuarenta y ocho fueron seleccionados. El otro 50% fueron investigaciones no incluidas, de las cuales un 35.42 % aplicaban pretratamientos químicos con sales, mientras que un 29.17 % no presentaban gráficas de cinética, un 18.75 % no incluían velocidad de secado y aproximadamente un 16.67 % utilizaban métodos de secado híbrido. Estas investigaciones fueron excluidas, ya que este estudio recopila investigaciones sobre la aplicación de los pretratamientos físicos y químicos sin sales centrados en el efecto de la cinética de secado convectivo de las frutas y hortalizas. Asimismo, estos porcentajes nos indican que existe una cantidad considerable de estudios con datos incompletos y algunos de ellos con la aplicación de pretratamientos y métodos de secado poco comunes.

**Figura 2**

*Flujo de Información a Través de las Diferentes Etapas de una Revisión Sistemática.*



En la Tabla 2 se muestra el nombre común y científico de la fruta u hortaliza, así como las condiciones de esta y el pretratamiento aplicado, además del modelo matemático utilizado en los diferentes estudios previamente seleccionado. La fruta y hortaliza más estudiada es la manzana y calabaza, cada una con un 8% y 10% respectivamente de participación del total de artículos analizados. Estos alimentos son los más utilizados como objeto de estudio, debido probablemente a la homogeneidad de sus tejidos, características nutricionales, disponibilidad y tendencia de consumo (Márquez et al., 2021) y (Raponi et al., 2021). Por otra parte, se puede ver que el 29% de los autores aplican ultrasonido (US), y otro 29% blanqueado (B), por lo que estos serían los pretratamientos más utilizados en los últimos 15 años, ya que el “US” es una tecnología emergente con gran potencial de aplicación (Rani & Tripathy, 2019) y el “B” reconocido como uno de los tratamientos más populares en la industria alimentaria antes del secado (DiPersio et al., 2007). En cuanto a los modelos matemáticos se puede observar que los más usados son Page con un 53%, Henderson & Pabis con una participación del 41%, seguido del modelo Logarítmico que representa un 37% de uso. Esto debido a que los modelos ya mencionados presentan parámetros que tienen una interpretación del proceso (como la velocidad de secado “ $k$ ”). No obstante, Page es la ecuación más utilizada, debido a que presenta solo dos parámetros que permiten adecuada descripción del comportamiento de secado. Además, ha sido adoptado como estándar estadounidense en el modelado en capa fina de productos agrícolas y biológicos (ANSI/ANSE, 2014).

**Tabla 2**

*Información general de artículos seleccionados para la extracción y análisis de datos.*

N°	FRUTA U HORTALIZA		CONDICIONES DE LA MUESTRA	PRETRATAMIENTO	MODELO MATEMÁTICO	REFERENCIA
	NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO				
1	Jengibre	<i>Zingiber officinale</i>	Rodajas de espesor de 3 mm	Sin tratamiento (ST)	Weibull	(Osae et al., 2019)
				Deshidratación osmótica (OD)		
				Ultrasonido (US)		
				Osmosonización (OS)		
2	Piña	<i>Ananas comosus</i>	Rodajas 10 mm de grosor, diámetro exterior 90 mm e interior 30 mm	Sin tratamiento (ST)	Page, Henderson and Pabis, Newton-Lewis, Page modificado, Logaritmico, Two Term, Two Term Exponential, Diffusion Approach, Verma et al., Wang and Singh.	(Rani & Tripathy, 2019)
				Ultrasonido (US)		
3	Zanahoria	<i>Daucus carota</i> Var. <i>Flakee</i>	Rodajas 3 mm de espesor y 37 mm de diámetro	Sin tratamiento (ST)	Page, Henderson and Pabis, Newton-Lewis, Two Term.	(Ricce et al., 2016)
				Ultrasonido (US)		
4	Vainas de okra	<i>Abelmoschus esculentus</i>	Discos 2-3 cm de diámetro, con espesor 0.43 cm	Sin tratamiento (ST)	Page, Henderson and Pabis, Newton-Lewis, Page modificado, Logaritmico, Two Term, Two Term Exponential, Midilli et al.	(H. Wang et al., 2019)
				Vacío combinado con ultrasonido (UVP)		
5	Uva	<i>Vitis vinifera</i> L.	Entera	Sin tratamiento (ST)	Page, Henderson and Pabis, Newton-Lewis,	(Noshad & Ghasemi, 2020)

N°	FRUTA U HORTALIZA		CONDICIONES DE LA MUESTRA	PRETRATAMIENTO	MODELO MATEMÁTICO	REFERENCIA
	NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO				
				Congelación convencional (F)	Page modificado, Logaritmico, Diffusion Approach, Wang and Singh.	
				Congelación criogénica (N)		
6	Uva	<i>Vitis vinifera L. cv. Asgari</i>	Entera	Sin tratamiento (ST) Plasma frío (PF)	No modelado	(Miraei Ashtiani et al., 2020)
7	Ajo	<i>Allium sativum</i>	Entero	Sin tratamiento (ST) Ultrasonido (US) Osmosonización (OS) Osmosonización asistida por vacío (V + OS)	Page, Henderson and Pabis, Newton-Lewis, Two Term Exponential, Diffusion Approach.	(Alolga et al., 2021)
8	Calabaza	<i>Cucurbita maxima</i>	Rodajas de 5 ± 1 mm de espesor	Sin tratamiento (ST) Blanqueado (B)	Page, Henderson and Pabis, Newton-Lewis, Henderson and Pabis modificado, Page modificado, Logaritmico, Midilli et al.	(Márquez et al., 2021)
9	Uva	<i>Vitis vinifera Var.Red Globe</i>	Entera	Sin tratamiento (ST) Abrasión (A)	Page, Henderson and Pabis, Logaritmico, Two term.	(Adiletta et al., 2016)
10	Papa	<i>Solanum tuberosum Var. Mona Lisa</i>	cilindros transversales de 2.0 cm de altura y 2.0 cm de diámetro	Sin tratamiento (ST) Ultrasonido (US) Agua (W)	Page	(Miano et al., 2019)
11	Membrillo	<i>Cydonia oblonga Miller</i>	Discos de 5,8 ± 0,1 cm de diámetro y 0,5 ±	Sin tratamiento (ST) Blanqueado (B)	Page, Henderson and Pabis, Newton-Lewis.	(Doymaz et al., 2015)

N°	FRUTA U HORTALIZA		CONDICIONES DE LA MUESTRA	PRETRATAMIENTO	MODELO MATEMÁTICO	REFERENCIA
	NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO				
			0,1 cm de espesor.			
12	Mango	<i>Mangifera indica</i> Var. <i>Dasheri</i>	Rodajas con un grosor de 4 mm	Sin tratamiento (ST) Blanqueado (B)	Page, Henderson and Pabis, Page modificado, Logaritmico.	(Mishra et al., 2021)
13	Kiwi	<i>Actinidia deliciosa</i>	Rodajas de 10 mm de grosor	Sin tratamiento (ST) Ultrasonido (US)	modelo de primer orden	(J. Wang et al., 2019)
14	aguaymanto	<i>Physalis peruviana</i>	Entero	Sin tratamiento (ST) Congelación convencional (F) Congelación criogénica (N)	Page, Henderson and Pabis, Newton-Lewis, Logaritmico, Wang and Singh.	(Junqueira et al., 2017)
15	Caqui	<i>Diospyros kaki</i> L.	Cubos de 12 x 12 mm	Sin tratamiento (ST) Osmosonización (OS)	No modelado	(Bozkir, Rayman Ergün, Serdar, et al., 2019)
16	Albaricoque	<i>Prunus armeniaca</i>	Cubos de 10 x 10 mm	Sin tratamiento (ST) Deshidratación osmótica (OD) Osmosonización (OS)	No modelado	(Sakooei-Vayghan et al., 2020)
17	Aguaymanto	<i>Physalis peruviana</i>	Entero	Sin tratamiento (ST) Blanqueado (B) Ultrasonido (US)	No modelado	(Vásquez-Parra et al., 2013)
18	Zanahoria	<i>Dacus carota</i>	Discos de 2,5 ± 0,1 cm de diámetro y 0,4 cm (± 0,1) de espesor	Sin tratamiento (ST) Blanqueado (B)	Weibull, Henderson and Pabis, Logaritmico, Midilli et al., Parabolic.	(Doymaz, 2017)
19	Cereza	<i>Prunus avium</i> Var. <i>Napolitana</i>	Entera	Sin tratamiento (ST) Blanqueado (B)	Page, Newton-Lewis, Logaritmico.	(Pirone et al., 2014)

N°	FRUTA U HORTALIZA		CONDICIONES DE LA MUESTRA	PRETRATAMIENTO	MODELO MATEMÁTICO	REFERENCIA
	NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO				
				Congelación convencional (F)		
				Deshuesado (D)		
20	Manzana	<i>Malus domestica</i> Var. <i>Granny Smith</i>	Rodajas de 5 mm de espesor	Sin tratamiento (ST) Deshidratación osmótica (OD)	No modelado	(Aktas et al., 2013)
21	Calabaza	<i>Cucurbita moschata</i> Duch.	Cilindros de 1 cm de espesor y 1,5 cm de diámetro	Sin tratamiento (ST) Etanol (E) E + US	Page	(Rojas et al., 2020)
22	Manzana	<i>Malus domestica</i>	Diámetro de 30 ± 0,2 mm y un grosor de 10 ± 0,2 mm.	Sin tratamiento (ST) Etanol (E) E + US	Page, Henderson and Pabis, Newton-Lewis, Logaritmico, Two Term, Midilli et al., Wang and Singh, Sledz et al., Logestic, Segunda ley Fick.	(Zubernik et al., 2020)
23	Higos	<i>Ficus carica</i> L. Var. <i>Sarilop</i>	Entero	Sin tratamiento (ST) Deshidratación osmótica al vacío pulsada (PVOD)	Exponential.	(Şahin & Öztürk, 2016)
24	Coliflor	<i>Brassica oleracea</i> L	Grosor medio de las rodajas de las piezas cortadas de coliflor fue de 20 mm.	Sin tratamiento (ST) Blanqueado (B)	Page, Henderson and Pabis, Newton-Lewis, Logaritmico, Midilli et al., Wang and Singh.	(Sahin & Doymaz, 2017)
25	Manzana, berenjena y betarraga	<i>Malus domestica</i> Var. <i>Granny Smith</i> , <i>Solanum melongena</i> Var. <i>Black enorme</i> y <i>Beta vulgaris</i> Var.	Cubos de 10 mm sin semillas	Sin tratamiento (ST) Congelación convencional (F) Congelación criogénica (N)	Segunda ley Fick	(Vallespir et al., 2018)

N°	FRUTA U HORTALIZA		CONDICIONES DE LA MUESTRA	PRETRATAMIENTO	MODELO MATEMÁTICO	REFERENCIA
	NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO				
	<i>Conditiva</i>					
26	Melón	<i>Cucumis melo</i>	Rodajas (5.0 × 3.0 cm) de 0.5 cm de espesor	Sin tratamiento (ST) Etanol (E) E + US E + V E + US + V	Henderson, Logaritmico, Two Term, Wang and Singh, Single Exponential.	(da Cunha et al., 2020)
27	Taikor	<i>Garcinia pedunculata Roxb</i>	1 ± 0,25 cm de espesor	Sin tratamiento (ST) Ultrasonido (US)	Page, Henderson and Pabis, Newton-Lewis.	(Hossain et al., 2021)
28	Mangos	<i>Mangifera indica L. var. Tommy Atkins</i>	Muestras cúbicas (10 mm de lado)	Sin tratamiento (ST) Luz ultravioleta pulsada (UV)	Segunda ley Fick	(Braga et al., 2019)
29	Arracacha Camote Cocoyam	<i>Arracacia xanthorrhiza</i> <i>Ipomoea batata</i> <i>Colocasia esculenta</i>	Cilindros (15 mm de diámetro y 15 mm de altura)	Sin tratamiento (ST) Alta presión hidrostática (HHP)	Simplified Fick's diffusion	(Oliveira et al., 2015)
30	Arándanos	<i>Vaccinium macrocarpon Var. Pilgrim</i>	Entero	Sin tratamiento (ST) Congelación convencional (F) Congelación criogénica (N)	No modelado	(Zielinska et al., 2018)
31	Manzanas	<i>Malus domestica Var. Idared</i>	Cubos de 0,01 m de lado.	Sin tratamiento (ST) Ultrasonido (US)	Midilli et al.	(Nowacka et al., 2012)
32	Guisantes	<i>Pisum sativum</i>	Entero	Sin tratamiento (ST) Blanqueado (B)	Page, Henderson and Pabis, Newton-Lewis, Logaritmico.	(Doymaz & Kocayigit, 2011)
33	Arándanos	<i>Vaccinium macrocarpon Var.</i>	Entero	Sin tratamiento (ST) Microondas (MW)	Exponential	(Vega-Gálvez et al., 2012)

N°	FRUTA U HORTALIZA		CONDICIONES DE LA MUESTRA	PRETRATAMIENTO	MODELO MATEMÁTICO	REFERENCIA
	NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO				
		<i>O'Neil</i>		Alta presión hidrostática (HHP)		
34	Ajo	<i>Allium sativum</i>	Entero	Sin tratamiento (ST) Ultrasonido (US)	Simplified Fick's diffusion	(Bozkir, Rayman Ergün, Tekgül, et al., 2019)
35	Plátano	<i>Musa paradisiaca</i> <i>Var. Pacovan</i>	Rodajas con un grosor de 0,5 cm (3,21 cm de diámetro medio de la rebanada)	Sin tratamiento (ST) Ultrasonido (US)	Page, Segunda ley Fick	(Azoubel et al., 2010)
36	Bayas de Goji	<i>Lycium barbarum L.</i>	Entero	Sin tratamiento (ST) Abrasión (A)	No modelado	(Russo et al., 2020)
37	Papa	<i>Solanum tuberosum L.</i>	Rodajas de 8 mm de espesor	Sin tratamiento (ST) Blanqueado (B)	Page, Henderson and Pabis, Henderson and Pabis modificado, Newton-Lewis, Logaritmico, Two Term, Verma et al., Midilli et al., Wang and Singh, Parabolic	(Doymaz, 2012a)
38	Col rizada de Galega	<i>Brassica oleracea L.</i> <i>var. Acephala</i>	5 mm de espesor	Sin tratamiento (ST) Blanqueado (B)	No modelado	(Araújo et al., 2016)
39	Mora	<i>Rubus ulmifolius</i>	Entera	Sin tratamiento (ST) Microondas (MW) Sin tratamiento (ST)	Page, Henderson and Pabis, Newton-Lewis, Logaritmico, Midilli et al., Wang and Singh, Parabolic, Demir et al., Logistic.	(Kaveh et al., 2020)



N°	FRUTA U HORTALIZA		CONDICIONES DE LA MUESTRA	PRETRATAMIENTO	MODELO MATEMÁTICO	REFERENCIA
	NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO				
				Ultrasonido (US)		
40	Yuca	<i>Manihot esculenta</i> <i>Var. Amarilla</i>	Rodajas de 3 mm de espesor	Sin tratamiento (ST)  Ultrasonido (US)	Page, Henderson and Pabis, Henderson and Pabis modificado, Newton-Lewis, Logaritmico, Page modificado, Wang and Singh, Parabolic, Simplified Fick's diffusion.	(Oladejo et al., 2021)
41	Col de Bruselas y Coliflor	<i>Brassica oleracea</i> <i>Var. Gemmifera</i> , y <i>Brassica oleracea</i> <i>Var. Botrytis</i>	Pequeños fragmentos (dimensiones: 1,5 1,5 cm)	Sin tratamiento (ST) Blanqueado (B) Ultrasonido (US)	No modelado	(Jambrak et al., 2007)
42	Pera	<i>Pyrus communis</i> <i>Var. Blanquilla</i>	Rodajas de pera sin pelar, 80 mm de diámetro y 10 mm de grosor.	Sin tratamiento (ST) Deshidratación osmótica (OD)	Segunda ley Fick	(González-Martínez et al., 2006)
43	Cambuci	<i>Campomanesia phaea</i>	Rodajas de 5 mm de espesor	Sin tratamiento (ST) Etanol (E) Congelación convencional (F) E + F	Page	(Rojas et al., 2021)
44	Calabaza	<i>Cucurbita moschata</i> <i>Duch.</i>	Cilindros longitudinales (0.3 cm de espesor y 1.5 cm de diámetro)	Sin tratamiento (ST)  Etanol (E)	Page	(Carvalho et al., 2020)
45	Calabaza	<i>Cucurbita maxima</i>	Rodajas con	Sin tratamiento (ST)	Page, Henderson and	(Pérez & Schmalko, 2009)

N°	FRUTA U HORTALIZA		CONDICIONES DE LA MUESTRA	PRETRATAMIENTO	MODELO MATEMÁTICO	REFERENCIA
	NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO				
			diámetros de 20 mm y alturas de 25 mm	Blanqueado (B)	Pabis, Henderson and Pabis modificado, Newton-Lewis, Logaritmico, Two term, Midilli et al., Wang and Singh.	
46	Manzana	<i>Malus domestica</i> Var. <i>Granny Smith</i>	Rodajas de manzana (diámetro: 38 mm; grosor: 3 mm)	Sin tratamiento (ST) Blanqueado (B) Vacío (V) Congelación convencional (F) Compresión (C)	Segunda ley Fick	(Ramírez et al., 2011)
47	Calabaza	<i>Cucurbita moschata</i> Duch.	Cilindros de 1,5 cm de diámetro y 1 cm de altura	Sin tratamiento (ST) Etanol (E)	Page	(Rojas & Augusto, 2018a)
48	Zanahoria	<i>Dacus carota</i>	Rodajas de 5 mm	Sin tratamiento (ST) Etanol (E) Agua + US (W+US) Etanol + US (E+US)	Page	(Santos et al., 2021)

### 3.2. Reajuste de datos

En la Tabla 3, se muestra las condiciones del secado y pretratamiento aplicado, los parámetros cinéticos  $k$  y  $n$  los cuales se encuentran entre el rango de  $0.000003-0.0674 \text{ min}^{-1}$  y  $0.5572-1.9591$  respectivamente, y de bondad de ajuste de los estudios seleccionados anteriormente de acuerdo al número de artículo y referenciado en la Tabla 2. Asimismo, se observa que los coeficientes de determinación en promedio son superiores al 99%, los valores de “a” cercanos a uno, los de “b” cercanos a cero y los de RMSD y NRMSD son bajos, lo cual corrobora la

idoneidad del modelo de Page para describir el comportamiento de la cinética de secado de frutas y hortalizas. Sin embargo, a pesar de que tiene un buen ajuste por los indicadores antes mencionados, se ha evidenciado en algunos trabajos, con respecto al parámetro cinético  $k$ , que existe una limitación por parte del modelo. Esto, debido a que el parámetro  $k$  del modelo de Page describe el comportamiento de los datos experimentales solamente en la etapa inicial de la curva de secado y no refleja lo que en realidad ha ocurrido en el proceso de secado global. Vale aclarar que esa limitación solamente se da en casos en que los datos experimentales muestren un comportamiento variable en la etapa inicial del proceso. Como muestra de ello, las investigaciones realizadas por (Ramírez et al., 2011) y Vallespir et al. (2018), indican que el parámetro de difusión efectiva (del modelo de Fick) aumenta con la aplicación de los pretratamientos indicando una mejora en la transferencia de agua, mientras que el modelo utilizado en este estudio evidencia lo contrario, es decir una disminución del parámetro cinético  $k$ . Por otro lado, en las siguientes secciones, el comportamiento de los parámetros cinéticos del modelo de Page sobre los diferentes productos y pretratamientos se analizarán detalladamente.

**Tabla 3**

*Parámetros cinéticos y de bondad de ajuste del modelo de Page a los datos de secado experimentales extraídos de los artículos seleccionados.*

N°	PRETRATAMIENTO	SECADO		PARÁMETROS CINÉTICOS		RMSD	NRMSD	a	b	R <sup>2</sup>
		T (°C)	v (m/s)	k (min <sup>-n</sup> )	n					
1	ST	60	2	0.0106	0.9332	0.0229	2.3733	0.9751	0.0012	0.9935
	OD [sacarosa 20%, 30 min]			0.0113	0.9698	0.0187	1.9296	0.9735	0.0042	0.9970
	US [33 kHz, 30 °C, 30 min]			0.0108	1.0096	0.0170	1.7561	0.9702	0.0035	0.9955
	OS [sacarosa 20%, 30 min; 33 kHz, 30 °C, 30 min]			0.0133	0.9933	0.0193	1.9872	0.9680	0.0047	0.9969
2	ST	70	0.6	0.0023	1.1170	0.0207	2.1347	0.9942	0.0069	0.9951
	US [40 kHz, 30 °C, 20 min]			0.0032	1.0754	0.0281	2.8911	0.9956	0.0080	0.9906
	US [40 kHz, 30 °C, 30 min]			0.0022	1.1534	0.0246	2.5276	0.9915	0.0078	0.9932
3	ST	40	2	0.0080	1.0950	0.0181	1.8226	0.9928	0.0081	0.9975
		60		0.0164	1.0950	0.0101	1.0102	0.9906	0.0061	0.9993
	US [25 kHz, 23 °C, 30 min]	40		0.0019	1.3581	0.0231	2.2652	0.9739	0.0081	0.9965
		60		0.0048	1.3581	0.0207	2.0297	0.9770	0.0059	0.9973
	US [25 kHz, 23 °C, 60 min]	40		0.0034	1.3012	0.0229	2.2448	0.9686	0.0098	0.9969
		60		0.0068	1.3012	0.0165	1.6628	0.9891	0.0013	0.9980
4	ST	70	2	0.0063	1.0664	0.0165	1.6691	0.9870	0.0055	0.9979
	UVP [25 kHz, 400 W, 25 °C, 15 min]			0.0277	0.8961	0.0232	2.3555	0.9876	0.0007	0.9949
5	ST	70	1.5	0.0002	1.1929	0.0406	4.1171	1.0078	0.0082	0.9826
	F [congelador, -20 °C, 24 h]			0.0002	1.2403	0.0412	4.2157	0.9885	0.0151	0.9832
	N [nitrógeno líquido, -196 °C, 1 min]			0.0003	1.1501	0.0448	4.5413	0.9919	0.0141	0.9764
6	ST	60	1.5	0.0002	1.1625	0.0056	0.6664	1.0043	-0.0009	0.9996
	PF [10 L/min, 50 Hz, 300 W, 27 kV, 50 s]			0.0003	1.1483	0.0186	2.1948	1.0055	0.0006	0.9946
7	ST	60	2	0.0082	0.9901	0.0075	0.7701	0.9940	0.0013	0.9993
	US [40 kHz, 30 °C, 40 min]			0.0122	0.9706	0.0094	0.9646	0.9872	0.0037	0.9991
8	ST	55	3.7	0.0018	1.2423	0.0227	2.3002	1.0040	-0.0027	0.9939
		60		0.0028	1.2423	0.0146	1.4636	0.9917	0.0052	0.9982

N°	PRETRATAMIENTO	SECADO		PARÁMETROS CINÉTICOS		RMSD	NRMSD	a	b	R <sup>2</sup>		
		T (°C)	v (m/s)	k (min <sup>-n</sup> )	n							
9	B [90 °C, 5 min]	65	2.3	0.0029	1.2423	0.0104	1.0483	0.9995	-0.0015	0.9990		
		70		0.0036	1.2423	0.0174	1.7516	0.9847	0.0069	0.9977		
		55		0.0022	1.2438	0.0186	1.8892	1.0208	-0.0105	0.9968		
		60		0.0025	1.2438	0.0175	1.7557	0.9937	0.0045	0.9972		
		65		0.0030	1.2438	0.0210	2.1166	0.9820	0.0058	0.9960		
		70		0.0032	1.2438	0.0180	1.8010	0.9812	0.0071	0.9974		
	A [10 rpm, 15 min]	40		0.0000	1.1937	0.0247	2.5007	1.0268	-0.0087	0.9939		
		50		0.0000	1.1937	0.0175	1.7548	0.9742	0.0107	0.9980		
		60		0.0001	1.1937	0.0120	1.2154	0.9880	0.0024	0.9988		
		70		0.0003	1.1937	0.0174	1.7516	0.9849	0.0068	0.9977		
		40		0.0002	1.0204	0.0282	3.0056	1.0485	-0.0129	0.9944		
		50		0.0011	1.0204	0.0281	3.0057	1.025	-0.0204	0.9939		
	10	ST		60	0.8 ± 0.1	0.0027	1.1024	0.0101	1.0144	0.9922	0.0040	0.9988
		US [25 kHz, 91 W/L, 25 °C, 60 min]				0.0027	1.1225	0.0151	1.5144	0.9946	0.0059	0.9975
US [25 kHz, 91 W/L, 25 °C, 120 min]		0.0019	1.2172			0.0162	1.6269	0.9984	0.0061	0.9976		
W [agua, 120 min]		0.0024	1.1306			0.0106	1.0630	0.9915	0.0045	0.9988		
11	ST	50	2	0.0017	1.1747	0.0141	1.4726	1.0064	0.0006	0.9977		
		57		0.0029	1.1747	0.0157	1.6347	1.0162	-0.0016	0.9976		
		64		0.0028	1.1747	0.0156	1.6176	0.9922	0.0067	0.9974		
	B [80 °C, 1 min]	50		0.0020	1.1681	0.0068	0.7041	1.0117	-0.0031	0.9996		
		57		0.0030	1.1681	0.0155	1.6129	1.0135	-0.0006	0.9975		
		64		0.0036	1.1681	0.0223	2.3026	0.9697	0.0161	0.9955		
12	ST	50	2.25	0.0337	0.7521	0.0184	1.9172	0.9652	0.0033	0.9973		
		60		0.0367	0.7521	0.0275	2.8851	0.9635	-0.0024	0.9937		
		70		0.0382	0.7521	0.0180	1.8928	1.0268	-0.0133	0.9976		
	B [98 °C, 3 min]	50		0.0236	0.8403	0.0127	1.3027	0.9885	-0.0035	0.9987		
		60		0.0250	0.8403	0.0347	3.6398	0.9877	-0.0303	0.9991		
		70		0.0241	0.8403	0.0132	1.3767	1.0093	-0.0076	0.9985		

N°	PRETRATAMIENTO	SECADO		PARÁMETROS CINÉTICOS		RMSD	NRMSD	a	b	R <sup>2</sup>
		T (°C)	v (m/s)	k (min <sup>-n</sup> )	n					
13	ST	65	5 ± 1	0.0092	1.0890	0.0045	0.4561	0.9970	0.0018	0.9998
	US [20 kHz, 400 W, 10 min]			0.0077	1.1536	0.0105	1.0564	0.9951	0.0045	0.9990
	US [20 kHz, 400 W, 20 min]			0.0041	1.2812	0.0138	1.3965	0.9932	0.0061	0.9983
	US [20 kHz, 400 W, 30 min]			0.0046	1.2676	0.0114	1.1546	0.9935	0.0053	0.9989
14	ST	60	2	0.0008	1.1978	0.0080	0.9414	1.0034	-0.0003	0.9992
	F [congelador, -18 °C, 2 h]			0.0008	1.2237	0.0110	1.3052	1.0078	-0.0016	0.9986
	N [nitrógeno líquido, -196 °C, 10 s]			0.0014	1.1446	0.0128	1.5067	1.0067	-0.0010	0.9980
15	ST	60	1.5	0.0144	0.8990	0.0154	2.5291	0.9759	0.0012	0.9939
	OS [sacarosa 45 °Brix; 35 kHz, 30 °C, 10 min]			0.0472	0.6336	0.0246	4.0513	0.9505	0.0248	0.9805
	OS [sacarosa 45 °Brix; 35 kHz, 30 °C, 20 min]			0.0313	0.7918	0.0229	3.7716	0.9640	0.0182	0.9879
	OS [sacarosa 45 °Brix; 35 kHz, 30 °C, 30 min]			0.0164	0.9472	0.0126	2.1370	0.9806	0.0107	0.9957
16	ST	60	1.5	0.0079	0.9915	0.0309	3.2972	0.9991	-0.0107	0.9909
	OD [sorbitol 35 °Brix, 30 min, 55 °C]			0.0098	0.9550	0.0263	2.7901	1.0011	-0.0072	0.9927
	OD [sorbitol 35 °Brix, 45 min, 55 °C]			0.0092	0.9675	0.0265	2.8784	1.0035	-0.0063	0.9922
	OS [sorbitol 35 °Brix, 30 min, 55 °C; 25 kHz, 30 min]			0.0114	0.9338	0.0196	2.1392	1.0010	-0.0022	0.9953
	OS [sorbitol 35 °Brix, 30 min, 55 °C; 25 kHz, 45 min]			0.0098	0.9636	0.0181	1.9898	1.0017	-0.0038	0.9962
	OS [sorbitol 35 °Brix, 30 min, 55 °C; 35 kHz, 30 min]			0.0124	0.9293	0.0168	1.7046	1.0016	-0.0030	0.9965
17	ST	6	2	0.0003	1.2734	0.0131	1.8327	1.0079	-0.0026	0.9967
	B [96 °C, 0.25 min]			0.0016	1.1510	0.0135	1.4475	1.0050	0.0014	0.9981
18	ST	50	2 ± 0.1	0.0037	1.2214	0.0150	1.5213	1.0345	-0.0127	0.9989
		60		0.0057	1.2214	0.0114	1.1453	0.9812	0.0093	0.9992

N°	PRETRATAMIENTO	SECADO		PARÁMETROS CINÉTICOS		RMSD	NRMSD	a	b	R <sup>2</sup>	
		T (°C)	v (m/s)	k (min <sup>-n</sup> )	n						
19	B [80 °C, 2 min]	70	4	0.0081	1.2214	0.0169	1.6881	0.9713	0.0134	0.9983	
		50		0.0067	1.1506	0.0156	1.5859	1.0098	0.0002	0.9978	
		60		0.0092	1.1506	0.0204	2.0623	1.0000	0.0042	0.9959	
		70		0.0137	1.1506	0.0297	2.9843	0.9608	0.0210	0.9936	
	ST			0.0027	1.0465	0.0143	1.5265	0.9979	0.0013	0.9980	
	B [100 °C, 1.5 min]			0.0082	0.9331	0.0217	2.3273	1.0041	-0.0030	0.9958	
	F [congelador, -18 °C, 96 h]			0.0010	1.2174	0.0192	2.0508	1.0094	-0.0053	0.9972	
	D			0.0184	0.7401	0.0360	4.0987	0.9919	-0.0019	0.9862	
	20	ST		50	0.0020	1.2023	0.0191	1.9902	0.9961	-0.0007	0.9960
				60	0.0077	1.2023	0.0268	2.7516	1.0407	-0.0215	0.9948
70			0.0065	1.2023	0.0168	1.7300	1.0074	-0.0095	0.9972		
OD [sacarosa 20 °Brix, 30 min]		50	0.0017	1.2393	0.0199	2.0782	0.9957	-0.0034	0.9960		
		60	0.0038	1.2393	0.0205	2.1030	1.0278	-0.0176	0.9973		
		70	0.0068	1.2393	0.0248	2.5795	1.0328	-0.0231	0.9968		
OD [sacarosa 50 °Brix, 30 min]		50	0.0066	1.0387	0.0370	3.9604	1.0386	-0.0249	0.9875		
		60	0.0097	1.0387	0.0350	3.6842	1.0278	-0.0297	0.9918		
		70	0.0155	1.0387	0.0377	3.9408	0.9915	-0.0162	0.9871		
OD [trehalosa 20 °Brix, 30 min]		50	0.0048	1.1927	0.0301	3.1372	1.0434	-0.0290	0.9957		
	60	0.0041	1.1927	0.0165	1.6888	1.0082	-0.0102	0.9976			
	70	0.0091	1.1927	0.0218	2.2310	1.0033	-0.0108	0.9955			
OD [trehalosa 50 °Brix, 30 min]	50	0.0041	1.2538	0.0408	4.2983	1.0625	-0.0417	0.9937			
	60	0.0054	1.2538	0.0307	3.1881	1.0274	-0.0270	0.9959			
	70	0.0073	1.2538	0.0302	3.1272	1.0178	-0.0233	0.9944			
21	ST		0.8 ± 0.1	0.0008	1.3349	0.0188	1.8946	1.0017	0.0064	0.9969	
	E [99.5 % V/V, 15 min]	50	0.0043	1.1335	0.1467	14.7691	1.0065	0.0034	0.9974		
	E [99.5 % V/V, 30 min]		0.0038	1.1634	0.0249	2.5067	1.0018	0.0085	0.9937		

N°	PRETRATAMIENTO	SECADO		PARÁMETROS CINÉTICOS		RMSD	NRMSD	a	b	R <sup>2</sup>
		T (°C)	v (m/s)	k (min <sup>-n</sup> )	n					
22	E + US [99.5 % V/V, 25 kHz, 24 °C, 15 min]	70	1.5	0.0056	1.0941	0.0242	2.4279	1.0033	0.0075	0.9937
	E + US [99.5 % V/V, 25 kHz, 24 °C, 30 min]			0.0108	1.0073	0.0282	3.2586	0.9964	0.0104	0.9886
	ST			0.0351	1.0265	0.0099	1.0257	0.9013	0.1388	0.9717
	E [96 % V/V, 5 s]			0.0526	0.9601	0.0107	1.1142	0.9920	0.0026	0.9990
	E [96 % V/V, 15 s]			0.0542	0.9444	0.0105	1.0910	0.9896	0.0035	0.9990
	E [96 % V/V, 60 s]			0.0523	0.9659	0.0088	0.9113	0.9909	0.0030	0.9992
	E [96 % V/V, 180 s]			0.0674	0.9135	0.0127	1.3203	0.9900	0.0033	0.9984
	E + US [96 % V/V, 21 kHz, 5 s]			0.0646	0.9229	0.0131	1.3529	0.9881	0.0046	0.9985
	E + US [96 % V/V, 21 kHz, 15 s]			0.0674	0.9090	0.0146	1.5081	0.9854	0.0053	0.9980
	E + US [96 % V/V, 21 kHz, 60 s]			0.0490	0.9848	0.0098	1.0142	0.9934	0.0030	0.9992
E + US [96 % V/V, 21 kHz, 180 s]	0.0488	0.9958	0.0126	1.2953	0.9868	0.0065	0.9986			
23	ST	55	0.4 ± 0.1	0.0003	1.0281	0.0063	0.6929	0.9898	0.0048	0.9996
		65	0.5 ± 0.2	0.0005	1.0281	0.00780052	0.8447	0.9859	0.0054	0.9994
		55	0.4 ± 0.1	0.0004	1.1405	0.00609119	0.65962383	0.9859	0.0054	0.9994
		65	0.5 ± 0.2	0.0003	1.1405	0.01744826	1.89903925	0.9985	0.0033	0.996
24	ST	45	2	0.0007	1.2760	0.0145	1.4604	1.0105	0.0009	0.9979
		55		0.0011	1.2760	0.0227	2.2980	0.9866	0.0111	0.9948
		65		0.0015	1.2760	0.0169	1.7049	0.9812	0.0113	0.9975
		45		0.0009	1.3605	0.0091	0.9170	1.0087	-0.0010	0.9993
		55		0.0013	1.3605	0.0094	0.9485	0.9977	0.0034	0.9992
		65		0.0021	1.3605	0.0111	1.1167	0.9753	0.0092	0.9995
25	ST	50	1	0.0204	0.9460	0.0046	0.4956	0.9951	0.0017	0.9997



N°	PRETRATAMIENTO	SECADO		PARÁMETROS CINÉTICOS		RMSD	NRMSD	a	b	R <sup>2</sup>
		T (°C)	v (m/s)	k (min <sup>-n</sup> )	n					
26	F [-20 °C, -2.6 °C/min]	60	0.2	0.0124	1.1052	0.0130	1.4014	0.9933	-0.0011	0.9982
	F [-80 °C, -2.6 °C/min]			0.0114	1.1433	0.0106	1.1295	0.9936	-0.0003	0.9989
	N [nitrógeno líquido, -196 °C, -475 °C/min]			0.0085	1.2095	0.0132	1.4044	0.9904	0.0006	0.9983
	ST			0.0084	1.1224	0.0068	0.7091	0.9984	0.0021	0.9995
	F [-20 °C, -2.6 °C/min]			0.0017	1.4904	0.0041	0.4313	0.9976	0.0011	0.9998
	F [-80 °C, -2.6 °C/min]			0.0049	1.2801	0.0154	1.5831	0.9907	0.0009	0.9980
	N [nitrógeno líquido, -196 °C, -475 °C/min]			0.0045	1.2745	0.0122	1.2963	0.9913	0.0012	0.9986
	ST			0.0199	1.0055	0.0068	0.7091	0.9984	0.0021	0.9950
	F [-20 °C, -2.6 °C/min]			0.0095	1.2675	0.0041	0.4313	0.9976	0.0011	0.9963
	F [-80 °C, -2.6 °C/min]			0.0098	1.2351	0.0154	1.5831	0.9907	0.0009	0.9996
	N [nitrógeno líquido, -196 °C, -475 °C/min]			0.0107	1.1764	0.0122	1.2963	0.9913	0.0012	0.9996
	ST			0.0201	1.0609	0.0099	1.0053	0.9908	0.0012	0.9990
	E [100 % V/V, 10 min]			0.0322	1.0547	0.0135	1.3749	0.9864	0.0001	0.9983
	E + US [100 % V/V, 25 kHz, 30 °C, 10 min]			0.0214	1.3008	0.0136	1.3875	1.0029	-0.0106	0.9992
	E + V [100 % V/V, 10 min; 0.03 Mpa]			0.0272	1.1828	0.0168	1.7290	1.0021	-0.0119	0.9985
	E + US + V [100 % V/V; 25 kHz, 30 °C, 10 min; 0.03 Mpa]			0.0209	1.2732	0.0140	1.4264	0.9946	-0.0087	0.9989
27	OD [sacarosa 10 % V/V, 27 °C]	3	45	0.0008	1.3154	0.0338	3.3858	1.0101	0.0059	0.9930
			50	0.0007	1.3154	0.0304	3.0717	1.0014	0.0073	0.9941
			55	0.0008	1.3154	0.0425	4.2396	1.0112	0.0077	0.9886
			45	0.0003	1.3894	0.0190	1.8960	1.0034	0.0027	0.9971
			50	0.0003	1.3894	0.0197	2.0329	1.0051	-0.0020	0.9967
			55	0.0004	1.3894	0.0372	3.6821	0.9930	0.0108	0.9901

N°	PRETRATAMIENTO	SECADO		PARÁMETROS CINÉTICOS		RMSD	NRMSD	a	b	R <sup>2</sup>
		T (°C)	v (m/s)	k (min <sup>-n</sup> )	n					
28	OD [fructuosa 10 % V/V, 27 °C]	45	0.5	0.0017	1.3947	0.0245	2.4910	0.9802	0.0074	0.9950
		50		0.0016	1.3947	0.0249	2.5643	0.9825	0.0065	0.9949
		55		0.0028	1.3947	0.0361	3.6215	1.0493	-0.0140	0.9929
	ST			0.0133	1.0012	0.0065	0.6630	0.9922	0.0014	0.9996
	UV [3.6 J/cm <sup>2</sup> , 10-50 pulsos]			0.0056	1.1494	0.0108	1.1129	1.0007	-0.0017	0.9989
	UV [7.2 J/cm <sup>2</sup> , 10-50 pulsos]			0.0044	1.1913	0.0079	0.8079	0.9989	-0.0011	0.9995
	UV [10.8 J/cm <sup>2</sup> , 10-50 pulsos]			0.0080	1.0975	0.0066	0.6754	0.9938	0.0008	0.9996
	UV [14.4 J/cm <sup>2</sup> , 10-50 pulsos]			0.0050	1.1814	0.0082	0.8243	0.9945	0.0010	0.9994
	UV [18 J/cm <sup>2</sup> , 10-50 pulsos]			0.0071	1.1156	0.0062	0.6257	0.9959	0.0012	0.9997
	29	ST				0.0054	0.9923	0.0144	1.4444	0.9945
HHP [600 Mpa, 5 min]				0.0035	1.1149	0.0146	1.4788	1.0096	-0.0061	0.9980
HHP [600 Mpa, 30 min]				0.0040	1.1194	0.0147	1.4750	1.0030	-0.0069	0.9980
ST				0.0105	0.8579	0.0186	1.8726	0.9946	-0.0032	0.9964
HHP [600 Mpa, 5 min]		50	0.127	0.0061	1.0134	0.0226	2.2720	1.0084	-0.0110	0.9955
HHP [600 Mpa, 30 min]				0.0160	0.8154	0.0325	3.2791	0.9910	-0.0040	0.9891
ST				0.0060	0.9853	0.0136	1.3675	0.9962	-0.0026	0.9982
HHP [600 Mpa, 5 min]				0.0031	1.1679	0.0116	1.1796	1.0110	-0.0076	0.9987
HHP [600 Mpa, 30 min]				0.0048	1.0624	0.0101	1.0284	1.0078	-0.0048	0.9991
30		ST			0.00002	1.2771	0.0257	2.6353	1.0025	0.0077
	F [-20°C, 2 semanas]	60	1	0.0007	0.9134	0.0380	3.9093	1.0046	0.0097	0.9842
	N [nitrógeno líquido, -196 °C]			0.0004	1.0068	0.0180	1.8373	1.0068	0.0032	0.9970
31	ST			0.0487	0.8990	0.0078	0.7939	0.9963	-0.0011	0.9994
	US [35 kHz, 25 °C, 10 min]	70	1.5	0.0459	0.9574	0.0074	0.7595	0.9924	0.0024	0.9995
	US [35 kHz, 25 °C, 20 min]			0.0433	0.9631	0.0076	0.7851	0.9938	0.0013	0.9995
	US [35 kHz, 25 °C, 30 min]			0.0426	0.9790	0.0070	0.7146	0.9922	0.0030	0.9996

N°	PRETRATAMIENTO	SECADO		PARÁMETROS CINÉTICOS		RMSD	NRMSD	a	b	R <sup>2</sup>
		T (°C)	v (m/s)	k (min <sup>-n</sup> )	n					
32	ST	55	2.1	0.0016	1.1855	0.0125	1.4493	0.9819	0.0095	0.9881
		60		0.0018	1.1855	0.0085	0.9862	1.0056	-0.0014	0.9990
		65		0.0025	1.1855	0.0165	1.9115	1.0406	-0.0154	0.9980
		70		0.0027	1.1855	0.0093	1.0774	0.9934	0.0031	0.9989
	B [85 °C, 1 min]	55		0.0107	0.9469	0.0186	2.1386	0.9751	0.0059	0.9956
		60		0.0124	0.9469	0.0203	2.3381	1.0450	-0.0188	0.9958
		65		0.0136	0.9469	0.0087	1.0058	0.9786	0.0070	0.9994
		70		0.0163	0.9469	0.0256	2.9232	0.9128	0.0343	0.9991
33	ST	70	2	0.0008	1.2653	0.0326	3.3526	1.0156	0.0058	0.9942
	MW [1500 W, 10 s]			0.0013	1.3017	0.0147	1.4942	1.0066	0.0017	0.9988
	HHP [450 Mpa, 30 s]			0.0027	1.1880	0.0165	1.6877	1.0052	0.0034	0.9984
34	ST	60	1	0.0335	0.8847	0.0099	1.0026	0.9978	0.0017	0.9984
	US [35 kHz, 30 °C, 30 min]			0.0004	1.8418	0.1404	8.5344	0.7864	0.0194	0.9260
35	ST	50	3	0.0205	0.9237	0.0459	6.7985	1.0341	-0.0173	0.9555
		70		0.0298	0.9237	0.0763	8.8407	0.8079	0.0570	0.9412
	US [25 kHz, 30 °C, 10 min]	50		0.0270	0.9116	0.0592	8.1050	0.9849	-0.0019	0.9314
		70		0.0319	0.9116	0.0805	9.3783	0.8034	0.0571	0.9282
	US [25 kHz, 30 °C, 20 min]	50		0.0316	0.8963	0.0677	9.0293	0.9579	0.0046	0.9116
		70		0.0396	0.8963	0.1015	11.5979	0.7647	0.0580	0.8782
	US [25 kHz, 30 °C, 30 min]	50		0.0341	0.8800	0.0710	9.4695	0.9413	0.0097	0.9006
		70		0.0422	0.8800	0.1059	12.2153	0.7525	0.0613	0.8630
36	ST	50	2.1	0.0003	1.2268	0.0506	5.1888	0.9469	0.0342	0.9775
		60		0.0014	1.2268	0.0271	2.7666	1.0546	-0.0139	0.9969
		70		0.0023	1.2268	0.0291	2.9741	1.0271	-0.0010	0.9934
	A [10 rpm, 10 min]	50		0.0036	1.0676	0.0348	3.5612	1.0337	-0.0023	0.9903
		60		0.0058	1.0676	0.0127	1.3013	1.0286	-0.0108	0.9993
		70								

N°	PRETRATAMIENTO	SECADO		PARÁMETROS CINÉTICOS		RMSD	NRMSD	a	b	R <sup>2</sup>
		T (°C)	v (m/s)	k (min <sup>-n</sup> )	n					
37	ST B [80 °C, 3 min]	70	2	0.0116	1.0676	0.0526	5.4266	0.9031	0.0343	0.9792
		65		0.0037	1.0997	0.0091	0.9315	0.9946	0.0030	0.9990
				0.0031	1.1542	0.0105	1.0816	0.9959	0.0035	0.9987
38	ST B [98 °C, 1 min]	55	1.20 ± 0.09	0.0264	1.0106	0.0095	1.0269	0.9906	0.0011	0.9990
				0.0391	0.8770	0.0454	5.4061	0.9596	0.0042	0.9717
		50		0.00067	1.4466	0.0187	2.1854	1.0053	0.0018	0.9954
39	ST	60	1	0.00068	1.4466	0.0200	2.4024	1.0000	0.0034	0.9940
		70		0.00071	1.4466	0.0240	2.7232	0.9965	0.0056	0.9924
		50		0.0021	1.2690	0.0212	2.5359	0.9817	0.0114	0.9931
	B [70 °C, 3 min]	60		0.0020	1.2690	0.0311	3.8526	1.0346	-0.0081	0.9883
		70		0.0022	1.2690	0.0239	2.7239	1.0055	0.0022	0.9923
		50		0.0050	1.1508	0.0271	3.3381	0.9610	0.0186	0.9895
	B [80 °C, 2.5 min]	60		0.0051	1.1508	0.0305	3.8802	1.0880	-0.0281	0.9915
		70		0.0053	1.1508	0.0296	3.1932	0.9677	0.0198	0.9897
		50		0.0132	1.0009	0.0244	2.9021	0.9648	0.0186	0.9920
	B [90 °C, 2 min]	60		0.0148	1.0009	0.0382	5.5495	1.1642	-0.0542	0.9941
		70		0.0141	1.0009	0.0318	3.5759	0.9367	0.0307	0.9895
		50		0.00066	1.4455	0.0188	2.1150	1.0012	0.0032	0.9957
	ST	60		0.00070	1.4455	0.0227	2.5727	0.9943	0.0070	0.9936
		70		0.00072	1.4455	0.0260	2.9411	1.0149	-0.0023	0.9913
		50		0.0012	1.4259	0.0237	2.7134	1.0144	-0.0018	0.9939
MW [900 W, 10 min]	60	0.0014	1.4259	0.0232	2.5761	0.9987	0.0051	0.9932		
	70	0.0018	1.4259	0.0211	2.4172	0.9987	0.0050	0.9942		
	50	0.0039	1.2658	0.0192	2.1154	1.0035	0.0021	0.9956		
MW [180 W, 5 min]	60	0.0043	1.2658	0.0239	2.7075	1.0045	0.0015	0.9934		
	70	0.0057	1.2658	0.0218	2.4312	0.9822	0.0119	0.9946		
	50	0.0108	1.1048	0.0192	2.1335	1.0025	0.0008	0.9973		
MW [360 W, 2.5 min]	60	0.0129	1.1048	0.0212	2.3438	0.9887	0.0054	0.9944		
	70	0.0152	1.1048	0.0239	2.6479	0.9706	0.0152	0.9934		
	50	0.00064	1.4503	0.0153	1.7278	0.9958	0.0043	0.9970		

N°	PRETRATAMIENTO	SECADO		PARÁMETROS CINÉTICOS		RMSD	NRMSD	a	b	R <sup>2</sup>		
		T (°C)	v (m/s)	k (min <sup>-n</sup> )	n							
40	US [28 kHz, 30 °C, 15 min]	60	1	0.00067	1.4503	0.0254	2.8551	0.9967	0.0062	0.9923		
		70		0.00072	1.4503	0.0226	2.5671	1.0113	-0.0007	0.9942		
		50		0.0015	1.3189	0.0224	2.5082	0.9797	0.0130	0.9934		
		60		0.0016	1.3189	0.0249	2.9295	1.0411	-0.0162	0.9933		
		70		0.0020	1.3189	0.0159	1.7799	0.9869	0.0082	0.9970		
		50		0.0024	1.2854	0.0281	3.1134	0.9820	0.0127	0.9900		
	US [28 kHz, 30 °C, 30 min]	60		0.0028	1.2854	0.0211	2.4079	1.0307	-0.0101	0.9950		
		70		0.0034	1.2854	0.0288	3.1789	0.9847	0.0128	0.9894		
		50		0.0062	1.1578	0.0342	3.7882	0.9526	0.0277	0.9866		
	US [28 kHz, 30 °C, 45 min]	60		0.0076	1.1578	0.0226	2.5799	1.2277	-0.2036	0.9894		
		70		0.0087	1.1578	0.0234	2.6226	1.0158	-0.0025	0.9941		
	41	ST		60	0.3	0.0027	1.2407	0.0204	2.0369	0.9982	0.0056	0.9959
		US [20 kHz, 30 °C, 10 min]				0.0023	1.2984	0.0177	1.7611	0.9919	0.0076	0.9974
		ST				2.21E-05	1.5636	0.0401	4.3482	1.0162	0.0025	0.9825
		B [80 °C, 3 min]				3.45E-06	1.8270	0.0278	2.9921	1.0118	0.0021	0.9919
US [sonda de 20 kHz, 600 W, 3 min]		4.44E-06	1.9591			0.0457	5.0085	1.1339	-0.0036	0.9519		
US [sonda de 20 kHz, 600 W, 10 min]		8.37E-06	1.8147			0.0416	4.5182	1.0088	0.0072	0.9798		
US [baño de 40 kHz, 300 W, 3 min]		6.70E-06	1.8217			0.0368	3.9989	1.0159	0.0036	0.9876		
US [baño de 40 kHz, 300 W, 10 min]		1.45E-05	1.6887			0.0337	3.6362	1.0112	0.0035	0.9883		
ST		0.0018	1.0480			0.0523	5.5354	0.9869	1.0156	0.9693		
B [80 °C, 3 min]		0.0022	1.0209			0.0499	5.1817	0.9675	0.0203	0.9699		
US [sonda de 20 kHz, 600 W, 3 min]		0.0009	1.2565			0.0473	4.9133	0.9957	0.0130	0.9816		
US [sonda de 20 kHz, 600 W, 10 min]		0.0008	1.2595			0.0453	4.7247	0.9782	0.0175	0.9805		
US [baño de 40 kHz, 300 W, 3 min]		0.0005	1.2811			0.0536	5.5415	0.9712	0.0223	0.9703		
US [baño de 40 kHz, 300 W, 10 min]		0.0006	1.1932			0.0555	5.7836	0.9665	0.0246	0.9621		
42		ST	40			2.2	0.0045	0.9486	0.0277	2.9575	1.0450	-0.0069
	55		0.0066	0.9486	0.0216		2.2671	1.0056	0.0013	0.9949		
	65		0.0093	0.9486	0.0244		2.5642	0.9764	0.0081	0.9931		
	40		0.0019	1.0133	0.0196		2.1192	1.0081	0.0016	0.9952		
	55		0.0030	1.0133	0.0195		2.1708	1.0358	-0.0147	0.9972		
	OD [55 °Brix, 30 °C, 0.5 h]	40		0.0019	1.0133	0.0196	2.1192	1.0081	0.0016	0.9952		
		55		0.0030	1.0133	0.0195	2.1708	1.0358	-0.0147	0.9972		

N°	PRETRATAMIENTO	SECADO		PARÁMETROS CINÉTICOS		RMSD	NRMSD	a	b	R <sup>2</sup>		
		T (°C)	v (m/s)	k (min <sup>-n</sup> )	n							
43	OD [55 °Brix, 30 °C, 3 h]	65		0.0050	1.0133	0.0203	2.0729	0.9779	0.0123	0.9963		
		40		0.0012	1.0788	0.0176	1.8735	0.9993	0.0066	0.9962		
		55		0.0021	1.0788	0.0166	1.7456	1.0269	-0.0129	0.9978		
		65		0.0040	1.0788	0.0118	1.1919	0.9772	-0.0162	0.9921		
		40		0.0082	0.5572	0.0207	6.7209	1.1073	-0.0782	0.9573		
		55		0.0306	0.5572	0.0232	3.0513	0.9663	0.0101	0.9896		
	OD [55 °Brix, 30 °C, 48 h]	65		0.0588	0.5572	0.0311	3.6046	0.9131	0.0254	0.9910		
		ST			0.0026	1.2294	0.0174	1.7512	0.9980	0.0052	0.9980	
		E [99.8 % V/V, 5 min]			0.0048	1.1298	0.0204	2.0566	0.9972	0.0067	0.9971	
		F [congelador, -18 °C, 24 h]		50	1	0.0047	1.1858	0.0092	0.9262	0.9981	0.0006	0.9994
		F + E [congelador, -18 °C, 24 h; 99.8 % V/V, 5 min]				0.0089	1.1050	0.0170	1.7030	0.9915	0.0056	0.9979
		ST		39.8 ±	1.06 ±	0.0006	1.4747	0.0210	2.1108	0.9991	0.0077	0.9960
44	E [99 % V/V, 5 min]		0.6	0.02	0.0009	1.4432	0.0281	2.8124	0.9997	0.0087	0.9925	
	ST		50		0.0227	1.0026	0.0362	3.8868	1.0647	-0.0348	0.9914	
45	ST		60		0.0238	1.0026	0.1920	59.6585	0.7474	0.0529	0.6712	
	ST		70		0.0198	1.0026	0.0358	3.7626	0.9696	0.0131	0.9845	
	B [100 °C, 1 min]		50	2.5	0.0326	0.8431	0.0160	1.7440	1.0185	-0.0098	0.9969	
	B [100 °C, 1 min]		60		0.0525	0.8431	0.0335	3.6312	0.9866	-0.0053	0.9863	
	B [100 °C, 1 min]		70		0.0555	0.8431	0.0209	2.1473	0.9704	0.0098	0.9953	
	B [100 °C, 1 min]		50		0.0209	0.9776	0.0177	1.8284	1.0018	-0.0061	0.9966	
	B [100 °C, 2 min]		60		0.0212	0.9776	0.0416	4.4168	0.9283	0.0282	0.9842	
	B [100 °C, 2 min]		70		0.0261	0.9776	0.0347	3.7333	1.0559	-0.0231	0.9880	
ST				0.0083	1.1498	0.0048	0.6236	0.9991	0.0008	0.9996		
B [100 °C, 2 min]				0.0093	1.1532	0.0089	1.0797	1.0051	-0.0009	0.9988		
46	V [ 53.33 kPa, 15 min]		65 ± 1	1.2	0.0084	1.1465	0.0051	0.6535	0.9994	0.0007	0.9996	
	F [-30 °C, 16 h]				0.0077	1.2504	0.0108	1.1913	1.0025	0.0012	0.9986	
	C [texturómetro, 0.5 mm/s]				0.0103	1.1458	0.0052	0.6138	1.0006	0.0004	0.9996	
	ST				0.0029	1.2188	0.0086	0.8585	0.9908	0.0048	0.9995	
47	E [92.8 % V/V, 1 h]		50	1 ± 0.1	0.0070	1.1894	0.0104	1.0381	0.9880	0.0031	0.9991	

N°	PRETRATAMIENTO	SECADO		PARÁMETROS CINÉTICOS		RMSD	NRMSD	a	b	R <sup>2</sup>
		T (°C)	v (m/s)	k (min <sup>-n</sup> )	n					
48	ST	40	1	0.00082	1.35532	0.0016	0.1595	0.9983	0.0007	1.0000
	E [99,8 % V/V, 30 min]			0.00145	1.37319	0.0016	0.1629	0.9988	0.0002	1.0000
	W+US [agua; 25 kHz, 20 °C, 30 min]			0.00093	1.37043	0.0017	0.1749	0.9980	0.0013	1.0000
	E+US [99.8 % V/V; 25 kHz, 20 °C, 30 min]			0.00225	1.32060	0.0017	0.1735	0.9995	-0.0004	1.0000

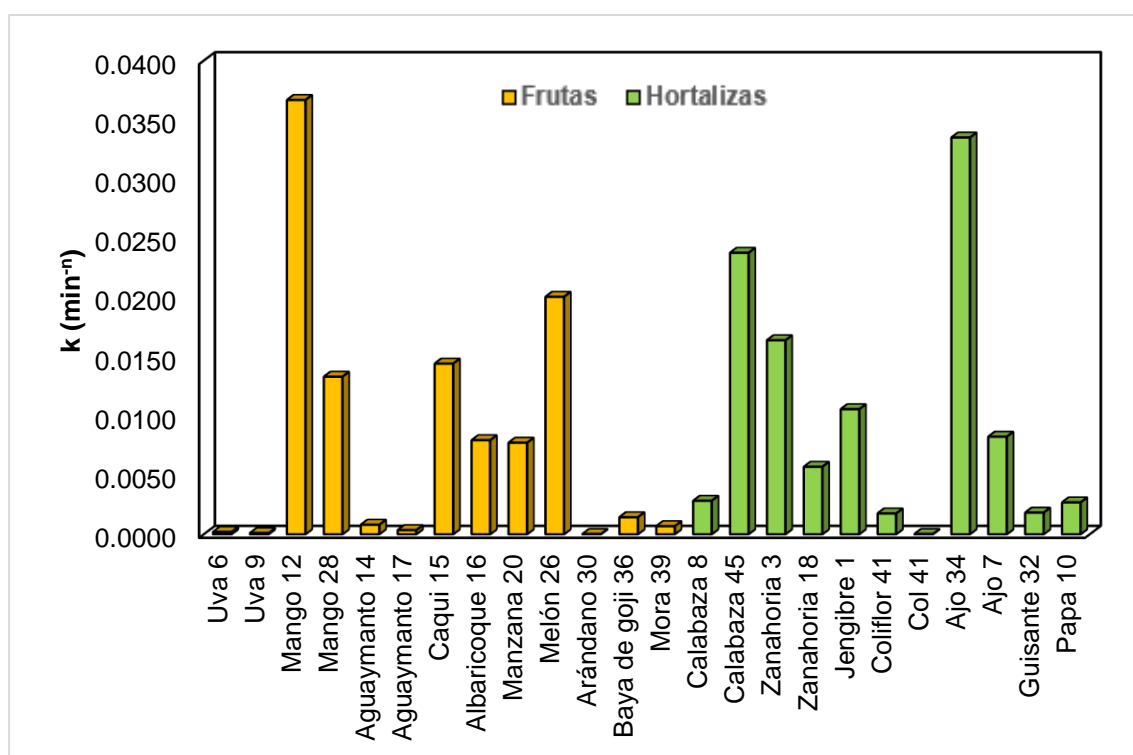
*Nota.* Entre corchetes, las condiciones en las que se aplicó cada pretratamiento. Las abreviaturas T y v, corresponden a temperatura y velocidad de secado respectivamente.

### 3.3. Efecto del producto sobre los parámetros cinéticos de Page, $k$ y $n$

En la Figura 3 se presenta, para todas las muestras que han sido secadas sin ningún pretratamiento, el efecto del tipo de producto clasificados en frutas u hortalizas sobre el parámetro cinético  $k$ , a 60 °C, ya que fue la temperatura más usada en todos los artículos seleccionados.

**Figura 3**

*Efecto del producto sobre el parámetro cinético “ $k$ ”, a 60°C*



*Nota.* Los números contiguos al tipo de fruta u hortaliza representan el número de artículo al cual pertenecen (según Tabla 2).

De acuerdo con Simpson et al. (2017) el parámetro “ $k$ ” depende de la temperatura y representa la velocidad de secado relacionada con la pendiente de la curva de secado en la etapa inicial del proceso. Por ende, un “ $k$ ” alto indica mayor velocidad de secado, mientras que un “ $k$ ” bajo representa un proceso de secado más lento.



Como se aprecia en la Figura 3, los valores de  $k$  son heterogéneos dentro de cada grupo de frutas u hortalizas. En frutas, existen productos como la uva, el aguaymanto, el arándano, la mora y la baya de goji que presentan cáscaras cerosas a diferencia del resto, pues su tipo de piel ejerce una resistencia a la transferencia de agua de la parte interna del producto hacia la superficie, ocasionando que los conductos capilares de la superficie se obstruyan y por ende reduzcan el flujo de salida de agua del alimento, lo que concluye en un aumento del tiempo de secado (Zielinska et al., 2018). Por lo tanto, para estas frutas los valores del parámetro cinético  $k$  son los más bajos del grupo de frutas, indicando una velocidad de secado lenta. Además, la similitud de valores de  $k$  presentados en la uva 6 y 9 y el aguaymanto 14 y 17, posiblemente se limita al producto, porque normalmente están enteras y no hay diferencia de corte (Defraeye, 2017).

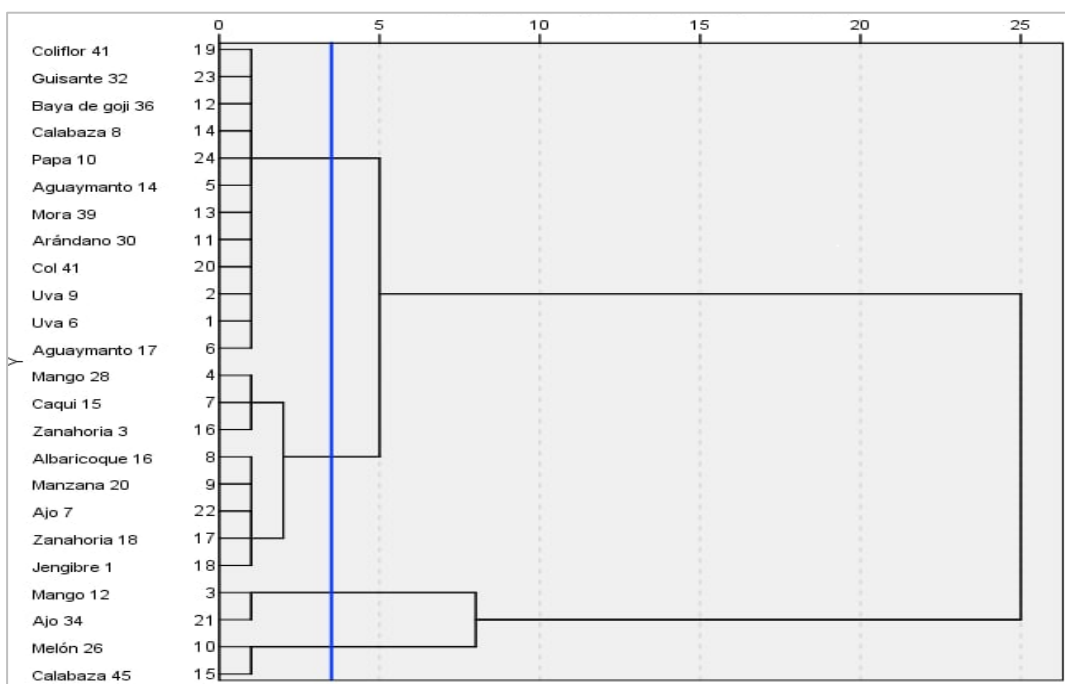
Del mismo modo para las hortalizas la variación en el parámetro  $k$  se debe al tipo de microestructura y a la geometría de la muestra utilizada, como el espesor (Zhao & Kjeld Porsdal, 1988) o el tipo de corte de la muestra.

En contraste, para algunos pares de frutas u hortalizas, existen diferencias en los valores de  $k$ . Por ejemplo, se observa diferencia en el efecto sobre  $k$  del mango 12 y 28, la calabaza 8 y 45, y la zanahoria 3 y 18. Esto probablemente, se deba a la variedad de mango y zanahoria (Markowski et al., 2006), pues este factor influye en la composición de cada producto. Mientras que para la calabaza, posiblemente a la diferente velocidad de aire utilizadas (Ozgen & Celik, 2019).

La Figura 4 muestra un Análisis de Cluster Jerárquico de todos los productos estudiados clasificándolos en cuatro grupos en función del efecto sobre  $k$ , a la temperatura más utilizada, 60 °C.

**Figura 4**

*Análisis jerárquico de conglomerados de productos clasificados por el efecto sobre el parámetro cinético "k", a 60°C*



*Nota.* La línea continua vertical azul indica la ubicación de parada sugerida después de la segunda etapa de agrupamiento, que determinó los grupos formados.

La clasificación de los productos de acuerdo al efecto sobre  $k$ , se dividió en cuatro grupos (Figura 4). De arriba hacia abajo, el primero de ellos, cuya velocidad de secado fue menor que el resto de los grupos, está conformado por las bayas, las cuales se secaron enteras, la col 41, calabaza 8, coliflor 41 y papa 10. En el caso de las últimas cuatro hortalizas, se asemejan al secado de la fruta entera, ya que fueron tratadas en pequeñas porciones y en algunos casos más específicos como la col y la coliflor se les atribuye a sus características morfológicas (estructuras aglomeradas) lo cual dificulta su secado. De hecho, el proceso de secado se ve influenciado por varios factores como la medida de los alimentos (Berk, 2018),

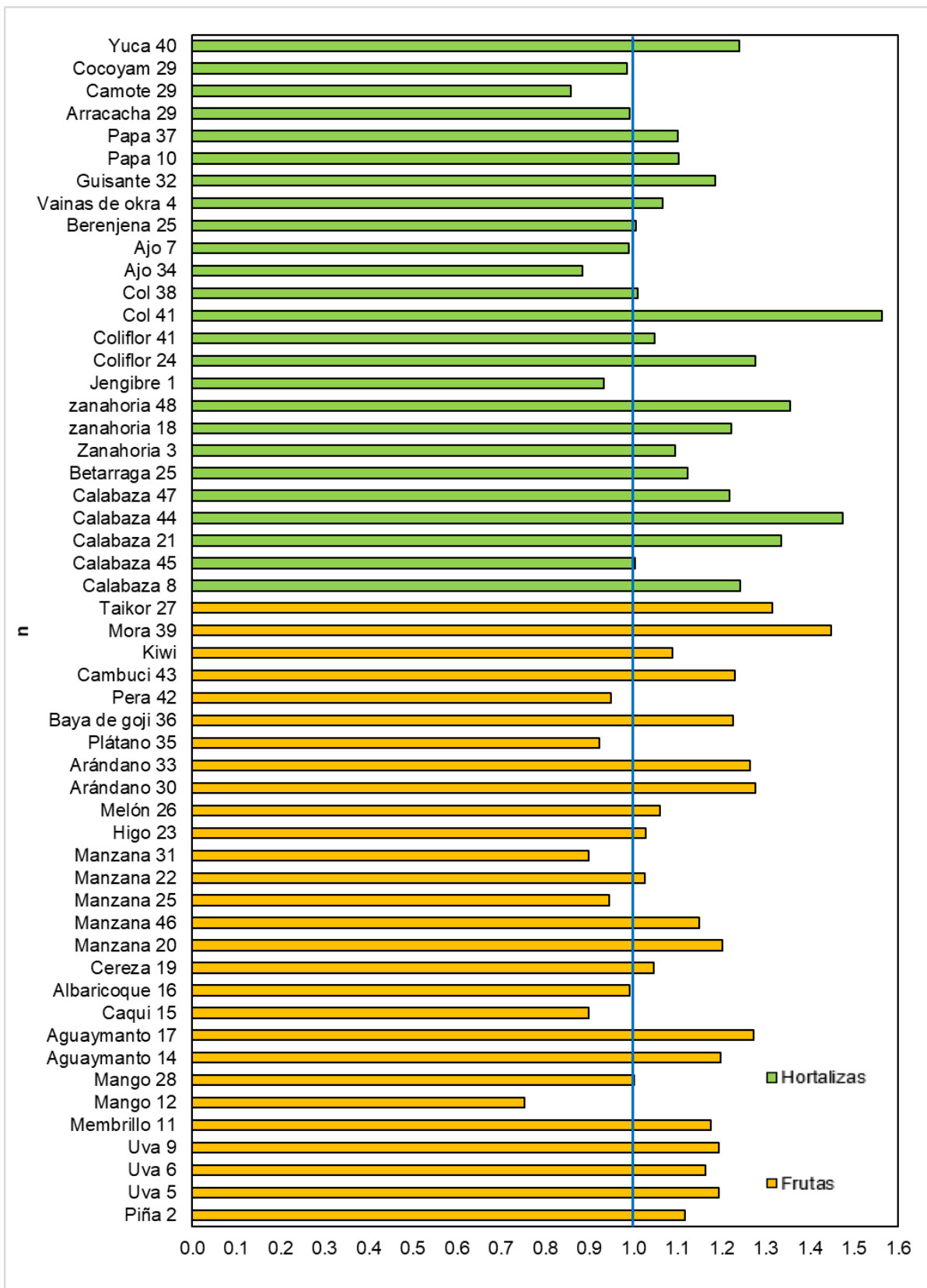
por la composición y estructura de los mismos, pues están formados por varios tipos de tejidos con diferentes formas celulares y porosidades que están afectando la movilidad del agua a lo largo del secado (Rojas & Augusto, 2018b). Con respecto a la papa 10, además del tamaño de la muestra, esta tomó cortes transversales, lo cual influyó en este proceso, pues la dirección del corte del producto puede afectar al secado (Ren et al., 2021). Por otra parte, el segundo grupo integrado por mango 28, caqui 15, zanahoria 3, albaricoque 16, manzana 20, ajo 7, zanahoria 18 y jengibre 1, poseen un efecto similar sobre el parámetro  $k$ . De la misma manera, el tercer (ajo 34 y mango 12) y cuarto grupo (calabaza 45 y melón 26) sus productos poseen efectos semejantes entre sí. No obstante, estos dos últimos grupos están conformados por los productos que evidenciaron mayores valores de  $k$ , indicando mayor velocidad de secado en estos 4 productos.

Finalmente, si bien el tipo de producto y sus características inherentes (composición, estructura) influyen en el parámetro cinético de secado  $k$ , evidenciando semejanzas como es el caso de las bayas, la geometría de la muestra y las condiciones de secado también son importantes. Esto explica los diferentes grupos formados (Figura 4), donde, aunque en algunos casos no se trata de tipos de producto con alguna similitud, es considerado semejante el efecto en  $k$ . Por lo tanto, la combinación de diferente tipo de producto, diferente geometría de muestra y diferentes condiciones de secado puede resultar en efectos semejantes de  $k$  dentro de cada grupo formado. Esto evidencia la gran cantidad de variables que afecta el secado de frutas y hortalizas, con lo que refuerza la idea de la complejidad del proceso y de la necesidad de controlar diversos factores para su correcto estudio.

Por otro lado, la Figura 5 muestra, para todas las muestras sin tratamiento, el efecto del producto sobre el parámetro  $n$ .

**Figura 5**

*Efecto del producto sin tratamiento sobre el parámetro cinético “n”*



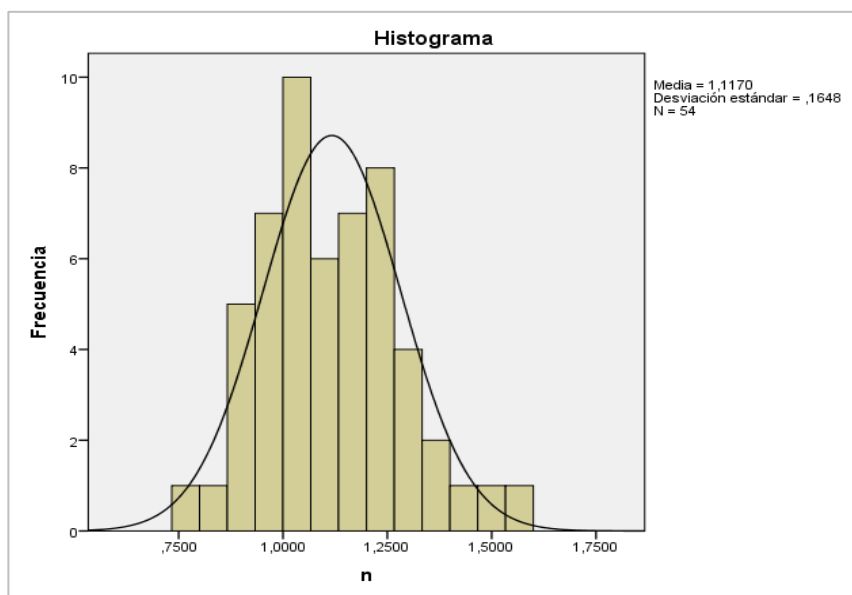
*Nota.* La línea continua vertical azul indica la separación de  $n > 1$  y  $n < 1$

Se puede apreciar que no existe una tendencia específica del efecto que genera el tipo de producto sobre este parámetro, ya que la mayoría de frutas y hortalizas presentan un  $n$  por encima de 1. No obstante, es importante resaltar, que el parámetro “ $n$ ” está relacionado con la microestructura de los alimentos. Por ello, tanto frutas como hortalizas son materiales complejos, pues cada una de ellas presentan higroscopicidad, estructura amorfa, heterogénea y porosa diferente, lo cual lo hace un material complejo (Dadmohammadi & Datta, 2020). Cabe resaltar también que, que hay ciertas frutas y hortalizas que a pesar ser del mismo tipo (ejemplo manzana 31, 22, 25, 46, 20) presentan valores de  $n$  mayores y menores a 1. Con respecto a la manzana 20, 25 y 46, probablemente se debe al espesor de la muestra utilizada, pues la variedad es la misma. Sin embargo, con respecto a la manzana 31 y 22, la posible causa de esta variación sea la variedad del producto utilizada.

En la Figura 6 se presenta la tendencia de los posibles valores que puede tomar el parámetro cinético “ $n$ ” cuando se hace un proceso de secado convectivo en frutas y hortalizas.

**Figura 6**

*Frecuencia de los posibles valores que puede tomar el parámetro cinético "n"*



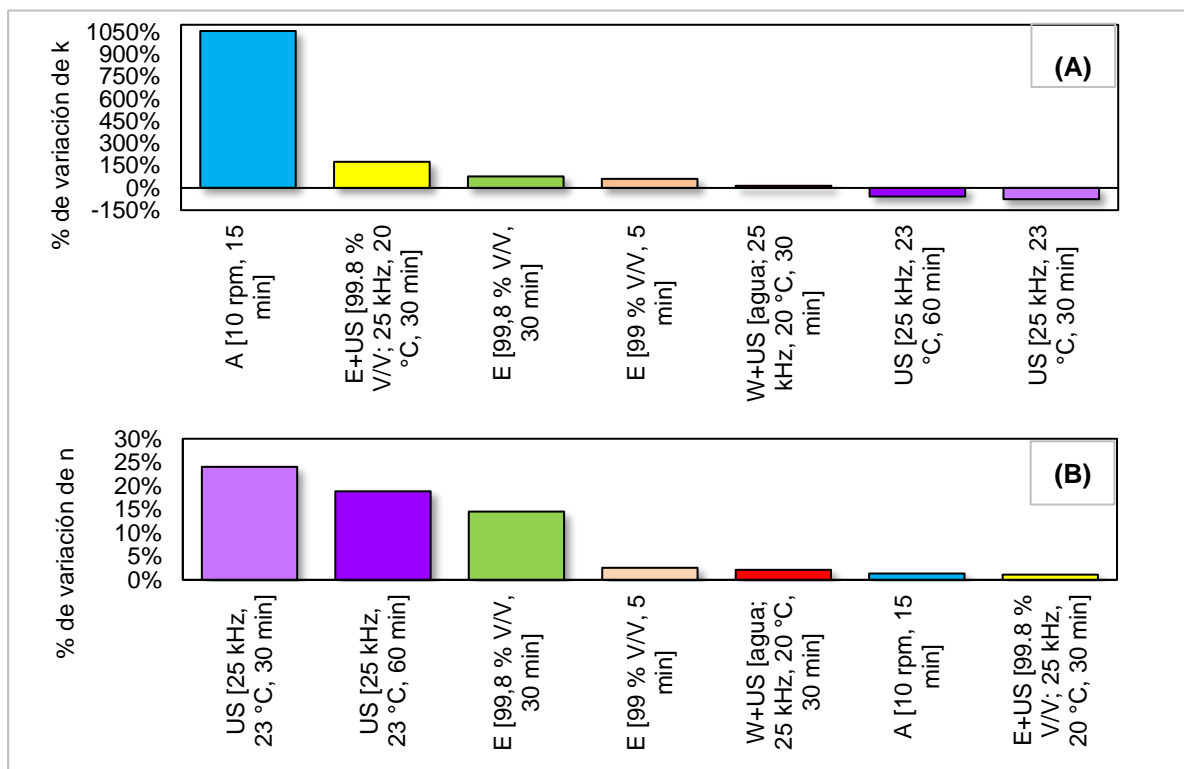
La mayor probabilidad es que presenten valores entre el rango de 1.0 – 1.25, siendo  $1.1170 \pm 0.1648$  el valor promedio para todos los datos analizados (Figura 6). Esto demuestra que la mayoría de las frutas y hortalizas durante el proceso de secado, según Simpson et.al. (2017) son de tipo superdifusivo, lo cual indica que otros mecanismos de transferencia, como la capilaridad, están involucrados (Rojas & Augusto, 2018b).

### 3.4. Efecto de los pretratamientos sobre la variación de los parámetros cinéticos de Page, $k$ y $n$ .

Las Figuras 7, 8 y 9 presentan el porcentaje de variación de los parámetros cinéticos de  $k$  y  $n$ , generada por los pretratamientos, respecto a las muestras control secadas a 40 °C, 55 °C y 65 °C respectivamente, las cuales fueron las temperaturas menos usadas en los estudios analizados.

**Figura 7**

*Efecto de los pretratamientos sobre la variación de los parámetros cinéticos del modelo de Page,  $k$  y  $n$ , a 40°C*

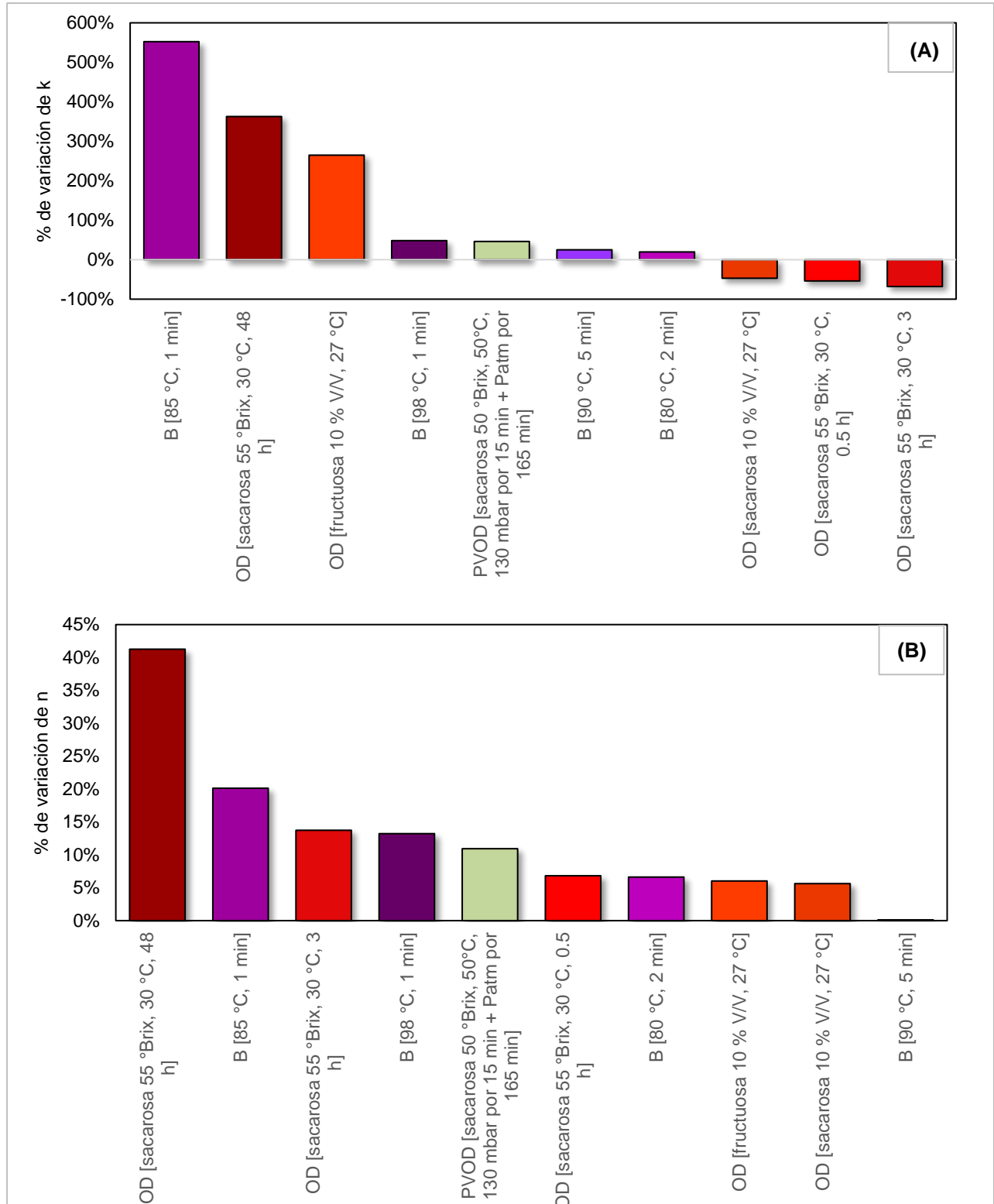


*Nota.* Las letras A y B corresponden al % de variación de  $k$  y  $n$  respectivamente.

En la Figura 7 A, se observa que el pretratamiento de abrasión [10 rpm, 15 min] es el que mayor incremento generó en la velocidad de secado (1057 % de variación respecto al control). Esto se debe a que el tratamiento, al ser aplicado en este caso a la uva entera, eliminó la capa de cera de manera uniforme (Adiletta et al., 2016) y como ya se había mencionado, al no existir resistencia por parte de la piel, el transporte de agua del interior del producto hacia el exterior acelera. En contraste con ello, los tratamientos de ultrasonido con frecuencia de 25 kHz, a 23 °C por 30 y 60 min, disminuyeron la velocidad del proceso de secado, haciéndolo más lento. Además, estos tratamientos son los que más variaron el parámetro  $n$  (Figura 7 B). Esto posiblemente, debido a que el pretratamiento con ultrasonidos provocó la entrada de agua al producto incrementando el contenido de humedad de las muestras en mayor proporción a 30 min, pues la ganancia de agua, a mayor tiempo de tratamiento con US ya no es significativa (Ricca et al., 2016) probablemente el cambio de la composición de la hortaliza afectó negativamente el proceso de secado. Del mismo modo, la combinación de E + US [99.8 % V/V; 25 kHz, 20 °C, 30 min] varió el parámetro  $n$ , pero en menor proporción (1 %) (Figura 7 B), ya que cambiaron la composición del producto con la entrada de etanol y salida de agua a la muestra (Santos et al., 2021). Cabe resaltar que este cambio no perjudica la velocidad de secado, pues hubo un aumento en  $k$ .

**Figura 8**

*Efecto de los pretratamientos sobre la variación de los parámetros cinéticos del modelo de Page a 55°C*



*Nota.* Las letras A y B corresponden al % de variación de  $k$  y  $n$  respectivamente.

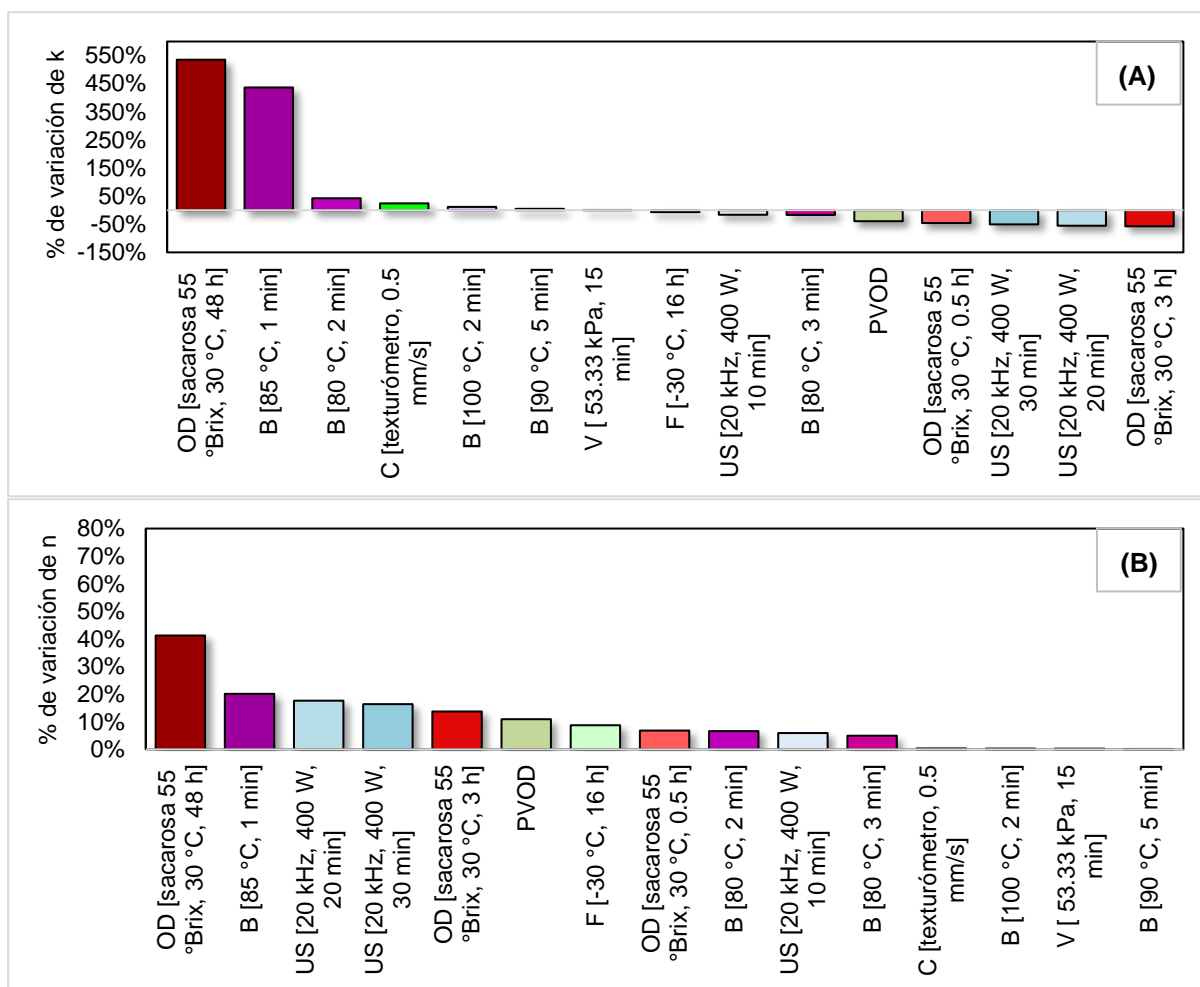


Como se aprecia en la Figura 8 A, el pretratamiento de B (blanqueado) tuvo un efecto positivo sobre la velocidad de secado, pues aceleró dicho proceso. Esto se debe a que este método incrementa la permeabilidad de las membranas celulares de los productos, lo cual paralelamente aumenta la tasa de eliminación de agua (Severini et al., 2005). Específicamente, el B [85 °C, 1 min] mejoró el parámetro  $k$  en un 552 %, en comparación con sus homólogos, quienes presentaron variaciones menores al 100% (Figura 8 A). Según Gonçalves et al. (2010) a mayor temperatura y tiempo de blanqueado el producto pierde firmeza, alterando su tejido y aumentando su permeabilidad. No obstante, esta causa no aplica de la misma manera para lo mencionado, ya que el B [85 °C, 1 min] se utilizó en guisantes, cuya estructura es totalmente diferente al resto de alimentos (col, calabaza y coliflor), siendo esta una posible razón de los resultados. Por otro lado, la deshidratación osmótica presentó cambios muy variados en  $k$ , pues el método de OD [sacarosa 55 °Brix, 30 °C, 48 h] incrementó la velocidad en 363 % y el de OD [sacarosa 55 °Brix, 30 °C, 3 h], la disminuyó en 68 %. Una posible explicación podría ser que, a mayor tiempo de inmersión en la solución osmótica, mayor pérdida de agua del producto (Kek et al., 2013). Sin embargo, es importante mencionar que, para los tratamientos antes mencionados de deshidratación osmótica, en el donde fueron extraído los datos (González et al., 2006), se reporta que la difusividad efectiva (parámetro del modelo de Fick) aumentaba con el pretratamiento, contrario a lo encontrado con el modelo de Page ( $k$  disminuye). Esto se debe a que, al inicio, los tratamientos que globalmente secan más rápido son más lentos que el control y eso causa que el modelo de Page genere ese error aparente y por ende de un resultado inverso a lo real. Esto demuestra la limitación del modelo de Page, ya que el valor de  $k$  representa la pendiente de la cinética de secado al inicio de la curva. Por tanto, en este trabajo se ha evidenciado que no siempre los procesos que inicialmente muestran una mayor pendiente inicial alcanzan el equilibrio más rápido y viceversa.

Respecto a la variación del parámetro  $n$ , se observa que el tratamiento de OD [sacarosa 55 °Brix, 30 °C, 48 h] presentó un 41 % de variación respecto a las muestras control, mientras que el B [90 °C, 5 min] mostró un menor porcentaje con 0.1% de variación. Esta diferencia se debe, que la OD afecta significativamente la estructura celular del tejido del producto, haciendo que disminuya su dureza y también aumente su viscoelasticidad (Aktas et al., 2013; Lewicki & Lukaszuk, 2000). Mientras que el blanqueado, solo afecta a la estructura de la membrana celular, debido a la pérdida de turgencia del producto (Vásquez-Parra et al., 2013).

### Figura 9

Efecto de los pretratamientos sobre la variación de los parámetros cinéticos del modelo de Page a 65°C



Nota. Las letras A y B corresponden al % de variación de  $k$  y  $n$  respectivamente.

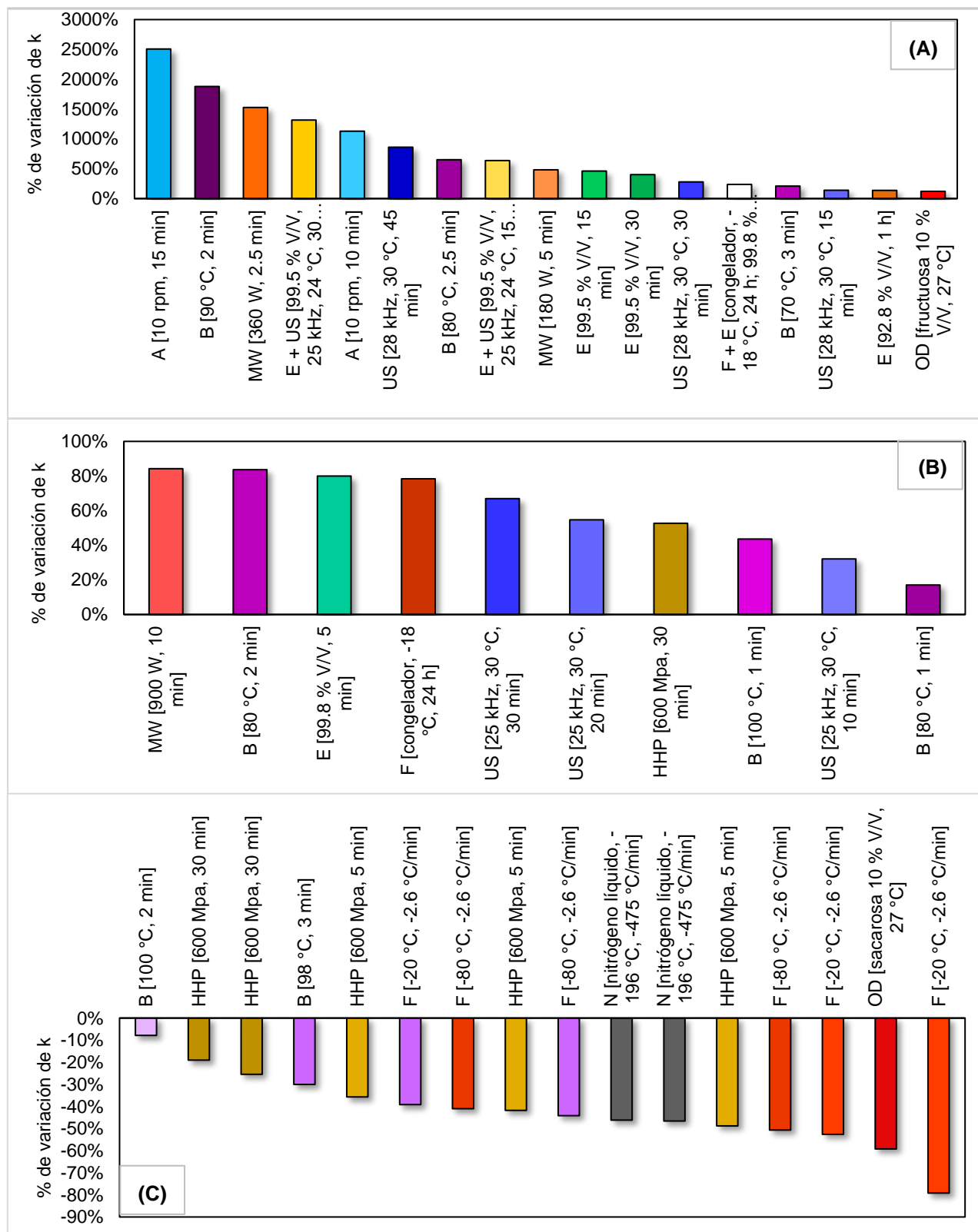
En la Figura 9 A, se muestra los pretratamientos con mayor porcentaje de variación en la velocidad de secado con respecto a las muestras sin tratar, a 65 °C. Como resultado resaltante, la OD [sacarosa 55 °Brix, 30 °C, 48 h] consiguió un 535 % de aumento en la velocidad de secado, seguido de B [85 °C, 1 min] con un 437 %, esto fue diferente cuando se realizó a 55 °C, pues tuvo un mejor resultado el B (blanqueado) seguido de la OD (deshidratación osmótica). Esto podría deberse a la temperatura de secado, ya que cuando las muestras se someten a deshidratación osmótica por largos periodos, se forman costras y por ende se requieren temperaturas más altas para lograr una velocidad de secado razonablemente alta (González et al., 2006). Por otra parte, es importante mencionar que tratamientos como la compresión y el vacío también tuvieron efectos positivos, pero pequeños, siendo este último el que menos aportó al incremento de la velocidad de secado, dado que este tratamiento a nivel microestructural no daña significativamente las células del tejido del producto (Ramírez et al., 2011). Por ello, no sería muy conveniente aplicar vacío antes del secado al menos para la manzana, sin embargo, podría ser efectivo con otras condiciones o para otro tipo de alimento. En contraste con lo mencionado, el tratamiento de OD [sacarosa 55 °Brix, 30 °C, 3 h], redujo la velocidad de secado al igual que la OD [sacarosa 55 °Brix, 30 °C, 0.5 h] y los US [20 kHz, 400 W, 20 y 30 min]. Esto no es consecuente con lo que se demuestra en los estudios originales, pues, estos valoran la efectividad de los tratamientos considerando todo el proceso de secado (velocidad constante) y algunos tomando los parámetros de otros modelos. Sin embargo, el modelo utilizado en este trabajo (Page), como ya se mencionó, brinda la velocidad relacionada con la pendiente de la etapa inicial del proceso, lo cual si coincide con la etapa inicial de las gráficas presentadas en cada uno de los artículos de origen. Sin embargo, esto sigue siendo una limitación del modelo de Page y aún es un desafío encontrar el modelo adecuado que integre todo el proceso.

Por otro lado, la OD [sacarosa 55 °Brix, 30 °C, 48 h] y B [85 °C, 1 min] son los tratamientos que más variación tuvieron en el parámetro  $n$ , a diferencia de sus homólogos (Figura 9 B). Esto tiene sentido, ya que la OD con periodos más largos de aplicación suponen mayores ganancias de sólidos (González et al., 2006), generando un cambio en la composición del producto inicial, mientras que el B provoca la separación de células en los tejidos de frutas y verduras (Andersson et al., 1994). No obstante, es importante mencionar que la proporción del daño a nivel microestructura depende también del tipo de producto utilizado, pues algunos son más porosos que otros, como la manzana (Ramírez et al., 2011).

A continuación, las Figuras 10 y 11 presentan el porcentaje de variación de los parámetros cinéticos de  $k$  y  $n$ , respectivamente, generado por los pretratamientos, a 50 °C.

**Figura 10**

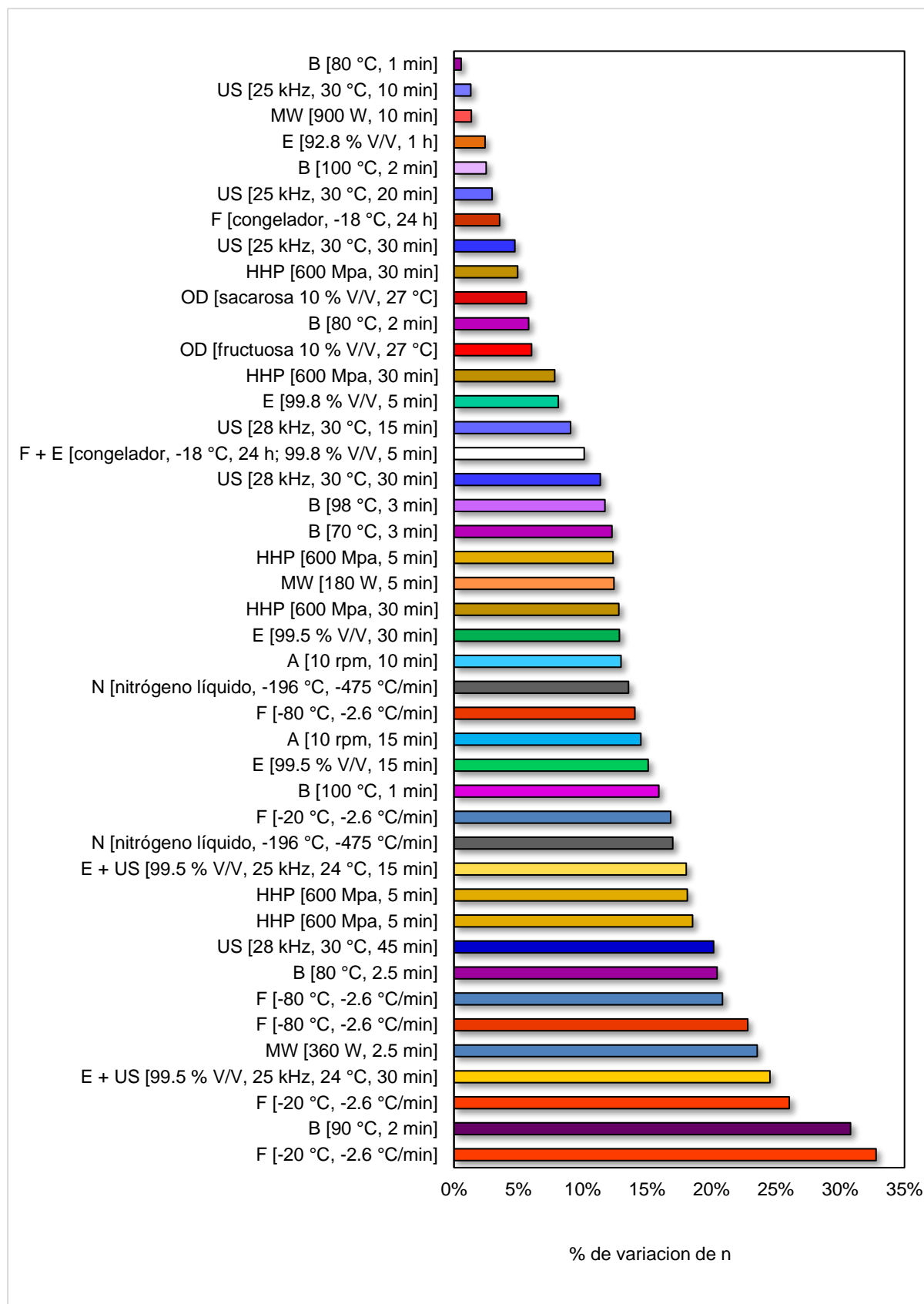
Efecto de los pretratamientos sobre la variación del parámetro cinético  $k$  a 50°C



Nota. Las letras A, B y C corresponden al % de variación de  $k > 100\%$ , % de variación de  $0\% < k < 100\%$  y % de variación de  $k < 100\%$ , respectivamente.

**Figura 11**

*Efecto de los pretratamientos sobre la variación del parámetro n a 50°C*



La Figura 10 A presenta los porcentajes de variación mayores al 100%, lo cual hace referencia al aumento de la velocidad de secado indicando que dichos valores fueron los mejores. Además, se puede observar que el pretratamiento con mayor variación es A [10 rpm, 15 min], sin embargo, A [10 rpm, 10 min] presenta una menor variación. Es importante resaltar que los alimentos usados en ambos trabajos son bayas, las cuales contienen una capa de cera, quien impide el movimiento de la humedad al exterior (Adiletta et al., 2015). En ese sentido se aplica este pretratamiento, ya que reduce la piel cerosa evitando que el producto sea sometido a altas temperaturas para poder obtener un secado óptimo (Russo et al., 2020). Por consiguiente, una posible hipótesis es que mientras más tiempo este pretratamiento se aplique mejor será el raspado en el producto y por lo cual la velocidad de secado tendrá una mayor variación y por ende será más rápida; por otro lado, la menor variación lo obtuvo la deshidratación osmótica realizada con fructosa.

Asimismo, en la Figura 10 B se tiene porcentajes de variación entre 0 y 100%. Esto indica que también aumentaron la velocidad de secado, sin embargo, los valores presentados no fueron tan altos como los de la Figura 10 A. Entre los valores menores al 100%, la mayor variación fue para MW [900 W, 10 min] y la menor para B [80 °C, 1 min]. No obstante, cabe resaltar que existió un valor con mayor variación con en el mismo pretratamiento (blanqueado). Esto puede deberse a que dicho pretratamiento usó el mismo tiempo de aplicación, pero diferente temperatura, puesto que Pérez & Schmalko (2009) indican que la temperatura de blanqueado influye notablemente en la velocidad de secado (variación del parámetro  $k$ ).

Finalmente, la Figura 10 C muestra aquellos valores que disminuyeron la velocidad de secado en el cual el menor porcentaje de disminución lo obtuvo el blanqueado, mientras que el mayor fue para congelación. Aun así, también se presentaron valores menores con el mismo pretratamiento y las mismas condiciones. Esto puede atribuirse a que se usaron dos

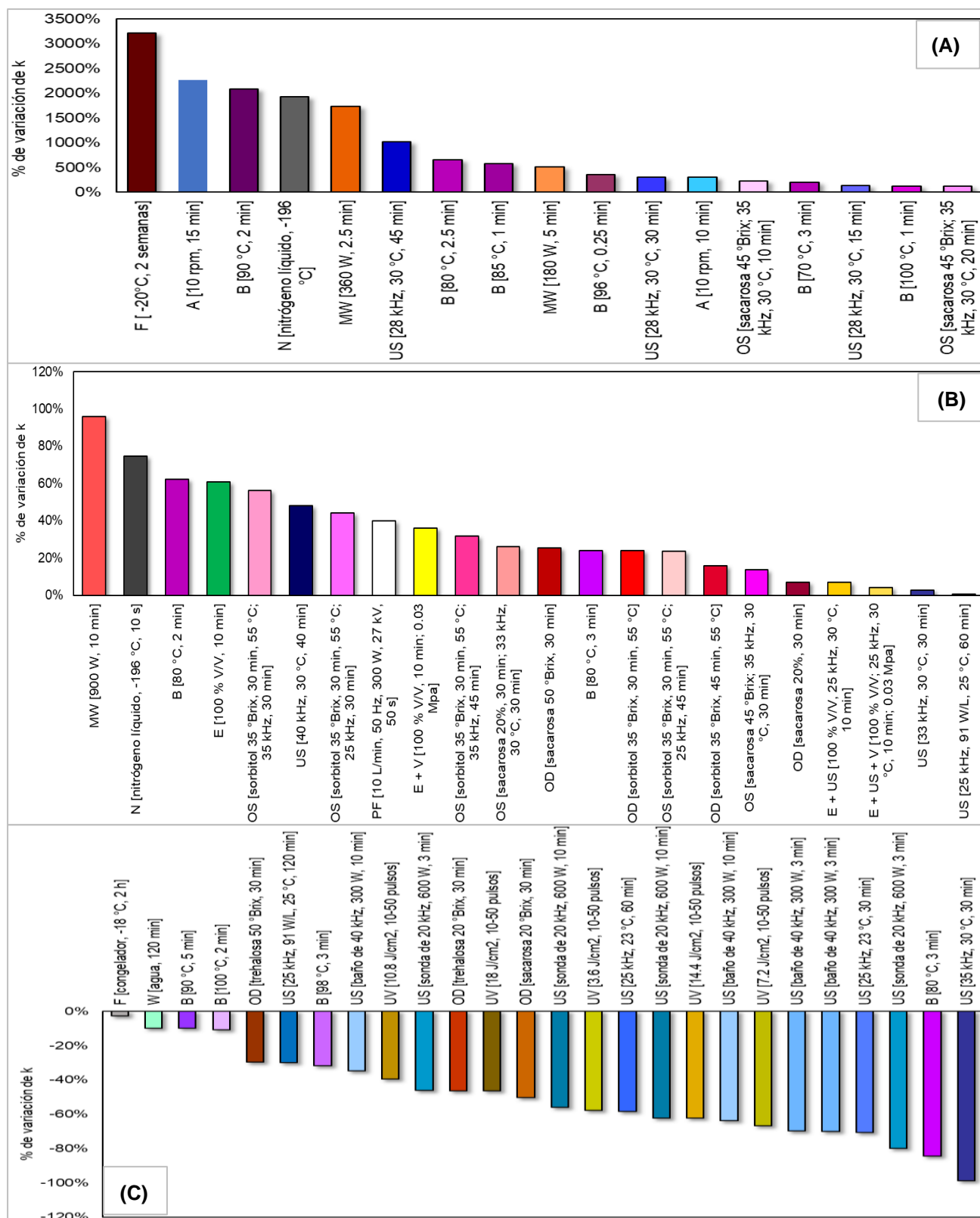
hortalizas diferentes como lo son la betarraga y berenjena, las cuales presentan estructuras diferentes, pues la primera cuenta con tejidos más compactos y resistentes, mientras que la segunda tiende a tener tejidos porosos y frágiles. Además, la congelación provoca la mejora del proceso de transferencia de masa en las verduras y por ende promueve tasas de secado más altas (Lewicki, 2006). Es importante mencionar que ninguno de estos pretratamientos perjudicó el secado en los estudios originales, sin embargo, esto se debe a la limitación del modelo utilizado tal como se mencionó anteriormente.

Por otra parte, en la Figura 11 se puede observar que tanto la congelación convencional, el ultrasonido y el blanqueado tuvieron efectos variados en cuanto al parámetro  $n$ , generando valores altos, medios y bajos. Esto puede atribuirse a las distintas condiciones que tiene cada uno de los pretratamientos y al tipo de producto usado.



Figura 12

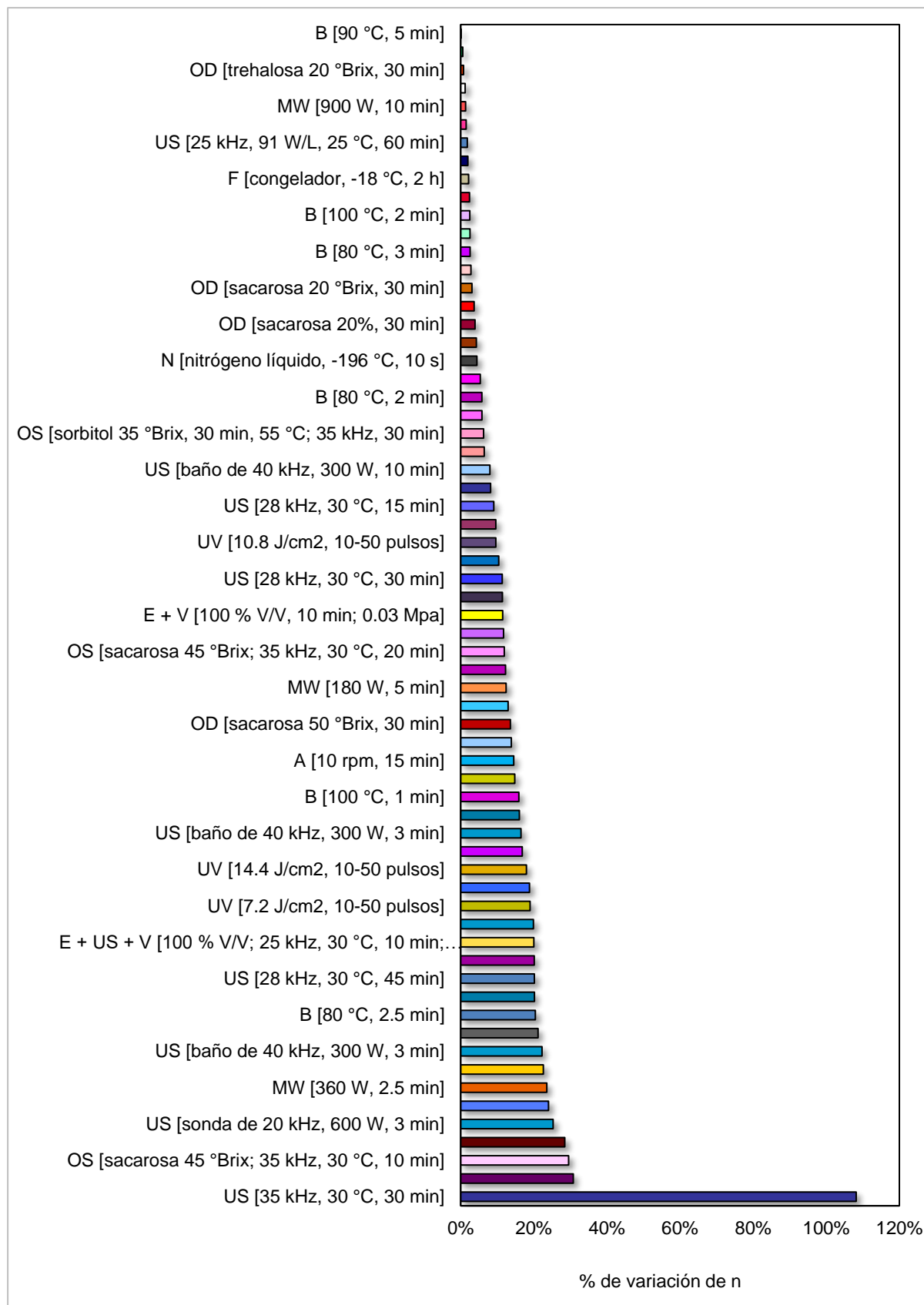
Efecto de los pretratamientos sobre la variación del parámetro cinético  $k$  a 60°C



Nota. Las letras A, B y C corresponden al % de variación de  $k > 100$  %, % de variación de  $0 < k < 100$  % y % de variación de  $k < 100$  %, respectivamente.

**Figura 13**

*Efecto de los pretratamientos sobre la variación del parámetro cinético n a 60°C*



La Figura 12 A muestra aquellos pretratamientos que obtuvieron la mejor velocidad de secado con un porcentaje mayor al 100%. Asimismo, se observa que la congelación es el pretratamiento con mayor variación de incremento, en comparación con la OS [sacarosa 45 °Brix, 35 kHz, 30 °C, 20 min]. No obstante, se muestra que la OS [sacarosa 45 °Brix; 35 kHz, 30 °C, 10 min] presenta una mayor variación en comparación con el anterior tratamiento de OS (osmosonificación) por 20 min. Esto puede deberse a que a mayor tiempo de inmersión, existe mayor ganancia de sólidos en el producto, (Kek et al., 2013). Es por ello, que la OS a 20 min tuvo un porcentaje menor de variación con respecto a  $k$ , que la que se realizó 10 min. Sin embargo, en los estudios donde han sido extraídos los datos se muestra que la OS con las condiciones mencionadas por 20 min tiene mejor efecto en  $k$  que a 10 min. Esto se debe a la limitación del modelo de Page al solo considerar la velocidad de caída del proceso de secado.

Además, la figura 12 B nos muestra que también existió un aumento en la velocidad de secado indicando valores entre 0 y 100%. Asimismo, se observa que el microondas [900 W, 10 min] obtuvo un porcentaje mayor, mientras que el ultrasonido [25 kHz, 91 W/L, 25 °C, 60 min] obtuvo el menor. No obstante, un comportamiento similar se logró observar en el US [33 kHz, 30 °C, 30 min], pero con mayor porcentaje de incremento. Esta variación puede atribuirse a que se usaron diferentes condiciones de pretratamiento como la frecuencia del ultrasonido y potencia, lo cual afecta y cambia la intensidad de la modificación de la estructura del alimento, provocando que esto mejore la transferencia de masa debido al cambio de estructura (Miano et al., 2019).

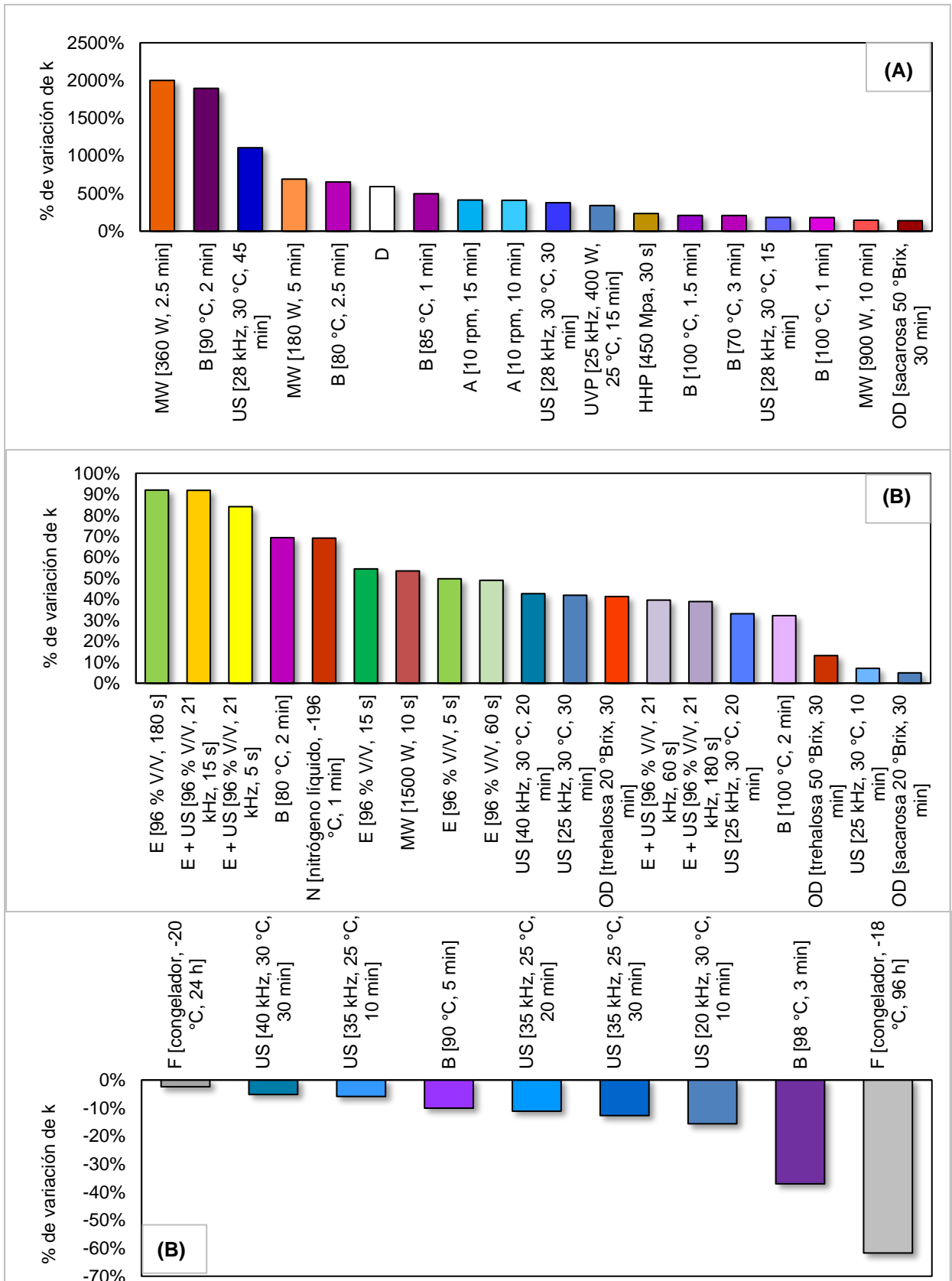
Finalmente, la Figura 12 C indica los porcentajes que disminuyeron la velocidad de secado, en el cual el menor porcentaje de disminución lo obtuvo la congelación, mientras que el mayor lo tuvo el US [35 kHz, 30 °C, 30 min]. No obstante, se observa un valor similar de porcentaje de variación de  $k$  en otro pretratamiento con US [sonda de 20 kHz, 600 W, 3 min]

es decir, bajo esas condiciones de aplicación de US en diferente producto, y considerando que el efecto de los ultrasonidos depende de las características de los alimentos como la actividad del agua y la porosidad (Miano et al., 2019), se obtiene similar efecto en la disminución de  $k$ . Cabe resaltar que, para ambos tratamientos, en los artículos originales no se reportan efectos negativos en el secado, ya que como se había comentado en la parte inicial de esta investigación esto puede deberse a la limitación que presenta el modelo de Page en los valores de  $k$ .

Por otro lado, en la Figura 13 se puede observar que el pretratamiento con menor porcentaje de variación en  $n$  lo causo el blanqueado y el mayor, el ultrasonido [35 kHz, 30 °C, 30 min]. Sin embargo, el US [sonda de 20 kHz, 600 W, 3 min] logró tener un porcentaje considerable, pero en menor proporción al mencionado anteriormente. Una posible hipótesis de la variación en estos pretratamientos sería el tiempo que se usó en cada muestra ya que si se comparan ambos tiempos la diferencia es 10 veces mayor y esto debido a que, mientras más se prolonga el tratamiento de ultrasonido más se verá afectado el transporte de masa debido a las vibraciones que este emite (Jambrak et al., 2007). Asimismo, también es importante considerar el tipo de equipo usado, puesto que uno de los pretratamientos usó sonda ultrasónica la cual posee una intensidad de ultrasonido 100 veces mayor que un baño ultrasónico (Santos et al., 2009). En ese sentido, se puede afirmar que, aunque la sonda ultrasónica posea una mayor potencia en comparación a la de un baño ultrasónico, el tiempo juega un papel importante y esto se puede ver reflejado en el US a 30 min, ya que fue mayor que el que solo se aplicó a 3 min.

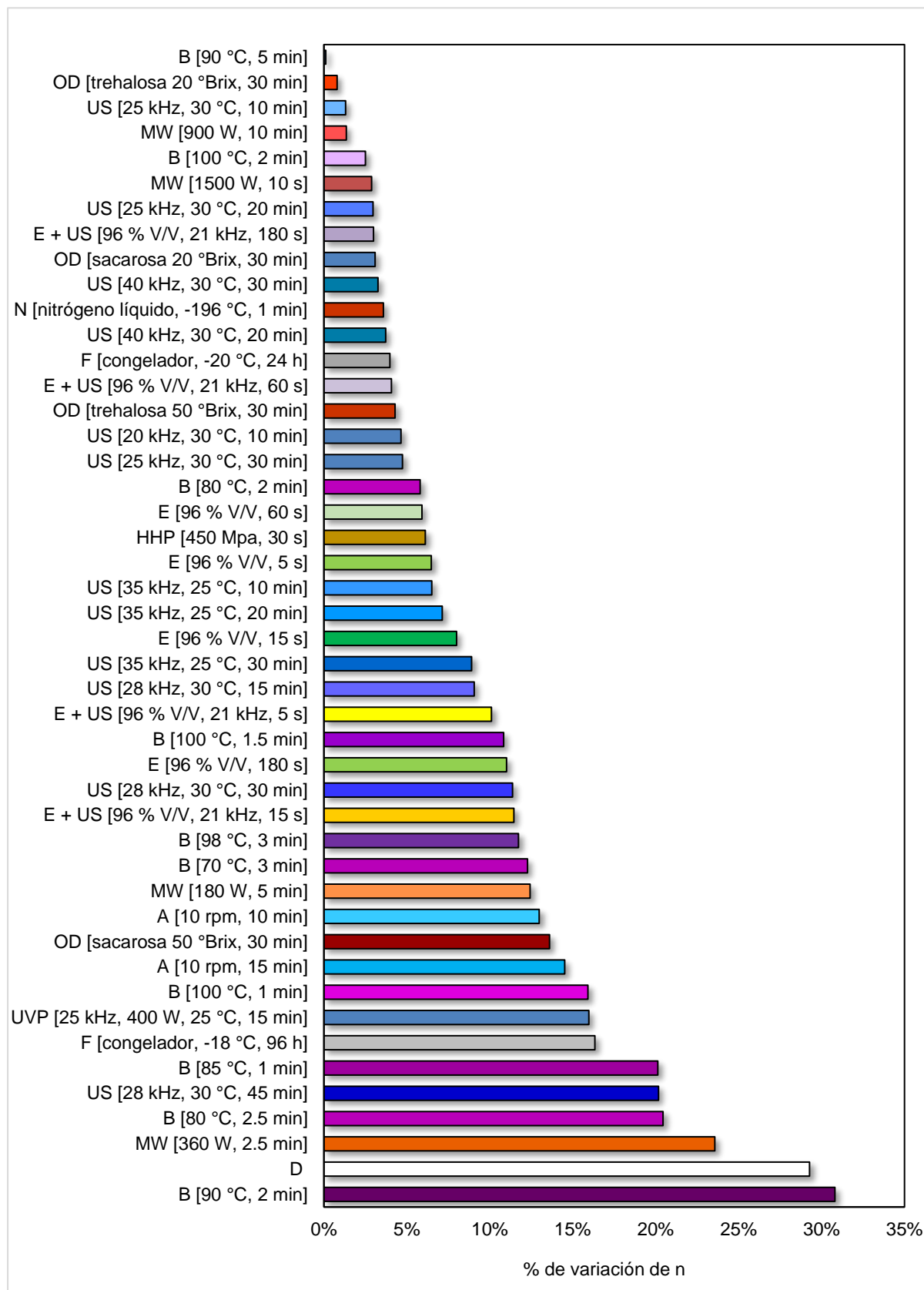
**Figura 14**

*Efecto de los pretratamientos sobre la variación del parámetro cinético k a 70°C*



**Figura 15**

*Efecto de los pretratamientos sobre la variación del parámetro cinético  $n$  a 70°C*



En la Figura 14 A, se presenta los pretratamientos con más del doble de efecto en la velocidad de secado, siendo el MW [360 W, 2.5 min] quien más destaca en este grupo, ya que mejora 20 veces el parámetro  $k$ , incluso más que a 60 °C. No obstante, se observa que tratamientos tanto de MW con otras condiciones, B, A y US también incrementan la velocidad de secado, pero en menor proporción. Con respecto al MW, al tratarse de una misma fruta (mora), estos resultados se deben a la potencia del pretratamiento, ya que un aumento de la potencia de microondas provoca un transporte de humedad más rápido, gracias al aumento de la porosidad y apertura de los tubos capilares (Kaveh et al., 2020). Asimismo, el incremento de la temperatura de secado acelera la transferencia de agua desde el interior del producto hacia su superficie (Ricca et al., 2016). En caso de la A (abrasión), las diferentes variaciones se le atribuyen al tiempo de aplicación de ambos métodos. Mientras que, para el B (blanqueado), se debe principalmente al alimento utilizado para la aplicación de este, ya que para algunos alimentos puede ser más efectivo que otros por los diferentes tejidos que presentan. Tal es el caso de la coliflor 24 cuyo efecto fue acelerar la velocidad de secado (Sahin & Doymaz, 2017), mientras que para la calabaza 8 redujo la velocidad de dicho proceso (Márquez et al., 2021).

Por otra parte, en la Figura 14 B se muestra aquellos tratamientos con efectos medios, pues mejoran, en menos del doble, a la velocidad de secado, resaltando el E [96 % V/V, 180 s] y el E + US [96 % V/V, 21 kHz, 15 s], ya que aumentaron  $k$  en un 92% respecto a las muestras sin tratar. Sin embargo, ambos métodos con las mismas condiciones, pero con tiempos diferentes y aplicados a la misma fruta (manzana), también mostraron resultados positivos, pero en menor proporción. En consecuencia, la adición de US y el aumento del tiempo de aplicación mejoran la velocidad de secado (Zubernik et al., 2020). Es importante mencionar que el tratamiento con E (con o sin US), permite la salida de agua y a su vez el

ingreso del alcohol, que si bien no se conoce con exactitud la proporción de agua y etanol tras el pretratamiento, las pruebas microscópicas muestran que el etanol entra sólo en la parte superficial de las muestras (Rojas & Augusto, 2018a).

Por el contrario, en la Figura 14 C se observa que la F [congelador, -20 °C, 24 h] y F [congelador, -18 °C, 96 h], presentó una disminución en la velocidad de secado, debido a que la congelación convencional da lugar a la formación de grandes cristales de hielo, que perjudican la estructura del producto y hacen que colapse, lo que lleva a la obstrucción de algunos conductos de salida de agua (Noshad & Ghasemi, 2020), impidiendo así la rápida transferencia de agua. Finalmente, cabe resaltar que el US tuvo un efecto muy variado, con variaciones positivas y negativas en la velocidad de secado, dado que han sido aplicados a diferentes alimentos y en algunos casos como ya se ha visto la generación de microcanales ayuda a la entrada del agua durante su procesamiento haciendo que se incremente su contenido de humedad y por ende que se retrase el secado, mientras que en otros casos, la apertura de los tubos capilares ayudó a desobstruir los poros naturales de las muestras, y la creación de microcanales facilitó el secado (Azoubel et al., 2010; Santos et al., 2021).

Por otra parte, en la Figura 15, se muestra que el B [90 °C, 2 min] usado en mora y el deshuesado aplicado a cereza son los tratamientos con mayor variación en el parámetro  $n$ , mientras que el B [90 °C, 5 min] utilizado en calabaza mostró menos del 1 % de variación con respecto a  $n$ . Esto se debe a que ambos métodos generan normalmente un efecto significativo en el tejido celular de la fruta utilizada, haciendo que aumente la permeabilidad al agua junto con otros ingredientes (Pirone et al., 2014), sin embargo para el caso del B [90 °C, 5 min] no fue el caso, ya que se usó una hortaliza, con diferente estructura celular.

### **3.5. Consideraciones finales**

Considerando los artículos analizados en la presente investigación, la fruta y hortaliza más estudiada es la manzana y la calabaza respectivamente, por la homogeneidad de sus



tejidos, la facilidad de adquisición, propiedades nutricionales y tendencia de consumo. Sin embargo, el secado podría estudiarse y aplicarse a otros productos vegetales o frutales que aún no han sido evaluados o se han utilizado muy poco como es el caso del nabo, lúcuma, camu camu, espárrago, maca, cúrcuma, apio, alcachofa, entre otros. Por otro lado, dentro del rango de temperaturas de secado consideradas para el estudio, las más estudiadas son 50 °C y 60 °C, debido a que para este proceso se busca que las temperaturas no sean demasiado altas, pues pueden dañar el producto, ni tampoco tan bajas para que el tiempo de secado no sea demasiado largo. No obstante, para confirmar lo mencionado se deberían realizar más estudios con otras temperaturas. Asimismo, es importante mencionar que, en algunos casos particulares como el secado de la zanahoria 18, membrillo 11, coliflor 24, guisantes 32, plátano 35 y bayas de goji 36, la temperatura ha tenido mayor influencia al efecto del pretratamiento sobre  $k$ , es decir un incremento en la temperatura generaba un aumento en el parámetro cinético de  $k$ .

Con respecto a los pretratamientos, los que tienden a ser uno de los mejores candidatos para tomarlo como tratamiento antes del secado en cualquier otra fruta u hortaliza es la congelación criogénica [nitrógeno líquido, -196 °C], mientras que la abrasión [10 rpm, 15min] se predispone a ser otro de los mejores tratamientos para el caso de las frutas tipo bayas. En contraste con lo mencionado, los métodos que se inclinan a ser menos recomendados para el secado de productos vegetales o frutales son la luz ultravioleta pulsada [7.2 J/cm<sup>2</sup>, 10-50 pulsos] y la congelación convencional [congelador, -18 °C, 96 h]. A pesar de esto, se debería estudiar en otras frutas u hortalizas para poder confirmar estas tendencias y para la abrasión en otras frutas similares de tipo baya.

Por otra parte, existen pretratamientos que son considerados tecnologías emergentes, tal es caso de altas presiones hidrostáticas que, si bien no ha tenido un efecto intermedio, este tratamiento no térmico emergente posee un gran potencial para el secado de frutas y

hortalizas, pues puede mejorar las velocidades de secado y la calidad general de los mismos. Otro caso interesante de este tipo de tecnología es el ultrasonido, pues se ha observado que tiene mucha variación de efecto en el parámetro cinético  $k$ , debido a que es muy dependiente tanto de los parámetros del tratamiento como el equipo utilizado (potencia, frecuencia), tiempo de aplicación, y del producto como el tipo de estructura celular, por lo que no siempre se esperará una mejora con esta tecnología. A diferencia de esta tecnología, el blanqueado, es uno de los tratamientos convencionales más usados antes del secado a nivel industrial para todo tipo de alimento, sin embargo, utiliza temperaturas muy altas que pueden dañar la calidad del producto si no se le da la temperatura y tiempo de aplicación adecuada para ello, por ende, se precisa realizar más estudios sobre esta tecnología convencional y su efecto sobre el parámetro  $n$ .

Finalmente, también se ha encontrado que el modelo de Page no siempre es adecuado para describir todas las cinéticas de secado de manera global (todo el proceso de secado). Por ejemplo, en los casos en que los datos experimentales muestran un cruce en la etapa inicial del proceso de secado no ha sido posible representar mediante el valor de  $k$  las mejoras en el secado producidas por los pretratamientos, siendo esta su limitación como modelo. En consecuencia, queda en evidencia de que hasta el momento no existe el modelo perfecto para el ajuste de la cinética de secado, siendo necesario buscar y explorar otros modelos que puedan describir completamente la cinética y se ajuste a cualquier tipo de fruta y hortaliza.

## CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES

Los pretratamientos aplicados a las frutas y hortalizas antes del secado convectivo influyeron tanto positiva como negativamente sobre los parámetros cinéticos del modelo de Page. En ese sentido, dentro de todos los pretratamientos usados en los diversos estudios, la congelación criogénica [nitrógeno líquido,  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ ] aumentó significativamente la velocidad de secado mejorando dicho proceso para el caso de frutas y hortalizas, y la abrasión [10 rpm, 15min] para las frutas tipo bayas; mientras que los tratamientos de luz ultravioleta pulsada [ $7.2\text{ J/cm}^2$ , 10-50 pulsos] y congelación convencional [congelador,  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 96 h] disminuyeron considerablemente el parámetro cinético  $k$ , ralentizando el secado convectivo de los productos antes mencionados. No obstante, el pretratamiento de ultrasonido de acuerdo a los parámetros del tratamiento como el equipo utilizado (potencia, frecuencia), el tiempo de aplicación, y del tipo de estructura celular del producto, presentó mucha variación en su efecto sobre la velocidad de secado. Finalmente, los diferentes tipos de estructuras celulares de cada uno de los productos utilizados en los distintos artículos y las diferentes condiciones de los pretratamientos generaron variación sobre el parámetro  $n$ , siendo el blanqueado un destacado ejemplo de ello. Esto indica que los pretratamientos influyen modificando tanto la estructura como la composición en algunos casos, lo cual a su vez influyen en la velocidad de secado observado.

## REFERENCIAS

- Adiletta, G., Alam, S. R., Cinquanta, L., Russo, P., Albanese, D., & Di Matteo, M. (2015). Effect of abrasive pretreatment on hot dried goji berry. *Chemical Engineering Transactions*, *44*, 127-132.
- Adiletta, G., Russo, P., Senadeera, W., & Di Matteo, M. (2016). Drying characteristics and quality of grape under physical pretreatment. *Journal of Food Engineering*, *172*, 9-18. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.06.031>
- Aktas, T., Ulger, P., Daglioglu, F., & Hasturk, F. (2013). Changes of Nutritional and Physical Quality Characteristics during Storage of Osmotic Pretreated Apple before Hot Air Drying and Sensory Evaluation. *Journal of Food Quality*, *36*(6), 411-425. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jfq.12062>
- Alolga, R. N., Osa, R., Essilfie, G., Saalia, F. K., Akaba, S., & Chikari, F. (2021). Sonication, osmosonication and vacuum-assisted osmosonication pretreatment of Ghanaian garlic slices: Effect on physicochemical properties and quality characteristics. *Food Chemistry*, *343*, 128535. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128535>
- Andersson, A., Gekas, V., Lind, I., Oliveira, F., Öste, R., & Aguilfra, J. M. (1994). Effect of preheating on potato texture. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, *34*(3), 229-251.
- ANSI/ANSE. (2014). Thin-layer drying of agricultural crops. *In revised approved ASABE standards. American Society of Agricultural and Biological Engineers (S448.2)*.
- Araújo, A. C., Oliveira, S. M., Ramos, I. N., Brandão, T. R. S., & Silva, C. L. M. (2016). Influence of Pretreatments on Quality Parameters and Nutritional Compounds of Dried Galega Kale (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*). *Food and Bioprocess Technology*, *9*(5), 872-881. <https://doi.org/10.1007/s11947-016-1678-1>
- Azoubel, P. M., Baima, M. d. A. M., Amorim, M. d. R., & Oliveira, S. S. B. (2010). Effect of ultrasound on banana cv Pacovan drying kinetics. *Journal of Food Engineering*, *97*(2), 194-198. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.10.009>
- Berk, Z. (2018). *Food process engineering and technology*. Academic press.
- Bozkir, H., Rayman Ergün, A., Serdar, E., Metin, G., & Baysal, T. (2019). Influence of ultrasound and osmotic dehydration pretreatments on drying and quality properties of persimmon fruit. *Ultrasonics Sonochemistry*, *54*, 135-141. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.02.006>
- Bozkir, H., Rayman Ergün, A., Tekgül, Y., & Baysal, T. (2019). Ultrasound as pretreatment for drying garlic slices in microwave and convective dryer. *Food Science and Biotechnology*, *28*(2), 347-354. <https://doi.org/10.1007/s10068-018-0483-1>
- Braga, T. R., Silva, E. O., Rodrigues, S., & Fernandes, F. A. N. (2019). Drying of mangoes (*Mangifera indica* L.) applying pulsed UV light as pretreatment. *Food and Bioprocess Technology Processing*, *114*, 95-102. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fbp.2018.11.013>
- Carvalho, G. R., Rojas, M. L., Silveira, I., & Augusto, P. E. D. (2020). Drying Accelerators to Enhance Processing and Properties: Ethanol, Isopropanol, Acetone and Acetic Acid as Pre-treatments to Convective Drying of Pumpkin. *Food and Bioprocess Technology*, *13*(11), 1984-1996. <https://doi.org/10.1007/s11947-020-02542-6>
- Castro, A. M., Mayorga, E. Y., & Moreno, F. L. (2018). Mathematical modelling of convective drying of fruits: A review. *Journal of Food Engineering*, *223*, 152-167.

- <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.12.012>
- da Cunha, R. M. C., Brandão, S. C. R., de Medeiros, R. A. B., da Silva Júnior, E. V., Fernandes da Silva, J. H., & Azoubel, P. M. (2020). Effect of ethanol pretreatment on melon convective drying. *Food Chemistry*, 333, 127502. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127502>
- Dadmohammadi, Y., & Datta, A. K. (2020). Food as porous media: a review of the dynamics of porous properties during processing. *Food Reviews International*, 1-33. <https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1761376>
- Defraeye, T. (2017). Impact of size and shape of fresh-cut fruit on the drying time and fruit quality. *Journal of Food Engineering*, 210, 35-41. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.04.004>
- Dehghannya, J., Bozorgh, S., & Heshmati, M. K. (2018). Low temperature hot air drying of potato cubes subjected to osmotic dehydration and intermittent microwave: drying kinetics, energy consumption and product quality indexes. *Heat and Mass Transfer*, 54(4), 929-954. <https://doi.org/10.1007/s00231-017-2202-5>
- Deng, L.-Z., Mujumdar, A. S., Zhang, Q., Yang, X.-H., Wang, J., Zheng, Z.-A., . . . Xiao, H.-W. (2019). Chemical and physical pretreatments of fruits and vegetables: Effects on drying characteristics and quality attributes – a comprehensive review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(9), 1408-1432. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1409192>
- DiPersio, P. A., Kendall, P. A., Yoon, Y., & Sofos, J. N. (2007). Influence of modified blanching treatments on inactivation of Salmonella during drying and storage of carrot slices. *Food Microbiology*, 24(5), 500-507. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fm.2006.09.004>
- Doymaz, İ. (2012a). Drying of potato slices: Effect of pretreatments and mathematical modeling. *Journal of Food Processing and Preservation*, 36(4), 310-319. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2011.00594.x>
- Doymaz, İ. (2012b). Evaluation of some thin-layer drying models of persimmon slices (*Diospyros kaki* L.). *Energy Conversion and Management*, 56, 199-205. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enconman.2011.11.027>
- Doymaz, İ. (2017). Drying kinetics, rehydration and colour characteristics of convective hot-air drying of carrot slices. *Heat and Mass Transfer*, 53(1), 25-35. <https://doi.org/10.1007/s00231-016-1791-8>
- Doymaz, İ., Demir, H., & Yildirim, A. (2015). Drying of Quince Slices: Effect of Pretreatments on Drying and Rehydration Characteristics. *Chemical Engineering Communications*, 202(10), 1271-1279. <https://doi.org/10.1080/00986445.2014.921619>
- Doymaz, İ., & Kocayigit, F. (2011). Drying and Rehydration Behaviors of Convection Drying of Green Peas. *Drying Technology*, 29(11), 1273-1282. <https://doi.org/10.1080/07373937.2011.591713>
- García-Pérez, J. V., Carcel, J. A., Mulet, A., Riera, E., & Gallego-Juarez, J. A. (2015). 29 - Ultrasonic drying for food preservation. In J. A. Gallego-Juárez & K. F. Graff (Eds.), *Power Ultrasonics* (pp. 875-910). Woodhead Publishing. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-028-6.00029-6>
- González, C., Cháfer, M., Xue, K., & Chiralt, A. (2006). Effect of the Osmotic Pre-Treatment on the Convective Air Drying Kinetics of Pear Var. Blanquilla. *International Journal of Food Properties*, 9(3), 541-549. <https://doi.org/10.1080/10942910600596522>
- Gonçalves, E., Pinheiro, J., Abreu, M., Brandão, T., & Silva, C. (2010). Carrot (*Daucus carota* L.) peroxidase inactivation, phenolic content and physical changes kinetics

- due to blanching. *Journal of Food Engineering*, 97(4), 574-581. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.12.005>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. d. P. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill.
- Hossain, M. A., Dey, P., & Joy, R. I. (2021). Effect of osmotic pretreatment and drying temperature on drying kinetics, antioxidant activity, and overall quality of taikor (*Garcinia pedunculata* Roxb.) slices. *Saudi Journal of Biological Sciences*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.08.038>
- Jambrak, A. R., Mason, T. J., Paniwnyk, L., & Lelas, V. (2007). Accelerated drying of button mushrooms, Brussels sprouts and cauliflower by applying power ultrasound and its rehydration properties. *Journal of Food Engineering*, 81(1), 88-97. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.10.009>
- Janjai, S., Lamlert, N., Mahayothee, B., Bala, B. K., Precoppe, M., & Muller, J. (2011). Thin Layer Drying of Peeled Longan. *Food Science and Technology Research*, 17(4), 279-288. <https://doi.org/10.3136/fstr.17.279>
- Junqueira, J. R. d. J., Corrêa, J. L. G., de Oliveira, H. M., Ivo Soares Avelar, R., & Salles Pio, L. A. (2017). Convective drying of cape gooseberry fruits: Effect of pretreatments on kinetics and quality parameters. *LWT - Food Science and Technology*, 82, 404-410. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.04.072>
- Karakaplan, N., Goz, E., Tosun, E., & Yuceer, M. (2019). Kinetic and artificial neural network modeling techniques to predict the drying kinetics of *Mentha spicata* L. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(10), e14142. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jfpp.14142>
- Karam, M. C., Petit, J., Zimmer, D., Baudelaire Djantou, E., & Scher, J. (2016). Effects of drying and grinding in production of fruit and vegetable powders: A review. *Journal of Food Engineering*, 188, 32-49. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.05.001>
- Kaveh, M., Taghinezhad, E., & Aziz, M. (2020). Effects of physical and chemical pretreatments on drying and quality properties of blackberry (*Rubus* spp.) in hot air dryer. *Food Science & Nutrition*, 8(7), 3843-3856.
- Kek, S., Chin, N., & Yusof, Y. (2013). Direct and indirect power ultrasound assisted pre-osmotic treatments in convective drying of guava slices. *Food and Bioprocess Technology*, 91(4), 495-506. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fbp.2013.05.003>
- Lewicki, P., & Lukaszuk, A. (2000). Effect of osmotic dewatering on rheological properties of apple subjected to convective drying. *Journal of Food Engineering*, 45(3), 119-126.
- Lewicki, P. P. (2006). Design of hot air drying for better foods. *Trends in Food Science & Technology*, 17(4), 153-163. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2005.10.012>
- Llavata, B., García-Pérez, J. V., Simal, S., & Cárcel, J. A. (2020). Innovative pre-treatments to enhance food drying: a current review. *Current Opinion in Food Science*, 35, 20-26. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cofs.2019.12.001>
- Manterola, C., Astudillo, P., Arias, E., & Claros, N. (2013). Revisión sistemática de la literatura. Qué se debe saber acerca de ellas. *Cirugía Española*, 91(3), 149-155. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ciresp.2011.07.009>
- Markowski, M., Stankiewicz, I., Zapotoczny, P., & Borowska, J. (2006). Effect of Variety on Drying Characteristics and Selected Quality Attributes of Dried Carrots. *Drying Technology*, 24(8), 1011-1018. <https://doi.org/10.1080/07373930600776191>
- Miano, A. C., Rojas, M. L., & Augusto, P. E. D. (2019). Structural changes caused by

- ultrasound pretreatment: Direct and indirect demonstration in potato cylinders. *Ultrasonics Sonochemistry*, 52, 176-183. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.11.015>
- Miraei Ashtiani, S.-H., Rafiee, M., Mohebi Morad, M., Khojastehpour, M., Khani, M. R., Rohani, A., . . . Martynenko, A. (2020). Impact of gliding arc plasma pretreatment on drying efficiency and physicochemical properties of grape. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 63, 102381. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102381>
- Mishra, M., Kandasamy, P., Shukla, R. N., & Kumar, A. (2021). Convective Hot-air Drying of Green Mango: Influence of Hot Water Blanching and Chemical Pretreatments on Drying Kinetics and Physicochemical Properties of Dried Product. *International Journal of Fruit Science*, 21(1), 732-757. <https://doi.org/10.1080/15538362.2021.1930626>
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D., & PRISMA Group, T. (2014). Ítems de referencia para publicar Revisiones Sistemáticas y Metaanálisis: La Declaración PRISMA. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, 18(3), 172-181. <https://doi.org/https://doi.org/10.14306/renhyd.18.3.114>
- Márquez, C., Caballero, B., Ciro, H., & Restrepo, D. (2021). Effect of pretreatment and temperature on the drying kinetics and physicochemical and techno-functional characteristics of pumpkin (*Cucurbita maxima*). *Heliyon*, 7(4), e06802. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06802>
- Noshad, M., & Ghasemi, P. (2020). Influence of freezing pretreatments on kinetics of convective air-drying and quality of grapes. *Food Bioscience*, 38, 100763. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100763>
- Nowacka, M., Wiktor, A., Śledź, M., Jurek, N., & Witrowa-Rajchert, D. (2012). Drying of ultrasound pretreated apple and its selected physical properties. *Journal of Food Engineering*, 113(3), 427-433. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.06.013>
- Oladejo, A. O., Ekpene, M.-A. M., Onwude, D. I., Assian, U. E., & Nkem, O. M. (2021). Effects of ultrasound pretreatments on the drying kinetics of yellow cassava during convective hot air drying. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(3), e15251. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jfpp.15251>
- Oliveira, M. M. d., Tribst, A. A. L., Leite Júnior, B. R. d. C., Oliveira, R. A. d., & Cristianini, M. (2015). Effects of high pressure processing on cocoyam, Peruvian carrot, and sweet potato: Changes in microstructure, physical characteristics, starch, and drying rate. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 31, 45-53. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.07.004>
- Onwude, D. I., Hashim, N., Janius, R. B., Nawi, N. M., & Abdan, K. (2016). Modeling the Thin-Layer Drying of Fruits and Vegetables: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(3), 599-618. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/1541-4337.12196>
- Osae, R., Zhou, C., Xu, B., Tchabo, W., Bonah, E., Alenyorege, E. A., & Ma, H. (2019). Nonthermal pretreatments enhances drying kinetics and quality properties of dried ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) slices. *Journal of Food Process Engineering*, 42(5), e13117.
- Ozgen, F., & Celik, N. (2019). Evaluation of Design Parameters on Drying of Kiwi Fruit. *Applied Sciences*, 9(1). <https://doi.org/10.3390/app9010010>
- Page, G. E. (1949). *Factors Influencing the Maximum Rates of Air Drying Shelled Corn in Thin layers*. Purdue University.
- Pirone, B. N., De Michelis, A., & Salvatori, D. M. (2014). Pretreatments Effect in Drying

- Behaviour and Colour of Mature and Immature ‘Napolitana’ Sweet Cherries. *Food and Bioprocess Technology*, 7(6), 1640-1655. <https://doi.org/10.1007/s11947-013-1238-x>
- Pérez, N., & Schmalko, M. (2009). Convective drying of pumpkin: Influence of pretreatment and drying temperature. *Journal of Food Process Engineering*, 32(1), 88-103. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2007.00200.x>
- Ramírez, C., Astorga, V., Nuñez, H., Jaques, A., & Simpson, R. (2017). Anomalous diffusion based on fractional calculus approach applied to drying analysis of apple slices: The effects of relative humidity and temperature. *Journal of Food Process Engineering*, 40(5), e12549.
- Ramírez, C., Troncoso, E., Muñoz, J., & Aguilera, J. M. (2011). Microstructure analysis on pre-treated apple slices and its effect on water release during air drying. *Journal of Food Engineering*, 106(3), 253-261. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.05.020>
- Rani, P., & Tripathy, P. P. (2019). Effect of ultrasound and chemical pretreatment on drying characteristics and quality attributes of hot air dried pineapple slices. *Journal of Food Science and Technology*, 56(11), 4911-4924. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03961-w>
- Raponi, F., Moschetti, R., Nallan, S., Fidaleo, M., & Massantini, R. (2021). Monitoring the hot-air drying process of organically grown apples (cv. Gala) using computer vision. *Biosystems Engineering*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2021.07.005>
- Ren, Z., Yu, X., Yagoub, A. E. A., Fakayode, O. A., Ma, H., Sun, Y., & Zhou, C. (2021). Combinative effect of cutting orientation and drying techniques (hot air, vacuum, freeze and catalytic infrared drying) on the physicochemical properties of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). *LWT*, 144, 111238. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111238>
- Ricce, C., Rojas, M. L., Miano, A. C., Siche, R., & Augusto, P. E. D. (2016). Ultrasound pre-treatment enhances the carrot drying and rehydration. *Food Research International*, 89, 701-708. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.09.030>
- Rojas, M., & Augusto, P. (2018a). Ethanol pre-treatment improves vegetable drying and rehydration: Kinetics, mechanisms and impact on viscoelastic properties. *Journal of Food Engineering*, 233, 17-27. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.03.028>
- Rojas, M., & Augusto, P. (2018b). Microstructure elements affect the mass transfer in foods: The case of convective drying and rehydration of pumpkin. *LWT*, 93, 102-108.
- Rojas, M. L., Gomes, B. d. O., Carvalho, G. R., Santos, K. C., Guedes, J. S., Bitencourt, B. S., & Augusto, P. E. D. (2021). Convective drying of cambuci, a native fruit from the Brazilian Atlantic Forest: Effect of pretreatments with ethanol and freezing. *Journal of Food Process Engineering*, n/a(n/a), e13822. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jfpe.13822>
- Rojas, M. L., Silveira, I., & Augusto, P. E. D. (2020). Ultrasound and ethanol pre-treatments to improve convective drying: Drying, rehydration and carotenoid content of pumpkin. *Food and Bioprocess Technology*, 119, 20-30. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fbp.2019.10.008>
- Russo, P., Adiletta, G., Di Matteo, M., Senadeera, W., & Cinquanta, L. (2020). The effect of abrasive pretreatment on the drying kinetics and phenolic compounds in goji berries (*Lycium barbarum* L.). *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(12), e14933. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jfpp.14933>



- Sahin, M., & Doymaz, İ. (2017). Estimation of cauliflower mass transfer parameters during convective drying. *Heat and Mass Transfer*, 53(2), 507-517. <https://doi.org/10.1007/s00231-016-1835-0>
- Sakooei-Vayghan, R., Peighambaroust, S. H., Hesari, J., & Peressini, D. (2020). Effects of osmotic dehydration (with and without sonication) and pectin-based coating pretreatments on functional properties and color of hot-air dried apricot cubes. *Food Chemistry*, 311, 125978. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125978>
- Santos, H., Lodeiro, C., & Capelo, J. (2009). *The Power of Ultrasound In: Capelo-Martínez JL*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.,
- Santos, K. C., Guedes, J. S., Rojas, M. L., Carvalho, G. R., & Augusto, P. E. D. (2021). Enhancing carrot convective drying by combining ethanol and ultrasound as pre-treatments: Effect on product structure, quality, energy consumption, drying and rehydration kinetics. *Ultrasonics Sonochemistry*, 70, 105304. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105304>
- Severini, C., Baiano, A., De Pilli, T., Carbone, B. F., & Derossi, A. (2005). Combined treatments of blanching and dehydration: study on potato cubes. *Journal of Food Engineering*, 68(3), 289-296. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.05.045>
- Shewale, S. R., Rajoriya, D., & Hebbar, H. U. (2019). Low humidity air drying of apple slices: Effect of EMR pretreatment on mass transfer parameters, energy efficiency and quality. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 55, 1-10. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.05.006>
- Simpson, R., Ramírez, C., Nuñez, H., Jaques, A., & Almonacid, S. (2017). Understanding the success of Page's model and related empirical equations in fitting experimental data of diffusion phenomena in food matrices. *Trends in Food Science & Technology*, 62, 194-201.
- Tao, Y., Zhang, J., Jiang, S., Xu, Y., Show, P.-L., Han, Y., . . . Ye, M. (2018). Contacting ultrasound enhanced hot-air convective drying of garlic slices: Mass transfer modeling and quality evaluation. *Journal of Food Engineering*, 235, 79-88. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.04.028>
- Tayyab Rashid, M., Ahmed Jatou, M., Safdar, B., Wali, A., Muhammad Aadil, R., Sarpong, F., & Ma, H. (2020). Modeling the drying of ultrasound and glucose pretreated sweet potatoes: The impact on phytochemical and functional groups. *Ultrasonics Sonochemistry*, 68, 105226. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105226>
- Vallespir, F., Rodríguez, Ó., Eim, V. S., Rosselló, C., & Simal, S. (2018). Freezing pre-treatments on the intensification of the drying process of vegetables with different structures. *Journal of Food Engineering*, 239, 83-91. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.07.008>
- Vega-Gálvez, A., Lara, E., Flores, V., Di Scala, K., & Lemus-Mondaca, R. (2012). Effect of Selected Pretreatments on Convective Drying Process of Blueberries (var. O'neil). *Food and Bioprocess Technology*, 5(7), 2797-2804. <https://doi.org/10.1007/s11947-011-0656-x>
- Vásquez-Parra, J. E., Ochoa-Martínez, C. I., & Bustos-Parra, M. (2013). Effect of chemical and physical pretreatments on the convective drying of cape gooseberry fruits (*Physalis peruviana*). *Journal of Food Engineering*, 119(3), 648-654. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.06.037>
- Wang, H., Zhao, Q.-S., Wang, X.-D., Hong, Z.-d., & Zhao, B. (2019). Pretreatment of

- ultrasound combined vacuum enhances the convective drying efficiency and physicochemical properties of okra (*Abelmoschus esculentus*). *LWT*, *112*, 108201. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.05.099>
- Wang, J., Xiao, H.-W., Ye, J.-H., Wang, J., & Raghavan, V. (2019). Ultrasound Pretreatment to Enhance Drying Kinetics of Kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) Slices: Pros and Cons. *Food and Bioprocess Technology*, *12*(5), 865-876. <https://doi.org/10.1007/s11947-019-02256-4>
- Zhao, Y., & Kjeld Porsdal, P. (1988). Diffusion in potato drying. *Journal of Food Engineering*, *7*(4), 249-262. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0260-8774\(88\)90007-6](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0260-8774(88)90007-6)
- Zielinska, M., Ropelewska, E., & Zapotoczny, P. (2018). Effects of freezing and hot air drying on the physical, morphological and thermal properties of cranberries (*Vaccinium macrocarpon*). *Food and Bioprocess Technology*, *110*, 40-49. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fbp.2018.04.006>
- Zubernik, J., Dadan, M., Cichowska, J., & Witrowa-Rajchert, D. (2020). The Impact of the Pre-Treatment in Ethanol Solution on the Drying Kinetics and Selected Properties of Convective Dried Apples. *International Journal of Food Engineering*, *16*(1-2). <https://doi.org/doi:10.1515/ijfe-2018-0338>
- Şahin, U., & Öztürk, H. K. (2016). Effects of pulsed vacuum osmotic dehydration (PVOD) on drying kinetics of figs (*Ficus carica* L). *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *36*, 104-111. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.06.003>