

# Acelerando la deshidratación de Arándanos (*Vaccinium Corymbosum*) empleando el efecto de Marangoni

## *Accelerating blueberry dehydration by Marangoni effect*

Marco A. Aguirre, B.Sc<sup>1</sup>, Alberto Claudio Miano, Ph.D.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Escuela de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ingeniería, Universidad Privada del Norte, Perú, mark-tonio@live.com

<sup>2</sup> Dirección de Investigación y Desarrollo, Universidad Privada del Norte, Perú, alberto.miano@upn.edu.pe

**Resumen** – La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de la concentración de etanol y tiempo de pretratamientos sobre la velocidad de secado en arándanos (*Vaccinium Corymbosum*). Para el desarrollo de esta investigación se cortaron los arándanos longitudinalmente por la mitad para luego sumergirlos por 2, 5 y 10 min en etanol con concentraciones de 50, 70 y 96%V/V. Luego las muestras fueron secadas por aire en una estufa a 60 °C, registrando la masa para la construcción de las cinéticas de secado. Se usó el modelo de Page para el modelamiento matemático de las cinéticas y se compararon sus parámetros entre los tratamientos realizados para verificar si hubo diferencia significativa. Como resultado se obtuvo la mejora del proceso de secado debido al pretratamiento, siendo el pretratamiento con etanol 96%V/V y tiempo de 5 y 10 min los que ocasionaron una reducción significativa del tiempo de secado.

**Palabras clave**-- Deshidratación, Secado, Efecto Marangoni, Arándano

**Abstract** –The present work aimed to study the effect of the pretreatment with ethanol on drying kinetics of blueberries. Halved blueberries were immersed in ethanol solution of 50, 70 or 96%V/V for period of 2, 5 or 10 min. Then, the samples were air-convective dried in an oven at 60°C. The mass of the samples was recorded at different times for calculate the moisture content by mass balance and to plot the drying kinetics. The drying kinetics was modeled using Page model and its parameters were compared among the treatments to evaluate statistical difference. As a result, drying process of halved blueberries was accelerated using ethanol 96%V/V for 5 or 10 min as pretreatments, reducing drying time almost 15%.

**Keywords**-- Dehydration, Drying, Marangoni Effect, Blueberry

### I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial el comportamiento de las exportaciones e importaciones de arándano fresco presentó un crecimiento anual promedio desde el 2014 hasta el 2018 de 17% en valor y 13% de volumen [1]. Según el Ministerio Nacional de Agricultura de Perú, el principal productor de arándano hasta el año 2017 estaba liderado por Norte América (Estados Unidos, Canadá y México) con el 75% de área plantada de cultivo. Pero, durante la campaña de exportaciones en el año 2019/20 desde la semana 20 hasta la semana 7 (de mayo a febrero), en el Perú fueron tan excepcionales que permitieron convertirlo en el principal exportador de esta fruta fresca a nivel mundial [2].

En el Perú durante el tiempo antes mencionado, los envíos de arándano fresco sumaron un valor de 117.201 toneladas con un valor de US\$760 millones. Estas cifras generaron un crecimiento de 43% en volumen y de 30% en valor a comparación del año anterior [2]. Gracias a la gran demanda de arándano de Europa y EE. UU., en el Perú las inversiones en este producto se incrementaron. Se calcula que el Perú tenga unas 30000 hectáreas de berries o frutos del bosque en la zona andina aproximadamente en seis años, donde, se beneficiarían cerca de 20000 agricultores [3]. Las exportaciones de arándano durante el periodo 2020/21 ascenderían en US\$1054 millones, un 30% más que la temporada anterior lo que permitiría al Perú continuar como el principal proveedor de esta fruta fresca en el mundo, generando una diferencia de 45 a 50% aproximadamente de valor superando a Chile desde el 2019 [4].

Debido al crecimiento de la exportación del arándano se refleja una mayor producción de este. Sin embargo, no toda la producción del producto llega a ser vendida al exterior por diversos factores que afectan sus características físicas y sensoriales. Según los datos del MINAGRI de producción y exportación de arándano en el año 2018, nos da como resultado un restante de 11 000 toneladas aproximadamente de arándano que no has sido exportados. Por lo tanto, debido a esta gran cantidad de descarte, se deben buscar soluciones rápidas para poder tratar con este producto siendo una de ellas la venta en el mercado local. Sin embargo, debido al corto tiempo de vida útil

Digital Object Identifier (DOI):  
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2021.1.1.29>  
ISBN: 978-958-52071-8-9 ISSN: 2414-6390

de este producto fresco, no basta con solo venderlo al mercado local como tal, y se deben buscar otras soluciones. Algunas de ellas pueden ser en deshidratados o conservas, por esa razón se tiene que observar la tendencia de consumo en el mercado local.

Según el tipo de vida que las personas llevan en estos últimos años, se ha vuelto como tendencia consumir productos más sanos, sin grasas y menos procesados, contribuyendo con favorecer la salud alimentaria. La alimentación se ha vuelto un tema muy importante en el cliente del siglo XXI. El consumidor actualmente toma con mayor importancia el cuidado y bienestar de su aspecto físico, por ello, adquiere productos que ayuden a cumplir con sus objetivos de obtener mejoría en la salud [5].

La deshidratación es una de las técnicas más usadas para conservar alimentos a través del tiempo [6]. La deshidratación consiste en la expulsión de agua aplicando un tratamiento térmico. Este método transforma los productos alimenticios frescos en productos deshidratados, generando un valor comercial y reduciendo diversos costos en la cadena productiva, debido a la reducción del peso y volumen. La técnica de deshidratación es un método de bajo costo, se puede adaptar a presupuestos en comunidades de escasos recursos que no cuentan con posibilidades de tener una conservación por medio de refrigeración [7].

Según Brennan and Burgos González [8] mencionan que el desarrollo de secado por aire caliente atraviesa varias fases para concretarse: Fase de estabilización, velocidad de secado constante y de secado decreciente. En la primera, fase el área superficial del sólido se estabiliza con la temperatura del aire; en la fase de velocidad de secado constante, la superficie del sólido permanece repleto de agua líquida y esto se debe a que la velocidad de evaporación es igual a la que llega desde el interior; y en la fase de secado decreciente, la velocidad de eliminación de agua en la superficie disminuye hasta llegar a secarse. La fluidez de los cambios va a depender de los compuestos que conforman el alimento y de las circunstancias que afecten al secado, estos factores deben ser examinados cuando se va a diseñar el deshidratado para generar el menor daño posible al alimento [9].

Los métodos de secado que consisten en la utilización de aire caliente durante mucho tiempo pueden deteriorar la calidad nutricional y fisicoquímica del alimento, así como también la demanda de gran cantidad en el consumo de energía que a su vez generará un impacto ambiental [10, 11]. Por lo que una alternativa interesante pero aún poco explorada para mejorar el proceso de secado es el uso de agentes que ayudan a acelerar este proceso, los cuales deben ser biológicamente degradables e inocuo para la salud. En trabajos realizados anteriormente, utilizaban agentes que formaban un azeótropo con el agua, tales como etanol, ácido acético, isopropanol y acetato de n-propilo, los cuales fueron probados para acelerar el proceso de secado y preservar las propiedades del producto con sus componentes [12, 13]. Este tipo de compuestos generan un gradiente de tensión superficial entre el agua y el compuesto utilizado, ocasionando el movimiento del agua hacia el exterior. Este

fenómeno es conocido como el flujo de Marangoni mejorando el proceso de secado [14].

El movimiento de líquidos resultado de una tensión superficial desequilibrada conforma un fenómeno natural conocido como efecto Marangoni, este efecto habitual se forma por gradientes de concentración (soluto capilar) y/o temperatura (termo capilar) en una superficie líquida [15]. El efecto Marangoni induce al líquido a alejarse de las regiones de baja tensión superficial a zonas de alta tensión superficial [14, 16-19].

La finalidad de aplicar este método previo en el deshidratado de arándano es ayudar a reducir el tiempo de deshidratación habitual y generar un producto de buena calidad, logrando disminución de costos y optimización de los tiempos de proceso. Al encontrarnos con una gran cantidad de arándano en el mercado local, es probable que una gran cantidad de este producto se llegue a deteriorar a consecuencia de muchos factores, por lo que la aplicación de deshidratación habitual sería una buena solución. No obstante, deshidratar este fruto conlleva a someterlo a altas temperaturas por tiempos prolongados, lo cual puede causar degradación de algunos compuestos y uso alto de energía. Por ello, esta investigación se enfoca en brindar una alternativa de solución para estos problemas en el deshidratado de arándano, la cual implica en aplicar un tratamiento previo con sustancias promotoras del flujo Marangoni. Con esto se podría reducir el tiempo en el deshidratado, generando una reducción de costos, y obteniendo un producto poco afectado por alguna alteración que reduzcan la calidad del producto, conservando así sus propiedades.

Trabajos previos avalaron la mejora del proceso de secado usando sustancias promotoras del flujo de Marangoni. Por ejemplo, en el trabajo de Rojas and Augusto [20], aplicaron etanol y ultrasonido como pretratamientos para mejorar el secado por infrarrojos de rodajas de patata. Los pretratamientos incluyeron muestras control (sin ningún pretratamiento), muestras sumergidas en etanol y etanol con ultrasonido. El equipo fue fijado a 100 °C, pero la temperatura en la superficie alcanzada fue de 80 °C, donde la muestra con etanol y ultrasonido alcanzó reducir más el tiempo de secado a comparación de la muestra sin tratamiento. Otro trabajo fue el de Rojas and Augusto [21] quienes usaron etanol para mejorar el secado de la calabaza, logrando acelerar el proceso en un 49.5% en comparación con la muestra sin tratar. Así también Rojas, et al. [22], emplearon etanol y perforaciones como enfoques simples para mejorar el secado por infrarrojos y la rehidratación de las rodajas de papa. Estos trabajos demuestran el potencial que tiene el uso de sustancias potenciadoras del flujo de Marangoni, especialmente el etanol, para acelerar el proceso de secado en los alimentos. Sin embargo, aún son pocos los alimentos que han sido evaluados con este enfoque, faltando la investigación en frutas y especialmente en bayas.

Por consiguiente, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto del pretratamiento con etanol a diferentes concentraciones y tiempos distintos en la cinética de secado de arándano en mitades. Esta investigación ayudará a generar una

alternativa para tratar de forma más rápida el secado a consecuencia de la gran cantidad de arándano que se producirá en los próximos años por la alta demanda que está generando en el mercado internacional.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### A. Materia Prima

Se obtuvieron las muestras de arándano azul (*Vaccinium Corymbosum*) de un mercado local “La Victoria” (La Esperanza, Trujillo – Perú), los arándanos se clasificaron por su tamaño y color según su estado óptimo y características homogéneas. Se consideraron los de medida aproximada de 1 a 2 cm de diámetro y de 1 a 1.5 cm. de altura. Además, se descartó cualquier fruto con daños mecánicos y microbiológicos.

### B. Pretratamiento

Se utilizó el método experimental de Rojas and Augusto [20] con modificaciones. Primero se lavaron los arándanos para luego ser cortados con un corte longitudinal dividiendo a cada arándano en dos partes uniformes. Luego, 6 arándanos por réplica fueron sumergidas en un vaso de precipitado con 300 mL de etanol de 50, 70 y 96 % V/V durante 2, 5 y 10 min por cada solución de etanol. Inmediatamente los arándanos fueron retirados y superficialmente secados con papel toalla para retirar restos de etanol. Después del pretratamiento, tanto la muestra control (C) (es decir, sin tratamiento previo), y las muestras tratadas con etanol fueron rotulados como 50-2 (50% por 2 min), 50-5 (50% por 5 min), 50-10 (50% por 10 min), 70-2 (70% por 2 min), 70-5 (70% por 5 min), 70-10 (70% por 10 min), 96-2 (96% por 2 min), 96-5 (96% por 5 min), 96-10 (96% por 10 min). Luego fueron colocadas en una malla de alambre galvanizado con tamaño de orificio de 2.5 x 2 mm, con el fin de que haya un flujo de aire durante el secado.

### C. Secado por aire convectivo

Las rejillas con las muestras fueron colocadas en una estufa de secado por aire convectivo (Binder, Alemania) a 60 °C. La masa de las muestras fue registrada durante el tiempo de secado para la construcción de la cinética de secado. Para lo cual, las muestras fueron retiradas 30 minutos durante las 2 primeras horas, posterior a ello el registro de masa fue cada hora hasta llegar a una masa constante. Mediante balance de materia, se determinó la humedad de las muestras con respecto al tiempo de secado. Este procedimiento se realizó para las muestras sin tratar y pretratadas con etanol.

### D. Modelamiento Matemático

Las curvas de secado (cinética de secado) realizadas se trabajaron para el modelamiento matemático. Los datos de humedad adimensional (MR) en función del tiempo (t) fueron

modelados. La humedad adimensional fue obtenida mediante la Ecuación 1.

$$MR_{(t)} \% = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \quad (1)$$

Donde  $M_t$  es el contenido de humedad de la base seca (% b.s.) en un momento (t) del proceso de secado, ( $M_e$ ) es la humedad de equilibrio (% b.s.) y ( $M_0$ ) es la humedad inicial (% b.s.) después de aplicar pretratamiento. En las muestras control, ( $M_0$ ) es la humedad inicial natural de la muestra.

Los datos del secado se ajustaron al modelo de Page [23] (Ecuación. 2), donde ( $MR_t$ ) es la humedad adimensional en el tiempo de secado (t), (k) es la constante de velocidad de secado y (n) la constante de secado adimensional. El modelo de Page es un modelo empírico que se ha aplicado durante muchos años al proceso de secado [24, 25]. Actualmente Simpson, et al. [26] demostraron que el enfoque de difusión anómala basado en un cálculo fraccional puede atribuir un significado fenomenológico para el modelo de Page: la tasa de secado constante (k) estará asociado con el coeficiente de difusión y la geometría de la muestra, mientras que de secado adimensional (n) describe el tipo de difusión. Cuando  $n=1$ , se asume que la transferencia de masa es netamente por difusión. Por otro lado, cuando  $n>1$ , el secado se caracteriza por ser una super difusión donde otros mecanismos como la capilaridad también son importantes. A diferencia de cuando  $n<1$ , que se considera sub difusión.

$$MR_{(t)} = \exp(-k.t^n) \quad (2)$$

### E. Análisis Estadístico

Se realizó un diseño experimental al azar de un solo factor con 10 niveles de tratamiento y 3 repeticiones. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia del 95% ( $p<0.05$ ). Además, se realizó la prueba de Tukey para la comparación de medias. Por otro lado, los parámetros de los modelos matemáticos se obtuvieron mediante regresión no lineal utilizando el software Statistica 12.0 (StatSoft, EE. UU.).

## III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La cinética de secado de arándano en mitades sin pretratamiento (control) esta mostrada en la Figura 1. Se observa que este proceso demora aproximadamente 12 h, lo cual es un proceso bastante largo. Estas muestras presentaron una disminución de humedad muy lenta debido a que por la cantidad de azúcares y sólidos solubles impiden el libre tránsito del agua para desplazarse desde el centro hacia el exterior [9]. Además, la pérdida de agua se pudo haber dado solo por la cara abierta del fruto y no por los laterales. Esto debido a que la piel del arándano está cubierta por una cera que evita la contaminación microbiana y la pérdida de agua por los estomas

[27], lo cual hizo lento el proceso de deshidratación. Esto sería un problema mayor al estar el arándano entero.

Muchas frutas tienen el inconveniente de tener procesos largos de deshidratado, como por ejemplo en cubos de piña que tarda aproximadamente 6 h [28] y en moras trituradas que tardan 14 horas en deshidratarse [29]. La estructura del arándano es compleja y difícil de deshidratar, demorando más de 24 h si la muestra fuera de forma entera. Inclusive, removiendo la piel al utilizar 1.5% de NaOH se demora 25 h para ser deshidratada con aire a 60 °C [30].

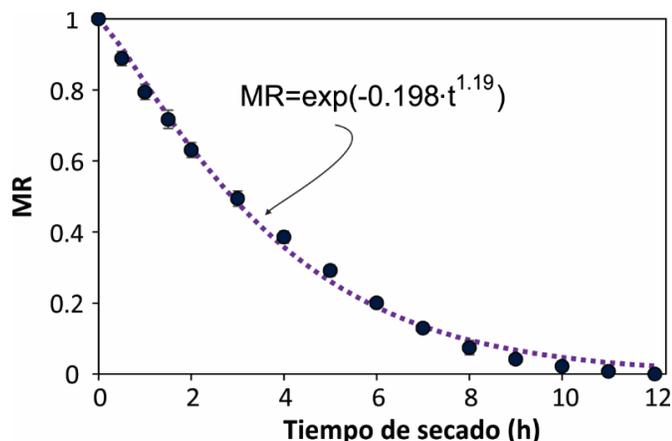


Fig. 1 Cinética de secado a 60°C de mitades de arándano sin pretratamiento. Los puntos representan los promedios de los datos experimentales, la línea discontinua el modelo ajustado y las barras en vertical la desviación estándar.

El arrastre de los sólidos solubles desde el centro del fruto hasta la superficie genera la reducción de la pérdida de agua, esto implica que surja una contracción por la presión sobre las células que ayudan a que los sólidos solubles migren hasta la superficie [9]. El aumento de la concentración de sólidos en el área superficial conforme se evapora el agua incrementa el gradiente de concentración con respecto al interior, generando la difusión de solubles en el interior del fruto. Esta concentración afecta también la velocidad de secado, provocando la reducción del área superficial de secado y la generación de gradientes de presión. Por lo que se induce que la presencia de gran cantidad de azúcares en las frutas como el arándano causan que su deshidratación sea prolongada.

Respecto a los parámetros del modelo de Page, se puede observar en la Figura 2 que hubo diferencia con valor significativo ( $p < 0.05$ ) entre tratamientos, indicando que el tratamiento de etanol afectó la cinética de secado de las mitades de arándano. Sin embargo, por la prueba de Tukey, la mayor diferencia estuvo entre el tratamiento control y los tratamientos de 96° de etanol de 5 min y 10 min.

Con respecto a la velocidad de secado “k” (Figura 2A), el pretratamiento con etanol al 96% v/v por 5 y 10 minutos aumentaron el valor de este parámetro, indicando que hubo una aceleración inicial del secado de los arándanos. Esto pudo deberse a que el etanol aumentó la permeabilidad de las paredes celulares, debido a que algunos solutos se extraen con el etanol

[20]. Además, posiblemente parte de la cera de la piel fue extraída con el etanol, facilitando la pérdida de agua. Según mencionan Silva, et al. [14] y también Rojas and Augusto [21], el etanol causa un gradiente en la tensión superficial, promoviendo el flujo de Marangoni. El concepto debido al flujo de Marangoni fue introducido por Silva, et al. [14] en el secado de alimentos. Este efecto lo que hace es que el gradiente de tensión superficial formado naturalmente induzca al líquido a alejarse de las regiones de baja tensión superficial a zonas de alta tensión superficial [14, 16-19]. De esta manera se lograría extraer parte del agua desde el interior de la muestra logrando así la disminución del tiempo de secado en comparación con la muestra control.

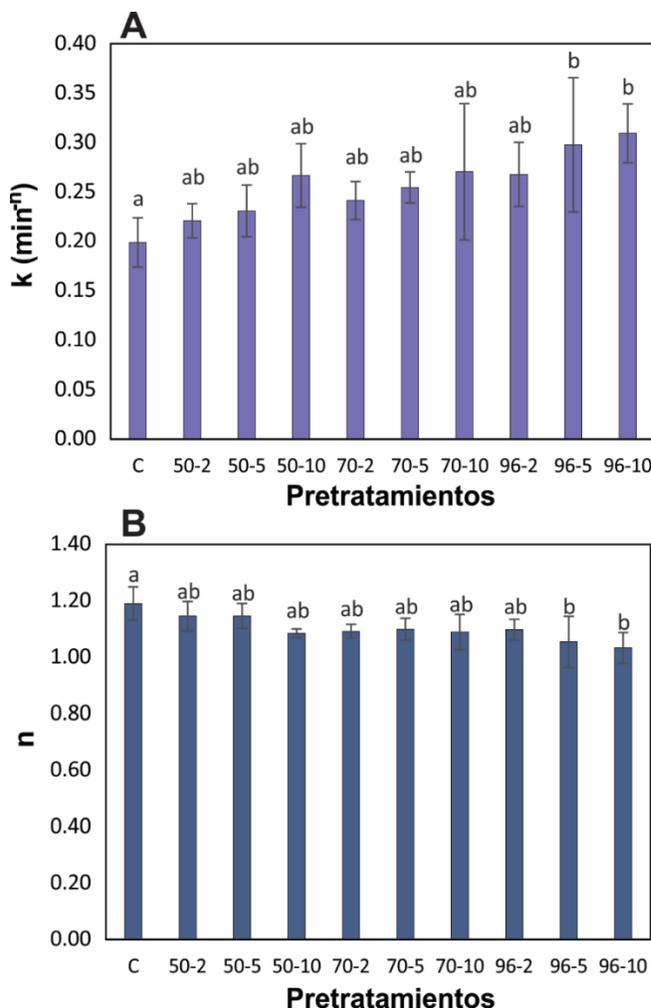


Fig. 2 Efecto de los tratamientos en los parámetros del modelo de Page (ecuación 2). A. Efecto de los pretratamientos en la velocidad de secado “k”. B. Efecto de los pretratamientos en el parámetro “n”. Las barras verticales ubicadas al centro de cada columna representan la desviación estándar. Las letras minúsculas indican comparación de medias por la prueba de Tukey entre los tratamientos.

La velocidad de secado aumentó aproximadamente 55.6% comparado con el control, lo cual repercutiría con el tiempo final de secado. Comparado con otros trabajos, por ejemplo, se

demonstró un aumento de 50% en la velocidad de secado para cilindros de papa cuando se usó etanol al 95% V/V como pretratamiento [20, 21]. En otro ejemplo, se demostró un aumento de 49.2% en la velocidad de secado en cilindros de calabaza cuando se usó etanol al 92.8% V/V como pretratamiento [21]. Además, [22] demostraron un aumento de 44% en la velocidad de secado para cilindros de papa perforados y sumergidos en etanol al 95% V/V. También [31] mostraron un aumento del 59% en la velocidad de secado en calabaza aplicando etanol al 99.5% V/V y ultrasonido de alta potencia como pretratamiento [32]. Amanor-Atiemoh, et al. [33] aumentaron a 26.7% la velocidad de secado en manzana con 30% V/V de etanol como pretratamiento. Carvalho, et al. [34] lograron aumentar de 35.4% a 51.9% la velocidad de secado en piña con 99% V/V de etanol como pretratamiento. También se demostró el aumento de la velocidad de secado en 27.3% en ajo utilizando 75% V/V de etanol como pretratamiento [35].

Respecto al parámetro “n” (Figura 2B) (constante de secado adimensional) solo el pretratamiento de etanol a 96% v/v con 5 y 10 minutos afectaron el valor de este parámetro en comparación a la de control. De acuerdo con la interpretación del modelo de Page por Simpson, et al. [26], mientras más cercano es “n” al valor de 1, el mecanismo de transferencia de agua será debido puramente a la difusión, ya que habrían menos procesos no difusivos como capilaridad. Esto explicaría que el pretratamiento con etanol alteró la estructura de las muestras tratadas y que posiblemente al aplicar el pretratamiento, el agua en el interior del fruto al querer darse paso hacia el exterior saturó poros (llenos de aire) dentro de la estructura generando dificultad para el flujo y predominando más la difusión que la capilaridad.

Monzón [36] en su investigación menciona que la ralentización en el proceso de secado se podría justificar si se tiene en cuenta que el procedimiento incrementa la proporción de fase líquida presente en la fruta, ya que los espacios ocupados con aire pasan a ser volúmenes impregnados con solución, donde, al evaporarse la fase líquida en los tejidos pueden llegar a tener una elevada concentración de azúcares que dificultaría la difusión del agua residual hacia el exterior.

La muestra no tratada tuvo un “n” inicial de 1.19, la muestra con pretratamiento significativo mostró un valor final de 1.04 muy cercano a 1 indicando la alteración de su estructura. Otros ejemplos con valores de reducción significativos por pretratamientos con etanol fueron encontrados para cilindros de papas perforadas [22], mostrando una reducción de “n” desde 1.20 a 1.03 en la muestra pretratada. También se encontró reducción para cilindros de calabaza pretratados con etanol y ultrasonido de alta potencia [31] desde 1.35 en la muestra control a 1.08 en la muestra con pretratamiento. Por otro lado, otros trabajos no encontraron diferencia en el valor de “n” al ser tratados con etanol [20], mientras que otros presentaron valores de “n” menores a 1 [34].

En la Figura 3 podemos ver la comparación entre la muestra control y los tratamientos que dieron como resultado

una mejora significativa del proceso. Es evidente la reducción del tiempo en el secado de la muestra control con las muestras que presentan pretratamiento con etanol a 96% V/V sumergidas en 5 y 10 min. Al no haber diferencia entre los dos pretratamientos de 96% V/V a 5 y 10 min, se recomendaría usar el más corto para acelerar el secado de mitades de arándanos. Así también se observa en otra investigación que se pudo reducir en 49.2% el tiempo de secado de cilindros de calabaza al sumergirlos por una hora en una solución de etanol 92.8% V/V [21].

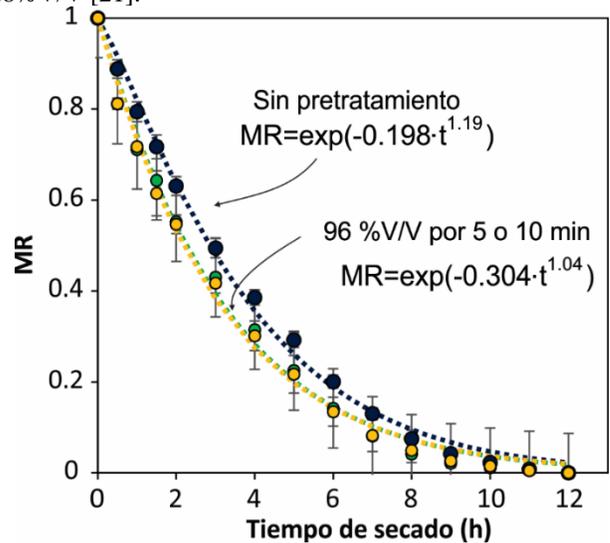


Fig. 3 Cinética de secado a 60°C de mitades de arándano sin pretratamiento y con pretratamientos significativos. Los puntos representan los promedios de los datos experimentales, las líneas discontinuas el modelo ajustado y las barras en vertical la desviación estándar experimental.

En sí, en la presente investigación se obtuvo una reducción en el 15% del tiempo del secado si es considerado un objetivo de 0.2 de humedad adimensional (esto se puede determinar de acuerdo con la  $A_w$  que se desee como producto final), logrando de esta manera hacer efectiva la utilización del método previo con etanol en la reducción del tiempo de secado de arándano. Al reducirse el tiempo de secado podemos evitar la pérdida de vitaminas solubles en agua que pueden ser parcialmente oxidadas, como el ácido ascórbico y el caroteno a diferencia de frutas secadas al sol ya que están expuestas a un largo tiempo de proceso; el secado rápido ayuda a retener mayores cantidades de ácido ascórbico en comparación con el secado lento [37]. Además, compuestos como las antocianinas presentes en el arándano podrían mantenerse y así evitar pérdida de su color característico. Sin embargo, futuros estudios son recomendados desde el punto de vista nutricional.

#### IV. CONCLUSIÓN

El presente trabajo demostró que el tratamiento en etanol tiene potencial en acelerar el proceso de secado de mitades de arándano. En si, los pretratamientos con etanol a 96% V/V por un tiempo sumergido en 5 o 10 min desmostraron mejora

significativa, acelerando el proceso inicial en un 55.6% y reduciendo aproximadamente el 15% del tiempo de proceso si se considera un HR de 0.2. Ambos tratamientos (sin tratamiento y con pretratamiento) mostraron un efecto superdifusivo en cuanto a su comportamiento ( $n > 1$ ) indicando presencia de poros y capilares disponibles para la transferencia de masa. Por lo tanto, estos resultados demuestran como una opción para una mejora del proceso de secado de arándanos.

#### AGRADECIMIENTOS

M. Aguirre y A.C. Miano reconocen el apoyo financiero del Proyecto Concytec “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 Fondecyt. [contrato número 406-2019]

#### REFERENCIAS

- [1] CIEN-ADEX. (2020, 10/01/2021). *El éxito del arándano peruano en 2019*. Available: [https://cien.adexperu.org.pe/wp-content/uploads/2020/01/%c3%89XITO-DE-LAS-EXPORTACIONES-DE-ARANDANOS-2019-IS\\_IC\\_01.02.20.pdf](https://cien.adexperu.org.pe/wp-content/uploads/2020/01/%c3%89XITO-DE-LAS-EXPORTACIONES-DE-ARANDANOS-2019-IS_IC_01.02.20.pdf)
- [2] L. Corvero. (2020). *El arándano peruano alcanza el liderazgo mundial*. Available: <https://www.redagricola.com/pe/arandano-peruano-alcanza-liderazgo-mundial/#:~:text=Durante%20la%20campa%C3%B1a%202019%2F2020.ca%C3%ADda%20de%208%25%20en%20valor.>
- [3] S. Exportadora, "Perfil Comercial del arándano deshidratado," *Asociación Regional de Exportadores de Lambayeque. Área de Comercio Exterior*, 2012.
- [4] L. Corvera. (2020). *Arándanos: exportaciones pronosticadas por US \$ 1,054 millones en 2020/21*. Available: <https://www.redagricola.com/pe/arandanos-pronosticas-exportaciones-1054-millones-2020/>
- [5] C. A. Ríos Cuenca, "Estudio de factibilidad económica para el procesamiento comercialización de snacks de frutas deshidratadas en el cantón Machala," Machala: Universidad Técnica de Machala, 2014.
- [6] G. V. Barbosa-Cánovas and H. Vega-Mercado, *Deshidratación de alimentos*, 2000.
- [7] A. De Michelis and E. Ohaco, "Deshidratación y desecado de frutas, hortalizas y hongos," *Procedimientos hogareños y comerciales de pequeña escala*, 2012.
- [8] J. Brennan and J. Burgos González, *Las operaciones de la ingeniería de los alimentos*, 1998.
- [9] C. Vuarant, "Optimización Del Proceso De Secado De Arándanos Por Infrarrojos. Universidad Politécnica De Valencia," Tesis Doctoral. Concordia, 2013.
- [10] S. Chou and K. Chua, "New hybrid drying technologies for heat sensitive foodstuffs," *Trends in Food Science & Technology*, vol. 12, pp. 359-369, 2001.
- [11] T. Kudra and A. S. Mujumdar, *Advanced drying technologies*: CRC press, 2009.
- [12] A. M. Braga, M. A. Silva, M. P. Pedroso, F. Augusto, and L. E. Barata, "Volatile composition changes of pineapple during drying in modified and controlled atmosphere," *International journal of food engineering*, vol. 6, 2010.
- [13] A. Braga, M. Pedroso, F. Augusto, and M. Silva, "Volátiles identificación in pineapple submitted to drying in an ethanolic atmosphere," *Drying Technology*, vol. 27, pp. 248-257, 2009.
- [14] M. Silva, A. Braga, and P. Santos, "S. Enhancement of fruit drying the ethanol effect," in *18th International Drying Symposium, Xiamen*, 2012, pp. 11-15.
- [15] S.-H. Hu, J.-J. Yan, J.-S. Wang, Y. Li, and J.-P. Liu, "Effect of temperature gradient on Marangoni condensation heat transfer for ethanol-water mixtures," *International journal of multiphase flow*, vol. 33, pp. 935-947, 2007.
- [16] R. B. Bird, "Transport phenomena," *Appl. Mech. Rev.*, vol. 55, pp. R1-R4, 2002.
- [17] M. Gugliotti, "Tears of wine," *Journal of chemical education*, vol. 81, p. 67, 2004.
- [18] A. Leenaars, J. Huethorst, and J. Van Oekel, "Marangoni drying: a new extremely clean drying process," *Langmuir*, vol. 6, pp. 1701-1703, 1990.
- [19] J. Thomson, "XLII. On certain curious motions observable at the surfaces of wine and other alcoholic liquors," *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, vol. 10, pp. 330-333, 1855.
- [20] M. L. Rojas and P. E. Augusto, "Ethanol and ultrasound pre-treatments to improve infrared drying of potato slices," *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, vol. 49, pp. 65-75, 2018.
- [21] M. L. Rojas and P. E. Augusto, "Ethanol pre-treatment improves vegetable drying and rehydration: Kinetics, mechanisms and impact on viscoelastic properties," *Journal of food engineering*, vol. 233, pp. 17-27, 2018.
- [22] M. L. Rojas, I. Silveira, and P. E. Augusto, "Improving the infrared drying and rehydration of potato slices using simple approaches: Perforations and ethanol," *Journal of Food Process Engineering*, vol. 42, p. e13089, 2019.
- [23] G. E. Page, "Factors Influencing the Maximum Rates of Air Drying Shelled Corn in Thin layers," 1949.
- [24] İ. Doymaz, "Drying characteristics and kinetics of okra," *Journal of food Engineering*, vol. 69, pp. 275-279, 2005.
- [25] S. Simal, A. Femenia, M. Garau, and C. Rosselló, "Use of exponential, Page's and diffusional models to simulate the drying kinetics of kiwi fruit," *Journal of food engineering*, vol. 66, pp. 323-328, 2005.
- [26] R. Simpson, C. Ramírez, H. Nuñez, A. Jaques, and S. Almonacid, "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*, vol. 62, pp. 194-201, 2017.
- [27] A. Bernard and J. Joubès, "Arabidopsis cuticular waxes: advances in synthesis, export and regulation," *Progress in lipid research*, vol. 52, pp. 110-129, 2013.
- [28] A. García Pereira, S. Muñoz Becerá, A. Hernández Gómez, L. M. González, and D. Fernández Valdés, "Análisis comparativo de la cinética de deshidratación Osmótica y por Flujo de Aire Caliente de la Piña (Ananas Comosus, variedad Cayena lisa)," *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, vol. 22, pp. 62-69, 2013.
- [29] C. J. Márquez and H. J. Ciro, "Deshidratación de mora de castilla (rubus glaucus) bajo régimen convectivo con aire forzado," *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, vol. 55, pp. 1587-1600, 2002.
- [30] B. A. Ronceros, R. A. Quevedo, and J. I. Leiva, "Efecto de un Pretratamiento Químico en el Deshidratado del Arándano por Métodos Combinados," *Información tecnológica*, vol. 18, pp. 57-64, 2007.
- [31] M. L. Rojas, I. Silveira, and P. E. D. Augusto, "Ultrasound and ethanol pre-treatments to improve convective drying: Drying, rehydration and carotenoid content of pumpkin," *Food and Bioproducts Processing*, vol. 119, pp. 20-30, 2020.
- [32] K. C. Santos, J. S. Guedes, M. L. Rojas, G. R. Carvalho, and P. E. D. Augusto, "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*, vol. 70, p. 105304, 2021.
- [33] R. Amanor-Atiemoh, C. Zhou, M. Abdullaleef Taiye, F. Sarpong, H. Wahia, A. Amoa-Owusu, *et al.*, "Effect of ultrasound-ethanol

pretreatment on drying kinetics, quality parameters, functional group, and amino acid profile of apple slices using pulsed vacuum drying," *Journal of Food Process Engineering*, vol. 43, p. e13347, 2020.

- [34] G. R. Carvalho, A. P. Massarioli, I. D. Alvim, and P. E. D. Augusto, "Iron-Fortified Pineapple Chips Produced Using Microencapsulation, Ethanol, Ultrasound and Convective Drying," *Food Engineering Reviews*, pp. 1-14, 2020.
- [35] Y. Feng, C. Zhou, A. E. A. Yagoub, Y. Sun, P. Owusu-Ansah, X. Yu, *et al.*, "Improvement of the catalytic infrared drying process and quality characteristics of the dried garlic slices by ultrasound-assisted alcohol pretreatment," *LWT*, vol. 116, p. 108577, 2019.
- [36] C. I. C. Monzón, "Influencia del método de secado en parámetros de calidad relacionados con la estructura y el color de manzana y fresa deshidratadas," Universitat Politècnica de València, 2006.
- [37] M. L. Gallo Nunura and M. A. Cevallos Vera, "Estudio comparativo d la deshidratación del aguaymanto (*Physalis peruvianum*) mediante atomización y liofilización utilizando agentes encapsulantes en la retención de la vitamina C," 2014.