

BIOTECNOLOGÍA EN EL SECTOR AGROPECUARIO Y AGROINDUSTRIAL

Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias · Universidad del Cauca

PUBLICACIÓN ANTICIPADA EN LÍNEA

El Comité Editorial de Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial informa que este manuscrito ha cumplido los requisitos editoriales y científicos y ha sido aprobado para publicación, con base en los conceptos emitidos por los pares evaluadores. Se publica anticipadamente, en versión pdf, de manera provisional, con base en la última versión electrónica del manuscrito y sin haber sido sometido a los procesos de edición, diagramación y corrección de estilo.

La versión anticipada de este manuscrito puede ser descargada, usada y citada, aclarando que la versión definitiva que se va a encontrar en la plataforma de la revista, puede diferir de ésta e aspectos de forma.

Osmodeshidratación de *Physalis peruviana* L. utilizando panela con aplicación de ultrasonido y agitación*

Osmodehydration *Physalis peruviana* L. using panela with ultrasound application and stirring

MARCELIANO-SÁNCHEZ, LUBBERTO¹; VEGAS-NIÑO, RODOLFO-MOISÉS²

RESUMEN

La conservación de alimentos es una de las preocupaciones más importantes de la ingeniería de alimentos y su importancia se refleja en una mayor vida útil de los mismos. En este trabajo se evaluó como afectan la temperatura y la panela en distintas concentraciones sobre los coeficientes de difusividad del agua ($D_{e,w}$) y sólidos ($D_{e,s}$) en la osmodeshidratación (OD) de *Physalis peruviana* con la aplicación de ultrasonido (40 kHz) y agitación (50–100 rpm). Para tal fin, los frutos se osmodeshidrataron en panela en concentraciones entre 30 y 60 % (en peso) y temperaturas entre 30 y 60 °C por un periodo de 7 horas, al cabo del cual, se procedió a calcular los valores de $D_{e,w}$ y $D_{e,s}$. Los resultados muestran que el ultrasonido mejora la pérdida de agua (WL) y ganancia de sólidos (SG) cuyos valores fueron de 14,25 y 46,62 % respectivamente. Los valores de $D_{e,w}$ en agitación estuvieron entre $2,004$ y $4,694 \times 10^{-10}$ m²/s mientras que los $D_{e,s}$ variaron entre $1,93$ y $4,23 \times 10^{-10}$ m²/s, en tanto que con ultrasonido se obtuvieron valores de $D_{e,w}$ entre $2,76$ y $5,90 \times 10^{-10}$ m²/s y de $D_{e,s}$ entre $2,617$ y $4,925 \times 10^{-10}$ m²/s. La influencia de la concentración de panela y temperatura sobre $D_{e,w}$ y $D_{e,s}$ muestra que es significativa ($p < 0,05$). Por otro lado, en los tratamientos cuyos valores para las variables independientes fueron los más altos, existió una pérdida de vitamina C del 60,23 % para agitación, del 58,67 % para el tratamiento testigo y del 25,47 % con la aplicación de ultrasonido; similar efecto se obtuvo para la capacidad antioxidante. En el tratamiento con ultrasonido se obtuvo una ganancia adicional de calcio, con un incremento del 11,45 %. En consecuencia, el incremento de la temperatura y concentración de agente osmótico incrementa los procesos difusivos de la OD.

* Proyecto de investigación de origen: "Efecto de la temperatura y concentración de panela en la cinética de deshidratación osmótica de aguaymanto (*Physalis peruviana* L.) por ultrasonido y agitación". Financiación: El trabajo fue financiado en su totalidad por el investigador de tesis. Finalización: mayo de 2018.

¹ Universidad Nacional de Trujillo, Filial Huamachuco, Técnico de Laboratorio de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Ingeniero Agroindustrial. Huamachuco, Perú. <https://orcid.org/0000-0002-7416-5815>

² Universidad Nacional de Trujillo, Filial Huamachuco, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Grupo de investigación Biotecnología microbiana y salud (Universidad Nacional Mayor de San Marcos) BIOMIAS. Dr. en ingeniería química. Huamachuco, Perú. <https://orcid.org/0000-0001-5643-1350>

Correspondencia: lmарceliano@unitru.edu.pe

Historial del artículo

Recibido para evaluación: 14 de julio 2022

Aprobado para publicación: 16 de Noviembre 2022

PALABRAS CLAVES: Cinética; Coeficiente de difusividad; Transferencia de masa; Osmodeshidratación; Ultrasonido; Agitación; Panela; *Physalis peruviana*; Vitamina C; Calcio; Capacidad antioxidante.

ABSTRACT

Food preservation is one of the most important concerns of food engineering and its importance is reflected in a longer shelf life. In this work it was evaluated how temperature and panela in different concentrations affect the diffusivity coefficients of water ($D_{e,w}$) and solids ($D_{e,s}$) in the osmodehydration (OD) of *Physalis peruviana* with the application of ultrasound (40 kHz) and agitation (50–100 rpm). For this purpose, the fruits were osmodehydrated in panela at concentrations between 30 and 60% (by weight) and temperatures between 30 and 60 °C for a period of 7 hours, after which, the values of $D_{e,w}$ and $D_{e,s}$. The results show that ultrasound improves water loss (WL) and solids gain (SG), whose values were 14,25 and 46,62 %, respectively. The $D_{e,w}$ values in agitation were between 2,004 and $4,694 \times 10^{-10}$ m²/s while the $D_{e,s}$ varied between 1,93 and $4,23 \times 10^{-10}$ m²/s; while with ultrasound, $D_{e,w}$ values between 2,76 and $5,90 \times 10^{-10}$ m²/s and $D_{e,s}$ between 2,617 and $4,925 \times 10^{-10}$ m²/s were obtained. The influence of panela concentration and temperature on $D_{e,w}$ and $D_{e,s}$ shows that it is significant ($p < 0,05$). On the other hand, in the treatments whose values for the independent variables were the highest, there was a loss of vitamin C of 60,23 % for agitation, 58,67 % for the control treatment and 25,47 % with the application of ultrasound. Similar effect was obtained for the antioxidant capacity. In the ultrasound treatment, an additional calcium gain was obtained, with an increase of 11,45 %. Consequently, the increase in temperature and concentration of osmotic agent increases the diffusive processes of the DO.

KEYWORDS: Kinetics; Diffusivity Coefficient; mass transfer; Osmodehydration; Ultrasound; Agitation; Panela; Peruvian Physalis; Vitamin C; Calcium; antioxidant capacity.

INTRODUCCIÓN

El aguaymanto (*Physalis peruviana* L.) pertenece a las solanáceas originarias de los Andes. Actualmente, su cultivo se realiza en diversos países de América y Europa (Fischer y Melgarejo, 2020) en donde es conocido con diversos nombres en diferentes países como el de uchuva en Colombia o cereza del Perú en México, siendo aguaymanto el termino común en Perú (El-Beltagi *et al.*, 2019). Su composición química reporta concentraciones importantes de fibra cruda (4,61 g/100 g), azúcares totales (8,79 g/100 g), de los cuales, más del 90 % corresponde a azúcares reductores (8,03 g/100 g), vitamina C (26,70 g/100 g), carotenoides (5,95 µg/g), con la una acidez titulable de 1,25 % el cual es expresado como ácido cítrico (Guiné *et al.*, 2020). En cuanto a la concentración de minerales, Muñoz *et al.* (2021) reportan concentraciones de 256,32, 20,04, 17,80, 16,87 y 94,75 mg/100 g de fruto fresco para potasio, magnesio, calcio, sodio y fósforo respectivamente, no obstante, la composición química durante el almacenamiento es variable con lo que tiende a disminuir su calidad afectando su comercialización, por lo cual su manera más común de comercialización es deshidratada.

La panela es considerada como un azúcar natural obtenida por deshidratación del jugo de caña (*Saccharum officinarum*), es rica en compuestos bioactivos con propiedades antioxidantes y otros compuestos propios de la caña de azúcar (Alarcon *et al.*, 2021), posee un elevado contenido de azúcares como sacarosa, fructosa y glucosa, los sólidos solubles son de 92,4 °Brix, pH de 6,00, humedad del 7,60 % y azúcares reductores de 6,02 g/100 g (Mesias *et al.*, 2020). Resulta ser un sustituto ventajoso del azúcar blanco debido a que su procesamiento químico, que es mínimo, permite retener una variedad de minerales como hierro, calcio, fosforo,

potasio, magnesio, cobre, manganeso, sodio y zinc, además de conservar en gran medida vitaminas como la A, C y D.

En la industria alimentaria, una de las técnicas empleadas cuya finalidad es prolongar la vida útil de los productos alimentarios, conservando la calidad de frutas, hortalizas incluso carnes, es la deshidratación osmótica u osmodeshidratación (OD) que consiste en sumergir el material vegetal en soluciones hipertónicas logrando eliminar el agua con el consecuente flujo de solutos desde la solución osmótica al interior del material vegetal. Este proceso tiene lugar tanto por flujo capilar y difusión dentro de la estructura celular del alimento (Pandiselvam *et al.*, 2021), evitando el desarrollo de reacciones de pardeamiento enzimático en el alimento tratado a raíz de la disminución de agua, que reduce considerablemente la movilidad; también, se reporta que la disminución de la actividad del agua (a_w) impide el desarrollo de microorganismos perjudiciales, por lo que se considera a la OD como una tecnología simple, que requiere bajos costos para su implementación y logra preservar muchas de las propiedades físicas y nutricionales de las muestras alimentarias tratadas (Khuwijitjaru *et al.*, 2022).

La inmersión de alimentos en una solución hipertónica da como resultado un proceso de deshidratación osmótica u osmodeshidratación (OD) con pérdida de agua (WL) del alimento a la solución y ganancia de sólidos de la solución (SG) por parte del alimento. Por esta razón, la OD se usa comúnmente para producir alimentos semideshidratados o enriquecidos por incorporación (Feng *et al.*, 2022); aunque la mayoría de los estudios se centran en los procesos WL y SG, muchas publicaciones abordan los cambios fisicoquímicos y nutricionales resultantes de la OD en la matriz alimentaria y en la solución osmótica, dichos cambios deben manejarse para mejorar la calidad del producto (Rezende y Gomes, 2021).

Pese a ello, una de las desventajas de esta tecnología es el tiempo considerablemente prolongado bajo el cual se desarrolla, lo que en términos de productividad resulta ineficiente (Kowalska *et al.*, 2020), por lo que el empleo de ultrasonido y agitación favorece en gran medida el proceso de OD. La aplicación de ondas sonoras de alta frecuencia (ultrasonido) en la industria alimentaria presenta ventajas importantes frente a los tradicionales métodos de procesamiento de alimentos (Li *et al.*, 2021): el hecho de operar a frecuencias produce continuamente que dentro del alimento se originen regiones de compresión y descompresión rápida con la consecuente formación de microcanales que favorecen los procesos difusivos tanto de agua como de sólidos (Pantelidou *et al.*, 2021). Por su gran potencial, se ha empleado ondas ultrasónicas en la OD de tallos de Pakchoi (Wu *et al.*, 2020), ciruela (Rahaman *et al.*, 2019), *Syzygium cumini* (Sharma y Dash, 2019), ñame chino (Li *et al.*, 2020), durazno (Chu *et al.*, 2021) y caqui (Bozkir *et al.*, 2019). Asimismo, niveles adecuados de agitación minimizan la resistencia que ofrece el alimento hacia la transferencia de masa en el mismo mediante la disminución de la capa límite de agua que se crea entre el alimento y la solución osmótica, lo que produce una fuerza impulsora que permanece casi constante (Rastogi *et al.*, 2002). Se ha reportado que su aplicación en la OD favorece la eliminación de agua al mismo tiempo que limita la absorción de sólidos en el material alimenticio (Azura *et al.*, 1996), no obstante, al igual que el ultrasonido reduce el tiempo de proceso de OD.

Ante ello, este trabajo tuvo por objetivo evaluar el efecto de la temperatura y concentración de soluciones de panela en la cinética y coeficiente de difusividad de la transferencia de masa en la osmodeshidratación de aguaymanto (*Physalis peruviana*) por ultrasonido y por agitación.

METODOLOGÍA

Materia prima

Los frutos de aguaymanto (*Physalis peruviana*) fueron adquiridos en su madurez fisiológica desde el caserío El Olivo, ubicado al norte de la ciudad de Huamachuco (La Libertad, Perú), a una altitud de 2365 m.s.n.m. con coordenadas 17M – 7,736209 N – 78,081233 E. La zona se caracteriza por mantener un clima relativamente templado con temperaturas que varían desde 17 hasta 22 °C durante el año, con una humedad relativa del 69 %. La panela necesaria para la elaboración de las soluciones hipertónicas tuvo como procedencia el Valle de Condebamba, ubicado al norte de la ciudad de Cajabamba (Cajamarca, Perú), a una altitud de 2807 m.s.n.m. con coordenadas 17M – 7,573604 N – 78,069593 E. La temperatura de esta zona varía entre 15 y 20 °C a lo largo del año con una humedad relativa de 67 %. Con la panela adquirida se prepararon soluciones con concentraciones de 30, 45 y 60 °Brix, las cuales se acondicionaron a temperaturas de 30, 45 y 60 °C cada una antes de ser empleadas para la OD del aguaymanto.

Caracterización fisicoquímica

Los frutos de aguaymanto fueron caracterizados fisicoquímicamente antes del proceso de OD, evaluando humedad (AOAC.23.003), cenizas (AOAC 923.03), fibra (AOAC 991.43), proteína (AOAC 976.05), acidez titulable (AOAC 942.15), pH (AOAC 981.12), sólidos solubles (AOAC 932.12), Azúcares reductores (Método de Lane-Eynon). En tanto que en el aguaymanto fresco y deshidratado osmóticamente se determinó Vitamina C (AOAC 967.21), calcio (AOAC 968.31) y capacidad antioxidante por el método DPPH (Brand-Williams *et al.*, 1995)

Deshidratación osmótica

Los aguaymantos obtenidos en su madurez fisiológica pasaron por un proceso de descerado en NaOH al 0,05 % a 80 °C por 90 s, para ser luego enjuagados en ácido crítico a 0,05 % en agua destilada (Encina y Ureña 2007). La proporción entre la fruta y la solución osmótica fue de 1:10. Durante el periodo de OD (7 h) se realizó un control de pesos que sirvieron para determinar los valores de $D_{e,w}$ y $D_{e,s}$.

Cinética de osmodeshidratación

La cinética de la OD de aguaymanto se realizó a través del agua pérdida y sólidos ganados (WL y SG respectivamente), para lo cual se emplearon las ecuaciones 1 y 2:

$$WL (\%) = \frac{w_0 x_0 - w_f x_f}{w_0} \times 100 \quad (\text{Ec. 1})$$

$$SG (\%) = \frac{w_f s_f - w_0 s_0}{w_0} \times 100 \quad (\text{Ec. 2})$$

En las que w_0 y w_f representan el peso de la muestra antes y después del proceso de OD respectivamente; x_0 y x_f representan respectivamente la fracción de agua antes y después del proceso de OD y se expresan en base seca; s_0 y s_f representan la fracción de sólidos presentes en las muestras antes y después del proceso de OD.

Cálculo del coeficiente de difusividad promedio

La determinación de $D_{e,w}$ y $D_{e,s}$ se realizó empleando el modelo matemático que propone Azuara *et al.*, (1992) y que está desarrollado para una geometría esférica de acuerdo con las ecuaciones 3 y 4. Este modelo es un modelo empírico cuya ventaja radica en que no se hace necesario alcanzar el equilibrio para poder predecir sus parámetros, puesto que está basado en

el ajuste entre la ecuación y los datos experimentales, además que no toma en consideración aspectos como la estructura del material (Giannakourou *et al.*, 2020).

$$D_{t,w} = \frac{\pi t}{36} \left[\left(\frac{S_1 r}{1+S_1 t} \right) \left(\frac{WL_{\infty}^{\text{mod}}}{WL_{\infty}^{\text{exp}}} \right) \right]^2 \quad (\text{Ec. 3})$$

$$D_{t,s} = \frac{\pi t}{36} \left[\left(\frac{S_2 r}{1+S_2 t} \right) \left(\frac{SG_{\infty}^{\text{mod}}}{SG_{\infty}^{\text{exp}}} \right) \right]^2 \quad (\text{Ec. 4})$$

Técnicas empleadas en la osmodeshidratacións

La agitación del medio osmótico fu de 50 y 100 rpm, para lo cual fue necesario emplear un quipo agitador incubador de marca TERMO SCIENTIFIC y modelo SHKE4450-1CE. El ultrasonido empleado fue de 40 kHz (frecuencia constante) en todos los tratamientos utilizando para ello, un equipo ultrasonido marca BRANSONIC, modelo 8510E-DTH.

Análisis estadístico

La OD del aguaymanto se desarrolló con un diseño factorial $2^k + pc$ de acuerdo con el cuadro 1. En la que k hace referencia a la cantidad de variables independientes y pc a los puntos centrales del diseño.

Cuadro 1. Valores empleados en el diseño $2^k +$ punto central para dos y tres factores.

Factores	Variables independientes*	Nivel		
		-1	0	+1
3	Concentración de panela, % p/p	30	45	60
	Temperatura, °C	30	45	60
	Velocidad de agitación, rpm	0	50	100
2	Concentración de panela, % p/p	30	45	60
	Temperatura, °C	30	45	60

La OD del aguaymanto en ultrasonido y testigo (sin movimiento) considera 2 variables independientes, mientras que en agitación se considera 3.

Para este análisis, se empleó el software estadístico STATISTICA en su versión 12.0. para determinar los coeficientes de regresión con su respectivo nivel de significancia ($p < 0,05$) para elaborar un modelo codificado de primer orden. El modelo estadístico se validó con un análisis de varianza.

RESULTADOS

Caracterización fisicoquímica del aguaymanto

En la caracterización fisicoquímica del aguaymanto (cuadro 2) destaca su alto contenido de vitamina C (39,96 mg/100 g), azúcares reductores (28,01 mg/100 g), calcio (7,30 mg/100 g) y capacidad antioxidante (10,28 $\mu\text{molTE/g}$).

Cuadro 2. Caracterización fisicoquímica del aguaymanto en estado fresco.

Componente	Cantidad
Humedad (g/100 g)	82,50 \pm 0,566
Cenizas (g/100 g)	0,53 \pm 0,002

Fibra (g/100 g)	0,34 ± 0,0123
Proteína (g/100 g)	1,32 ± 0,012
Acidez titulable* (%)	1,50 ± 0,016
pH	3,86 ± 0,056
Sólidos solubles (°Brix)	16,7 ± 0,300
Vitamina C (mg/100 g)	39,96 ± 0,079
Azúcares reductores** (g/100 g)	28,01 ± 0,328
Calcio (mg/100 g)	7,30 ± 0,306
Capacidad antioxidante*** (µmolTE/g)	10,28 ± 0,124

* Expresado como % de ácido cítrico.

** Expresado como equivalente en glucosa.

*** Expresado como Trolox equivalente.

Los valores obtenidos en la caracterización fisicoquímica son ligeramente diferentes a los reportados por otros autores (Bazalar-Pereda *et al.*, 2019; Guiné *et al.*, 2020), lo que se puede atribuir a factores como zona de producción, las condiciones edafológicas, la época de cosecha, la sensibilidad del método de análisis empleado y el estado de madurez de la fruta. El aguaymanto presentó una concentración de agua inicial de 82,50 %, lo que le confiere una susceptibilidad al deterioro microbiano y la acidez fue de 1,50 % (expresado como ácido cítrico) que concuerda con lo reportado en otras investigaciones (Guiné *et al.*, 2020), variando entre 1,3 y 1,7 % (Sepúlveda y Sáenz, 1994).

La capacidad antioxidante de los frutos de aguaymanto es atribuible a diversos compuestos bioactivos presentes en su estructura celular, como la vitamina C, polifenoles, carotenoides y ácido clorogénico. En este sentido, en aguaymanto deshidratado por liofilización se ha reportado contenidos de fenoles (26,24 mg GAE/100 g de fruto fresco), flavonoides (1,48 mg QE/100 g de fruto fresco), taninos (1,74 mg ácido tánico/100 g de fruto fresco) y antocianinas (0,88 µg/100 g de fruto fresco) presentes en el extracto etanólico (Muñoz *et al.*, 2021).

Cinética de osmodeshidratación

Las curvas de la cinética de OD se presentan en las figuras 1 y 2 para WL y SG respectivamente para los tres tratamientos. Estas curvas corresponden a los tratamientos más rigurosos del diseño experimental (panela al 60% p/p, 60 °C y velocidad de 100 rpm para agitación y panela al 60% p/p a 60 °C para ultrasonido y testigo).

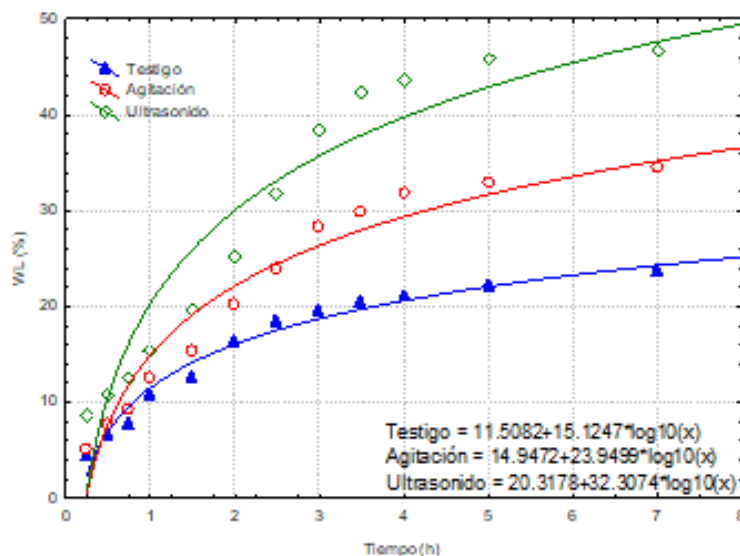


Figura 1. Cinética de pérdida de agua (% WL) en la OD del aguaymanto en función al tiempo.

La eliminación de humedad (Figura 1) fue rápida en las tres primeras horas, luego de esto la velocidad siguió una tendencia logarítmica, siendo casi constante al cabo del proceso de 420 minutos (7 horas). Esto debido a la microestructura compleja del tejido vegetal, en la que la OD debe explicarse como un proceso donde varios otros mecanismos influyen en la transferencia de masa. Es decir, inmediatamente después de sumergir la fruta en la solución de OD, la presión capilar inicial induce un flujo de solución OD en los vacíos del tejido. Entonces, durante la OD, ocurren simultáneamente otros tres mecanismos: por un lado, ocurre una deshidratación celular causada por gradientes de a_w ; por otro, existe tanto una difusión de sólidos solubles como una impregnación de células deformadas provocada por cambios de volumen celular. Además de la transferencia de masa, debido a las propiedades viscoelásticas de las células, también se produce simultáneamente una contracción y una relajación estructurales; sin embargo, tienen tasas diferentes (Sulistyawati *et al.*, 2020). Este comportamiento es observado en todos los procesos de osmodeshidratación de la mayoría de las frutas, vegetales y carnes (Prithani y Dash, 2020). Por otro lado, es evidente que la porosidad del material a deshidratar influye directamente en la tasa de WL y SG, como sucede en kiwi o yacón con mayor pérdida de agua en la primera hora del proceso de OD (Brochier *et al.*, 2019) y que la agitación mejora la eliminación de agua comparado con el tratamiento testigo. En la misma línea, el uso de ultrasonido en la OD de aguaymanto permite una máxima remoción de agua (46,62 %), lo que ya es una mejora significativa.

Al respecto, en paralelepípedos de pera, Mehta *et al.* (2021) indican que factores como concentración de solución osmótica, tiempo y temperatura de proceso favorecen significativamente con un efecto lineal tanto la WL y SG. Este mismo efecto fue observado en este trabajo cuando al incrementar la temperatura y concentración de panela, los valores de WL y SG se incrementaron. De manera similar, Ghellam *et al.* (2021) reportan valores más altos de pérdida de agua con la aplicación de un vacío pulsado en comparación con una deshidratación osmótica de agitación única.

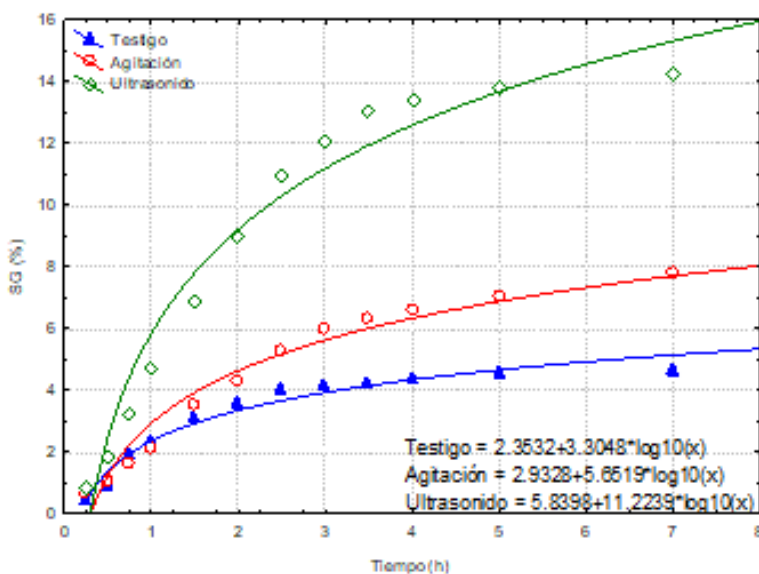


Figura 2. Cinética de ganancia de sólidos (% SG) en la OD del aguaymanto en función al tiempo.

En la ganancia de sólidos (Figura 2), el proceso de agitación ejerció un leve efecto comparado con la aplicación de ultrasonido. Barman y Badwaik (2017) señalan que en rodajas de carambola se puede conseguir a 2800 rpm una pérdida de agua máxima de 75,65 %, mientras que los sólidos se absorbieron en un máximo de 6,76 %. Por otro lado, los ultrasonidos

favorecieron de manera considerable los valores de SG en el aguaymanto, de tal manera que se alcanzó una ganancia de 14,25 %, siendo evidente que la agitación incrementa, aunque no en gran medida como lo hace el ultrasonido, los valores de WL con valores de SG inferiores a aquellos sistemas no agitados.

La WL en la OD con ultrasonido es superior a los valores reportados con otras técnicas (Goula *et al.*, 2017), pues los microcanales que se forman en el interior del material alimenticio, favorecen la difusión de las moléculas de agua (Cichowska *et al.*, 2019). De acuerdo con Mehta *et al.* (2021), el efecto esponja que ocasiona la aplicación de ultrasonidos mantiene a las moléculas de agua dentro de los capilares del material alimentario de donde se crea canales microscópicos facilitando la eliminación del agua, además la eliminación de gas desde el alimento favorece que los poros se llenen con la solución osmótica incrementando la concentración de sólidos dentro del material alimenticio. Otro efecto positivo de los ultrasonidos es la creación de burbujas, las que al expandirse y colapsar generan el fenómeno llamado cavitación, con lo cual se logra la eliminación de las moléculas de agua que se encuentran adheridas fuertemente en la estructura del alimento (Cichowska *et al.*, 2019), además, la transferencia de materia se ve favorecida por la transmisión de las ondas acústicas provocada por los movimientos oscilatorios del ultrasonido.

Coeficientes de difusividad

En el cuadro 3 se muestran los coeficientes difusivos tanto del agua como de los sólidos en los tratamientos testigo y ultrasonido respectivamente, mientras que en el cuadro 4 se presenta para el tratamiento con agitación.

Cuadro 3. Coeficientes de difusividad para los tratamientos sin movimiento (testigo) y con ultrasonido.

Panela, % p/p	Temperatura, °C	Coeficiente de difusividad (m ² /s) x10 ⁻¹⁰ *			
		Testigo		Ultrasonido	
		Agua	Sólidos	Agua	Sólidos
30	30	1,162 ± 0,002	1,032 ± 0,005	2,765 ± 0,002	2,617 ± 0,001
60	30	1,781 ± 0,001	1,674 ± 0,003	5,052 ± 0,006	4,510 ± 0,003
30	60	1,317 ± 0,001	1,272 ± 0,007	3,361 ± 0,009	3,214 ± 0,001
60	60	2,202 ± 0,005	2,062 ± 0,006	5,900 ± 0,000	4,925 ± 0,005
45	45	1,597 ± 0,007	1,508 ± 0,001	4,241 ± 0,001	3,832 ± 0,000
45	45	1,612 ± 0,002	1,514 ± 0,001	4,261 ± 0,001	3,842 ± 0,000
45	45	1,604 ± 0,003	1,497 ± 0,002	4,256 ± 0,002	3,858 ± 0,002

* Valores de coeficientes determinados a partir de tres repeticiones en cada tratamiento

Cuadro 4. Coeficientes de difusividad para el tratamiento con agitación.

Panela (% p/p)	Temperatura (°C)	Velocidad (rpm)	Coeficiente de difusividad (m ² /s) x10 ⁻¹⁰	
			Agua	Sólidos
30	30	0	1,663 ± 0,001	1,546 ± 0,007
60	30	0	2,102 ± 0,003	2,046 ± 0,005
30	60	0	2,215 ± 0,000	2,110 ± 0,008
60	60	0	2,262 ± 0,004	2,215 ± 0,000
30	30	100	2,004 ± 0,005	1,930 ± 0,004
60	30	100	4,256 ± 0,004	4,054 ± 0,005
30	60	100	4,076 ± 0,002	3,760 ± 0,002
60	60	100	4,694 ± 0,007	4,230 ± 0,000
45	45	50	2,948 ± 0,000	2,755 ± 0,002
45	45	50	2,933 ± 0,003	2,692 ± 0,001
45	45	50	3,022 ± 0,001	2,707 ± 0,002

* Valores de coeficientes determinados a partir de tres repeticiones en cada tratamiento

Los coeficientes de difusividad calculados con el modelo de Azuara para el agua variaron entre $1,162$ y $2,202 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$, en tanto que para sólidos estuvo entre $1,032$ y $2,062 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$. En el proceso de OD con agitación, los valores de $D_{e,w}$ y $D_{e,s}$ variaron entre $1,663$ y $4,694 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ y $1,546$ y $4,230 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ respectivamente. Por su parte, el ultrasonido incrementó estos valores tanto para sólidos como para agua ya que para $D_{e,w}$ y $D_{e,s}$ estuvieron entre $2,765$ y $5,900 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ y $2,617$ y $4,925 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ respectivamente. Estos valores están dentro del intervalo que indican Nahimana *et al.* (2011) que señalan que en la OD de cualquier producto alimenticio, los valores de $D_{e,w}$ y $D_{e,s}$ varían entre $1,4$ y $42,2 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ y $0,4$ y $36,0 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ respectivamente, al respecto, Aguirre-García *et al.* (2022) señalan a la temperatura como la más importante variable de influencia directa en el proceso de OD. Por lo tanto, llevar a cabo un proceso de OD a temperaturas altas, generaría un incremento en la difusión de agua y sólidos con la consecuente pérdida de peso del material, no obstante, puede ocurrir variaciones en los valores de $D_{e,w}$ en las mismas condiciones bajo las cuales se desarrolla la OD, lo cual es atribuible a condiciones de madurez de la fruta, el lugar de procedencia y la forma estructural. En la OD de rodajas de kiwi, Prithani y Dash (2020) reportan que la difusividad efectiva del agua de las muestras pretratadas con ultrasonidos ($25 \text{ kHz} \times 20 \text{ min}$) osciló entre $5,460$ y $7,300 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ y la difusividad de soluto se varió entre $2,925$ y $3,511 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ dentro del intervalo de temperatura $25\text{--}60 \text{ }^\circ\text{C}$; atribuyendo que la mejora en WL y SG en las rodajas de kiwi pretratadas con ultrasonido fue debida a la rotura celular y la formación de canales microscópicos.

Análisis estadístico

La Figura 3 muestra los gráficos de Pareto para $D_{e,w}$ y $D_{e,s}$, donde se aprecia el efecto de las variables independientes. Se aprecia que la agitación no ejerce efecto significativo ($p > 0,05$) de manera lineal sobre $D_{e,w}$ y $D_{e,s}$ y de manera interaccionada con la temperatura para $D_{e,s}$, lo que no ocurre para el tratamiento testigo y el con aplicación de ultrasonido.

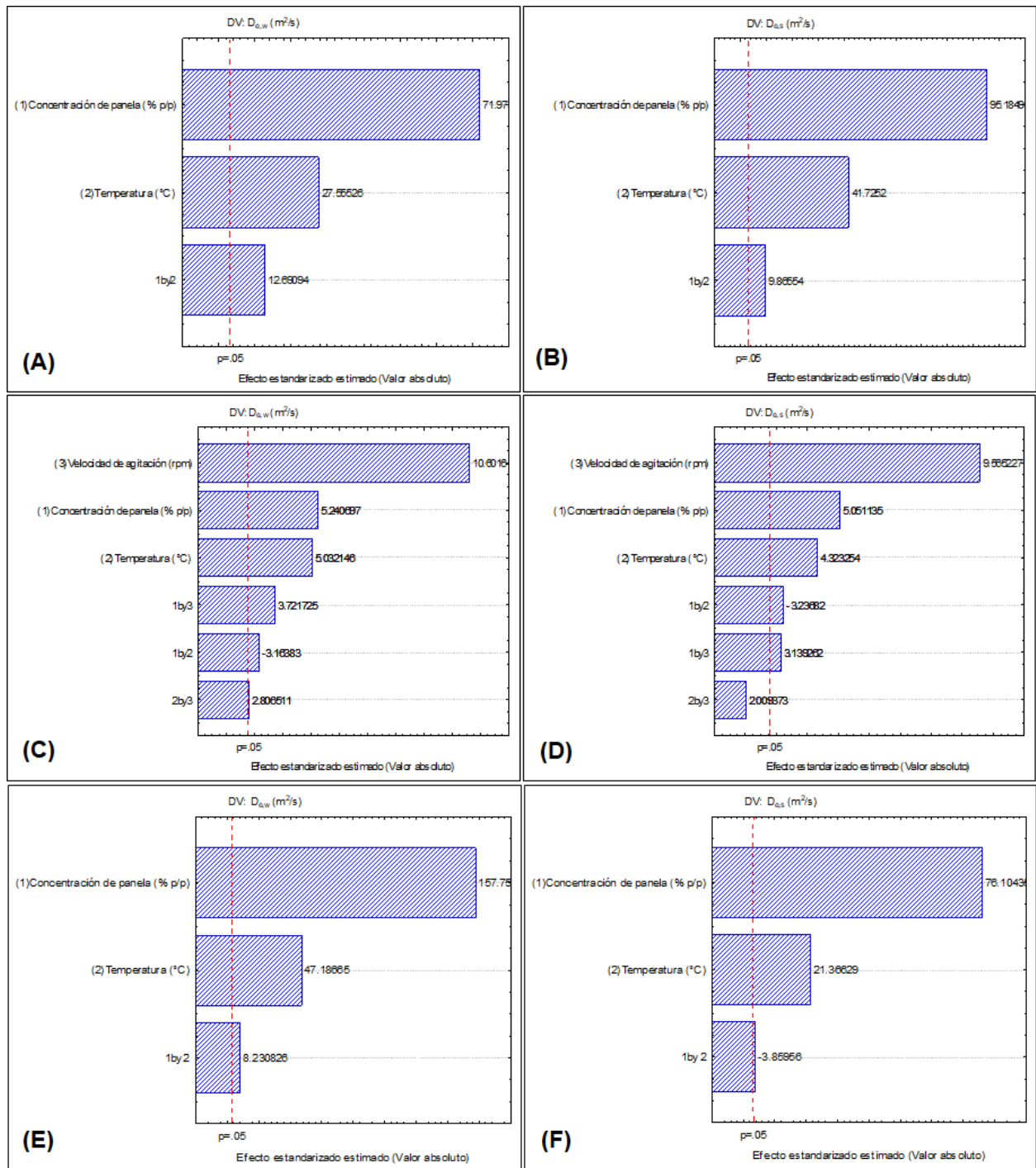


Figura 3. Gráficos de Pareto del efecto de la concentración de panera y temperatura sobre los coeficientes de difusividad para el agua ($D_{e,w}$) y sólidos ($D_{e,s}$). (A) y (B) presentan el gráfico de Pareto para el tratamiento testigo, (C) y (D) para el tratamiento en agitación y (E) y (F) para el tratamiento en ultrasonido.

Propiedades fisicoquímicas del aguaymanto sometido a OD

Los valores de vitamina C, calcio y capacidad antioxidante del aguaymanto sometido a OD en soluciones de panela se presenta en el cuadro 5, para los 3 tratamientos empleados. Los

porcentajes que se presentan están calculados en base a las concentraciones del aguaymanto fresco sin deshidratar.

Cuadro 5. Vitamina C, Calcio y Capacidad antioxidante en los tres tratamientos de DO.

Parámetro	Contenido de Vit. C		Contenido de Calcio		Cap. Antioxidante*	
	mg/100 g	% pérdida	mg/100 g	% ganancia	%	% pérdida
Aguaymanto inicial	39,96	0,00	7,30	0,00	10,28	0,00
Testigo^a	16,52	58,67	7,33	0,39	9,06	11,92
Agitación^b	15,89	60,23	7,77	6,46	8,96	12,94
Ultrasonido^a	29,78	25,47	8,14	11,45	9,49	7,77

^a OD en solución de panela a 60 % p/p y 60 °C. ^b OD en solución de panela a 60 % p/p, 60 °C y 100 rpm.

* Expresado Muñoz et al (2021).

En este cuadro se aprecia una pérdida superior de vitamina C en la OD con agitación, pues se pierde hasta el 60,23 %, ligeramente superior a lo que se pierde en el tratamiento sin agitación (58,67 %), siendo la aplicación de ultrasonido la que presentó una mayor protección de esta vitamina con solo el 25,47 %, valores similares a los reportados por Aredo *et al.* (2012). Al respecto, según Sakoei-Vayghan *et al.* (2020), existen varios estudios donde reportan que la DO asistida por ultrasonido incrementa la transferencia de compuestos fenólicos del tejido de la fruta a la solución osmótica, como el caso de la OD de manzana, donde una temperatura de 60 °C disminuyó el contenido de compuestos fenólicos y vitamina C de la manzana.

El efecto del ultrasonido sobre la absorción de calcio fue superior a los demás tratamientos, alcanzando un incremento del 11,45 % de este mineral, a lo que le siguió la agitación con 6,46 y el testigo con 0,39 %. Al respecto, en la OD de piña en soluciones de sacarosa común con lactato de calcio al 6 %, reportan un incremento en la concentración de calcio desde 24,472 a 676,317 mg/100 g (Lee y Konsue, 2021).

Por otro lado, se observó que la capacidad antioxidante se relaciona con la concentración de vitamina C, pues en el tratamiento con ultrasonido se encontró la menor pérdida (7,77 %), lo que pone en evidencia estudios realizados en jugos de cítricos donde concluyen que la aplicación de ultrasonido ejerce un efecto protector de esta vitamina (Aadil *et al.*, 2013). De acuerdo con Wu *et al.* (2020), el ultrasonido favorece la eliminación de oxígeno del interior del alimento, con lo que el proceso oxidativo de la vitamina C se ve reducido y con ello, su capacidad antioxidante.

CONCLUSIONES

Se evidenció una rápida difusión con la consecuente eliminación de agua y ganancia de sólidos en el transcurso de las tres primeras horas de OD, obteniendo valores máximos de WL de 46,62 % en ultrasonido, de 34,53 % en agitación y de 23,67 % en el tratamiento testigo al cabo de 7 horas de proceso. Así mismo, se obtuvieron valores de SG de 14,25 % en ultrasonido, de 7,79 % en agitación y de 4,63 % en el tratamiento testigo. Los coeficientes de difusividad del agua y de los sólidos, fueron superiores en los tratamientos con ultrasonido, el cual también permitió una mejor conservación de vitamina C y capacidad antioxidante del aguaymanto. En consecuencia, el incremento de la concentración del agente osmótico y de la temperatura de proceso produce que los procesos difusivos sean más rápidos. De tal manera de todos los tratamientos, aquel que presentó mejores condiciones finales en el aguaymanto

osmodeshidratado fue en la aplicación de ultrasonido en una concentración de panela del 60% en peso y una temperatura de 60 °C.

REFERENCIAS

- AADIL, RANA-MUHAMMAD; ZENG, XIN-AN; HAN, ZHONG; SUN, DA-WEN. Effects of ultrasound treatments on quality of grapefruit juice. *Food Chemistry*, v. 141, n. 3, 2013, p. 3201-3206.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.06.008>
- AGUIRRE-GARCÍA, M.; CORTÉS-ZAVALA, ORLEDA; RUIZ-ESPINOSA, HECTOR; OCHOA-VELASCO, CARLOS-ENRIQUE; RUIZ-LÓPEZ, IRVING-ISRAEL. The role of coupled water and solute diffusion and product shrinkage during osmotic dehydration. *Journal of Food Engineering*, v. 331, 2022, p. 111121.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2022.111121>
- ALARCON, ANGELA; PALACIOS, LAURA; OSORIO, CORALIA.; NARVÁEZ, PAULO-CÉSAR; HEREDIA, FRANCISCO; ORJUELA, ALVARO; HERNANZ, DOLORES. Chemical characteristics and colorimetric properties of non-centrifugal cane sugar (“panela”) obtained via different processing technologies. *Food Chemistry*, v. 340, 2021, p. 128183.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128183>
- AREDO, VICTOS; ARTEAGA, ANA; BENITES, CKISTHIAN; GERÓNIMO, WAGNER. Comparación entre el secado convectivo y osmoconvectivo en la pérdida de vitamina C de Aguaymanto (*Physalis peruviana*) con y sin pre-tratamiento de NaOH. *Agroindustrial Science*, v. 2, n. 2, 2012, p. 126-131.
<https://doi.org/10.17268/agroind.science.2012.02.01>
- AZUARA, EBNER; GARCIA, HUGO; BERISTAIN, CÉSAR-IGNACIO. Effect of centrifugal force on osmotic dehydration of potatoes and apples. *Food Research International*, v. 29, n. 2, 1996, p. 195-199.
[https://doi.org/10.1016/0963-9969\(96\)00033-6](https://doi.org/10.1016/0963-9969(96)00033-6)
- AZUARA, EBNER; CORTÉS, RAÚL; GARCIA, HUGO; BERISTAIN, CÉSAR-FIGNACIO. Kinetic model for osmotic dehydration and its relationship with Fick's Second Law. *International Journal of Food Science and Technology*, v. 27, 1992, p. 409-418.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1992.tb01206.x>
- BARMAN, NIRMALI; BADWAIK, LAXMIKANT. Effect of ultrasound and centrifugal force on carambola (*Averrhoa carambola* L.) slices during osmotic dehydration. *Ultrasonics Sonochemistry*, v. 34, 2017, p. 37-44.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.05.014>
- BAZALAR-PEREDA, MAYRA; NAZARENO, MÓNICA; VITURRO, CARMEN. Nutritional and antioxidant properties of *Physalis peruviana* L. fruits from the argentinean northern andean region. *Plant Foods for Human Nutrition*, v. 74, n. 1, 2019, p. 68-75.
<http://dx.doi.org/10.1007/s11130-018-0702-1>
- BOZKIR, HAMZA; ERGÜN, AHSEN-RAYMAN; SERDAR, EMINE; METIN, GÜLHAN; BAYSAL, TANER. Influence of ultrasound and osmotic dehydration pretreatments on drying and quality properties of persimmon fruit. *Ultrasonics Sonochemistry*, v. 54, 2019, p. 135-141.
<https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.02.006>
- BRAND-WILLIAMS, WENDY; CUVELIER, MARIE-ELISABETH; BERSET, CLAUDETTE. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, v. 28, n. 1, 1995, p. 25-30.
[https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- BROCHIER, BETHANINA; MESQUITA, JULIANA.; ZAPATA-NOREÑA, ACIANO-PELAYO. Study of osmotic dehydration of kiwi fruit using sucrose solution. *Brazilian Journal of Food Technology*, v. 22, 2019. p. e2018146.

- <https://doi.org/10.1590/1981-6723.14618>
CHU, YUANMING; WEI, SAICHAO; DING, ZHAOYANG; MEI, JUN; XIE, JING. Application of ultrasound and curing agent during osmotic dehydration to improve the quality properties of freeze-dried yellow peach (*Amygdalus persica*) slices. *Agriculture*, v. 11, 2021, p. 1069.
- <https://doi.org/10.3390/agriculture11111069>
CICHOWSKA, JOANA; WITROWA-RAJCHERT, DOROTA; STASIAK-RÓŻAŃSKA, LIDIA; FIGIEL, ADAM. Ultrasound-assisted osmotic dehydration of apples in polyols and dihydroxyacetone (DHA) solutions. *Molecules*, v. 24, 2019, p. 3429.
<http://dx.doi.org/10.3390/molecules24193429>
- EI-BELTAGI, HOSSAM; MOHAMED, HEBA; SAFWAT, GEHAN; GAMAL, MOHAMMED; MEGAHED, BASMA. Chemical Composition and Biological Activity of *Physalis peruviana* L., *Gesunde Pflanzen*, v. 71, 2019. p. 113-122.
<https://doi.org/10.1007/s10343-019-00456-8>
- ENCINA, CHRISTIAN; UREÑA, MILBER. Determinación de la máxima retención de ácido ascórbico de la conserva de aguaymanto (*Physalis Peruviana*) en almíbar aplicando el método superficie de respuesta. *Tau alimentario*, v. 3, 2007, p. 1-40.
- FENG, XINXIN; SUN, JIE; LIU, BANGDI; ZHOU, XINQUN; JIANG, LIHUA; JIANG, WEIBO. Effect of gradient concentration pre-osmotic dehydration on keeping air-dried apricot antioxidant activity and bioactive compounds. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2022, p. e16688.
<https://doi.org/10.1111/jfpp.16688>
- FISCHER, GERHARD; MELGAREJO, LUZ-MARINA. The ecophysiology of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) - an andean fruit crop. a review. *Revista colombiana de ciencias Hortícolas*, v. 14, n. 1, 2020, p. 76-89.
<https://doi.org/10.17584/rcch.2020v14i1.10893>
- GHELLAM, MOHAMED; ZANNOU, OSCAR; GALANAKIS, CHARIS; ALDAWOU, TURKI; IBRAIM, SALAM; KOCA, ILKAY. Vacuum-assisted osmotic dehydration of autumn olive berries: Modeling of mass transfer kinetics and quality assessment. *Foods*, v. 10, n. 10, 2021, p. 2286.
<https://doi.org/10.3390/foods10102286>
- GIANNAKOUROU, MARIA; DERMESONLOUOGLU, EFIMIA; TAOUKIS, PETROS. Osmodehydrofreezing: An integrated process for food preservation during frozen storage. *Foods*, v. 9, 2020, p. 1042.
<http://dx.doi.org/10.3390/foods9081042>
- GOULA, ATHANASIA; KOKOLAKI, MARIA; DAFTSIOU, ELENI. Use of ultrasound for osmotic dehydration. The case of potatoes. *Food and Bioproducts Processing*, v. 105, 2017, p. 157-170.
<https://doi.org/10.1016/j.fbp.2017.07.008>
- GUINÉ, RAQUEL; GONÇALVES, FERNANDO; OLIVEIRA, SOLANGE.; CORREIA, PAULA. Evaluation of phenolic compounds, antioxidant activity and bioaccessibility in *Physalis Peruviana* L. *International Journal of Fruit Science*, 2020, p. S470-S490.
<https://doi.org/10.1080/15538362.2020.1741056>
- KHUWIJITJARU, PRAMOTE; SOMKANE, SUPAWADEE; NAKAGAWA, KYUYA; MAHAYOTHEE, BUSARAKORN. Osmotic Dehydration, Drying Kinetics, and Quality Attributes of Osmotic Hot Air-Dried Mango as Affected by Initial Frozen Storage. *Foods*, v. 11, n. 3, 2022, p. 489.
<https://doi.org/10.3390/foods11030489>
- KOWALSKA, HANNA; MARZEC, AGATA; DOMIAN, EWA; MASIARZ, EWELINA; CIURZYŃSKA, AGNIESZKA; GALUS, SABINA; MAŁKIEWICZ, ALEKSANDRA; LENART, ANDRZEJ; KOWALSKA, JOLANTA. Physical and sensory properties of

- japanese quince chips obtained by osmotic dehydration in fruit juice concentrates and hybrid drying. *Molecules*, v. 25, n. 23, 2020, p. 5504.
<https://doi.org/10.3390/molecules25235504>
- LE, DUNG; KONSUE, NATTAYA. Mass transfer behavior during osmotic dehydration and vacuum impregnation of “phulae” pineapple and the effects on dried fruit quality. *Current Research in Nutrition and Food Science*, v. 9, n. 1, 2021.
<http://dx.doi.org/10.12944/CRNFSJ.9.1.29>
- LI, LU; YU, YANGYANG; XU, YUJUAN; WU, JIJUN; YU, YUANSHAN; PENG, JIAN; AN, KEJING; ZOU, BO; YANG, WANYUAN. Effect of ultrasound-assisted osmotic dehydration pretreatment on the drying characteristics and quality properties of Sanhua plum (*Prunus salicina* L.). *LWT – Food Science and Technology*, v. 138, 2021, p. 110653.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110653>
- LI, LINLIN; ZHANG, MIN; WANG, WEIQIN. Ultrasound-assisted osmotic dehydration pretreatment before pulsed fluidized bed microwave freeze-drying (PFBMFD) of Chinese yam. *Food Bioscience*, v. 35, 2020, p. 100548.
<https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100548>
- MEHTA, ARYAN; SINGH, AMANJEET; SINGH, AKHAND-PRATAP; PRABHAKAR, PRAMOD; KUMAR, NITIN. Ultrasonic induced effect on mass transfer characteristics during osmotic dehydration of aonla (*Phyllanthus emblica* L.) slices: A mathematical modeling approach. *Journal of Food Process Engineering*, v. 44, n. 12, 2021, p. e13887.
<https://doi.org/10.1111/jfpe.13887>
- MESIAS, MARTA; DELGADO-ANDRADE, CRISTINA; GÓMEZ-NARVÁEZ, FAVER; CONTRERAS-CALDERÓN, JOSÉ; MORALES, FRANCISCO. Formation of acrylamide and other heat-induced compounds during panela production. *Foods*, v. 9, n. 4, 2020, p. 531.
<https://doi.org/10.3390%2Ffoods9040531>
- MUÑOZ, PATRICIO; PARRA, FELIPE; SIMIRGIOTIS, MARIO; SEPÚLVEDA-CHAVERA, GERMÁN; PARRA, CLAUDIO. Chemical characterization, nutritional and bioactive properties of *Physalis peruviana* fruit from high areas of the Atacama Desert. *Foods*, v. 10, n. 11, 2021, p. 2699.
<https://doi.org/10.3390/foods10112699>
- NAHIMANA, HILAIRE; ZHANG, MIN; MUJUMDAR, ARUN; DING, ZHANSHENG. Mass transfer modeling and shrinkage consideration during osmotic dehydration of fruits and vegetables. *Food Reviews International*, v. 27, n. 4, 2011, p. 331-356.
<https://doi.org/10.1080/87559129.2010.518298>
- PANDISELVAM, RAVI; TAK, YAMINI; OLUM, EMINE; SUJAYASREE, O. J.; TEKGÜL, YELIZ; ÇALIŞKAN-KOÇ, GÜLŞAH; KAUR, MANPREET; NAYI, PRATIK; KOTHAKOTA, ANJINEYULU; KUMAR, MANOJ. Advanced osmotic dehydration techniques combined with emerging drying methods for sustainable food production: Impact on bioactive components, texture, color, and sensory properties of food. *Journal of Texture Studies*, 2021, p. 1-26.
<https://doi.org/10.1111/jtxs.12643>
- PANTELIDOU, DIMITRA; GEROGIANNIS, KONSTANTINOS; GOULA, ATHANASIA; GONAS, CHRISTOS. Ultrasound-assisted osmotic dehydration as a method for supplementing potato with unused chokeberries phenolics. *Food Bioprocess Technology*, v. 14, 2021, p. 2231–2247.
<https://doi.org/10.1007/s11947-021-02720-0>
- PRITHANI, RASHMI; DASH, KSIROD-KUMAR. Mass transfer modelling in ultrasound assisted osmotic dehydration of kiwi fruit. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, v. 64, 2020, p. 102407.

- <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102407>
RAHAMAN, ABDUL; ZENG, XIN-AN; KUMARI, ANKITA; RAFIQ, MUHAMMAD; SIDDEEG, AZHARI; MANZOOR, MUHAMMAD-FAISAL; BALOCH, ZULQARNAIN; AHMED, ZAHOOR. Influence of ultrasound-assisted osmotic dehydration on texture, bioactive compounds and metabolites analysis of plum. *Ultrasonics Sonochemistry*, v. 58, 2019, p. 104643.
<https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.104643>
- RASTOGI, NAVIN-KUMAR; SHARMA, RICHA.; NIRANJAN, KESHAVAN; KNORR, DIETRICH. Recent developments in osmotic dehydration: Methods to enhance mass transfer. *Trends in Food Science and Technology*, v. 13, n. 2, 2002, p. 48–59.
[https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(02\)00032-8](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(02)00032-8)
- REZENDE, FERNANDA; GOMES, JEFFERSON-LUIZ. Osmotic dehydration: More than water loss and solid gain. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2021, Online.
<https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1983764>
- SEPÚLVEDA, ELENA; SAENZ, CARMEN. El Capulí: Un fruto exótico con posibilidades agroindustriales. *Revista Alimentos*, v. 19, n. 2, 1994, 59-63.
- SHARMA, MAANAS; DASH, KSHIROD. Effect of ultrasonic vacuum pretreatment on mass transfer kinetics during osmotic dehydration of black jamun fruit. *Ultrasonics Sonochemistry*, v. 58, 2019, p. 104693.
<https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.104693>
- SULISTYAWATI, ITA; VERKERK, RUUD; FOGLIANO, VINCENZO; DEKKER, MATTHIJS. Modelling the kinetics of osmotic dehydration of mango: Optimizing process conditions and pre-treatment for health aspects. *Journal of Food Engineering*, v. 280, 2020, p. 109985. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.109985>
- UNITED STATES OF AMERICA. ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). *Official Methods of Analysis*, 15 th edition. Maryland (USA): 1995.
- WU, XIAO-FEI; ZHANG, MIN; MUJUMDAR, ARUN; YANG, CHAO-HUI. Effect of ultrasound-assisted osmotic dehydration pretreatment on the infrared drying of Pakchoi Stems. *Drying Technology*, v. 38, n. 15, 2020, p. 2016-2026.
<https://doi.org/10.1080/07373937.2019.1608232>