

Efecto de Temperatura y Velocidad de Agitación en el Deshidratado Osmótico de Jengibre (*Zingiber Officinale*)

Effect of Temperature and Stirring Speed in Obtaining the Osmotic Dehydration of Ginger (*Zingiber Officinale*)

Nancy Cañazaca Tito¹, Judith Carrillo Huamani², Joel Jerson Coaquira-Quispe³ y Silvia Pilco-Quesada^{4*}

Resumen

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la temperatura y la velocidad de agitación sobre la pérdida de peso (*PP%*), la pérdida de agua (*PA%*) y la ganancia de sólidos (*GS%*) en el deshidratado osmótico de cubos de jengibre (*Zingiber officinale*). Los parámetros aplicados fueron: temperatura de la solución osmótica 26, 36 y 46°C, velocidad de agitación de 30, 50 y 80 rpm, relación muestra / solución osmótica de 1:16 (p/p), concentración de sacarosa al 60% y tiempo de experimento 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 y 120 min. Los resultados mostraron que la temperatura fue el parámetro que más influyó sobre la *PA%*, *PP%* y *GS%*; en comparación, la velocidad de agitación tuvo una menor influencia sobre la *PA%*, *PP%* y *GS%*; esto indica que las altas temperaturas provocan cambios en la permeabilidad de la membrana celular del alimento, lo que genera mayor transferencia. El tratamiento a 26°C y 30 rpm mostró una mayor difusividad (*De*) con 5.20×10^{-4} . El tratamiento a 46°C y 30 rpm reportó mayores pérdidas de humedad con un 35%, el tratamiento a 26°C y 30 rpm presentó mayor variación de pH de 6.62 a 5.27, el tratamiento a 36°C y 50 rpm mostró una acidez constante de 0.05% y el tratamiento a 46°C y 80 rpm presentó una mayor ganancia de sólidos soluble con 35.16 °Brix. Se demostró que la temperatura es el parámetro que más influyó sobre *PA%*, *PP%* y *GS%*.

Palabras clave: Deshidratación osmótica, ganancia de sólidos, velocidad de agitación, jengibre.

Abstract

The objective of this research was to evaluate the effect of temperature and agitation speed on weight loss (*WeL%*), water loss (*WaL%*) and solids gain (*SG%*) in the osmotic dehydration of ginger cubes (*Zingiber officinale*). The applied parameters were: osmotic solution temperature 26, 36, and 46°C, stirring speed of 30, 50 and 80 rpm, sample/osmotic solution ratio of 1:16 (p/p), sucrose concentration at 60% and experiment time 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 and 120 min. The results showed that the temperature was the parameter that most influenced the *WaL%*, *WeL%*, and *SG%*, compared to the agitation speed it had a lower influence on the *WaL%*, *WeL%*, and *SG%*, this indicates that the high temperatures cause changes in the permeability of the cell membrane of the food, which generates greater transfer. The 26°C and 30 rpm treatment showed a higher diffusivity (*De*) with 5.20×10^{-4} . The 46°C and 30 rpm treatment reported higher moisture losses with 35%, the 26°C and 30 rpm treatment presented an increased pH variation from 6.62 to 5.27, the 36°C and 50 rpm treatment showed a constant acidity of 0.05% and the treatment of 46°C and 80 rpm increase variation in soluble solids concentration to 35.16 °Brix. It was shown that temperature is the parameter that most influenced *WaL%*, *WeL%*, and *SG%*.

Keywords: Osmotic dehydration, solids gain, temperature, stirring speed, ginger.

Recibido: 05/04/2022

Aceptado: 28/07/2022

Publicado: 25/08/2022

Sección: Artículo original

*Autor correspondiente: silviapilco@upeu.edu.pe

Introducción

El jengibre (*Zingiber officinale*) es una de las especias más usadas a nivel mundial y su producción global se estima promedio de 100 mil toneladas anuales en peso seco. Los países productores son: China, India, Japón, Indonesia, Australia, Nepal, Nigeria y Tailandia, de los cuales India es el principal productor y consumidor, entre $6,55 \times 10^5$ toneladas anuales (An *et al.* 2012; An *et al.* 2019). En Perú la producción anual de jengibre fresco a nivel nacional es de 18.5 mil toneladas en Junín, en las provincias de Chanchamayo y Satipo (MINAGRI, 2021). Osae *et al.* (2019) mencionan que el jengibre posee propiedades medicinales, alivia el dolor

¹Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión. Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica-Lima-Perú. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9833-3983>

²Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión. Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica-Lima-Perú. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9220-1795>

³Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión. Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica-Lima-Perú. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0906-2860>

⁴Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión. Carretera Central Km 19.5 Ñaña, Chosica-Lima-Perú. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9101-1754>

Como citar: Cañazaca Tito, N., Carrillo Huamani, J., Coaquira-Quispe, J. J., & Pilco-Quesada, S. (2022). Efecto de Temperatura y Velocidad de Agitación en el Deshidratado Osmótico de Jengibre (*Zingiber Officinale*). *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 24(3), 164–173. <https://doi.org/10.18271/ria.2022.433>



de cabeza, migraña, espasmos musculares, indigestión y síntomas de resfriado común. El jengibre está compuesto de 50-70% de carbohidratos, 6-7% de lípidos, 4-7.5% de oleorresina, 2-3% de aceite volátil (Sánchez & Romero, 2009). Además, contiene un alto porcentaje de humedad, entre 85% a 95%, lo cual facilita un deterioro acelerado por contaminación microbiana (An *et al.*, 2019).

Los métodos de conservación de alimentos son el secado solar, secado con aire forzado (bandejas), secado a través de microondas, liofilización y deshidratado osmótico (DO) (García-Toledo *et al.*, 2015). Berk (2018) menciona que el secado consiste en eliminar el agua del alimento mediante la evaporación. Sin embargo, estos métodos presentan dificultades: el secado solar necesita una exposición extensa a un ambiente no controlado, exponiéndose a una alta contaminación microbiana. En el secado con aire forzado (bandejas) y en microondas los alimentos al ser expuestos a altas temperaturas presentan pérdidas de nutrientes (García-Toledo *et al.*, 2015); el liofilizado es costoso y además en alimentos crudos cambia el sabor y apariencia (Ghafoor *et al.*, 2020).

A diferencia de los métodos anteriormente mencionados el DO consiste en eliminar parcialmente el agua de los tejidos vegetales mediante la inmersión en soluciones hipertónicas de azúcar o sal (An *et al.*, 2012). Porciuncula *et al.* (2013) indican que el DO es una tecnología ampliamente estudiada, por los fenómenos y mecanismos involucrados, pues las membranas celulares de los alimentos no son iguales y perfectas. Estudios previos en tubérculos como papa, yuca y camote realizados, se enfocaron en la temperatura de la solución, la concentración de sacarosa y/o cloruro de sodio del medio osmótico, tiempo de inmersión, concentración de sacarosa versus velocidad de agitación y relación materia-solvente (Fan *et al.*, 2019; Su *et al.*, 2021). En jengibre, se evaluaron los efectos de tiempo de inmersión frente a la temperatura, concentración de la solución y la relación entre la solución y el alimento (García-Toledo *et al.*, 2015 & An *et al.*, 2012). Cabe mencionar que factores como tiempo, tipo de materia prima, velocidad de agitación (RPM), temperatura, facilitan la deshidratación del producto, sin embargo, depende de la matriz del alimento el definir la velocidad del DO (Porciuncula *et al.*, 2013). Por ello, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la temperatura y la velocidad de agitación respecto a la pérdida de agua, pérdida de peso y ganancia de sólidos en el deshidratado osmótico de jengibre.

Materiales y Métodos

Materia Prima

Se adquirió jengibre (*Zingiber officinale*) en estado fresco en la ciudad de Juliaca, Perú. Su contenido de humedad inicial fue de 84.33 ± 0.46 %.

Metodología Experimental de la Deshidratación Osmótica (DO)

Se realizó según la metodología de García-Toledo *et al.*, (2015) con modificaciones. El jengibre fue lavado, secado y pelado manualmente, luego se realizaron cortes en cubos de 0.4 cm de diámetro. Se preparó como agente osmótico una solución de sacarosa al 60% para cada tratamiento, la relación muestra/solvente fue de 1:16 (p/p). Los experimentos se llevaron a cabo combinando la temperatura del soluto y la velocidad de agitación, de 26°C a 30 rpm, 26°C a 80 rpm, 46°C a 30 rpm, 46°C a 80 rpm y 36°C a 50 rpm, respectivamente. Para el proceso del deshidratado se utilizó agitador (VELP Scientifica, JLT6 flocculation Tester, Italia) con seis paletas con control de tiempo y velocidad. Para mantener la temperatura se adaptó un sistema de baño maría de mantenimiento de calor al equipo (dato suplementario 1), conectado a una bomba de 0.1 HP (UTILITYPUM PAS-304-115V/60HZ,0.1HP, TRUPOW, China). Posteriormente, se pesaron 50 g de cubos de jengibre y se sumergieron en la solución osmótica en intervalos de 15 min; se dejaron escurrir y se enjuagó con agua desionizada, luego se eliminó el agua de la superficie con papel toalla y posteriormente se pesó. Este proceso se realizó ocho veces por un tiempo de 120 min, en cada intervalo de tiempo se retiraron 03 g de muestra para determinar la humedad. Se repitió el proceso para cada tratamiento y en triplicado. Posteriormente se consideró el promedio.

Análisis Físicoquímico

Determinación de Parámetros Físicoquímicos de Jengibre Fresco y Deshidratado

Para el análisis físicoquímico se utilizó el método estándar internacional (AOAC, 2005) para determinar la humedad (AOAC - 931.04), pH (AOAC - 981.12, método potenciómetro), el porcentaje de acidez titulable (AOAC - 942.15) y los sólidos solubles (AOAC - 932.12). Todos los análisis se realizaron por triplicado.

Determinación de Transferencia de Masa

La cinética de transferencia de masa en cuanto a temperatura y la velocidad de agitación, se calcularon por medio de pérdida de peso ($PP\%$), contenido de sólidos solubles o totales (TS), pérdida de agua ($PA\%$), ganancia de sólidos (GS); se determinaron con las ecuaciones 1, 2, 3, 4 y 5 (Rocca & Mascheroni, 2010).

$$PP(\%) = \left(\frac{m_i - m_f}{m_i} \right) \cdot 100 \quad (1)$$

En donde:

m_i = Masa inicial de la muestra (g).

m_f = Masa de la muestra deshidratada osmótica a tiempo t (g).

$$TS(\%) = \left(\frac{m_s}{m_0} \right) \cdot 100 \quad (2)$$

$$H(\%) = 100 - TS(\%) \quad (3)$$

En donde:

m_s = Peso de la muestra seca para determinado tiempo, t (g)

m_f = Peso de la muestra inicial (g)

H (%) = Porcentaje de humedad para determinado tiempo, t (%).

$$PA(\%) = \left[\left(1 - \frac{ST^*}{100} \right) - \left(1 - \frac{ST}{100} \right) \right] \cdot 100 \quad (4)$$

En donde:

ST^* = Contenido de sólidos totales iniciales.

TS = Contenido de sólidos totales para un determinado tiempo, t (%).

$$GS(\%) = \left[\left(1 - \frac{PP}{100} \right) \left(\frac{ST}{100} \right) - \left(\frac{ST^*}{100} \right) \right] \quad (5)$$

En donde:

ST^* = Contenido de sólidos inicial.

ST = Contenido de sólidos para determinado tiempo, t (%).

PP = Pérdida de peso (%).

Determinación de Difusividad Efectiva

La difusividad efectiva se calculó con la segunda ley de Fick (Mosquera *et al.*, 2019).

$$\ln \left(\frac{M - Me}{Mo - Me} \right) = \ln \frac{8}{\pi^2} - \frac{Dt\pi^2}{x^2} \quad (6)$$

En donde:

Mo = Humedad inicial (g/g Dmi).

M = Humedad al tiempo t (g/g Dmi).

Me = Humedad en equilibrio (g/g Dmi).

D = Difusividad efectiva (m^2/s).

X = Longitud o espesor del jengibre (cm).

t = Tiempo al tiempo t (min).

Diseño Experimental

Se utilizó un diseño estadístico factorial de 2^2 con 2 puntos centrales; las variables independientes fueron temperatura 26, 36 y 46 °C, y velocidad de agitación de 30, 50 y 80 rpm.

Análisis Estadístico

Los resultados se expresaron como promedio \pm desviación estándar (DE). El análisis estadístico buscó evaluar el efecto de los parámetros empleados sobre la PA, PP y GS durante la deshidratación osmótica, empleando el software STATISTICA 7 (StatSoft Inc., Tulsa, OK, EE. UU.). Se establecieron diferencias significativas de $p \leq 0,05$.

Resultados y Discusiones

Características Fisicoquímicas de Jengibre Fresco y Jengibre Deshidratado

En la Tabla 2 se observa que la muestra control posee una humedad de 84.33%, pH 6.62, acidez 0.05% y sólidos solubles 5.93 °brix. Acuña & Torres (2010) y Limache (2017) reportaron datos similares de humedad de jengibre (85.35 al 86.5%). Además, Espinoza (2013) y Rojas (2017) presentaron valores de pH del 5.30, 3.7 a 4.2 respectivamente y sólidos solubles de 4.50 a 12 °brix. Este último reportó datos de acidez de 0.04% a 0.68. Los resultados son similares a los determinados, sin embargo, las diferencias se explican por el grado de madurez, variedad, tamaño, calidad y procedencia.

Tabla 2. Análisis fisicoquímico de jengibre fresco (control), jengibre deshidratado y el soluto después de 120 minutos de proceso de DO.

Temperatura (°C)	Velocidad de agitación (rpm)	Humedad (%)	pH	Acidez (Ac. cítrico %)	°Brix
Control		84.33 ± 0.46	6.62 ± 0.04	0.05 ± 0.00	5.93 ± 0.58
26	30	58.73 ± 2.67	5.27 ± 0.21	0.06 ± 0.00	33.86 ± 0.70
26	80	58.11 ± 0.74	3.89 ± 0.10	0.14 ± 0.03	31.46 ± 20
46	30	49.18 ± 0.85	4.09 ± 0.14	0.10 ± 0.03	33.4 ± 1.21
46	80	52.70 ± 0.90	4.42 ± 0.09	0.06 ± 0.01	35.16 ± 0.20
36	50	57.38 ± 0.77	4.22 ± 0.24	0.05 ± 0.02	33.93 ± 0.64
36	50	57.57 ± 0.82	3.92 ± 0.02	0.09 ± 0.01	33.76 ± 0.49

El tratamiento de 46 °C a 30 rpm presentó mayor pérdida, con un 35% respecto a la muestra control, García-Toledo *et al.* (2015) indican que la humedad disminuye cuando se aplica altas temperaturas, aplicando 40 y 70°C obtuvieron resultados de 34.15% y 58.66% respectivamente. El pH del tratamiento a 26 °C a 30 rpm descendió ligeramente de 6.62 a 5.27, los tratamientos de 26°C a 80 rpm y 36 °C a 50 rpm reportaron valores más bajos de pH del 3.89 y 3.92 respectivamente. Espinoza (2013) y Rojas (2017) reportaron valores similares de pH para jengibre fresco de 5.30, 4.2 al 3.7, indicando que a temperaturas bajas el pH se mantiene, sin embargo, la velocidad de agitación alta influye en el cambio de pH del producto final ya que a 46°C y 30 rpm se reportó mayor cambio.

La acidez fue de 0.05% al 0.14%, según la NOP-USA, (2013) estos valores oscilan entre 0.05% al 0.08%. Los tratamientos de 26°C a 80 rpm y 46°C a 30 rpm reportaron resultados fuera del rango, con valores de 0.14% y 0.10% respectivamente, lo que indica que a menor temperatura y mayor velocidad de agitación y viceversa, ocurren cambios más evidentes en la acidez final del producto.

Los sólidos solubles del tratamiento a 46 °C y 80 rpm presentaron un incremento de hasta 35.16 °Brix, García-Toledo *et al.* (2015) reportaron valores similares indicando que altas temperaturas y mayor velocidad de agitación favorecen el incremento de sólidos; además, la concentración es un factor importante debido a que a 35 %, 50 % y 65 % obtuvieron incrementos en sólidos solubles de 25.27, 27.30 y 32.53 de °brix respectivamente.

Transferencia de Masa Pérdida de Peso (Pp%), Pérdida de Agua (Pa%), Ganancia de Sólidos (Gs%) y Difusividad (De)

En la Tabla 3 se observa que los valores de PA% fueron superiores a los valores de GS%, sin embargo, los resultados de PP% fueron menores que PA% y GS%. Estos resultados son similares a los obtenidos por Pereira de Siqueira *et al.*, (2019) para PA% y GS% en jengibre deshidratado con solución de azúcar. Silva *et al.*, (2014) y Barbosa *et al.*, (2013) mencionan que valores bajos de GS% en la DO son deseables, ya que cuando los valores de GS% son más elevados que los valores de PA%, mayor es la modificación de las características del producto final.

Tabla 3. Determinación de pérdida de peso, pérdida de agua, ganancia de sólidos y difusividad en 120 minutos de jengibre deshidratado.

Temperatura (°C)	Velocidad de agitación (rpm)	PP (%)	PA (%)	GS (%)	De [m ² /s]
26	30	9.28 ± 0.64	31.05 ± 0.37	21.76 ± 0.26	5.20 x10 ⁻⁴ ± 0.00
26	80	9.52 ± 1.02	31.46 ± 0.59	21.95 ± 0.43	4.39 x10 ⁻⁴ ± 0.00
46	30	12.32 ± 0.54	41.04 ± 0.26	28.72 ± 0.27	5.95 x10 ⁻⁶ ± 0.00
46	80	11.94 ± 0.26	37.73 ± 0.13	25.78 ± 0.12	2.38 x10 ⁻⁵ ± 0.00
36	50	10.61 ± 0.26	32.84 ± 0.15	22.23 ± 0.11	2.11 x10 ⁻⁴ ± 0.00
36	50	11.72 ± 0.59	33.25 ± 0.34	21.53 ± 0.25	3.38 x10 ⁻⁴ ± 0.00

Cinética de Pérdida de Peso (PP%)

Se observa una mayor pérdida de peso del 12.32% con el tratamiento de 46°C a 30rpm (Tabla 3); en contraste, con el tratamiento de 26°C a 30 rpm se obtuvo una menor pérdida de peso (9.28%) evidenciándose que a mayor temperatura más pérdida de peso. Según Mundada *et al.*, (2010) explican, el aumento de temperatura disminuye la

viscosidad de la solución osmótica, disminuye también la resistencia externa a la transferencia de masa en la superficie del producto; y así facilita la salida de agua con altas tasas de difusión de soluto en la muestra. Dávila y López (2005) informan que la pérdida de agua está estrechamente relacionada con la pérdida de peso ya que conforme el alimento pierde agua el peso de este descenderá.

Por otro lado, la pérdida de agua también se debe a la velocidad de agitación, la cual reduce resistencia a la transferencia de masa entre la superficie de los cubos y la solución osmótica (Mundada, Hathan, & Maske, 2010). La cinética de $PP\%$ en la Figura 1 muestra que a alta velocidad de agitación se percibe una mayor pérdida de peso, sin embargo, la velocidad de agitación alta y la temperatura alta no influyen de manera relevante, tal como se observa en el tratamiento de 26 °C y 80 rpm en comparación con el tratamiento de 46°C y 80 rpm. Según indican Amami *et al.*, (2014) las tasas de deshidratación osmótica se incrementan con la velocidad de agitación a causa de la reducción de la resistencia externa contra la remoción de agua, es decir que, si la

velocidad de agitación es baja, la $PP\%$ y $PA\%$ serán menores. En esta investigación se aplicaron velocidades de agitación menores, provocando una remoción lenta y por consiguiente no significativa. En las Figuras 1, 2 y 3 se muestra que al iniciar el proceso hay una rápida pérdida de peso, pérdida de agua y ganancia de sólidos, posteriormente se ralentizan estos procesos, según Hawkes y Flink (1978) se explica que con el paso del tiempo podría formarse una capa subsuperficial con alto contenido de sólidos en la capa celular externa de la muestra que interfiere con el gradiente de concentración a través de la interface producto-solución, y que actuó como una barrera contra la eliminación de agua y la absorción de sólidos.

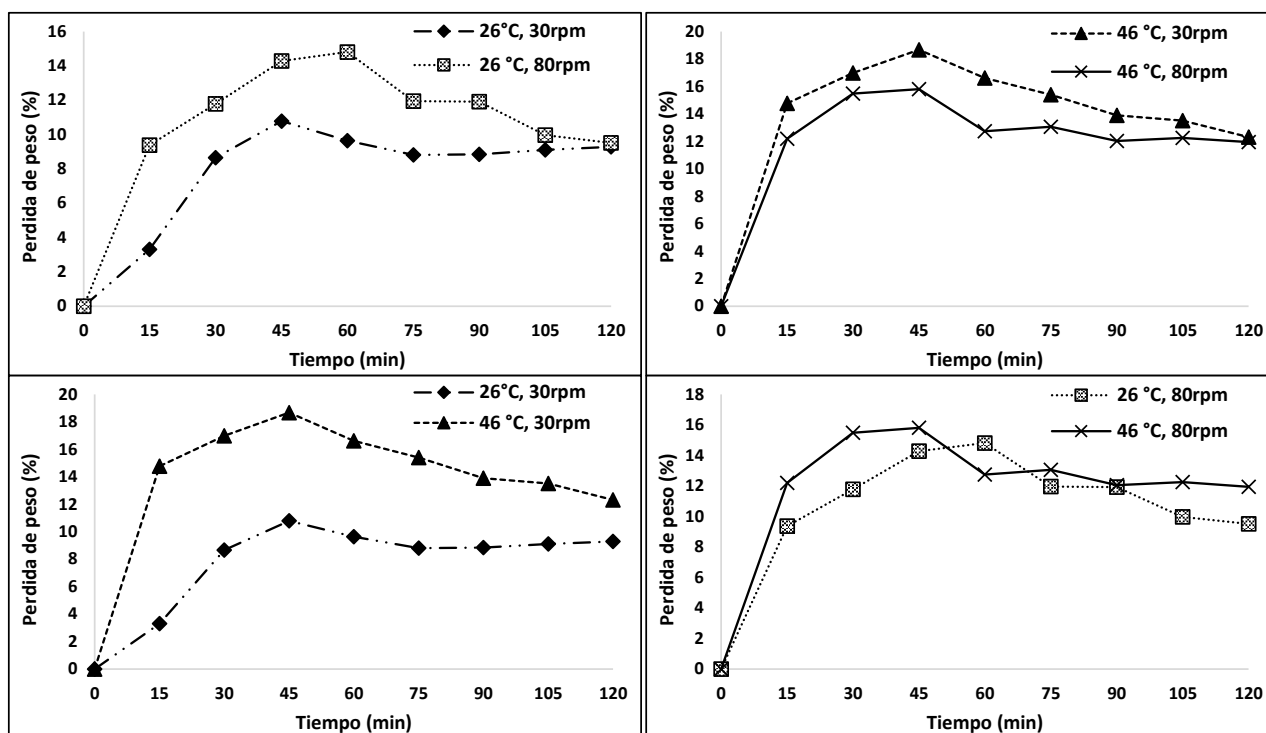


Figura 1. Pérdida de peso ($PP\%$) en relación al tiempo de deshidratado osmótico (DO) de jengibr.

Cinética de pérdida de agua ($PA\%$)

En la Tabla 3 se observa que hay mayor pérdida de agua al aumentar la temperatura, como que en el tratamiento a 46 °C y 30 rpm se tuvo mayor pérdida de agua (41.04%) y el tratamiento de 26 °C y 30 rpm presentó menor pérdida de agua (31.05%). Según Ferrari y Hubinger (2008) el aumento de temperatura produce mayor pérdida de agua, debido a que ocurren cambios en la permeabilidad de la membrana celular del alimento, además provocan hinchazón y plasticidad de las membranas celulares, y la reducción de la viscosidad de la SO, favoreciendo así una mayor transferencia de agua por medio de la superficie del producto y a través de su interior. Por otro lado, Jain (2016) menciona que

las concentraciones de azúcar viscosas (mayores a 50%) provocan la flotación de los trozos de alimentos, permitiendo que la mayor parte del soluto se acumule como una capa fina de resistencia en el alimento, así dificulta la transferencia de masa y difusión. Phisut (2012) indica que la agitación es fundamental, ya que genera un flujo turbulento, lo que ayuda a disipar esta capa de resistencia. También, cuando el alimento se sumerge en la solución ocurre el fenómeno de la dilución. Sin embargo, en esta investigación la velocidad de agitación no fue significativa; explican Ayala-Aponte y Giraldo-Cuartas, (2009) que es por las velocidades bajas, ya que el estudio de Amami *et al.* (2014) aplicó altas velocidades de agitación (250 - 1500 rpm) que resultaron significativas.

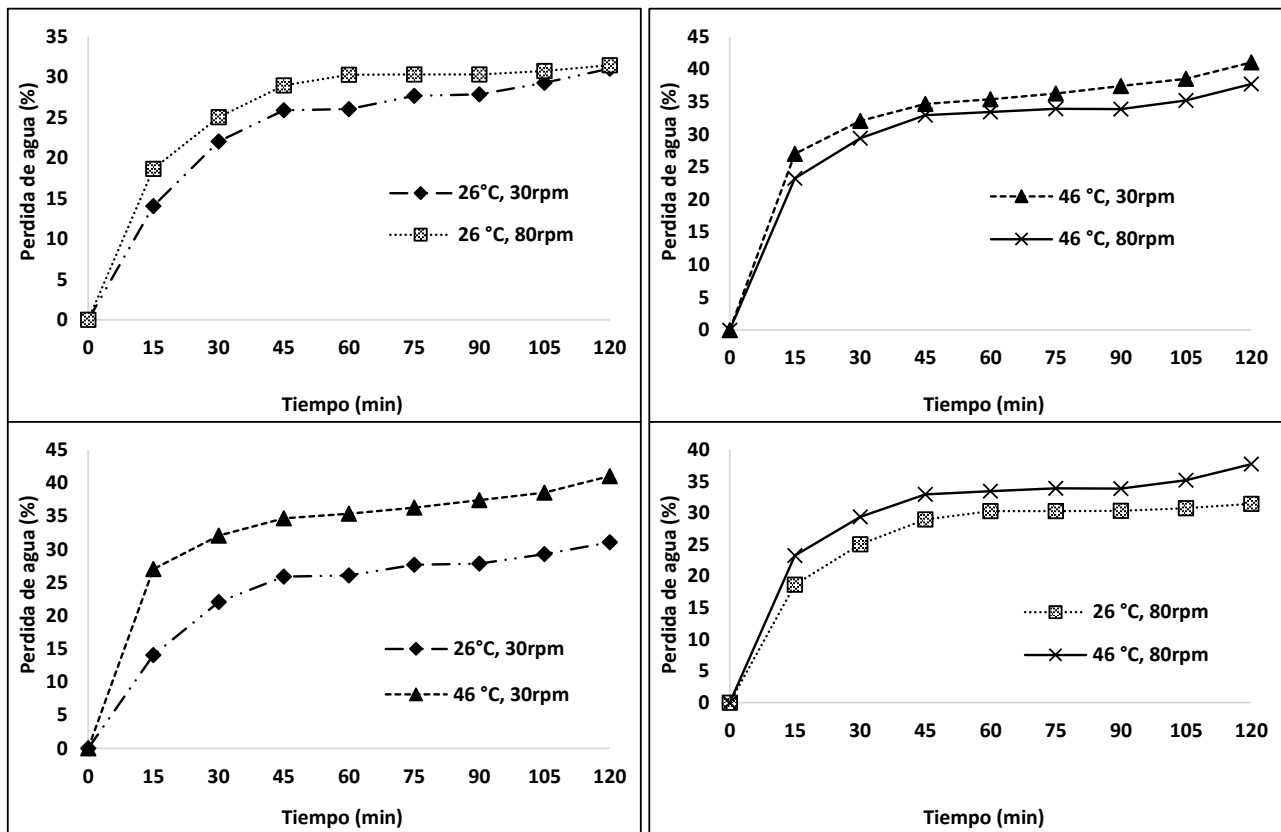


Figura 2. Pérdida de agua (PA%) en relación al tiempo de Deshidratado osmótico (DO) de jengibre.

Cinética de Ganancia de sólidos (GS%)

Tal como se observa en la Tabla 3, el tratamiento de 46°C a 30 rpm tuvo una mayor ganancia de sólidos (28.72%) mientras que el tratamiento de 36 °C y 50 rpm tuvo menor ganancia (21.53%); ello muestra que a temperaturas altas, mayor ganancia de sólidos. Pereira de Siqueira *et al.* (2019) menciona que las altas temperaturas influyen significativamente en la ganancia de sólidos (45.3%) a temperatura de 46 °C, asimismo mencionan que valores bajos de GS % están relacionados con temperaturas bajas, tiempo de inmersión, concentración y velocidad de agitación, explicando la diferencia en los resultados obtenidos; además su tiempo fue mayor

(210 min). Silva *et al.*, (2014) mencionan que la GS% tiene tendencia a incrementar con la temperatura del deshidratado, pero las temperaturas altas producen mayores cambios estructurales en el producto final, por lo que la velocidad de agitación es indispensable; sin embargo, en esta investigación la agitación no influyó por los niveles bajos empleados. Amami, *et al.*, (2014) y Tonon, *et al.*, (2007) indican que velocidades altas de agitación provocan mayor turbulencia y por consiguiente se obtiene mayor GS%. Los resultados de ANOVA ($p \leq 0,05$), mostraron que fueron significativas la temperatura y la interacción de ambas variables para pérdida de peso y pérdida de agua, pero para la ganancia de sólidos solo la temperatura fue significativa.

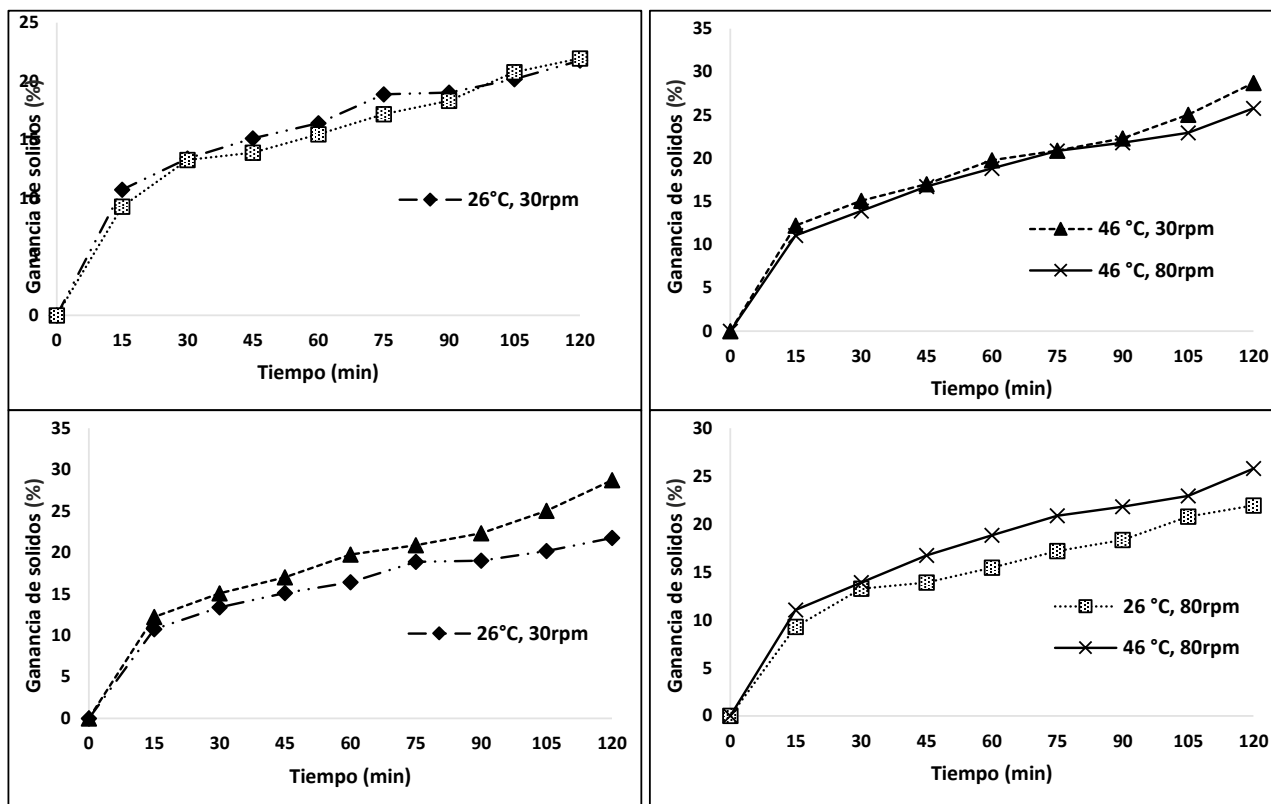


Figura 3. Ganancia de sólidos (GS%) en relación al tiempo de Deshidratado osmótico (DO) de jengibre.

Difusividad (De)

La Tabla 3 muestra que el tratamiento de 26 °C a 30 rpm tuvo mayor difusividad ($5,20 \times 10^{-4}10^{-4}$) y el de 46°C a 30 rpm menor difusividad ($5,95 \times 10^{-6}$). García & Medina (2019) señalan que la difusividad es influida por el tamaño y agente osmótico de bajo peso molecular ya que penetra más fácilmente en el alimento que los de alto peso molecular. Oscco (2018) indica que, a

menor temperatura y mayor concentración existe mayor difusividad, ya que ésta depende de la concentración y no de la temperatura. Amami *et al.* (2014) indicó que a velocidades de agitación altas (250 - 1500 rpm) mayor gradiente de presión osmótica, lo que explica los resultados obtenidos porque la temperatura fue menor y la concentración fue estándar (60%) para todos los tratamientos.

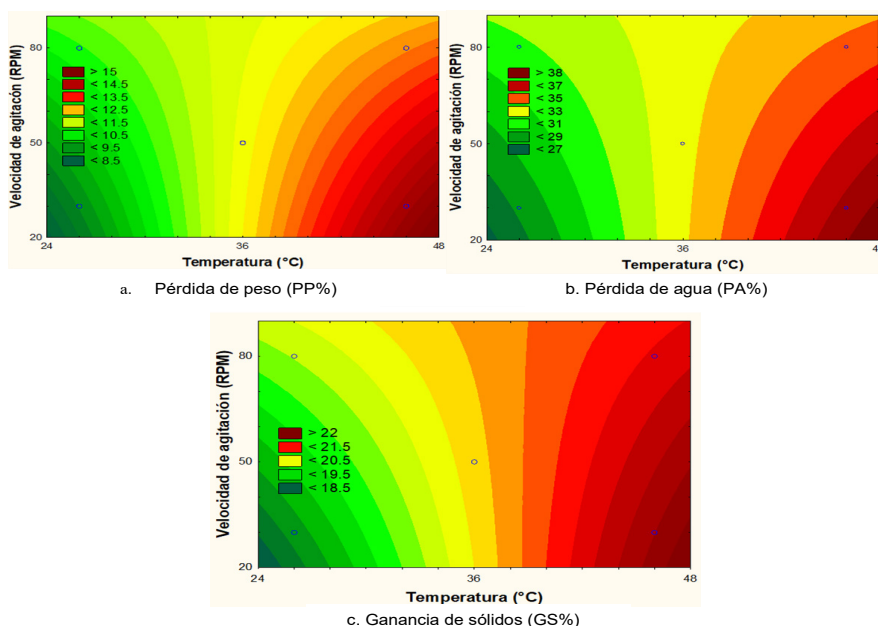


Figura 4. Gráfico de contorno: a) % Pérdida de agua (PP), b) % Pérdida de peso (PA), c) % Ganancia de sólidos (GS) del deshidratado osmótico (DO) de jengibre a 75min.

La Figura 4 muestra una respuesta positiva a temperaturas altas, ya que a temperatura 46°C y 30rpm se encontraron variables de respuesta significativas; esto se repite para PA%, PP% y GS%, sin bien, la velocidad de agitación no influyó en la respuesta, por ello se recomienda aplicar altas velocidades de agitación (mayores a 80 rpm).

Conclusión

Los valores de pérdida de peso, pérdida de agua y ganancia de sólidos en la deshidratación osmótica de jengibre son favorecidos con la aplicación de altas temperaturas, lo cual se corroboró con los resultados obtenidos al tratamiento de 46 °C y 30 rpm. La velocidad de agitación en el deshidratado osmótico no fue significativa debido a que se aplicaron niveles de agitación bajos (30, 50 y 80 rpm).

Referencias

- Acuña, O., & Torres, A. (2010). Aprovechamiento de las propiedades funcionales del jengibre (*Zingiber officinale*) en la elaboración de condimento en polvo, infusión filtrante y aromatizante para quema directa. *Revista Politécnica*, (5), 1-10. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4343>
- Amami, E., Khezami, L., Jemai, A., & Vorobiev, E. (2014). Osmotic dehydration of some agro-food tissue pretreated by pulsed electric field: Impact of impeller's Reynolds number on mass transfer and color. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 93-102. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2012.10.002>
- An, K., Ding, S., Tao, H., Zhao, D., Wang, X., & Hu, Z. W. (2012). Response surface optimization of osmotic dehydration of chinese ginger (*Zingiber Officinale Roscoe*) Slices. *International journal of Food & Science Technology*, 1- 7. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2012.03153.x>
- An, K., Tang, D., Wu, J., Fu, M., Wen, J., & Xu, G. X. (2019). Comparison of pulsed vacuum ultrasound osmotic dehydration on drying of chinese finger (*Zingiber officinale Roscoe*): Drying characteristics, antioxidant capacity, and volatile profiles. *Food Science & nutrition*, 1-9. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1103>
- AOAC. (2005). Official Methods of Analysis. Eighteenth ed. AOAC international Gaithersburg.
- Ayala-Aponte, A. A., & Giraldo-Cuartas, L. A.-C. (2009). Efecto de la agitación sobre la deshidratación osmótica de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus s.*) empleando soluciones de sacarosa. *SciELO*, 1-5. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442009000700009
- Barbosa Júnior, J., Cordeiro Mancini, M., & Dupas Hubinger, M. (2013). Mass transfer kinetics and mathematical modelling of the osmotic dehydration of orange-fleshed honeydew melon in corn syrup and sucrose solutions. *International Journal of Food Science Technology*, 2463-2473. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12237>
- Berk, Z. (2018). Dehydration. *Food Process Engineering and Technology*, 513-566. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812018-7.00022-1>
- Dávila, L., López, L. (2005). Transferencia de Masa en la Deshidratación Osmótica a Vacío de Rodajas de *Ananás comosus L.* MERR "Piña". *Revista de La Facultad de Ingeniería Industrial*, 07-12. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81680102>.
- Espinoza, S. L. (2013). Caracterización fisicoquímica del extracto espectorante de ajo (*Allium sativum L.*), Kion (*Zingiber officinale L.*), Eucalipto (*Eucalyptus globulus L.*) y linaza (*Linum usitatissimum L.*). repositorio.uncp.edu.pe.
- Fan, K., Zhang, M., & Bhandari, B. (2019). Osmotic-ultrasound dehydration pretreatment improves moisture adsorption isotherms and water state of microwave-assisted vacuum fried purple-fleshed sweet potato slices. *Food and Bioproducts Processing*, 154-164. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2019.03.011>
- Ferrari, C., & Hubinger, M. (2008). Evaluation of the mechanical properties and diffusion coefficients of osmodehydrated melon cubes. *International Journal of Food Science & Technology*, 2065-2074. <http://doi:10.1111/j.1365-2621.2008.01824.x>
- García, R. M., & Medina, L. D. (2019). Evaluación de la cinética de la deshidratación osmótica de guayaba (*Psidium guajava L.*) para alargar su vida útil y mejorar las características sensoriales. repositorio.unsa.edu.pe, 1,137. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/10783>
- García-Toledo, J., Ruiz-López, I., Martínez-Sánchez, C., Rodríguez-Miranda, J., Carmona-García, R., Torruco-Uco, J., Herman-Lara, E. (2015). Effect of osmotic dehydration on the physical and chemical properties of Mexican ginger (*Zingiber officinale var. Grand Cayman*). *Journal of Food*, 1-9(2). <https://doi.org/10.1080/19476337.2015.1039068>

- Ghafoor, K., Al Juhaimi, F., Özcan, M. M., Uslu, N., Babiker, E. E., & Mohamed Ahmed, I. A. (2020). Total, phenolics, total carotenoids, individual phenolics and antioxidant activity of ginger (*Zingiber officinale*) rhizome as affected by drying methods. *LWT - Food Science and Technology*, 109354. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109354>
- Ghafoor, K., Al Juhaimi, F., Özcan, M. M., Uslu, N., Babiker, E. E., & Mohamed Ahmed, I. A. (2020). Total, phenolics, total carotenoids, individual phenolics and antioxidant activity of ginger (*Zingiber officinale*) rhizome as affected by drying methods. *LWT - Food Science and Technology*, 109354. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109354>
- Hawkes J, Flink JM. 1978. Osmotic concentration of fruit slices prior to freeze dehydration. *J Food Pro Preser* 2:265–84. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.1978.tb00562.x>
- Jain, V. R. (2016). A review on osmotic dehydration of fruits and vegetables: an integrated approach. *Journal of Food Process Engineering*, 1-22. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12440>
- Limache, E. (2017). Influencia de la Temperatura y Tiempo de Secado en la Extracción del Aceite Esencial de Jengibre (*Zingiber officinale*) Variedad Amarillo Jamaquino Ecotipo de Junín. *Tesis*, 57-97.
- MINAGRI. (6 de enero de 2021). Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/midagri/noticias/323582-peru-se-consolido-el-2020-como-el-cuarto-exportador-mundial-de-jengibre>
- Mosquera-Vivas, E., Ayala-Aponte, A., & Serna-Cock, L. (2019). Ultrasonido y Deshidratación Osmótica como Pretratamientos a la Liofilización de Melón (*Cucumis melo* L.). *Información Tecnológica*. doi: <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000300179>
- Mundada, M., Hathan, B., & Maske, S. (2010). Mass Transfer Kinetics during Osmotic Dehydration of Pomegranate Arils. *Institute of Food Technologists*, 32-39. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01921.x>
- NOP – USA, USDA Organic Standards 7 CFR 205, Reglamentos Orgánicos Estadounidenses, Actualizados al 3 de diciembre de 2013. 7 CRF Parte 205 – Programa Orgánico Nacional. Pg 22 – 37
- Osae, R., Zhou, C., Xu, B., Tchabo, W., Tahir, H. E., & Ma, A. T. (2019). Effects of ultrasound, osmotic dehydration; and osmosonication pretreatments on bioactive compounds, chemical characterization; enzyme inactivation, color, and antioxidant activity of dried ginger slices. *Journal of food biochemistry*, 1-14. doi: <https://doi.org/10.1111/jfbc.12832>
- Oscco, J. V. (2018). Cinética, coeficiente de difusividad y contenido de antocianinas en la deshidratación osmótica de frambuesa heritage (*Rubus idaeus*). <https://doi.org/10.37292/riccva.v4i2.147>
- Pereira de Siqueira, L., Asfora Sarubbo, L., Sakugawa Shinohara, N., Sarmento Valencia, M., Santos Cortez, N., & Cardoso Andrade, S. (2019). Optimization of the osmotic dehydration of ginger. *Food Technology*, 1678-4596. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20170430>.
- Phisut, N. (2012). Mini Review Factors affecting mass transfer during osmotic dehydration of fruits. *International food Research Journal*, 1-12. [http://www.ifrj.upm.edu.my/19%20\(01\)%202011/\(2\)IFRJ-2011-168%20Phisut.pdf](http://www.ifrj.upm.edu.my/19%20(01)%202011/(2)IFRJ-2011-168%20Phisut.pdf).
- Porciuncula, B. D., Zotarelli, M., Carciofi, B., & Laurindo, J. (2013). Determining the effective diffusion coefficient of water in banana (*Prata variety*) during osmotic dehydration and its use in predictive models. *Journal of Food Engineering*, 490-496. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.06.011>
- Rocca, P. & Mascheroni, R. (2010). Modelos empíricos en la deshidratación osmótica de papas. Universidad tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires. La Plata, Argentina. 2(1), 57-66.
- Rojas, A. P. (2017). Evaluación de las características nutricionales del confitado de jengibre (*Zingiber officinale*) orgánico obtenido mediante el método de osmodeshidratación. repositorio.uncp.edu.pe, 1,166(70).
- Sanchez, Y. A., & Romero, Y. A. (2009). Elaboración de un producto soluble a base de jengibre (*Zingiber Officinale Roscoe*) Saborizada con limoncillo (*Cymbopogon Citratus*). (24), 1-4. 98 <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/1793/66396O12.pdf;sequence=1>
- Silva, K., Fernandes, M., & Mauro, M. (2014). Osmotic Dehydration of Pineapple with Impregnation of Sucrose, Calcium, and Ascorbic Acid. *Food and Bioprocess Technology volume*, 385–397. <https://doi.org/10.1007/s11947-013-1049-0>
- Su, Y., Zhang, M., Chitrakar, B., & Zhang, W. (2021). Reduction of oil uptake with osmotic dehydration and

coating pre-treatment in microwave-assisted vacuum fried potato chips. *Food Bioscience*, 100825. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100825>

Tonon, R., Baroni, A., & Hubinger, M. (2007). Osmotic dehydration of tomato in ternary solutions: Influence of process variables on mass transfer kinetics and an evaluation of the retention of carotenoids. *Journal of Food Engineering*, 509–517. <https://doi:10.1016/j.jfoodeng.2007.03.00>