

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias



Una Institución Adventista

Efecto de temperatura y velocidad de agitación en el deshidratado osmótico de jengibre (*Zingiber officinale*)

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero de Industrias Alimentarias

Autor:

Nancy Cañazaca Tito

Judith Carrillo Huamani

Asesor:

Ph.D. Silvia Pilco Quesada

Lima, abril del 2022

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DE TESIS

Silvia Pilco Quesada, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“Efecto de temperatura y velocidad de agitación en el deshidratado osmótico de jengibre (*Zingiber officinale*)”** constituye la memoria que presenta los Bachilleres Nancy Cañazaca Tito y Judith Carrillo Huamani, para obtener el título de Profesional de Ingeniero de Industrias Alimentarias, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en la ciudad de Lima, a los 03 días del mes de agosto del año 2022



Ph.D. Silvia Pilco Quesada.

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a 29 días del mes de abril del año 2022 siendo las 10:00 horas, se reunieron en modalidad virtual u online sincrónica, bajo la dirección del (de la) Presidente (a) del Jurado: Dra. Amparo Eccoña Sota, el (la) secretario(a): Dr. Santiago Ramírez López y los demás miembros Vocal: MSc. Enrique Mamani Cuesta y el (la) asesor (a): PhD. Silvia Pilco Guesada, con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: "Efecto de temperatura y velocidad de agitación en el deshidratado osmótico de jengibre (*Zingiber officinale*)" del(los)/la(las)bachilleres a) Nancy Cañazaca Tito b) Judith Carrillo Huamani, conducente a la obtención del título profesional de: Ingenieras de Industrias Alimentarias.

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)/(las) candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del Jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el(los)/la(las) candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del Jurado.

Posteriormente, el Jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a): Nancy Cañazaca Tito

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	18	A-	Muy bueno	Sobresaliente

Candidato (b): Judith Carrillo Huamani

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	18	A-	Muy bueno	Sobresaliente

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del Jurado invitó al(los)/a(la)/(las) candidato(a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.



Dra. Amparo Eccoña Sota
Presidente (a)



Dr. Santiago Ramírez López
Secretario(a)



PhD. Silvia Pilco Guesada
Asesor(a)



MSc. Enrique Mamani
Cuesta
Miembro - Vocal

Miembro

Bach. Nancy Cañazaca Tito
Candidato/a (a)

Bach. Judith Carrillo Huamani
Candidato/a (b)

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 jinger (*Zingiber officinale*)

Nancy Cañazaca Tito¹, Judith Carrillo Huamani² y Silvia Pilco-Quesada³

Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentaria, Facultad de Ingeniería y Arquitectura,
Universidad Peruana Unión, Lima-Perú

Resumen

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la temperatura y la velocidad de agitación sobre la pérdida de peso (*PP%*), pérdida de agua (*PA%*) y 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 influenció sobre la *PA%*, *PP%* y *GS%*, a comparación de 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 de 26°C y 30 rpm mostró una mayor difusividad (*De*) con 5.20×10^{-4} . El tratamiento de 46°C y 30rpm reportaron mayores pérdidas de humedad con un 35%, el tratamiento de 26°C y 30 rpm presentó mayor variación de pH de 6.62 a 5.27, el tratamiento de 36°C y 50 rpm mostró una acidez constante de 0.05% y el tratamiento de 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 influenció 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 (D_e) with $5,20 \times 10^{-4}$. The 46°C and 30 rpm treatment reported higher moisture losses with 35%, the 26°C and 30 rpm treatment presented an increase 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.

1. Introducción

El jengibre (*Zingiber officinale*) es una de las especias más utilizadas a nivel mundial y su producción global se estima alrededor de 100 mil toneladas anuales en peso seco. Los países productores son: China, India, Japón, Indonesia, Australia, Nepal, Nigeria y Tailandia, de las 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). Osa et al., 2019 mencionan que posee propiedades medicinales, alivia el dolor de cabeza, migraña, espasmos musculares, indigestión y síntomas de resfriado común. El jengibre está compuesto por 50-70% de carbohidratos, 6-7% de lípidos, 4-7.5% de oleoresina, 2-3% de aceite volátil (Sánchez & Romero, 2009). Además, contiene un alto porcentaje de humedad entre 85% a 95%, facilitando a 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 como: el secado solar necesita una exposición extensa a un ambiente no controlado, exponiéndose a una alta contaminación microbiana, el secado con aire forzado (bandejas) y en microondas los alimentos al ser expuestos a altas temperaturas presentan pérdidas de nutrientes (Wang et al., 2019; 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. Previos estudios en tubérculos como papa, yuca y camote fueron realizados, enfocados en la temperatura de la solución, 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, Zhang et al., 2021). Se estudió en el jengibre 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 los 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 para 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.

2. Materiales y métodos

2.1.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 %.

2.2.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 realizó cortes en cubos de 0.4 cm de diámetro. Se preparó una solución de sacarosa al 60% para cada tratamiento como agente osmótico, 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 30rpm, 26°C a 80rpm, 46°C a 30rpm, 46°C a 80rpm y 36°C a 50rpm, respectivamente. Para el proceso del deshidratado se utilizó agitador (VELP Scientifica, JLT6 flocculation Tester, Italia) con 6 paletas con control de tiempo y velocidad. Para mantener la temperatura se adaptó un sistema de mantenimiento de calor al equipo de baño maría (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 8 veces por un tiempo de 120 min, en cada intervalo de tiempo se retiraron 3 g de muestra para determinar la humedad. Se repitió el proceso para cada tratamiento y en triplicado, posteriormente se consideró el promedio.

3. Análisis físicoquímico

3.1. Determinación de parámetros físicoquímicos de jengibre fresco y deshidratado.

Para la determinación del análisis físicoquímico se utilizó 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 sólidos solubles (AOAC - 932.12). Todos los análisis se realizaron en triplicado.

3.2. Determinación de Transferencia de Masa

La cinética de transferencia de masa en cuanto a temperatura y la velocidad de agitación, se calculó 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_0 = Peso de la muestra inicial (g)

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

$$PA(\%) = \left[\left(1 - \frac{ST^0}{100} \right) - \left(1 - \frac{ST}{100} \right) \left(1 - \frac{ST}{100} \right) \right] \cdot 100 \quad (4)$$

En donde:

TS^0 = Contenido de sólidos totales iniciales.

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

$$GS(\%) = \left[\left(1 - \frac{PP}{100} \right) \left(\frac{ST}{100} \right) - \left(\frac{ST^0}{100} \right) \right] \cdot 100 \quad (5)$$

En donde:

ST^0 = Contenido de sólidos inicial.

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

PP = Pérdida de peso (%).

3.3.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).

3.4. Diseño experimental

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

3.5. Análisis estadístico

Los resultados se expresaron como promedio $\pm$ desviación estándar (DE). El análisis estadístico se enfocó en 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 $p \leq 0,05$.

4. Resultados y discusiones

4.1. 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 del 4.50 a 12 °brix, este último reportó datos de acidez de 0.04% a 0.68 %, estos resultados son similares a los determinados, sin embargo, las diferencias se explican por el grado de madurez, variedad, tamaño, calidad y procedencia.

Tabla 1.

Análisis fisicoquímico de jengibre fresco (control) y cubos de jengibre deshidratado

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

El tratamiento de 46°C a 30 rpm, presentó mayor pérdida de humedad 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 30rpm 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 26°C y 80rpm se reportó mayor cambio.

La acidez fue de 0.05% al 0.14%, según, la NOP- USDA, (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 80rpm presentó 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 un incremento en sólidos solubles de 25.27, 27.30 y 32.53 de °brix respectivamente.

4.2.Transferencia de masa pérdida de peso (PP%), pérdida de agua (PA%), ganancia de sólidos (GS%) y Difusividad (De).

En la Tabla 2 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 es deseable 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 2.

Determinación de pérdida de peso, pérdida de agua, ganancia de sólidos y difusividad en 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

4.3. 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 2), 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 que el aumento de temperatura disminuye la viscosidad de la solución osmótica, disminuyendo 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 el cual reduce resistencia a la transferencia de masa entre la superficie de los cubos y la solución osmótica (Mundada et al., 2010). La cinética de PP% en la Figura 1 se muestra que a alta velocidad de agitación se percibe una mayor pérdida de peso, sin embargo, a la velocidad de agitación alta y la temperatura baja no influyen de manera relevante, tal como se observan el tratamiento de 26°C y 80rpm en comparación con el tratamiento de 46°C y 80rpm. Según Amami et al., (2014) indican que 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, posterior se ralentizan estos procesos, según Hawkes y Flink (1978) se explica a 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 interfase producto-solución y actuó como una barrera contra la eliminación de agua y la absorción de sólidos.

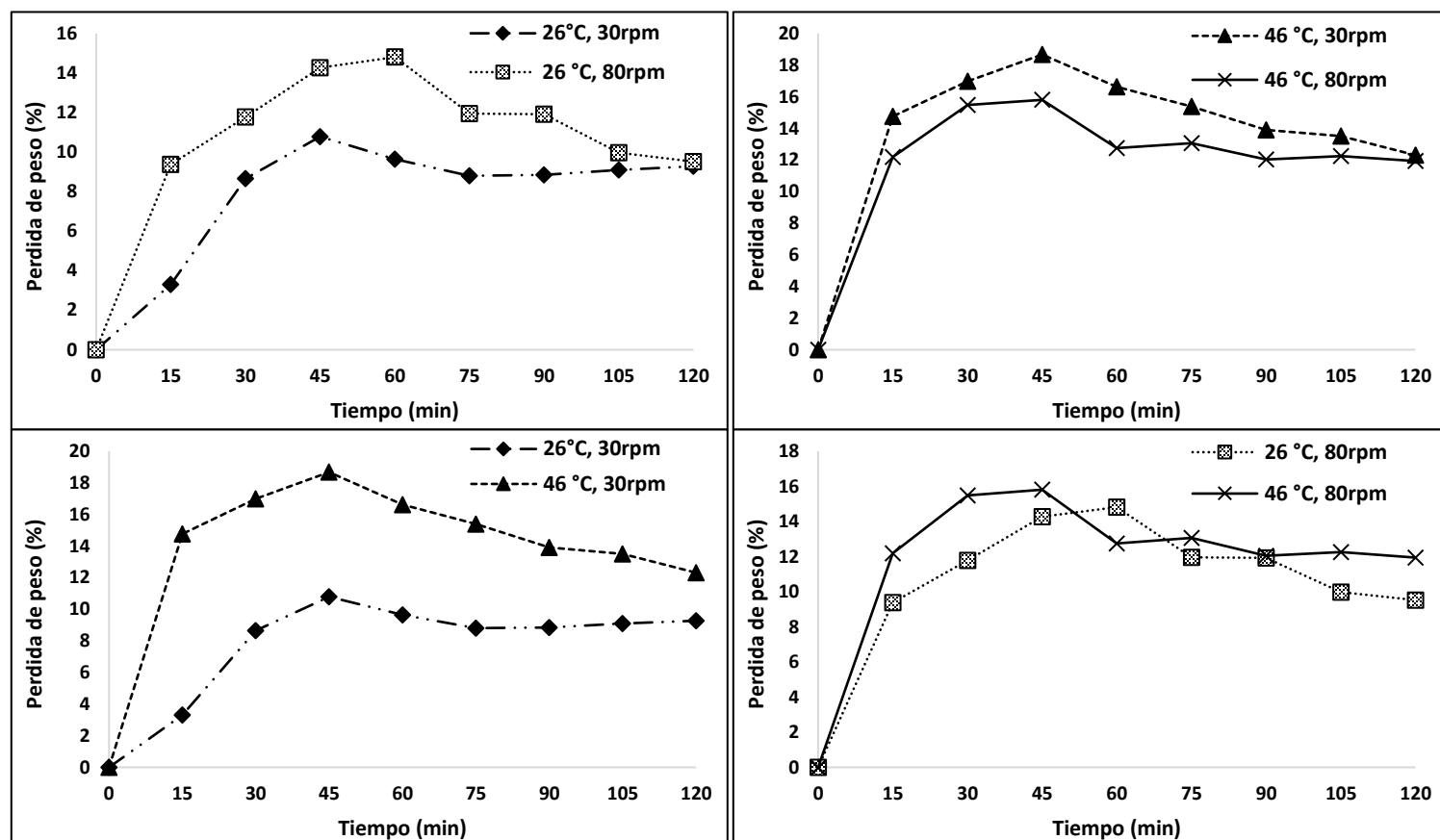


Figura 1: Pérdida de peso (PP%) en relación al tiempo de Deshidratado osmótico (DO) de jengibre

4.4. Cinética de pérdida de agua (PA %)

En la tabla 2 se observa que hay mayor pérdida de agua al aumentar la temperatura, como en el tratamiento a 46°C y 30rpm tuvo mayor pérdida de agua (41.04%) y el tratamiento de 26°C y 30rpm presentó menor pérdida de agua (31.05%). Según Ferrari & 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 una mayor transferencia de agua por medio de la superficie del producto y a través de su interior. Por otro lado, Jain (2016) mencionan 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 a la solución ocurre el fenómeno de dilución. Sin embargo, en esta investigación la velocidad de agitación no fue significativa, explica Ayala-Aponte y Giraldo-Cuartas, (2009) que es por las velocidades bajas, ya que el estudio de Amami et al., (2014) aplicaron altas velocidades de agitación (250 - 1500 rpm) que resultaron significativas.

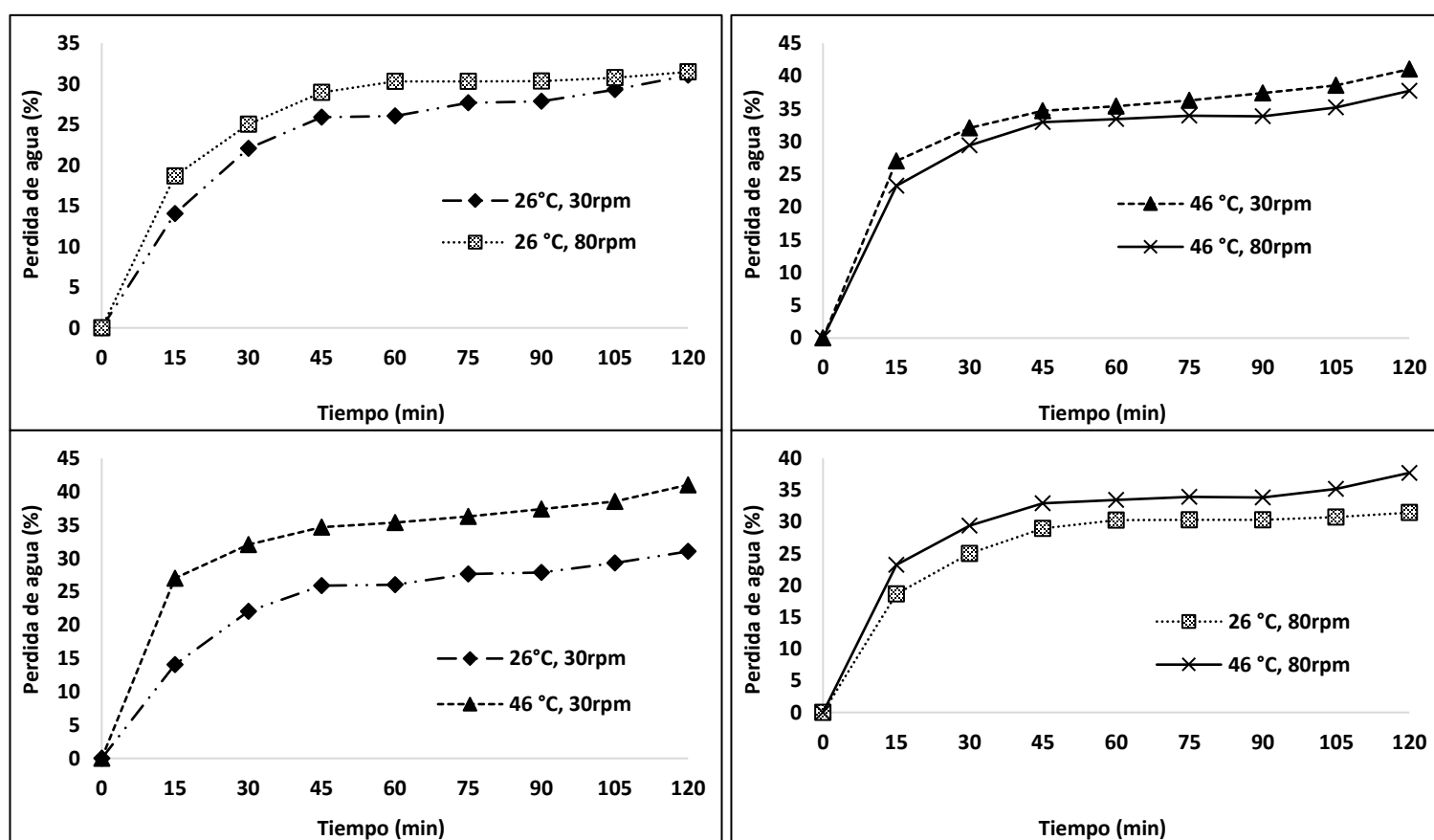


Figura 2: Pérdida de agua (PA%) en relación al tiempo de Deshidratado osmótico (DO) de jengibre.

4.5. Cinética de Ganancia de sólidos (GS%)

Tal como se observa en la tabla 2, 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 una menor ganancia (21.53%),

evidenciando que, a temperaturas altas, mayor ganancia de sólidos. Pereira de Siqueira et al., (2019) mencionan 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 a temperaturas bajas, tiempo de inmersión, concentración, tamaño del alimento 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 una tendencia a incrementar conjuntamente con la temperatura del deshidratado, sin embargo, 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 significativos la temperatura y la interacción de ambas variables para pérdida de peso y pérdida de agua, sin embargo, para la ganancia de sólidos solo la temperatura fue significativa.

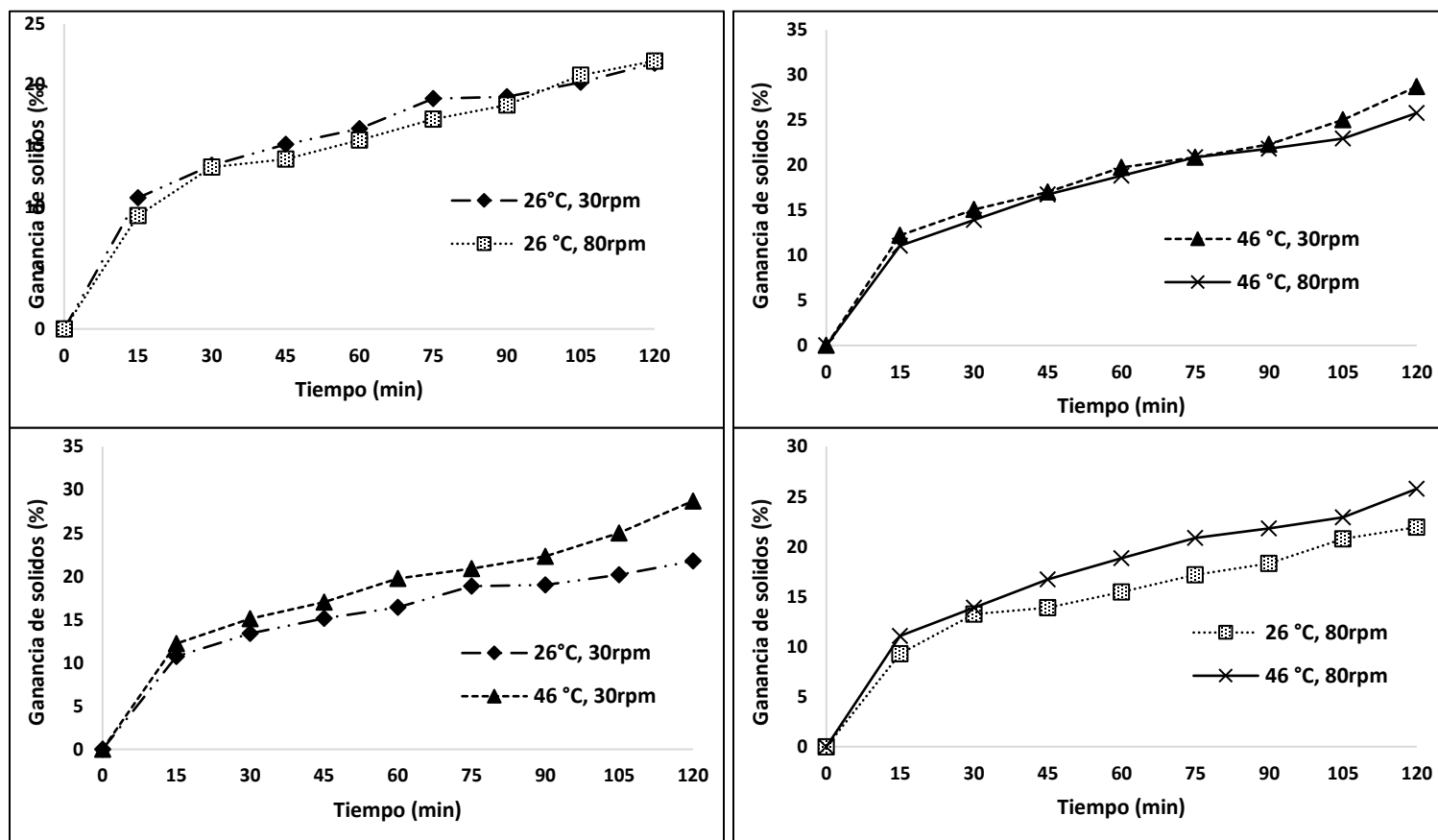


Figura 3: Ganancia de sólidos (GS%) en relación al tiempo de Deshidratado osmótico (DO) de jengibre

4.6. Difusividad (De)

La tabla 2 muestra que el tratamiento de 26°C a 30 rpm mostró mayor difusividad ($5,20 \times 10^{-4}$) y 46°C a 30 rpm menor difusividad ($5,95 \times 10^{-6}$). Garcia & Medina (2019) mencionan que la difusividad es influenciada por el tamaño y agente osmótico de bajo peso molecular ya que penetra fácilmente al alimento que los de alto peso molecular. Oscoco (2018) indica que, a menor temperatura y mayor concentración, existe mayor difusividad, ya ésta depende de la concentración y no de la temperatura. Amami et al., (2014) indican 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 una concentración estándar (60%) para todos los tratamientos.

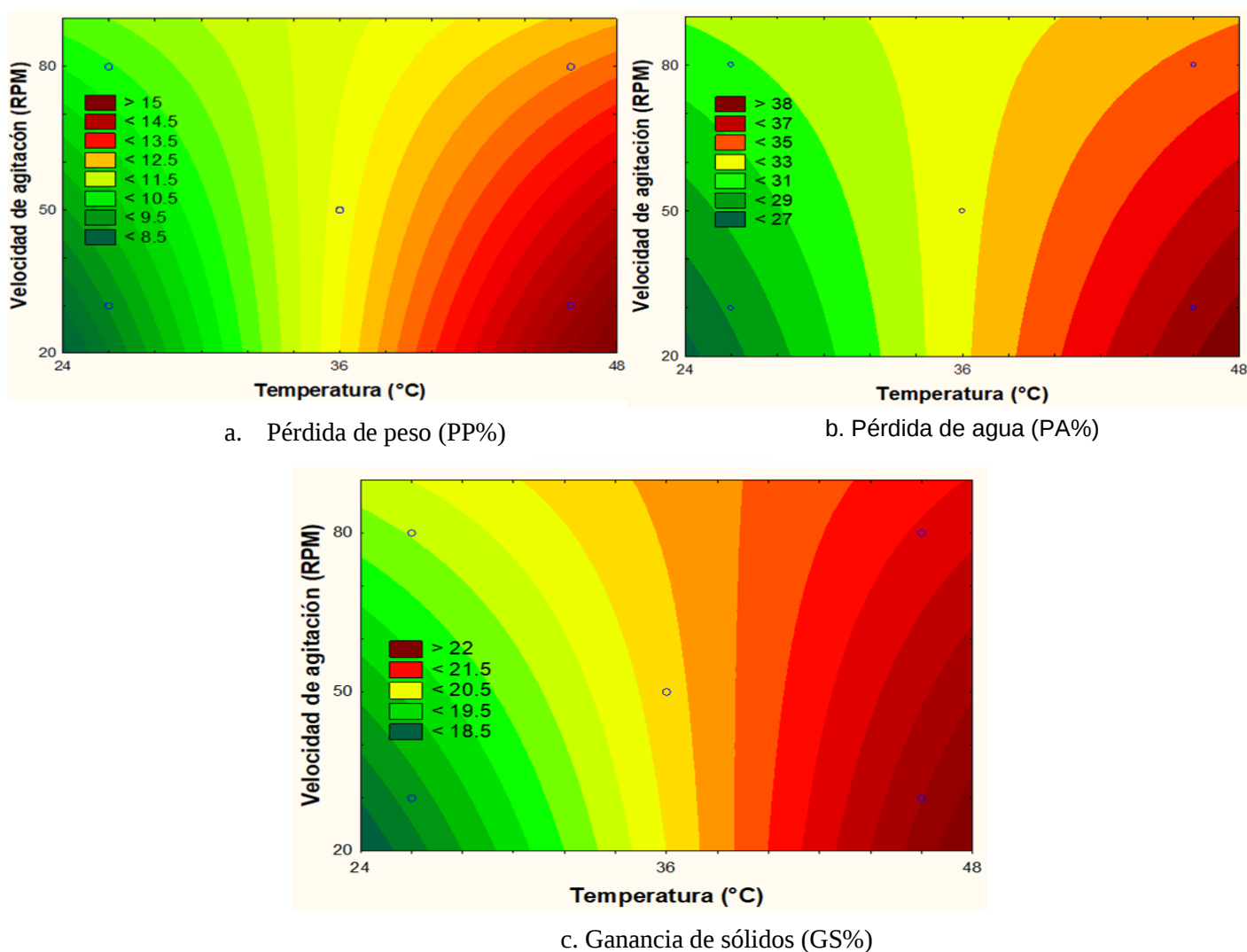


Figura 4: Gráfico de contorno: a) % Pérdida de agua (PP), b) % Pérdida de peso (PA), c) % Ganancia de sólidos (GS) del deshidratado osmótico (DO) de jengibre a 75min.

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

5. 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).

6. Referencias

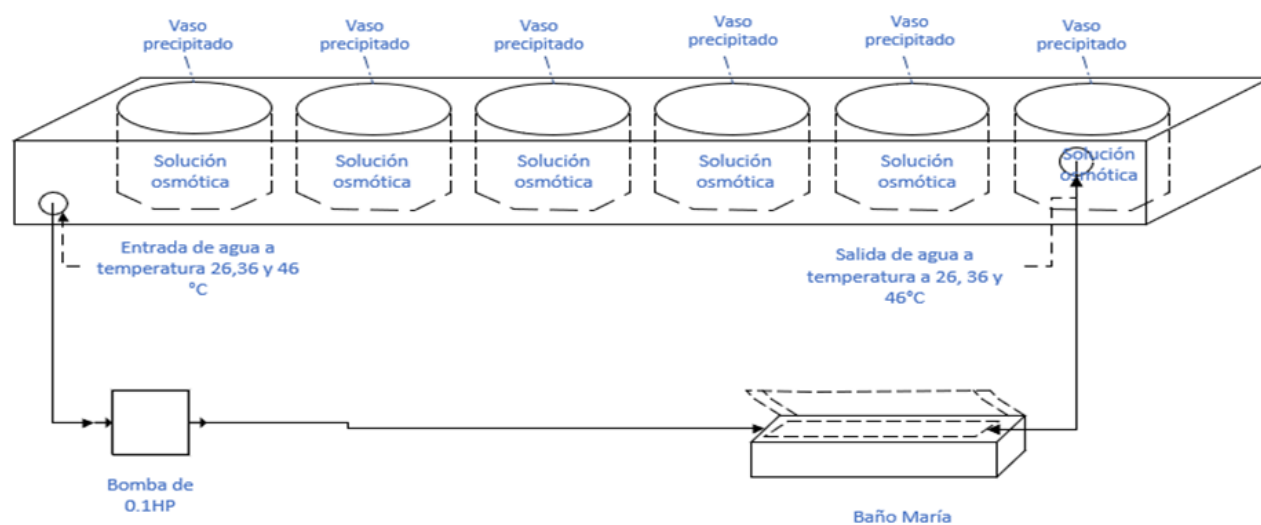
- Acuña, O., & Torres, A. (2010). Aprovechamiento de las propiedades funcionales del jengibre (*Zingiber officinale*) en la elaboración de condimento en polvo, infusión filtrante y aromatizante para quema directa. *Revista Politécnica*, 1-10 (5). <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4343>
- AOAC. (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
- 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>
- Amami, E., Khezami, L., Jemai, A., & Vorobiev, E. (2014). Osmotic dehydration of some agro-food tissue pre-treated 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>
- 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 físico-química 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.
- 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>
- 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>
- MIDAGRI. (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>
- 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>

- 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>
- Rojas, A. P. (2017). Evaluacion de las características nutricionales del confitado de jengibre (zengiber offinale) organico obtenido mediante el metodo de osmodeshidratacion. repositorio.uncp.edu.pe, 1,166(70).
- 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.
- 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>
- 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 Tecnología*. doi:<https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000300179>
- NOP – USA, USDA Organic Standards 7 CFR 205, Reglamentos Orgánicos Estadounidenses, Actualizados al 3 de diciembre de 2013. 7 CFR Parte 205 – Programa Orgánico Nacional. Pg 22 – 37
- Phisut, N. (2012). Mini Review Factors affecting mass transfer during osmotic dehydration of ffruits. *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).
- Pereira de Siqueira, L., Asfora Sarubbo, L., Sakugawa Shinohara, N., Sarmiento 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>.
- 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>
- Osae, R., Zhou, C., Xu, B., Tchabo, W., Tahir, H. E., & Ma, A. T. (2019). Effects of ultrasound, osmotic dehydration; and osmosonation pretreatments on bioactive compounds, chemical characterization; enzyme inactivation, color, and antioxidant activity of dried ginger slices. *Journal of food biochemistry*, 1-14. [http://doi: 10.1111 / jfbc.12832](http://doi:10.1111/jfbc.12832)

- Oscoco, 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>
- 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.
- 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.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.03.008>

7. Dato suplementario



Dato suplementario 1: Sistema de mantenimiento de calor adaptado al equipo agitador, para mantener la temperatura de la solución osmótica durante el deshidratado osmótico de jengibre.