





## Influencia de la temperatura y solutos sobre la cinética de transferencia de materia en deshidratación osmótica de manzana (*Golden delicious*)


### Influence of Temperature and Solutes on the Kinetics of Mass Transfer in Osmotic Dehydration of Apple (*Golden delicious*)

Cledi Puma Condori<sup>1</sup>, Sindy Karina Campos García<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Juliaca, Juliaca, Perú

<sup>2</sup>Universidad Nacional de Agricultura, Catacamas, Honduras

#### Autor de correspondencia:

Cledi Puma Condori 

#### Historial del artículo:

Recibido el 6 de abril de 2025 | Aceptado el 20 de mayo de 2025 | Publicado el 20 de junio de 2025

#### RESUMEN

La deshidratación osmótica implica eliminar agua de los alimentos para reducir el crecimiento de microorganismos y reacciones químicas no deseadas, así como para prolongar su vida útil. El objetivo es evaluar la curva cinética de transferencia de masa en la deshidratación osmótica de manzana (*Golden delicious*) en concentraciones (40 %, 50 % y 60 %) a temperatura ambiente durante cuatro días en continuo cambio. Se conoció la pérdida de masa total, la masa de agua y la masa de sólidos solubles. Además, se evaluó los °Brix, donde mediante balance de masa se pudo obtener 45 g, luego del secado, presentó un peso total de 15 g. Con respecto a los °Brix, se observó que, a las concentraciones de 40 %, 50 % y 60 %, se obtuvieron 30.3, 27.1 y 36, respectivamente. En cuanto a la pérdida de peso al cambiar las concentraciones de 40 %, 50 % y 60 %, fueron de 3, 2, 2, 4 y g, g, respectivamente. También, hubo aumentos en el peso total de sólidos como 40 % (50 g), 60 g y 1 % (60 g). En las muestras sometidas a secado en horno, se observó una pérdida de peso al 40 % (34,57 g), 50 % (32,45 g) y 60 % (27,55 g), quedando un peso total mayor, 14 g más una concentración de 15 g más 12,5 g para así concluir con la mayor cantidad de 145 g. La pérdida de peso en diferentes concentraciones se produjo el segundo día.

**Palabras clave:** osmodeshidratación; masa; cinética; temperatura; manzana

#### ABSTRACT

Osmotic dehydration involves the removal of water from food to decrease the development of microorganisms and unwanted chemical reactions, prolonging shelf life. The objective is to evaluate the kinetic curve of mass transfer in the osmotic dehydration of apple (*Golden delicious*) in concentrations (40 %, 50 % and 60 %) at room temperature for four days in constant change. The loss of total mass, water mass and mass of soluble solids were determined, in addition to this, the ° Brix were evaluated, where it was possible to obtain by means of mass balance of 45 g, after drying it had a total weight of

15 g, with respect to ° Brix it was observed that the concentrations of 40 %, 50 % and 60 % were obtained 30.3, 27.1 and 36 respectively. With respect to the weight loss in the change of concentrations of 40 %, 50 % and 60 % were 3 g, 2.1 g and 4.2 g respectively, there were also weight gains of total solids such as in 40 % (3 g), 50 % (1 g) and 60 % (0 g). The samples subjected to oven drying the weight loss that was observed in 40 % (34.57 g), 50 % (32.45 g) and 60 % (27.55 g) leaving these with a total weight of 12.43 g, 14.55 g and 15.45 g respectively resulting in the concentration with the highest amount of solids and yield is the concentration of 60 %. Finally, it is concluded that the greatest amount of weight loss in different concentrations was on day two.

**Keywords:** osmodehydration; mass; kinetics; temperature; apple

## INTRODUCCIÓN

Las manzanas comenzaron a ser populares en el año, con la 'Starking' variety originaria de Estados Unidos. Sin embargo, la calidad de las manzanas 'Starking' disminuye con el tiempo. Los esquemas de deshidratación osmótica (DO) y términos de procesamiento no térmico han sido considerados para preservar la fruta y modificar el tejido, espectroscopia vibracional y otras técnicas analíticas, también, son utilizadas para estudiar las estructuras moleculares y las interacciones de los carbohidratos (Chen et al., 2017; Petruzzi et al., 2027; Rosas et al., 2012).

La manzana de cera, una fruta originaria del sudeste asiático, contiene diversos compuestos bioactivos como antocianina, carotenoides, ácido ascórbico, glicósidos de flavonol, triterpenoides, chalconas, proantocianidinas, fenoles, saponinas, taninos, alcaloides, esteroides y flavonoides. Se ha descubierto que estos compuestos tienen propiedades antiinflamatorias, antioxidantes, antifúngicas, anticancerígenas y antibacterianas. Sin embargo, la manzana de cera es un producto perecedero, y el deterioro poscosecha puede provocar una apariencia inaceptable y pérdidas de calidad.

Para conservar estas frutas, se han utilizado ampliamente diversas técnicas de conservación, como la deshidratación osmótica (DO), debido a sus excelentes propiedades de eliminación de agua. Se ha descubierto que la DO mejora la textura y el sabor de los productos, prolongando su vida útil. Se ha descubierto que los tratamientos

de ultrasónicos, como la deshidratación osmótica asistida por ultrasonidos (DOU), aumentan la pérdida de agua y la eficiencia durante el proceso de secado. La combinación de ultrasonidos y deshidratación osmótica ha mostrado resultados satisfactorios en diversas frutas y verduras, incluso a temperaturas más bajas (Barrera et al., 2024; De La Cruz & Aguirre, 2025).

La deshidratación implica la eliminación del agua de los alimentos. Esto reduce el riesgo de crecimiento de microorganismos y reacciones químicas indeseadas, y prolonga su vida útil. Otras ventajas incluyen un almacenamiento y transporte más sencillos a un menor coste. Sin embargo, los procesos de eliminación de agua a altas temperaturas y durante largos periodos pueden causar daños nutricionales y sensoriales durante la estabilización del producto. Para minimizar los efectos adversos, se utiliza, habitualmente, una serie de pretratamientos para reducir los cambios sensoriales (pérdida de color) y disminuir las características físicas (incluida la densidad aparente y la capacidad de rehidratación) (Luan et al., 2021; Xavier y Gutiérrez, 2019).

Reducir el contenido de agua de los alimentos es uno de los métodos de conservación más utilizados. Las tecnologías más utilizadas se basan en la evaporación del agua. La deshidratación osmótica (DO) ha despertado un gran interés debido a sus bajas temperaturas de funcionamiento, de 20 a 50 °C. En la deshidratación osmótica (DO), donde los productos se colocan en soluciones hipertónicas, se producen dos efectos principales: el movimiento del agua del

producto hacia la solución hipertónica y el movimiento de solutos hacia el alimento (Altamirano y Genina, 2005). Las frutas son un alimento importante en términos de consumo, aporte nutricional (especialmente por su aporte de fibra, vitaminas, minerales y antioxidantes) y propiedades sensoriales. La deshidratación osmótica es un proceso utilizado en la industria alimentaria y forma parte de los sistemas de procesamiento de frutas y hortalizas. Este procedimiento, también, puede utilizarse como prerrequisito para la eliminación mediante técnicas tradicionales como la convección forzada y la liofilización. La deshidratación osmótica implica procesos de transferencia de masa en los que la eficiencia de la eliminación de humedad y la incorporación de sólidos se basa en la eliminación (Ccaza y Chambi, 2023).

Los probióticos son esenciales para mantener la salud intestinal. Las frutas y verduras son esenciales para la dieta humana, pero su vida útil está limitada por la actividad metabólica y la presencia de microorganismos. La deshidratación osmótica es una técnica utilizada para reducir el contenido de agua e incluir solutos en frutas y verduras, lo que resulta en una mayor vida útil y valor nutricional. La matriz de la manzana es altamente aplicable para los probióticos debido a su alta porosidad y potencial para la supervivencia probiótica a lo largo del tiempo (Ccaza & Chambi, 2023).

El proceso de deshidratación osmótica es complejo, y el estudio de factores como el agente osmótico, la concentración de la solución, el tiempo de inmersión y el efecto de la relación sólido-solución puede resultar difícil con modelos lineales simples. Las técnicas de modelado no lineal y la implementación de una interfaz neurodifusa adaptativa pueden ser adecuadas para estudiar el proceso. Este estudio tuvo como objetivo modelar la densidad óptica de la manzana de cera mediante ANFIS, centrándose en optimizar los parámetros del proceso de deshidratación osmótica asistida por ultrasonido (Barrera et al., 2024).

La industria alimentaria está explorando técnicas innovadoras de procesamiento de alimentos para satisfacer la demanda de los consumidores de dietas sostenibles y saludables. La deshidratación osmótica (DO) y la impregnación al vacío (IV) se utilizan para mejorar el valor nutricional, sensorial y funcional de los productos alimenticios, especialmente cuando se utilizan como pretratamiento en procesos de conservación como el secado o la congelación. La DO y la IV pueden introducir compuestos bioactivos en la matriz alimentaria, lo que ofrece oportunidades para alimentos funcionales sostenibles (Barrera et al., 2024).

Se propone una combinación de tecnologías de ingeniería de matrices, como OD y VI, con operaciones de secado para producir snacks de fruta funcionales, atractivos y nutritivos. Esta combinación realza el sabor y la textura del producto, conservando al mismo tiempo sus nutrientes esenciales. El panela granulada. La panela granulada contiene azúcar en forma de sacarosa, lo que la convierte en una alternativa interesante para la formulación de soluciones osmóticas. Se analizan las propiedades fisicoquímicas y antioxidantes de los productos intermedios y finales para evaluar el potencial de estas técnicas para producir snacks de manzana más nutritivos y sostenibles (Barrera et al., 2024).

Los productos secos, como frutas, verduras y frutos secos, se rehidratan para recuperar sus propiedades, a menudo con agua, zumo o leche. El proceso implica la absorción, el hinchamiento y la lixiviación de las sustancias disueltas. Un proceso de rehidratación rápido puede reducir los costes de mano de obra, la necesidad de espacio de almacenamiento y mejorar la eficiencia de la producción. La capacidad del producto seco para absorber agua es el principal indicador de la exactitud del proceso de secado. El proceso de rehidratación depende del método de secado, los parámetros, el pretratamiento, los daños internos, la composición química del producto, la microestructura, el proceso de rehidratación y las condiciones externas. La

rehidratación mide el grado de cambio durante el procesamiento, pero no puede revertir la deshidratación (Tomasz & Beata, 2025).

La investigación sobre la rehidratación de alimentos deshidratados ha sido extensa, estudiaron el impacto del presecado por microondas y el secado por soplado por explosión en chips de fruta de pitaya, demostrando tasas de rehidratación más rápidas. Estudiaron el efecto de la temperatura de secado en la calidad y las propiedades microestructurales de los pimientos rehidratados, y descubrieron que el pretratamiento minimizaba el daño a la estructura celular y mejoraba la retención de vitamina C, el color y la firmeza, así como descubrieron que la congelación lenta daba como resultado unas gachas porosas con poros grandes y una estructura más quebradiza. La capacidad de los alimentos para absorber líquidos, también, depende de su composición química (Tomasz & Beata, 2025). Por ello, el objetivo de este estudio fue realizar la cinética de deshidratación osmótica de la manzana en concentraciones de 40 %, 50 % y 60 % a temperatura ambiente.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Las muestras fueron recolectadas del mercado, en condiciones óptimas de consumo las manzanas *Golden Delicious* fueron troceadas en dimensiones de 1 cm x 1 cm para el estudio de cinética se utilizó los siguientes materiales y métodos. La materia prima que paso por deshidratación osmótica fueron manzanas rojas con un estado similar de madurez. Asimismo, se utilizó la azúcar blanca y agua comercial para las realizar las concentraciones. Todos estos fueron adquiridos del mercado Las Mercedes del distrito de Juliaca, para lo cual se tomaron 500 g de manzanas peladas y cortadas en cubos de 1 cm.

## Obtención de la solución

La obtención de la solución osmótica se obtuvo disolviendo la sacarosa en agua. Para esto, se trabajó con tres tratamientos con 50 gramos de muestra de manzana para cada tratamiento. Asimismo, se trabajó a diferentes concentraciones 40 %, 50 % y 60 %, tal como se muestra en la Tabla 1. En cuanto al agua, se trabajó con 250 ml para cada tratamiento.

**Tabla 1.** Formulación de tratamientos a diferentes concentraciones

Tratamiento	Peso de manzana (g)	Concentración (%)	Agua (ml)
T1	50	40	250
T2	50	50	250
T3	50	60	250

Para determinar los ° Brix, se utilizó Refractómetro digital HANNA HI96814.

## Método

### Determinación de °Brix

Se determinó utilizando un Refractómetro digital HANNA HI96814. Consistió tomar una pequeña cantidad de la solución azúcar-agua al momento de cambiar la solución, °Brix inicial y °Brix final, se desarrolló por cada día.

### Determinación de peso muestra total

Para la determinación del peso de cada muestra, se realizaron en diferentes días (1, 2, 3 y 4) para cada tratamiento. Consistió en cambiar la misma cantidad de agua y concentración de azúcar que inicialmente se utilizó siguiendo este procedimiento por cuatro días. Finalmente, las tres muestras se llevaron a la estufa las cuales permanecieron durante un aproximado de 48 horas a 40 °C y se determinaron los pesos finales de la deshidratación osmótica de la manzana en cada tratamiento, la cual se determinará mediante la fórmula:

$$\text{Pérdida de peso} = \text{Peso final} - \text{Peso inicial} \dots (\text{Ec } 1)$$

## Determinación de peso de cada cubito de manzana

Este procedimiento se realizó con tres repeticiones para cada tratamiento. Asimismo, se desarrolló por día (1,2,3 y 4). Estos pesos fueron evaluados todos los días que se realizó el cambio de solución de azúcar con 3 repeticiones para poder determinar un promedio total de pesos la cual se utilizara la siguiente formula:

$$PE - TOTAL = \frac{R1 + R2 + R3}{3} \dots (Ec 2)$$

Pe-Total: Pérdida de peso total por cada cubo de manzana

R1: Repetición 1

R2: Repetición 2

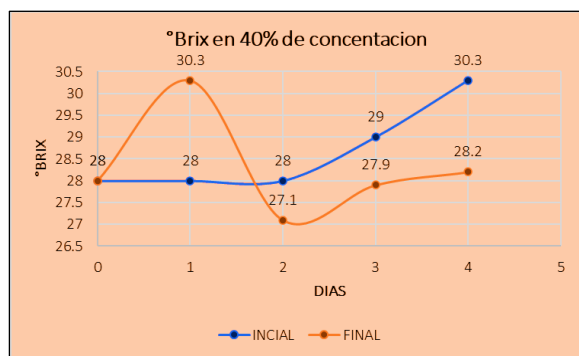
R3: Repetición 3

Esta repetición se realizó en cada concentración y en cada día de evaluación

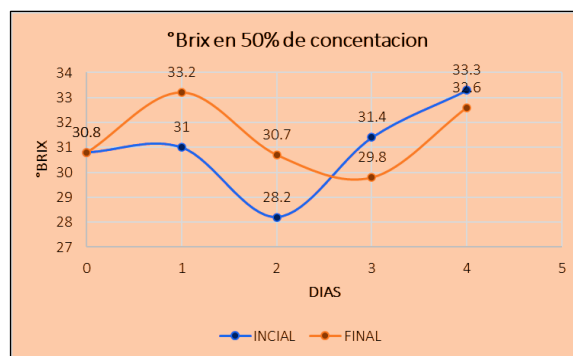
## RESULTADOS

### Determinación de °Brix

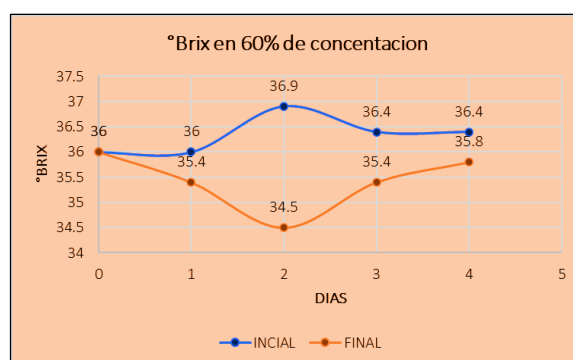
Se determinó utilizando un Refractómetro digital HANNA HI96814. Consistió tomar una pequeña cantidad de la solución azúcar-agua al momento de cambiar la solución, °Brix inicial y °Brix final, se desarrolló por cada día.



**Figura 1.** Aumento y disminución de °Brix en la ganancia y pérdida de concentración de azúcares de 40 % en la manzana.



**Figura 2.** Aumento y disminución de °Brix en la ganancia y pérdida de concentración de azúcares de 50 % en la manzana.



**Figura 3.** Aumento y disminución de °Brix en la ganancia y pérdida de concentración de azúcares de 60 % en la manzana.

### Determinación de peso muestra total

Se realizó el día 0 los pesos de las manzanas en tamaños y proporciones iguales, así como se muestra en la tabla.

**Tabla 2.** Preparación de muestras en diferentes concentraciones

Día	Tratamiento	Peso de manzana (g)	Concentración (%)	Azúcar (g)	Agua (ml)
0	T1	50	40	100	250
	T2	50	50	120	250
	T3	50	60	150	250
Promedio		50	50	123.33	250
Desv. Est M		0	10	25.16	0

Los pesos fueron evaluados en 4 diferentes días con diferentes concentraciones, las disoluciones de se prepararon cada día. Todos los días se cambió la disolución para observar la ganancia o

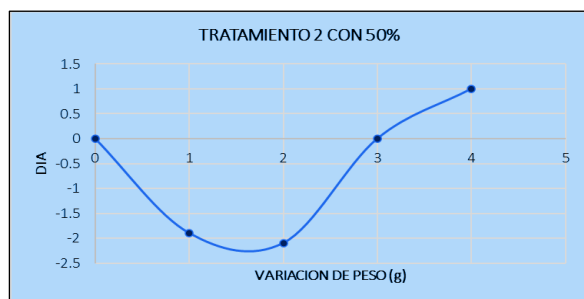
pérdida de peso, así como la que se muestra en la tabla.

**Tabla 3.** Ganancia y pérdida de peso en diferentes días después del cambio de concentración

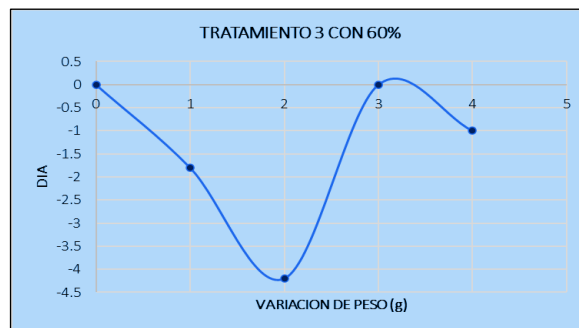
Día	Tratamiento	Peso inicial	Peso final	Pérdida o ganancia
0	T1	50	50	0
	T2	50	50	0
	T3	50	50	0
1	T1	50	48	-2
	T2	50	48.1	-1.9
	T3	50	48.2	-1.8
2	T1	48	45	-3
	T2	48.1	46	-2.1
	T3	48.2	44	-4.2
3	T1	45	48	3
	T2	46	46	0
	T3	44	44	0
4	T1	48	47	-1
	T2	46	47	1
	T3	44	43	-1



**Figura 4.** Pérdida y ganancia de peso en manzanas en diferentes días en una concentración de 40 %



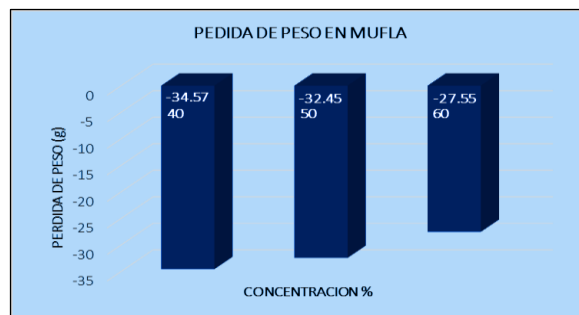
**Figura 5.** Pérdida y ganancia de peso en manzanas en diferentes días en una concentración de 50 %



**Figura 6.** Pérdida y ganancia de peso en manzanas en diferentes días en una concentración de 60 %



**Figura 7.** Pérdida de peso final en las concentraciones de solución de azúcar (antes desecado en estufa)



**Figura 1.** Pérdida de peso final mediante estufa en diferentes concentraciones de solución de azúcar

### Determinación de peso por cada unidad cubo de manzana

Este procedimiento se realizó con tres repeticiones para cada tratamiento; asimismo, se desarrolló por día (1, 2, 3 y 4).

**Tabla 4.** Peso de los días 1, 2, 3 y 4 en las tres repeticiones evaluadas con las 3 concentraciones

Día	Repetición	Peso unitario de manzana		
		T1 (40 %)	T2 (50 %)	T3 (60 %)
1	R1	1.09	0.79	1
	R2	0.95	1.09	0.77
	R3	1	0.5	0.75
	<b>Promedio</b>	<b>1.01</b>	<b>0.79</b>	<b>0.84</b>
2	R1	1.02	1.06	0.77
	R2	0.75	0.89	1.28
	R3	0.88	1.02	1.16
	<b>Promedio</b>	<b>0.88</b>	<b>0.99</b>	<b>1.07</b>
3	R1	0.72	0.93	0.72
	R2	0.81	0.95	0.83
	R3	0.99	0.6	1.25
	<b>Promedio</b>	<b>0.84</b>	<b>0.83</b>	<b>0.93</b>
4	R1	0.81	0.76	0.96
	R2	0.85	1.09	1.22
	R3	1.02	1.02	0.8
	<b>Promedio</b>	<b>0.89</b>	<b>0.96</b>	<b>0.99</b>

## DISCUSIÓN

Xavier y Gutiérrez (2019) evaluaron el efecto de la deshidratación osmótica (DO) de fragmentos de frutos criolla se realizó en una emulsión (emulsión de 600 g sólido kg<sup>-1</sup>) elaborada con capsula, Jamaica y una oleorresina de chile piquín durante 120 min a 40°C. También, la manzana fue osmo deshidratada en una mezcla de sacarosa - Jamaica para propósitos de comparación. Se evaluó el impacto de la DO en la disminución de agua y en el incremento de sólidos durante el procedimiento. Los estudios usados con la solución evidenciaron un incremento en el volumen de aceite, fenoles solubles y antocianinas monoméricas. La inclusión de Jamaica en la solución osmótica promovió la alteración del color de las pruebas. Las micrografías de los fragmentos osmodeshidratados con la emulsión mostraron la existencia de microcápsulas de aceite en la microestructura de la manzana.

Los hallazgos logrados indicaron que la aplicación de un compuesto acuoso de Jamaica como agente osmótico posee la capacidad de alterar el color, así como aumentar el contenido de fenoles solubles y antocianinas monoméricas.

Puente et al. (2010) evaluaron la influencia del pretratamiento osmótico en el secado con aire caliente de manzanas Granny Smith. El pretratamiento osmótico (DO) fue a

tres concentraciones (30, 40 y 50 °Brix). El proceso de secado de manzana con aire caliente fue a dos temperaturas (55 y 65 °C). La tasa de deshidratación fue mayor para las manzanas pretratadas que para las manzanas frescas. Las condiciones óptimas se crearon mediante pretratamiento osmótico DO 50°Brix con aire caliente SAC 65°C. Se concluyó que debido al proceso de deshidratación osmótica de las manzanas Granny Smith, la aplicación de concentraciones de 30 °Brix, 40 °Brix y 50 °Brix tiene un impacto significativo en la pérdida de humedad, adición de sólidos y reducción de peso, los cuales varían dependiendo de factores como el tiempo de inmersión y la concentración de las soluciones utilizadas.

Según Conway et al. (1983), las consideraciones de transferencia de masa en la deshidratación osmótica de manzanas usando un sistema de circulación, donde los parámetros investigados fueron la pérdida de agua y la ganancia de azúcar. Fue encontrado que la pérdida de agua estuvo influenciada por la temperatura y los °Brix del agente osmótico. La ganancia de azúcar alcanzó un máximo después de 30 min., tiempo de deshidratación, y se mantuvo constante durante el resto del procesamiento tiempo.

Altamirano y Genina (2005) lograron realizar la deshidratación osmótica de prismas de camote, manzana y papa. Se establecieron las cinéticas de variación total en las masas de prismas de sección cuadrada y tres distintos espesores. Los camotes fueron sometidos a procesos de deshidratación osmótica utilizando soluciones de sacarosa en agua a dos distintas concentraciones y dos temperaturas. En los casos donde se disminuyó la impregnación y se promovió la deshidratación, es necesario operar a temperaturas más bajas al utilizar concentraciones superiores.

Según Khin et al. (2007), el impacto de las condiciones del proceso y los recubrimientos en la deshidratación eficiencia, así como estructura celular del tejido de manzana durante la deshidratación

osmótica, el tratamiento combinado de recubrimiento y deshidratación osmótica a manzanas se realizó utilizando dextrosa y sacarosa como agentes osmóticos. Se estudió la relación y el índice de eficiencia de deshidratación. Se encontró una mayor relación de rendimiento en las manzanas recubiertas a altas temperatura de 55 °C. Se obtuvo un mejor rendimiento cuando la sacarosa fue el agente osmótico en comparación con la dextrosa. Mejor deshidratación se encontró eficiencia en las muestras recubiertas a temperaturas más altas que a temperatura baja, cuando se deshidrataron osmóticamente con una solución de sacarosa a 55 °C. Esto puede deberse al hecho de que los materiales de recubrimiento podrían prevenir la absorción de solutos y mantener la estructura de la pared celular de las manzanas, Además, las manzanas recubiertas deshidratadas osmóticamente por solución de dextrosa mostraron colapso de la estructura celular.

Lerici et al. (1985) realizaron la deshidratación osmótica de la fruta: Influencia de los agentes osmóticos en el comportamiento de secado y calidad del producto, en distintas soluciones osmóticas, con o sin bajas cantidades de NaCl, fueron probados para evaluar sus efectos sobre las características de las manzanas osmoseadas (elegidas en nuestras experiencias como fruta "modelo"). La pérdida de agua y la actividad del agua del producto final se vieron afectadas no solo por el agente osmótico, sino también por la ganancia de sólidos en la muestra. Al mismo tiempo del tratamiento, la ganancia sólida dependía de la química composición de los jarabes y la forma de las muestras. Suma de pequeñas cantidades de NaCl a soluciones osmóticas aumentó la conducción fuerza del proceso de secado.

Derossi et al. (2008) evaluaron la transferencia de masa durante la deshidratación osmótica de manzanas. Los procesos de deshidratación osmótica se aplican ampliamente para obtener alimentos de humedad intermedia de alta calidad. El estudio de la cinética de deshidratación y los

mecanismos de transferencia de masa son muy importantes para comprender, controlar el proceso de deshidratación osmótica, y los cambios internos, en donde se informa la cinética del cambio de humedad y la movilidad durante la deshidratación osmótica de las manzanas. No fue posible explicar el proceso de tratamiento osmótico usando solo mecanismos basados en la difusión.

Según Derossi et al. (2008), un modelo de difusión de estado no estacionario basado en Fickian fue encontrado para describir adecuadamente la cinética de osmótica deshidratación de tejido de manzana en una solución de sacarosa. Los resultados encontrados enfatizan la hipótesis propuesta por varios autores de que otros mecanismos de deshidratación como capilaridad y los flujos están involucrados durante el tratamiento osmótico.

Kaymak-ertekin y Sultano (2000) analizaron el mecanismo de deshidratación osmótica de rodajas de manzana en diferentes concentraciones de sacarosa, dextrosa y azúcar. Se investigaron soluciones mixtas de crosa más dextrosa, y, también, a diferentes temperaturas. Se reconoció que a medida que la concentración y la temperatura aumentan, la pérdida de agua, también, aumenta a un nivel considerable. Se observó que, en sacarosa más dextrosa, mezclada solución que tiene la misma concentración total de materia seca, tanto la pérdida de agua como la ganancia de sólidos aumentaron como dextrosa en la mezcla. La tasa de deshidratación osmótica aumentó con la concentración tratamiento de la solución de ósmosis y la temperatura del proceso. Una comparación de varias soluciones de ósmosis mostró que las soluciones mixtas de sacarosa más dextrosa dieron una mayor tasa de deshidratación como la concentración de dextrosa en la solución mixta. Dado que las condiciones de equilibrio experimental fueron no se alcanza por completo en la ósmosis de 8 h de las manzanas.

Según Sereno et al. (2001), los coeficientes de transferencia de masa, durante la deshidratación osmótica de



manzana en soluciones acuosas simples y combinadas de azúcar y sal, se deshidrataron muestras de cilindros de manzana por inmersión en soluciones acuosas binarias de sacarosa y cloruro de sodio con diferentes, así como las temperaturas y concentraciones correspondientes, junto con soluciones ternarias de ambos solutos. Datos experimentales sobre el contenido de humedad de la muestra y la ganancia de sólidos contra el tiempo se ajustaron a un modelo difusional simplificado válido para tiempos de operación cortos. Un flujo neto de sólidos hacia la solución se observó durante el contacto inicial con soluciones de sal, que cambió más tarde a una ganancia real de sólidos como con el azúcar soluciones. La relación entre la pérdida de agua y la ganancia de sólidos para cada uno de los que se sometieron a osmosis fue particularmente alta en el caso de las soluciones salinas, debido a una baja ganancia de sólidos.

Vicente (2016) menciona que las propiedades reológicas, la movilidad molecular del agua y las muestras impregnadas en soluciones azucaradas de alta concentración mostraron una mayor eliminación de agua y un incremento en sólidos en comparación con las impregnadas en soluciones de baja concentración. La presencia de agua ya sea en niveles elevados o bajos, y las interacciones con la estructura matricial, tienen un impacto significativo en la mayoría de las características del tejido. Las muestras de manzanas osmóticamente deshidratadas resultaron ser más suaves y deformables que las manzanas frescas, perdiendo su dureza y su consistencia crujiente. La deshidratación osmótica en las muestras de manzana inmersas en soluciones de azúcares con una  $a_w$  de 0,97 causó alteraciones drásticas en las propiedades de compresión, en contraste con los tratamientos de disminución de la  $a_w$ , hasta 0,94, más severos, que provocaron modificaciones menores que conservaron las características mecánicas más parecidas a las del tejido fresco. Este fenómeno podría deberse a la compactación del tejido a causa

de la pérdida de agua y el aumento de sólidos derivados de la deshidratación osmótica.

Flores-Andrade et al. (2013) analizaron el impacto de la proteína de suero de leche-sacarosa en la deshidratación osmótica de manzanas, examinando la transferencia de masa en placas de manzana en combinaciones acuosas de sacarosa-concentrado de proteína de suero (WPC) de leche a 40 °C. Para ello, se elaboraron combinaciones de WPC-sacarosa en distintas niveles y duraciones de inmersión de hasta 400 min, se evaluó la actividad del agua ( $a_w$ ) y se estimó la presión osm. Los datos de pérdida de masa (ML), pérdida de agua (WL) y ganancia de sólidos (SG) se determinaron y calcularon utilizando los coeficientes de difusión aparente del agua ( $D_w$ ). Los hallazgos indicaron que las  $a_w$  de las mezclas se ubicaron en el intervalo de 0.947-0.998; en cambio, los coeficientes de difusión  $D_w$  promedio se situaron entre 1.16 y 2.321010  $m^2/s$ . Se notó que cuando la sacarosa era menos abundante y el WPC era más alto, los valores de pérdida de masa en el equilibrio (ML1), la pérdida de agua en el equilibrio (WL1) y la difusión ( $D_w$ ) se reducían. Se observó una resistencia al flujo y a la transferencia de masa al aplicar proporciones de WPC-sacarosa de 2:3 y 3:2, lo que probablemente se debe a la creación de una membrana líquida de biopolímero alrededor de la placa de manzana.

Rosas et al. (2012) evaluaron los efectos del pretratamiento ultrasónico para la deshidratación osmótica (DO) sobre los coeficientes de difusión efectivos y la estructura molecular de cubos de manzana 'Starking' mediante FTIR. El estudio reveló que los coeficientes de sólidos fueron superiores a los de agua debido a las diferencias de concentración. Los cambios estructurales se determinaron midiendo la frecuencia de vibración molecular de la sacarosa. Los resultados mostraron que la concentración de agua afectó significativamente el coeficiente de difusión debido a su dependencia de la estructura física del alimento. El estudio destaca la

importancia de reducir el contenido de humedad inicial y modificar la estructura del tejido del fruto.

Por otro lado, Ccaza y Chambi (2023) evaluaron el impacto de la temperatura y la concentración de sacarosa en la estabilidad de *Saccharomyces boulardii* durante la deshidratación osmótica de cubos de manzana *Granny Smith*. Los investigadores prepararon soluciones osmóticas con diferentes concentraciones de sacarosa e inocularon *S. boulardii* en estas soluciones. Los cubos se expusieron a diferentes temperaturas durante 80 minutos y se calcularon diversos parámetros. Los resultados mostraron que los cubos tratados a 50 °Brix y 47 °C experimentaron una pérdida de peso del 40 %, mientras que aquellos a 60 °Brix y 42 °C mostraron un aumento del 350 % en la ganancia de sólidos. El mayor número de generaciones de la cepa se produjo en el grupo de 50 °Brix y 37 °C. El estudio sugiere que las altas temperaturas y las concentraciones de solutos pueden inhibir el desarrollo de la cepa *S. boulardii* en cubos de manzana.

Asimismo, Sundarsingh et al. (2023) investigaron el impacto del ultrasonido en la deshidratación osmótica de la ananá mediante un sistema de inferencia difusa. Se optimizaron los parámetros del proceso, incluyendo la temperatura y el tiempo de sonicación, la concentración de azúcar y la relación muestra/disolvente. Se desarrolló un modelo de interfaz neuronal difusa adaptativa (ANFIS) con alta capacidad predictiva. Los parámetros óptimos fueron 38,6 °C, 186 min, 62 % de concentración de azúcar y 11,7 p/v de relación disolvente muestra. Los valores predichos fueron 40,698, 3,097 y 10,916, respectivamente.

Barrera et al. (2024) propusieron el uso de panela como agente osmótico no convencional, combinando técnicas de impregnación al vacío y deshidratación osmótica, y su estabilización mediante secado por aire caliente convectivo o liofilización. Las propiedades antioxidantes de la panela se pueden incorporar al tejido, y la estabilización

mediante HAD mejora significativamente las propiedades antioxidantes de los snacks enriquecidos con panela. La adición de panela y las técnicas de procesamiento afectan las propiedades ópticas y texturales, y la FD estabiliza los snacks.

Finalmente, Tomasz y Beata (2025) analizaron el proceso de rehidratación de manzanas deshidratadas en forma cúbica, mediante métodos de pretratamiento como el escaldado al vapor, el calentamiento por microondas y la deshidratación osmótica en una solución de sacarosa. El proceso de rehidratación se llevó a cabo a 20 °C durante 150 minutos, y se observó que el secado osmótico redujo el proceso hasta en un 32 %.

## CONCLUSIONES

Este estudio tiene la finalidad de mostrar una deshidratación osmótica en condiciones ambientales, esto con el fin de hacer que el alimento tenga mayor conservación y vida útil. Se realizó deshidratación osmótica de las manzanas, donde se obtuvo el balance materia de los trozos de manzana desde momento que ingreso a diferentes concentraciones en sacarosa (40 %, 50 % y 60 %). El peso promedio de los trozos de manzana se evaluó después del periodo de 4 días, donde se encontraron rangos de 48g.

Los brix, que se determinaron en estos 4 días en el tratamiento con 40 % de concentración de azúcar, tuvieron mayores resultados en el día 1 con (30.3) y los °Brix menores que se observaron en el día dos con un (27.1). En la concentración de 50 % los resultados con mayor °Brix oscilaron entre el día 1 y 4. Por otro lado, se observó valores menores de °Brix en el día 2 y 3.

Finalmente, se tuvo resultados de °Brix de la concentración 60 %, en el día 0 se observó 36°brix considerándose el más alto valor, posteriormente, se encontraron 35°brix en los días restantes.

La pérdida de peso en los días de evaluación fue incrementando porque al ser sometida las diferentes concentraciones estas muestras tuvieron una pérdida de agua y

Gancia de sólidos. Siendo estas las pérdidas en la concentración de 40 %; en el día 2, tuvo pérdida de 3g; sin embargo, en el día 3, hubo incremento de 3g. Esta ganancia de sólidos se vuelve un factor importante para pruebas de deshidratación osmótica. Asimismo, la concentración 50 %, en el día 2, tuvo una pérdida de peso de 2.1 g y una ganancia de sólidos de 1 g en el día 4. Posteriormente, en la concentración de 60 % hubo una mayor pérdida de peso de 4.2 g en el día 2 y no tuvo ganancia de sólidos en ninguno de los días.

Se llega a la conclusión que la mayor cantidad de pérdida de peso en diferentes concentraciones se tuvo en el día 2. Estas muestras se sometieron a un secado por estufa, obteniendo los siguientes resultados en la concentración de 40 % tuvo una pérdida de peso de 34.57 g, de esta manera, queda como peso final 12.43 g. Por otro lado, la concentración de 50 % tuvo una pérdida de 32.45 g, dejando como peso final de 14.55 g y como último se tiene la concentración de 60 %, que tuvo una pérdida de 27.55 donde quedo 15.45 g de peso en seco. Concluimos que el mejor tratamiento es del 60 % que tuvo mayor cantidad de ganancia de sólidos solubles y que, también, tiene mayor rendimiento.

## CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico.

## REFERENCIAS

- Altamirano, S., & Genina, P. (2005). Deshidratación osmótica de prismas de camote, manzana y papa. *Comunicaciones Reports*, 485-487. <https://doi.org/33910707>
- Barrera, C., Betoret, N., & Segui, L. (2024). Potential of vacuum impregnation and osmotic dehydration techniques in producing jaggery- fortified apple snacks. *Sustainable FoodTechnology, Vi*, 1041-1051. <https://doi.org/10.1039/d3fb00255a>
- Ccaza, M., & Chambí, A. (2023). Influence of temperature and solute concentration during osmotic dehydration of apple (*Malus domestica*) cubes on the stability of probiotics. *Agronomía Colombiana*, 41(2), 1-9. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v41n2.108868>
- Chen, X., Lu, J., Li, X., Wang, Y., Miao, J., Mao, X., Zhao, C., & Gao, W. (2017). Effect of blanching and drying temperatures on starch-related physicochemical properties, bioactive components and antioxidant activities of yam flours. *LWT*, 82. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.04.058>
- Conway, J., Castaigne, F., Picard, G., & Vovan, X. (1983). Mass Transfer Considerations in the Osmotic Dehydration of Apples. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 16(1), 25-29. [https://doi.org/10.1016/s0315-5463\(83\)72014-6](https://doi.org/10.1016/s0315-5463(83)72014-6)
- De La Cruz, G. & Aguirre, E. (2025). Determination of the enzymatic activity and the percentage of PPO inhibition in the carom sheets post-treated by blanching and osmodehydration. *Journal of Scientific and Technological Research Industrial*, 6(1), 17-24. <https://doi.org/10.47422/jstri.v6i1.57>
- Derossi, A., De Pilli, T., Severini, C., & McCarthy, M. J. (2008). Mass transfer during osmotic dehydration of apples. *Journal of Food Engineering*, 86(4), 519-528. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.11.007>
- Flores-Andrade, E., Pascual-Pineda, L.A., Jiménez, M., & Beristain, C.I. (2013). Efecto de la proteína de suero de leche-sacarosa en la deshidratación osmótica de manzana. *Revista mexicana de ingeniería*

- química, 12(3), 415-424.  
<https://tinyurl.com/5c7rur49>
- Kaymak-ertekin, F., & Sultano, M. (2000). *Modelling of mass transfer during osmotic dehydration of apples*. 46.
- Khin, M. M., Zhou, W., & Perera, C. O. (2007). Impact of process conditions and coatings on the dehydration efficiency and cellular structure of apple tissue during osmotic dehydration. *Journal of Food Engineering*, 79(3), 817-827.  
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.02.046>
- Lerici, C. R., Pinnavaia, G., Rosa, M. D., & Bartolucci, L. (1985). Osmotic Dehydration of Fruit: Influence of Osmotic Agents on Drying Behavior and Product Quality. *Journal of Food Science*, 50(5), 1217-1219.  
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1985.tb10445.x>
- Luan, F., Peng, L., Lei, Z., Jia, X., Zou, J., Yang, Y., He, X., & Zeng, N. (2021). Traditional Uses, Phytochemical Constituents and Pharmacological Properties of Averrhoa carambola L.: A Review. *Frontiers in Pharmacology*, 12. <https://doi.org/10.3389/FPHAR.2021.699899/PDF>
- Petruzzi, L., Campaniello, D., Speranza, B., Corbo, M. R., Sinigaglia, M., & Bevilacqua, A. (2017). Thermal Treatments for Fruit and Vegetable Juices and Beverages: A Literature Overview. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(4). <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12270>
- Puente, L., Lastreto, S., Mosqueda, M. J., Saavedra, J., & Cordova, A. (2010). Influence of osmotic pretreatment on the hot airdrying of Granny Smith apple. *Dyna*, 77(164), 274-283.
- Rosas, M., Fernández, M., & Arjona, R. (2012). The effects of ultrasonic pretreatment and structural changes during the osmotic dehydration of the 'Starking' apple (*Malus domestica* Borkh). *Spanish Journal of Agricultural Research*, 10(2), 299-305.  
<https://doi.org/10.5424/sjar/2012102-158-11>
- Sereno, A. M., Moreira, R., & Martinez, E. (2001). Mass transfer coefficients during osmotic dehydration of apple in single and combined aqueous solutions of sugar and salt. *Journal of Food Engineering*, 47(1), 43-49. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00098-4](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00098-4)
- Sundarsingh, A., BhagyaRaj, G. V. S., & Dash, K. K. (2023). Modeling and optimization of osmotic dehydration of wax apple slices using adaptive neuro-fuzzy inference system. *Applied Food Research*, 3(2), 100316.  
<https://doi.org/10.1016/j.afres.2023.100316>
- Tomasz, H., & Beata, B. (2025). The Effect of Pre-Treatment on the Rehydration of Dried Apple Cube. *Applied Sciences*.  
<https://doi.org/10.3390/app15031377>
- Vicente, S. (2016). *Deshidratación osmótica de tejido de manzana: influencia de la naturaleza del agente osmótico y de la actividad de agua en la estructura, las propiedades reológicas y la movilidad molecular del agua*.
- Xavier, F., & Gutiérrez, O. (2019). *Evaluation of osmotic dehydration as a tool for enrichment with bioactive compounds in apple*. 10(5), 1151-1156