

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Departamento de Agroindustria Alimentaria
Ingeniería en Agroindustria Alimentaria



Proyecto Especial de Graduación
**Revisión Literaria y optimización de la deshidratación osmoconvectiva de
piña (*Ananas comosus*)**

Estudiantes

Eimy Gabriela González Vargas

Gerald José Reyes Gutiérrez

Asesores

Jorge Cardona, Ph.D.

Luis Maldonado, Ph.D.

Honduras, julio 2021

Autoridades

TANYA MÜLLER GARCÍA

Rectora

ANA M. MAIER ACOSTA

Vicepresidenta y Decana Académica

ADELA M. ACOSTA MARCHETTI

Directora Departamento de Agroindustria Alimentaria

HUGO ZAVALA MEMBREÑO

Secretario General

Contenido

Índice de Cuadros.....	4
Índice de Figuras	5
Índice de Anexos	6
Resumen	7
Abstract.....	8
Introducción.....	9
Materiales y Métodos	12
Resultados y Discusión.....	19
Conclusiones	40
Recomendaciones.....	41
Referencias.....	42
Anexos.....	52

Índice de Cuadros

Cuadro 1 Descripción del diseño experimental.	13
Cuadro 2 Niveles axiales y factoriales del diseño experimental completo.....	14
Cuadro 3 Delineamiento del diseño experimental completo.....	15
Cuadro 4 Análisis de regresión y varianza de un modelo polinomial en función de grados Brix (B°), tiempo de inmersión (h) y concentración de inulina (%) para actividad de agua.	34
Cuadro 5 Resultados de análisis físicos y químicos de piña fresca, deshidratada por osmo-convección y deshidratada por convección.	38
Cuadro 6 Resultados de parámetros de color de piña fresca, deshidratada por osmo-convección y deshidratada por convección.....	39

Índice de Figuras

Figura 1 Efecto de las variables independientes sobre la actividad de agua. a) inulina(%) y °Brix; b) horas de inmersión y °Brix; c) inulina(%) y horas de inmersión.....	34
Figura 2 Efecto de los grados Brix, tiempo de inmersión y porcentaje de inulina sobre la deseabilidad del modelo basado en la actividad de agua, rendimiento (%), luminosidad(L*) y ángulo de matiz.	37

Índice de Anexos

Anexo A Reducción de luminosidad y ángulo de matiz	52
Anexo B Efecto de las variables independientes sobre rendimiento. a) inulina (%) y °Brix; b) horas de inmersión y °Brix; c) inulina (%) y horas de inmersión.....	53
Anexo C Efecto de las variables independientes sobre reducción de luminosidad. a) inulina (%) y °Brix; b) horas de inmersión y °Brix; c) inulina (%) y horas de inmersión.....	54
Anexo D <i>Efecto de las variables independientes sobre ángulo de matiz. a) inulina (%) y °Brix; b) horas de inmersión y °Brix; c) inulina (%) y horas de inmersión.....</i>	55

Resumen

La piña es una de las frutas tropicales más importantes en el mundo y se destaca por su sabor, jugosidad y calidad nutricional. Los objetivos del estudio fueron realizar una revisión literaria sobre la piña, optimizar el proceso de Deshidratación Osmo-Convectiva (DOC) de piña y comparar los efectos fisicoquímicos y nutricionales de la DOC y el Secado Convectivo (SC). En la fase 1 se realizó una revisión literaria referente a la producción y procesamiento de la piña y los métodos tradicionales y modernos en la deshidratación de frutas. Se utilizó la metodología de Superficie de Respuesta en la fase 2, donde se evaluó el efecto de los grados Brix (30-50 °), el tiempo de inmersión (4 – 8 h) y la inulina (20 - 40%) sobre parámetros fisicoquímicos de la piña deshidratada. En la fase final, se realizó una comparación de los efectos fisicoquímicos observados entre la DOC y el SC, y se utilizó una prueba de separación de medias Duncan y un análisis de varianza (ANDEVA). La actividad de agua (A_w) fue la única variable dependiente que se ajustó a un modelo predictivo de optimización. Con la función de deseabilidad, se determinó una combinación de 23.8 °B, 9.4 h y 38.4% de inulina como el tratamiento óptimo de DOC, el cual, obtuvo un valor de a_w , de 0.587. Se evidenciaron diferencias estadísticas en la fase tres, donde la DOC reflejó una mejor conservación del color (L^* y Hue), un mayor contenido de fibra dietética (8.42%) y rendimiento (21.9%), pero el SC fue más efectivo en reducir a_w (0.549).

Palabras clave: Actividad de agua, fibra dietética, inulina, piña deshidratada, superficie de respuesta.

Abstract

Pineapple is one of the most important tropical fruits in the world and stands out for its flavor, juiciness and nutritional quality. The objectives of the study were to carry out a literary review of pineapple, to optimize the Osmo-Convective Dehydration process (OCD) of pineapple and to compare the physicochemical and nutritional effects of OCD and Convective Drying (CD). In phase 1, a literary review was carried out regarding the production and processing of pineapple, as well as the traditional and modern methods in the dehydration of fruits. In phase three, the Response Surface Methodology was used to evaluate the effect of Brix degrees (30 - 50 °), immersion time (4 - 8 h) and inulin (30 - 50%) on physicochemical parameters of dehydrated pineapple. In the final phase, a comparison of the observed physicochemical effects of OCD and CD was evaluated, by using Duncan's test and analysis of variance (ANOVA). Water activity (a_w) was the only dependent variable that was adjusted to an optimization predictive model. With the desirability function, a combination of 23.8 °B, 9.4 h and 38.4% of inulin was determined as the optimal OCD treatment, which obtained an a_w value of 0.587. Statistical differences were observed in phase three, where the OCD showed a better color preservation, a higher content of dietary fiber (8.42%) and yield (21.9%). However, SC was more effective in reducing a_w (0.549).

Keywords: Dehydrated pineapple, dietary fiber, inulin, response surface, water activity.

Introducción

La piña es una de las frutas más importantes a nivel mundial, considerando su alta demanda cada año gracias a su destacable sabor, jugosidad y calidad nutricional. La piña representó un 28% de la producción total de frutas tropicales en el 2017, siendo Costa Rica el mayor productor a nivel mundial (Díaz Porras y Monge Gutiérrez 2019). Honduras ocupa el segundo lugar en Centroamérica, y en el 2019 se reportó un aumento de la producción en un 18%, contribuyendo a más de 32 millones de dólares en exportaciones (BCH 2020). Sin embargo, la comercialización de piña fresca a nivel internacional se ve limitada por los rigurosos estándares de calidad y no se aprovecha el mercado de frutos deshidratados a falta de capacitación tecnológica y fluctuaciones de precio en el mercado (Boglio y Milicevic 2014). El rechazo de piñas en el mercado internacional afecta la economía y la reputación de un país que puede tener un mayor impacto en países en vías de desarrollo como Honduras (BM 2021). Alrededor del 80% de la producción mundial de piña es procesada para la elaboración de jugos, concentrados, productos enlatados, frutas deshidratadas y jaleas (Wijeratnam 2015). Sin duda alguna, la piña se caracteriza por ser una fuente importante de ácidos orgánicos, vitaminas (A, B y C), fibra dietética y carbohidratos (Ancos et al. 2017). No obstante, el deterioro a causa de procesos fisiológicos o condiciones climáticas adversas afectan la composición notablemente y se deben desechar. Estados Unidos reportó alrededor de 45 millones de toneladas de desechos de frutas, vegetales, leche y granos (Esparza et al. 2020).

La industria alimentaria desarrolla nuevas técnicas de preservación de frutas para satisfacer a los consumidores y reducir los desechos en poscosecha (Shafiur Rahman 2012). Estos métodos se emplean con el objetivo de extender la vida útil y se enfocan en la inactivación de enzimas, control de agentes deterioradores y eliminación de microorganismos patógenos (Rosenthal et al. 2018). Generalmente, los métodos se clasifican como físicos o químicos, que incluyen técnicas como secado, congelación, liofilización y deshidratación osmótica (Salvatierra Pajuelo 2019).

La deshidratación es una de las operaciones unitarias más utilizadas en la preservación de alimentos y consiste en reducir o capturar el contenido de humedad para alargar la vida útil (Panagiotou et al. 1998). Respecto al procesamiento de frutas, las técnicas más comunes conllevan la aplicación de aire caliente, como en el secado convectivo, o la inmersión en una solución osmótica. Sin embargo, varían en la eficiencia y el efecto en las cualidades nutricionales y sensoriales del fruto deshidratado (Sinha et al. 2012).

Investigaciones actuales evalúan diferentes alternativas en los parámetros del proceso de deshidratación con la finalidad de mejorar las características sensoriales, la calidad nutricional y reducir la pérdida de compuestos bioactivos de la fruta fresca (Carbajal 2013). La osmo-deshidratación de frutas afronta un reto nutricional debido al contenido elevado de azúcar que generan los sólidos comúnmente utilizados, como la sacarosa, glucosa y fructosa (Chemat et al. 2017). Se ha evidenciado que la deshidratación osmótica permite una menor pérdida de compuestos fenólicos y la preservación de la capacidad antioxidante en frutas como fresa, banana y arándanos (Landim et al. 2016). Al contrario, se encontró un efecto negativo en estos mismos aspectos en cereza (Wojdyło et al. 2014).

El secado convectivo es el método más utilizado, pero se debe aplicar una temperatura y flujo de aire apropiada a la fruta, ya que se ha evidenciado el impacto sobre los atributos sensoriales, la pérdida de polifenoles y contenido de vitamina C (Rosenthal et al. 2018; Rodríguez et al. 2017). Por lo tanto, se recomienda la evaluación y el uso de diferentes combinaciones de métodos de deshidratación para optimizar los atributos de las frutas deshidratadas.

La Deshidratación Osmo-Convectiva (DOC) es efectiva ante la posibilidad de cambios fisicoquímicos y sensoriales, así como en la reducción de pérdidas de compuestos nutricionales (Tucker 2016). Además, reducen sustancialmente el tiempo de secado, minimizan costos de consumo energético y mejoran la calidad de las frutas y hortalizas durante el almacenamiento (Nambiar et al. 2016). No obstante, las limitaciones que conlleva este proceso combinado se ven reflejadas por

diferencias en costo, tanto por equipo como por los solutos. Las ventajas se demuestran en la reducción del tiempo de secado y la preservación de las propiedades sensoriales (Meneses 2018).

Por lo tanto, la innovación en la DOC se está desarrollando entorno al enriquecimiento con nutrientes bioactivos, fibra dietética y solutos con bajo contenido calórico (Kowalska H et al. 2017). Los fructooligosacáridos de origen vegetal y las maltodextrinas son ejemplos de solutos aptos que están siendo evaluados por sus propiedades funcionales (Esparza et al. 2020). Así mismo, se ha evaluado la inulina en estudios recientes en la deshidratación combinada de frutas y vegetales (Jiménez-Hernández et al. 2017; Maldonado et al. 2020).

Tomando en cuenta esta problemática, se decidió evaluar métodos en conjunto que aprovechen al máximo las piñas cosechadas y aquellas que no cumplen con los estándares de calidad a nivel internacional (FAO 2011). Este estudio podría contribuir a la industria y seguridad alimentaria al proporcionar una alternativa en el manejo poscosecha, para el enriquecimiento nutricional y la extensión de la vida útil de frutas.

Considerando las nuevas tendencias tecnológicas y la optimización de recursos en los procesamientos de alimentos, el estudio se basó en los siguientes objetivos:

Realizar una revisión literaria de la deshidratación de frutas y la innovación tecnológica de los métodos utilizados.

Optimizar la combinación de las variables independientes y dependientes, en este caso: grados Brix° de la solución, tiempo de inmersión y concentración de inulina en la deshidratación osmo-convectiva de la piña.

Comparar los cambios fisicoquímicos entre el método de deshidratación osmo-convectiva y secado convectivo tradicional de piñas.

Materiales y Métodos

Fase 1. Revisión Literaria

Diseño de Investigación

Se desarrolló una revisión de documentos vinculados con el proceso de deshidratación y las diversas tecnologías que se implementan hoy en día para la piña. La búsqueda de información se realizó utilizando fuentes primarias y secundarias, que están relacionadas con el procesamiento de piña, el uso de diversos polisacáridos en la solución osmótica y alternativas de métodos combinados.

Revisión de Literatura

Se realizó una revisión descriptiva acerca de las tecnologías utilizadas y la innovación en la deshidratación de frutas y vegetales. Además, se investigó sobre los diferentes agentes osmóticos tradicionales y los sustitutos nutritivos. El diseño de investigación, estrategia de búsqueda, criterios de inclusión, exclusión y extracción se realizó mediante recomendaciones dadas por Morales (2020), las cuales se presentan a continuación:

Estrategia de Búsqueda.

La revisión literaria se realizó en diferentes bases de datos académicas como: DOAJ, PubMed, CEPAL, REDALYC, Scielo, entre otros, con restricción de fecha de 15 años y en los idiomas de español e inglés. Los artículos utilizados en esta investigación fueron seleccionados de acuerdo con la relevancia y relación con los objetivos ya establecidos. Se analizaron referencias bibliográficas de potenciales estudios realizados, con el fin de incluir información relevante en el estudio.

Criterios de Inclusión y Exclusión.

En la búsqueda primaria, se incluyeron libros monográficos y recopilatorios de autores con trayectoria y especialización en el tema de procesamiento de la piña. En el caso de los artículos y estudios científicos, se seleccionaron aquellos en donde han realizado pruebas de las diferentes tecnologías de deshidratación y concentraciones de polisacáridos para obtener un punto de optimización en la implementación de estas tecnologías. El principal criterio de exclusión fue para

aquellos artículos que no incluyeron las palabras clave, descriptores o sinónimos seleccionados al tema de estudio e información desactualizada.

Extracción de Datos.

La selección de información de utilidad se realizó mediante la revisión del resumen de cada estudio seleccionado y referencias citadas. En caso de ser necesario, se revisaron artículos completos con el fin de decidir si la información contenida en el estudio estaba relacionada o no, con los requerimientos de este estudio.

Fase 2. Optimización de la Deshidratación Osmo-Convectiva de Piña

Diseño Experimental

Se utilizó la metodología de superficie de respuesta con un arreglo factorial de 2^3 (Cuadro 1). Para el diseño, se consideraron como variables independientes: grados Brix (30 – 50 °), tiempo de inmersión (4 – 8 h) y porcentaje de inulina (20 - 40%). Las variables se distribuyeron en un Diseño Central Rotacional de segundo orden (DCCR); donde se evaluaron rendimiento, actividad de agua (A_w), reducción de luminosidad (ΔL) y el ángulo de matiz (Hue Angle) como variables de respuesta en la ecuación polinomial. Se contó con seis puntos axiales, ocho puntos factoriales y seis puntos centrales para un total de 20 tratamientos, donde la variable k representó el número de variables independientes (Cuadro 1).

Cuadro 1

Descripción del diseño experimental.

Expresión	Tratamientos	Puntos
$2^k = 2^3$	8	Factoriales
$2k = 2 \times 3$	6	Axiales
m	6	Centrales

Nota. K: número de variables; m: cantidad obtenida de puntos centrales.

Se codificaron los parámetros del proceso (-1, 0, +1) de cada variable independiente (Ecuación 1). Se establecieron los valores reales de cada variable y su distribución en los niveles axiales y factoriales (Cuadro 2).

$$xi = \left(xi - \frac{z}{\Delta Xi} \right) \quad [1]$$

Donde:

xi: valor codificado de la Xi

Xi: valor real de la variable

Z: valor real de la variable en el punto central

ΔXi : valor del intervalo de la variable xi

Como límites del entorno experimental, se calcularon los valores axiales $\pm \alpha$ (Ecuación 2). El delineamiento y descripción de todos los tratamientos fue ajustado al diseño del programa de STATISTICA (Cuadro 3).

$$\pm \alpha = F = (2^k)^{\frac{1}{4}} = 1.682 \quad [2]$$

Dónde:

F = número factorial

k = número de variables independientes

Cuadro 2

Niveles codificados de las variables del experimento.

Variables independientes		Niveles				
		$-\alpha$	-1	0	1	$+\alpha$
Grados Brix °	X ₁	23.18	30	40	50	56.82
Tiempo de Inmersión (h)	X ₂	2.64	4	6	8	9.36
%Inulina	X ₃	13.18	20	30	40	46.82

Cuadro 3

Descripción del diseño experimental completo.

Tratamientos	Valores Codificados			Valores Reales		
	Grados °B	Tiempo I (h)	Inulina %	Grados °B	Tiempo I (h)	Inulina %
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃
1	-1	-1	-1	30	4	20
2	-1	-1	1	30	4	40
3	-1	1	-1	30	8	20
4	-1	1	1	30	8	40
5	1	-1	-1	50	4	20
6	1	-1	1	50	4	40
7	1	1	-1	50	8	20
8	1	1	1	50	8	40
9	-1.682	0	0	23.2	6	30
10	1.682	0	0	56.8	6	30
11	0	-1.682	0	40	2.6	30
12	0	1.682	0	40	9.4	30
13	0	0	-1.682	40	6	13.18
14	0	0	1.682	40	6	46.82
15 ©	0	0	0	40	6	30
16 ©	0	0	0	40	6	30
17 ©	0	0	0	40	6	30
18 ©	0	0	0	40	6	30
19 ©	0	0	0	40	6	30
20 ©	0	0	0	40	6	30

Nota. © Punto central del experimento

El modelo del diseño se analizó con una ecuación polinomial con tres variables independientes (X_n) como función de la variable de respuesta (Y) (Ecuación 4). Por medio de un análisis de regresión lineal, se ajustó para un mejor acople predictivo de la variable de respuesta (Ecuación 5).

$$Y = F(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad [4]$$

$$Y_i = (\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{11} X_1 + \beta_{22} X_1 + \beta_{33} X_1 + \beta_{12} X_1 X_2 + \epsilon) \quad [5]$$

Donde:

Y_i = Función respuesta

X_1, X_2, X_3 = Valores de las variables independientes

β_0 = Coeficiente relativo con la interpretación del eje

$\beta_1, \beta_2, \beta_3$ = Coeficientes lineales estimados por el método de mínimos cuadrados

- $\beta_{11}, \beta_{22}, \beta_{33}$ = Coeficientes de variables cuadráticas
- β_{12} = Coeficiente de interacción entre variables independientes
- ε = Error experimental

Materia Prima

La piña, *Ananas comosus*, conocida también como Honey Golden, Golden Sweet o MD2, fue adquirida en la zona productora del departamento del Paraíso, Honduras a unos 25 km de Zamorano, en estado de madurez fisiológica. Se utilizaron piñas con una concentración de sólidos solubles (°B) en un rango de 12-16 °. La cantidad de piñas que se utilizó fue alrededor de 15 unidades. La sacarosa utilizada para la preparación de las soluciones osmóticas fue proporcionada por la Planta Hortofrutícola de Zamorano (PHF). Además, fue implementado como agente osmótico la inulina en polvo de la marca NOW en presentación de 227 g.

Pruebas Preliminares

Se realizaron pruebas preliminares para determinar las formulaciones de las soluciones osmóticas y ajustar los parámetros de deshidratación del horno convectivo de la PHF. Se realizó un análisis de rendimiento de la piña entera para obtener una cantidad aproximada de la piña necesaria para todo el estudio. Se determinó la cantidad de agua, azúcar e inulina necesaria para cada tratamiento y se verificaron los grados Brix con el uso de un refractómetro, ATAGO Pocket PAL - α .

Preparación de Unidades Experimentales

Primero, la piña fue lavada con agua potable, se desinfectó en una solución de cloro a 10 ppm y fue pelada. Luego, fue cortada en cubos de 1 × 1 cm utilizando un cuchillo y una regla para medir las dimensiones. Se pesaron 48 g de cubos de piña para cada unidad experimental. Las soluciones osmóticas se prepararon según las formulaciones establecidas en las pruebas preliminares. Donde, se utilizó agua a temperatura ambiente (25 °C), azúcar e inulina, cada ingrediente se pesó en una balanza compacta Mettler Toledo, modelo BPA224-15NP, la cual fue calibrada previamente. La mezcla se homogeneizó en una licuadora a velocidad mínima. Las soluciones osmóticas se empacaron en bolsas

de plástico y se realizó la inmersión según el tiempo establecido para cada tratamiento. Luego, se retiraron las muestras de la inmersión, se escurrieron y se pesaron en la balanza compacta. Finalmente, todas las unidades experimentales fueron colocadas en un deshidratador convectivo (Laselle modelo) en bandejas de plástico, por un periodo de 4 horas a 60 °C (122 °F).

Análisis Físicos

Peso.

Se recolectaron los datos del peso inicial (g), posterior al proceso osmótico (g) y al finalizar el proceso de secado convectivo (g). Se utilizó la balanza analítica compacta Mettler Toledo, modelo BPA224-15NP de la PHF, la cual fue previamente calibrada. De esta forma, se calculó el contenido de agua perdido finalizado el proceso por diferencia de peso.

Color.

El análisis de color se realizó con la aplicación Color Assist. Los datos recolectados fueron captados por una cámara de 12 Mpx con gran angular, ultra gran angular y teleobjetivo. Esta metodología fue implementada para la recopilación de todos los datos donde se incluyeron todas las unidades experimentales y la muestra de piña fresca. Para la medición, se colocó la muestra dentro de una caja con fondo blanco y se cortó un cuadrado para la cámara. El dispositivo se fijó en la superficie externa a una distancia de 13 cm de la muestra y se iluminó con el flash del dispositivo (LED Quad 50 lm). Debido a que la aplicación proporcionó los valores en la escala de RGB, se realizó una conversión de datos en escala de Cie $L^*a^*b^*$, y también se calculó el croma y el ángulo de matiz.

Análisis Químicos

Sólidos Solubles (°Brix).

Se utilizó un refractómetro, "Pocket Refractometer" de la marca ATAGO, modelo PAL 3 RTM 01 para la medición de sólidos solubles de las soluciones. Primero, se calibró el aparato con agua potable y se realizaron tres mediciones de la solución osmótica, la piña fresca y la piña después de la

inmersión. Para la medición de sólidos solubles de la piña extraída de la solución osmótica, se maceraron dos cubos y se homogeneizó el jugo extraído.

Actividad de Agua (A_w).

La actividad de agua se determinó mediante el uso del equipo Aqualab, siguiendo los lineamientos oficiales establecidos por el método AOAC 978.18. Se realizó las mediciones por triplicado después del secado convectivo y, además, de tomar los datos para la piña fresca. Donde, se llenó $\frac{3}{4}$ la copa plástica, aproximadamente 4 g de piña deshidratada.

Análisis Estadístico

Para la fase 2, se utilizó el programa STATISTICA 7, para el análisis estadístico de la superficie de respuesta. Se estableció un nivel de significancia del 90% y se planteó un modelo linear-cuadrático de dos vías. Además, se utilizó el programa Statistical Analysis System (SAS, Versión 9) para el análisis de varianza (ANDEVA), para identificar los efectos de estas variables sobre los parámetros respuesta y el planteamiento de los coeficientes de regresión en la ecuación del modelo considerando la significancia de cada variable independiente. Se calculó el valor F Tabular y F Calculado, para determinar si el valor F Tabular fue mayor, tomando en consideración un R^2 superior a 0.7 y una falta de ajuste no significativa ($P < 0.1$). A partir de estos valores, la ecuación del modelo linear se declaró como predictiva o tendenciosa.

Fase 3. Comparación de Parámetros Físicos y Químicos

Se realizó una comparación entre piña fresca, piña deshidratada por osmoconvección (Fase 2) y por secado convectivo, sobre los resultados obtenidos de rendimiento (%), actividad de agua, reducción de luminosidad (ΔL), ángulo de matiz y contenido de fibra dietética.

Para el análisis estadístico, se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) y una prueba de separación de medias Duncan en el programa Statistical Analysis System (SAS, Versión 9), para determinar diferencias entre en los tratamientos a un nivel de significancia de 95% ($P < 0.05$).

Resultados y Discusión

Fase 1. Revisión Literaria

Frutas

Los datos provisionales indican que el comercio mundial de las principales frutas frescas alcanzó un máximo de 7.7 millones de toneladas en 2019, lo que supuso un incremento del 6,4%, o 465, 000 toneladas, métricas en comparación con el año 2018 (FAO 2020a). Las principales frutas frescas según las cantidades de producción, son las bananas, las manzanas y las uvas, lo que ocasiona un crecimiento de la demanda, en particular de China, donde el incremento de los ingresos y el cambio en las preferencias de los consumidores están aumentando el interés en las frutas tropicales (Shahbandeh 2019).

Las frutas y verduras son componentes importantes de una dieta saludable. Un bajo consumo de frutas y verduras está asociado a una mala salud. Incorporar las frutas y verduras a la dieta diaria puede reducir el riesgo de algunas enfermedades no transmisibles, como las cardiopatías y determinados tipos de cáncer (Hartley et al. 2013). También, existen algunos datos que indican que cuando se consumen como parte de una dieta saludable baja en grasas, azúcares y sal (o sodio), las frutas y verduras también pueden contribuir a prevenir el aumento de peso y reducir el riesgo de obesidad, un factor de riesgo independiente de las enfermedades no transmisibles (Carbajal 2013). Además, son una fuente rica de vitaminas y minerales, fibra alimentaria y toda una suma de sustancias no nutrientes beneficiosas, como fitosteroles, flavonoides y otros antioxidantes. El consumo variado de frutas y verduras ayuda a asegurar una ingesta adecuada de muchos de esos nutrientes esenciales (OMS 2018).

Piña

El origen de la piña se remonta a Brasil y Paraguay en la cuenca del Amazonas. Donde la fruta fue domesticada por primera vez (Borjas et al. 2020). La producción mundial comenzó en el siglo XI y la variedad de mayor difusión es Smooth Cayenne (*Cayena lisa*), que se introdujo por primera vez en

Europa de Guyana Francesa (De La Cruz Medina y Garcia 2005). Como resultado de otro año de abundantes suministros, las exportaciones mundiales de piña aumentaron hasta 3,1 millones de toneladas en 2019, con un crecimiento del 3,1%, o aproximadamente 100,000 toneladas, en comparación con 2018. Este incremento se debió principalmente a una subida del 42% de las exportaciones de Filipinas, el segundo mayor proveedor de piñas a los mercados mundiales. Según los datos, a lo largo de todo el año, los envíos a China alcanzaron las 220,000 toneladas, lo que supone un aumento del 117% en comparación con 2018 (FAO 2020a).

La producción de piña se concentra en las regiones tropicales del mundo. Se cultiva en más de 82 países con más de 2,1 millones de acres bajo la fruta (Salido et al. 2017). Se cultiva ampliamente en muchos países tropicales como Hawái, Filipinas, Australia, Sudáfrica, Puerto Rico, Kenia, México, Cuba y Argentina (Da Silva et al. 2007). Existen varios cientos de variedades, pero la mayoría ampliamente cultivadas son Smooth Cayenne, Queen y en la última década introdujo la variedad llamado MD2 que controla el 80% del comercio mundial de piñas (FAO 2020a). La producción mundial de piña fue de 23.33 millones de toneladas métricas en 2016 y mostró tendencias gradualmente crecientes de 2002 a 2016. El mercado mundial de la piña se ha expandido rápidamente durante los últimos veinte años (Hossain 2016).

La piña forma parte de la familia de las bromelias. Los tipos cultivados pertenecen al género *Ananas* que reagrupa varias especies, entre ellas, la *Ananas comosus*, que es la que se explota con fines comerciales (Hornung 2011). La piña es una planta herbácea de 1 a 1,5 metros de extensión, tanto a lo alto como en lo que a su circunferencia se refiere. Está formada por una roseta de hojas duras, lanceoladas y más o menos espinosas, organizadas alrededor de un tallo que constituye el eje de la planta (Cerrato 2013). En su prolongación crece un ápice en cuyo extremo nace la fruta terminada en una corona (Boglio y Milicevic 2014). La inflorescencia es racimosa y puede producir más de cien flores. De hecho, la fruta está formada por el conjunto de flores que crecen alrededor del

ápice que, a partir de ahí, constituye el tallo de la fruta del pedúnculo hasta la corona. Cada flor origina una fruta independiente organizada en espiral alrededor del tallo (Boglio y Milicevic 2014).

Formas de Consumo.

Los sectores más grandes de la industria mundial de la piña se encuentran en el sureste asiático, se cree que las diversas especies de piña en realidad se originaron en América del Sur (Borjas et al. 2020). La industria de la piña comenzó a extenderse en el siglo XVI y ahora se considera la fruta tropical más comercializada, con un tercio de su producción en forma procesada (FAO 2020a). De las formas de consumo, la más extendida es la conserva, donde se presenta bajo numerosas formas, desde la rodaja entera hasta trozos y varían en función de los aditivos añadidos, que van desde el zumo de piña simple al sirope de azúcar más o menos denso, también se encuentra en la composición de mezclas de fruta en conserva. Las confituras y segmentos fritos son subproductos transformados a partir de una fruta fresca (Boglio y Milicevic 2014). La fruta se consume también como zumo simple o concentrado. En este caso, se puede encontrar el producto solo o mezclado con otras frutas (FAO 2020b). Los purés o segmentos de fruta congelados constituyen productos semitransformados utilizados en la industria alimentaria, como base para la fabricación de productos lácteos como diferentes tipos de yogur y helados (Lozano 2006).

Se están realizando estudios sobre la bromelina, enzima extraída de la piña, para su uso en la industria farmacéutica, ya que podría ayudar a la digestión (Hernández et al. 2005). Por último, las hojas de piña pueden utilizarse como componente de la alimentación del ganado, por la industria papelera o para la confección de fibras (jarcias). Las tortas derivadas de la industria también son subproductos interesantes para la producción de abono verde y compost, así como para la alimentación del ganado. La fermentación de estas tortas permite la producción de biogás (Sánchez y González 2019). Ahora bien, con relación al comercio de la piña procesada consiste en productos como jugos, concentrados o pulpas, y como barras, trozos o rodajas de piña, ya sean enlatadas, deshidratadas, refrigeradas o congeladas. Por lo que se puede reflejar que la producción de piña

procesada para el año 2019 fue con relación a la base de datos brindados FAOSTAT, se encuentra en 28,179,348 toneladas de piña producida, lo cual significa una variación promedio de aproximadamente el 5% con respecto al 2018.

Nutrientes y Compuestos Bioactivos.

En el caso de los compuestos nutritivos según el USDA (2014 a.b.), la piña contiene principalmente agua e hidratos de carbono y es una importante fuente de azúcares, ácidos orgánicos, fibra dietética y minerales esenciales (cobre, magnesio y manganeso) y vitaminas (A, B y C) para la nutrición humana. Se debe tener en consideración que la piña tiene bajo contenido de grasas y proteínas.

La piña contiene una enzima proteolítica, bromelina, que ayuda al proceso de digestión mediante la descomposición de proteínas (Carbajal 2013). Este proteolítico también se requiere actividad para los efectos terapéuticos atribuidos a la bromelina. Además, la bromelina tiene propiedades antiinflamatorias, anticoagulantes y anticancerígenas (Pavan et al. 2012). La presencia de altas concentraciones de bromelina o ingestión de grandes cantidades de piña pueden producir sensaciones desagradables en la boca. La bromelina de piña es un excelente ablandador de carne, pero comer demasiada piña puede provocar sensibilidad en la boca, incluidos los labios, la lengua y las mejillas (Chakraborty et al. 2021). Además, las cantidades extremadamente altas de bromelina y la manipulación pueden causar erupciones en la piel, pérdida de huellas dactilares si no se usan guantes, vómitos, diarrea, y sangrado menstrual excesivo (Hale 2004). La bromelina también puede interactuar con algunos medicamentos. Aquellos que toman antibióticos, anticoagulantes, anticonvulsivos, barbitúricos, benzodiazepinas, medicamentos para el insomnio y antidepresivos tricíclicos. Deben tener cuidado de no comer demasiada piña (Chobotova et al. 2010; Amini et al. 2014).

Principales Problemas de Poscosecha.

Los principales problemas de poscosecha en la piña están relacionados con el daño a nivel de campo, la condición climática, el transporte y el almacenamiento (Tröger et al. 2020). La madurez fisiológica de la piña es determinada por la maduración de la piña al llegar a un contenido de sólidos solubles y acidez requeridos. Sin embargo, los factores que afectan la etapa de maduración están relacionados al proceso de desverdización, la temperatura poscosecha y procesos fisiológicos naturales de la piña. La mala aplicación de etefón o etileno en la desverdización causa una maduración no homogénea, lo cual reduce el volumen de piñas cosechadas y se descartan las piñas que no cumplen los estándares de calidad (Lobo y Paull 2017). Por otro lado, la temperatura de almacenamiento influye en la maduración de la piña. Se ha evidenciado que el almacenamiento a altas temperaturas es ideal, debido a que las piñas mostraron una mayor calidad y producción de aromas que a bajas temperaturas. En la etapa de poscosecha, las condiciones no óptimas provoca la degradación de clorofila y fibras en la corteza, así como la pérdida de compuestos fenólicos, lo cual reduce la vida útil de la piña (Hassan et al. 2011).

Dentro de los daños físicos, el daño por frío ocurre cuando la piña está expuesta a temperaturas inferiores a 7 °C (Lobo y Paull 2017). El impacto del daño por frío se ve reflejado en el interior de la piña, ya que se ha evidenciado que a una temperatura inferior a 7 °C se induce el pardeamiento interior y el desarrollo de la enfermedad de corazón negro (Adikaram y Abayasekara 2012). Se han presentado dos hipótesis principales que explican la razón de esta alteración, una sugiere que el frío aumenta la permeabilidad de la membrana lipídica, mientras que la otra sugiere la activación de especies reactivas de oxígeno (Nukuntornprakit et al. 2020). Los síntomas se identifican con el desarrollo de áreas translúcidas, de apariencia acuosa o pardas, las cuales comienzan en la zona del corazón y se alargan hasta que el centro completo se torna pardo en casos severos (Arias y Toledo 2007). Los daños en el transporte de piñas están relacionados a una condición inadecuada de la temperatura, la humedad relativa y el mal manejo de operarios (Lobo y Paull 2017).

Los daños químicos alteran la composición de nutrientes y provocan la deterioración de fitoquímicos durante la maduración de la piña, la cual es influenciada por diferentes factores desfavorables en la etapa poscosecha. Las frutas maduras son menos susceptibles que las inmaduras o las parcialmente maduras.

Una de las enfermedades más graves en poscosecha causada por heridas en la corteza o condiciones no asépticas, es la pudrición causada por *Thielaviopsis paradoxa* y se conoce como pudrición negra, *black rot*, ampolla acuosa o *water blister* (Wijeratnam 2015). Comienza a desarrollarse en el tallo y se extiende a través de toda la pulpa y solo se puede ver un oscurecimiento ligero en la corteza como síntoma externo (Wijeratnam 2015). Otro problema que surge en el mal manejo poscosecha de piñas es la fermentación por levaduras, *Saccharomyces* spp, que penetra en la fruta a través de heridas (Chanprasartsuk et al. 2010). La fermentación hace que la pulpa se ablande, se torne color amarillo brillante y se desestabilicen fitoquímicos valiosos (Hassan et al. 2011).

Preservación de Frutas

Las frutas son alimentos muy perecederos debido a que contienen una alta actividad de agua y una composición química rica en nutrientes que favorecen al crecimiento de microorganismos y los procesos enzimáticos (Escobedo-Avellaneda et al. 2018). Ciertamente, el consumo de frutas frescas es mucho mayor que el de frutas procesadas, pero el riesgo de contraer enfermedades y la alta tasa de deterioración también es mayor (Martínez et al. 2018). La industria alimentaria ha tomado un rol crucial en la preservación de frutas y vegetales a partir de métodos convencionales. Principalmente, se enfocan en la reducción de actividad de agua, el ajuste de pH, la reducción del potencial oxidativo, la inactivación de enzimas y la destrucción/inhibición de microorganismos (Rosenthal et al. 2018).

El procesamiento de jugo, concentrado o pulpa congelada tiene como principio la reducción de la actividad de agua. En este tipo de productos, la pasteurización y la acidificación son las técnicas básicas que permiten esta reducción. Por otro lado, la congelación reduce la actividad de agua debido a la formación de cristales de agua y el aumento de la concentración de sólidos (Jideani et al. 2017).

La refrigeración se incluye entre los métodos de preservación, pero solo sirve para limitar el crecimiento de microorganismos y disminuir la actividad enzimática (Bhat 2012). Los métodos de deshidratación se basan en la transferencia de calor para controlar los parámetros antes mencionados.

Deshidratación de Frutas

La deshidratación es una operación que involucra principios de termodinámica ajustados a la naturaleza de la fruta y se categorizan según su modo como convectivo, conductivo o radioactivo (Bennamoun y Li 2018). La temperatura, el flujo de aire y la humedad relativa son los parámetros que se deben definir para el proceso. Para determinar las condiciones, es necesario considerar las propiedades de la fruta para lograr la evaporación de agua y reducir el impacto nutricional (Chong et al. 2013). Sin importar el mecanismo, el aire es el medio que absorbe el agua evaporada del alimento, pero la eficiencia de la transferencia depende de la velocidad y temperatura (Sabarez 2018). Los costos energéticos dependerán del tiempo y condiciones del sistema.

Factores que Afectan el Proceso de Deshidratación

Los principales factores que pueden afectar el proceso de deshidratación son la temperatura y la velocidad de aire, las condiciones del aire de entrada, el estado de maduración, corte y espesor de la fruta (Almada et al. 2005). Si la temperatura y la velocidad de aire son muy bajas, el tiempo de proceso se ve afectado, pudiéndose extender al no haber las mejores condiciones para la transferencia de calor. En cuanto al estado de la fruta, su estado de maduración es una variable de proceso, porque según este pueden variar propiedades de la fruta (De michelis y Ohaco 2015). El corte y espesor de la fruta se ven reflejados en la homogeneidad del producto y la estética de este. Los nutrientes de los alimentos se degradan durante el secado y la magnitud del cambio depende del alimento y de las condiciones de secado. Como regla general, la velocidad de reacción aumenta con la temperatura y la concentración de reactivo. Las pérdidas de nutrientes pueden minimizarse mediante la aplicación de

pretratamientos adecuados, la selección de métodos de secado apropiados y la optimización de las condiciones de secado (Sablani 2006).

El color de la superficie del alimento es el primer parámetro de calidad evaluado por los consumidores y es fundamental para la aceptación del producto, incluso antes de su degustación (Mathias-Rettig y Ah-Hen 2014). Los parámetros cromáticos L^* (blancura o brillo / oscuridad), a^* (verdoso-enrojecimiento) y b^* (azul-amarillento) se han utilizado ampliamente para describir los cambios de color durante el procesamiento térmico de productos agrícolas; se han relacionado con los tipos y cantidades de algunos componentes presentes en esos productos (Bahloul et al. 2009). El tratamiento térmico induce a la isomerización de los carotenoides, lo cual causa un color pálido, y a la vez, a una menor biodisponibilidad de vitamina A (Rodríguez Amaya y Amaya Farfan 2018).

La microestructura de las frutas es dañada por la evaporación del agua y conlleva cambios en la textura. Las frutas sufren encogimiento y cambio en la porosidad. Por lo tanto, se evalúan atributos como dureza, fracturabilidad y cohesividad, para determinar la calidad o aceptación del producto (Omolola et al. 2017). Según el análisis desarrollado por Shahbandeh (2019); Shashirekha et al. (2008) reflejó que calentar pulpa fresca a 55 y 85 °C, tienden a producir un mayor espectro de sabor, siendo los compuestos relativamente mayores a 85 que a los 55 °C. Durante su estudio también se observó que aumentaron significativamente las cantidades de α -pineno, β -pineno, linalol, germacreno y espatulenol; y se formaron mayores cantidades de cineol, limoneno, α -cubebeno y α -copaeno, cariofileno, α -farneceno y δ cadeneno, mientras que estos estaban totalmente ausentes en la pulpa fresca de la fruta.

Cambios Nutricionales

La deshidratación en frutas y vegetales provoca pérdidas nutricionales y, por lo tanto, se destruyen algunos antioxidantes, probablemente debido a la degradación térmica, según las condiciones y las técnicas utilizadas (Lutz et al. 2015). Las frutas secas tienen mayor energía total, densidad de nutrientes, contenido de fibra y, a menudo, una actividad antioxidante significativamente

mayor en comparación con las frutas frescas como consecuencia de la concentración (Chong et al. 2013). La elevada actividad antioxidante se debe principalmente a la concentración de polifenoles durante el secado y potencialmente a la generación de compuestos de productos de reacción de Maillard que pueden mejorar la actividad antioxidante (Yilmaz y Toledo 2005). El proceso de secado también puede provocar pérdidas de compuestos polifenólicos totales y cambios en las proporciones de polifenoles libres a totales, como se muestra en seis tipos de frutos secos (Vinson et al. 2005; Bennett et al. 2011).

La vitamina C es degradada, por el calor, a ácido dehidroascórbico que luego sigue degradándose a otros compuestos nutricionalmente inactivos (Rodríguez Amaya y Amaya Farfan 2018). Como tal, la actividad antioxidante neta refleja los efectos acumulativos de las pérdidas totales de polifenoles y la producción de productos de reacción de Maillard. Los flavonoides, como las antocianinas, se degradan fácilmente ante cambios de pH o altas temperaturas, donde se derivan otros compuestos de la polimerización y se pierde la capacidad antioxidante (Patras et al. 2010).

Métodos de Deshidratación

Secado Convectivo.

Existen diferentes técnicas que se basan en el secado por convección, siendo el secado con aire caliente el más utilizado en la industria. Esta técnica consiste en la transferencia de calor por medio de un flujo de aire que entra en contacto con la superficie del alimento. La humedad se transfiere por difusión al existir diferencias en la presión hidrostática (Bennamoun y Li 2018). El secado convectivo reduce la actividad de agua del alimento y prolonga la vida útil, esto permite que se reduzca la actividad enzimática, la reacción de Maillard, y la proliferación de microorganismos deterioradores y patógenos (Augusto et al. 2018). Sin embargo, los alimentos sufren cambios en su composición y propiedades sensoriales al ser sometidos a temperaturas altas. Existen diversos modelos matemáticos que permiten ajustar los parámetros del proceso para reducir estos cambios, los cuales se basan

principalmente en el coeficiente de transferencia de masa, propiedades fisicoquímicas del alimento, temperatura, velocidad del flujo de aire y tiempo (Tucker 2016).

Secado al Vacío.

El uso de presión al vacío para la deshidratación de alimentos es caracterizado por la aplicación de secado a una menor temperatura, la ausencia de oxígeno y una tasa de deshidratación más eficiente (Wang et al. 2010). La aplicación en frutas permite que las fibras mantengan su funcionalidad, se obtiene una mejor textura y se reduce la actividad enzimática debido a que se procesa a menores temperaturas (Tucker 2016).

Secado por Aspersión.

Esta técnica se centra en la transformación de un líquido o puré a polvo al aplicar una corriente de gas caliente mezclado o no y sale por un atomizador que permite la evaporación de agua del alimento. El problema principal que conlleva este proceso en el procesamiento de jugos o pures es relacionado a la pegajosidad ocasionada por la alteración de los carbohidratos debido al tratamiento térmico (Akharume et al. 2019; Verma y Singh 2015). La termodinámica del sistema está directamente relacionado a la composición y estructura del alimento, y se puede obtener un polvo más estable y con una microestructura más uniforme (Viganó et al. 2012).

Deshidratación Osmótica.

La deshidratación osmótica es un proceso que implica el uso de una solución hipertónica, como medio absorbente, que provoca la difusión de agua de la fruta mediante un diferencial de presión osmótica. Este proceso conlleva un intercambio de sólidos y de nutrientes que podrían ser negativos para la calidad nutricional (Sinha et al. 2012).

La concentración de la solución utilizada varía y se mide tradicionalmente en grados Brix. Actualmente, los estudios evalúan soluciones osmóticas con diferentes compuestos para medir la efectividad de pérdida de humedad, disminuir la absorción de sólidos por parte del alimento y desarrollar alternativas más saludables. En el enfoque nutricional, al utilizar sacarosa se incrementa

el aporte calórico de la fruta que conlleva a una preocupación por parte de los consumidores que desean mejorar su calidad de vida. De ser así, la utilización de compuestos con bajo aporte calórico como la inulina, miel de abeja, o mezclas es un reto que está en constante evaluación.

Agentes Osmóticos

Sacarosa.

La sacarosa es el agente osmótico más utilizado por su eficiencia en la transferencia de masa y su bajo costo. Sin embargo, genera un impacto negativo en la calidad nutricional a causa de la ganancia de sólidos de la fruta (Bekele y Ramaswamy 2010). El alto contenido calórico y glicémico son los aspectos que se evalúan al usar este agente considerando que el consumidor actual es más consciente sobre su calidad de dieta alimenticia (Kowalska H et al. 2017).

Jarabe de Maíz.

El uso de jarabe de maíz como agente osmótico es efectivo en la reducción de ganancia de sólidos, pero es menos eficiente en la pérdida de agua en comparación con la sacarosa en la deshidratación osmótica de melón (Barbosa Júnior et al. 2013). Similar, el jarabe de maíz como agente osmótico reflejó una ganancia de sólidos de 53-56% menos que la sacarosa en papayas (El-Aouar et al. 2006). El jarabe de maíz no es muy utilizado debido a su alta viscosidad, la cual ocasiona el flotamiento de la fruta, por ende, una menor eficiencia en la deshidratación.

Glucosa.

La glucosa es un monosacárido simple que mayormente se encuentra en conjunto con otros sacáridos. La glucosa tiene un peso molecular menor que la sacarosa, y su uso en el proceso de deshidratación osmótica fue mejor en la pérdida de agua y en la reducción de ganancia de sólidos en comparación con la sacarosa en kiwi, banana y manzanas (Panagiotou et al. 1998).

Maltodextrina.

La maltodextrina evidenció buenos resultados en la deshidratación de arándanos (Chun et al. 2012). Similar, se identificó una ganancia de sólidos igual que la glucosa en albaricoques, esto fue

posible por su peso molecular que es mayor a la mayoría de los solutos (Íspir y Togrul 2009). Al contrario, no fue efectiva en la deshidratación de yacón, debido a que la difusión de sólidos en tubérculos es menor (Brochier et al. 2015).

Sorbitol.

El sorbitol, junto al manitol, se caracterizan por ser azúcares alcohólicos y pueden ocasionar efectos laxantes (Fernandes et al. 2008). Al evaluar una solución osmótica de sorbitol y maltodextrinas, se identificó una mayor pérdida de agua y menor ganancia de sólidos en rodajas de manzana (Viganó et al. 2012). Así también, la actividad de agua fue menor en comparación con la sacarosa en cubos de manzana (Assis F et al. 2017). Por otro lado, su uso ha demostrado ser funcional al limitar la difusión de sales y mejorar la calidad sensorial (Ozdemir et al. 2008).

Fructooligosacáridos.

Los fructooligosacáridos han demostrado resultados positivos en los últimos años. Al ser moléculas indigeribles por su estructura, la aplicación en soluciones osmóticas se sigue estudiando para elaborar productos más nutritivos. Además, se evidenció que son funcionales en la conservación de textura y mejoran la aceptabilidad por su grado de dulzor no tan elevado (Konopacka et al. 2009).

Isomaltosa, Oligofructosa, Estevia.

El uso de edulcorantes no calóricos como agentes osmóticos representó una alternativa apta para mejorar la calidad nutricional de frutos deshidratados. En un estudio comparativo, la combinación de estevia y oligofructosa en la solución, demostró una mayor difusión de sólidos al fruto que la isomaltosa, pero la isomaltosa fue la más eficiente en la pérdida de agua en rodajas de limón (Rubio et al. 2015).

Glicerol.

El glicerol es un compuesto con tres moléculas de alcohol en su estructura molecular. En un estudio sobre duraznos se evidenció que el glicerol es un agente osmótico apto para la deshidratación de frutas, y que su efectividad aumenta al incrementar la concentración y la temperatura. En adición,

el efecto sobre las propiedades sensoriales fue positivo ya que, debido a la naturaleza del glicerol, se promueve la retención de color y textura (Gonçalves et al. 2019).

Poliolos.

El uso de poliolos en la deshidratación osmótica, tales como eritritol, xilitol y maltitol, resultó ser igual de efectiva que la sacarosa en la pérdida de agua en manzanas, siendo el eritritol el más efectivo (Kowalska J et al. 2019). Estos compuestos conllevan un beneficio para la nutrición humana ya que la fruta los absorbe y generan un menor aporte calórico en comparación con la sacarosa.

Inulina.

La inulina es un carbohidrato no digestible de origen vegetal, principalmente es extraído de la raíz de achicoria. Ha sido utilizado en la formulación de alimentos como fibra y por su funcionalidad como prebiótico en la microbiota intestinal en recientes años. Por otro lado, se han desarrollado muchos estudios que evalúan los efectos y funcionalidad como sustituto de azúcar debido a que no tiene un aporte calórico y dulzor. Como fruto de estas investigaciones, se han desarrollado bebidas y productos lácteos con una alta calidad nutricional y enriquecidos con prebióticos. Debido a su estructura molecular, la inulina permite una mayor biodisponibilidad y absorción de Calcio, el cual es fundamental para la formación de huesos y el crecimiento en la infancia y niñez.

La investigación en el procesamiento de frutas y la incorporación de inulina se ha enfocado en mejorar la calidad nutricional y sensorial. La evaluación de los efectos de la inulina en la deshidratación osmótica no ha sido muy investigada hasta el momento, pero los resultados limitados han sido positivos. Un estudio de piñas deshidratadas osmóticamente evidenció un menor valor calórico al incluir parcialmente inulina en la solución osmótica. Así también, se determinó una mayor aceptación sensorial de fresas deshidratadas con inulina y sacarosa en combinación, esto gracias a que la inulina mejora la textura y palatabilidad (Kowalska J et al. 2019). En adición, la inulina favoreció la microencapsulación de compuestos fenólicos y lípidos en mangos (Jiménez-Hernández et al. 2017).

No obstante, los problemas o retos que presenta el uso de inulina se ven reflejados en la gelatinización de la solución a mayor concentración, una menor eficiencia en la deshidratación de la fruta y un costo mayor que otros solutos. Es por eso por lo que su aplicación debe ser en combinación con otros agentes osmóticos, donde se debe presentar los beneficios nutricionales para complementar el costo del producto.

Relación Fruta y Solución Osmótica

La tasa de transferencia de masa está relacionada a la proporción de fruta sumergida en la solución. A mayor volumen de solución, la tasa transferencia de masa aumenta, pero existen efectos negativos como mayor costo, mayor ganancia de sólidos y menor calidad (Manafi et al. 2011). Por otro lado, es importante considerar la geometría y tamaño de la muestra, debido a que la tasa de transferencia de masa es mejor a mayor área superficial (Rodríguez et al. 2017). Generalmente, la relaciones que se utilizan son 1:3, 1:5 y 1:10 (solución / fruta).

Avances Tecnológicos

La aplicación de tecnologías modernas en la deshidratación de frutas ha dado resultados positivos en la calidad final y la eficiencia del proceso. El procesamiento con campos eléctricos pulsados (CEP) mejora la permeabilidad de la membrana al aplicar pulsos cortos de alto voltaje (Nambiar et al. 2016). Como pretratamiento la deshidratación osmótica, se evidenció un aumento de azúcares reductores disponibles para la interacción química con moléculas de agua (Castagnini et al. 2020), así como la aceleración de la tasa de transferencia de agua (Traffano-Schiffo et al. 2016). De igual forma, la aplicación de presión hidrostática alta demostró los mismos efectos que CEP, pero tiene un impacto en la microestructura y la retención de nutrientes (Núñez et al. 2014).

Dentro de los tratamientos no térmicos, también se incluye la tecnología de ultrasonido que se basa en la propagación de ondas en un medio a cierta frecuencia que permite una alteración de la membrana celular. Diversos estudios han demostrado los efectos positivos sobre la tasa de transferencia de agua, reducción del tiempo de deshidratación y conservación de compuestos

nutricionales en frutas como la piña, manzana, arándanos y fresas (Stojanovic y Silva 2007; Deng y Zhao 2008; Fernandes et al. 2008). Un estudio similar comparó la pérdida de agua de carambola de tres métodos diferentes: Ultrasonido, fuerza centrífuga y control, donde se encontró una mayor pérdida de agua al aplicar fuerza centrífuga (Barman y Badwaik 2017). El sistema de fuerza centrífuga redujo la ganancia de sólidos del alimento y el tiempo en la deshidratación osmótica de zanahorias (Amami et al. 2007).

Fase 2. Optimización por Superficie de Respuesta

Se encontraron resultados significativos en actividad de agua y se generó una optimización del proceso a un menor valor. Por otro lado, los resultados obtenidos de rendimiento, reducción de luminosidad y ángulo de matiz (Anexos A, B, C y D), no fueron significativos para la optimización en función de grados Brix, tiempo de inmersión y porcentaje de inulina. La temperatura de inmersión (8 °C) en la deshidratación osmótica y la concentración de inulina son los factores que influyeron en las variables de respuesta no significativas.

Actividad de Agua

El modelo de regresión polinomial para actividad de agua cumplió con los requerimientos estadísticos estipulado (Cuadro 4). Los resultados del ANOVA, mostraron un cuadrado medio del error mayor a 70% ($R^2=0.938$), el cual explicó un ajuste del 93.8% de los datos en el modelo. Además, la probabilidad de la falta de ajuste no fue significativa ($p = 0.567$) y el valor F calculado (0.853) fue menor al F tabular (5.05), evidenciando que el modelo es predictivo y no es necesario un modelo más complejo para predecir el parámetro de actividad de agua. Los coeficientes de regresión de las variables significativas ($p < 0.1$) se atribuyeron a los grados brix y el tiempo de inmersión (lineal y cuadrática). También, las interacciones del tiempo de inmersión con grados brix y porcentaje de inulina fueron significativas. El tiempo de inmersión, en su factor cuadrático, fue la variable con mayor influencia sobre la actividad de agua (Cuadro 4).

Cuadro 4

Análisis de regresión y varianza de un modelo polinomial en función de grados Brix (°B), tiempo de inmersión (h) y concentración de inulina (%) para actividad de agua.

Variables	Coefficientes de regresión	Probabilidad
Intercepto	0.380703	0.170
X ₁	0.031265	0.002*
X ₁ ²	-0.000290	0.009*
X ₂	-0.068010	0.001*
X ₂ ²	0.003714	0.089*
X ₃	-0.011122	0.162
X ₃ ²	0.000035	0.637
X ₁ *X ₂	-0.001019	0.083*
X ₁ *X ₃	0.000081	0.429
X ₂ *X ₃	0.001156	0.058*
Falta de Ajuste		0.567
R ²		0.938
F Calculado		0.853
F Tabular		5.05

Nota. X₁: Grados Brix (°B), X₂: Tiempo de inmersión (h), X₃: Porcentaje de inulina (%g/g), *: Significativo (p < 0.1)

En la ecuación del modelo predictivo, se incluyeron los coeficientes de regresión de las variables significativas (Ecuación 7). Se graficó la superficie de respuesta y se analizó el comportamiento de los resultados.

$$\begin{aligned}
 \text{Actividad de agua } (a_w) = & 0.031265(X_1) - 0.000290(X_1^2) - 0.068010(X_2) + \\
 & 0.003714(X_2^2) - 0.001019(X_1X_2) + 0.001156(X_2X_3) \quad [7]
 \end{aligned}$$

Donde:

X₁: Grados Brix (°B)

X₂: Tiempo de inmersión (h)

X₃: Porcentaje de inulina (%g/g)

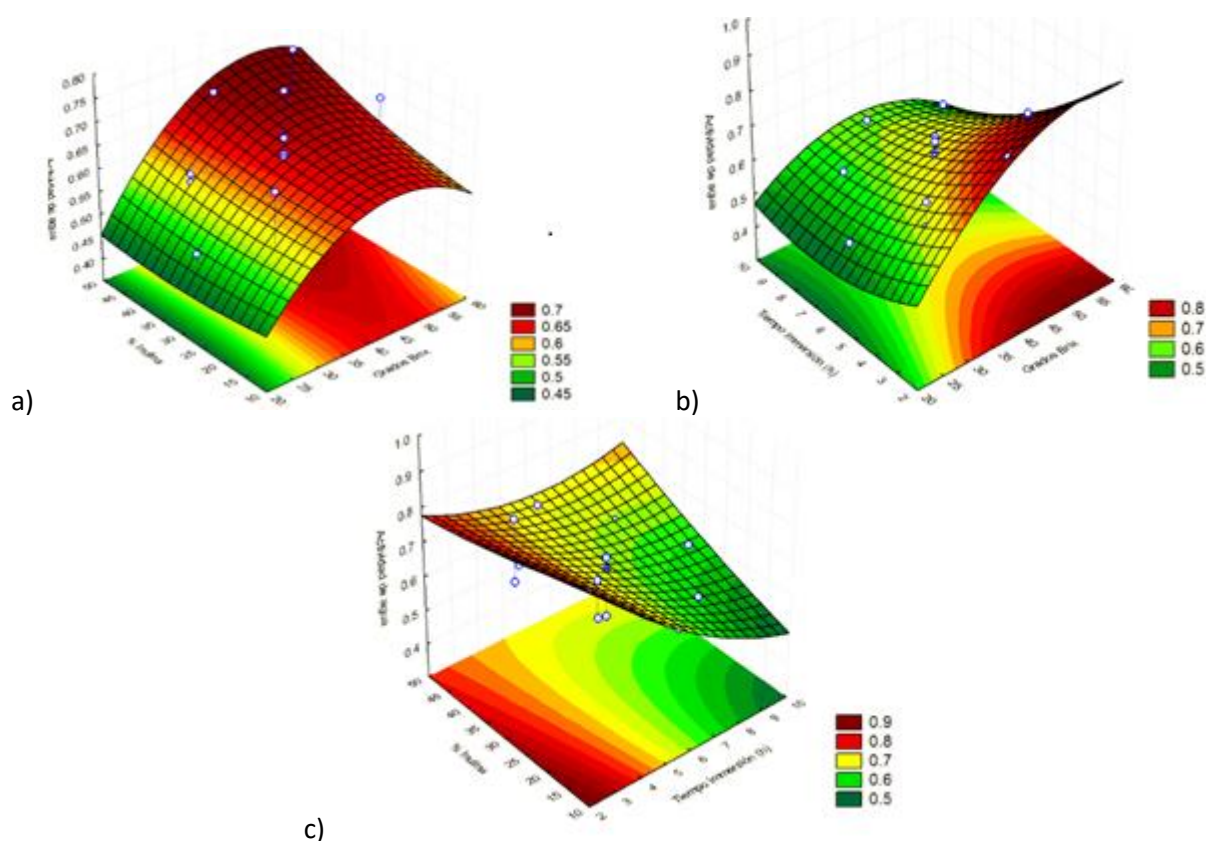
De acuerdo con el comportamiento (Figura 1), la actividad de agua más baja se obtuvo a mayor tiempo de inmersión, mayor concentración de inulina y menor concentración de sólidos solubles (°B). Al contrario, Aouar et al. (2006) y Lemus et al. (2009) observaron una mayor reducción

de actividad de agua a una concentración mayor de sacarosa (40-60 °B) y un menor tiempo de inmersión (2-4 h).

La combinación y la estructura molecular de solutos determinan la eficiencia de la DO (Lombard et al. 2008). Se observó una menor actividad de agua a menor concentración de sólidos solubles (°B), debido a que el peso molecular de la inulina, mayor al de la sacarosa, redujo la tasa de difusión de agua y la permeabilidad del tejido (Dermesonlouoglou et al. 2016).

Figura 1

Efecto de las variables independientes sobre la actividad de agua



Nota. a) inulina (%) y °Brix; b) horas de inmersión y °Brix; c) inulina (%) y horas de inmersión.

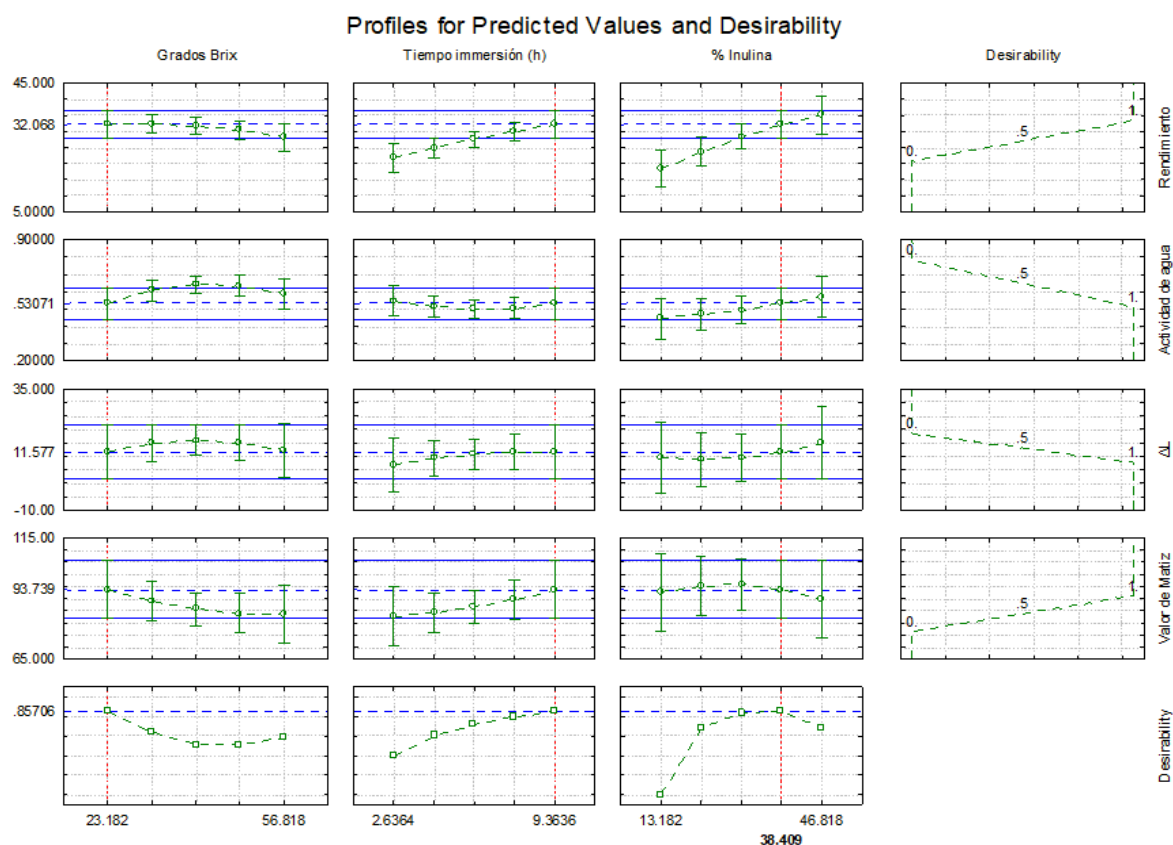
Estos resultados son similares a lo observado por Jimenez et al. (2016) en la DOC de mangos, quienes obtuvieron una actividad de agua final de 0.47-0.49 al utilizar una solución osmótica a 60 °B y un secado convectivo (80 °C) por 24 horas, con una actividad de agua inicial de 0.87. La temperatura

durante la etapa de inmersión (8 °C) influyó sustancialmente en la reducción de actividad de agua, ya que la tasa de difusión y la ganancia de sólidos aumentan a mayor temperatura. En la investigación de Maldonado et al. (2020), se evidenció que la deshidratación osmótica a concentraciones altas de inulina, es más eficiente a temperaturas entre 50 y 60 °C, por 2 horas, lo cual aumentó la presión osmótica. Esto coincide con los resultados de Kowalska H et al. (2017), quienes demostraron una mayor eficiencia de la inulina como agente osmótico a 50 °C, en la DOC de fresas. Matusek et al. (2008), obtuvieron valores mayores de actividad de agua en piña a mayor porcentaje de inulina y grados brix porque la capacidad de retención de humedad de la inulina es mayor. La inulina tiene una estructura larga, formada por múltiples unidades de fructosa, unidas por enlaces β -2 α 1, con unidades de glucosa terminales unidas a través de enlaces α -D-glucopiranosil-1 α 2 (Meyer y Blaauwhoed 2009). Por lo tanto, sus múltiples grupos de hidroxilos libres capturan las moléculas de agua y provocan una menor reducción de actividad de agua (Apolinário et al. 2014).

Luego del análisis de las variables, se utilizó la función de deseabilidad para definir la combinación de valores óptimos (Figura 2), para obtener un mayor rendimiento, menor cambio de color y menor actividad de agua. Se obtuvo los datos de una deshidratación osmótica con 23.18° grados brix, 9.36 horas de inmersión y 38.41% de inulina como el tratamiento que optimiza las condiciones del modelo.

Figura 2

Efecto de los grados Brix, tiempo de inmersión y porcentaje de inulina sobre la deseabilidad del modelo basado en la actividad de agua, rendimiento (%), luminosidad(L*) y ángulo de matiz.



Fase 3. Comparación de Parámetros Físicos y Químicos de Piña Fresca, Deshidratación

Osmoconvectiva y Secado Convectivo

Se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre la deshidratación osmoconvectiva y el secado convectivo en todas las variables. Los porcentajes de rendimiento fueron estadísticamente diferentes, pero se mantuvieron en un rango de 19 a 22% (Cuadro 5). Esto coincide con el rendimiento obtenido por Cedeño (2017), donde se encontró un 20% de rendimiento en la deshidratación osmoconvectiva de piñas. En el parámetro de actividad de agua, la DOC resultó en un valor mayor de actividad de agua (0.587), debido a la absorción de sólidos solubles, los cuales capturan el agua por su estructura molecular. Según Leiva et al. (2013), este efecto también se le atribuyó a la acumulación

de moléculas de sacarosa en la superficie de la fruta, provocando una dificultad en la difusión del agua y, por ende, una mayor retención de humedad. Considerando la actividad de agua de una piña fresca como referencia, el secado convectivo permitió una reducción mayor, lo que coincide con los resultados de (Zuluaga et al. 2010; Ramallo y Mascheroni 2012) a temperaturas de secado de 45, 60 y 75 °C. Ambos tratamientos obtuvieron una actividad de agua menor a 0.6, lo cual indicó que la piña deshidratada es estable a nivel microbiológico, considerando que el crecimiento de mohos y levaduras es más susceptible a valores cercanos a 0.65 (Rosenthal et al. 2018). El contenido de fibra dietética fue mayor en el tratamiento óptimo de DOC, lo cual indica que hubo una difusión de inulina hacia la piña. Por cada 100 g de piña deshidratada (DOC) en base seca, se encontraron 8.42 g de fibra dietética, siendo mayor a los gramos del tratamiento de secado convectivo (6.56 g) representando un 22% de aumento en comparación con el SC, y mayor al contenido de una piña fresca (1.4 g) presentado por el INCAP (2012). Por lo que, el tratamiento óptimo (DOC) representó un 33% de la ingesta diaria recomendada (RDA), 25 a 30 g, con una porción de 100 g (Ancos et al. 2017; Li y Komarek 2017).

Cuadro 5

Resultados de análisis físicos y químicos de piña fresca, deshidratada por osmo-convección y deshidratada por convección.

Tratamientos	Rendimiento %	a_w	Fibra Dietética (g)
	Media \pm DE	Media \pm DE	Media \pm DE
T1 Piña Fresca	-	0.956 \pm 0.005 ^a	9.76 \pm 0.00 *
T2 DOC	21.88 \pm 1.20 ^a	0.587 \pm 0.005 ^b	8.42 \pm 0.13 ^a
T3 SC	19.79 \pm 1.20 ^b	0.549 \pm 0.002 ^c	6.56 \pm 0.14 ^b
CV %	5.77	0.58	1.74

Nota. DE: Desviación Estándar; CV: Coeficiente de Variación; a^c: letras diferentes en cada columna indica diferencia significativa ($p < 0.05$);

DOC: piña deshidratada por osmoconvección optimizado; SC: piña deshidratada por secado convectivo; *Dato obtenido de INCAP, con relación a la base seca de la piña.

En el análisis de color, se encontraron diferencias estadísticas en luminosidad y ángulo de matiz entre los tratamientos. Se observó que la reducción de luminosidad fue mayor en el secado convectivo. La deshidratación osmótica, como pretratamiento de secado convectivo, reduce los cambios generales en el color (Bruijn y Bórquez 2014; Kowalski y Mierzwa 2013). En un estudio similar,

se evidenció que la luminosidad de mangos, con pretratamiento osmótico, fue mayor en comparación con los no pretratados (Fernandes et al. 2019). Estos resultados difieren con lo observado por Botha et al. (2012), donde la luminosidad no presentó cambios significativos entre tratamientos en la deshidratación de piñas. Los cambios en el color de la piña se atribuyen más a los valores a y b, debido a que la piña tiende a tornar a un color marrón, a causa del pardeamiento no enzimático (Ramallo y Mascheroni 2012).

El cambio en el ángulo de matiz de la piña se relaciona con la pérdida, oxidación o la isomerización de carotenoides, caramelización o la acción no enzimática (Salazar et al. 2019). Los resultados para ángulo de matiz demostraron diferencias significativas entre ambos procesos, siendo el tratamiento de osmoconvección mejor en conservar el ángulo de matiz (Cuadro 6). Al contrario, en la DOC de sandías, se observó un incremento en el valor L y ángulo de matiz a medida que aumentaba la concentración de sólidos solubles de la solución osmótica (Falade et al. 2007). El cambio en el ángulo de matiz depende de la matriz de la fruta, el tiempo de inmersión, el tipo de soluto y la temperatura, ya que son los principales factores relacionados a la deterioración de pigmentos (Alvis et al. 2016; Corrêa et al. 2011).

Cuadro 6

Resultados de parámetros de color de piña fresca, deshidratada por osmo-convección y deshidratada por convección.

Tratamientos	Luminosidad	Ángulo de Matiz
	Media \pm DE	Media \pm DE
T1: Piña Fresca	71.83 \pm 0.56 ^a	92.67 \pm 1.25 ^a
T2: DOC	55.35 \pm 0.94 ^b	87.88 \pm 1.04 ^b
T3: SC	45.49 \pm 1.27 ^c	83.26 \pm 0.95 ^c
CV (%)	1.76	1.22

Nota. DE: Desviación Estándar; CV: Coeficiente de Variación; a^c: letras diferentes en cada columna indica diferencia significativa (p <

0.05); DOC: piña deshidratada por osmoconvección optimizado; SC: piña deshidratada por secado convectivo

Conclusiones

La revisión literaria mostró la situación actual en la producción de piñas y la aplicación de tecnologías modernas para mejorar el proceso de deshidratación de frutas.

El tratamiento óptimo de la deshidratación osmo-convectiva para piña consistió en 23.18 grados Brix, 9.36 h en tiempo de inmersión y 38.4 porcentaje de la concentración de inulina.

Se obtuvo un color más brillante, con un mayor rendimiento y 22% más de la fibra dietética en la deshidratación osmo-convectiva.

La actividad de agua fue menor a 0.6 en ambos procesos, obteniéndose una piña estable.

Recomendaciones

Realizar análisis microbiológicos a los tratamientos deshidratados.

Evaluar los cambios que se producen en la piña deshidratada osmóticamente al incrementar la temperatura y analizar los efectos en la solución osmótica a mayores o menores concentraciones de sacarosa.

Estudiar la implementación de otros agentes y solutos nutritivos en la solución para la deshidratación osmótica.

Analizar atributos nutricionales y sensoriales a la piña deshidratada osmo-convectiva y a la piña deshidratada por medio de secado convectivo.

Referencias

- Adikaram N, Abayasekara C. 2012. Pineapple. En: Rees D, Farrell G, Orchard J, editores. *Crop Post-Harvest: Science and Technology*. Oxford, UK: Wiley-Blackwell. p. 143–158.
- Akharume F, Smith A, Sivanandan L, Singh K. 2019. Recent Progress on Osmo-convective Dehydration of Fruits. *Journal of Food Science & Technology*. 4(9):956–969. doi:10.25177/JFST.4.9.RA.613.
- Almada M, Cáceres MS, Machaín-Singer M, Pulfer JC. 2005. Guías de Uso: de secaderos solares para frutas, legumbres, hortalizas, plantas medicinales y carnes. Paraguay: Fundación Celestina Pérez de Almada. 42 p. <http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Montevideo/pdf/ED-Guiasecaderosolar.pdf>.
- Alvis A, García C, Dussán S. 2016. Cambios en la Textura y Color en mango (Tommy Atkins) Pre-Secado por Deshidratación Osmótica y Microondas. *Información tecnológica*. 27(2):31–38. doi:10.4067/S0718-07642016000200005.
- Amami E, Fersi A, Khezami L, Vorobiev E, Kechaou N. 2007. Centrifugal osmotic dehydration and rehydration of carrot tissue pre-treated by pulsed electric field. *LWT - Food Science and Technology*. 40(7):1156–1166. doi:10.1016/j.lwt.2006.08.018.
- Amini A, Masoumi-Moghaddam S, Ehteda A, Morris DL. 2014. Bromelain and N-acetylcysteine inhibit proliferation and survival of gastrointestinal cancer cells in vitro: significance of combination therapy. *J Exp Clin Cancer Res*. 33(1):1–15. eng. doi:10.1186/s13046-014-0092-7.
- Ancos B de, Sánchez-Moreno C, González-Aguilar GA. 2017. Pineapple composition and nutrition. En: Lobo MG, Paull RE, editores. *Handbook of pineapple technology*. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd. p. 221–239.
- Apolinário AC, Lima Damasceno BPG de, Macêdo Beltrão NE de, Pessoa A, Converti A, Da Silva JA. 2014. Inulin-type fructans: a review on different aspects of biochemical and pharmaceutical technology. *Carbohydr Polym*. 101(1):368–378. eng. doi:10.1016/j.carbpol.2013.09.081.
- Arias C, Toledo J. 2007. Manual de manejo postcosecha de frutas tropicales. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura; [consultado el 21 de jul. de 2021]. <http://www.fao.org/3/ac304s/ac304s.pdf>.
- Assis F, Morais R, Morais A. 2017. Osmotic dehydration with sorbitol combined with hot air convective drying of apple cubes. *J Food Sci Technol*. 54(10):3152–3160. eng. doi:10.1007/s13197-017-2751-0.
- Augusto PE, Soares BM, Castanha N. 2018. Conventional technologies of food preservation. En: Barba F, Sant'Ana A, Orlie V, Koubaa M, editores. *Innovative Technologies for Food Preservation*. 1ª ed. Amsterdam: Elsevier Academic Press. p. 305–315.

- Bahloul N, Boudhrioua N, Kouhila M, Kechaou N. 2009. Effect of convective solar drying on colour, total phenols and radical scavenging activity of olive leaves (*Olea europaea* L.). *International Journal of Food Science & Technology*. 44(12):2561–2567. doi:10.1111/j.1365-2621.2009.02084.x.
- Barbosa Júnior JL, Cordeiro Mancini M, Hubinger MD. 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*. 48(12):2463–2473. doi:10.1111/ijfs.12237.
- Barman N, Badwaik LS. 2017. Effect of ultrasound and centrifugal force on carambola (*Averrhoa carambola* L.) slices during osmotic dehydration. *Ultrason Sonochem*. 34:37–44. eng. doi:10.1016/j.ultsonch.2016.05.014.
- [BCH] Banco Central de Honduras. 2020. Producto Interno Bruto. Honduras: Banco Central de Honduras. <https://cutt.ly/sm7dQCH>.
- Bekele Y, Ramaswamy H. 2010. Going beyond conventional osmotic dehydration for quality advantage and energy savings. *Journal of Animal Science and Technology*. 1:1–15. <https://cutt.ly/sm7dF9f>.
- Bennamoun L, Li J. 2018. *Drying Process of Food: Fundamental Aspects and Mathematical Modeling*. En: *Natural and Artificial Flavoring Agents and Food Dyes*. [sin lugar]: Elsevier. p. 29–82.
- Bennett LE, Jegasothy H, Konczak I, Frank D, Sudharmarajan S, Clingeleffer PR. 2011. Total polyphenolics and anti-oxidant properties of selected dried fruits and relationships to drying conditions. *Journal of Functional Foods*. 3(2):115–124. doi:10.1016/j.jff.2011.03.005.
- Bhat NR. 2012. Postharvest storage systems: biology, physical factors, storage, and transport. En: Sinha NK, Sidhu JS, Barta J, Wu JSB, Cano MP, editores. *Handbook of fruits and fruit processing*. Oxford, UK: Wiley-Blackwell. p. 85–101.
- [BM] Banco Mundial. 2021. Honduras: panorama general. Honduras: BM; [consultado el 21 de jul. de 2021]. <https://www.bancomundial.org/es/country/honduras/overview>.
- Boglio D, Milicevic B. 2014. Piña. Ginebra, Suiza: UNCTAD:. 24 p.
- Borjas Ventura R, Alvarado Huamán L, Castro Cepero V, Bello Ames S, Julca Otiniano A. 2020. Origen de la piña: Una muy breve Historia. Lima, Perú: Departamento de Fitotecnia, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional Agraria La Molina. <https://cutt.ly/cm7fJdA>.
- Botha GE, Oliveira JC, Ahrné L. 2012. Quality optimisation of combined osmotic dehydration and microwave assisted air drying of pineapple using constant power emission. *Food and Bioproducts Processing*. 90(2):171–179. doi:10.1016/j.fbp.2011.02.006.

- Brochier B, Marczak LD, Noreña CP. 2015. Use of different kinds of solutes alternative to sucrose in osmotic dehydration of yacon. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. 58(1):34–40. doi:10.1590/S1516-8913201400035.
- Bruijn J, Bórquez R. 2014. Quality retention in strawberries dried by emerging dehydration methods. *Food Research International*. 63(A):42–48. doi:10.1016/j.foodres.2014.03.029.
- Carbajal Azcona A. 2013. *Manual de Nutrición y Dietética*. Madrid. 367 p.
- Castagnini JM, Iaccheri E, Tylewicz U, Dalla Rosa M, Rocculi P. 2020. Pulsed electric fields effect on mechanical and sorption properties of dried apple tissue. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 65. doi:10.1016/j.ifset.2020.102442.
- Cedeño V. 2017. Efecto de pretratamiento de secado en la pérdida de peso de la piña deshidratada [Doctoral]. Ecuador: Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. <https://repositorio.uleam.edu.ec/bitstream/123456789/1720/1/ULEAM-IAL-0025.pdf>.
- Cerrato I. 2013. Panorama mundial de la piña. Honduras: Secretaria de Agricultura y Ganadería (SAG, Programa Nacional de Desarrollo Agroalimentario. 10 p. <https://cutt.ly/mm7htEz>.
- Chakraborty AJ, Mitra S, Tallei TE, Tareq AM, Nainu F, Cicia D, Dhama K, Emran TB, Simal-Gandara J, Capasso R. 2021. Bromelain a Potential Bioactive Compound: A Comprehensive Overview from a Pharmacological Perspective. *Life*. 11(4). eng. doi:10.3390/life11040317.
- Chanprasartsuk O, Prakitchaiwattana C, Sanguandeeikul R, Fleet GH. 2010. Autochthonous yeasts associated with mature pineapple fruits, freshly crushed juice and their ferments; and the chemical changes during natural fermentation. *Bioresour Technol*. 101(19):7500–7509. eng. doi:10.1016/j.biortech.2010.04.047.
- Chemat F, Rombaut N, Sicaire A-G, Meullemiestre A, Fabiano-Tixier A-S, Abert-Vian M. 2017. Ultrasound assisted extraction of food and natural products. Mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications. A review. *Ultrason Sonochem*. 34:540–560. eng. doi:10.1016/j.ultsonch.2016.06.035.
- Chobotova K, Vernallis AB, Majid FAA. 2010. Bromelain's activity and potential as an anti-cancer agent: Current evidence and perspectives. *Cancer Lett*. 290(2):148–156. eng. doi:10.1016/j.canlet.2009.08.001.
- Chong CH, Law CL, Figiel A, Wojdyło A, Oziębłowski M. 2013. Colour, phenolic content and antioxidant capacity of some fruits dehydrated by a combination of different methods. *Food Chem*. 141(4):3889–3896. eng. doi:10.1016/j.foodchem.2013.06.042.
- Chun HH, Kim MS, Chung KS, Won M, Song KB. 2012. Dehydration of blueberries using maltodextrin and the physicochemical properties of dried blueberries. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*. 53(6):565–570. doi:10.1007/s13580-012-0761-4.

- Corrêa J, Dev S, Garipey Y, Raghavan G. 2011. Drying of Pineapple by Microwave-Vacuum with Osmotic Pretreatment. *Drying Technology*. 29(13):1556–1561. doi:10.1080/07373937.2011.582558.
- Da Silva BB, Da Silva VP, de Azevedo PV, de Souza CB. 2007. Water requirements of pineapple crop grown in a tropical environment, Brazil. *Agricultural Water Management*. 88(1-3):201–208. doi:10.1016/j.agwat.2006.10.021.
- De La Cruz Medina J, Garcia H. 2005. *Post-Harvest Compendium Pineapple*. [sin lugar]: FAO. 39 p.
- De michelis A, Ohaco E. 2015. *Deshidratación y desecado de frutas, hortalizas y hongos: procedimiento hogareños y cinercuakes de pequeña escala*. Argentina: INTA Ediciones. 79 p. (Divulgación).
- Deng Y, Zhao Y. 2008. Effect of pulsed vacuum and ultrasound osmopretreatments on glass transition temperature, texture, microstructure and calcium penetration of dried apples (Fuji). *LWT - Food Science and Technology*. 41(9):1575–1585. doi:10.1016/j.lwt.2007.10.018.
- Dermesonlouoglou E, Giannakourou M, Taoukis P. 2016. Kinetic study of the effect of the osmotic dehydration pre-treatment with alternative osmotic solutes to the shelf life of frozen strawberry. *Food and Bioprocess Processing*. 99:212–221. doi:10.1016/j.fbp.2016.05.006.
- Díaz Porras RA, Monge Gutiérrez MJ. 2019. Cadenas agroindustriales de piña en Centroamérica. *Cuadernos de Política Económica*. (002). <https://cutt.ly/lm7ltSj>.
- El-Aouar Â, Azoubel P, Barbosa J, Xidieh Murr F. 2006. Influence of the osmotic agent on the osmotic dehydration of papaya (*Carica papaya L.*). *Journal of Food Engineering*. 75(2):267–274. doi:10.1016/j.jfoodeng.2005.04.016.
- Escobedo-Avellaneda Z, Guerrero-Beltrán JÁ, Tapia MS, Barbosa-Cánovas GV, Welte-Chanes J. 2018. *Minimal Processing of Fruits*. En: Rosenthal A, Deliza R, Welte-Chanes J, Barbosa-Cánovas GV, editores. *Fruit preservation*. New York, NY: Springer New York. p. 67–92 (Food Engineering Series).
- Esparza I, Jiménez-Moreno N, Bimbela F, Ancín-Azpilicueta C, Gandía LM. 2020. Fruit and vegetable waste management: Conventional and emerging approaches. *J Environ Manage*. 265:110510. eng. doi:10.1016/j.jenvman.2020.110510.
- Falade KO, Igbeka JC, Ayanwuyi FA. 2007. Kinetics of mass transfer and colour changes during osmotic dehydration of watermelon. *Journal of Food Engineering*. 80(3):979–985. doi:10.1016/j.jfoodeng.2006.06.033.
- [FAO] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2020a. *Análisis del mercado de las principales frutas tropicales*. Roma: FAO. 20 p. Informe no.1; [consultado el 26 de jul. de 2021].
- [FAO] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2020b. *Cuáles son las frutas más comercializadas a nivel mundial 2020*. Roma: FAO; [actualizado el 31 de may. de 2021; consultado el 20 de jun. de 2021]. <https://bit.ly/2VPEO6g>.

- [FAO] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, [OMS] Organización Mundial de la salud, [CCA] Comisión del Codex Alimentarius. 2011. Norma del CODEX para la Piña: CODEX STAN 182-1993. [sin lugar]: CCA. 2011; [actualizado 2011]. http://www.fao.org/input/download/standards/313/CXS_182s.pdf.
- Fernandes FAN, Braga TR, Silva EO, Rodrigues S. 2019. Use of ultrasound for dehydration of mangoes (*Mangifera indica* L.): kinetic modeling of ultrasound-assisted osmotic dehydration and convective air-drying. *J Food Sci Technol*. 56(4):1793–1800. eng. doi:10.1007/s13197-019-03622-y.
- Fernandes FAN, Linhares FE, Rodrigues S. 2008. Ultrasound as pre-treatment for drying of pineapple. *Ultrason Sonochem*. 15(6):1049–1054. eng. doi:10.1016/j.ultsonch.2008.03.009.
- Gonçalves SM, Dos Santos DC, Motta JFG, Santos RRD, Chávez DWH, Melo NR de. 2019. Structure and functional properties of cellulose acetate films incorporated with glycerol. *Carbohydr Polym*. 209:190–197. eng. doi:10.1016/j.carbpol.2019.01.031.
- Hale LP. 2004. Proteolytic activity and immunogenicity of oral bromelain within the gastrointestinal tract of mice. *Int Immunopharmacol*. 4(2):255–264. eng. doi:10.1016/j.intimp.2003.12.010.
- Hartley L, Igbinedion E, Holmes J, Flowers N, Thorogood M, Clarke A, Stranges S, Hooper L, Rees K. 2013. Increased consumption of fruit and vegetables for the primary prevention of cardiovascular diseases. *Cochrane Database Syst Rev*. (6). eng. doi:10.1002/14651858.CD009874.pub2.
- Hassan A, Othman Z, Siriphanich J. 2011. Pineapple (*Ananas comosus* L. Merr.). En: *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits*. [sin lugar]: Elsevier. 194-218e.
- Hernández M, Carvajal C, Márquez M, Báez R, Morris H, Santos R, Chávez MdlÁ. 2005. Obtención de Preparados Enzimáticos a Partir de Tallos de Piña (*Ananas Comosus*) con Potencialidades de uso en la Biotecnología y la Medicina. *Revista CENIC*; [consultado el 15 de ago. de 2021]. 36. <https://www.redalyc.org/pdf/1812/181220525089.pdf>.
- Hornung C. 2011. Avances sobre usos etnobotánicos de las bromeliaceae en latinoamérica. *Boletín latinoamericano y del caribe de plantas medicinales y aromáticas*; [consultado el 11 de ago. de 2021]. 10(4):297–314. <https://www.redalyc.org/pdf/856/85619300003.pdf>.
- Hossain M F. 2016. World pineapple production: an overview. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*; [consultado el 11 de ago. de 2021]. 16(4):11443–11456. en. https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=origen+de+la+pi%C3%B1a+&btnG=. doi:10.4314/ajfand.v16i4.
- [INCAP] Instituto de Nutrición de Centro America y Panamá. 2012. Tabla de composición de alimentos de centroamerica. Guatemala: INCAP; [consultado el 16 de jul. de 2021]. <http://www.incap.int/mesocaribefoods/dmdocuments/tablacalimentos.pdf>.

- İspir A, Togrul İ. 2009. The influence of application of pretreatment on the osmotic of deshydration of dehydration of apricots. *Journal of Food Processing and Preservation*. 33:58–74. doi:10.1111/j.1745-4549.2008.00251.x.
- Jideani AI, Anyasi TA, Mchau GR, Udoro EO, Onipe OO. 2017. Processing and preservation of fresh-cut fruit and vegetable products. En: Kahramanoglu I, editor. *Postharvest Handling*. [sin lugar]: InTech. p. 47–72.
- Jiménez-Hernández J, Estrada-Bahena EB, Maldonado-Astudillo YI, Talavera-Mendoza Ó, Arámbula-Villa G, Azuara E, Álvarez-Fitz P, Ramírez M, Salazar R. 2017. Osmotic dehydration of mango with impregnation of inulin and piquin-pepper oleoresin. *LWT - Food Science and Technology*. 79:609–615. doi:10.1016/j.lwt.2016.11.016.
- Konopacka D, Jesionkowska K, Klewicki R, Bonazzi C. 2009. The effect of different osmotic agents on the sensory perception of osmo-treated dried fruit. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 84(6):80–84. doi:10.1080/14620316.2009.11512600.
- Kowalska H, Marzec A, Kowalska J, Ciurzyńska A, Czajkowska K, Cichowska J, Rybak K, Lenart A. 2017. Osmotic dehydration of honeoye strawberries in solutions enriched with natural bioactive molecules. *LWT - Food Science and Technology*. 85:500–505. doi:10.1016/j.lwt.2017.03.044.
- Kowalska J, Lenart A, Roszkowska S, Kowalska H. 2019. The influence of chokeberry juice and inulin as osmotic-enriching agents in pre-treatment on polyphenols content and sensory quality of dried strawberries. *Agricultural and Food Science*. 28(4):190–199. doi:10.23986/afsci.82721.
- Kowalski SJ, Mierzwa D. 2013. Influence of osmotic pretreatment on kinetics of convective drying and quality of apples. *Drying Technology*. 31(15):1849–1855. doi:10.1080/07373937.2013.833518.
- Landim APM, Barbosa MIMJ, Júnior JLB. 2016. Influence of osmotic dehydration on bioactive compounds, antioxidant capacity, color and texture of fruits and vegetables: a review. *Ciência Rural*. 46(10):1714–1722. doi:10.1590/0103-8478cr20150534.
- Leiva-Valenzuela GA, Lu R, Aguilera JM. 2013. Prediction of firmness and soluble solids content of blueberries using hyperspectral reflectance imaging. *Journal of Food Engineering*. 115(1):91–98. doi:10.1016/j.jfoodeng.2012.10.001.
- Lemus-Mondaca R, Miranda M, Grau AA, Briones V, Villalobos R, Vega-Gálvez A. 2009. Effect of osmotic pretreatment on hot air drying kinetics and quality of chilean papaya (*Carica pubescens*). *Drying Technology*. 27(10):1105–1115. doi:10.1080/07373930903221291.
- Li YO, Komarek AR. 2017. Dietary fibre basics: health, nutrition, analysis, and applications. *Food Quality and Safety*. 1(1):47–59. doi:10.1093/fqsafe/fyx007.
- Lobo MG, Paull RE, editores. 2017. *Handbook of pineapple technology*. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd. ISBN: 9781118967355.

- Lozano JE, editor. 2006. Fruit manufacturing: Scientific basis, engineering properties, and deteriorative reactions of technological importance. New York: Springer. xi, 230 (Food Engineering Series).
- Lutz M, Hernandez J, Henriquez C. 2015. Phenolic content and antioxidant capacity in fresh and dry fruits and vegetables grown in Chile. *CyTA*. 1–7. <http://dx.doi.org/10.1080/19476337.2015.1012743>.
- Maldonado RR, Pedreira AJRM, Cristianini LB, Guidi MF, Capato MO, Ávila PF, Goldbeck R, Kamimura ES. 2020. Application of soluble fibres in the osmotic dehydration of pineapples and reuse of effluent in a beverage fermented by water kefir. *LWT - Food Science and Technology*. 132:1–9. doi:10.1016/j.lwt.2020.109819.
- Manafi M, Hesari J, Peighambardoust SH, Damirchi SA, Khoji MR. 2011. Estudio cinético de la deshidratación osmótica de albaricoque usando soluciones salinas. *CyTA - Journal of Food*. 9(3):167–170. doi:10.1080/19476337.2010.503279.
- Martínez A, Rodrigo D, Zanini SF. 2018. Safety issues on the preservation of fruits and vegetables. En: Rosenthal A, Deliza R, Welti-Chanes J, Barbosa-Cánovas GV, editores. *Fruit preservation*. New York, NY: Springer New York. p. 21–43 (Food Engineering Series).
- Mathias-Rettig K, Ah-Hen K. 2014. El color en los alimentos un criterio de calidad medible. *Agro Sur*. 42(2):57–66. doi:10.4206/agrosur.2014.v42n2-07.
- Meneses J. 2018. Osmoconvective dehydration in fruits and vegetables: A review of recent developments. *Agroindustrial science*. 8(1):67–72. doi:10.17268/agroind.science.2018.01.10.
- Morales IL. 2020. Efecto del uso de estabilizadores en el rendimiento y características fisicoquímicas y senso del queso crema Zamorano [Tesis]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. 43 p; [consultado el 15 de jul. de 2021]. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6909/1/AGI-2020-T031.pdf>.
- Nambiar SS, Basu A, Shetty NP, Rastogi NK, Prapulla SG. 2016. Infusion of fructooligosaccharide in Indian gooseberry (*Emblica officinalis*) fruit using osmotic treatment and its effect on the antioxidant activity of the fruit. *Journal of Food Engineering*. 190:139–146. doi:10.1016/j.jfoodeng.2016.06.005.
- Nukuntornprakit O, Luengwilai K, Siriphanich J. 2020. Chilling injury in pineapple fruit is related to mitochondrial antioxidative metabolism. *Postharvest Biology and Technology*. 170:1–10. doi:10.1016/j.postharvbio.2020.111330.
- Núñez Mancilla Y, Vega Gálvez A, Pérez Won M, Zura L, García Segovia P, Di Scala K. 2014. Effect of osmotic dehydration under high hydrostatic pressure on microstructure, functional properties and bioactive compounds of strawberry (*Fragaria Vesca*). *Food and Bioprocess Technology*. 7(2):516–524. doi:10.1007/s11947-013-1052-5.

- Omolola AO, Jideani AI, Kapila PF. 2017. Quality properties of fruits as affected by drying operation. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 57(1):95–108. eng. doi:10.1080/10408398.2013.859563.
- [OMS] Organización Mundial de la salud. 2018. Alimentación sana. [sin lugar]: Organización Mundial de la salud; [actualizado 2018; consultado 20/7/21]. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/healthy-diet>.
- Ozdemir M, Ozen BF, Dock LL, Floros JD. 2008. Optimization of osmotic dehydration of diced green peppers by response surface methodology. *LWT - Food Science and Technology.* 41(10):2044–2050. doi:10.1016/j.lwt.2008.01.010.
- Panagiotou NM, Karathanos VT, Maroulis ZB. 1998. Mass transfer modelling of the osmotic dehydration of some fruits. *International Journal of Food Science & Technology.* 33(3):267–284. doi:10.1046/j.1365-2621.1998.00167.x.
- Patras A, Brunton NP, O'Donnell C, Tiwari BK. 2010. Effect of thermal processing on anthocyanin stability in foods; mechanisms and kinetics of degradation. *Trends in Food Science & Technology.* 21(1):3–11. doi:10.1016/j.tifs.2009.07.004.
- Pavan R, Jain S, Shraddha, Kumar A. 2012. Properties and therapeutic application of bromelain: a review. *Biotechnol Res Int.* (6):1–6. Inglés. doi:10.1155/2012/976203.
- Ramallo LA, Mascheroni RH. 2012. Quality evaluation of pineapple fruit during drying process. *Food and Bioprocess Processing.* 90(2):275–283. doi:10.1016/j.fbp.2011.06.001.
- Rodríguez MM, Arballo JR, Campañone LA, Mascheroni RH. 2017. Analysis of operating conditions on osmotic dehydration of plums (*Prunus Domestica L.*) and 3D-Numerical Determination of Effective Diffusion Coefficients. *International Journal of Food Engineering.* 13(11). doi:10.1515/ijfe-2017-0071.
- Rodriguez Amaya DB, Amaya Farfan J. 2018. Nutritional and functional attributes of fruit products. En: Rosenthal A, Deliza R, Welte-Chanes J, Barbosa-Cánovas GV, editores. *Fruit preservation*. New York, NY: Springer New York. p. 45–66 (Food Engineering Series).
- Rosenthal A, Torrezan R, Schmidt FL, Narain N. [sin fecha]. Preservation and processing of tropical and subtropical fruits. En: 419-485e.
- Rubio Arraez S, Sahuquillo S, Capella JV, Ortolá MD, Castelló ML. 2015. Influence of healthy sweeteners (tagatose and oligofructose) on the physicochemical characteristics of orange marmalade. *Journal of Texture Studies.* 46(4):272–280. doi:10.1111/jtxs.12127.
- Sabarez HT. 2018. Thermal drying of foods. En: Rosenthal A, Deliza R, Welte-Chanes J, Barbosa-Cánovas GV, editores. *Fruit preservation*. New York, NY: Springer New York. p. 181–210 (Food Engineering Series).

- Sablani SS. 2006. Drying of fruits and vegetables: retention of nutritional/functional Quality. *Drying Technology*. 24(2):123–135. doi:10.1080/07373930600558904.
- Salazar DM, Álvarez FC, Acurio LP, Perez LV, Arancibia MY, Carvajal MG, Valencia AF, Rodriguez CA. 2019. Osmotic concentration of pineapple (Cayenne lisse) as a pretreatment for convection drying. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 292:1–9. doi:10.1088/1755-1315/292/1/012039.
- Salido Marcos J, Herrera D, Garry S, García L, Vélez D. 2017. Incorporacion de valor agregado Cadena de Papaya, Costa Rica. Naciones Unidas: Comisión Económica para América Latina y el Caribe; [consultado el 6 de jun. de 2021]. 100 p. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/42284/1/S1701037_es.pdf.
- Salvatierra Pajuelo Y. 2019. Optimization of the nutritional, textural and sensorial characteristics of cookies enriched with chia (Salvia Hispánica) and oil extracted from tarwi (Lupinus Mutabilis). *Scientia Agropecuaria*. 10(1):7–17. doi:10.17268/sci.agropecu.2019.01.01.
- Sánchez E, González N. 2019. Biodiesel production from castor oil by two-step catalytic transesterification: optimization of the process and conomic assessment. *Catalysts*. 9(10):1–16. doi:10.3390/catal9100864.
- Shafiur Rahman M. 2012. Food preservation and processing methods. En: Ahmed J, Shafiur Rahman M, editores. *Handbook of Food Process Design*. Oxford, UK: Wiley-Blackwell. p. 1–17.
- Shahbandeh M. 2019. Global production of fruit by variety selected. [sin lugar]: Statista; [actualizado el 31 de may. de 2021; consultado el 31 de may. de 2021]. <https://cutt.ly/xQXHq9t>.
- Shashirekha MN, Baskaran R, Jaganmohan Rao L, Vijayalakshmi MR, Rajarathnam S. 2008. Influence of processing conditions on flavour compounds of custard apple (*Annona squamosa L.*). *LWT - Food Science and Technology*. 41(2):236–243. doi:10.1016/j.lwt.2007.03.005.
- Sinha NK, Sidhu JS, Barta J, Wu JSB, Cano MP, editores. 2012. *Handbook of fruits and fruit processing*. Oxford, UK: Wiley-Blackwell. ISBN: 9781118352533.
- Stojanovic J, Silva JL. 2007. Influence of osmotic concentration, continuous high frequency ultrasound and dehydration on antioxidants, colour and chemical properties of rabbiteye blueberries. *Food Chem*. 101(3):898–906. doi:10.1016/j.foodchem.2006.02.044.
- Traffano-Schiffo MV, Tylewicz U, Castro-Giraldez M, Fito PJ, Ragni L, Dalla RM. 2016. Effect of pulsed electric fields pre-treatment on mass transport during the osmotic dehydration of organic kiwifruit. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 38:243–251. doi:10.1016/j.ifset.2016.10.011.

- Tröger K, Lelea MA, Hensel O, Kaufmann B. 2020. Re-framing post-harvest losses through a situated analysis of the pineapple value chain in Uganda. *Geoforum*. 111:48–61. doi:10.1016/j.geoforum.2020.02.017.
- Tucker GS, editor. 2016. *Food Preservation and Biodeterioration*. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd. ISBN: 9781118904657.
- Verma A, Singh SV. 2015. Spray drying of fruit and vegetable juices--a review. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 55(5):701–719. eng. doi:10.1080/10408398.2012.672939.
- Viganó J, Azuara E, Telis VR, Beristain CI, Jiménez M, Telis-Romero J. 2012. Role of enthalpy and entropy in moisture sorption behavior of pineapple pulp powder produced by different drying methods. *Thermochimica Acta*. 528:63–71. doi:10.1016/j.tca.2011.11.011.
- Vinson JA, Zubik L, Bose P, Samman N, Proch J. 2005. Dried fruits: excellent in vitro and in vivo antioxidants. *J Am Coll Nutr*. 24(1):44–50. eng. doi:10.1080/07315724.2005.10719442.
- Wang R, Zhang M, Mujumdar AS. 2010. Effects of vacuum and microwave freeze drying on microstructure and quality of potato slices. *Journal of Food Engineering*. 101(2):131–139. doi:10.1016/j.jfoodeng.2010.05.021.
- Wijeratnam SW. 2015. Pineapple. En: Finglas PM, Caballero B, Toldrá F, editores. *Encyclopedia of Food and Health*. 3ª ed. Estados Unidos: Elsevier Academic Press. p. 380–384.
- Wojdyło A, Nowicka P, Laskowski P, Oszmiański J. 2014. Evaluation of sour cherry (*Prunus cerasus* L.) fruits for their polyphenol content, antioxidant properties, and nutritional components. *J Agric Food Chem*. 62(51):12332–12345. eng. doi:10.1021/jf504023z.
- Yilmaz Y, Toledo R. 2005. Antioxidant activity of water-soluble maillard reaction products. *Food Chem*. 93(2):273–278. doi:10.1016/j.foodchem.2004.09.043.
- Zuluaga J, Cortes M, Rodriguez E. 2010. Evaluación de las características físicas de mango deshidratado aplicando secado por aire caliente y deshidratación osmótica. *Revista de la Facultad de Ingeniería*; [consultado 28/7/21]. 25:127–135. <https://bit.ly/2UaGsz3>.

Anexos

Anexo A

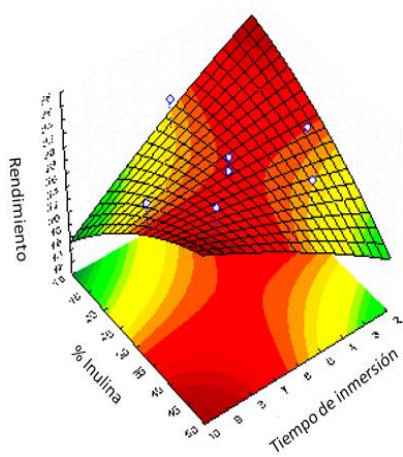
Reducción de luminosidad y ángulo de matiz.

Tratamientos	G Brix (°B)	T Inmersión (h)	Inulina (%)	Reducción de L	Ángulo de Matiz
1	30	4	20	15.98	84.85
2	30	4	40	8.63	87.24
3	30	8	20	14.35	87.19
4	30	8	40	17.63	87.72
5	50	4	20	11.51	89.03
6	50	4	40	10.26	91.29
7	50	8	20	18.28	77.42
8	50	8	40	13.13	87.08
9	23.2	6	30	7.74	88.27
10	56.8	6	30	9.34	89.54
11	40	2.6	30	11.21	88.72
12	40	9.4	30	10.86	86.51
13	40	6	13.18	13.36	86.39
14	40	6	46.82	17.32	76.37
15 ©	40	6	30	15.91	85.59
16 ©	40	6	30	18.46	79.06
17 ©	40	6	30	13.80	87.12
18 ©	40	6	30	9.88	87.78
19 ©	40	6	30	13.69	88.63
20 ©	40	6	30	11.90	88.32

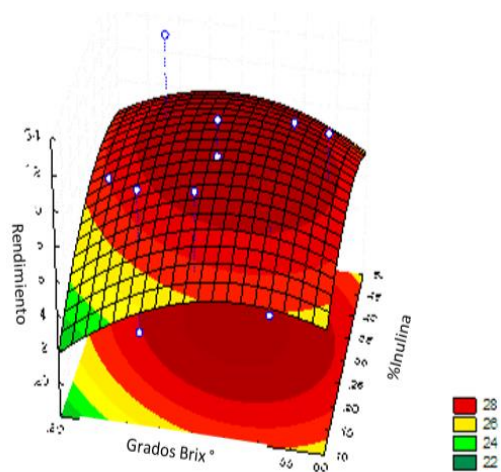
Nota. © Punto central del experimento

Anexo B

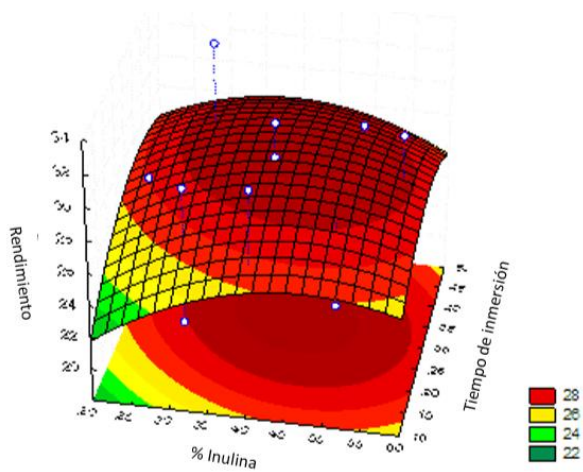
Efecto de las variables independientes sobre rendimiento. a) inulina (%) y °Brix; b) horas de inmersión y °Brix; c) inulina (%) y horas de inmersión.



b)

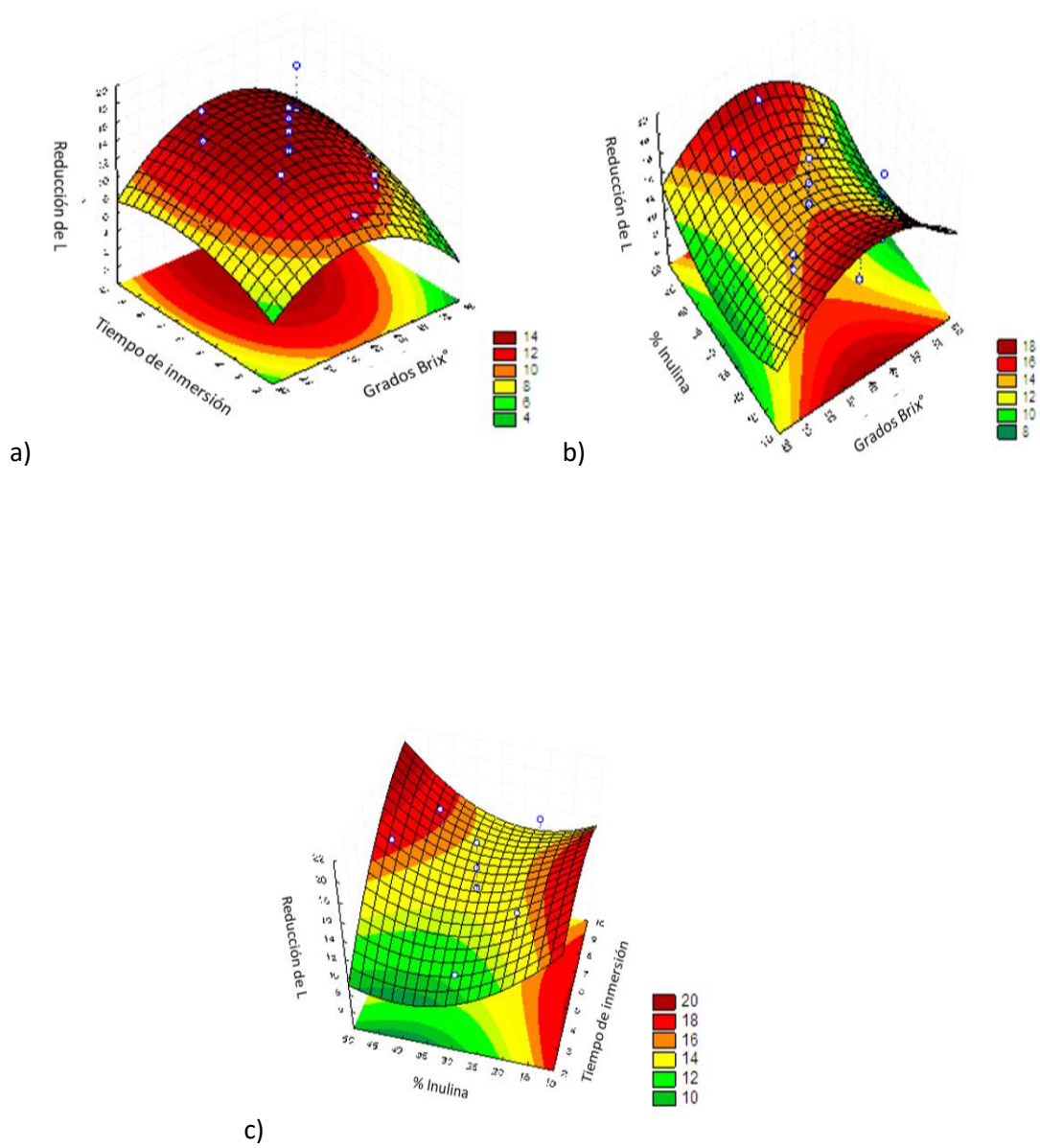


c)



Anexo C

Efecto de las variables independientes sobre reducción de luminosidad. a) inulina (%) y °Brix; b) horas de inmersión y °Brix; c) inulina (%) y horas de inmersión



Anexo D

Efecto de las variables independientes sobre ángulo de matiz. a) inulina (%) y °Brix; b) horas de inmersión y °Brix; c) inulina (%) y horas de inmersión.

