

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



Proyecto Especial de Graduación

**Evaluación de sobrevivencia de *Salmonella* en papaya (*Carica papaya*)  
deshidratada con método de convección y osmo-convección**

Estudiante

María Teresa Monroy Payés

Asesores

Mayra Márquez González, Ph.D.

Blanca Carolina Valladares, M.Sc.

Honduras, agosto 2022

**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 .....	5
Índice de Figuras .....	6
Índice de Anexos .....	7
Resumen .....	8
Abstract .....	9
Introducción.....	10
Materiales y Métodos .....	12
Preparación de Papaya .....	13
Papaya Fresca Cortada (Tratamiento Control).....	14
Inoculación de la Muestra.....	14
Proceso de Deshidratado.....	14
Proceso de Deshidratación por Convección.....	14
Proceso de Deshidratación Osmo-Convección .....	15
Recuento Microbiológico.....	16
Número Más Probable.....	17
Análisis Químicos .....	17
Medición de pH.....	17
Actividad de Agua ( $A_w$ ).....	17
Sólidos Solubles Brix° .....	18
Diseño Experimental y Análisis Estadístico .....	18
Resultados y Discusión.....	19
Concentración Inóculo Inicial.....	19
Reducciones.....	21
Potencial de Hidrogeno (pH).....	22

	4
Actividad de Agua ( $A_w$ ) .....	23
Sólidos solubles.....	25
Conclusiones.....	27
Recomendaciones.....	28
Referencias .....	29
Anexos .....	32

### Índice de Cuadros

Cuadro 1 Recuentos de Salmonella (log UFC/g) en papaya inoculada y deshidratada por convección y osmoconvección. ....	19
Cuadro 2 Reducción de Salmonella (log UFC/g) en papaya deshidratada por convección y osmoconvección .....	21
Cuadro 3 Valores de pH en papaya inoculada y papaya deshidratada.....	22
Cuadro 4 Valores de $A_w$ en papaya fresca y papaya deshidratada. ....	23
Cuadro 5 Valores de °Brix en papaya fresca y papaya deshidratada.....	25

### Índice de Figuras

Figura 1 Preparación de inóculo de Salmonella spp.....	13
Figura 2 Proceso de deshidratación por convección.....	15
Figura 3 Proceso de deshidratación por osmo-convección.....	16

**Índice de Anexos**

Anexo A Cuadro resumen de R2, coeficiente de variación, valor F y Pr> F .....	32
Anexo B Papaya deshidratada por convección .....	33
Anexo C Papaya deshidratada por convección .....	34
Anexo D Papaya deshidratada por osmo-convección .....	35

## Resumen

La papaya tiene un alto consumo por su fácil adquisición y por ser un producto inocuo, sin embargo, actualmente se han encontrado brotes de *Salmonella* asociados al consumo de este fruto. La investigación se enfocó en (i) evaluar la sobrevivencia de *Salmonella* Poona y *Salmonella* Typhimurium en papaya deshidratada por convección y osmo-convección; (ii) Evaluar cambios en las propiedades químicas en la papaya ocasionados por deshidratación por convección y osmo-convección, en cubos de papaya inoculados con  $8.46 \pm 0.05$  log UFC/g de *Salmonella*. La investigación se realizó utilizando un diseño experimental de Bloques Completos al Azar. Se analizaron los resultados de sobrevivencia de *Salmonella*, pH y  $A_w$  con el programa Statistical Analysis System, se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) para determinar la significancia del modelo y se usó una prueba DUNCAN para identificar diferencias estadísticas entre tratamientos, con un nivel de significancia de 95% ( $P < 0.05$ ). La supervivencia de *Salmonella* en papaya deshidratada fue afectada principalmente por la temperatura suministrada, así mismo el pH,  $A_w$  y Brix° crearon un ambiente no óptimo para *Salmonella*. Se observó mayor reducción por el método de deshidratación por convección logrando una ausencia total del patógeno. En ambos métodos se obtienen condiciones que no son óptimas para el desarrollo de *Salmonella*, reportando cambios químicos más significativos por el método de convección asociado a la temperatura empleada observando reducciones en pH y  $A_w$ . El método de deshidratación por convección genera mayor reducción log UFC/g de *Salmonella*, siendo viable su uso para pequeños productores artesanales y productores de gran escala de la industria de la papaya.

*Palabras clave:* actividad de agua, fruta cristalizada, patógenos, pH y UFC/g.

### Abstract

Papaya has a high consumption due to its easy availability and safety; however, Salmonella outbreaks associated with the consumption of this fruit have been found. The research focused on (i) evaluating the survival of Salmonella Poona and Salmonella Typhimurium in papaya dehydrated by convection and osmo-convection; and (ii) to evaluate changes in the chemical properties of papaya caused by dehydration by convection and osmo-convection, in papaya cubes inoculated with  $8.46 \pm 0.05$  log CFU/g of Salmonella. The research was carried out using a Randomized Complete Block experimental design. The results of Salmonella survival, pH and Aw were analyzed with the Statistical Analysis System program (SAS), through an analysis of variance (ANDEVA) to determine the significance of the model and a Duncan mean separation to evaluate statistical difference among treatments, with a significance level of 95% ( $P < 0.05$ ). The survival of Salmonella in dehydrated papaya was affected mainly by the temperature supplied, as well as pH and Aw, which created a non-optimal environment for Salmonella. A greater reduction was observed with the convection dehydration method, achieving a total absence of the pathogen. By both methods, conditions that are not optimal for the development of Salmonella are obtained. More significant chemical changes were reported for the convection method associated with the temperature used, observing reductions in pH and Aw. The convection dehydration method generates greater log reduction log CFU/g of Salmonella, being its use viable for small artisanal producers and large-scale producers of the papaya industry.

*Key words:* CFU/g, crystallized fruit, pathogens, pH, and water activity

## Introducción

La papaya es originaria de América Central, según USDA (2018), es considerada fuente de vitamina A y C, contiene fibra, y posee un alto contenido de agua (88.1 /100 g papaya). Hoy en día su consumo es alto por su bajo costo adquisitivo y altos aportes nutricionales, pero en los últimos años existen estudios que han reportado brotes por la supervivencia y el crecimiento de bacterias patógenas transmitidas en alimentos como papaya fresca cortada y pulpa de papaya.

En particular los brotes de enfermedades transmitidas por papaya fresca han sido asociados con: *Salmonella*, relacionando la presencia de este microorganismo con la madurez de la fruta en combinación con la temperatura de almacenamiento y la HR que causan efecto en la supervivencia del patógeno (Singhun et al.2021). Estos brotes de *Salmonella* en papaya han ido en aumento y según estudio de la FDA reportan lotes de papaya variedad maradol en mercado contaminada con *Salmonella* Typhimurium y *S. Newport* (FDA-Food and Drug Administration 2017).

Para poder contrarrestar la contaminación con *Salmonella* en papaya y así mismo garantizar la inocuidad y calidad de los alimentos, se aplican métodos de conservación como: congelación, refrigeración, y deshidratación (Ríos et al. 2005). El método más común es deshidratación, ya que reduce  $A_w$  en el producto, por lo tanto, previene el crecimiento y la reproducción de los microorganismos y si se aplica correctamente pues el fruto conserva su mayor contenido nutricional (Omolola et al 2015).

Los métodos de deshidratación más conocidos actualmente son por convección y osmoconvección siendo la convección el método más utilizado para lo que dentro de un horno se mantiene aire caliente con temperaturas de 50 a 60 °C. Por otro lado, en la deshidratación osmótica se sumerge el producto en una solución concentrada de sal o azúcar y aplican temperaturas de 50 a 60 °C (Wilhelm et al. 2004).

Al realizar deshidratación osmótica se obtienen ventajas, ya que se produce una pérdida mínima de color y sabor dado al proceso de eliminación de agua a baja temperatura y alta absorción

de sólidos por la solución osmótica previamente elaborada con azúcar y aplicada al fruto. Además, para llevar a cabo esta deshidratación se requieren equipos simples para el proceso (Shi et al. 2012).

Los patógenos asociados a alimentos con humedad baja, como la que presentan los alimentos deshidratados, muestran mayor resistencia a tratamientos de conservación con calor y la exposición a  $A_w$  baja les da tolerancia cruzada a otros factores de estrés, tal como pH bajo y la radiación UV. Por lo anterior, se ha demostrado que las cepas de *Salmonella* son más resistentes al calor cuando están presentes en un entorno alimentario seco (Codex Alimentarius 2018).

El resultado de deshidratación en papaya es un producto con 10% de humedad,  $A_w$ : 0.25 mínimo, máximo 0.35, pH de 3.5 a 3.9 y sólidos solubles 65 °Brix (Valdés Marín 2008). A causa de la deshidratación se genera disminución de reacciones de deterioro, así como menores costos de almacenamiento y transporte debido al volumen y peso reducido que ocupa el producto básico (Caccavale et al. 2016).

Actualmente el mercado de fruta deshidratada se ha consolidado como uno de los segmentos más rentables y dinámicos, dentro de la industria alimenticia basándose en un extraordinario crecimiento de la demanda a tasas sobre el 10% interanual. Este estudio ayudó a obtener información tanto como para pequeños productores artesanales y productores de gran escala de la industria de la papaya, a seleccionar el tipo de deshidratación óptimo, con las temperaturas adecuadas para evitar la sobrevivencia de *Salmonella* spp. en papaya deshidratada.

Objetivos del presente estudio:

Evaluar la sobrevivencia de *Salmonella* Poona y *Salmonella* Typhimurium en papaya deshidratada por convección y osmo-convección.

Evaluar los cambios en las propiedades químicas en la papaya ocasionados por deshidratación por convección y osmo-convección.

## Materiales y Métodos

### Localización del Estudio

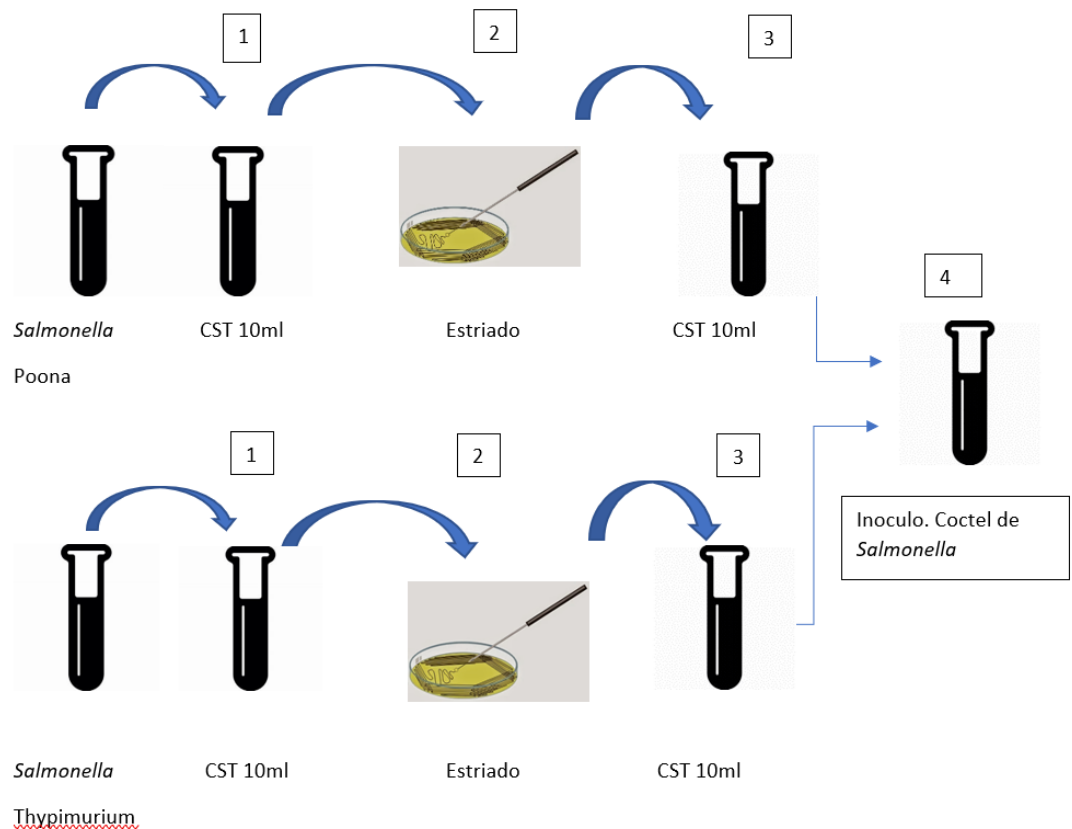
El estudio se desarrolló en dos instalaciones de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, ubicada en el kilómetro 30 de la carretera de Tegucigalpa a Danlí, Valle del Yeguaré, Francisco Morazán, Honduras. En el Laboratorio de Microbiología de Alimentos Zamorano (LMAZ) lugar donde se prepararon los tratamientos del estudio, se realizaron los análisis microbiológicos y medición de pH. Los análisis de  $A_w$  y °Brix se realizaron en el Laboratorio de Análisis de Alimentos de Zamorano (LAAZ).

### Preparación del Inóculo

Para iniciar la investigación se necesitó que la papaya cortada estuviera contaminada con un coctel de *Salmonella* con los serotipos Poona y Typhimurium. El inóculo se preparó en el LMAZ previo a la aplicación de los tratamientos, tomando las cepas de las reservas almacenadas a -80 °C. Se inocularon las cepas de *Salmonella* Poona y *Salmonella* Typhimurium en dos tubos con 10 mL de caldo de soya tripticasa, se incubaron durante 24 horas a 35 °C. Se tomó una gota de los tubos inoculados para luego ser estriados en placas petri con agar de soya tripticasa para producir colonias aisladas. Cada plato se incubó a 35 °C durante 24 horas. Se extrajo colonias aisladas de *Salmonella* Poona y *Salmonella* Typhimurium siendo transferidas en 10 mL en caldo de soya tripticasa, colocadas en incubadoras por 24 horas a 35 °C. Luego se mezclaron los dos tubos con *Salmonella* Poona y *Salmonella* Typhimurium donde se obtuvo un coctel.

**Figura 1**

Preparación de inóculo de *Salmonella* spp.



*Nota.* 1. Siembra de cepa en Caldo Soya Tripticasa (CST 10 mL). 2. Aislamiento por estrías en Agar Soya Tripticasa. 3. Siembra de colonia aislada en Caldo Soya Tripticasa (CST 10 ml). 4. Mezcla de cepas en relación 1:1 en un tubo estéril. Condiciones de incubación: 35 °C por 24 h.

### Preparación de Papaya

Se seleccionó papaya variedad maradol con un estado de madurez comercial, se lavó la fruta entera para luego remover la piel. Inmediatamente se cortó en cubos con dimensión aproximadas de 10 mm por cada lado. Luego se colocó un total de 240 g de papaya en bolsas ziploc (polietileno de baja densidad) con dimensiones de 26.8 x 27.3 cm.

**Papaya Fresca Cortada (Tratamiento Control)**

Se pesaron 120 g de papaya, luego se le agregó 1 mL de agua peptonada estéril (1%) para luego aplicarle los dos métodos de deshidratación por convección y osmo-convección. Estas muestras se utilizaron para la medición de los parámetros fisicoquímicos.

**Inoculación de la Muestra**

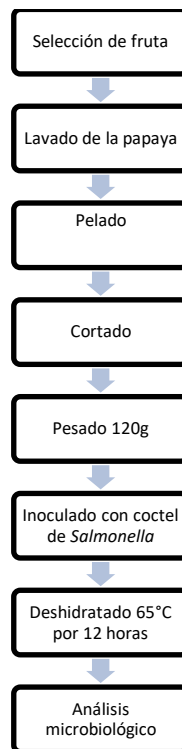
Los cubos de papaya se extendieron en bandejas de aluminio esterilizadas individuales para cada tratamiento. Se tomó 1 mL del coctel de *Salmonella*, luego fue aplicado a 240 g de papaya dejando reposar por dos horas a temperatura ambiente con un rango de temperatura de  $23 \pm 5$  °C, para asegurar las células se adhieren al fruto. Se prosiguió con la aplicación de los métodos de deshidratación por convección y osmo-convección. La papaya inoculada fue dividida en dos partes de 120 g para cada tratamiento.

**Proceso de Deshidratado*****Proceso de Deshidratación por Convección***

Se pesaron 120 g de papaya fresca en cubo ya inoculadas con el coctel de *Salmonella*, colocadas en una bandeja de aluminio para luego ser introducidas al horno de convección forzado. Se configuró el horno a 65 °C donde se siguió el proceso de horneado los cubos de papaya durante 12 horas, se utilizó la temperatura de 65° C dado que estamos evaluando una enterobacteria y esta sobrevive temperaturas de  $40 \pm 55$  °C. Se estuvo monitoreando la temperatura con un termómetro hasta que se cumplió las 12 horas del proceso.

**Figura 2**

*Proceso de deshidratación por convección.*

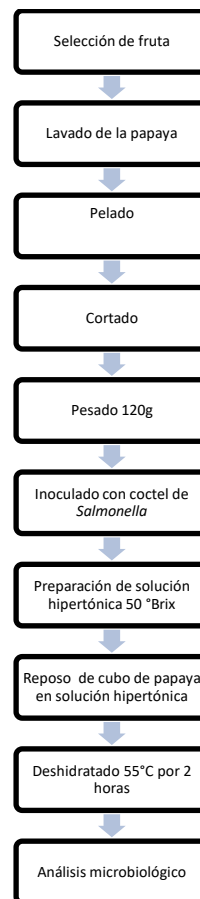


### ***Proceso de Deshidratación Osmo-Convección***

Se pesaron 120 g de papaya inoculada con *Salmonella* para introducirlos en la solución osmótica, forjando un jarabe de sacarosa de 50 °Brix. Para realizar esta solución se utilizó azúcar 500 g más 1 litro de agua, se enfrió a 20 °C la solución. Se sumergieron los cubos en la solución osmótica colocada en una bandeja de aluminio a 20 °C durante 12 horas. Se prosiguió a filtrar, enjuagar para eliminar excesos. Pasó a ser secado a 55 °C por 2 horas, siguió el proceso de enfriado.

**Figura 3**

*Proceso de deshidratación por osmo-convección.*



### **Recuento Microbiológico**

Las muestras para análisis microbiológico se recolectaron homogeneizando los cubos de papaya antes y después de pasar por tratamiento de convección y osmoconvección. Se colocaron 10 g de papaya en 90 mL de solución buffer, se prosiguió a homogenizar para luego realizar diluciones decimales de  $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$  y  $10^{-3}$  en 9 mL de solución buffer de fosfatos. Luego se realizó un vaciado en placa colocando 1 mL de cada dilución  $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$  y  $10^{-3}$  en placas petri correspondientes, a las cuales luego se vació 15 mL de agar XLD dejando solidificar por una hora. Trascurrido el tiempo se agregó una doble capa de 5 mL de agar soya tripticasa, para ser colocadas en la incubadora por 24 horas a 37 °C (Dong y Li 2021). Después de las 24 horas se ejecutó lectura de placas donde contaron las colonias que

tuvieron prevalencia después de la aplicación de tratamiento. Las poblaciones se expresaron como log UFC/g. Para comprobar que al inicio del estudio la papaya no contenía *Salmonella*, se realizó un análisis microbiológico en las muestras de papaya fresca antes de inocular (control negativo).

### **Número Más Probable**

En las muestras donde no se recuperaron células de *Salmonella* por la técnica de vaciado en placa (resultados con <10 UFC/g), se confirmó que también resultaran negativas con métodos de enriquecimiento y cuantificación a través del NMP. Se utilizaron 10 g de papaya deshidratada por convección, homogenizada con 90 mL de solución buffer de fosfatos. Colocando 1 mL para las disoluciones  $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$   $10^{-3}$  en 10 ml de agua peptonada buferada. Luego se tomó 1 mL realizando disolución de  $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$   $10^{-3}$  en 10 ml BPW se inocularon a 37 °C por 24 horas, luego  $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$   $10^{-3}$  en 10 mL de Rappaport Vassiliadis. Fueron inoculados los tubos a 37 °durante 24 horas.

### **Análisis Químicos**

#### ***Medición de pH***

Se utilizó potenciómetro pH multiparámetro HI 2020-02 EDGE. Para medir el pH se verificó el equipo con soluciones buffer de pH 4, 7 y 10. Luego se prosiguió a lavar el electrodo con abundante agua destilada. Se prepararon las muestras con 1 g de papaya deshidratada por cada método diluyendo la muestra en 10 mL de agua destilada libre de CO<sub>2</sub>. Se determinó el pH inicial de la papaya fresca, deshidratada por convección y osmoconvección con método de AOAC 981.12 (Latimer 2016).

#### ***Actividad de Agua (A<sub>w</sub>)***

Se analizaron con el método oficial AOAC 978.18 (AOAC 2000), se utilizó el medidor de Aqualab Model Serie 3TE 61011875 con una escala de 0-1 (0= nada de agua libre para reacciones bioquímicas y 1= máxima cantidad de agua libre para reacciones bioquímicas). Antes de cada repetición se calibró el equipo con un estándar de 0.250 A<sub>w</sub> y se procedió a llenar un tercio del recipiente del equipo con 3 g de muestra, la muestra fue preparada seleccionando un trozo que no sobrepase los recipientes del Aqualab Model, de la cual se tomó lectura por repetición.

### **Sólidos Solubles Brix°**

Se evaluó con un refractómetro de mano la cantidad de sólidos solubles de la papaya con el método de AOAC 983.17 (AOAC 2000) antes y después de aplicarle los métodos de deshidratación. Para determinar los sólidos solubles en la papaya deshidratada por c papaya fresca, fue necesario hacer una solución, para lo cual se pesaron 30 g de papaya deshidratada por convección y osmoconvección por separado y se homogenizaron con 90 ml de agua destilada durante 3 min, utilizando una licuadora. Después se vierten dos o tres gotas en el refractómetro con un rango de 0 a 65 °Brix para la lectura de datos. Este proceso se realizó para las tres repeticiones.

### **Diseño Experimental y Análisis Estadístico**

Se usó un diseño de Bloques Completos al Azar (BCA) para evaluar la supervivencia *Salmonella* Poona y *Samonella Typhimurium*, evaluando tres tratamientos (papaya fresca inoculada, deshidratación por convección, deshidratación por osmoconvección), estableciendo tres repeticiones por cada tratamiento, obteniendo 9 unidades experimentales.

Se analizaron los resultados de sobrevivencia de *Salmonella*, pH y  $A_w$  con el programa Statiscal Anlysis System (SAS), se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) para determinar la significancia del modelo y se usó una separación me medias Duncan para definir si existió diferencia estadística entre tratamientos, con un nivel de significancia de 95% ( $P < 0.05$ ).

## Resultados y Discusión

### Concentración Inóculo Inicial

La concentración de inoculación artificial de coctel de *Salmonella* ejecutada en laboratorio fue de  $8.46 \pm 0.05$  log UFC/g y se aplicó a los cubos de papaya con dimensión de 10 mm antes de ser aplicado los tratamientos de deshidratación.

Los resultados del Cuadro 1 corresponden a los recuentos de *Salmonella* por los diferentes métodos de deshidratación. Al final las muestras de papaya deshidratada por convección presentaron recuentos de  $<1.00$  log UFC/g, el recuento de ausencia fue asociado a la temperatura aplicada por el tratamiento de deshidratación (65 °C por 12 horas). *Salmonella* no sobrevive a temperaturas de  $> 47$  °C por ser una enterobacteria. Adicionalmente estas muestras fueron analizadas por método de enriquecimiento de Número Más Probable, para descartar la posible presencia de células estresadas. Todas las muestras resultaron con valores de  $<3$  NMP/g.

### Cuadro 1

*Recuentos de Salmonella (log UFC/g) en papaya inoculada y deshidratada por convección y osmoconvección.*

Tratamiento <sup>f</sup>	Media $\pm$ DE
Papaya fresca (control)	$8.46 \pm 0.05^a$
Papaya deshidratada por osmoconvección	$2.99 \pm 0.04^b$
Papaya deshidratada por convección	$< 1.00^{c\%}$
CV %	0.98074

*Nota:* **abc:** Letras diferentes presentan diferencia estadística significativa ( $P < 0.05$ ) entre tratamiento.

<sup>‡</sup> Todas las muestras de este tratamiento presentaron resultados por debajo del límite de cuantificación: 1.00 Log UFC/g

<sup>f</sup>**Control:** papaya fresca inoculada; **Convección:** deshidratación por 12 horas a 65 °C.; **Osmo-convección:** deshidratación por solución osmótica con 50 °Brix por 12 horas a temperatura ambiente y luego deshidratada por horno a 50 °C por 2 horas.

**CV%:** Coeficiente de Variación.

La papaya deshidratada por osmo-convección presento recuentos de *Salmonella* de  $2.99 \pm 0.04$  log UFC/g la disminución en recuento pudo estar asociado a la aplicación de calor (55 °C por 2 horas). En otros estudios de deshidratación osmótica de frutos, se han obtenido mayores reducciones, al aplicar tratamientos térmicos y pudo estar relacionado con la aplicación de mayor temperatura. Sin

embargo, en frutos deshidratados o secos, se siguen reportando brotes de *Salmonella* Agbeni como ocurrió en el año 2019, que se reportó un brote asociado con frutas deshidratadas exóticas en Noruega (Johansen et al. 2021). Otros brotes asociados con frutas deshidratadas de los últimos años incluyen *Salmonella* Typhimurium en coco seco (CDC 2018). La presencia del patógeno se asocia a las temperaturas a las cuales la fruta deshidratada en almacena osilando en 4 a 15 °C rangos permisibles para el crecimiento de *Salmonella*.

Bai et al. (2020), en su estudio de deshidratación de manzanas reportan que el proceso combinado de deshidratación osmótica a 23 °C seguida de secado al aire a 100 °C logró una reducción logarítmica de >6 de todas las cepas bacterianas (*S. entérica* y *E. faecium*). Los autores concluyen que la deshidratación osmótica parece una medida de control eficiente para el control de *Salmonella enterica*, sí se realiza a 40 o a 23 °C en la solución osmótica y seguida de secado al aire a 100 °C atribuyendo la reducción de *Salmonella* al calor empleado y la disminución de  $A_w$ .

En investigaciones de deshidratación por convección en manzanas a 60 °C durante 5 h con una inoculación inicial de 7.6 log UFC/g, se obtuvo un recuento de supervivencia de *Salmonella* de 5.58 log UFC/g (Gurtler et al. 2020). Estos estudios confirman que la disminución de UFC/g es por las temperaturas que fueron aplicadas, ya que a mayor temperatura mayor disminución de UFC/g de *Salmonella* en alimentos.

En otros estudios de deshidratación para evaluación de supervivencia de *Salmonella* Typhimurium de Kragh et al. (2022), se realizó una deshidratación de hongos en rodajas utilizando un deshidratador de alimentos KitchPRO (Coolstuff AB, Copenhague, Dinamarca), que es una pequeña unidad doméstica (26 × 28 × 28, 250 W) con cinco bandejas. Se utilizaron dos unidades idénticas con la temperatura del aire establecida en el ajuste de 55 °C del instrumento (temperatura objetivo del bulbo seco). Después de 8 h de secado al aire caliente los recuentos de *S. Typhimurium* mostraron reducciones totales de  $2.5 \pm 0.4$  log UFC y  $2.6 \pm 0.8$  log UFC.

A pesar de que se han realizado varios estudios sobre la supervivencia de patógenos durante la deshidratación de los alimentos, todavía hay incertidumbre con respecto al efecto de inactivación del secado por aire convectivo.

### Reducciones

Las reducciones encontradas en la deshidratación por convección son de más de  $7.26 \pm 0.00$  log UFC/g debido a la temperatura de  $65\text{ }^{\circ}\text{C}$  aplicada y el rango de tiempo de 12 horas constante de calor a la que fue expuesta los cubos de papaya. Siendo el método por convección con mayor disminución. Por otro lado, el método de osmo-convección obtuvo una reducción de  $5.47 \pm 0.04$  log UFC/g, encontrando una diferencia significativa en los dos tratamientos utilizados para evaluar la supervivencia de *Salmonella* ( $P < 0.0001$ ).

### Cuadro 2

*Reducción de Salmonella (log UFC/g) en papaya deshidratada por convección y osmo-convección*

Tratamiento <sup>f</sup>	Media $\pm$ DE
Papaya deshidratada por convección	$>7.26$
Papaya deshidratada por osmo-convección	$5.47 \pm 0.04$

Nota: <sup>f</sup>**Convección:** deshidratación por 12 horas a  $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; **Osmo-convección:** deshidratación por solución osmótica con  $50\text{ }^{\circ}\text{Brix}$  por 12 horas a temperatura ambiente, deshidratada por horno a  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  por 2 horas.

Las reducciones que se observaron en los dos tratamientos inmersos en la investigación son por la temperatura aplicada, ya que la *Salmonella* expuesta en condiciones de estrés de temperatura entra a la curva de muerte, ya que el alimento va disminuyendo pH y  $A_w$ , con ello reduciendo condiciones para su supervivencia. Esto respaldado en otros estudios en frutos deshidratados al aumentar la temperatura de deshidratación a  $90 \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , los niveles moderados y altos de carga inicial de *Salmonella* en frutas cayeron por debajo del límite de enumeración después de 1.5 y 3.75 horas de procesamiento y se volvieron indetectables por enriquecimiento de cultivo después de 2.5 y 6 horas. Este estudio se llevó a cabo en un horno utilizando el método de convección por límites de tiempos y temperaturas altas (Zhang H et al. 2017).

Tomando como ejemplo los tomates y ciruelas deshidratados donde también fueron expuestos a temperaturas, pero en este estudio fueron deshidratados al sol, se observaron reducciones de 1.78 log UFC/g de *Salmonella* después de 48 h de secado. Se observaron mayores reducciones en las ciruelas secas que en los tomates secados al sol, con poblaciones de *Salmonella* 2.33 log UFC/g, respectivamente, después de 48 h de secado (Canakapalli et al. 2022). Aún con el aumento en las horas que fueron expuestos los productos a la temperatura no se lograron reducciones para ser reportados con ausencia de *Salmonella*.

### Potencial de Hidrogeno (pH)

En el Cuadro 3 se observan los resultados de pH obtenidos encontrando hubo diferencias entre los tratamientos ( $P < 0.001$ ), colocando al método de deshidratación por convección como el mayor reductor de pH.

### Cuadro 3

*Valores de pH en papaya inoculada y papaya deshidratada.*

Tratamiento <sup>f</sup>	Media $\pm$ DE
Papaya fresca (control)	4.53 $\pm$ 0.05 <sup>a</sup>
Papaya deshidratada por osmo-convección	3.87 $\pm$ 0.06 <sup>b</sup>
Papaya deshidratada por convección	3.63 $\pm$ 0.05 <sup>c</sup>
CV%	1.534527

*Nota: abc:* Letras diferentes presentan diferencia estadística significativa ( $P < 0.05$ ) entre tratamiento.

<sup>f</sup>**Control:** papaya fresca inoculada; **Convección:** deshidratación por 12 horas a 65 °C.; **Osmo-convección:** deshidratación por solución osmótica con 50 °Brix por 12 horas a temperatura ambiente y luego deshidratada por horno a 50°C por 2 horas. **CV%:** Coeficiente de Variación

El pH promedio en papaya deshidratada por convección fue el pH más bajo y pudo relacionarse con el suministro de calor aplicado y la cantidad de horas que los cubos de papaya inoculada estuvieron expuestos. La papaya deshidratada por osmo-convección obtuvo una disminución menor y pudo estar relacionado con que este tratamiento fue sometido a una solución osmótica a una temperatura de 23 °C y expuesta a calor por menos tiempo.

La disminución de pH obtenida se debe a la temperatura empleada en los tratamientos, ya que existe una correlación, a mayor temperatura por el estado de las moléculas en evaporación

encontrándose hidrógenos libres aumentando los protones obteniendo en consecuencia una reducción en el pH (Da Silva et al. 2012).

Diversos estudios reportan que a pH bajo disminuye la prevalencia de patógenos. Como en el estudio de (Canakapalli et al. 2022) elaborado en dátiles y ciruelas los patógenos sobrevivieron a niveles más altos durante más tiempo (pH 5.59 - 5.83) que ciruelas deshidratadas (pH 3.45). Destacando que al realizar un almacenamiento frutas deshidratadas es mejor hacerlo a temperatura refrigerada que a temperatura ambiente. Sin embargo, en los patógenos evaluados *Salmonella* sobrevivió mejor que *L. monocytogenes* y *E.coli*.

### Actividad de Agua ( $A_w$ )

En el Cuadro 4 se observan los resultados de análisis de  $A_w$  de los dos tratamientos, donde la papaya fresca mostró mayor valor de  $A_w$ . Al aplicar los métodos de deshidratación se observó una mayor disminución en  $A_w$  en la papaya secada por convección. La papaya deshidratada por osmoconvección obtuvo una menor disminución de  $A_w$  dado que esta fue expuesta a solución osmótica de 50 °Brix. Por otro lado, en solución osmótica no se alcanzó una mayor disminución esto se debe que la concentración de la solución osmótica no logró establecer una diferencia para extraer más  $A_w$  con el intercambio de partículas y la temperatura que se encontraba la solución osmótica aproximada 23 °C ambiente. Sin embargo, esta menor extracción de  $A_w$  se le atribuye a la concentración de sólidos en la solución osmótica y a la temperatura a las que fue expuesta.

### Cuadro 4

Valores de  $A_w$  en papaya fresca y papaya deshidratada.

Tratamiento <sup>£</sup>	Media $\pm$ DE
Papaya fresca (control)	0.89 $\pm$ 0.001 <sup>a</sup>
Papaya deshidratada por osmo-convección	0.68 $\pm$ 0.020 <sup>b</sup>
Papaya deshidratada por convección	0.40 $\pm$ 0.010 <sup>c</sup>
CV%	2.095807

Nota: **abc**: Letras diferentes presentan diferencia estadística significativa ( $P < 0.05$ ) entre tratamiento.

<sup>£</sup>**Control**: papaya sin tratar; **Convección**: deshidratación por 12 horas a 65°C.; **Osmo-convección**: deshidratación por solución osmótica con 50°Brix por 12 horas a temperatura ambiente, deshidratada por horno a 50°C por 2 horas. **CV%**: coeficiente de variación.

Lo anterior permite seleccionar como el mejor método para disminuir  $A_w$  al de convección y podría asociarse con el calor suministrado y las horas que fueron expuestos los cubos de papaya.

La  $A_w$  en frutas deshidratadas se consideran un factor fundamental, ya que tienen una  $A_w$  por debajo de 0.85. Sin embargo, este nivel es inferior al crecimiento mínimo  $A_w$  para la mayoría de las bacterias, por lo antes mencionado las frutas deshidratadas por osmo-convección han estado involucradas en varios brotes y retiros transmitidos por los alimentos debido a su  $A_w$  y las temperaturas de almacenamiento (Canakapalli et al. 2022).

En otras investigaciones utilizando setas Portobello recién cortadas tenían una  $A_w$  inicial de  $0.994 \pm 0.02$ . Este se mantuvo estable durante las 2 h iniciales de secado al aire caliente, esto debido al poco tiempo expuesto a las temperaturas, después de lo cual cayó continuamente con marcada variación entre las muestras de las ejecuciones experimentales después de 4 y 6 h hasta llegar a un final  $A_w$  de  $0.17 \pm 0.03$  sin variación entre lotes independientes de setas (Kragh et al. 2022).

Aunque este nivel es inferior al crecimiento mínimo  $A_w$  para la mayoría de las bacterias 0.87. Según estudios de alimentos deshidratados a pesar de su  $A_w$  bajo han estado involucradas en varios brotes y retiros transmitidos por los alimentos (Beuchat et al. 2013). En 2021, Sainsbury's retiró voluntariamente sus fechas de dátiles debido a la posible contaminación con *Salmonella* en el Reino Unido (Food Standards Agency 2021).

Por ejemplo, los dátiles secados naturalmente (dátiles que se secaron en el árbol) con una  $A_w$  de 0.55 contenían niveles significativamente más altos de ácidos fenólicos y azúcares en comparación con los dátiles secados al sol (dátiles secos en las canastas después de caerse del árbol) a una  $A_w$  de 0.49 (Alsmairat et al. 2019).

Las frutas secas comerciales generalmente se venden o almacenan a temperatura ambiente para poder mantener sus características organolépticas y evitar el crecimiento de diferentes patógenos. Para productos abiertos o a granel, se recomienda una temperatura de almacenamiento

o refrigeración más baja para extender la vida útil del producto y garantizar al consumidor final una inocuidad del producto (FDA-Food and Drug Administration 2021).

Se observó una diferencia significativa con las correlaciones en sobrevivencia de *Salmonella* con respecto a los cambios químicos, esto se debe a los tratamientos aplicados, los cuales fueron denotando cambios en el pH y  $A_w$ . En el método de deshidratación por convección se llevó a una mejor reducción relacionada con el suministro de calor aplicado de 65 °C por 12 horas, logran una disminución de  $0.4 \pm 0.01$  en  $A_w$  dado a ello, presentó un ambiente limitado para el crecimiento y sobrevivencia de *Salmonella* ya que la *Salmonella* su  $A_w$  óptimo es de 0.94. Se debe tomar en cuenta que por osmo-convección antes de ser expuesta al calor se sumergió a una solución osmótica hipertónica con sacarosa dirigiendo a la sobrevivencia de  $2.99 \pm 0.04$  log UFC/g, esto se confirma con el estudio de Flessa et al. (2005), donde dicta que la concentración con sacarosa mejora la sobrevivencia de *Salmonella*. Sin embargo, por osmo-convección se logró alcanzar una reducción significativa con respecto a papaya inoculada.

## Sólidos solubles

### Cuadro 5

Valores de °Brix en papaya fresca y papaya deshidratada.

Tratamiento <sup>ε</sup>	Media ± DE
Papaya deshidratada por convección	$60.97 \pm 0.76^a$
Papaya fresca (control)	$7.05 \pm 0.01^b$
CV%	0.75316

Nota: abc: Letras diferentes presentan diferencia estadística significativa ( $P < 0.05$ ) entre tratamiento.

<sup>ε</sup>Control: papaya sin tratar; Convección: deshidratación por 12 horas a 65 °C.; Osmo-convección: deshidratación por solución osmótica con 50 °Brix por 12 horas a temperatura ambiente, deshidratada por horno a 50 °C por 2 horas. CV%: Coeficiente de Variación.

En el Cuadro 5 se observan los resultados de los valores °Brix por deshidratación por convección y control. Puesto que el rango del refractómetro utilizado en el estudio era de 0 a 65 °Brix, no fue posible determinar este parámetro en el fruto tratado por osmo-convección. Según Fernandes et al. (2006), los valores de sólidos solubles en papayas deshidratada por osmo-convección oscilan de 72 a 73 °Brix. En papaya fresca cortada se obtuvo un promedio de  $7.05 \pm 0.01$  °Brix inicial. Luego de

aplicar el método de deshidratación por convección se observa un aumento en la concentración de °Brix debido al secado con aire caliente. Presentando una concentración de  $60.97 \pm 0.76$  °Brix en deshidratación por convección por 12 horas a 65 °C. Por el lado de deshidratación por osmo-convección se espera obtener un aumento mayor que por convección dado que esto se asocia a los cubos de papaya fueron expuesto a una solución de osmosis hipertónica saturada con sacarosa donde las moléculas de agua libre emigran hacia concentración de sólidos más altas (Yadav and Singh 2014). Destacando también que es un método de osmo-convección luego de la solución osmótica los cubos recibieron 50 °C solo por 2 horas por el contrario el método de deshidratación por convección tuvo un suministro de 65 °C por 12 horas logrando una mayor concentración de °Brix y menos  $A_w$ . Por el método de osmo-convección hubo mayor supervivencia de *Salmonella* por UFC por gramo de muestra ya que los azúcares como la sacarosa podrían mejorar la supervivencia de los patógenos (Flessa et al. 2005) .

Las frutas secas comerciales generalmente se venden o almacenan a temperatura ambiente para poder mantener sus características organolépticas y evitar el crecimiento de diferentes patógenos. Para productos abiertos o a granel, se recomienda una temperatura de almacenamiento o refrigeración más baja para extender la vida útil del producto y garantizar al consumidor final una inocuidad del producto (FDA-Food and Drug Administration 2021).

### Conclusiones

La supervivencia de *Salmonella* en papaya deshidratada se vio afectada principalmente por la temperatura suministrada, así como los cambios en el pH,  $A_w$  y ° Brix crearon un ambiente no óptimo para *Salmonella*. Se observó mayor reducción por el método de deshidratación por convección logrando una ausencia total del patógeno.

Por ambos métodos se obtienen condiciones que no son óptimas para el desarrollo de *Salmonella*. Reportando mayores cambios químicos más significativos por el método de convección asociado a la temperatura empleada observando reducciones características químicas de pH,  $A_w$  y ° Brix.

### **Recomendaciones**

Realizar análisis sensorial afectivo de preferencia y aceptación de la papaya deshidratada por convección y osmo-convección.

Hacer deshidratación por osmo-convección con solución osmótica de 60 °Brix suministrando 65 °C en deshidratadoras y comparar las reducciones por el uso de horno por convección.

Realizar un estudio de mercado evaluando y análisis de costos de producción para poder determinar cuál tratamiento tiene más factibilidad y rentabilidad para producción.

## Referencias

- Alsmairat N, Al-Qudah T, El-Assi N, Mehyar G, Gammoh I, Othman Y, Eddin Araj S, Al-Antary T. 2019. Effect of drying process on physical and chemical properties of 'medjool' date palm fruits. *Fresenius Environmental Bulletin*; [accessed 2022 May 17]. 28(2):1552–1559. [https://www.researchgate.net/profile/Yahia-Othman/publication/331149522\\_EFFECT\\_OF\\_DRYING\\_PROCESS\\_ON\\_PHYSICAL\\_AND\\_CHEMICAL\\_PROPERTIES\\_OF\\_'MEDJOOOL'\\_DATE\\_PALM\\_FRUITS/links/5fbf3bdd92851c933f5d1ec6/EFFECT-OF-DRYING-PROCESS-ON-PHYSICAL-AND-CHEMICAL-PROPERTIES-OF-MEDJOOOL-DATE-PALM-FRUITS.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Yahia-Othman/publication/331149522_EFFECT_OF_DRYING_PROCESS_ON_PHYSICAL_AND_CHEMICAL_PROPERTIES_OF_'MEDJOOOL'_DATE_PALM_FRUITS/links/5fbf3bdd92851c933f5d1ec6/EFFECT-OF-DRYING-PROCESS-ON-PHYSICAL-AND-CHEMICAL-PROPERTIES-OF-MEDJOOOL-DATE-PALM-FRUITS.pdf).
- [AOAC] Asociación de Químicos Agrícolas Oficiales. 2000. Métodos oficiales de análisis. 17ª Edición, Asociación de Químicos Analíticos Oficiales, Gaithersburg, MD, USA. Métodos 925.10, 65.17, 974.24, 992.16. [place unknown]: [publisher unknown].
- Beuchat LR, Komitopoulou E, Beckers H, Betts RP, Bourdichon F, Fanning S, Joosten HM, Kuile BH ter. 2013. Low-water activity foods: increased concern as vehicles of foodborne pathogens. *J Food Prot.* 76(1):150–172. eng. doi:10.4315/0362-028X.JFP-12-211.
- Caccavale P, Bonis MV de, Ruocco G. 2016. Conjugate heat and mass transfer in drying: A modeling review. *Journal of Food Engineering.* 176:28–35. doi:10.1016/j.jfoodeng.2015.08.031.
- Caccavale, P, De Bonis, MV y Ruocco, G. 2016. Transferencia conjugada de calor y masa en el secado: un modelo revisión. [place unknown]: [publisher unknown]. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.08.031>.
- Canakapalli SS, Sheng L, Wang L. 2022. Survival of common foodborne pathogens on dates, sundried tomatoes, and dried pluots at refrigerated and ambient temperatures. *LWT.* 154:112632. doi:10.1016/j.lwt.2021.112632.
- [CDC] Centers for Disease Control and Prevention. 2018. Multistate outbreak of *Salmonella* typhimurium infections linked to dried coconut; [accessed 2022 May 17]. <https://www.cdc.gov/salmonella/typhimurium-03-18/index.html>.
- CODEX ALIMENTARIUS. 2018. Code of hygienic practice for low-moisture foods. [place unknown]: [publisher unknown]. *codex-alimentarius-bajaaw (1).pdf*.
- Da Silva LCA, Honorato TL, Cavalcante RS, Franco TT, Rodrigues S. 2012. Effect of pH and Temperature on Enzyme Activity of Chitosanase Produced Under Solid Stated Fermentation by *Trichoderma* spp. *Indian J Microbiol.* 52(1):60–65. eng. doi:10.1007/s12088-011-0196-0.
- [FDA] Food and Drug Administration. 2017. La FDA investiga múltiples brotes de cepas de salmonella vinculadas a papayas. [place unknown]: [publisher unknown]. <https://www.fda.gov/food/outbreaks-foodborne-illness/la-fda-investiga-multiples-brotes-de-cepas-de-salmonella-vinculadas-papayas>.
- [FDA] Food and Drug Administration. 2021. Manual Analítico Bacteriológico (BAM). [place unknown]: [publisher unknown]. <https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bacteriological-analytical-manual-bam>.
- Fernandes FA, Rodrigues S, Gaspareto OC, Oliveira EL. 2006. Optimization of osmotic dehydration of papaya followed by air-drying. [place unknown]: [publisher unknown]. 7 p.

- Flessa S, Lusk DM, Harris LJ. 2005. Survival of *Listeria monocytogenes* on fresh and frozen strawberries. *Int J Food Microbiol.* 101(3):255–262. eng. doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2004.11.010.
- Food Standards Agency. 2021. Sainsbury's recalls taste the difference Medjool dates because of possible contamination with hepatitis A. [place unknown]: [publisher unknown]. <https://www.food.gov.uk/news-alerts/alert/fsa-prin-25-2021>.
- Gómez F. 2017. Evaluación del crecimiento de mohos y levaduras en frutas tropicales deshidratadas por aire caliente “DAC”, empacadas en flexibles compuestos de PEBD, PP y PET en ambientes controlados. [place unknown]: [publisher unknown]. T-UCSG-PRE-TEC-CIA-16.pdf.
- Gurtler JB, Keller SE, Fan X, Olanya OM, Jin T, Camp MJ. 2020. Survival of *Salmonella* during apple dehydration as affected by apple cultivar and antimicrobial pretreatment. *J Food Prot.* 83(5):902–909. eng. doi:10.4315/JFP-19-475.
- Johansen TB, Brandal LT, MacDonald E, Naseer U, Stefanoff P, Røed MH, Berglund TM, Johannessen GS, Bergsjø B, Vold L, et al. 2021. Exotic dried fruits caused *Salmonella* agbeni outbreak with severe clinical presentation, Norway, December 2018 to March 2019. *Euro Surveill.* 26(14). eng. doi:10.2807/1560-7917.ES.2021.26.14.2000221.
- Kragh ML, Obari L, Caindec AM, Jensen HA, Truelstrup Hansen L. 2022. Survival of *Listeria monocytogenes*, *Bacillus cereus* and *Salmonella* Typhimurium on sliced mushrooms during drying in a household food dehydrator. *Food Control.* 134:108715. doi:10.1016/j.foodcont.2021.108715.
- Latimer G. 2016. Official of methods of analysis of AOAC International. 20th ed. Rockville. Estados Unidos: [publisher unknown].
- Ríos M, Márquez J y Ciro H. 2005. Deshidratación osmótica de frutos de papaya. [place unknown]: [publisher unknown]. (Microsoft Word - DESHIDRATACI\323N OSM\323TICA DE FRUTOS DE PAPAYA HAWAIIANA.doc) (scielo.org.co).
- Shi J, Mo X, Sol Z. 2012. Osmotic dehydration of fruits and vegetables. Association of Food Scientists & Technologists. India: [publisher unknown]. 13197\_2012\_Article\_659.pdf (nih.gov).
- Singhun A, Rahman M, Sharma R, Yemmireddy V. 2021. Papaya ripeness and post-harvest storage conditions affect growth, survival and death kinetics of *Salmonella* and spoilage organisms. *Postharvest Biology and Technology.* [place unknown]: [publisher unknown]. Papaya ripeness and post-harvest storage conditions affect growth, survival and death kinetics of *Salmonella* and spoilage organisms - ScienceDirect.
- [USDA] United States Department of Agriculture. 2018. Papayas crudas. [place unknown]: [publisher unknown]. Central de Datos Alimentarios (usda.gov).
- Valdés Marín P. 2008. Manual de deshidratación frutas y hortalizas. Santiago, Región. Santiago, Región Metropolitana, Chile. [place unknown]: [publisher unknown]. manualdeshidratacion.blogspot.com.
- Wilhelm, Luther R, Dwayne A. Suter, and Gerald H. Brusewitz. 2004. Drying and dehydration. Chapter 10 in *food & process engineering technology* [259-284. St. Joseph, Michigan: ASAE.American Society of Agricultural Engineers.]. [place unknown]: [publisher unknown]. ] <https://vbook.pub/download/food-and-process-engineering-technology-chapter-10-drying-and-dehydration-qwyvd6mzy5wm>.

- Yadav AK, Singh SV. 2014. Osmotic dehydration of fruits and vegetables: a review. *J Food Sci Technol.* 51(9):1654–1673. eng. doi:10.1007/s13197-012-0659-2.
- Zhang H, Qi Y, Wang L, Zhang S, Deng X. 2017. Salmonella survival during thermal dehydration of fresh garlic and storage of dehydrated garlic products. *Int J Food Microbiol.* 263:26–31. eng. doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2017.10.010.

**Anexos****Anexo A**

*Cuadro resumen de R2, coeficiente de variación, valor F y Pr > F*

Parámetro	R-Square	Coeff Var	F Value	Pr > F
Salmonella	0.99992	0.98074	12537.2	<.0001
pH	0.99725	1.53453	724.75	<.0001
A <sub>w</sub>	0.99788	2.09581	471.39	<.0001
°Brix	0.91267	0.75316	13423.5	<.0001

## Anexo B

### *Papaya deshidratada por convección*

Pearson Correlation Coefficients, N = 9				
Prob >  r  under H0: Rho=0				
	salm	ss	ph	aw
salm	1	0.87075 <.0001	0.99047 <.0001	0.93282 0.0002
ss	0.87075 <.0001	1	0.95415 <.0001	0.70287 0.0347
ph	0.99047 <.0001	0.95415 <.0001	1	0.87733 0.0019
aw	0.93282 0.0002	0.70287 0.0347	0.87733 0.0019	1

**Anexo C***Papaya deshidratada por convección*

**Anexo D**

*Papaya deshidratada por osmo-convección*

