

UNIVERSIDAD  
**NACIONAL**  
DE COLOMBIA

**Efecto del tratamiento con  
microondas sobre la enzima  
peroxidasa, los compuestos  
bioactivos y el color en tomate de  
árbol (*Solanum betaceum* Cav.)  
variedad roja**

**Jaime Andrés Tigreros**

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ingeniería y Administración  
Palmira, Colombia  
2023



# **Efecto del tratamiento con microondas sobre la enzima peroxidasa, los compuestos bioactivos y el color en tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) variedad roja**

**Jaime Andrés Tigreros**

Tesis de investigación presentada como requisito parcial para optar al título de:  
**Magíster en Ingeniería Agroindustrial**

Director:  
Ph. D Luis Eduardo Ordoñez Santos

Co-director:  
M Sc. Jader Martínez Girón

Línea de Investigación:  
Agroindustria de productos alimentarios  
Grupo de Investigación en Procesos Agroindustriales

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ingeniería y Administración  
Palmira, Colombia

2023



*(Dedicatoria o lema)*

*A mi madre Inés de Jesús Tigreros por su apoyo e inspiración en este proceso. A mi sobrino Juan José.*

*A mi familia por su apoyo incondicional.*



## Declaración de obra original

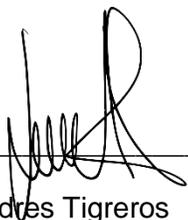
Yo declaro lo siguiente:

He leído el Acuerdo 035 de 2003 del Consejo Académico de la Universidad Nacional. «Reglamento sobre propiedad intelectual» y la Normatividad Nacional relacionada al respeto de los derechos de autor. Esta disertación representa mi trabajo original, excepto donde he reconocido las ideas, las palabras, o materiales de otros autores.

Cuando se han presentado ideas o palabras de otros autores en esta disertación, he realizado su respectivo reconocimiento aplicando correctamente los esquemas de citas y referencias bibliográficas en el estilo requerido.

He obtenido el permiso del autor o editor para incluir cualquier material con derechos de autor (por ejemplo, tablas, figuras, instrumentos de encuesta o grandes porciones de texto).

Por último, he sometido esta disertación a la herramienta de integridad académica, definida por la universidad.



Jaime Andres Tigreros

Fecha 28/08/2023

## **Agradecimientos**

Agradezco especialmente al profesor Luis Eduardo Ordoñez Santos y Jader Martínez Girón, director y codirector de esta tesis, por brindarme su apoyo incondicional y estar presente en todo momento con sus valiosos aportes, conocimiento y sabiduría para la realización y éxito de esta investigación. Al instituto Técnico Agrícola por brindarme los fondos y tiempos para llevar a cabo estos estudios.

Al Grupo de Investigación en Procesos Agroindustriales de la Universidad Nacional - Sede Palmira por facilitar los recursos necesarios para la realización de este trabajo, y a las personas que estuvieron presentes en el laboratorio con disponibilidad y colaboración para brindarme su asesoría.

Siento mucha gratitud por el Ph D Sebastián Parra Londoño por los conocimientos compartidos en el tratamiento estadísticos de los datos.

Finalmente agradezco a mis amigos que estuvieron presentes en los momentos que presentaron un mayor reto.

## Resumen

### **Efecto del tratamiento con microondas sobre la enzima peroxidasa, los compuestos bioactivos y el color en tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) variedad roja**

Establecer una relación apropiada entre la inactivación enzimática alcanzada mediante el proceso de escaldado y los impactos en nutrientes y las alteraciones en el color de los alimentos, resulta fundamental para preservar la calidad de los productos transformados. En el primer capítulo, el objetivo fue estudiar los efectos del escaldado a diferentes niveles de potencia de microondas (300, 600, 900 y 1200 W) por tiempos (15, 30, 45 y 60 segundos) sobre la inactivación de peroxidasa presente en este fruto. En comparación con el tratamiento control, el escaldado con microondas logró disminuir la actividad residual de peroxidasa por debajo del 10% en un tiempo de 45 segundos a una potencia de 900 W. Con esta información, en el segundo capítulo se evaluó el efecto de las condiciones de escaldado con microondas sobre los compuestos bioactivos, la actividad antioxidante y el color encontrando que el contenido de vitamina C, fenoles totales, carotenoides, actividad antioxidante, luminosidad, croma e índice de amarillamiento no mostraron diferencia significativa ( $p > 0,05$ ) en comparación con el método convencional y el fresco. Por otro lado, vitaminas B1, B3, B5, B6, tonalidad y cambio de color, sí presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). Basándose en estos hallazgos, es posible sugerir la utilización de energía de microondas como una alternativa al escaldado convencional, con el fin de inactivar la peroxidasa en un tiempo corto, conservar características nutricionales y de color en el tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) variedad roja.

**Palabras clave:** peroxidasa, fitoquímicos, tamarillo, DPPH, vitamina C, vitaminas B

# Abstract

## **Effect of microwave treatment on peroxidase enzyme, bioactive compounds and color in tamarillo (*Solanum betaceum* Cav.) red variety**

Establishing an appropriate relationship between the enzymatic inactivation achieved through the blanching process and the impacts on nutrients and the alterations in the color of the food is essential to preserve the quality of the processed products.

In the first chapter, the objective was to study the effects of blanching at different microwave power levels (300, 600, 900 and 1200 W) for times (15, 30, 45 and 60 seconds) on the inactivation of peroxidase present in this fruit. Compared with the control treatment, blanching with microwaves manages to reduce the residual activity of peroxidase below 10% in a time of 45 seconds at a power of 900 W. With this information, in the second chapter the effect of the microwave blanching conditions on bioactive compounds, antioxidant activity, and color, finding that the content of vitamin C, total phenols, carotenoids, antioxidant activity, lightness, chroma, and yellowing index did not show a significant difference ( $p > 0.05$ ). compared to the conventional method and the fresh method. On the other hand, vitamins B1, B3, B5, B6, hue and color change did present significant differences ( $p < 0.05$ ). Based on these findings, it is possible to suggest the use of microwave energy as an alternative option to conventional blanching, in order to inactivate peroxidase in a short time, preserving nutritional and color characteristics in this fruit.

**Keywords:** peroxidase, phytochemicals, tamarillo, DPPH, vitamin C, vitamins B

## Contenido

	Pág.
Resumen .....	X
Lista de figuras .....	XIV
Lista de tablas .....	XV
Introducción .....	3
Planteamiento del problema.....	5
Justificación .....	9
Marco teórico .....	11
Estado del arte .....	27
<b>1. Capítulo 1 .....</b>	<b>30</b>
1.1 Introducción.....	31
1.2 Materiales y métodos.....	33
1.2.1 Materia prima.....	33
1.2.2 Adecuación de la fruta.....	34
1.2.3 Escaldado con microondas .....	34
1.2.4 Escaldado con agua.....	34
1.2.5 Extracción de peroxidasa .....	35
1.2.6 Cuantificación de peroxidasa .....	35
1.2.7 Análisis estadístico.....	36
1.3 Resultados y discusión .....	36
1.4 Conclusiones.....	40
1.5 Referencias .....	40
<b>2. Capítulo 2 .....</b>	<b>45</b>
2.1 Introducción.....	46
2.2 Materiales y métodos.....	49
2.2.1 Materia prima.....	49

2.2.2	Adecuación de la fruta.....	49
2.2.3	Escaldado con microondas .....	49
2.2.4	Escaldado con agua .....	50
2.2.5	Determinación de la concentración de carotenoides y provitamina A .....	50
2.2.6	Determinación de vitamina C .....	50
2.2.7	Determinación de compuestos fenólicos totales .....	51
2.2.8	Determinación de vitaminas.....	51
2.2.9	Determinación de actividad antioxidante (% DPPH) .....	52
2.2.10	Determinación del color superficial CIEL*a*b .....	53
2.2.11	Análisis estadístico.....	53
2.3	Resultados y discusión .....	54
2.4	Conclusiones.....	64
2.5	Bibliografía.....	65
<b>3.</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>73</b>
3.1	Conclusiones.....	73
3.2	Recomendaciones .....	73
	<b>Bibliografía .....</b>	<b>75</b>

## Lista de figuras

Pág.

<b>Figura 0.4</b> <i>Participación de los principales departamentos productores de tomate de árbol 2016</i> .....	13
<b>Figura 0.5</b> <i>Categoría extra</i> .....	14
<b>Figura 0.6</b> <i>Categoría I</i> .....	14
<b>Figura 0.7</b> <i>Categoría II</i> .....	15
<b>Figura 0.8</b> <i>Color del tomate de árbol rojo y ensayo de yodo</i> .....	16
<b>Figura 0.9</b> <i>Partes de un horno microondas</i> .....	18
<b>Figura 1.1</b> <i>Promedio y variación (error estándar) de la actividad enzimática residual de la peroxidasa presente en el tomate de árbol sometido a escaldado por microondas a diferentes tiempos y potencias</i> .....	37
<b>Figura 1.2</b> <i>Promedio y variación (error estándar) de la actividad enzimática residual de la peroxidasa presente en el tomate de árbol sometido a escaldado con agua a diferentes tiempos y temperaturas</i> .....	37
<b>Figura 2.1</b> <i>Efecto del escaldado en los compuestos bioactivos presentes en el tomate de árbol (n=3)</i> .....	55
<b>Figura 2.2</b> <i>Efecto del escaldado en los carotenoides presentes en el tomate de árbol (n=3)</i> .....	56
<b>Figura 2.3</b> <i>Efecto del escaldado sobre los parámetros de color en el tomate de árbol (n=3)</i> .....	63

# Lista de tablas

Pág.

<b>Tabla 0.1</b> <i>Área sembrada, área cosechada, producción y rendimiento del cultivo de tomate de árbol 2007-2016.....</i>	12
<b>Tabla 0.2</b> <i>Relación de los diferentes estados de madurez del tomate de árbol con la consistencia, el contenido de pulpa y el contenido de sólidos solubles totales .....</i>	16
<b>Tabla 2.1</b> <i>Efecto del escaldado en el porcentaje de retención de vitaminas del complejo B presentes en el tomate de árbol (n=3) .....</i>	60



# Introducción

La preocupación de las personas por llevar una vida saludable ha conducido a que se preste más atención a la dieta alimentaria, algo que en tiempo atrás tenía poca relevancia. Numerosos estudios han demostrado que una dieta saludable puede ayudar a prevenir enfermedades no transmisibles (ENT) como las cardiovasculares, el cáncer y la diabetes (Block et al., 1992; Weisburger, 1999). Conscientes de ello, entidades públicas y privadas en todo el mundo, se dieron a la tarea de fomentar el consumo de frutas, ya que estas ofrecen nutrientes esenciales para el buen funcionamiento del organismo. Sin embargo, cuando las frutas son sometidas a procesos como el escaldado con agua caliente, el cual involucra elevadas temperaturas y tiempos prolongados, la calidad nutricional y sensorial pueden verse gravemente afectadas, debido a que la disponibilidad de compuestos bioactivos se reduce, ya que estas sustancias son termolábiles (Xiao et al., 2017).

Frente a estos inconvenientes del escaldado tradicional, el tratamiento con microondas surge como alternativa útil en la transformación de materias primas. Yadav et al. (2023) estudiaron 5 variedades de papas y encontraron que las muestras que habían sido escaldadas con microondas retuvieron la mayor parte del contenido fenólico total en comparación con el tratamiento con vapor y agua. Por otro lado, Huong et al. (2022) aplicaron diferentes niveles de potencia (40 W, 400 W y 800 W) y un tiempo fijo de 3 minutos en el escaldado de mango (*Mangifera indica*) y reportaron una mayor concentración tanto de vitamina C como de fenoles a los 400 W.

Por esta razón, se hace necesario abordar el estudio de frutas que a pesar de que son muy producidas en Colombia, no poseen una caracterización de sus compuestos bioactivos, por lo que en ocasiones su potencial industrial, tecnológico y científico no es aprovechado al máximo. Este estudio se desarrollará dentro del Grupo de Investigación en Procesos Agroindustriales (GIPA) de la Universidad Nacional Sede Palmira, el cual ha

4 Efecto del tratamiento con microondas sobre la enzima peroxidasa, los compuestos bioactivos y el color en tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) variedad roja

---

evaluado los cambios que sufren los compuestos bioactivos de las frutas al someterse a diferentes tratamientos térmicos y no térmicos. La presente investigación se centrará en una primera etapa en encontrar las condiciones de tiempo y potencia (escaldado por microondas) donde se logra inhibir la enzima peroxidasa presente en el tomate de árbol variedad roja. Finalmente, después de determinar los parámetros de escaldado, se estudiará el efecto de estos sobre los compuestos bioactivos, la actividad antioxidante y el color.

Este trabajo permitirá evaluar si el escaldado por microondas en comparación con el método tradicional permite inhibir la actividad enzimática de la peroxidasa y minimiza los impactos en la degradación del color y los compuestos bioactivos presentes en el tomate de árbol fresco.

# Planteamiento del problema

A nivel mundial, la malnutrición en todas sus formas afecta a una de cada tres personas (The High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition, 2017) y las enfermedades no transmisibles (ENT) relacionadas con la dieta son la principal causa de muerte en el mundo (Baker & Friel, 2014). La Organización Mundial para la Salud (OMS) estima que aproximadamente de las 57 millones de muertes en el mundo ocurridas en el año 2008, 36 millones fueron a causa de enfermedades no transmisibles (Alwan, 2011), lo cual ocasiona un gran impacto tanto en la productividad como en el aumento en el desembolso en atenciones médicas. En Colombia, la OMS (2016) calcula que en el año 2016 murieron 211.400 personas a causa de las enfermedades no transmisibles. A lo largo de los años se ha trabajado bastante para estimar el costo de las ENT y simulaciones macroeconómicas sugieren una pérdida de producción acumulada de US \$ 47 billones en las próximas dos décadas (Bloom et al., 2011). Una alternativa de solución para empezar a disminuir la prevalencia de enfermedades como el cáncer, la diabetes y las cardiovasculares, es incluir en la dieta alimentos que puedan brindarle al consumidor compuestos bioactivos que estén en la capacidad de mitigar daños a los cuales está expuesto el organismo humano. Este aumento de la demanda por alimentos nutritivos y el crecimiento poblacional del mundo, condujo a que la producción mundial de frutas tropicales frescas aumentara, pasando de 12.621.502 toneladas en el año 1994 a 24.184.510 toneladas en el año 2016, siendo Asia el mayor productor con el 68.2%, seguido de África con el 17.8%, América con el 8.6%, Oceanía con el 3.6% y Europa con el 1.9% (FAO, 2018). Colombia no es ajena a este crecimiento y sigue la tendencia mundial, pasando de 191.370 toneladas en el año 1994 a 588.583 toneladas en el año 2016, lo que la ha llevado a ser una de las líderes en producción de frutas tropicales a nivel mundial (FAO, 2018). Estas cifras, han captado la atención de la comunidad científica, lo que los ha llevado a ahondar en la búsqueda de estrategias que conduzcan a garantizar que los alimentos tanto mínimamente procesados como los sometidos a transformaciones a nivel industrial conserven en gran medida los nutrientes y características sensoriales de los alimentos frescos, además de eso, que sean inocuos y que tengan una vida útil prolongada. Los tratamientos térmicos más comunes que intervienen en un proceso de transformación alimentaria son la pasteurización, ultrapasteurización, esterilización, secado y escaldado, todas estas técnicas son altamente efectivas y se utilizan con el fin

de lograr disminuir la actividad de agua, inactivar enzimas y eliminar microorganismos patógenos, sin embargo, presentan inconvenientes con respecto a la degradación del valor nutricional (como las pérdidas de vitaminas), altas demandas de energía y agua, así como la eliminación de un mayor volumen de efluentes, lo que conlleva a un mayor costo e impacto ambiental (Xanthakis et al., 2018). Estudios realizados por Lisiewska et al., (2009) demostraron que los aminoácidos presentes en las coles de Bruselas disminuyeron de 2783 mg/100 g en muestras frescas a 2345 mg/100 g en las muestras escaldadas. Por otro lado, Lisiewska & Kmiecik (1996) informaron que, durante el procesamiento de brócoli y coliflor, las mayores pérdidas en el contenido de vitamina C ocurrieron durante el escaldado: en brócoli en un 41–42% y en coliflor en un 28–32%. Ismail et al., (2004) estudiaron el efecto del tratamiento térmico sobre el contenido fenólico y observaron que, entre los vegetales frescos y los tratados térmicamente la col de pantano perdió la mayor cantidad de contenido fenólico (26%), seguida de col (20%), espinaca (14%), chalotes (13%) y col rizada (12%) después de un escaldado de 1 minuto en agua hirviendo. También, Ordóñez-Santos et al., (2017) observaron una disminución significativa en el contenido de ácido ascórbico (24.40%) después de someter a pasteurización a 80°C por 10 minutos al jugo de uchuva.

Por otro lado, el color constituye un elemento significativo que, de forma directa o indirecta, refleja la excelencia del producto, ejerciendo así una influencia en la preferencia del comprador. Mandliya et., al (2023) evidenciaron que en la grosella espinosa india (*Phyllanthus emblica*) la diferencia de color total ( $\Delta E$ ) en la muestra escalada con agua (7.83) fue el doble de la de escaldada con microondas (3.52). Otros autores (Nhi et., 2022), reportaron cambios de color significativos (conversión de oscurecimiento) al someter la guanábana (*Annona muricata* L.) a diferentes condiciones de escaldado con agua y microondas. Un estudio realizado en tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav) encontró que después de someter la fruta a los tratamientos de cocción con agua (92 °C durante 10 minutos), vapor saturado (92 °C durante 10 minutos), microonda (760 W durante dos minutos), y horno (250 °C durante 10 minutos) la mayoría de las coordenadas evaluadas ( $L^*$ ,  $C^*$ ,  $h^\circ$ ,  $\Delta E$  y BI) fueron afectadas significativamente (Cuastumal et al., 2016).

Por lo tanto, nace la pregunta de investigación: ¿Cuál es el efecto del tratamiento de escaldado con microondas en la inhibición de la peroxidasa, la concentración de compuestos bioactivos y el color en tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) variedad roja?

## Hipótesis

H0: El escaldado con microondas del tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) variedad roja con la potencia y tiempo adecuado no inhibe la actividad de peroxidasa y tampoco conserva los compuestos bioactivos ni el color en el fruto después del tratamiento.

H1: El escaldado con microondas del tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) variedad roja con la potencia y tiempo adecuado si inhibe la actividad de peroxidasa y también conserva los compuestos bioactivos y el color en el fruto después del tratamiento.

## Justificación

Teniendo en cuenta que el tomate de árbol fue uno de los 10 frutales promisorios identificados en el censo nacional de frutas agroindustriales (MADR, DNP, DANE, & ASOHOFrucol, 2004) y que de acuerdo a la información entregada por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR, 2018), sacando al bananito, es la fruta que en el año 2016, más alta producción presentó de este selecto grupo con un total de 186.032 toneladas, superando por un alto margen a la uchuva, granadilla, pitahaya, maracuyá, feijoa, curuba, mora y lulo, las cuales, registraron en el mismo año una producción total de 15.111 Ton, 42.950 Ton, 13.211 Ton, 119.388 Ton, 2.875 Ton, 13.741 Ton, 110.453 Ton, 78.610 Ton respectivamente. Además, el tomate de árbol fresco contiene una importante cantidad de antioxidantes fenólicos (187 mg AGE/100g PF) en comparación a frutas como la feijoa (96 mg AGE/100g PF), lulo (91 mg AGE/100g PF), granadilla (91 mg AGE/100g PF), uchuva (87 mg AGE/100g PF) y maracuyá (61 mg AGE/100g PF) (Vasco et al., 2008; Vasco et al., 2009; do Amarante et al., 2017; Contreras et al., 2011). Esta elevada producción y alto niveles de antioxidantes fenólicos, convierten al tomate de árbol en un atractivo producto para la industria procesadora de alimentos ya que se puede ver como una excelente oportunidad para penetrar el mercado con productos innovadores, los cuales, de alguna manera, van a requerir la aplicación de diferentes tratamientos térmicos que contribuyan a extender la vida útil del producto, logrando así, aumentar su disponibilidad y oferta, lo que podría conducir a incrementar el consumo, obteniendo de esta forma, un impacto directo en la economía de las familias campesinas, ya que les permitiría a los agricultores de las zonas, diversificar sus ingresos y productos, además de tener mayores alternativas de empleo. En términos de compuestos bioactivos y color, los estudios han demostrado que diferentes métodos de escaldado, incluido el escaldado por microondas, pueden afectar el contenido de estos compuestos en los alimentos. Mandliya et al., (2023) encontraron en grosella espinosa india (*Phyllanthus emblica*) que el escaldado con microondas en comparación con el escaldado con agua (80°C, 5 min) logró preservar en mayor cantidad el ácido ascórbico, fenoles totales y una mínima variación de color, además de la inhibición de la actividad enzimática de peroxidasa. En otra investigación realizada por Hussain et al., (2023) sometieron peras frescas (*Pyrus communis* L.) a escaldado por microondas, vapor y agua encontrando que en el primer tratamiento resultó mas efectivo para conservar el ácido ascórbico y el color.

Por lo tanto, la aplicación del escaldado asistido por microondas como pretratamiento en diversos procesos de transformación alimentaria en productos de consumo masivo, ha demostrado ser efectivo a la hora de mantener o incrementar los compuestos bioactivos, principalmente por la disminución de los tiempos de exposición del producto al tratamiento y por la no lixiviación de estos, ya que es un proceso que se realiza en seco. Por todo lo anterior, se hace necesario evaluar la aplicación de tecnologías que busquen reemplazar los métodos tradicionales de escaldado con el fin de obtener las siguientes ventajas:

1. Conservación del medio ambiente.
2. Aumentar la ventaja competitiva de la cadena de valor de las frutas.
3. Beneficios a la salud de los consumidores por medio de alimentos nutritivos.

En este sentido, esta investigación se realizará con el fin de estudiar el comportamiento de la enzima peroxidasa, el color y los compuestos bioactivos del tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) variedad roja considerando que el tratamiento con microondas podría ser una alternativa frente al tratamiento convencional.

# Marco teórico

## Aspectos generales del tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.)

### Origen

“El tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) es un pequeño árbol originario de la región andina” (Espin et al., 2016). El nombre común es tomate de árbol, sin embargo, asume diferentes nombres dependiendo del país donde se cultive o comercialice, siendo estos los más reconocidos: tomate extranjero, tomate cimarrón, tomate de monte, tomate silvestre y tamarillo. También cabe resaltar que, en su región de origen, se distinguen tres tipos según el color de la fruta: el rojo, amarillo y el púrpura (Mertz et al., 2010).

### Clasificación taxonómica

De acuerdo con lo expuesto por Valdez (2018), el tomate de árbol fue descrito originalmente por Cavanilles en 1799, para luego ser transferido por Sendtner en 1845 al género *Cyphomandra* donde perteneció hasta que Bohs (1995) lo regresó al género *Solanum*. Según Bohs (1995), taxonómicamente el tomate de árbol se encuentra clasificado de la siguiente manera:

Reino: Vegetal

División: Fanerógamas

Subdivisión: Angiospermas

Clase: Dicotiledonae

Subclase: Metaclamideas

Orden: Tubiflorales

Familia: *Solanaceae*

Género: *Solanum*

Especie: *Solanum betaceum*

12 Efecto del tratamiento con microondas sobre la enzima peroxidasa, los compuestos bioactivos y el color en tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) variedad roja

**Cultivo**

Las condiciones climáticas favorables para el desarrollo normal del cultivo se encuentran entre los 17°C a 19°C y el rango de altitud es de 1800 a 2200 msnm (García, 2008). Colombia, tal cual como se muestra en la Tabla 0.1, ha experimentado un crecimiento en la producción de tomate de árbol, pasando de 125594 Ton en el año 2007 a 186032 Ton en el año 2016 (MADR, 2018). Por otro lado, en la Figura 0.4, se observan las zonas productoras con mayor participación de este cultivo en el año 2016, siendo Antioquia el principal departamento productor seguido por Cundinamarca, Tolima, Boyacá y Huila con un total de 112137, 31820, 13019, 10.306 y 3.231 toneladas respectivamente (MADR, 2018).

**Tabla 0.1**

*Área sembrada, área cosechada, producción y rendimiento del cultivo de tomate de árbol 2007-2016*

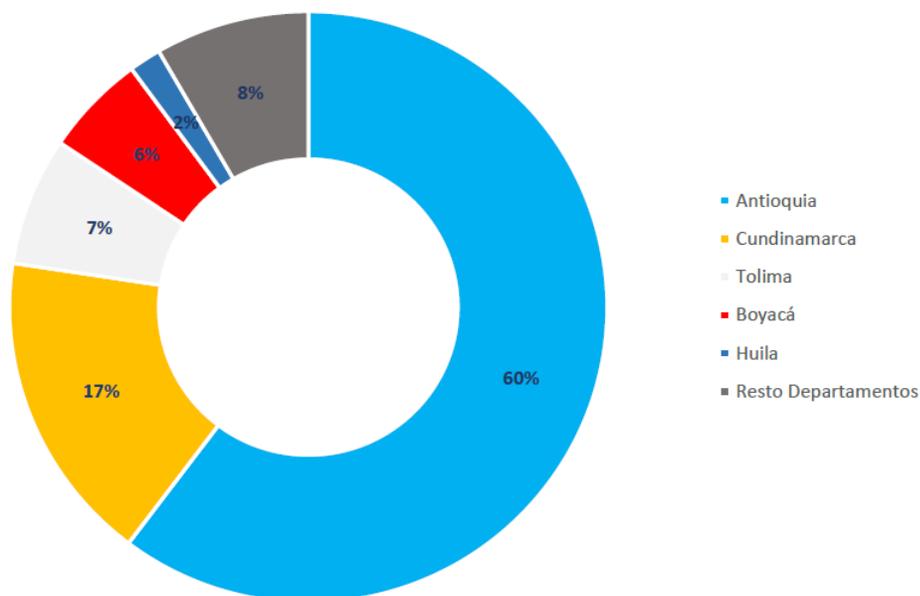
<b>Año</b>	<b>Área sembrada (ha)</b>	<b>Área cosechada (ha)</b>	<b>Producción (Ton)</b>	<b>Rendimiento (Ton/ha)</b>
<b>2007</b>	9643	7466	125594	16.82
<b>2008</b>	8463	6514	106124	16.29
<b>2009</b>	9899	7336	131137	17.87
<b>2010</b>	10048	7504	122519	16.33
<b>2011</b>	10970	8363	129505	15.49
<b>2012</b>	11140	8496	157261	18.51
<b>2013</b>	10997	8534	167194	19.59
<b>2014</b>	11564	9326	174895	18.75
<b>2015</b>	11831	10215	190062	18.61
<b>2016</b>	11535	9336	186032	19.93
<b>2017</b>	11645	9600	194179	20.23
<b>2018</b>	11224	10160	174230	17.15
<b>2019</b>	11567	9688	173087	17.87
<b>2020</b>	11322	10700	238429	22.28

*Nota:* Producción, área cosechada, área sembrada y rendimiento de tomate de árbol en Colombia. Tomado de MADR (2023).

(<https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1> ).

**Figura 0.1**

*Participación de los principales departamentos productores de tomate de árbol 2016*



*Nota:* Participación por departamento en la producción de tomate de árbol. Tomado de MADR (2018).

<https://www.agronet.gov.co/Documents/TOMATE%20DE%20ARBOL2016.pdf>

## **Normatividad**

La Norma Técnica Colombiana (NTC 4105, 1997) es quien establece los requisitos que debe cumplir el tomate de árbol destinado para el consumo fresco o como materia prima para el procesamiento. En ella se establece que esta fruta es de carácter no climatérico, además, muestra la clasificación, los requisitos de madurez, el calibre, etc. Para empezar, el tomate de árbol presenta tres categorías:

**Categoría extra:** Debe estar exento de todo defecto que demerite la calidad del producto.

- 14 Efecto del tratamiento con microondas sobre la enzima peroxidasa, los compuestos bioactivos y el color en tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) variedad roja
- 

**Figura 0.2**

*Categoría extra*

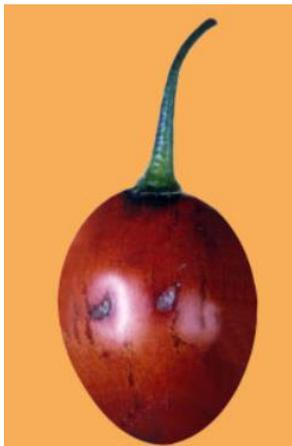


*Nota:* Clasificación de calidad del tomate de árbol. Tomado de NTC 4105 (1997) (<https://e-collection-icontec-org.bdigital.sena.edu.co/pdfview/viewer.aspx?locale=es-ES&Q=BA80C0D7656BEDD90D2EE21DBE603040&Req=> ).

**Categoría I:** De acuerdo con NTC 4105 (1997), se aceptan manchas ocasionadas por el golpe de granizo y/o manchas causadas por el sombreamiento que se produce por el contacto entre los frutos en el árbol, que no excedan en conjunto el 10% del área total del fruto.

**Figura 0.3**

*Categoría I*



*Nota:* Clasificación de calidad del tomate de árbol. Tomado de NTC 4105 (1997) (<https://e-collection-icontec-org.bdigital.sena.edu.co/pdfview/viewer.aspx?locale=es-ES&Q=BA80C0D7656BEDD90D2EE21DBE603040&Req=> ).

**Categoría II:** De acuerdo con NTC 4105 (1997), se admiten defectos de decoloración causados por el sombreado que se produce por el contacto entre los frutos en el árbol, manchas superficiales y/o raspaduras cicatrizadas, que no excedan en conjunto el 20% del área total del fruto.

#### **Figura 0.4**

##### *Categoría II*



*Nota:* Clasificación de calidad del tomate de árbol. Tomado de NTC 4105 (1997) (<https://e-collection-icontec-org.bdigital.sena.edu.co/pdfview/viewer.aspx?locale=es-ES&Q=BA80C0D7656BEDD90D2EE21DBE603040&Req=> ).

La madurez del tomate de árbol es otro de los requisitos que la norma muestra. Este atributo se aprecia visualmente por su color externo. Su estado se puede confirmar por medio de la determinación del ensayo de yodo. De acuerdo con NTC 4105 (1997), la siguiente descripción relaciona los cambios de color con los diferentes estados de madurez (véase la Figura 0.8):

Color 0: fruto de color morado con tonalidades verdes hacia la zona central, completamente desarrollado.

Color 1: el fruto es de color morado intenso en toda la superficie.

Color 2: aparece una coloración roja en el centro y presentan visos morados.

Color 3: el fruto es de color rojo intenso con ligeros visos morados hacia la zona del pedúnculo y el ápice.

Color 4: toda la superficie se torna de color rojo y aparecen visos anaranjados.

Color 5: el fruto es de color rojo con tonos anaranjados en la zona central.

16 Efecto del tratamiento con microondas sobre la enzima peroxidasa, los compuestos bioactivos y el color en tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) variedad roja

Color 6: el fruto es completamente anaranjado.

**Figura 0.5**

*Color del tomate de árbol rojo y ensayo de yodo*



*Nota:* Clasificación de estados de madurez del tomate de árbol. Tomado de NTC 4105 (1997) (<https://e-collection-icontec-org.bdigital.sena.edu.co/pdfview/viewer.aspx?locale=es-ES&Q=BA80C0D7656BEDD90D2EE21DBE603040&Req=> ).

Por último, la NTC 4105 relaciona los diferentes estados de madurez con la consistencia, el contenido de pulpa y el contenido de sólidos solubles totales.

**Tabla 0.2**

*Relación de los diferentes estados de madurez del tomate de árbol con la consistencia, el contenido de pulpa y el contenido de sólidos solubles totales*

REQUISITO	COLOR						
	0	1	2	3	4	5	6
Consistencia (Kgf/cm <sup>2</sup> )	>24	21.7	17.6	11.6	7.9	5.9	3.6
Contenido de pulpa (%)	52	56	57	69	73	78	75
Sólidos solubles totales °Brix Min - °Brix Máx.	5.7 - 6.3	6.4 - 6.8	7.3 - 7.9	8.0 - 8.6	8.5 - 9.3	9.1 - 9.9	9.3 - 10.3

*Nota:* Condiciones de calidad del tomate de árbol. Tomado de NTC 4105 (1997) (<https://e-collection-icontec-org.bdigital.sena.edu.co/pdfview/viewer.aspx?locale=es-ES&Q=BA80C0D7656BEDD90D2EE21DBE603040&Req=> ).

## **Escaldado**

Tratamiento térmico que se utiliza previo al secado, apertización, liofilización, congelación, fritura y pelado de verduras y algunas frutas (Mafart, 1994; Xiao et al., 2017). Generalmente comprende temperaturas entre 70-100 °C y tiempos entre 1 y menos de 10 minutos (Fellow, 1994; Xiao et al., 2017).

### **Tipos de escaldado**

#### **Escaldado con agua caliente**

Es el método más utilizado comercialmente, ya que es sencillo de establecer y fácil de operar, sin embargo, si se realiza por un tiempo prolongado, da como resultado una pérdida considerable de nutrientes tales como carbohidratos, proteínas, minerales solubles en agua, vitaminas y azúcares, por lo que en general, después de una cierta cantidad de tiempo, el agua de escaldado debe reponerse a medida que se satura con los nutrientes lixiviados de los productos (Xiao et al., 2017; Mukherjee & Chattopadhyay, 2007; Lee, 1958).

#### **Escaldado con vapor**

Se emplea vapor para escaldar ya que posee alta energía, este se condensa en la superficie de los productos, transfiriendo calor latente que eleva gradualmente la temperatura de los productos hasta inactivar enzimas u organismos al alcanzar su temperatura crítica. (Xiao et al., 2017).

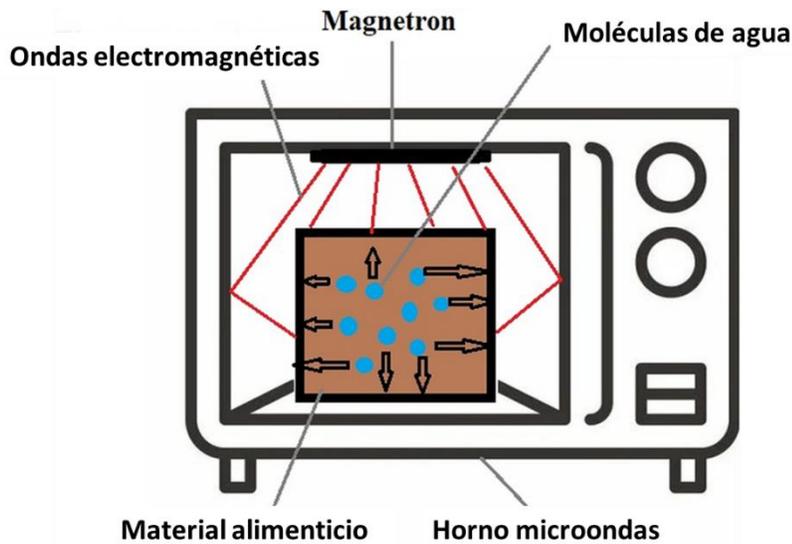
#### **Escaldado asistido por microondas**

“Las microondas son ondas electromagnéticas con una frecuencia que varía de 300 MHz a 300 GHz” (Regier et al., 2017). Los sistemas están generalmente restringidos a ciertas frecuencias, dentro de la llamada banda industrial, científica y médica (ICM) y por ciertos niveles máximos de emisión y límites de exposición para humanos (Schubert & Regier, 2005). Las frecuencias más comúnmente utilizadas para aplicaciones industriales son 896 MHz (en el Reino Unido) y 915 MHz (en las Américas y China) y 2450 MHz, para usos comerciales, domésticos e industriales en la mayoría de los países (Atuonwu & Tassou, 2018). Algunos aspectos de la teoría electromagnética se pueden describir mediante las ecuaciones de Maxwell, las cuales se encuentran ampliamente detalladas en el capítulo

uno del libro de Regier et al. (2017). De acuerdo con Mafart (1991), los equipos de microondas están compuestos por tres elementos principales, (magnetron o klistrón, conductor de ondas y aplicador).

**Figura 0.6**

*Partes de un horno microondas*



*Nota:* Adaptado de “Impact of different microwave treatments on food textura” (p.711), por Kutlu et al., 2021, *Journal of Texture Studies*, 53 (6)

“El calentamiento por microondas en alimentos se debe a la acción de un campo eléctrico oscilante que afecta a las moléculas de agua, polarizándolas y generando fricción interna, provocando un calentamiento rápido y volumétrico debido a la alta frecuencia” (Chandrasekaran et al., 2013). También, Datta & Davidson (2000) mencionaron que el calentamiento por microondas puede ocurrir debido a la migración oscilatoria de iones en el alimento lo que genera calor en presencia de un campo eléctrico oscilante de alta frecuencia.

Entre los factores más importantes que afectan el calentamiento por microondas y su distribución de calor, se encuentran las propiedades dieléctricas y la potencia absorbida por los alimentos. En primer lugar, las propiedades dieléctricas de los materiales alimenticios están determinadas principalmente por su composición química y, en menor medida, por la estructura física (Chandrasekaran et al., 2013). De acuerdo a Schubert & Regier (2005) la capacidad de un material para convertir la energía de microondas en calor puede entenderse al conocer sus propiedades dieléctricas.

Las propiedades dieléctricas de un material se describen mediante las siguientes relaciones:

$$\epsilon^* = \epsilon' - j\epsilon'' \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

$\epsilon^*$ : permitividad relativa compleja

$\epsilon'$ : constante dieléctrica

$\epsilon''$ : pérdida dieléctrica

$j$ :  $\sqrt{-1}$

La parte real de la permitividad, denominada constante dieléctrica, significa la capacidad de almacenar energía eléctrica y la parte imaginaria, denominada pérdida dieléctrica, significa la capacidad de convertir la energía eléctrica en calor.

La relación entre la pérdida dieléctrica y la constante dieléctrica viene dada por la tangente de pérdida y se expresa como:

$$\tan\delta = \frac{k''}{k'} = \frac{\epsilon''}{\epsilon'} \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

$\tan\delta$ : tangente de pérdida

$k'$ : constante dieléctrica relativa

$k''$ : pérdida dieléctrica relativa

Al mismo tiempo,  $k'$  y  $k''$  pueden quedar de la siguiente forma:

$$k' = \frac{\epsilon'}{\epsilon_0} \quad (\text{Ec. 3}) \quad k'' = \frac{\epsilon''}{\epsilon_0} \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde:

$\epsilon_0$ : permitividad en el vacío ( $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{ F/m}$ )

En segundo lugar, Mafart (1994) menciona que la potencia absorbida por el alimento expuesto respecto a la unidad de volumen sigue la ley:

$$\dot{Q} = 55.6 E^2 f k'' 10^{-6} \text{ Wm}^{-3} \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde:

$\dot{Q}$  : potencia térmica

$E$ : campo eléctrico del equipo ( $\text{Vm}^{-1}$ )

$f$ : Frecuencia de las microondas

$k''$ : pérdida dieléctrica relativa

Por otra parte, en igualdad de potencia y masa, las propiedades dieléctricas no afectan al calentamiento por microondas; solo influye el calor específico del alimento (Mafart, 1994), por lo tanto, la ecuación se escribe de la siguiente manera:

$$Q = \dot{Q}_i t = mC_p(T - T_0) \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde:

$Q$  : cantidad de calor

$\dot{Q}_i$  : Potencia térmica incidente

$m$  : masa del producto expuesto

$C_p$  : calor específico del producto

$T$  : temperatura inicial del producto

$T_0$  : temperatura inicial del producto en el tiempo  $t$

Así pues, después de varios despejes matemáticos, se demuestra que, la velocidad de calentamiento depende esencialmente de la potencia del emisor, de la masa del producto expuesto, así como del calor específico del producto.

$$\dot{T} = \frac{\dot{Q}_i - \dot{Q}_C}{mC_p} \quad (\text{Ec. 6})$$

Donde:

$\dot{T}$  : velocidad de calentamiento

$\dot{Q}_i$  : Potencia térmica incidente

$\dot{Q}_C$  : potencia térmica perdida por convección

$m$  : masa del producto expuesto

$C_p$  : calor específico del producto

## **Propósitos del escaldado**

### **Inactivación de la actividad enzimática**

El objetivo principal del escaldado es inactivar las enzimas responsables de las reacciones de deterioro que contribuyen a los sabores, olores y colores desagradables, además, ocasionan una textura indeseable y contribuyen a la descomposición de nutrientes (Xiao et al., 2017). De acuerdo a lo expuesto por Badui (2006), las enzimas pueden catalizar diferentes reacciones químicas entre ellas la oxidorreducción.

### **Eliminar el aire y otros gases ocluidos en los tejidos intercelulares**

Durante el calentamiento por escaldado, los tejidos liberan gases (nitrógeno y oxígeno) los cuales deben ser expulsados antes del envasado, dado que su presencia ocasionaría una sobrepresión interna, con riesgos de deformación de los recipientes que contienen el producto (Mafart, 1994). Además, la eliminación del oxígeno del tejido reduce la oxidación del producto y la corrosión de los materiales utilizados para la fabricación de latas (Xiao et al., 2017).

### **Mejorar las tasas de deshidratación del producto**

El escaldado, aumenta las tasas de secado y deshidratación al cambiar las propiedades físicas de los productos, debido a que, la alta temperatura ocasiona una mayor destrucción de la pared celular, lo que a su vez aumenta la tasa de eliminación de humedad (Severini et al., 2005).

### **Eliminación de residuos de plaguicidas y constituyentes tóxicos**

Un estudio realizado por Bonnechère et al. (2012) mostró que se redujo la cantidad de 5 plaguicidas en un 10 a un 70% en el escaldado con agua caliente y en un 39% en el escaldado por microondas de las espinacas. “Esta reducción podría deberse a la degradación por temperatura de la sustancia tóxica o al lavado y lixiviación de las toxinas en el agua escaldadora” (Xiao et al., 2017).

### **Disminución de la carga microbiana**

De acuerdo a Frazier & Westhoff (1993), la destrucción de los microorganismos es consecuencia de la desnaturalización de las proteínas por la acción del calor y sobre todo

de la inactivación de las enzimas que requieren para desarrollar sus actividades metabólicas. Un estudio realizado por Phungamngoen et al. (2013), mostró una reducción de aproximadamente 3.8 log UFC/g después de aplicar escaldado con agua caliente para eliminar la *Salmonella* adherida a muestras de col, esto debido a que la alta temperatura ocasiona un mayor grado de lesión celular bacteriana. Otra investigación encontró que, el escaldado por microondas podría lograr una reducción de 4 a 5 ciclos logarítmicos en *Salmonella typhimurium* en chiles jalapeños frescos y en cilantro (De La Vega-Miranda et al., 2012). Además, en un estudio realizado por Jabbar et al. (2014), se observó una reducción considerable en la cantidad de levaduras y mohos presentes en el jugo de zanahoria tras someterlo a un tratamiento que combinaba agua caliente y ultrasonido. Este efecto se debía a los fenómenos de cavitación e implosión de burbujas generados durante la sonicación, que producían ondas de choque y radicales hidroxilos, causando la inactivación de las especies biológicas.

### **Pelado de productos**

El escaldado de frutas ofrece a las empresas procesadoras de alimentos, la facilidad de retirar la piel de los productos de una manera más rápida, esto debido a que, durante el calentamiento de la fruta, ocurre una contracción volumétrica ocasionada por el ablandamiento del tejido vegetal, lo que conlleva a facilitar la operación de pelado (Xiao et al., 2017).

### **Aumento de la eficiencia de extracción de compuestos bioactivos**

Aunque muchos de los compuestos bioactivos se encuentran en forma soluble en las vacuolas de las células o están unidos a la hemicelulosa, celulosa, pectina y trazas de lignina de la pared celular, el escaldado térmico puede causar la ruptura de las membranas en los tejidos de las células, alterando la porosidad, lo que podría facilitar la liberación de estos compuestos (Tomadoni et al., 2017). De acuerdo a lo anterior, varios estudios han demostrado el aumento de compuestos antioxidantes en los alimentos después de ser sometidos a diferentes procesos de escaldado, tal es el caso del brócoli, donde el escaldado con agua y vapor dieron como resultado un aumento del  $\beta$ -caroteno, la luteína y la vitamina E en comparación con uno fresco (Gliszczynska-Świgło et al., 2006). Por otro

lado, Stamatopoulos et al. (2012) observaron que el contenido de oleuropeína, un biofenol presente en los extractos de hojas de olivo, puede aumentar de 25 a 35 veces mediante el proceso de escaldado con vapor y en 8 veces mediante el proceso de escaldado con agua caliente. Del mismo modo, Bascaya & Demirdoven (2015) estudiaron los efectos del escaldado con microondas y convencional en rodajas de zanahoria y encontraron que, en ambos casos, los resultados de los carotenoides superaban al producto que no había recibido ningún tratamiento, arrojando como resultado 1.47, 1.46 y 1.27 mg / kg de  $\beta$ -caroteno respectivamente. Otro estudio realizado por Rossi et al. (2003) encontró que, los zumos obtenidos de las frutas de arándanos aumentaban su contenido en compuestos fenólicos cuando eran sometidos a un proceso de escaldado con vapor, esto en gran parte a la inactivación de enzimas que degradan los compuestos bioactivos.

## **Evaluación de la efectividad del proceso de escaldado**

### **Actividad de las enzimas peroxidasas y polifenoloxidasas**

La efectividad del escaldado generalmente se juzga por el grado de inactivación de las enzimas peroxidasas y polifenoloxidasas ya que estas se pueden medir fácilmente en comparación con otras enzimas (Xiao et al., 2017). Las peroxidasas poseen alta estabilidad térmica y representan una familia que contiene un grupo hemo que cataliza la oxidación de una variedad de compuestos orgánicos e inorgánicos en la presencia de peróxidos tales como  $H_2O_2$  (Roopa et al., 2016; Tao et al., 2018). Por otro lado, las polifenoloxidasas poseen cuatro átomos de cobre por molécula y sitios de unión para dos compuestos aromáticos y oxígeno, además, catalizan la hidroxilación de monofenoles (como tirosina) a o-difenoles y la oxidación de o-difenoles a o-quinonas (Tao et al., 2013). Todas estas condiciones, son las que contribuyen a que se produzcan cambios sensoriales y nutricionales indeseables en los alimentos, por lo que una elección apropiada de tiempo y temperatura de procesamiento térmico puede resultar útil para el diseño de métodos óptimos (Tao et al., 2018)

### **El ácido ascórbico (AA) como indicador para evaluar la pérdida de nutrientes durante el escaldado**

Dado que los humanos carecen de una de las enzimas finales en la biosíntesis de la vitamina C o ácido ascórbico (AA), la mejor forma de obtenerla es mediante la ingesta de frutas ya que son una buena fuente de esta sustancia, pero, tienen la desventaja de ser un nutriente inestable a las altas temperaturas ya que ha demostrado inducir una rápida degradación, por lo que en ocasiones se usa como un buen indicador para la conservación de otros nutrientes después de realizar el escaldado (Verbeyst et al., 2013). Este compuesto, puede oxidarse de manera aerobia reversible a ácido deshidroascórbico (DHAA), sin perder la funcionalidad de la vitamina C, luego, la degradación adicional de DHAA a, por ejemplo, ácido 2,3- dicetogulónico (DKG) da como resultado la pérdida de actividad biológica (Verbeyst et al., 2013). “Estas reacciones de conversión están influenciadas por el pH, la temperatura, la presencia de oxígeno y de iones metálicos” (Uddin et al., 2001). Estudios llevados a cabo por Agüero et al. (2008) demostraron que la pérdida de ácido ascórbico durante el escaldado con agua caliente depende en gran medida de la temperatura y el tiempo de escaldado, por lo que estudiaron la influencia de este tratamiento en la calabaza (*Cucurbita moschata* Duch) y pudieron observar que, en los procesos más largos (22 min) a temperaturas más bajas (60°C) se produjo una retención de ácido ascórbico del 25%, mientras que en los procesos más cortos (0.13 min) a temperaturas más altas (90°C) la retención de ácido ascórbico llegó a ser del 72% aproximadamente. Del mismo modo, Lee et al. (2018) estudiaron los efectos del escaldado con agua, vapor y microondas sobre la vitamina C del brócoli, espinaca, papas, zucchini, zanahoria, remolacha y papa dulce, encontrando los mejores porcentajes de retención en el tratamiento con microondas, obteniendo los siguientes resultados: 112.76, 91.10, 76.86, 92.73, 92.02, 67.64 y 100.21 % respectivamente.

### **El color como indicador del cambio de calidad del producto durante el escaldado**

“El color se debe a un grupo molecular específico (cromóforo) que absorbe energía y, como consecuencia, se produce la excitación de un electrón de orbitales externos con mayor energía” (Hurtado et al., 2009). Los receptores sensoriales del cuerpo humano como el tacto, vista y olfato son quizás, los primeros responsables en la evaluación de calidad de un producto alimenticio. Precisamente, el color, es una de las características de apariencia más importantes y si este es inaceptable, los otros dos factores principales de

calidad, sabor y textura probablemente no serán juzgados en absoluto (Francis, 1995; Xiao et al., 2017).

Se han reportado estudios, donde se ha observado que “los tratamientos térmicos promueven la isomerización de los carotenoides provocando una ligera modificación hipocromática y un efecto hipocrómico, que suele observar una banda de absorción adicional en el rango de 320 a 360 nm” (Ordóñez-Santos et al., 2017; Marx et al, 2003). Otro aspecto relacionado con la reducción de la intensidad del color en los alimentos puede estar relacionado con los compuestos fenólicos, ya que la hidroxilación por presencia de radicales hidroxilos del anillo aromático en las posiciones orto, meta y para en estos compuestos, puede cambiar el área del espectro visible de las muestras estudiadas, pasando de amarillo a amarillo-rojo (Tomadoni et al., 2017). Un estudio realizado por Gonçalves et al. (2010) evaluó la cinética de la inactivación de la peroxidasa, la degradación fenólica y los cambios de color y textura durante el tratamiento de escaldado con agua caliente de la zanahoria (*Daucus carota* L) y encontró que, a 90 °C durante 1.4 minutos retenía aproximadamente el 80% de su contenido fenólico total inicial e inactivaba el 90% de la actividad inicial de la peroxidasa, pero, los factores de color sufrían una degradación de L\* 5.1% (más oscuras), a\* 33% (menos rojas) y b\* 25% (menos amarilla) en relación con el producto fresco. Del mismo modo, Hadidi et al. (2019) estudiaron el efecto del escaldado con vapor en la actividad enzimática, el color y la degradación de las proteínas en la alfalfa (*Medicago sativa*), observando que, las mejores condiciones eran cuando combinaban un tiempo de vaporización de 4.36 min, un tamaño de partícula sin corte de 23 mm y un tiempo mínimo entre cosecha y vaporización de 2 horas. En estas condiciones, se evitó la aparición del color oscuro, además, la actividad residual experimental de la polifenoloxidasa y peroxidasa fueron de 1.31% y 0% respectivamente. Por todo lo anterior, queda claro que el color es un parámetro crítico para optimizar la condición de escaldado en los alimentos.

# Estado del arte

En el panorama actual de la agroindustria y la seguridad alimentaria, la búsqueda de métodos de procesamiento alternativos que conserven de manera óptima los nutrientes de los alimentos ha cobrado una relevancia importante. A continuación, se presentan una serie de investigaciones relacionadas con el área de estudio, las cuales son un insumo importante para determinar la frontera de conocimiento.

En la literatura científica, se reportan pocas investigaciones sobre la inactivación enzimática de la peroxidasa en tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.). de los Santos et al. (2020) encontraron que aplicando escaldado con agua al puré de tomate de árbol se requería una temperatura de 90°C por 5 minutos para lograr una inhibición por debajo del 10 % de la actividad enzimática residual de peroxidasa. Por otro lado, Ordoñez et al. (2005) estudiaron las actividades de la enzima invertasa (EC 3.2.1.26) y sacarosa sintasa (EC 2.4.1.13) durante el desarrollo del tomate de árbol y encontraron los cambios que ocasionan en el contenido de azúcares. Debido a que no se encontró en la literatura estudios que evalúen el efecto de escaldado con microondas en tomate de árbol, se presentan a continuación investigaciones donde han evaluado el tratamiento de microondas en otros vegetales.

Un estudio realizado por Xanthakis et al. (2018), comparó el impacto en piezas de mango del escaldado por microondas (120 W por 5 minutos y 100 W por 12 minutos) y el escaldado con agua caliente (90°C por 5 minutos y 70°C por 12 minutos) sobre la ácido ascórbico oxidasa y la vitamina C, mostrando un mayor grado de inactivación de la enzima y un mayor grado de retención de la vitamina con ambos tratamientos de microondas. Otra investigación de Nakilcioglu-Taş & Otleş (2018), estudió los efectos que puede tener el microondas sobre los compuestos bioactivos, el contenido de humedad y la capacidad antioxidante de la col de Bruselas, analizando cada 0.75 min hasta 3.75 min para 700 W, hasta 4.5 min para 600 W y hasta 5.25 min para 460 W, encontrando que, este tratamiento causaba reducciones significativas en todas las variables de respuestas, sin embargo, a una potencia de 460 W se pueden reducir las pérdidas de los compuestos estudiados. Otro estudio realizado por Liburdi et al. (2019), tuvo como objetivo evaluar la eficacia del escaldado por microondas en términos de inactivación de la peroxidasa, mediante la

aplicación de varias condiciones de proceso (50 a 350 W entre 45 a 120 s) a diferentes vegetales (papas, col rizada y col blanca), imitando la geometría más común. Los resultados encontrados muestran que la inactivación de peroxidasa más alta fue de 160 W durante 75 s en muestras con forma de cuboide, en muestras cilíndricas fue de 160 W durante 120 s y en muestras de cubos, el óptimo fue de 160 W durante 75 s y 350 W durante 45 s. Otros autores como Behera (2017), llevaron a cabo una investigación donde se quería identificar un método de escaldado adecuado (escaldado con agua caliente y escaldado con microondas) para diferentes espesores de corte (5, 10 y 15 mm) de la fruta estrella (*Averrhoa carambola* L.) que garantizara la inactivación de la enzima peroxidasa y la retención de ácido ascórbico y ácido oxálico y encontraron que, los parámetros óptimos de escaldados donde lograban retener una mayor cantidad de estos compuestos eran: potencia 600W con un tiempo de 30 segundos para un grosor de corte de 15 mm y para 480W un tiempo de 50 y 60 segundos con un grosor de corte de 5 y 10 mm. Dorantes-Alvarez et al. (2011) evaluaron los cambios en la actividad antioxidante del jalapeño (*Capsicum annuum*) cuando se trata con microondas para inactivar polifenoloxidasas y encontraron que la densidad de energía para lograr la inactivación completa de la enzima fue de 0.38 KJ/g, además, los compuestos fenólicos se redujeron de 9.6 a 7.6 mg / g de pimiento seco y la actividad antioxidante se incrementó de 29 a 42  $\mu$ M de Trolox/g con el escaldado térmico por microondas durante 20 segundos. Por otro lado, Palma-Orozco et al. (2012), probaron diferentes potencias y tiempos (W/s) 90/30, 90/165, 90/300, 590/30, 590/165, 590/300, 937/30, 937/165 y 937/300, buscando estudiar los efectos del escaldado con microondas en la actividad de la polifenoloxidasas, en el color y en la microestructura de la pulpa de mamey (*Pouteria sapota*), encontrando que, a una potencia de 937 W y 165 segundos ( $E_{opt} = 0,51$  kJ /g) se inactivaba la enzima, se favorecería la conservación del color y resultó en un daño insignificante en la microestructura de la pulpa de mamey. También Huang et al. (2007) investigaron los efectos del calentamiento por microondas (600 W por 2 minutos) en los polifenoles, clorofila y vitamina C en el té verde de primavera y otoño, encontrando un aumento en el contenido de vitamina C (4.74 g /kg y 5.51 g /kg, respectivamente) y en la clorofila. (Oszmiański et al. (2008) encontraron que el escaldado de puré de manzana por microondas a 80°C por 2 minutos mantuvo un mayor contenido de sustancias fenólicas como procianidinas, (-) epicatequina y ácido clorogénico en comparación con la muestra escaldada en agua a 90 ° C durante 4 minutos.

# Objetivos

## Objetivo general

Evaluar los efectos del tratamiento con microondas sobre la enzima peroxidasa, los compuestos bioactivos y el color del tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) variedad roja.

## Objetivos específicos

- Evaluar el efecto del tratamiento con microondas sobre la inactivación de la enzima peroxidasa en tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) variedad roja.
- Determinar el efecto del escaldado con tratamiento de microondas sobre los compuestos bioactivos, la actividad antioxidante y el color en tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) variedad roja.

# 1. Capítulo 1

## Inactivación de la peroxidasa en tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) variedad roja por procesamiento con microondas.

### Resumen

El uso del escaldado resulta fundamental en el procesamiento de numerosas frutas y verduras. Además de inhibir enzimas como la polifenol oxidasa y la peroxidasa, este proceso influye en diversos aspectos de calidad de los productos transformados. El objetivo fue estudiar los efectos del escaldado a diferentes niveles de potencia de microondas (300, 600, 900 y 1200 W) por tiempos (15, 30, 45 y 60 segundos) sobre la inactivación de peroxidasa. En comparación con el tratamiento control, el escaldado con microondas logra disminuir la actividad residual de peroxidasa por debajo del 10% en un tiempo de 45 segundos a una potencia de 900 W. Los resultados mostraron que la inactivación de la enzima peroxidasa dependía en gran medida del tiempo y la potencia para el escaldado por microondas. Esta investigación resalta la aplicación potencial del escaldado con microondas para reducir los tiempos en los procesos.

**Palabras clave:** Escaldado, microondas, tomate de árbol, peroxidasa

## 1.1 Introducción

El tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) posee una gama de nutrientes como las fibras dietéticas, polifenoles, vitaminas C, A, B y E, carotenoides, potasio, hierro, entre otros, los cuales tienen efectos sobre la salud humana destacándose las propiedades antioxidantes, antiproliferativas, antinociceptivas, antiinflamatorias, antialérgicas y antiobesidad (Wang y Zhu, 2020). Este contenido nutricional lo sitúa en una posición privilegiada en la industria procesadora de alimentos, la cual, cada vez más, busca que, al incorporar tecnología, innovación y valor agregado al producto final, resulte en alimentos más saludables y apetecidos por los consumidores (ANDI, 2017).

Aunque esta fruta en algunas ocasiones es consumida fresca en ensaladas o postres, también se encuentra en productos transformados como mermeladas, salsas picantes, batidos, bebidas alcohólicas, yogur, helados y jugos (Diep et al., 2020; Fernandino et al., 2021). Es precisamente en este último, donde la industria de alimentos y bebidas más ha respondido a las necesidades de la demanda del consumidor, muestra de ello, son las cifras alcanzadas a nivel mundial en el consumo de jugo de frutas, pasando de 38,473 millones de litros en el 2015 a 45,400 millones de litros en 2018. Se prevé que alcance un volumen de 50,600 millones de litros para el año 2024 (Kamiloglu, 2019; Rai et al., 2022). Aunque una matriz alimentaria es compleja, se puede decir que las frutas y los productos obtenidos de ellas, pueden ver afectadas sus características sensoriales y nutricionales por enzimas como las peroxidasas, las cuales provocan cambios mediante reacciones de oxidorreducción ocasionadas a diferentes sustratos en presencia de peróxido de hidrógeno (Veitch, 2004). Esta enzima, posee una resistencia al calor mucho más alta que la polifenoloxidasas, pectinmetilesterasa y la ascorbato oxidasa (Kubo et. al, 2019), por lo que su inhibición sería un indicador de que otras enzimas menos resistentes han sido destruidas.

Las peroxidasas son enzimas que pueden contener o no un grupo hemo como cofactor, las de tipo hemo agrupan a las peroxidasas no animales y de acuerdo con Welinder (1992) éstas se clasifican en tres: Peroxidasas intracelulares procarióticas (Clase I), Peroxidasas fúngicas (Clase II) y Peroxidasas de plantas o peroxidasas vegetales (Clase III).

Teniendo en cuenta la matriz alimentaria seleccionada, durante esta investigación se estudiarán las peroxidasas Clase III presentes en el tomate de árbol. De acuerdo con

Barceló et al. (2007), estas enzimas clase III son de naturaleza glicoproteica, están localizadas en las vacuolas y en las paredes celulares, muestran una baja especificidad de sustrato y presentan una gran estabilidad térmica.

Existen diferentes métodos para inactivar este complejo enzimático, los más convencionales utilizan agua o aire como medio de intercambio de calor y su efectividad está sujeta a la conductividad térmica del material y al proceso de convección, lo que da como resultado una mayor resistencia a la transferencia de calor, conduciendo a un tiempo de procesamiento prolongado, pérdida de nutrientes no deseada, eficiencia relativamente baja del proceso y la generación de aguas residuales (Zhang et al., 2022; Wang et al., 2022). Por otro lado, se vienen utilizando otras tecnologías emergentes encaminadas a conservar la calidad sensorial, microbiológica y nutricional de los alimentos, entre ellas se destacan el escaldado por radiofrecuencia, óhmico, infrarrojo, plasma frío y la ultra alta presión, todos estos tratamientos tienen algo en común y es que la operación se lleva a cabo sin presencia de un medio líquido, evitando la pérdida de nutrientes solubles en agua, además no se generan aguas residuales, hay mayor eficiencia energética, tiempo de proceso más corto y mayor coeficiente de transferencia de calor (Xiao et al., 2017; Bassey et al., 2021).

“Las microondas son otra de las alternativas que se encuentran disponible para realizar procesos de escaldado” (Xiao et al., 2017) y también presenta las ventajas antes mencionadas. En este mecanismo de transferencia de calor, el calentamiento se ocasiona debido a la alineación de materiales dieléctricos hacia el campo electromagnético oscilante, permitiendo transferir energía por todo el volumen del material traduciéndose no solo en la posibilidad de reducir los tiempos de tratamiento, sino también en la conservación de los compuestos termolábiles (Ranjan et al., 2017). En este sentido, en la literatura se encuentran estudios sobre los efectos del escaldado por microondas en enzimas presentes en frutas y verduras. Un estudio realizado por Xanthakis et al. (2018) en piezas de mango, mostró que realizando un escaldado por microondas a 120 W por 5 minutos y 100 W por 12 minutos se lograba un mayor porcentaje de inactivación de la enzima ácido ascórbico oxidasa y un mayor grado de retención de la vitamina C en comparación con el escaldado tradicional con agua caliente. Nakilcioglu-Taş y Otleş

(2018), estudiaron los efectos de la potencia y el tiempo de irradiación sobre los compuestos bioactivos, el contenido de humedad y la capacidad antioxidante de la col de Bruselas y encontraron que a 460 W y un tiempo de 5.25 minutos se pueden reducir las pérdidas de los compuestos estudiados.

Otro estudio realizado por Liburdi et al. (2019), evaluó la eficacia del escaldado por microondas en términos de inactivación de la peroxidasa, mediante la aplicación de varias condiciones de proceso (50 a 350 W entre 45 a 120 s) a diferentes vegetales (papas, col rizada y col blanca), imitando la geometría más común. Los resultados encontrados mostraron que la inactivación de peroxidasa más alta fue de 160 W durante 75 s en muestras con forma cuboide, en muestras cilíndricas fue de 160 W durante 120 s y en muestras de cubos, el óptimo fue de 160 W durante 75 s y 350 W durante 45 s. Otros autores como Behera et al. (2017), demostraron que en la fruta carambolo (*Averrhoa carambola* L.) a un nivel de potencia de 600 W con un tiempo de 30 segundos para un grosor de corte de 15 mm y para un nivel de potencia de 480W un tiempo de 50 y 60 segundos con un grosor de corte de 5 y 10 mm se lograba una disminución en la actividad enzimática y una mayor retención de ácido ascórbico y ácido oxálico en comparación con el escaldado con agua.

A la fecha, hasta donde se sabe, ningún informe está disponible en la literatura actual sobre la inactivación térmica por escaldado con microondas de la enzima peroxidasa en tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) variedad roja. Por tal motivo, la presente investigación tiene como objetivo evaluar el efecto del tratamiento con microondas sobre la inactivación de la enzima peroxidasa en tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) variedad roja.

## **1.2 Materiales y métodos**

### **1.2.1 Materia prima**

Los frutos de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) variedad roja, se obtuvieron de un mercado local de la ciudad de Palmira, Valle del Cauca, Colombia y fueron seleccionados teniendo en cuenta que estuvieran libres de daños mecánicos y microbiológicos y en estado de madurez de consumo, escogiendo solo los frutos en escala 5 y 6 acorde con la

norma NTC 4105 (ICONTEC, 1997). El material colectado se llevó inmediatamente al laboratorio de Tecnología de frutas y hortalizas de la Universidad Nacional sede Palmira para su posterior análisis.

### **1.2.2 Adecuación de la fruta**

Se realizó la metodología reportada por Ordoñez-Santos & Martínez-Girón (2019). Se lavaron los frutos con agua corriente, después se desinfectaron con hipoclorito de sodio a 100 ppm durante 10 min, se retiró el pedúnculo y el pericarpio, posteriormente se obtuvieron rodajas de 0.70 cm de espesor (altura) y 4.20 cm de diámetro, las cuales se sometieron a escaldado.

### **1.2.3 Escaldado con microondas**

Se tomaron rodajas de fruta (100 g) y cada una de ellas se colocó sobre el recipiente de vidrio. Estas se sometieron a escaldado en un microondas doméstico de plato giratorio con dimensiones internas de 240mm x 354mm x 358mm, una capacidad interna de 30 L (Whirlpool Modelo WMCSG141XD; China) a 2450 MHz a potencias de 300, 600, 900 y 1200 W por 15, 30, 45 y 60 segundos. Terminado cada experimento, se sometió cada muestra a enfriamiento durante 1 minuto en un baño agua-hielo a temperatura por debajo de los 4 °C y posteriormente se llevaron a la extractora de jugo. Cada experimento se realizó por triplicado.

### **1.2.4 Escaldado con agua**

Se tomaron rodajas de fruta (100 g) y cada una de ellas se sumergieron en un baño de agua controlado por termostato (PolyScience Modelo WB10A11B; USA) con dimensiones totales (Largo x Ancho x Altura) (cm) 39.3 x 43.2 x 30.5. Posteriormente, el material vegetal fue sometido a temperaturas de escaldado de 70, 75, 80, 85 y 90 °C durante tiempos de 1, 2, 3, 4, 5 y 6 minutos. La relación de agua de escaldado-rodajas de fruta fue de 4:1 (v/p)

de acuerdo con lo establecido por (Behera et al., 2017). Terminado cada experimento, la muestra se sometió a enfriamiento durante 1 minuto en un baño agua-hielo a temperatura por debajo de los 4 °C.

### **1.2.5 Extracción de peroxidasa**

La extracción de la peroxidasa se realizó según el método descrito por Liburdi et al. (2019) con modificaciones. A las muestras obtenidas del extractor de jugo, se le añadió una solución tampón (0.1 M, pH 6.5) de fosfato de potasio (ABC Laboratorios, Bogotá, Colombia) en relación de extracción 1:2 (m/v). Luego, se homogenizó la mezcla con un Ultra-Turrax T25 (IKA-Werke GmbH & Co, Staufen, Alemania) en baño de hielo durante 1 min a 15000 rpm. “Después, la suspensión se centrifugó en tubos de polipropileno durante 10 minutos a 15000 rpm en una centrífuga Beckman (Modelo J2-21. Beckman Instruments Inc., Palo Alto, CA, EE. UU.)” (Liburdi et al., 2019). El sobrenadante se colectó y se usó como extracto de enzima para el ensayo de peroxidasa.

### **1.2.6 Cuantificación de peroxidasa**

La actividad de peroxidasa se realizó según el método descrito por Liburdi et al. (2019). Se agregaron 0.02 mL de extracto de enzima a 3.48 mL de solución de sustrato (preparada diariamente), la cual contenía 99.8 mL de solución tampón (0.1 M, pH 6.5) de fosfato de potasio, 0.1 mL de guaiacol al 99.5% (Sigma Aldrich, Milán, Italia) y 0,1 mL de peróxido de hidrógeno al 30% (Sigma Aldrich, Milán, Italia).

De acuerdo a Liburdi et al. (2019), el aumento de la absorbancia a 470 nm se registró durante 1 minuto, utilizando un espectrofotómetro (Biobase BK-UV1000, Jinan, Shandong, China) y la constante de la velocidad se determinó a partir de la pendiente de la porción lineal de la curva de absorbancia vs tiempo.

Al determinar la tasa de transformación del sustrato y producto, se consideró el valor del coeficiente de extinción molar correspondiente al tetraguaiacol a 470 nm es 26.6 mM<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup> (Morales-Blancas et al., 2002).

“La actividad de la peroxidasa se calculó como UI/gpf y la actividad residual se expresó como el porcentaje (%) respecto al valor inicial” (Liburdi et al., (2019).

Se examinaron tres veces todos los extractos enzimáticos y se aplicó una corrección utilizando una muestra sin extracto.

### **1.2.7 Análisis estadístico**

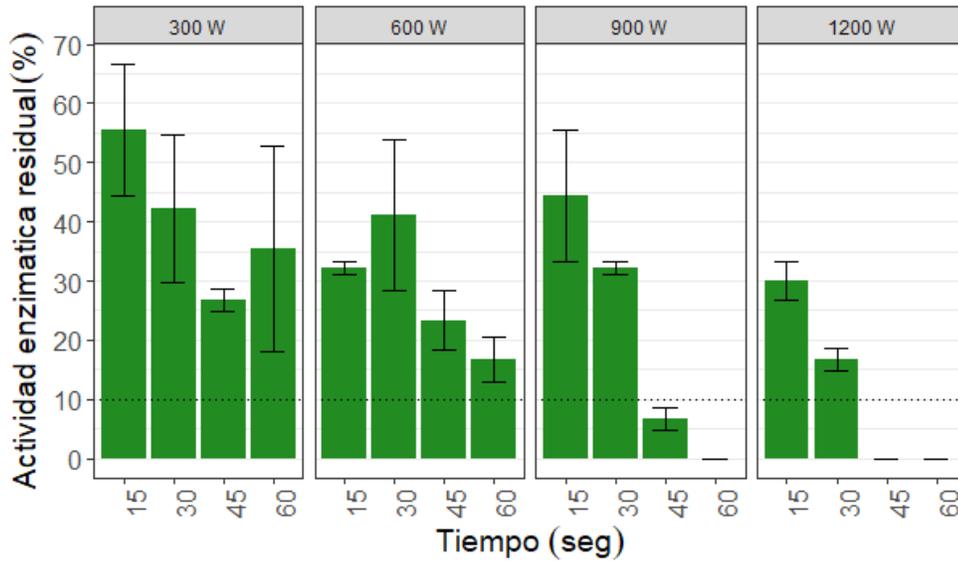
Los resultados de la actividad enzimática residual evaluadas tomate de árbol fueron reportados como valores promedio  $\pm$  error estándar. Se utilizó un análisis de ANOVA de un factor con cuatro tratamientos (300, 600, 900 y 1200 W) cada uno con cuatro niveles 15, 30, 45 y 60 segundos los cuales contaron con tres repeticiones. El análisis de los datos fue elaborado con el programa R (R core team, 2016).

## **1.3 Resultados y discusión**

En las Figuras 1.1 y 1.2 se relaciona el porcentaje de actividad enzimática residual de peroxidasa en cada uno de los tratamientos con microondas y el tratamiento de control. En este estudio, el menor tiempo, temperatura y potencia que logré una disminución en la actividad enzimática superior al 90% se tomará como la mejor condición para un escaldado adecuado. En la literatura se ha reportado que inhibir la actividad enzimática de peroxidasa por debajo del 10% es suficiente para prevenir sabores desagradables, aromas indeseables, cambios no deseables en el color y la textura, así como la descomposición de los nutrientes (Gonçalves et al., 2010; Güneş & Bayindirli, 1993). Por otro lado, alcanzar actividades enzimáticas residuales del 0%, implica más costo energético, más consumo de tiempo y mayor riesgo de pérdida de nutrientes en la matriz alimentaria. Además, el escaldado es un pretratamiento que generalmente va acompañado de otros procesos térmicos como la pasteurización, esterilización, deshidratación y congelación, los cuales permiten elevar los porcentajes de inhibición.

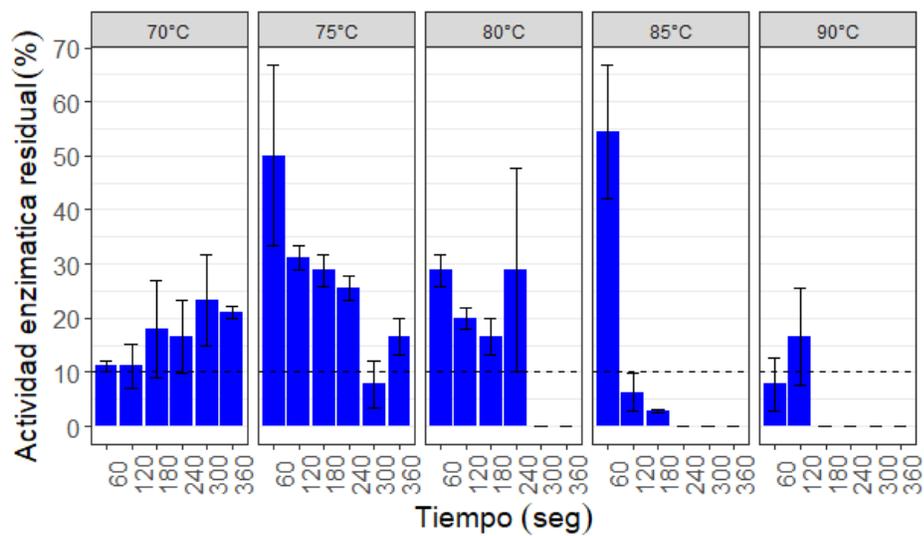
**Figura 1.1**

*Promedio y variación (error estándar) de la actividad enzimática residual de la peroxidasa presente en el tomate de árbol sometido a escaldado por microondas a diferentes tiempos y potencias*



**Figura 1.2**

*Promedio y variación (error estándar) de la actividad enzimática residual de la peroxidasa presente en el tomate de árbol sometido a escaldado con agua a diferentes tiempos y temperaturas*



En comparación con el tratamiento control (75°C por 300 segundos), se observa que el escaldado con microondas disminuyó la actividad enzimática residual de peroxidasa por debajo del 10% en un tiempo menor (900 W por 45 segundos). Esto es consistente con los resultados reportados por Okonkwo et al. (2022) y Ruiz-Ojeda & Peñas (2013) los cuales compararon los mismos métodos de escaldado en papa (*Solanum tuberosum*, L.) y habichuela (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Ebro), encontrando que en el microondas se lograban tiempos de inactivación de peroxidasa más cortos. De manera similar, Siguemoto et al. (2018) informaron que en jugo de manzana (*Malus domestica* Borkh, cv Fuji Suprema), la fracción termoestable de peroxidasa fue inactivada de manera más eficiente por el calentamiento con microondas que por el calentamiento convencional atribuyéndole este fenómeno al aumento de la distancia que se da entre el grupo hemo y el residuo de triptófano o a la pérdida del átomo de calcio en la enzima. Sin embargo, Nalawade (2018) y Ramesh et al. (2002), evidenciaron que al comparar estos dos métodos, el escaldado convencional tomaba menos tiempo para inactivar la peroxidasa presente en melón amargo (*Momordica charantia* L.), zanahoria (*Daucus carota*) y pimentón (*Capsicum annuum*) ya que factores como la composición química, forma geométrica, tamaño, grosor y propiedades dieléctricas pudieron jugar un papel importante en la distribución de la temperatura y el nivel de energía electromagnética absorbida por estos alimentos.

Aunque existan estudios donde la inactivación de la peroxidasa se logra en menor tiempo en el escaldado tradicional, teóricamente en este mecanismo el aumento de temperatura es más lento, ya que este depende de la “conductividad térmica del material, por lo que la transferencia de calor se da desde la superficie hacia el interior del producto, mientras que, en el horno, las microondas generadas ocasionan en el alimento un calentamiento volumétrico por efecto principalmente de la polarización iónica y la rotación bipolar de las moléculas” (Liburdi et al., 2019). Esto desencadena una rápida interrupción entre los enlaces de puentes de hidrogeno, fuerzas de Van der Waals y de London, provocando cambios conformacionales entre las cadenas polipeptídicas y conduciendo a una reducción de la actividad catalítica de la enzima (Kutlu et al., 2022; Gelvez-Ordóñez et al., 2021; Correa-Cuevas y Hernández-Baltazar, 2011).

Por otro lado, en la Figura 1 se observa que a medida que aumenta la potencia en la irradiación de microondas, disminuye la actividad enzimática residual debido a que se acelera la proporción o cantidad de energía electromagnética absorbida por el alimento, lo que se traduce en un aumento en la polaridad de las moléculas, generando temperaturas más altas debido al incremento en la vibración y fricción de estas (Zeng et al., 2023; Nhi et al., 2022). Estos resultados concuerdan con los de Ramesh et al. (2002) y Brewer y Begum (2003) quienes también reportaron una relación inversamente proporcional entre el nivel de potencia y la actividad enzimática residual de peroxidasa al aplicar microondas en lechuga (*Lactuca sativa*), brócoli (cv. Brigadiare), habichuelas (cv. Hilea) y espárragos (cv. Sweet purple). Sin embargo, advierten que un exceso de potencia, puede conducir a una distribución no uniforme de la temperatura debido a que el calentamiento puede ser tan rápido que impide la efectividad de la conductividad térmica en la transferencia de calor a otras partes del producto.

También, las variaciones en las intensidades de la potencia pueden dar lugar a puntos calientes internos por la generación de ondas estacionarias dentro del alimento, las cuales se originan por la interacción entre las ondas reflejadas y transmitidas internamente (según el espesor y propiedades dieléctricas del alimento) (Ramesh et al., 2002).

Asimismo, cabe resaltar que, a pesar de disminuir, con mayor o menor cantidad de energía y tiempo la actividad enzimática residual empleando ambos tratamientos, la estabilidad térmica de las peroxidasas continúa siendo un factor importante a tener en cuenta. Básicamente porque la presencia de un gran número de residuos de cisteína en la cadena polipeptídica, genera enlaces tipo disulfuro, los cuales poseen uniones covalentes que requieren una considerable cantidad de energía para su rompimiento (Mohamed et al., 2008). Además, se debe tener en cuenta que, después de haber disminuido la actividad de esta enzima, la reactivación de la peroxidasa se puede dar por la capacidad de replegamiento que posee la parte proteica, lo que genera nuevamente un acercamiento entre el grupo hemo y el triptófano (Siguemoto et al., 2018).

Por último, la variación en los resultados de esta investigación en comparación con otros estudios, puede ser atribuida al protocolo de extracción, a las condiciones de medida de la actividad enzimática, al tipo de fruto, al estadio de maduración del mismo, a la presencia

de variantes de la enzima que van apareciendo a medida que el fruto comienza su proceso de maduración y a otras variables agroclimáticas (Mejía-Doria et al., 2014).

## 1.4 Conclusiones

Los resultados de este estudio mostraron que el aumento de la potencia de microondas tuvo una importante incidencia en la disminución del tiempo de inactivación de la actividad enzimática residual de la peroxidasa presente en el tomate de árbol. El escaldado por microondas inactivó más del 90% de la actividad enzimática residual de la peroxidasa presente en el tomate de árbol en un tiempo más corto (900 W durante 45 segundos) que el escaldado convencional. El presente estudio mostró que el escaldado basado en irradiación de microondas podría ser una alternativa al escaldado tradicional contribuyendo a la transformación de productos de calidad y mejorando la eficiencia del proceso.

## 1.5 Referencias

- Asociación Nacional de Empresarios de Colombia-ANDI. (2017). Estrategia para una nueva industrialización II. Colombia, un país de oportunidades. Asociación Nacional de Empresarios de Colombia. ANDI. <http://www.andi.com.co/Uploads/estrategia-para-una-nueva-industrializacion-ii.pdf>
- Barceló, A.R.; Ros, L.V.; Carrasco, A.E. (2007). Looking for syringyl peroxidases. *Trends in Plant Science*, 12 (11), Pages 486-491, ISSN 1360-1385, <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2007.09.002>.
- Bassey, E. J., Cheng, J. H. y Sun, D. W. (2021). Novel nonthermal and thermal pretreatments for enhancing drying performance and improving quality of fruits and vegetables. *Trends in Food Science & Technology*, 112, 137-148. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.03.045>

- Behera, G., Rayaguru, K., y Nayak, P. K. (2017). Effect of Microwave Blanching on Slice Thickness and Quality Analysis of Star Fruit. *Current Research in Nutrition and Food Science*, 5(3). <https://dx.doi.org/10.12944/CRNFSJ.5.3.12>
- Brewer, M. S., y Begum, S. (2003). Effect of microwave power level and time on ascorbic acid content, peroxidase activity and color of selected vegetables. *Journal of food processing and preservation*, 27(6), 411-4. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2003.tb00527.x>
- Correa-Cuevas, L. P. y Hernández-Baltazar, E. (2011). El uso de las microondas en la industria farmacéutica. *Revista mexicana de ciencias farmacéuticas*, 42(4), 6-25.
- Diep, T. T., Rush, E. C., y Yoo, M. J. Y. (2020). Tamarillo (*Solanum betaceum* Cav.): A review of physicochemical and bioactive properties and potential applications. *Food Reviews International*, 1-25. <https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1804931>
- Fernandino, C. M., Nepomuceno, A. T., Fonseca, H. C., Bastos, R. A., y Lima, J. P. D. (2021). Propriedades físico-químicas da polpa de tamarillo (*Solanum betaceum*) e sua aplicabilidade na elaboração de sorvetes. *Brazilian Journal of Food Technology*, 24. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.09020>
- Gelvez Ordóñez, V. M., López Castilla, I. D. y Ordoñez-Santos, L. E. (2021). Effect of thermosonication on enzymatic oxidation and physicochemical properties of soursop (*Annona muricata*) pulp. *Revista De La Facultad De Ciencias Agrarias UNCuyo*, 53(2), 252–260. <https://doi.org/10.48162/rev.39.058>
- Kamiloglu, S. (2019). Authenticity and traceability in beverages. *Food chemistry*, 277, 12-24. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.10.091>
- Kubo, M. T. K., Curet, S., Augusto, P. E. D., y Boillereaux, L. (2019). Multiphysics modeling of microwave processing for enzyme inactivation in fruit juices. *Journal of Food Engineering*, 263, 366-379. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.07.011>
- Kutlu, N., Pandiselvam, R., Saka, I., Kamiloglu, A., Sahni, P. y Kothakota, A. (2022). Impact of different microwave treatments on food texture. *Journal of Texture Studies*, 53(6), 709–736. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12635>
- Liburdi, K., Benucci, I., y Esti, M. (2019). Effect of microwave power and blanching time in relation to different geometric shapes of vegetables. *LWT - Food Science and Technology*, 99, 497–504. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.10.029>
- Mejía-Doria, C. M., Gaviria-Arias, D., Bru-Martínez, R., Rengifo-Ramos, L., Alegría-Soto, Á. H., y Aguilar-Fernández, E. (2014). Kinetic characterization of the polyphenol oxidase enzyme

in six ripening stages in lulo (*Solanum quitoense* Lam.) var. Castilla. *Actualidades Biológicas*, 36(101), 107-117.

Mohamed, S. A., El-Badry, M. O., Drees, E. A., y Fahmy, A. S. (2008). Properties of a cationic peroxidase from Citrus jambhiri cv. Adalia. *Applied biochemistry and biotechnology*, 150(2), 127-137. <https://doi.org/10.1007/s12010-008-8142-2>

Morales-Blancas, E. F., Chandia, V. E., y Cisneros-Zevallos, L. (2002). Thermal inactivation kinetics of peroxidase and lipoxygenase from broccoli, green asparagus and carrots. *Journal of food science*, 67(1), 146-154. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb11375.x>

Nakilcioglu-Taş, E. y Otleş, S. (2018). Degradation kinetics of bioactive compounds and antioxidant capacity of Brussels sprouts during microwave processing. *International Journal of Food Properties*, 20(3), S2798–S2809. <https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1375944>

Nalawade, S. A., Sinha, A. y Hebbar, H. U. (2018). Infrared based dry blanching and hybrid drying of bitter gourd slices: Process efficiency evaluation. *Journal of Food Process Engineering*, 41(4), Article e12672. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12672>

Nhi, T. T. Y., Quy, N. N., Truong, L. D., Phat, D. T. y Phong, H. X. (2022). Comparison of pretreatment methods on total ascorbic acid, total phenolic content, and color of soursop (*Annona muricata* L.) Pulp. Steam blanching, hot water blanching, and microwave-assisted blanching. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(11). <https://doi.org/10.1111/jfpp.17017>

Okonkwo, C.E.; Moses, O.I.; Nwonuma, C.; Abiola, T.; Benjamin, B.O.; Folorunsho, J.O.; Olaniran, A.F.; Pan, Z. (2022). Infrared and Microwave as a Dry Blanching Tool for Irish Potato: Product Quality, Cell Integrity, and Artificial Neural Networks (ANNs) Modeling of Enzyme Inactivation Kinetic. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, 78, 103010. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103010>

Ordóñez-Santos, L. E., y Martínez-Girón, J. (2019). Thermal degradation kinetics of carotenoids, vitamin C and provitamin A in tree tomato juice. *International Journal of Food Science & Technology*, 55(1), 201-210. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14263>

Rai, P., Mehrotra, S., y Sharma, S. K. (2022). Challenges in assessing the quality of fruit juices: Intervening role of biosensors. *Food Chemistry*, 132825. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132825>

- Ramesh, M. N., Wolf, W., Tevini, D. y Bogнар, A. (2002). Microwave blanching of vegetables. *Journal of food science*, 67(1), 390-398. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb11416.x>
- Ranjan, S., Dasgupta, N., Walia, N., Thara Chand, C., y Ramalingam, C. (2017). Microwave blanching: an emerging trend in food engineering and its effects on *Capsicum annuum* L. *Journal of Food Process Engineering*, 40(2), e12411. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12411>
- Ruiz-Ojeda, L. M. y Peñas, F. J. (2013). Comparison study of conventional hot-water and microwave blanching on quality of green beans. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 20, 191-197. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2013.09.009>
- Siguemoto, É. S., Pereira, L. J. y Gut, J. A. W. (2018). Inactivation kinetics of pectin methylesterase, polyphenol oxidase, and peroxidase in cloudy apple juice under microwave and conventional heating to evaluate non-thermal microwave effects. *Food and Bioprocess Technology*, 11(7), 1359-1369. <https://doi.org/10.1007/s11947-018-2109-2>
- Veitch, N. C. (2004). Structural determinants of plant peroxidase function. *Phytochemistry Reviews*, 3(1), 3-18. <https://doi.org/10.1023/B:PHYT.0000047799.17604.94>
- Wang, H., Meng, J. S., Raghavan, G. S. V., Orsat, V., Yu, X. L., Liu, Z. L., Zheng, Z. A., Wang, S. Y y Xiao, H. W. (2022). Vacuum-steam pulsed blanching (VSPB) enhances drying quality, shortens the drying time of gingers by inactivating enzymes, altering texture, microstructure and ultrastructure. *LWT*, 154, 112714. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112714>
- Wang, S., y Zhu, F. (2020). Tamarillo (*Solanum betaceum*): Chemical composition, biological properties, and product innovation. *Trends in Food Science & Technology*, 95, 45-58. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.11.004>
- Welinder, K. G. (1992). Superfamily of plant, fungal and bacterial peroxidases. *Current Opinion in Structural Biology*, 2: 388–393. [https://doi.org/10.1016/0959-440X\(92\)90230-5](https://doi.org/10.1016/0959-440X(92)90230-5)
- Xanthakis, E., Gogou, E., Taoukis, P. y Ahrné, L. (2018). Effect of microwave assisted blanching on the ascorbic acid oxidase inactivation and vitamin C degradation in frozen mangoes. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 48(June), 248–257. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.06.012>
- Xiao, H. W., Pan, Z., Deng, L. Z., El-Mashad, H. M., Yang, X. H., Mujumdar, A. S., Gao, Z. J y Zhang, Q. (2017). Recent developments and trends in thermal blanching—A comprehensive review. *Information processing in agriculture*, 4(2), 101-127. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2017.02.001>

- Zeng, S., Wang, B., Lv, W. y Wu, Y. (2023). Effects of microwave power and hot air temperature on the physicochemical properties of dried ginger (*Zingiber officinale*) using microwave hot-air rolling drying. *Food Chemistry*, 404, 134741. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134741>
- Zhang, Y., Pandiselvam, R., Zhu, H., Su, D., Wang, H., Ai, Z., Kothakota, A., Khaneghah A y Liu, Y. (2022). Impact of radio frequency treatment on textural properties of food products: An updated review. *Trends in Food Science & Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.04.014>

## 2. Capítulo 2

### **Efecto del tratamiento por microondas en los compuestos bioactivos y el color en tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) variedad roja**

#### **Resumen**

El proceso de escaldado puede tener impactos en el contenido de nutrientes, así como en la textura y el color de los productos. Estos cambios, pueden resultar en una reducción en la aceptación y el valor comercial por parte de los consumidores. El objetivo del presente estudio fue determinar el efecto del escaldado con microondas sobre los compuestos bioactivos, la actividad antioxidante y el color en tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) variedad roja. En el escaldado con microondas, el contenido de vitamina C, fenoles totales, carotenoides, actividad antioxidante, luminosidad, croma e índice de amarillamiento no mostraron diferencia significativa  $p > 0,05$  en comparación con el método convencional y el fresco. Por otro lado, vitaminas B1, B3, B5, B6, tonalidad y cambio de color, si presentaron diferencias significativas. Basándose en estos hallazgos, es posible sugerir la utilización de energía de microondas como una alternativa al escaldado convencional, con el fin de conservar características nutricionales y de color en esta esta fruta.

**Palabras clave:** Escaldado, vitamina C, fitoquímicos, contenido de compuestos fenólicos, actividad antioxidante, vitaminas B

## 2.1 Introducción

“Entre el año 2014 y 2021, la prevalencia de inseguridad alimentaria grave en el mundo pasó de 7.7 (564 millones de personas) a 11.7 % (923 millones de personas)” (FAO et al., 2022). Los datos indican que el planeta está distante de cumplir los objetivos 2 y 3 de las Naciones Unidas para erradicar el hambre y promover la salud y el bienestar (Von Grebmer et al., 2022).

“A nivel mundial, se calcula que 233 millones de personas padecen malnutrición” (FAO et al., 2022). “En Colombia, de acuerdo con el último informe del Índice Global del Hambre, el país ocupa el puesto 38 entre 121 países” (Von Grebmer et al., 2022), lo que indica que aún existen problemas en cuanto a la disponibilidad y acceso a alimentos suficientes y nutritivos para la población. Lo anterior ha conducido a la búsqueda de estrategias que permitan mejorar el estado de la seguridad alimentaria en el mundo.

El tomate de árbol, también conocido como tamarillo (*Solanum betaceum* Cav.), es nativo de zonas subtropicales y su creciente popularidad entre consumidores e investigadores se debe a su diversidad de sabores y compuestos bioactivos (Rohilla et al., 2023).

“La alta presencia de compuestos antioxidantes, como polifenoles, antocianinas, carotenoides y vitaminas A, C, B y E lo destacan ante otras frutas” (Reyes-García et al., 2021). En Colombia, la producción de tomate de árbol ha aumentado 182 % pasando de 131137 a 238428 Ton entre el año 2009 y 2020 respectivamente (Agronet, 2022). Durante ese mismo periodo, la producción total alcanzó las 2038530.28 Ton y de esa cantidad, se exportaron 4335.4 Ton las cuales tuvieron un valor en el mercado de US 14459701.7 (Agronet, 2022; Legis Comex, 2022).

Teniendo en cuenta el panorama de esta fruta, además del consumo en fresco, la industria alimentaria viene aprovechando el potencial nutricional y actualmente le está apostando a crear nuevos productos alimenticios como pures, yogures y bebidas (Diep et al., 2022). Estos productos pueden considerarse como funcionales y/o nutraceuticas y están en la

capacidad de competir contra los productos tradicionales comercializados en los mercados locales e internacionales (Rohilla et al., 2023; Diep et al., 2022; Pangestu et al., 2021).

Por tal motivo, destinar recursos tecnológicos y científicos para garantizar que los compuestos bioactivos se conserven en igual cantidad en los alimentos transformados que en los frescos, podría ser una alternativa que aportaría de manera importante a la disminución de la malnutrición y prevención de algunas enfermedades no transmisibles que afectan a la población humana (Lucini et al., 2016). En la transformación de materias primas de origen biológico están involucradas diferentes operaciones agroindustriales, entre ellas el escaldado, el cual es un método que contribuye a la inactivación de enzimas, disminuye carga microbiana, estabilización de la textura, color, sabor, valor nutricional y aumento de la eficiencia de la pérdida de humedad (Xiao et al., 2017).

En la actualidad, las tecnologías de escaldado más comúnmente adoptadas en la industria alimentaria son el escaldado por agua y vapor debido a su simplicidad y facilidad de implementación (Wang et al., 2020). No obstante, el uso de estas técnicas presenta varias desventajas entre las que se destacan la pérdida de nutrientes hidrosolubles, altos requerimientos de energía y agua, así como la necesidad de disponer aguas residuales generadas durante el proceso (Zhang et al., 2022).

Con el fin de solucionar las limitaciones mencionadas anteriormente, se han propuesto diversas tecnologías innovadoras para este proceso, tales como el escaldado con microondas. Este método, utiliza la energía electromagnética que se encuentra en el rango de frecuencia de 300 a 300 MHz y penetra de forma volumétrica la superficie de los alimentos propagándose en su interior, lo que resulta en una generación de calor interna más rápida y profunda que el calentamiento convencional con agua o aire caliente (Okonkwo et al., 2022). Al mismo tiempo, esta técnica tiene un impacto importante en la calidad nutricional del producto resultante.

Diferentes autores han reportado el aumento de compuestos bioactivos después de realizar procesos de escaldado. Mandliya et al. (2023) optimizaron el proceso de escaldado por microondas en grosella (*Phyllanthus emblica*) y encontraron que, a 294 W por 70 s, la muestra contenía un 3 y 6% más de contenido fenólico total que escaldada con agua y en fresco respectivamente. Lee et al. (2018) reportaron un aumento del 1.8, 12.6, 21.2 y 1.95

% de vitamina K después de someter a microondas al brócoli (*Brassica oleracea*), remolacha (*Beta vulgaris*), espinaca (*Spinacia oleracea*) y calabacín (*Cucurbita pepo*) respectivamente.

Por otro lado, los efectos adversos también han sido documentados en diferentes publicaciones científicas. Nhi et al. (2022) evidenciaron una pérdida del contenido fenólico total y vitamina C en la guanábana (*Annona muricata* L.) escaldada con agua, microondas y vapor en comparación con la fresca. También, Okonkwo et al. (2022) encontraron que al escaldar por diferentes métodos y grosores (4 y 8 mm) la papa irlandesa (*Solanum tuberosum*, L.), las pérdidas de vitamina C eran de 60.8-77.1 % (escaldadas con agua), 22.2-40.6 % (escaldadas con microondas) y 23.6-42.6 % (escaldadas con infrarrojo). Nguyen et al. (2019) escaldaron con microondas espárragos (*Asparagus officinalis* L.) a una potencia de 300 W por tiempos de 2, 4, 6 y 8 minutos y reportaron una reducción del 16.7, 27.5, 40.1 y 46.6 % en el contenido total de fenoles respectivamente. Xanthakis et al. (2018) sometieron a escaldado con microondas y agua piezas cilíndricas de mango (*Mangifera indica*, CV. "Kent") mostrando que para ambos casos hubo una disminución del 8.5 y 15.3% en el contenido de vitamina C respectivamente. El escaldado por microondas aplicado a melón amargo (*Momordica charantia* L.) redujo un 5% el contenido de ácido ascórbico (Nalawade et al., 2018).

A pesar de estas investigaciones sobre escaldado con microondas, a la fecha, hasta donde se sabe, ningún informe está disponible en la literatura actual sobre los efectos en los compuestos bioactivos después de la inactivación térmica por escaldado con microondas de la enzima peroxidasa en tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) variedad roja. Por tal motivo, el objetivo del presente estudio fue determinar el efecto del escaldado con tratamiento de microondas sobre los compuestos bioactivos, la actividad antioxidante y el color en tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) variedad roja.

## **2.2 Materiales y métodos**

### **2.2.1 Materia prima**

Los frutos de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) variedad roja, se obtuvieron de un mercado local de la ciudad de Palmira, Valle del Cauca, Colombia y fueron seleccionados teniendo en cuenta que estuvieran libres de daños mecánicos y microbiológicos, en estado de madurez de consumo, escogiendo solo los frutos en escala 5 y 6 acorde con la norma NTC 4105 (ICONTEC, 1997). El material colectado se llevó inmediatamente al laboratorio de Tecnología de frutas y hortalizas de la Universidad Nacional sede Palmira para su posterior análisis.

### **2.2.2 Adecuación de la fruta**

Se realizó la metodología reportada por Ordoñez-Santos & Martínez-Girón (2019). Se lavaron los frutos con agua corriente, después se desinfectaron con hipoclorito de sodio a 100 ppm durante 10 min, se retiró el pedúnculo y el pericarpio, posteriormente se obtuvieron rodajas de 0.70 cm de espesor y 4.20 cm de diámetro, las cuales se sometieron a escaldado.

### **2.2.3 Escaldado con microondas**

Se tomaron rodajas de fruta (100 g) y cada una de ellas se colocó sobre el recipiente de vidrio. Estas se sometieron a escaldado en un microondas doméstico de plato giratorio con dimensiones internas de 240mm x 354mm x 358mm, una capacidad interna de 30 L (Whirlpool Modelo WMCSG141XD; China) a 2450 MHz a una potencia de 900 W por 45 segundos. Terminado cada experimento, se sometió cada muestra a enfriamiento durante 1 minuto en un baño agua-hielo a temperatura por debajo de los 4 °C y posteriormente se llevaron a la extractora de jugo. Cada experimento se realizó por triplicado.

#### 2.2.4 Escaldado con agua

Se tomaron rodajas de fruta (100 g) y cada una de ellas se sumergieron en un baño de agua controlado por termostato (PolyScience Modelo WB10A11B; USA) con dimensiones totales (Largo x Ancho x Altura) (cm) 39.3 x 43.2 x 30.5. Posteriormente, el material vegetal fue sometido a temperatura de escaldado de 85 °C durante 3 minutos. La relación de agua de escaldado-rodajas de fruta fue de 4:1 (v/p) de acuerdo con lo establecido por (Behera et al., 2017). Terminado cada experimento, la muestra se sometió a enfriamiento durante 1 minuto en un baño agua-hielo a temperatura por debajo de los 4 °C.

#### 2.2.5 Determinación de la concentración de carotenoides y provitamina A

La extracción y cuantificación de los carotenoides y provitamina A se realizaron según el protocolo descrito por Ordóñez-Santos et al. (2017). La absorbancia de cada solución en la fase de hexano se leyó a 450, 444, 451 y 472 nm, respectivamente, frente al hexano como blanco utilizando un espectrofotómetro (Biobase BK-UV1000, Jinan, Shandong, China). La concentración de carotenoides (mg/100 g) se calculó utilizando los coeficientes de extinción ( $E_{1cm}^{\%}$ ) en hexano: 2560, 2800, 2460, 2480 y 3450 para  $\beta$ -caroteno,  $\alpha$ -caroteno,  $\beta$ -criptoxantina, zeaxantina y licopeno publicado por Hart & Scott (1995). “Los equivalentes de actividad de retinol (EAR) fueron calculados utilizando un factor de conversión de 12 para el  $\beta$ -caroteno y de 24 para las otras provitaminas A ( $\alpha$ -caroteno y  $\beta$ -criptoxantina) para 1 retinol y expresada en  $\mu\text{g EAR} / \text{g}$ ” (Ordóñez-Santos et al., 2017).

#### 2.2.6 Determinación de vitamina C

La vitamina C en las muestras se determinó siguiendo el protocolo propuesto por Ordóñez-Santos & Martínez-Girón (2020) con algunas modificaciones. 2 g de la muestra se mezclaron en un tubo de ensayo con 0.8 mL de una solución de ácido tricloroacético al

10% (p/v) los cuales se colocaron en un baño de hielo durante 5 min. Luego, se tomaron 0.5 mL de la solución y se diluyeron con 2 mL de agua ultrapura y 200  $\mu\text{L}$  de una dilución 1:10 del reactivo Folin-Ciocalteu. La solución se dejó reposar durante 10 min a temperatura ambiente. Posteriormente se leyó la absorbancia a 760 nm frente al blanco respectivo utilizando un espectrofotómetro (Biobase BK-UV1000, Jinan, Shandong, China). La concentración de vitamina C (mg de ácido ascórbico/100 g de fruta fresca) en las muestras se calculó a partir de una línea de calibración preparada con una solución estándar de ácido ascórbico (3.7–18.5  $\mu\text{g mL}^{-1}$ ,  $R^2 = 0.9983$ ).

### 2.2.7 Determinación de compuestos fenólicos totales

Esta evaluación se realizó mediante el método de Folin-Ciocalteu, de acuerdo con Martínez-Girón et al. (2017) con algunas modificaciones. Se pesó aproximadamente 3 g de muestra en un tubo de ensayo forrado con papel aluminio. Luego se adicionaron 20 mL de etanol y agua en relación (80:20 % v/v) y se mezclaron en plancha de agitación por 3 min. Posteriormente, la mezcla fue sometida a sonicación a 42 kHz y potencia de entrada de 240 W (ultrasonic cleaner HB-S49DHT, China) durante 20 min a 25 °C. Pasado este tiempo, la muestra se filtró y 0,5 mL del filtrado se mezclaron con 5 mL de agua destilada y 0.5 mL de reactivo de Folin-Ciocalteu. Se dejó reaccionar la mezcla por 3 min a temperatura ambiente. Pasado este tiempo, se adicionó 1 mL de carbonato de sodio anhidrido al 20 % y los tubos se llevaron a un baño térmico programado a 45 °C por 15 min.

Finalmente se leyó la absorbancia a 765 nm frente al blanco respectivo utilizando un espectrofotómetro (Biobase BK-UV1000, Jinan, Shandong, China). La concentración de fenoles totales (mg de ácido gálico/100 g de fruta fresca) en las muestras se calculó a partir de una línea de calibración preparada con una solución estándar de ácido gálico (2.9–14.3  $\mu\text{g mL}^{-1}$ ,  $R^2 = 0.9951$ ).

### 2.2.8 Determinación de vitaminas

El % de vitaminas B1, B3, B5 y B6 se determinó con base en el método descrito por Braga et al. (2019). Se maceró 1 g de fruto y se mezcló con 6 mL de agua destilada y durante 2 min se homogenizó utilizando un Ultra-Turrax T25 (IKA-Werke GmbH & Co, Staufen,

Alemania) (Braga et al., 2019). “Las vitaminas se extrajeron mediante la adición de ácido sulfúrico 0.25 M (1 mL) a la muestra, la cual se calentó durante 30 min en un baño de agua (70 °C)” (Braga et al., 2019). “Después de enfriar en un baño de hielo, el pH se ajustó a 4,5 usando una solución de hidróxido de sodio 0.5 M y la muestra se centrifugó a 15000 rpm en una centrífuga Beckman (Modelo J2-21. Beckman Instruments Inc., Palo Alto, CA, EE. UU.) durante 10 min” (Braga et al., 2019). “El sobrenadante se recogió y analizó en un espectrofotómetro (Biobase BK-UV1000, Jinan, Shandong, China) a 215 (Vitamina B5), 254 (Vitamina B1), 265 (Vitamina B3) y 716 (Vitamina B6) nm usando como blanco agua destilada” (Braga et al., 2019).

### 2.2.9 Determinación de actividad antioxidante (% DPPH)

La actividad antioxidante expresada como porcentaje de inhibición del radical DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidracilo) se llevó a cabo por el método descrito por Martínez-Girón et al. (2017). “A 0.5 g de pulpa de tomate de árbol se le adicionan 50 mL de metanol y se agita por 1 minuto en una plancha” (Martínez-Girón et al., 2017). Luego, 1 mL del extracto obtenido se mezcló con 2 mL del DPPH 0.1 mM recién preparado (Martínez-Girón et al., 2017). “Se elaboró un control, que consistió en 1 mL de metanol y 2 mL de DPPH 0.1 mM recién preparado” (Martínez-Girón et al., 2017). Finalmente, “después de dejar en reposo las muestras durante 1 h en la oscuridad, las lecturas de la absorbancia se realizaron en un espectrofotómetro (Biobase BK-UV1000, Jinan, Shandong, China) a 517 nm usando como blanco metanol” (Martínez-Girón et al., 2017).

De acuerdo con Martínez-Girón et al. (2017), el porcentaje de actividad antioxidante AA (%) en términos de inhibición del radical DPPH se calcularon mediante la ecuación:

$$AA(\%) = \frac{A_{517Control} - A_{517Muestra}}{A_{517Control}} \times 100 \quad (\text{Ec. 7})$$

Donde:

$A_{517}$ : lectura de absorbancia a 517 (nm)

### 2.2.10 Determinación del color superficial CIEL\*a\*b

Se utilizó el protocolo descrito por Ordóñez-Santos et al. (2017). El color superficial de las muestras de tomate de árbol se determinó utilizando un Colorímetro CR-400 Konica Minolta (Tokio Japón), en coordenadas CIEL\*a\*b\* ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ). Se usó un iluminante estándar D65 y el ángulo de observador a 2°. El instrumento se estandarizó con una placa de calibración negra y una blanca con los siguientes parámetros de calibración:  $Y=89.50$ ,  $x=0.3176$ ,  $y=0.3347$ . Los valores de cromaticidad (C), tono ( $h^\circ$ ), cambio de color ( $\Delta E$ ) e índice de amarillamiento (IA) se calcularon mediante las siguientes ecuaciones:

$$C = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (\text{Ec. 8})$$

$$h^0 = \tan^{-1} \left( \frac{b^*}{a^*} \right) \quad (\text{Ec. 9})$$

$$\Delta E = \sqrt{\Delta a^{*2} + \Delta b^{*2} + \Delta L^{*2}} \quad (\text{Ec. 10})$$

$$IA = \frac{142.86b^*}{L^*} \quad (\text{Ec. 11})$$

### 2.2.11 Análisis estadístico

Las variables de respuesta se informaron como valores promedio  $\pm$  error estándar. Se realizó un diseño aleatorizado simple de tres tratamientos (fresco, escaldado con agua (85°C por 180 segundos) y escaldado con microondas (900 W por 45 segundos)). Cada tratamiento contó con tres repeticiones. Se llevó a cabo un análisis de ANOVA y se aplicó

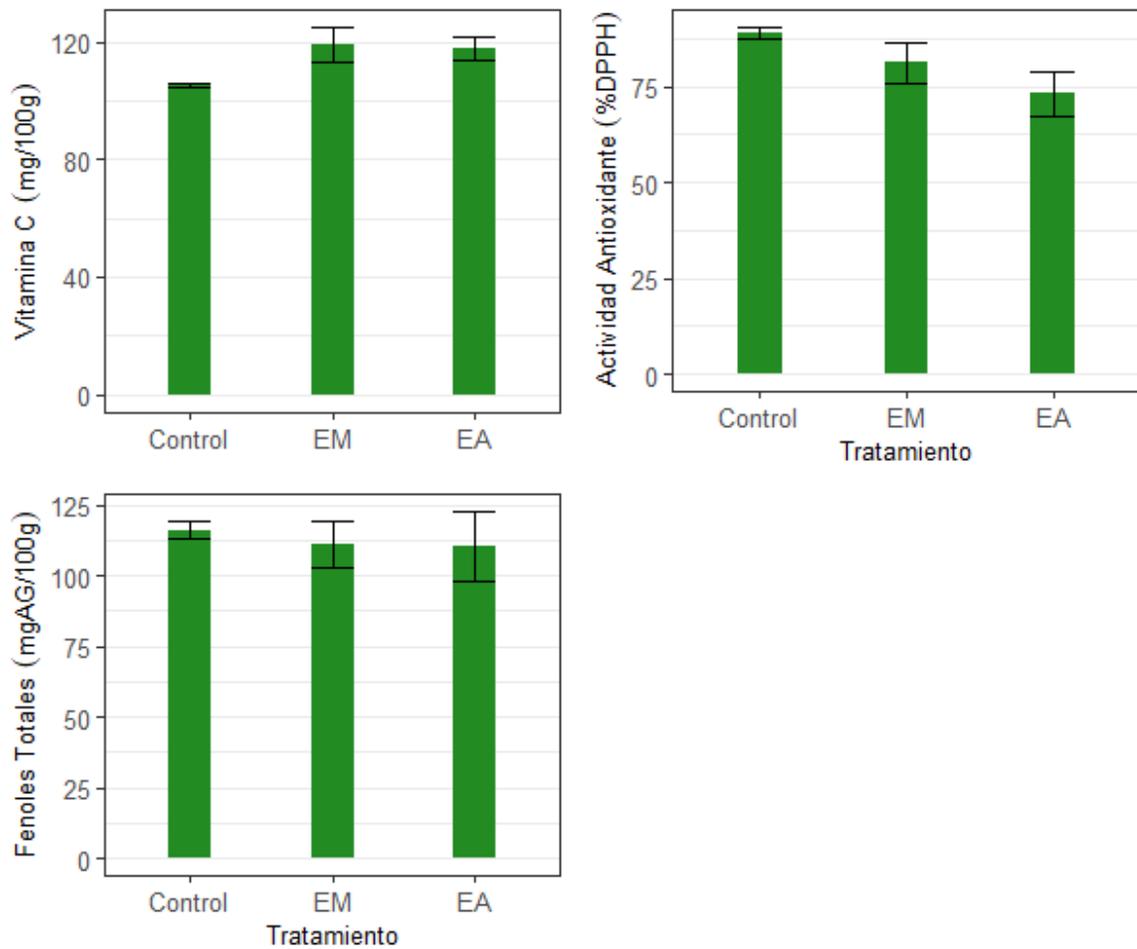
$p < 0.05$  para determinar el nivel de significancia. La comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey al 95% de nivel de confianza ( $p < 0.05$ ). El tratamiento de datos fue evaluado con el programa R (R core team, 2016).

## 2.3 Resultados y discusión

En la figura 2.1 y 2.2, se observa que no hubo diferencia significativa en el contenido de vitamina C, fenoles totales, carotenoides ( $\beta$ -caroteno,  $\alpha$ -caroteno,  $\beta$ -criptoxantina, zeaxantina, licopeno y provitamina A) y actividad antioxidante en el tomate de árbol escaldado con microondas (900 W durante 45 segundos) en comparación con el tratado con agua (85°C por 180 segundos) y el fresco, mientras que en el porcentaje de retención de vitaminas del complejo B (B1, B3, B5 y B6) fue mayor en el escaldado con agua que en el microondas en comparación con el fresco (Tabla 2.1). La combinación potencia-tiempo (900W por 45 segundos) y temperatura-tiempo (85°C por 180 segundos) se estableció en experimentos previos donde se logró una inhibición superior al 90 % en la actividad de la enzima peroxidasa y se tomó como punto final del escaldado.

**Figura 2.1**

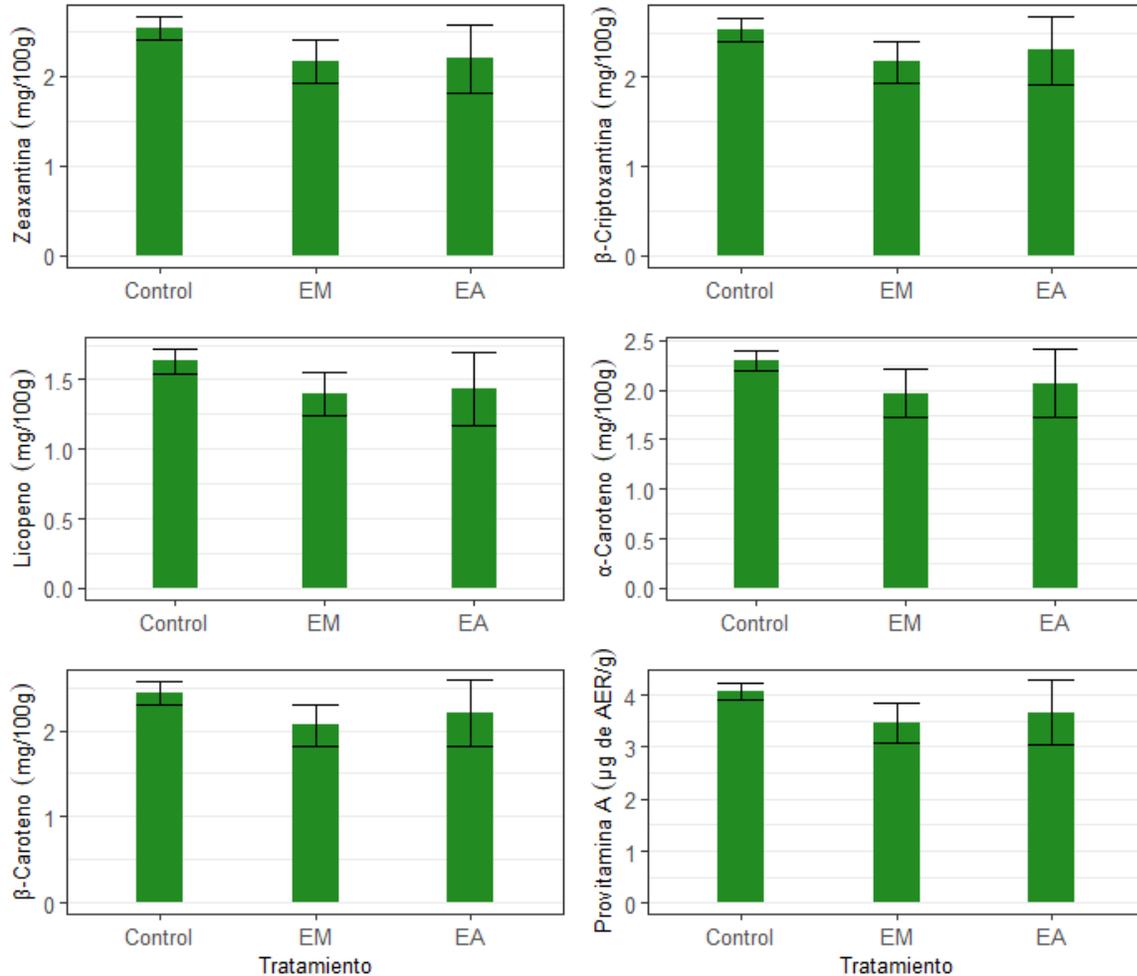
*Efecto del escaldado en los compuestos bioactivos presentes en el tomate de árbol (n=3).*



*Nota.* Las variables de respuesta se informaron como valores promedio  $\pm$  error estándar. Control (ningún tratamiento); EM (escaldado con microondas a 900W por 45 segundos); EA (escaldado con agua a 85°C por 180 segundos).

**Figura 2.2**

Efecto del escaldado en los carotenoides presentes en el tomate de árbol (n=3).



*Nota.* Las variables de respuesta se informaron como valores promedio  $\pm$  error estándar. Control (ningún tratamiento); EM (escaldado con microondas a 900W por 45 segundos); EA (escaldado con agua a 85°C por 180 segundos).

En este estudio se encontró que el contenido de ácido ascórbico presente en la variedad roja de tomate de árbol fresco fue de  $105.3 \pm 0.37$  mg/100 g, ligeramente menor al valor informado por Ordóñez et al. (2010) de 153 mg/100 g para la misma variedad, pero diferente al reportado por Orqueda et al. (2017), Kou et al. (2009), Vasco et al. (2009),

Vasco et al. (2008) y Romero-Rodríguez et al. (1994) los cuales fueron de 15.21, 38.5, 16, 16-24 y 21.9 mg / 100 g de fruta fresca respectivamente. Por otro lado, después de aplicar el proceso de escaldado por microondas y agua, en la Figura 2.1 se observa un aumento (aunque no significativo con respecto al fresco) del 13 y 12 % de este compuesto respectivamente. Esto puede deberse a que, al disminuir la actividad enzimática residual de la peroxidasa, se garantiza que enzimas como la polifenoloxidasa, pectinmetilesterasa y la ascorbato oxidasa no se encuentren presentes, puesto que la primera posee una resistencia al calor mucho más alta que las demás (Kubo et al., 2019), lo que reduce la posibilidad de que ocurra una oxidación enzimática de este compuesto.

También, el escaldado térmico puede destruir la pared celular de los vegetales y, por tanto, facilitar la eliminación de agua, lo que puede conducir a la concentración y liberación de antioxidantes (Nalawade et al., 2018; Wang et al., 2017 y Rodríguez-Amaya et al., 2008). Resultados similares fueron reportados en el escaldado por microondas del melón amargo (*Momordica charantia* L.) (880W por 150 segundos) y el pimiento rojo (*Capsicum annum* L.) (900W por 100 segundos) aplicado por Nalawade et al. (2018) y Wang et al. (2017) con una pérdida de humedad del 12 y 4 % además de una retención de ácido ascórbico del 95 y 82 % respectivamente.

Con respecto al contenido de fenoles totales, este resultado puede deberse a que la energía proporcionada en el escaldado por microondas y por agua, puede ocasionar en la fruta “una ruptura de las paredes celulares, facilitando la liberación de fenólicos unidos a la pectina, celulosa, hemicelulosa y trazas de lignina de la pared celular lo que puede conducir a un aumento de estos compuestos” (Ordóñez-Santos et al., 2017), nivelando o compensando la pérdida ocasionada por el incremento de la temperatura. Por otro lado, al inhibir la enzima peroxidasa se pudo evitar que se catalizará la oxidación de compuestos monofenólicos a o-difenol y o-dihidroxi a o-quinonas (Nhi et al., 2022). Estos hallazgos son consistentes con los resultados de investigaciones previas realizadas por Mandliya et al. (2023) y Nhi et al. (2022), los cuales encontraron que en comparación con muestras no tratadas de grosella (*Phyllanthus emblica*) y guanábana (*Annona muricata* L.), el contenido total de fenoles para el primer caso aumentaba (6%) y para el segundo se mantenían después de escaldar con microondas.

Los resultados del fruto fresco encontrados en este estudio fueron similares a los reportados por Atiqah et al. (2014) (113.2 mg GAE/100 g de fruta fresca), Ghosal et al. (2013) (114.8 mg GAE / 100 g de fruta fresca) y Vasco et al. (2009) (113 mg GAE/100 g de fruta fresca), más altos a los obtenidos por Orqueda et al. (2017) (88.92 mg GAE / 100 g de fruta fresca), Mertz et al. (2009) (71.2 mg GAE/100 g de fruta fresca) y Vasco et al. (2008) (81 mg GAE/100 g de fruta fresca) pero más bajo que los encontrados por Acosta-Quezada et al. (2015) (487.5 mg CAE/100 g de fruta fresca) y Ordóñez et al. (2010) (324 mg GAE / 100 g de fruta fresca).

Los hallazgos obtenidos en esta investigación también demuestran que el tomate de árbol posee un mayor contenido de fenoles totales que algunas frutas como la sandía (*Citrullus lanatus*), uva roja (*Vitis vinnifera*), manzana (red, delicious), piña (*Ananas comosus*), papaya (*Carica papaya*), maracuyá (*Passiflora edulis*) y mango (*Mangifera indica*) las cuales contienen 24.66, 80.28, 73.96, 94.04, 47.13, 37.91, 37.03 mg GAE / 100 g de fruta fresca respectivamente (Fu et al., 2011).

La retención de carotenoides puede deberse a la inactivación de la lipoxigenasa ya que esta es más sensible al calor que la peroxidasa (Nagy-Gasztonyi et al., 2000). Por otro lado, la disminución de los carotenoides está relacionado con la oxidación, isomerización y degradación en respuesta al oxígeno, el calor y la luz (Priečina et al., 2018; Ordóñez-Santos & Martínez-Girón, 2020). En el estudio llevado a cabo por Mertz et al. (2010), se evidenció la producción de ésteres de 13-cis- $\beta$ -caroteno, 5,6-epoxi- $\beta$ -criptoxantina y zeaxantina cuando se degradaron  $\beta$ -caroteno,  $\beta$ -criptoxantina y zeaxantina, respectivamente, en néctar de tomate de árbol que había sido sometido a un tratamiento térmico a temperaturas de 80 y 90 °C. La temperatura puede actuar como un catalizador para la isomerización y oxidación de los compuestos carotenoides, y su impacto depende tanto de la intensidad del tratamiento térmico como de la estructura de los pigmentos carotenoides en cuestión; además, la temperatura puede desencadenar reacciones químicas que dan lugar a la formación de estructuras como cis-carotenoides, epoxicarotenoides, apocarotenoides y estructuras de bajo peso molecular (Ordóñez-Santos & Martínez-Girón, 2020)

Aunque en los tratamientos aplicados en este estudio no hubo diferencia significativa en el contenido de carotenoides evaluados, se observa que la  $\beta$ -criptoxantina, zeaxantina y licopeno presentaron el nivel más alto de termorresistencia y el  $\beta$ -caroteno y  $\alpha$ -caroteno el más bajo, lo que concuerda con los resultados obtenidos por Ordóñez-Santos & Martínez-Girón (2020) para este mismo fruto, pero en la variedad amarilla.

El contenido de  $\beta$ -caroteno,  $\beta$ -criptoxantina y zeaxantina obtenido en los tres tratamientos en este estudio fueron mayores a los encontrados por Mertz et al. (2009) en tomate de árbol fresco (0.51, 0.15, 0.03 mg/100 g de fruta fresca), De Rosso & Mercadante (2007) (1.13, 1.97, 0.22 mg/100 g de fruta fresca), Homnava et al. (1990) (1, 0.43, 0.0 mg/100 g de fruta fresca) y Rodríguez-Amaya et al. (1983) (0.79, 1.39, 0.06 mg/100 g de fruta fresca).

Por otro lado, los cinco carotenoides cuantificados en todos los tratamientos en este estudio fueron mayores a los reportados por Acosta-Quezada et al. (2015) (0.51 mg/100 g de fruta fresca de contenido total de caroteno), Ghosal et al. (2013) (0.342 mg/100 g de fruta fresca de contenido total de caroteno), pero menores a los encontrados por Ordóñez et al. (2010) (3.06 mg/100 g de fruta fresca de contenido total de caroteno) y Vasco et al. (2009) (5.2 mg/100 g de fruta fresca de  $\beta$ -caroteno). Además, el porcentaje de retención de zeaxantina y  $\beta$ -caroteno encontrado en este estudio después de aplicar escaldado por microondas fue similar al reportado Mertz et al. (2010) en néctar de tomate de árbol que había sido sometido a un tratamiento térmico a temperatura de 80 °C (86.44 y 79.2%) respectivamente. También, al igual que en el estudio realizado por Ordóñez-Santos & Martínez-Girón (2020), las mayores y menores concentraciones presentes en el fruto fresco de tomate de árbol fueron las de zeaxantina y licopeno respectivamente. Por último, es importante resaltar que la cantidad de  $\beta$ -caroteno también fue mayor que la presente en pimentón naranja, mango, brócoli, maíz y pure de tomate (0.93, 0.14, 0.36, 0.016 y 0.14 mg/100 g de fruta fresca) pero menor a la de la espinaca (4.34 mg/100 g de fruta fresca) (Perry et al., 2009; Morand-Laffargue et al., 2023).

Estas diferencias, pueden estar determinadas por diversos factores tales como la variedad/cultivo utilizado, el momento de la cosecha, el clima, la ubicación geográfica de producción, la temporada en que se produjo, la parte de la planta que se utiliza, las condiciones durante la producción agrícola, el manejo después de la cosecha, el procesamiento, las condiciones de almacenamiento, diferencias en la polaridad de los

solventes elegidos y a las técnicas de cuantificación (Rodríguez-Amaya et al., 2008; Ghosal et al., 2013). Por ejemplo, en frutos de tomate, la sobreexpresión del gen ChPSY aumenta los niveles de carotenoides (Diao et al., 2023).

Diferentes autores han reportado el contenido de vitamina B6 (Diep et al., 2022), B1 (Kou et al., 2009) y B3 (Herrmann, 1981) en tomate de árbol. En la tabla 2.1, el contenido de vitaminas B de este fruto fresco se usó como referencia (100%) para evaluar el efecto del escaldado sobre la retención de estos compuestos. Se observa que en la muestra escaldada con microondas no se logró la retención de vitaminas del complejo B (B1, B3, B5 y B6) lo que puede estar relacionado con la interacción directa que logra la radiación electromagnética con las moléculas del material generando un efecto destructivo en estos compuestos hidrosolubles (Nouri et al., 2018).

**Tabla 2.1**

*Efecto del escaldado en el porcentaje de retención de vitaminas del complejo B presentes en el tomate de árbol (n=3)*

Tratamiento	Vitamina B1	Vitamina B3	Vitamina B5	Vitamina B6
Control	100	100	100	100
EM	0	0	0	0
EA	118.37±18.37	118.9±18.9	100	67.1±11.75

*Nota.* Las variables de respuesta se informaron como porcentaje. Control (ningún tratamiento); EM (escaldado con microondas a 900W por 45 segundos); EA (escaldado con agua a 85°C por 180 segundos).

Por otro lado, la muestra escaldada con agua mostró un efecto positivo sobre las vitaminas B1 y B3, presentando un 18 % más que la muestra sin tratar, la B5 se comportó estable y la B6 se retuvo un 67.1%. La vitamina B1 (tiamina) puede encontrarse fosforilada, mientras que la B2 suele estar unida a nucleótidos, la B5 a la coenzima A y la B6 a una apoenzima, sin embargo, el tratamiento térmico convencional pudo ocasionar el rompimiento o disociación de estas uniones dando como resultado una mayor cantidad de la forma libre

de estas vitaminas provocando un aumento en su disponibilidad (Fernandes et al., 2016). Para la vitamina B6, a pesar de que tiene baja sensibilidad al calor, se considera sensible a la luz, además también se atribuye su disminución a la transformación de piridoxal en piridoxamina y a la creación de disulfuro de bis-4-piridoxal (Nouri et al., 2018).

Resultados similares fueron reportados por Braga et al. (2019) y Fernandes et al. (2016) en retención de vitaminas B1, B3 y B5 en muestras de mango (*Mangifera indica* L.) y tomate cherry (*Solanum lycopersicum* var. cerasiforme) respectivamente.

A modo de ejemplo, la carencia de vitamina B1 puede ocasionar daños químicos en el cerebro conocidos como encefalopatía de Wernicke, mientras que la falta de vitaminas B6 y B12 puede dar lugar a la aparición de anemia (Yilmaz et al., 2023).

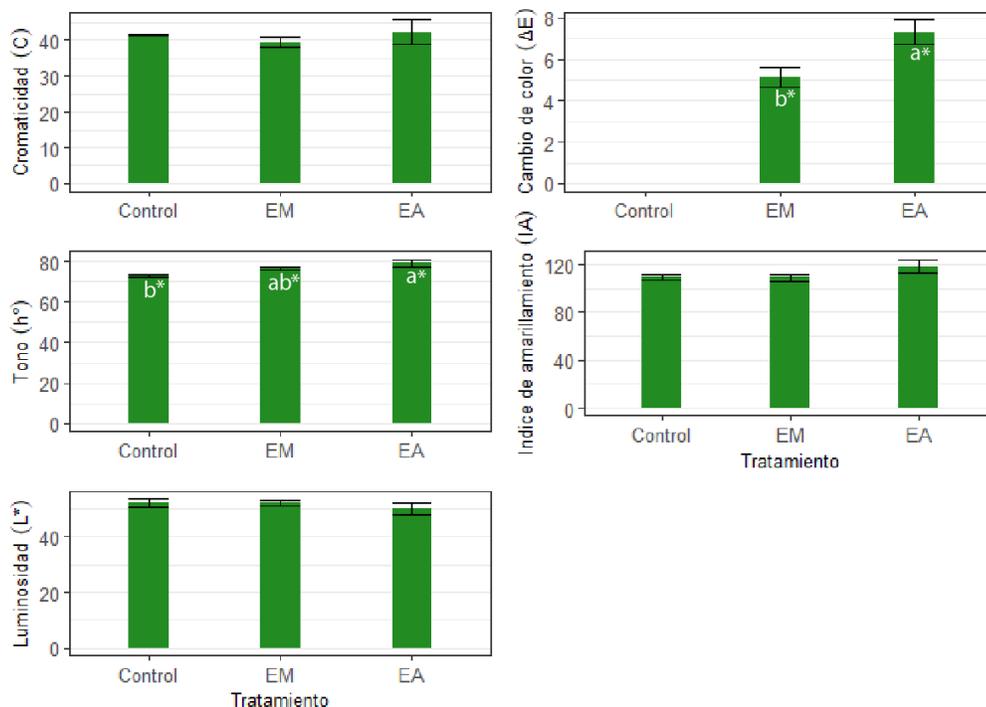
Por último, en la Figura 2.1, se puede observar que tanto el extracto metanólico obtenido del tomate de árbol escaldado con microondas (81.23%), como el del tratamiento térmico de control (73.1%) y la muestra fresca (89.03%) exhiben una importante actividad de eliminación de radicales DPPH. Esto puede estar relacionado con el contenido de fenoles totales (Vasco et al., 2008), afirmación que concuerda con los resultados obtenidos en este estudio donde se evidencia como a medida que aumenta la concentración de estos compuestos disminuye la concentración de radicales DPPH. Ghosal et al. (2013) registraron una mayor actividad antioxidante (DPPH) en tomate de árbol maduro (mayor contenido de compuestos fenólicos) que en inmaduros (menor contenido de compuestos fenólicos). Kou et al. (2009) utilizaron diferentes solventes (etanol, acetato de etilo, butanol y agua) para la extracción de compuestos fenólicos del tomate de árbol y encontraron una fuerte actividad inhibidora DPPH a medida que aumentaba el contenido de estos compuestos. Otro estudio realizado en espárragos escaldados con microondas (*Asparagus officinalis* L.) también encontró que existe una correlación positiva entre el contenido fenólico y la actividad antioxidante (Nguyen et al., 2019). Este fenómeno se presenta debido a que los compuestos fenólicos obtenidos de las plantas presentan propiedades antioxidantes significativas debido a su capacidad para aceptar electrones en la reacción de Michael (Kou et al., 2009).

En la figura 2.3, se puede observar que los parámetros de color ( $L^*$ , C, IA) no presentaron cambios significativos después de los tratamientos de escaldado respecto al material

fresco, mientras que en  $h^\circ$  y  $\Delta E$  si hubo aumentos significativos ( $p < 0.05$ ). Este cambio cromático puede estar relacionado con la disminución de compuestos fenólicos presentes en la muestra escaldada de forma tradicional (110.2 mg/100 g de fruta fresca) con respecto a la fresca (116.1 mg/100 g de fruta fresca), ya que algunos de estos al poseer uno, dos o tres grupos OH en su estructura agliconada, ocasiona que la absorción máxima se desplace hacia longitudes de onda más altas (Hurtado et al., 2009) lo que puede provocar el cambio del área del espectro visible de las muestras analizadas, de rojo-amarillo a amarillo, reduciendo así la tonalidad del color rojo y aumentando el índice de amarillamiento (aunque de manera no significativa) en el tomate de árbol después del tratamiento térmico. Además, esto también pudo ocasionar que la muestra escaldada con microondas presentara diferencias de color en comparación con la fresca y tratada por el método convencional ( $p < 0.05$ ) al presentar en ambos casos un  $\Delta E$  mayor a 2 (Ordóñez-Santos et al., 2017), aunque el que menos se aleja es el del tratamiento con microondas.

**Figura 2.3**

*Efecto del escaldado sobre los parámetros de color en el tomate de árbol (n=3).*



*Nota.* Las variables de respuesta se informaron como valores promedio  $\pm$  error estándar. Control (ningún tratamiento); EM (escaldado con microondas a 900W por 45 segundos); EA (escaldado con agua a 85°C por 180 segundos).

Lo contrario fue observado en la investigación realizada por Ordóñez-Santos et al. (2017) donde el aumento del contenido de fenoles totales (aumento de grupos OH) ocasionó que el jugo de uchuva sometido a pasteurización por ultrasonido, cambiara el área del espectro visible de las muestras de amarillo a amarillo-rojo, reduciendo así la intensidad del color amarillo. Otro aspecto asociado diferente a los fenoles es la transformación de los carotenoides a través de la isomerización lo que produce un cambio hipocromático y un efecto hipocrómico, lo cual se manifiesta comúnmente mediante una banda de absorción adicional en el rango de 320 a 360 nm (Ordóñez-Santos et al., 2017).

En este estudio, los valores de luminosidad, cromaticidad y tono se ajustan a los obtenidos por Rohilla et al. (2023) ( $L^*=48.82-55.87$ ,  $C^*=29.68-48.26$ ,  $h^\circ=67.63-77.89$ ) los cuales reportaron los resultados en pure (con y sin aceite) obtenido a partir de la variedad roja de

tomate de árbol sometido a diferentes temperaturas (100, 121, 150, 175 y 200 °C) y tiempos (2, 4 y 6 min). En la investigación de Cuastumal et al. (2016) se obtuvieron valores colorimétricos similares en rodajas de tomate de árbol sometidas a tratamientos de cocción en microondas (760 W durante dos minutos) ( $L^*=48.46$ ,  $C^*=33.01$ ,  $h^\circ=70.34$ ,  $\Delta E=12.21$  y  $IA=113.51$ ), en agua (92 °C durante 10 minutos) ( $L^*=48.71$ ,  $C^*=33.55$ ,  $h^\circ=82.64$ ,  $\Delta E=11.30$  y  $IA=111.94$ ) y en fresco ( $L^*=58.86$ ,  $C^*=35.12$ ,  $h^\circ=79.19$  y  $IA=92.04$ ). Por otro lado, los estudios colorimétricos realizados por Hurtado et al. (2009) a soluciones de extractos de antocianinas obtenidos a partir de la parte gelatinosa de las semillas del tomate de árbol, se ajustan en los valores ( $L^*=40.50-66.10$  y  $C^*=28.70-67.4$ ), pero menores en tono ( $h^\circ=32.1-64.9$ ) y presentan mayores diferencias en la percepción del color ( $\Delta E=11.5-30.3$ ). Se informaron hallazgos similares en el cambio de color ( $\Delta E$ ) en grosella espinosa india (*Phyllanthus emblica*) (Mandliya et al., 2023), en purés de papaya, kiwi y fresa (de Ancos et al., 1999) y en pulpa de guanábana (Nhi et al., 2022).

## 2.4 Conclusiones

En este estudio se evaluó el efecto del escaldado con microondas sobre los compuestos bioactivos presentes en el tomate de árbol variedad roja. Este tratamiento térmico no afectó de manera significativa el contenido de vitamina C, fenoles totales, carotenoides y actividad antioxidante en comparación con la muestra fresca y el tratamiento convencional, pero degradó las vitaminas hidrosolubles del complejo B (B1, B3, B5 y B6). Los cambios en el color rojo-amarillo a amarillo en el tomate de árbol, también se observaron en muestras sometidas a escaldado por microondas. Por lo tanto, el uso de energía de microondas ofrece una buena alternativa al escaldado convencional dada su simplicidad, rápida aplicación y al no uso de agua. Esta investigación puede ser útil para el diseño industrial óptimo de productos a partir de tomate de árbol.

## 2.5 Bibliografía

- Acosta-Quezada, P. G., Raigón, M. D., Riofrío-Cuenca, T., García-Martínez, M. D., Plazas, M., Burneo, J. I., Figueroa, J. G., Vilanova, S., & Prohens, J. (2015). Diversity for chemical composition in a collection of different varietal types of tree tomato (*Solanum betaceum* Cav.), an Andean exotic fruit. *Food Chemistry*, 169, 327–335. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.07.152>
- Atiqah, N., Kadir, A. A., Rahmat, A., & Asmah. (2014). Comparison of antioxidant properties of tamarillo (*Cyphomandra betacea*), cherry tomato (*Solanum lycopersicum* var. cerasiform) and tomato (*Lycopersicon esulentum*). In *International Food Research Journal* (Vol. 21, Issue 6).
- Braga, T. R., Silva, E. O., Rodrigues, S., & Fernandes, F. A. N. (2019). Drying of mangoes (*Mangifera indica* L.) applying pulsed UV light as pretreatment. *Food and Bioprocess Processing*, 114, 95–102. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2018.11.013>
- Cuastumal, H., Valencia, B., & Ordoñez, L. (2016). Efectos de los tratamientos térmicos en la concentración de vitamina C y color superficial en tres frutas tropicales. *Revista Lasallista de Investigación*, 13(1), 85–93.
- De Rosso, V. V., & Mercadante, A. Z. (2007). HPLC-PDA-MS/MS of anthocyanins and carotenoids from dovyalis and tamarillo fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(22), 9135–9141. <https://doi.org/10.1021/jf071316u>
- Diao, Q., Tian, S., Cao, Y., Yao, D., Fan, H., & Zhang, Y. (2023). Transcriptome analysis reveals association of carotenoid metabolism pathway with fruit color in melon. *Scientific Reports*, 13(1), 5004. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-31432-y>
- Diep, T. T., Rush, E. C., & Yoo, M. J. Y. (2020). Tamarillo (*Solanum betaceum* Cav.): A Review of Physicochemical and Bioactive Properties and Potential Applications. In *Food Reviews International* (Vol. 38, Issue 7, pp. 1343–1367). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1804931>
- Diep, T. T., Yoo, M. J. Y., & Rush, E. (2022). Effect of In Vitro Gastrointestinal Digestion on Amino Acids, Polyphenols and Antioxidant Capacity of Tamarillo Yoghurts. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(5). <https://doi.org/10.3390/ijms23052526>

- 
- FAO, FIDA, OMS, PMA, & UNICEF. (2022). El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2022. Adaptación de las políticas alimentarias y agrícolas para hacer las dietas saludables más asequibles. In *El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2022*. FAO; IFAD; WHO; WFP; UNICEF; <https://doi.org/10.4060/cc0639es>
- Fernandes, F. A. N., Rodrigues, S., García-Pérez, J. V., & Cárcel, J. A. (2016). Effects of ultrasound-assisted air-drying on vitamins and carotenoids of cherry tomatoes. *Drying Technology*, 34(8), 986–996. <https://doi.org/10.1080/07373937.2015.1090445>
- Fu, L., Xu, B. T., Xu, X. R., Gan, R. Y., Zhang, Y., Xia, E. Q., & Li, H. Bin. (2011). Antioxidant capacities and total phenolic contents of 62 fruits. *Food Chemistry*, 129(2), 345–350. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.04.079>
- Ghosal, M., Chhetri, P. K., Ghosh, M. K., & Mandal, P. (2013). Changes in antioxidant activity of cyphomandra betacea (cav.) sendtn. fruits during maturation and senescence. *International Journal of Food Properties*, 16(7), 1552–1564. <https://doi.org/10.1080/10942912.2011.600493>
- Hart, D. J., & Scott, K. J. (1995). Analytical, Nutritional and Clinical Methods Section Development and evaluation of an HPLC method for the analysis of carotenoids in foods, and the measurement of the carotenoid content of vegetables and fruits commonly consumed in the UK. In *Food Chemisfry* (Vol. 54).
- Herrmann, K. (1981). Lebensmittel-Untersuchung und-Forschung fSbersicht iiber die chemische Zusammensetzung und die Inhaltsstoffe einer Reihe wichtiger exotischer Obstarten Review on Chemical Composition and Constituents of some Important Exotic Fruits. In *Z Lebensm Unters Forsch* (Vol. 173).
- Homnava, A., Rogers, W., & Eitenmiller', A. R. (1990). Provitamin A Activity of Specialty Fruit Marketed in the United States. In *Journal of Food Composition and Analysis* (Vol. 3).
- Hurtado, N. H., Morales, A. L., González-Miret, M. L., Escudero-Gilete, M. L., & Heredia, F. J. (2009). Colour, pH stability and antioxidant activity of anthocyanin rutosides isolated from tamarillo fruit (*Solanum betaceum* Cav.). *Food Chemistry*, 117(1), 88-93.
- Kou, M. C., Yen, J. H., Hong, J. T., Wang, C. L., Lin, C. W., & Wu, M. J. (2009). *Cyphomandra betacea* Sendt. phenolics protect LDL from oxidation and PC12 cells from oxidative stress. *LWT*, 42(2), 458–463. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.09.010>

- Kubo, M. T. K., Curet, S., Augusto, P. E. D., & Boillereaux, L. (2019). Multiphysics modeling of microwave processing for enzyme inactivation in fruit juices. *Journal of Food Engineering*, 263, 366–379. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.07.011>
- Lee, S., Choi, Y., Jeong, H. S., Lee, J., & Sung, J. (2018). Effect of different cooking methods on the content of vitamins and true retention in selected vegetables. *Food Science and Biotechnology*, 27(2), 333–342. <https://doi.org/10.1007/s10068-017-0281-1>
- Legiscomex. “Cifras comercio exterior” y “Acuerdos comerciales”. Disponible en la página web: <https://www.legiscomex.com/>
- Lucini, L., Rocchetti, G., Kane, D., & Trevisan, M. (2017). Phenolic fingerprint allows discriminating processed tomato products and tracing different processing sites. *Food Control*, 73, 696–703.
- Mandliya, S., Majumdar, J., Misra, S., Pattnaik, M., & Mishra, H. N. (2023). Evaluation of dry microwave and hot water blanching on physicochemical, textural, functional and organoleptic properties of Indian gooseberry (*Phyllanthus emblica*). *Journal of Food Measurement and Characterization*. <https://doi.org/10.1007/s11694-023-01833-8>
- Martínez-Girón, J., Rodríguez-Rodríguez, X., Pinzón-Zárate, L. X., & Ordóñez-Santos, L. E. (2017). Caracterización fisicoquímica de harina de residuos del fruto de chontaduro (*Bactris gasipaes* Kunth, Arecaceae) obtenida por secado convectivo. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 18(3), 599–613. [https://doi.org/DOI:https://doi.org/10.21930/rcta.vol18\\_num3\\_art:747](https://doi.org/DOI:https://doi.org/10.21930/rcta.vol18_num3_art:747)
- Mertz, C., Brat, P., Caris-Veyrat, C., & Gunata, Z. (2010). Characterization and thermal lability of carotenoids and vitamin C of tamarillo fruit (*Solanum betaceum* Cav.). *Food Chemistry*, 119(2), 653–659. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.07.009>
- Mertz, C., Gancel, A. L., Gunata, Z., Alter, P., Dhuique-Mayer, C., Vaillant, F., Perez, A. M., Ruales, J., & Brat, P. (2009a). Phenolic compounds, carotenoids and antioxidant activity of three tropical fruits. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22(5), 381–387. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2008.06.008>
- Ministerio de Agricultura y desarrollo Rural (2022). Cifras de producción agrícola 2009-2020. Consultado el 24 de agosto de 2022, de <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1>
- Morand-Laffargue, L., Hirschberg, J., Halimi, C., Desmarchelier, C., & Borel, P. (2023). The zeaxanthin present in a tomato line rich in this carotenoid is as bioavailable as that present in the food sources richest in this xanthophyll. *Food Research International*, 168. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112751>

- 
- Nagy-Gasztonyi, M., Kardos-Neumann, Á., & Biacs, P. Á. (2000). Potential indicator enzymes at broccoli blanching technology. *In Acta Alimentaria* (Vol. 29, Issue 2).
- Nalawade, S. A., Sinha, A., & Hebbar, H. U. (2018). Infrared based dry blanching and hybrid drying of bitter melon slices: Process efficiency evaluation. *Journal of Food Process Engineering*, 41(4). <https://doi.org/10.1111/jfpe.12672>
- Nguyen, T. V. L., Tran, T. Y. N., Lam, D. T., Bach, L. G., & Nguyen, D. C. (2019). Effects of microwave blanching conditions on the quality of green asparagus (*Asparagus officinalis* L.) butt segment. *Food Science and Nutrition*, 7(11), 3513–3519. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1199>
- Nhi, T. T. Y., Quy, N. N., Truong, L. D., Phat, D. T., & Phong, H. X. (2022). Comparison of pretreatment methods on total ascorbic acid, total phenolic content, and color of soursop (*Annona muricata* L.) Pulp. Steam blanching, hot water blanching, and microwave-assisted blanching. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(11). <https://doi.org/10.1111/jfpp.17017>
- Nouri, E., Abbasi, H., & Rahimi, E. (2018). Effects of processing on stability of water- and fat-soluble vitamins, pigments (C-phycoerythrin, carotenoids, chlorophylls) and colour characteristics of *Spirulina platensis*. *Quality Assurance and Safety of Crops and Foods*, 10(4), 335–349. <https://doi.org/10.3920/QAS2018.1304>
- Okonkwo, C. E., Moses, O. I., Nwonuma, C., Abiola, T., Benjamin, B. O., Folorunsho, J. O., Olaniran, A. F., & Pan, Z. (2022). Infrared and Microwave as a dry blanching tool for Irish potato: Product quality, cell integrity, and artificial neural networks (ANNs) modeling of enzyme inactivation kinetic. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 78. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103010>
- Ordóñez, R. M., Cardozo, M. L., Zampini, I. C., & Isla, M. I. (2010). Evaluation of antioxidant activity and genotoxicity of alcoholic and aqueous beverages and pomace derived from ripe fruits of *Cyphomandra betacea* sendt. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(1), 331–337. <https://doi.org/10.1021/jf9024932>
- Ordóñez-Santos, L. E., & Martínez-Girón, J. (2020). Thermal degradation kinetics of carotenoids, vitamin C and provitamin A in tree tomato juice. *International Journal of Food Science and Technology*, 55(1), 201–210. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14263>
- Ordóñez-Santos, L. E., Martínez-Girón, J., & Arias-Jaramillo, M. E. (2017). Effect of ultrasound treatment on visual color, vitamin C, total phenols, and carotenoids content in Cape

- gooseberry juice. *Food Chemistry*, 233, 96–100. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.114>
- Orqueda, M. E., Rivas, M., Zampini, I. C., Alberto, M. R., Torres, S., Cuello, S., Sayago, J., Thomas-Valdes, S., Jiménez-Aspee, F., Schmeda-Hirschmann, G., & Isla, M. I. (2017). Chemical and functional characterization of seed, pulp and skin powder from chilto (*Solanum betaceum*), an Argentine native fruit. Phenolic fractions affect key enzymes involved in metabolic syndrome and oxidative stress. *Food Chemistry*, 216, 70–79. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.08.015>
- Pangestu, O. O., Angelica, C., Kurniawan, J., Meindrawan, B., & Widyaningrum, D. (2021). Design formula and product of beverages made from Tamarillo fruit (*Solanum betaceum*) and Job's tears (*Coix lacryma-jobi* L.) using Kano method. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 794(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/794/1/012139>
- Perry, A., Rasmussen, H., & Johnson, E. J. (2009). Xanthophyll (lutein, zeaxanthin) content in fruits, vegetables and corn and egg products. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22(1), 9–15. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2008.07.006>
- Priecina, L., Karklina, D., & Kince, T. (2018). The impact of steam-blanching and dehydration on phenolic, organic acid composition, and total carotenoids in celery roots. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 49, 192–201. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.01.008>
- Reyes-García, V., Totosaus, A., Pérez-Chabela, L., Juárez, Z. N., Cardoso-Ugarte, G. A., & Pérez-Armendáriz, B. (2021). Exploration of the potential bioactive molecules of tamarillo (*Cyphomandra betacea*): Antioxidant properties and prebiotic index. *Applied Sciences* (Switzerland), 11(23). <https://doi.org/10.3390/app112311322>
- Rodriguez-Amaya, D. B., Bobbio, P. A., & Bobbio, F. O. (1983). Carotenoid Composition and Vitamin A Value of the Brazilian Fruit *Cyphomandra betacea*. In *Food Chemistry* (Vol. 12).
- Rodriguez-Amaya, D. B., Kimura, M., Godoy, H. T., & Amaya-Farfan, J. (2008). Updated Brazilian database on food carotenoids: Factors affecting carotenoid composition. In *Journal of Food Composition and Analysis* (Vol. 21, Issue 6, pp. 445–463). <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2008.04.001>
- Rohilla, S., Bora, J., & Mahanta, C. L. (2023). Effect of thermal treatment and addition of olive oil on the antioxidant properties of tamarillo puree. *Journal of Food Science and Technology*, 60(3), 1202–1208. <https://doi.org/10.1007/s13197-023-05687-2>

- Romero-Rodriguez, M. A., Vazquez-Oderiz, M. L., Lopez-Hernandez, J., & Simal-Lozano, J. (1994). Composition of babaco, feijoa, passion-fruit and tamarillo produced in Galicia (NW Spain). *In Food Chemistry* (Vol. 49).
- Vasco, C., Avila, J., Ruales, J., Svanberg, U., & Kamal-Eldin, A. (2009). Physical and chemical characteristics of golden-yellow and purple-red varieties of tamarillo fruit (*Solanum betaceum* Cav.). *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 60(SUPPL. 7), 278–288. <https://doi.org/10.1080/09637480903099618>
- Vasco, C., Ruales, J., & Kamal-Eldin, A. (2008). Total phenolic compounds and antioxidant capacities of major fruits from Ecuador. *Food Chemistry*, 111(4), 816–823. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.04.054>
- Von Grebmer, K., Bernstein, J., Wiemers, M., Reiner, L., Bachmeier, M., Hanano, A., Towey, O., Chéilleachair, R. N., Foley, C., Gitter, S., Larocque, G., Fritschel, H., Author, G., & Resnick, D. (2022). Global Hunger Index: Food Systems Transformation and Local Governance.
- Wang, C., Zhang, B., Song, L., Li, P., Hao, Y., & Zhang, J. (2020). Assessment of different blanching strategies on quality characteristics and bioactive constituents of *Toona sinensis*. *LWT*, 130. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109549>
- Wang, J., Yang, X. H., Mujumdar, A. S., Wang, D., Zhao, J. H., Fang, X. M., Zhang, Q., Xie, L., Gao, Z. J., & Xiao, H. W. (2017). Effects of various blanching methods on weight loss, enzymes inactivation, phytochemical contents, antioxidant capacity, ultrastructure and drying kinetics of red bell pepper (*Capsicum annuum* L.). *LWT*, 77, 337–347. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.11.070>
- Xanthakis, E., Gogou, E., Taoukis, P., & Ahrné, L. (2018). Effect of microwave assisted blanching on the ascorbic acid oxidase inactivation and vitamin C degradation in frozen mangoes. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 48(June), 248–257. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.06.012>
- Xiao, H. W., Pan, Z., Deng, L. Z., El-Mashad, H. M., Yang, X. H., Mujumdar, A. S., Gao, Z. J., & Zhang, Q. (2017). Recent developments and trends in thermal blanching – A comprehensive review. *Information Processing in Agriculture*, 4(2), 101–127. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2017.02.001>
- Yilmaz, M. A., Cakir, O., & Yener, I. (2023). A fast, accurate and comprehensive LC-MS/MS method validation for the sensitive quantification of water-soluble vitamins in walnut,

almond, hazelnut and pistachio fruits. *International Journal of Mass Spectrometry*, 488, 117040. <https://doi.org/10.1016/j.ijms.2023.117040>

Zhang, Y., Pandiselvam, R., Zhu, H., Su, D., Wang, H., Ai, Z., Kothakota, A., Khaneghah, A. M., & Liu, Y. (2022). Impact of radio frequency treatment on textural properties of food products: An updated review. *In Trends in Food Science and Technology* (Vol. 124, pp. 154–166). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.04.014>



## **3. Conclusiones y recomendaciones**

### **3.1 Conclusiones**

Los resultados de este estudio mostraron que el aumento de la potencia de microondas tuvo una importante incidencia en la disminución del tiempo de inactivación de la actividad enzimática residual de la peroxidasa presente en el tomate de árbol. El escaldado por microondas inactivó más del 90% de la actividad enzimática residual de la peroxidasa presente en el tomate de árbol en un tiempo más corto (900 W durante 45 segundos) que el escaldado convencional. Por otro lado, este tratamiento térmico no afectó de manera significativa el contenido de vitamina C, fenoles totales, carotenoides y actividad antioxidante en comparación con la muestra fresca y el tratamiento convencional, pero no logró conservar las vitaminas hidrosolubles del complejo B (B1, B3, B5 y B6). Los cambios en el color rojo-amarillo a amarillo en el tomate de árbol, también se observaron en muestras sometidas a escaldado por microondas. Por lo tanto, el uso de energía de microondas ofrece una buena alternativa al escaldado convencional dada su simplicidad, rápida aplicación y al no uso de agua. Esta investigación puede ser útil para el diseño industrial óptimo de productos a partir de tomate de árbol.

### **3.2 Recomendaciones**

El efecto de las frecuencias de microondas sobre los compuestos bioactivos en los alimentos es un tema que requiere más investigación. Aunque las microondas generalmente operan en el rango de frecuencia de 300 MHz a 300 GHz, la mayoría de los hornos de microondas domésticos utilizan una frecuencia de alrededor de 2.45 GHz. Hasta la fecha, la mayoría de los estudios se han centrado en el efecto de la potencia de las microondas en los compuestos bioactivos, en lugar de investigar específicamente el efecto de las diferentes frecuencias de microondas. Se necesitan estudios específicos que comparen diferentes frecuencias de microondas y sus efectos sobre la retención de los

compuestos bioactivos en diferentes alimentos. Por último, investigar el efecto del microondas sobre los atributos sensoriales del tomate de árbol sería un insumo importante para el diseño de productos de mayor calidad.

## Bibliografía

- Agüero, M. V., Ansorena, M. R., Roura, S. I., & del Valle, C. E. (2008). Thermal inactivation of peroxidase during blanching of butternut squash. *LWT - Food Science and Technology*, 41(3), 401–407. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.03.029>
- Alwan, A. (2011). *Global status report on noncommunicable diseases 2010*. [https://doi.org/https://www.who.int/about/licensing/copyright\\_form/en/index.html](https://doi.org/https://www.who.int/about/licensing/copyright_form/en/index.html)
- Atuonwu, J. C., & Tassou, S. A. (2018). Quality assurance in microwave food processing and the enabling potentials of solid-state power generators: A review. *Journal of Food Engineering*, 234, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.04.009>
- Badui, S. (2006). *Química de los alimentos*. (E. PEARSON, Ed.) (Cuarta). Naucalpan de Juárez: Mexico.
- Baker, P., & Friel, S. (2014). Processed foods and the nutrition transition: Evidence from Asia. *Obesity Reviews*, 15(7), 564–577. <https://doi.org/10.1111/obr.12174>
- Bascaya, D., & Demirdoven, A. (2015). The effects of microwave blanching conditions on carrot slices: optimization and comparison. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 2188–2196. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12463>

- Behera, G., Rayaguru, K., & Nayak, P. K. (2017). Effect of Microwave Blanching on Slice Thickness and Quality Analysis of Star Fruit. *Current Research in Nutrition and Food Science*, 5(3).
- Bloom, D. ., Cafiero, E. ., Jané-Llopis, E., Abrahams-Gessel, S., Bloom, L. ., Fathima, S., ... Weinstein, C. (2011). *The Global Economic Burden of Non-communicable Diseases*. Geneva: World Economic Forum.
- Bohs, L. (1995). *Transfer of Cyphomandra (Solanaceae) and Its Species to Solanum*. Source: *Taxon* (Vol. 44). <https://doi.org/http://bohs.biology.utah.edu/PDFs/Lynn/Bohs-1995.pdf>
- Bonnechère, A., Hanot, V., Jolie, R., Hendrickx, M., Bragard, C., Bedoret, T., & Loco, J. Van. (2012). Effect of household and industrial processing on levels of five pesticide residues and two degradation products in spinach. *Food Control*, 25, 397–406. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2011.11.010>
- Chandrasekaran, S., Ramanathan, S., & Basak, T. (2013). Microwave food processing-A review. *Food Research International*, 52(1), 243–261. <https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1079258>
- Datta, A. K., & Davidson, P. M. (2000). Microwave and Radio Frequency Processing. *Journal of Food Science*, 65, 32–41. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2000.tb00616.x>
- De La Vega-Miranda, B., Santiesteban-López, N. A., López-Malo, A., & Sosa-Morales, M. E. (2012). Inactivation of Salmonella Typhimurium in fresh vegetables using water-assisted microwave heating. *Food Control*, 26(1), 19–22. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.01.002>
- de los Santos, M. B., Jacobi, S. S., Miñarro, M. C. A., Balsalobre, J. A. P., Guillén, A. A., & Gorbe, M. I. F. (2020). Kinetic characterization, thermal and pH inactivation study of peroxidase and pectin methylesterase from tomato (*Solanum betaceum*). *Food*

- Science and Technology*, 40(June), 273–279. <https://doi.org/10.1590/fst.09419>
- Dorantes-Alvarez, L., Jaramillo-Flores, E., González, K., Martínez, R., & Parada, L. (2011). Blanching peppers using microwaves. *Procedia Food Science*, 1, 178–183. <https://doi.org/10.1016/j.profoo.2011.09.028>
- Espin, S., Gonzalez-Manzano, S., Taco, V., Poveda, C., Ayuda-Durán, B., Gonzalez-Paramas, A. M., & Santos-Buelga, C. (2016). Phenolic composition and antioxidant capacity of yellow and purple-red Ecuadorian cultivars of tree tomato (*Solanum betaceum* Cav.). *Food Chemistry*, 194, 1073–1080. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.07.131>
- Francis, F. J. (1995). Quality as influenced by color. *Food Quality and Preference*, 6(3), 149–155. [https://doi.org/10.1016/0950-3293\(94\)00026-R](https://doi.org/10.1016/0950-3293(94)00026-R)
- Frazier, W., & Westhoff, D. (1993). *Microbiología de los alimentos* (4th ed.). Zaragoza: Acibia, S.A. <https://doi.org/http://148.206.53.84/tesiuami/Libros/L33.pdf>
- García. (2008). Manual de manejo cosecha y poscosecha del tomate de árbol. *Corpoica*.
- Gliszczyńska-Świgło, A., Ciska, E., Pawlak-Lemańska, K., Chmielewski, J., Borkowski, T., & Tyrakowska, B. (2006). Changes in the content of health-promoting compounds and antioxidant activity of broccoli after domestic processing. *Food Additives and Contaminants*, 23(11), 1088–1098. <https://doi.org/10.1080/02652030600887594>
- Gonçalves, E. M., Pinheiro, J., Abreu, M., Brandão, T. R. S., & Silva, C. L. M. (2010). Carrot (*Daucus carota* L.) peroxidase inactivation, phenolic content and physical changes kinetics due to blanching. *Journal of Food Engineering*, 97(4), 574–581. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.12.005>
- Hadidi, M., Ibarz, A., Conde, J., & Pagan, J. (2019). Optimisation of steam blanching on enzymatic activity, color and protein degradation of alfalfa (*Medicago sativa*) to improve some quality characteristics of its edible protein. *Food Chemistry*, 276(October 2018), 591–598. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.10.049>

- Huang, Y., Sheng, J., Yang, F., & Hu, Q. (2007). Effect of enzyme inactivation by microwave and oven heating on preservation quality of green tea. *Journal of Food Engineering*, 78(2), 687–692. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.11.007>
- Huong, N. T. T., Thinh, P., Long, D. V., Long, H. B., Dat, U. T., Phat, D. T., Nhut, P. T., Phuc, T. B., & Nhi, T. T. Y. (2022). Effects of microwave and ultrasound treatment on vitamin C, polyphenols and antioxidant activity of mango (*Mangifera Indica*) during low temperature drying. *Materials Today: Proceedings*, 59, 781–786. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.12.581>
- Hurtado, N. H., Morales, A. L., González-Miret, M. L., Escudero-Gilete, M. L., & Heredia, F. J. (2009). Colour, pH stability and antioxidant activity of anthocyanin rutinosides isolated from tamarillo fruit (*Solanum betaceum* Cav.). *Food Chemistry*, 117(1), 88–93. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.03.081>
- Instituto Colombiano Normas Técnicas (ICONTEC): NTC 4105: Frutas frescas. Tomate de árbol, Especificaciones. Bogotá (Colombia): 1997, 15 p.
- Ismail, A., Marjan, Z. M., & Foong, C. W. (2004). Total antioxidant activity and phenolic content in selected vegetables. *Food Chemistry*, 87(4), 581–586. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.01.010>
- Jabbar, S., Abid, M., Hu, B., Wu, T., Muhammad, M., Lei, S., ... Zeng, X. (2014). Quality of carrot juice as influenced by blanching and sonication treatments. *LWT - Food Science and Technology*, 55(1), 16–21. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.09.007>
- Kutlu, N., Pandiselvam, R., Saka, I., Kamiloglu, A., Sahni, P., & Kothakota, A. (2022). Impact of different microwave treatments on food texture. *Journal of Texture Studies*, 53(6), 709–736. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12635>
- Lee, F. (1958). The Blanching Process. *Advances in Food Research*, 8(C), 63–109. [https://doi.org/10.1016/S0065-2628\(08\)60018-X](https://doi.org/10.1016/S0065-2628(08)60018-X)

- Lisiewska, Jacek, S., Skoczen-Stupska, & Kmiecik, W. (2009). Content of amino acids and the quality of protein in Brussels sprouts, both raw and prepared for consumption. *International Journal of Refrigeration*, 32, 272–278. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2008.05.011>
- Lisiewska, & Kmiecik. (1996). Effects of level of nitrogen fertilizer, processing conditions and period of storage of frozen broccoli and cauliflower on vitamin C retention. *Food Chemistry*, 57(2), 267–270. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(95\)00218-9](https://doi.org/10.1016/0308-8146(95)00218-9)
- MADR. (2018). Estadísticas del cultivo de tomate de árbol. Retrieved October 26, 2018, from <http://www.agronet.gov.co/Documents/TOMATE DE ARBOL2016.pdf>
- MADR, DNP, DANE, & ASOHOFrucol. (2004). I Censo nacional de 10 frutas agroindustriales y promisorias: resultados 2004. Retrieved October 25, 2018, from <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/handle/11348/4459>
- Marx, M., Stuparic, M., Schieber, A., & Carle, R. (2003). Effects of thermal processing on trans–cis-isomerization of  $\beta$ -carotene in carrot juices and carotene-containing preparations. *Food Chemistry*, 83, 609–617. [https://doi.org/doi:10.1016/S0308-8146\(03\)00255-3](https://doi.org/doi:10.1016/S0308-8146(03)00255-3)
- Mukherjee, S., & Chattopadhyay, P. K. (2007). Whirling bed blanching of potato cubes and its effects on product quality. *Journal of Food Engineering*, 78(1), 52–60. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.09.001>
- Nakilcioglu-Taş, E., & Otleş, S. (2018). Degradation kinetics of bioactive compounds and antioxidant capacity of Brussels sprouts during microwave processing. *International Journal of Food Properties*, 20(3), S2798–S2809. <https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1375944>
- Ordóñez, R. M., Vattuone, M. A., & Isla, M. I. (2005). Changes in carbohydrate content and related enzyme activity during *Cyphomandra betacea* (Cav.) Sendtn. fruit maturation. *Postharvest Biology and Technology*, 35(3), 293–301. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2004.09.006>

- OMS. (2016). *Enfermedades No Transmisibles*. Bogotá, Colombia. [https://doi.org/http://www.who.int/nmh/countries/col\\_en.pdf?ua=1](https://doi.org/http://www.who.int/nmh/countries/col_en.pdf?ua=1)
- Oszmiański, J., Wolniak, M., Wojdyło, A., & Wawer, I. (2008). Influence of apple purée preparation and storage on polyphenol contents and antioxidant activity. *Food Chemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.10.003>
- Palma-Orozco, G., Sampedro, J. G., Ortiz-Moreno, A., & Nájera, H. (2012). In situ Inactivation of Polyphenol Oxidase in Mamey Fruit (*Pouteria sapota*) by Microwave Treatment. *Journal of Food Science*, 77(4), 359–365. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2012.02632.x>
- Phungamngoen, C., Chiewchan, N., & Devahastin, S. (2013). Effects of various pretreatments and drying methods on Salmonella resistance and physical properties of cabbage. *Journal of Food Engineering*, 115(2), 237–244. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.10.020>
- Regier, M., Knoerzer, K., & Schubert, H. (2017). Introducing microwave-assisted processing of food. In M. Regier, K. Knoerzer, & H. Schubert (Eds.), *The Microwave Processing of Foods* (Second Edi, pp. 1–22). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100528-6.00001-2>
- Roopa, R. A., Mantelingu, K., & Rangappa, K. S. (2016). Evaluation of peroxidase assay and effect of thermal blanching on sapota and fig fruits. *Chemical Data Collections*, 3–4, 46–57. <https://doi.org/10.1016/j.cdc.2016.07.001>
- Rossi, M., Giussani, E., Morelli, R., Lo Scalzo, R., Nanic, R. C., & Torreggiani, D. (2003). Effect of fruit blanching on phenolics and radical scavenging activity of highbush blueberry juice. *Food Research International*, 36(9–10), 999–1005. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2003.07.002>

- Schubert, H., & Regier, M. (2005). Dielectric properties of foods. In J. Tang (Ed.), *The microwave processing of foods* (primera ed, pp. 22–38). Washington: Woodhead Publishing Limited.
- Severini, C., Baiano, A., De Pilli, T., Carbone, B., & Derossi, A. (2005). Combined treatments of blanching and dehydration: study on potato cubes. *Journal of Food Engineering*, 68, 289–296. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.05.045>
- Stamatopoulos, K., Katsoyannos, E., Chatzilazarou, A., & Konteles, S. J. (2012). Improvement of oleuropein extractability by optimising steam blanching process as pre-treatment of olive leaf extraction via response surface methodology. *Food Chemistry*, 133(2), 344–351. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.01.038>
- Tao, Y. M., Wang, S., Luo, H. L., & Yan, W. W. (2018). Peroxidase from jackfruit: Purification, characterization and thermal inactivation. *International Journal of Biological Macromolecules*, 114, 898–905. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.04.007>
- Tao, Y. M., Yao, L. Y., Qin, Q. Y., & Shen, W. (2013). Purification and characterization of polyphenol oxidase from jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) bulbs. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(51), 12662–12669. <https://doi.org/10.1021/jf403828e>
- The High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition. (2017). *Nutrition and food systems*. Roma.
- Tomadoni, B., Cassani, L., Viacava, G., Del, M., Moreira, R., & Ponce, A. (2017). Effect of ultrasound and storage time on quality attributes of strawberry juice. *Journal of Food Process Engineering*, (November 2016), 1–8. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12533>
- Uddin, M. S., Hawlader, M. N. A., & Zhou, L. (2001). Drying Technology : An kinetics of ascorbic acid degradation in dried kiwifruits during storage. *Drying Technology*, 19(2)(2001), 437–446. <https://doi.org/10.1081/DRT-100102916>

Valdez, J. (2018). *Rangos de conductividad eléctrica en semilla de tomate de árbol (Solanum betaceum Cav.) utilizando el equipo SAD 9000-S*. Universidad Central del Ecuador.

Verbeyst, L., Bogaerts, R., Van der Plancken, I., Hendrickx, M., & Van Loey, A. (2013). Modelling of Vitamin C Degradation during Thermal and High-Pressure Treatments of Red Fruit. *Food and Bioprocess Technology*, 6(4), 1015–1023. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0784-y>

Yadav, N., Saini, P., Kaur, D., Gupta, V. K., Kaundal, B., Kumar, R., & Mishra, P. (2023). Blanching Effect on Nutritionally Important Starch Fractions of Selected Processing Potato cultivars. *Food Chemistry Advances*, 100404. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100404>.

