



# UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO

---

CAMPUS IRAPUATO-SALAMANCA  
DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA VIDA  
DEPARTAMENTO DE ALIMENTOS

**“EVALUACIÓN DE LOS COMPUESTOS BIOACTIVOS Y  
PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DE CÁSCARAS DE TOMATE  
VERDE (*PHYSALIS* SPP.) BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE  
PROCESAMIENTO”**

## TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN ALIMENTOS

PRESENTA:

CAROLINA MALDONADO GARFIAS

DIRECTOR:

DR. ABEL CERÓN GARCÍA

IRAPUATO, GTO., 18 octubre 2018



DR. JOSÉ MARIO MENDOZA CARRILLO,  
DIRECTOR  
DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA VIDA  
Y PRESIDENTE DE LA COMISIÓN DE TITULACIÓN  
P R E S E N T E.

En relación con el Trabajo de Obtención de Grado la C. CAROLINA MALDONADO GARFIAS, nos permitimos comunicar a Usted que el Trabajo de Tesis: "EVALUACIÓN DE LOS COMPUESTOS BIOACTIVOS Y FÍSICOQUÍMICOS DE CÁSCARA DE TOMATE VERDE (*Physalis ssp.*) BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE PROCESAMIENTO", que fue desarrollado bajo la Dirección del Dr. Abel Cerón García, Profesor-Investigador de la División Ciencias de la Vida, ha sido terminado, escrito y revisado por la Dra. María Elena Sosa Morales, y el Dr. César Ozuna López, Profesores-Investigadores de la División de Ciencias de la Vida, y se ha autorizado la impresión del mismo.

Así mismo nos permitimos proponer para la integración del Jurado a los Señores:

DRA. MARÍA ELENA SOSA MORALES  
DR. CÉSAR OZUNA LÓPEZ  
DR. ABEL CERÓN GARCÍA

PRESIDENTE  
SECRETARIO  
VOCAL

ATENTAMENTE  
"LA VERDAD OS HARÁ LIBRES"  
Irapuato, Gto., al 11 de septiembre de 2018.

DR. ABEL CERÓN GARCÍA  
DIRECTOR

DRA. MARÍA ELENA SOSA MORALES  
REVISOR

DR. CÉSAR OZUNA LÓPEZ  
REVISOR

CAMPUS IRAPUATO-SALAMANCA  
DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA VIDA

Dr Hacienda El Copal Km. 9 Carretera Irapuato-Silao  
C.P. 36884 A.P. 301, Irapuato, Gto., México  
Tel. y Fax: (01 462) 604 18 89

[www.irapuato-salamanca.ugto.mx](http://www.irapuato-salamanca.ugto.mx)

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi padre, Miguel Maldonado Bonilla, por la paciencia que me tuvo durante este proceso, así como el apoyo que proporcionó para la realización de este proyecto, y el amor que todos los días me demuestra al animarme a seguir adelante con mis sueños.

Quiero agradecer al Dr. Abel Cerón García, por haberme apoyado desde el primer momento en este proyecto, y por el tiempo que me dedicó para la aclaración de todas las dudas que me surgieron a lo largo de este, por la atención que me brindó, así como también por haberme tomado en cuenta para desarrollar esta tesis. A la Dra. María Elena Sosa Morales y al Dr. César Ozuna López, por el apoyo y tiempo dedicado a que este proyecto saliera adelante, así como a los consejos proporcionados para la misma.

A la Universidad de Guanajuato, institución en la que logré desarrollarme en la carrera de Ingeniería en Alimentos, así como a las personas que son parte de esto y me apoyaron a lo largo de este camino.

## RESUMEN

Para el año 2016, fueron desperdiciados en México aproximadamente 10 millones 431 toneladas de alimentos, lo que equivale a poder alimentar a 7 millones de mexicanos. De los alimentos que se desperdician en nuestro país, las frutas y verduras ocupan casi la mitad (46%), por lo cual, se considera importante aprovechar los residuos alimentarios, especialmente los hortofrutícolas, por el contenido de compuestos bioactivos que pueden utilizarse en la industria alimentaria. Uno de los productos agroalimentarios mayormente consumidos en México es el tomate verde o de cáscara (*Physalis* spp.), utilizado ya sea, cocinado, hervido o asado para la elaboración de diversos platillos, especialmente salsas; esta especie se caracteriza por tener una cáscara o cáliz que envuelve al fruto, la cual es desechada, por no ser considerada de consumo humano. Se han realizado varios estudios al género *Physalis*, específicamente al fruto, y limitados a la cáscara.

Por lo anterior, en este trabajo se analizó la composición fenólica, de flavonoides totales, clorofila total, así como dos propiedades fisicoquímicas existentes en la cáscara de tomate verde (*Physalis* spp.), con la finalidad de obtener más información sobre el potencial nutricional de este residuo. La evaluación inició recolectando los tomates verdes con cáscara, seleccionándose aquéllos que no presentaran daños físicos, como golpes, pudrición, aplastamiento; las muestras fueron divididas en dos lotes, uno para la caracterización fisicoquímica y de biocomponentes; el otro para la aplicación de los procesamientos térmicos, los cuales fueron (T1) asado y (T2) hervido. Se cuantificaron los compuestos fenólicos totales, flavonoides totales y clorofila total por pruebas espectrofotométricas; el color

mediante el colorímetro ColorFlez EZ en escala CIEL \*a\*b\* y el valor de pH se midió directamente con un potenciómetro, estos análisis se realizaron tanto a las cáscaras, como a la pulpa y a ambos tejidos (cáscara-pulpa). Se encontraron cantidades altas de compuestos fenólicos totales, flavonoides totales y clorofila total en la cáscara ( $10.027 \pm 0.871$  mg EAG/g PF;  $189.358 \pm 22.601$  mg EQ/ g PF;  $0.13419 \pm 0.002$  mg / g PF, respectivamente) en comparación con la pulpa, en donde se pudo observar, que existe diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre ambos tejidos ( $0.274 \pm 0.007$  mg EAG/ g PF;  $0.601 \pm 0.127$  mg EQ/ g PF;  $0.00962 \pm 0.0005$  mg/ g PF, respectivamente). Así también, con la aplicación de los tratamientos asado y hervido existe diferencia significativa de los biocomponentes entre la cáscara y la pulpa. Se observó un aumento de los compuestos fenólicos totales y flavonoides totales en la cáscara, con la aplicación del tratamiento de asado ( $15.791 \pm 0.674$  mg EAG/ g PF;  $319.706 \pm 2.678$  mg EQ/ g PF, respectivamente); la clorofila se vio disminuida con la aplicación de los dos tratamientos ( $0.09144 \pm 0.007$  mg/g PF (T1);  $0.02262 \pm 0.001$  mg/ g PF (T2)). Al observar que el proceso de asado no afectó de manera negativa los compuestos fenólicos totales y los flavonoides totales, al contrario, los aumentaba; se determinó que este fuera el mejor tratamiento para extraer los biocomponentes. Es relevante señalar que la cáscara del género *Physalis*, por el alto contenido de composición fenólica, brinda beneficios a la salud, de igual forma, el gran aprovechamiento que se puede tener de la misma en la industria alimentaria.

**Palabras clave:** residuos, cáscara, compuestos bioactivos, asado.

# ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
2.	ANTECEDENTES .....	2
2.1	Desperdicio de alimentos.....	2
2.1.1	Definición de pérdida y desperdicio de alimentos. ....	3
2.1.2	Causas del desperdicio de alimentos. ....	4
2.1.3	Plan de acción de la comunidad de Estados Latinoamericanos y Caribeños para la seguridad alimentaria, nutrición y erradicación del hambre 2025 .....	6
2.1.4	Cruzada Nacional contra el Hambre en México.....	7
2.2	Aprovechamiento de subproductos agroalimentarios.....	10
2.3	Género <i>Physalis</i> .....	12
2.3.1	Producción de <i>Physalis</i> a nivel nacional. ....	13
2.3.2	Usos de <i>Physalis</i> . ....	13
2.4	Compuestos bioactivos en alimentos.....	14
2.4.1	Compuestos fenólicos .....	16
2.4.2	Flavonoides totales.....	16
2.4.3	Clorofila.....	17
2.4.4	Efectos del tratamiento térmicos en los compuestos bioactivos.....	17
2.4.5	Compuestos bioactivos en <i>Physalis</i> . ....	19
2.5	Propiedades fisicoquímicas .....	20
2.5.1	pH.....	21
2.5.2	Color. ....	21
2.6	Justificación.....	22
3	OBJETIVOS .....	23
3.1	Objetivo general.....	23
3.2	Objetivos específicos .....	23
4	HIPÓTESIS.....	23
5	MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
5.1	Obtención de la materia prima.....	24
5.2	Tratamientos térmicos por evaluar.....	24
5.2.1	Fresco (testigo). ....	25
5.2.2	Asado.....	25
5.2.3	Hervido.....	25

<b>5.3</b>	<b>Determinación de los compuestos bioactivos.....</b>	<b>26</b>
5.3.1	Compuestos fenólicos.....	26
5.3.2	Flavonoides totales.....	27
5.3.3	Clorofila.....	28
<b>5.4</b>	<b>Evaluación de propiedades fisicoquímicas.....</b>	<b>29</b>
5.4.1	Determinación de pH.....	29
5.4.2	Determinación de color.....	30
<b>5.5</b>	<b>Estimación de las mejores condiciones de tratamiento térmico.....</b>	<b>30</b>
<b>5.6</b>	<b>Análisis estadístico.....</b>	<b>31</b>
<b>6</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIONES.....</b>	<b>32</b>
<b>6.1</b>	<b>Determinación de compuestos bioactivos.....</b>	<b>32</b>
6.1.1	Compuestos fenólicos.....	32
6.1.2	Flavonoides totales.....	39
6.1.3	Clorofila.....	44
<b>6.2</b>	<b>Propiedades fisicoquímicas.....</b>	<b>47</b>
6.2.1	pH.....	47
6.2.2	Color.....	48
<b>6.3</b>	<b>Compuestos bioactivos bajo diferentes condiciones del tratamiento.....</b>	<b>50</b>
6.3.1	Compuestos fenólicos totales en cáscara asada.....	51
6.3.2	Flavonoides totales en cáscara asada.....	53
<b>7</b>	<b>CONCLUSIÓN.....</b>	<b>56</b>
<b>8.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>57</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>CUADRO 1.</b> DESPERDICIOS DE ALIMENTOS EN LA ETAPA DE DISTRIBUCIÓN.....	5
<b>CUADRO 2.</b> DESPERDICIOS DE ALIMENTOS EN LAS ETAPAS DE VENTA Y CONSUMO.....	5
<b>CUADRO 3.</b> MEDIDAS PARA LA REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS Y DESPERDICIOS DE ALIMENTOS DEL PLAN DE ACCIÓN DE LA CELAC, PARA LA SEGURIDAD ALIMENTARIA, NUTRICIÓN Y ERRADICACIÓN DEL HAMBRE 2025 .....	7
<b>CUADRO 4.</b> USO ALIMENTICIO/MEDICINAL DEL TOMATE DE CÁSCARA.....	14
<b>CUADRO 5.</b> CUANTIFICACIÓN DE CLOROFILA TOTAL DE TOMATE VERDE BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE PROCESAMIENTO.....	45
<b>CUADRO 6.</b> CUANTIFICACIÓN DE PARÁMETROS DE COLOR Y PH EN MUESTRAS DE TOMATE VERDE BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE PROCESAMIENTO.....	49



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 1.</b> CADENA DEL SUMINISTRO DE ALIMENTOS PARA CONSUMO HUMANO (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA). .....	3
<b>FIGURA 2.</b> PORCENTAJE DE DESPERDICIO DE DIFERENTES ALIMENTOS QUE SE CONSUMEN EN MÉXICO (SEDESOL, INFORMATIVO 02). .....	8
<b>FIGURA 3.</b> CRECIMIENTO DE LA CÁSCARA DE <i>PHYSALIS</i> , VISTA FRONTAL (MARTÍNEZ, 1998). .....	12
<b>FIGURA 4.</b> CLASIFICACIÓN DE ALGUNOS COMPUESTOS FITOQUÍMICOS EN VEGETALES (CHASQUIBOL, 2003). .....	15
<b>FIGURA 5.</b> CONTENIDO DE COMPUESTOS FENÓLICOS TOTALES EN LAS MUESTRAS DE TEJIDO DE TOMATE DE CÁSCARA. ....	32
<b>FIGURA 6.</b> CONTENIDO DE FLAVONOIDES TOTALES EN LAS MUESTRAS DE TEJIDO DE TOMATE DE CÁSCARA. ....	39
<b>FIGURA 7.</b> MUESTRAS DE CÁSCARA BAJO LAS DIFERENTES CONDICIONES DE ASADO (0 MIN, FRESCA; 1 MIN, BAJA; 2 MIN, MEDIA Y 3 MIN, INTENSA) .....	51
<b>FIGURA 8.</b> CONTENIDO DE LOS COMPUESTOS FENÓLICOS TOTALES, EN CÁSCARA DE TOMATE VERDE, BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE PROCESAMIENTO, NULO (0 MIN), BAJO (1 MIN), MEDIO (2 MIN) E INTENSO (3 MIN), RESPECTIVAMENTE. ....	52
<b>FIGURA 9.</b> CONTENIDO DE FLAVONOIDES TOTALES, EN CÁSCARA DE TOMATE VERDE, BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE PROCESAMIENTO, NULO (0 MIN), BAJO (1 MIN), MEDIO (2 MIN) E INTENSO (3 MIN), RESPECTIVAMENTE. ....	54

## 1. INTRODUCCIÓN

Los desperdicios alimentarios son un hecho de alta importancia en la actualidad, no sólo en México, sino en el mundo, lo que ha llevado a que se efectúen diversos estudios sobre el aprovechamiento de residuos alimentarios, especialmente los productos agrícolas, ya que son de gran interés por la composición nutricional que se encuentran en ellos, y su contribución a la industria alimentaria. En nuestro país, el tomate verde (*Physalis* spp.), es un fruto altamente consumido, utilizado para la elaboración de diversos platillos, especialmente, las salsas (crudas, asadas o hervidas), esta especie se caracteriza por tener una cáscara, que cubre al fruto sirviendo, así como una capa protectora para el mismo siendo que cuando el tomate alcanza la madurez ésta se rompe (Martínez, 1998). La cáscara del tomate verde ocupa el 4% del peso total del fruto; y por no ser considerada de consumo humano, es desechada al momento de utilizar el mismo, incluso, en algunos lugares podemos encontrar en venta el tomate verde ya sin cáscara. Existen varios estudios, en los cuales se analiza sólo el fruto de esta especie (*Physalis* spp.), y muy pocos evalúan la cáscara, sin darle tanta importancia a ésta. Por ser un residuo común, resulta relevante el estudio de compuestos bioactivos en la cáscara, así como el efecto que puedan tener bajo diferentes condiciones de tratamiento térmico.

## **2. ANTECEDENTES**

### **2.1 Desperdicio de alimentos**

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), cada año alrededor del mundo 1.3 billones de toneladas de alimentos se pierden o desperdician, eso es una tercera parte de los alimentos producidos para consumo humano. Aproximadamente el 45% de las pérdidas de los alimentos, corresponde al grupo de frutas y vegetales (FAO, 2015).

Las pérdidas y desperdicio de los alimentos (PDA) agudizan la situación de pobreza, y afectan el desarrollo económico y el medioambiente. No hay una causa general, pues éstas dependen de las condiciones específicas y situación local de cada país; están influenciadas por las elecciones tomadas en la producción de cultivos, la infraestructura, capacidades internas, cadenas comerciales, canales de distribución, así como por los hábitos de compras de los consumidores, las tendencias de consumo que haya en los alimentos, y claro «las prácticas de uso de alimentos». Las PDA, deberían mantenerse al mínimo en cualquier país, no importando el desarrollo económico y/o madurez de sus sistemas (FAO, 2012). Este es un tema que afecta a todo el mundo, especialmente a los países con economías emergentes, sin embargo, también en los países con mayor crecimiento económico, existe este problema, no tanto en la pérdida, sino en el desperdicio de los productos destinados a consumo humano (FAO, 2015).

### 2.1.1 Definición de pérdida y desperdicio de alimentos.

La definición de pérdidas de alimentos, según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), es la disminución de la masa de alimentos comestibles, en la parte de la cadena de suministro que involucra específicamente a los alimentos para consumo humano. El desperdicio de alimentos es la pérdida de alimentos que ocurre al final de la cadena alimentaria, es decir, está más relacionado con el comportamiento de los vendedores minoristas y los consumidores. Las pérdidas y desperdicios pueden ser intencionales o accidentales, no obstante, ambas llevan a una menor disponibilidad de alimentos para el consumo humano, y se pueden presentar a lo largo de toda la cadena del suministro de alimentos (Eguillor-Recabarren, 2017) (Figura 1).



**Figura 1.** Cadena del suministro de alimentos para consumo humano (Fuente: elaboración propia).

### **2.1.2 Causas del desperdicio de alimentos.**

Las causas que originan el desperdicio de los alimentos pueden muchas y variadas, esto va a depender de la cadena alimentaria de cada producto.

En los países de ingresos altos y medianos se desperdicia de manera desmesurada, es decir, se tiran incluso alimentos que todavía son adecuados para el consumo humano, mientras que, en los países de ingresos bajos, la mayoría de los alimentos, se pierden en las etapas de la cadena de suministro de alimentos que van de la producción al procesamiento (FAO, 2012).

Los desperdicios de alimentos ocurren a lo largo de la cadena de suministro para consumo humano, pero, se pueden observar en mayor medida, en las etapas de distribución, venta y consumo. En la etapa de distribución, en general, los desperdicios son originados, por la falta de gestión y buen manejo de los alimentos, propiciando el desperdicio de estos, como se puede observar en el Cuadro 1, en donde se mencionan las causas más comunes de desperdicio en dicha etapa.

En las etapas de venta y consumo, el problema es la falta de información del consumidor, así como también los patrones sociales que existen, y las tendencias y promociones que existen en los lugares donde se consiguen los productos, esto se puede observar en el Cuadro 2.

**Cuadro 1.** Desperdicios de alimentos en la etapa de distribución (Eguillor-Recabarren, 2017).

CAUSAS	EJEMPLOS ASOCIADOS
Fallas en el sistema de mercado y comercialización.	Mercados mayoristas, supermercados, vendedores, minoristas, mercados tradicionales.
Alimentos vencidos, mal etiquetados.	
Daños físicos y químicos sufridos durante el transporte.	Contaminación, deshidratación, manchado, pudrición, aplastamiento, golpes, entre otros.
Fechas de caducidad mal entendidas.	
Gestión inadecuada de stocks.	
Falta de coordinación entre la oferta de los productores y la demanda de los consumidores.	Exceso de productos aptos para el consumo humano que se terminan desperdiciando.

**Cuadro 2.** Desperdicios de alimentos en las etapas de venta y consumo (Eguillor-Recabarren, 2017).

CAUSAS	EJEMPLOS ASOCIADOS
Compras inadecuadas.	Ofertas y promociones, impulsando a comprar más cantidad de la necesaria.
Eliminación de alimentos que se descomponen y/o sobras, alimentos mal preparados.	
Etiquetados confusos.	Confusión entre la fecha de consumo preferente y la caducidad.
Envases inadecuados en forma y/o tamaño.	
Estándares de calidad cuestionables.	
La publicidad, patrones culturales y falta de planificación de acuerdo con las necesidades de las familias.	

Se debe de tomar en cuenta la falta de información en las sociedades actuales, sobre el aprovechamiento de los residuos de los alimentos que se consumen. Al igual que eliminar, la actitud de «tirar es más barato que utilizar o reutilizar» de los países industrializados, ya que esto provoca un mayor desperdicio de alimentos (FAO, 2012).

### **2.1.3 Plan de acción de la comunidad de Estados Latinoamericanos y Caribeños para la seguridad alimentaria, nutrición y erradicación del hambre 2025**

En enero de 2015, se aprobó en Costa Rica el “Plan de Acción de la Comunidad de Estados Latinoamericanos y Caribeños (CELAC) para la Seguridad Alimentaria, Nutrición y Erradicación del Hambre 2025”. Este plan tiene como objetivo principal: «Contribuir a alcanzar resultados concretos que se traduzcan en mejoras significativas en la calidad de vida de los pueblos, dirigidas a la erradicación de la pobreza, en especial de la pobreza extrema, que garanticen la seguridad alimentaria y la nutrición, con enfoque de género y respetando la “diversidad de hábitos alimentarios”, para afrontar los desafíos de la seguridad alimentaria y la nutrición con vistas a la erradicación del hambre y al disfrute del Derecho a la Alimentación, en especial de todos los sectores en situación de vulnerabilidad» (FAO, 2015). Agregando medidas a nivel América Latina y Caribe, para reducir las PDA, las cuales se pueden observar en el Cuadro 3.

**Cuadro 3.** Medidas para la reducción de Pérdidas y Desperdicios de Alimentos del Plan de Acción de la CELAC, para la Seguridad Alimentaria, Nutrición y Erradicación del Hambre 2025 (FAO, 2015).

---

MEDIDAS PROPUESTAS POR LA CELAC 2015

---

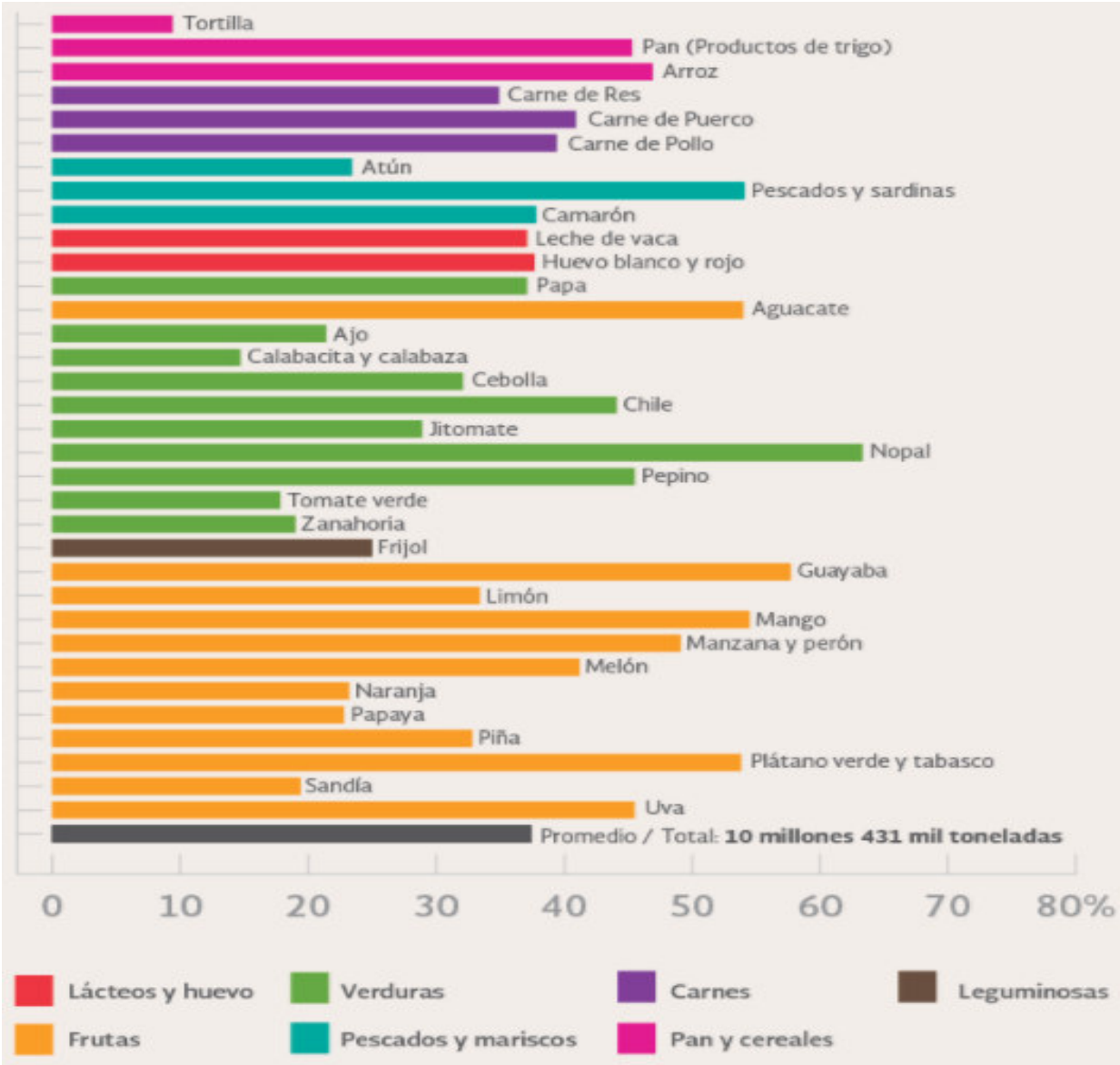
- Generación de campañas de información y comunicación para la sensibilización a cada uno de los actores de la cadena alimentaria y los consumidores, con relación a mejores prácticas para evitar las PDA.
  - Incluir la temática de la Seguridad Alimentaria y la forma de evitar las PDA en todos los niveles educativos, especialmente aquellos relacionados directamente con los alimentos.
  - Promover el desarrollo y facilitar el acceso al equipamiento y nuevas tecnologías/ innovación que contribuyan a reducir las pérdidas de alimentos en todas las etapas de la cadena.
  - Desarrollar y capacitar procesos y estrategias de conservación de los productos de la cosecha. Teniendo en consideración formas de uso y consumo no tradicionales de los productos.
  - Promover políticas y programas que fortalezcan la inocuidad y calidad de los alimentos provenientes de la agricultura familiar.
  - Promover la reducción de las PDA que suelen suponer la mejora de las infraestructuras, generando acciones de concientización en estos sectores (transporte, energía e instalaciones de mercado).
- 

#### **2.1.4 Cruzada Nacional contra el Hambre en México.**

En nuestro país, se creó la Cruzada Nacional contra el Hambre (2013), la cual tiene como uno de sus objetivos la disminución de las pérdidas y el desperdicio de los alimentos. Derivado de este programa, se encontró que, aproximadamente, en el 2013, diez millones 431 mil toneladas de alimentos al año son desperdiciados, con estos alimentos desperdiciados se podían alimentar a 7.01 millones de



mexicanos que padecen hambre (SEDESOL, Informativo 02), obteniendo datos del desperdicio que existe en algunos alimentos en México, los cuales se observan en la Figura 2.



**Figura 2.** Porcentaje de desperdicio de diferentes alimentos que se consumen en México (SEDESOL, Informativo 02).

Sin embargo, a pesar de los trabajos realizados por el gobierno, para el año 2016, la cantidad de alimentos desperdiciados en el país aumentó a 19 millones de toneladas al año (SEDESOL, 2016). En el año 2016, se realizó una sesión ordinaria del Consejo Nacional de la Cruzada contra el Hambre, en donde se reportó que casi la mitad de los alimentos desperdiciados son frutas y verduras (46%), cereales (29%) y productos de origen animal (25%) (SEDESOL, 2016), siendo estos resultados parecidos a los obtenidos, aproximadamente, en los inicios de dicha Cruzada Nacional.

#### **2.1.4.1 Principales causas de las PDA en el país.**

De acuerdo con los estudios realizados por la Cruzada Nacional contra el Hambre, algunas causas de las PDA son la falta de certificaciones, falta de estándares de calidad, malas prácticas en el manejo de insumos y productos, sistemas inadecuados de transporte, distribución y almacenaje, uso de empaques y embalajes inadecuados y el personal no capacitado. En cuanto al área de consumo, las principales causas son la sobremadurez de los productos, las compras excesivas, las cuales provocan que, al tener una mayor cantidad de alimentos en el hogar, no sean consumidos y a la larga se echen a perder, el manejo inadecuado de la mercancía, producto maltratado o en mal estado, y la mezcla de producto en buen estado con producto no apto para consumo (FAO, 2015).

Es por esto, que se deben de empezar a implementar las medidas que se proponen en el Plan de Acción de la CELAC, para la Seguridad Alimentaria, Nutrición y Erradicación del Hambre 2025; pero aparte de ello, es necesario tener un “Plan” que aborde el tema del aprovechamiento de estos desperdicios alimentarios. Muchos de los desperdicios que existen, son subproductos o residuos de los alimentos, es decir, productos secundarios, que, según la Real Academia Española, “en cualquier proceso industrial, es el producto que se obtiene, además del principal, y que suele ser de menor valor que este”. La mayor parte de los alimentos, si no es que todos, tienen subproductos, en los productos de origen animal se pueden encontrar los huesos, la sangre, cabezas, piel, entre otros. En los productos de origen vegetal, existen las pulpas, el germen, las cáscaras, principalmente, y que gran parte de estos subproductos, son desechados por no ser considerados de consumo humano, sin embargo, actualmente se están implementando ideas para aprovecharlos, y a partir de ellos, crear nuevos productos.

## **2.2 Aprovechamiento de subproductos agroalimentarios**

Los subproductos alimentarios son estudiados, por varias razones, por ejemplo, son residuos que llegan a afectar el medio ambiente, ya que, por no ser considerados de consumo “tradicional”, son desechados, y estos residuos al acumularse causan un impacto ambiental. En el caso de los residuos de la industria cárnica, llegan a ser una preocupación sanitaria, por su capacidad patogénica a nivel microbiano, y por lo ya mencionado previamente en este documento. Es por

ello, que, se han realizado gran cantidad de investigaciones acerca de un buen uso y/o aprovechamiento de estos residuos, que van desde la industria de los cárnicos hasta la industria hortofrutícola; es necesario mencionar que la industria de los alimentos es una de las industrias que genera mayor cantidad de residuos, así como también el consumo de grandes cantidades de agua (Restrepo-Gallego, 2006).

En cuanto a la industria agroalimentaria, existen muchos estudios realizados a los residuos de los productos hortofrutícolas, ya que hay bastante interés en los compuestos naturales que existen en sus cáscaras, semillas, pulpa, hojas, entre otros (Paz-Órnelas, 2009; Ros, 2012).

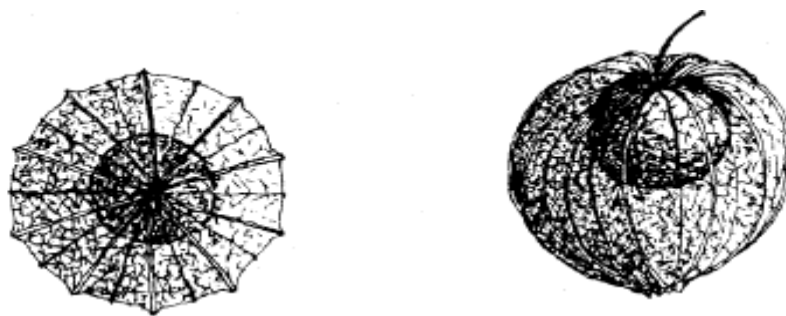
Existen datos indicando que a nivel mundial las pérdidas postcosecha son de hasta 50% en una gran variedad de productos hortofrutícolas (Paz-Órnelas, 2009). Los residuos comprenden desechos de los procesos mecánicos de separación y preparación, consumo, como semillas, hojas, tallos y cáscaras, además que hay productos (fruta/verdura) que son descartados totalmente por defectos físicos (golpes, raspaduras, etc.) o biológicos (pudrición, inmadurez) y en general, no son empleados como alimento para animales (Restrepo-Gallego, 2006).

A partir de diversas revisiones a los desechos generados por la industria alimentaria, se ha definido que muchos de estos residuos mantienen altos contenidos de vitaminas, minerales, proteínas y fibras (Gil-Garzón, 2011), así como, compuestos bioactivos, que pueden ser usados como aditivos naturales para enriquecer la capacidad antioxidante y también que muchos tienen poder antimicrobiano (Ayala-Zavala, 2010). Por lo tanto, estos aspectos relacionados con los residuos de origen agroalimentario adquieren un mayor interés porque son

productos de alto valor y su recuperación es económicamente atractiva, es un campo prometedor que requiere de una investigación interdisciplinaria del técnico, químico e ingeniero en alimentos, nutricionista y toxicólogo (Sonja-Djilas, 2009).

### 2.3 Género *Physalis*

El género *Physalis* pertenece a la familia *Solanaceae*, que se encuentra ampliamente distribuida de manera natural en diversos ambientes terrestres. (Cobaleda-Velasco, 2013). Este género es fácil de reconocer (Figura 3), por tener un cáliz que envuelve al fruto (Martínez, 1998). El género *Physalis* incluye alrededor de 90 especies en el mundo; se encuentra distribuido desde Estados Unidos, México y Centro América hasta Sudamérica y las Antillas, con pocos representantes nativos del Viejo Mundo (Bonilla-Betancur, 2008). La mayor diversidad de *Physalis* se encuentra en México, con más de 70 especies, la mayoría endémicas (Martínez, 1998).



**Figura 3.** Crecimiento de la cáscara de *Physalis*, vista frontal (Martínez, 1998).

### **2.3.1 Producción de *Physalis* a nivel nacional.**

A nivel nacional, el tomate verde o de cáscara, alcanzó una producción de 387,600 toneladas (superficie: 22,900 ha), mientras que los principales productores de este fruto fueron Sinaloa, Nayarit, Sonora, Jalisco, Puebla, Michoacán y Guanajuato, este último con una producción de 13,304 toneladas (1033 ha) de acuerdo con datos reportados por SIAP-SAGARPA (2017) para el corte de noviembre de 2017.

### **2.3.2 Usos de *Physalis*.**

Se ha documentado que el tomate de cáscara se utilizó en la alimentación del pueblo mexicano desde tiempos precolombinos, y actualmente, los frutos del tomate se mantienen en la dieta mexicana como un ingrediente muy popular para la elaboración de platillos, principalmente, en la elaboración de salsas (Santiaguillo-Hernández, 2009 a). Por lo general, para la preparación de diferentes guisados o salsas, estos frutos son procesados, ya sea, cocinados, hervidos o asados (Santiaguillo-Hernández, 2009 b), mientras que el cáliz o cáscara es desechada.

La mayor parte de las especies de *Physalis*, tienen usos alimenticios, pero también medicinales, que incluyen desde el fruto hasta la raíz de la planta, como se muestra en el Cuadro 4.

Es un fruto que ha sido estudiado por sus propiedades medicinales, además de ser muy utilizado en México. El tomate verde tiene gran cantidad de nutrimentos,

encontrándose con niveles altos en fibra, minerales, proteína lípidos y azúcares, además de compuestos bioactivos (Vargas-Ponce, 2015).

<b>Parte</b>	<b>Uso Alimenticio</b>	<b>Uso Medicinal</b>
Cáliz	Mejora la elasticidad de la masa de buñuelos, esponjar tamales, ablandador de carnes y sazonador de guisados (infusión)	Evita la caída de cabello, atenúa molestias de hemorroides, padecimientos de vías respiratorias y diabetes (infusión)
Hojas		Dolor de cabeza y estómago, diurético (infusión).
Raíz		Contra flatulencia (carminativa), diarrea, cólicos por indigestión y trastornos gastro-hepáticos, diurética, laxante (infusión).
Fruto	Salsas, ensaladas, guisados.	Dolor de cabeza, oídos, estómago (infusión). Paperas, pústulas, inflamación (untado). Para infecciones de garganta, vías urinarias, nubes de los ojos, salpullido o irritación de la piel y diarrea (jugo).

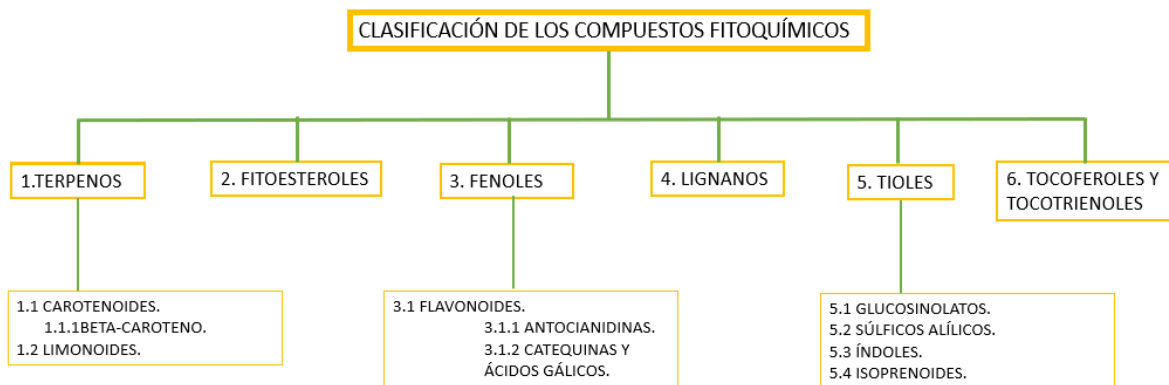
**Cuadro 4.** Uso alimenticio/medicinal del tomate de cáscara (Santiagoullo-Hernández, 2009 a)

## 2.4 Compuestos bioactivos en alimentos

Los alimentos están formados por un gran número de sustancias, las cuales se clasifican primordialmente en tres tipos: nutrientes, compuestos indeseables o anti-nutricionales, y compuestos bioactivos (los cuales pueden ser nutrientes o compuestos que le confieran características sensoriales al alimento) (Urango-Marchena, 2009). Los alimentos además de aportar nutrientes contienen una serie de sustancias no nutritivas que intervienen en el metabolismo secundario de los vegetales, como sustancias colorantes (pigmentos), aromáticas, reguladoras del

crecimiento, protectores naturales frente a parásitos y otros, que no tienen una función nutricional definida. Sin embargo, pueden tener un impacto significativo en el curso de alguna enfermedad, esos son los fitoquímicos o sustancias bioactivas (Palencia-Mendoza, 1999). Según Herrera-Chalé (2014) se considera componente bioactivo de un alimento, a aquél que aporta un beneficio a la salud, más allá de los considerarlos como nutrición básica. Estos componentes se encuentran en general en pequeñas cantidades en productos de origen vegetal y en alimentos ricos en lípidos.

El término “fitoquímico” (Figura 4) constituye la evolución más reciente del término “alimentos funcionales” y enfatiza las fuentes vegetales de la mayoría de los compuestos preventivos de enfermedades (Chasquibol, 2003).



**Figura 4.** Clasificación de algunos compuestos fitoquímicos en vegetales (Chasquibol, 2003).



### **2.4.1 Compuestos fenólicos**

Los compuestos fenólicos son sustancias esenciales en el crecimiento y reproducción de las plantas; ya que actúan como protectores frente a patógenos, como mecanismos de defensa en condiciones de estrés, infecciones, radiaciones UV, entre otros (Muñoz-Jáuregui, 2007). Las plantas pueden contener fenoles simples, ácidos fenólicos, flavonoides, entre otros; el nivel de fenoles en las fuentes vegetales depende de factores como, las técnicas de cultivo, las condiciones de crecimiento, el proceso de maduración, cosecha, así como también el procesamiento y almacenamiento (Naczk, 2006).

### **2.4.2 Flavonoides totales**

Los flavonoides totales son sustancias fenólicas, es decir, también son metabolitos secundarios de las plantas, estos son pigmentos naturales presentes en los vegetales, que protegen al organismo del daño producido por agentes oxidantes, como rayos UV, contaminación ambiental, sustancias químicas presentes en los alimentos, entre otras cosas. Los flavonoides se encuentran en frutas, verduras, semillas y flores, así como productos elaborados como cerveza, vino, té verde y negro, y también pueden utilizarse en forma de suplementos nutricionales. Los flavonoides se ubican principalmente en las hojas y en el exterior de las plantas (Martínez-Flórez, 2002; Pietta, 2000).

### **2.4.3 Clorofila**

Las clorofilas son los pigmentos naturales más abundantes presentes en las plantas, debe su color verde a su capacidad de absorber las fracciones roja y azul de la luz solar, la concentración de clorofila es muy variable entre especies, y depende entre otros factores, en el estado nutricional, edad e historia lumínica previa de la planta. En la actualidad estos pigmentos son de gran importancia comercial, ya que son utilizados como colorantes naturales y como antioxidantes (Manrique, 2003; Streit, 2005).

### **2.4.4 Efectos del tratamiento térmicos en los compuestos bioactivos**

En la industria alimentaria, gran parte de la materia prima es sometida a diferentes tratamientos térmicos (pasteurización, esterilización comercial, escaldado, freído, entre otros), esto con el fin de destruir microorganismos y enzimas alimentarias, para preservar y extender la vida útil de los alimentos (Enachescu-Dauthy, 1995; Awuah, 2007). Sin embargo, el uso de tratamientos térmicos sobre los alimentos tiene efectos adversos en los mismos, existiendo con ello pérdidas de distintos nutrientes en los alimentos, tales como las vitaminas, proteínas, minerales, así como modificaciones en el color (reacciones de naturaleza no enzimática), pérdida de compuestos aromáticos (Awuah, 2007).

En el caso de los compuestos bioactivos, se han realizado varios estudios, en donde se encontró la disminución de éstos después de haber aplicado algún tratamiento térmico en diferentes alimentos ya procesados, tal es el caso del puré

de tomate (Pérez-Conesa, 2009), jugo de tomate verde (Rabie, 2014) y de manzana (De Paepe, 2014), quienes reportaron disminución en compuestos fenólicos termolábiles, como ácido cafeico, ácido quínico, quercetina; al igual que ácido ascórbico, y folatos, entre otros. También se reportaron disminución en frutas y verduras, como chícharos, coles, brócoli, papas, zanahoria, espinaca (Puupponen-Pimiä, 2003) y ciruela (Turturică, 2016); con descensos en la cantidad de compuestos bioactivos (ácido fólico, vitamina C, compuestos fenólicos, esteroides, y una disminución en la actividad antioxidante), así como también cambios en la textura y coloración de los productos.

Sin embargo, en otros estudios se han encontrado resultados contrarios a este comportamiento, en donde se observaron en algunos casos que no se afectaban de manera considerable los compuestos bioactivos, mientras que otros se apreció que el contenido de éstos aumentaba (carotenoides, poder antioxidante, compuestos fenólicos, ácido gálico, fitoesteroides, entre otros), dichos estudios se realizaron en hongos (Choi, 2006), chiles (Ornelas-Paz, 2013), cebolla (Rohn, 2007), y otros frutos, así como también en productos ya procesados como puré de calabaza (García-Parra, 2016), batidos de vegetales (Castillejo, 2016) y salvado de arroz (Sung-Min, 2014).

Dado este comportamiento, resulta de gran interés el investigar más sobre el efecto térmico que puede existir sobre los compuestos bioactivos de los alimentos, específicamente en tomate verde, así mismo, es de gran relevancia el buscar el mejor tratamiento térmico a los alimentos para que se eviten pérdidas de dichos

compuestos e inclusive, poder aumentarlos, para ofrecer así productos diferenciados al consumidor.

#### **2.4.5 Compuestos bioactivos en *Physalis*.**

Se han realizado varios estudios para determinar los compuestos bioactivos del género *Physalis*, al igual que su capacidad de inhibir el crecimiento microbiano; en varios estudios se han encontrado una gran cantidad de compuestos bioactivos, como son alcaloides, flavonoides, glucósidos, fenoles, saponinas, esteroides, taninos, terpenoides, witanólidos, carotenoides (Drost-Karbowska, 1993; González-Mendoza, 2010; Fawzy-Ramadan, 2011; Nathiya-Dorcus, 2012). En cuanto a la capacidad antimicrobiana que tiene *Physalis*, se ha observado que su efecto antimicrobiano es contra *Staphylococcus aureus*, *Klebsiella pneumoniae*, *Escherichia coli*, y en cuanto a la actividad antifúngica su efecto ha sido documentado contra *Rhizopus Stolinifer*, *Aspergillus niger* y *Penicillium chrysogenum* (Nathiya-Dorcus, 2012; Khan, 2016).

La mayor parte de los estudios realizados en tomate verde, han sido en el fruto, y algunos cuantos, en las hojas y flores, sin embargo, sólo en los estudios de actividad antimicrobiana han analizado la cáscara. Sin embargo, dichas investigaciones no abordan el estudio de compuestos bioactivos existentes en este residuo.

## **2.5 Propiedades fisicoquímicas**

De manera general, las propiedades fisicoquímicas permiten diferenciar una sustancia de otra, y en el caso de los alimentos, un alimento de otro. Por un lado, las propiedades químicas describen el comportamiento de una sustancia cuando experimenta cambios en su composición; mientras que las propiedades físicas se determinan sin que ocurran cambios en la composición de la materia (Cheftel, 1989).

Algunas de las propiedades fisicoquímicas de los alimentos, íntimamente relacionadas con la calidad son las propiedades organolépticas (color, olor, sabor, textura), valor nutricional (contenido de proteínas, vitaminas, ácidos grasos, sales minerales, aminoácidos, fibra dietética, grasa), humedad, pH, acidez, actividad de agua, densidad, punto de congelación y ebullición, entre otros, y dependiendo del alimento van a variar dichas propiedades (Gasull, 2016).

En el presente trabajo se hará enfoque sólo en el pH y el color, para las propiedades fisicoquímicas de la cáscara del tomate verde. Ambas características resultan de gran importancia al momento de caracterizar una muestra, la cual puede ser empleada como un ingrediente en la elaboración de productos alimenticios a los que se les desea dar valor agregado.

### **2.5.1 pH.**

El pH (potencial hidrógeno) es una medida de la acidez o alcalinidad de una solución. Los alimentos se clasifican de la misma manera (ácidos o alcalinos) pero, de acuerdo con el efecto que tienen en el organismo humano después de la digestión y no de acuerdo con el pH que tienen en sí mismos (NCAGR, 2018). Se sabe que tanto la temperatura, humedad, así como el pH son variables importantes para la conservación de los alimentos; la mayoría de los alimentos presentan de pH en un rango entre 2 y 7, a medida que el pH disminuye, la resistencia al calor de los microorganismos se reduce y, si el pH es suficientemente bajo, puede causar la coagulación de las proteínas celulares inactivando los microbios presentes (Barreiro, 2006).

### **2.5.2 Color.**

El color es la sensación producida por los rayos luminosos que impresionan los órganos visuales, y que va a depender de la longitud de onda; es una propiedad de la luz transmitida, reflejada o emitida por un objeto. El color en productos hortofrutícolas es, probablemente, el aspecto de calidad más importante, ya que los consumidores han desarrollado una relación entre el color y la calidad de productos específicos (Kays, 1999). Por lo anterior, se han desarrollado diferentes equipos y modelos cromáticos para cuantificar y estandarizar el color (Yam, 2004; Wu, 2013).

## 2.6 Justificación

“El campo mexicano, produce al año 31.4 millones de toneladas de alimento, sin embargo 6.3 millones son desperdiciadas, si tan solo se rescatarán la mitad de esos alimentos, se podría atender a los 3.4 millones de mexicanos en situación de desnutrición, indica la Asociación Mexicana de Bancos de Alimentos.” (Forbes, 2013).

Existe un amplio número de compuestos, como vitaminas, minerales, fibra dietética, enzimas, compuestos bioactivos en los alimentos, teniéndose un gran interés en estos últimos, ya que existen diversos estudios en que se han reportado beneficios a la salud con los alimentos que contienen estos metabolitos secundarios, como prevención de enfermedades cardiovasculares, intestinales, cáncer, e inclusive síndrome de Alzheimer (Ayala-Zavala, 2010; Lutz, 2013; Martínez-Navarrete, 2008; Sergent, 2010; Tanaka, 2012; Urango-Marchena, 2009).

Muchos de los alimentos que se utilizan generan subproductos, los cuales son desechados por no considerarse de consumo humano. Sin embargo, ello representa una pérdida de nutrientes, como los compuestos bioactivos, que se encuentran en estos residuos y/o subproductos. Debido a que no se han encontrado estudios sobre los compuestos bioactivos en la cáscara del tomate verde (*Physalis* spp.), en esto proyecto se hace un enfoque a la evaluación de dichos compuestos, para un mejor aprovechamiento de este residuo.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo general**

Determinar el contenido de compuestos bioactivos y las propiedades fisicoquímicas en cáscara de tomate verde y evaluar el efecto del tipo de tratamiento térmico al que éste residuo es sometido.

#### **3.2 Objetivos específicos**

- Analizar el contenido de compuestos bioactivos en cáscara de tomate verde, tratada térmicamente.
- Caracterizar fisicoquímicamente cambios asociados al tratamiento térmico de la cáscara de tomate verde.
- Establecer las condiciones de tratamiento térmico en cáscara de tomate verde donde se preserven en mayor medida sus atributos de calidad.

### **4 HIPÓTESIS**

La cáscara de tomate es un tejido con potencial de aprovechamiento, debido a su contenido de compuestos bioactivos, en comparación con la pulpa porción generalmente consumida de este fruto.



## **5 MATERIALES Y MÉTODOS**

### **5.1 Obtención de la materia prima**

Los tomates verdes con cáscara (*Physalis* spp.) fueron adquiridos en un mercado local de Irapuato, Gto. Los productos fueron transportados al Laboratorio de Propiedades Físicas de los Alimentos, en la Universidad de Guanajuato. A partir de 1 kg de tomates fueron seleccionados aquellos frutos que no presentaron defecto alguno (golpes, heridas o lesiones y/o pudrición). Posteriormente, los frutos se dividieron en dos lotes, uno de ellos para su caracterización fisicoquímica y de compuestos bioactivos, mientras que el lote restante fue reservado para la posterior aplicación de los tratamientos térmicos.

### **5.2 Tratamientos térmicos por evaluar**

Las muestras de tomate verde fueron separadas en dos lotes, frutos sin cáscara y la cáscara sola, cada lote fue perfectamente lavado para eliminar tierra de las muestras; luego de esto, se manejaron tres tratamientos para evaluar el impacto de diferentes métodos de tratamiento térmico convencional, los cuales fueron, fresco (testigo), asado (T1) y hervido (T2).

### **5.2.1 Fresco (testigo).**

El primer lote se conformó de frutos de tomate verde y la cáscara crudos, es decir, sin someterlos al tratamiento térmico; esto se hizo para tener muestras testigo, con las cuales se hicieron las posteriores comparaciones con las muestras que se sometieron a distintas condiciones de tratamiento térmico.

### **5.2.2 Asado.**

El segundo esquema o condición experimental consistió en asar 100 g de tomates sin cáscara, hasta que los tomates estuvieran mayormente asados (13-15 min; 95-105 °C, aproximadamente), las cáscaras correspondientes a 100 g de producto fresco, todo esto utilizando un sartén de teflón y una parrilla eléctrica (Thermo, Estados Unidos) de 600 W.

### **5.2.3 Hervido.**

El tercer esquema fue hirviendo (1 L de agua purificada, 5 min; 98 °C) 100 g de tomates sin cáscara, así como, las cáscaras correspondientes a 100 g de producto fresco.

## 5.3 Determinación de los compuestos bioactivos

### 5.3.1 Compuestos fenólicos.

Para cada una de las condiciones experimentales evaluadas, se determinaron los compuestos fenólicos totales (Slinkard y Singleton, 1977), de las muestras de tomate verde sin cáscara, la cáscara y el tomate verde junto con la cáscara. De cada una de las muestras se pesó 1 g como máximo para muestras frescas y 0.1-1 g para muestras secas, se hicieron 4 submuestras por cada tejido, y se registraron los pesos. Cada una de las muestras se pulverizó en el mortero con pistilo, haciéndose una molienda rápida sin solvente. Para las muestras de tomate verde se vertieron 5 mL de metanol al 80% y para las de cáscaras fueron 10 mL, puesto que la cáscara al ser una muestra seca absorbía completamente el solvente; luego de agregar el solvente se continuó con una pulverización rápida de la muestra, para después pasar la muestra/solvente, a un tubo falcón de 15 mL, cada tubo fue cubierto con papel aluminio para mantener en oscuridad las muestras, y en agitación constante durante 1 h. Mientras tanto, se preparó el Reactivo de Folin-Ciocalteu (diluido 1:4), en función al número de muestras que se utilizaron por análisis. Después de agitar las muestras, se pasó el extracto en microtubos de 1.7 mL, llenando hasta 1.5 mL. Cada microtubo se pasó a la microcentrífuga (Eppendorf, Alemania) para la clarificación del extracto (14,000 rpm / 10 min), posterior a esto, las muestras se analizaron por triplicado; colocándose en tubos de ensayo 200  $\mu$ L del extracto, ya clarificado, 200  $\mu$ L del Reactivo de Folin-Ciocalteu y 2 mL de carbonato de sodio al 0.5%, teniendo los tubos listos se dejaron reposar las

muestras en oscuridad por 1 h. Terminando el tiempo de reposo, se determinaron los compuestos fenólicos por espectrofotometría a una longitud de onda de 765 nm, en el espectrofotómetro UV-Visible Lambda (Perkin Elmer, Estados Unidos). Para la cuantificación de los compuestos fenólicos totales se preparó una curva estándar de ácido gálico (1 mg/mL) y los resultados fueron expresados en mg equivalentes de ácido gálico/g de peso fresco (mg EAG/ g PF).

### **5.3.2 Flavonoides totales.**

El contenido de flavonoides totales (Khanam *et al.*, 2012) fue determinado en muestras de tomate verde sin cáscara, la cáscara y el tomate verde con la cáscara, cada muestra fue pesada antes de comenzar y los pesos fueron registrados, aproximadamente 1 g para muestra fresca y de 0.1 a 1 g en muestras secas (cáscara sola), ya teniendo el peso de las muestras, se pulverizaron en seco en el mortero con pistilo, hasta que quedará lo más homogéneo posible, luego de ello, se agregaron 8 mL de metanol al 80%, y se continuó con una pulverización rápida; luego se pasaron las muestras con el solvente del mortero a tubos de borosilicato, se aseguró que las tapas de los tubos estuvieran perfectamente cerradas, para evitar la pérdida del extracto, estos tubos se colocaron en un vaso de precipitado de 100 mL que contenía agua hirviendo, y las muestras se dejaron en ebullición por una hora, agitándolas ligeramente cada 5 min. Al terminar el tiempo de esta hidrólisis, las muestras se enfriaron en el chorro de agua de la llave. Posteriormente, se procedió a clarificar las muestras, utilizando microtubos de 1.7 mL por muestra, y se centrifugaron en la micro-centrifuga Eppendorf (14,000 rpm) por 10 min.

Cada una de las reacciones fueron realizadas por triplicado, así que se colocaron 3 tubos de ensayo para cada muestra, en cada tubo se colocaron 0.25 mL del extracto ya clarificado, 0.50 mL de cloruro de aluminio al 10%, y se agitó ligeramente, después se colocaron 0.50 mL de acetato de potasio 0.1 M, 0.8 mL de metanol (80%), y 1.4 mL de agua destilada, la absorbancia de cada muestra fue medida por espectrofotometría a una longitud de onda de 415 nm, con el espectrofotómetro UV-Visible Lambda (Perkin Elmer, Estados Unidos). Para la cuantificación de los flavonoides totales se preparó una curva estándar de quercetina (1 mg/mL) y los resultados fueron expresados en mg de equivalentes de quercetina/g de muestra (mg EQ/g PF).

### **5.3.3 Clorofila**

Se determinaron los niveles de clorofila total (Ziegler y Egle, 1965) usando acetona al 80% como solvente de extracción. Las muestras de tomate verde sin cáscara, la cáscara sola, así como el tomate verde junto con la cáscara, fueron pesados y se registraron dichos pesos. Antes de empezar con el análisis, se pesaron 4 muestras de cada una de las partes a evaluar (tomate sin cáscara/ cáscara sola). Las muestras ya pesadas, se pulverizaron en el mortero con pistilo, luego se vertieron 10 mL de acetona al 80%. Al agregar la acetona, se siguió pulverizando hasta que la muestra quedara lo más homogénea posible. Terminando esto, se procedió a vaciar el extracto de las muestras del mortero a microtubos de 1.7 mL, llenando hasta 1.5 mL, al tener los 4 extractos listos en los microtubos, estos fueron centrifugados a 14,000 rpm por 5 min. Pasando el tiempo de centrifugación

las muestras se midieron en el espectrofotómetro UV-Visible modelo Lambda (Perkin Elmer, Estados Unidos). La medición espectrofotométrica fue a 647 y 664 nm, y con ayuda de los coeficientes de extinción molar correspondientes (Clorofila A,  $\epsilon=9.3$  y Clorofila B,  $\epsilon=47.5$ ) se estimó el contenido de clorofila total. Los resultados fueron reportados como clorofila total (mg clorofila/g PF).

## **5.4 Evaluación de propiedades fisicoquímicas**

### **5.4.1 Determinación de pH.**

Para determinar el valor de pH en las muestras de tomate verde sin cáscara, cáscara y tomate verde con cáscara, se homogeneizaron en la licuadora (Oster, México) 1 g de cada muestra (tomate, cáscara y ambos) junto con 10 mL de agua destilada, después las muestras se pasaron a tubos falcón de 15 mL, permitiendo que los sólidos presentes en la muestra sedimentaran y posteriormente, se midió directamente el valor de pH con un potenciómetro de inmersión (Conductronic, México) previamente calibrado con soluciones de referencia de pH 4.0 y 7.0. Esta determinación se realizó por triplicado.

#### **5.4.2 Determinación de color.**

La estimación del color fue realizada mediante el uso del colorímetro ColorFlez EZ (Hunter-Lab, Estados Unidos) en la escala CIEL\*a\*b\* (ángulo de observación 10°, observante D65; lo anterior simula condiciones de percepción de color con luz de día y viendo el objeto de frente), midiendo directamente las diferentes muestras que fueron homogeneizadas previamente mediante una molienda en licuadora. Esta determinación se realizó por quintuplicado para cada muestra analizada.

#### **5.5 Estimación de las mejores condiciones de tratamiento térmico**

Una vez identificado el efecto sobre los compuestos bioactivos que ejercieron los diferentes tratamientos térmicos, es decir, hervidos y asados, en los tejidos de tomate analizados (pulpa, cáscara y ambos), se procedió a determinar el efecto de la duración del tratamiento térmico a diferentes tiempos (1, 2 y 3 min), para con ello encontrar la condición ideal de tratamiento de las diferentes muestras analizadas.

## **5.6 Análisis estadístico**

Cada una de las condiciones experimentales se realizaron por triplicado, los valores obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) de una vía con un nivel de confiabilidad de 95%. Así mismo, para estimar los efectos de los diferentes tratamientos, así como el tiempo de tratamiento al que fueron sometidas las muestras evaluadas, se aplicó una prueba de comparación de medias por el método de Tukey ( $\alpha \leq 0.05$ ) con ayuda del paquete estadístico Statgraphics Centurion (StatPoint Inc., Estados Unidos).

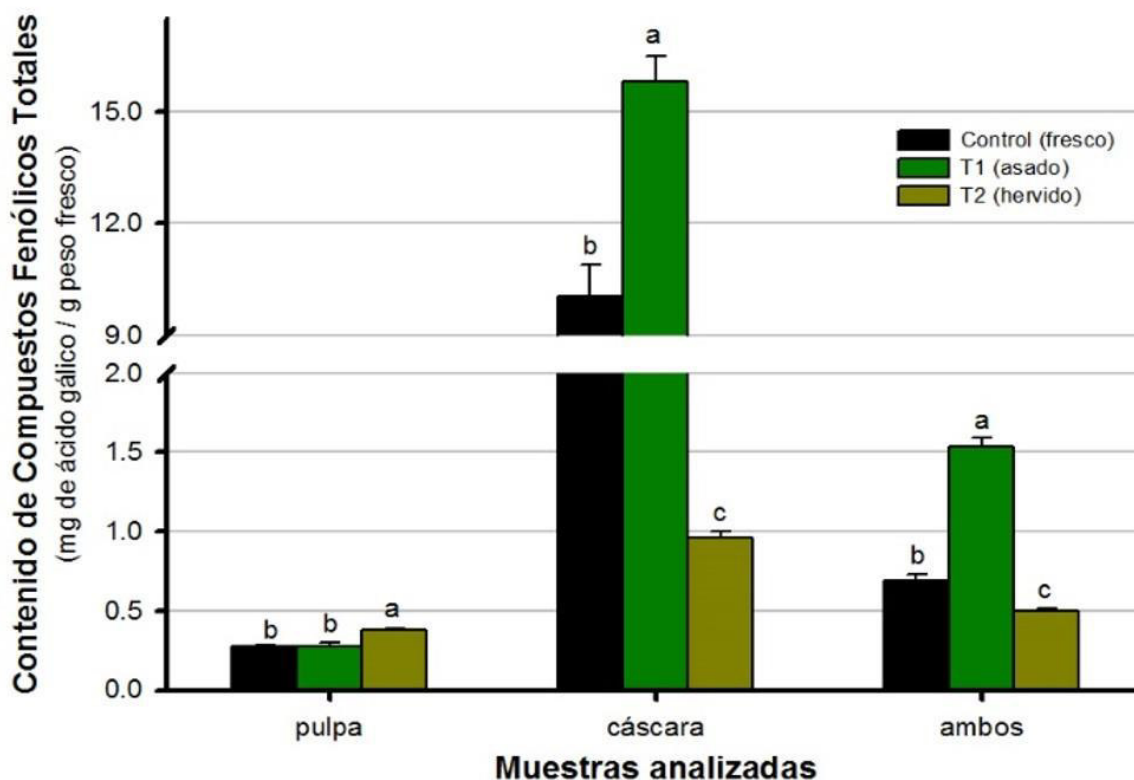


## 6 RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 6.1 Determinación de compuestos bioactivos

#### 6.1.1 Compuestos fenólicos.

En el caso de la evaluación de compuestos fenólicos en los tejidos analizados (pulpa, cáscara y ambos), los resultados obtenidos muestran diferencias significativas para cada uno de los tejidos bajo estudio (**Figura 5**).



**Figura 5.** Contenido de Compuestos Fenólicos Totales en las muestras de tejido de tomate de cáscara. Valores promedio  $\pm$  desviación estándar,  $n=3$ . Letras diferentes para cada muestra analizada indica diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ).

En el caso de la pulpa de tomate, la muestra control o testigo contiene  $0.274 \pm 0.007$  mg EAG/ g PF de la muestra. Este valor de compuestos fenólicos totales en la pulpa fresca (control) resulta menor a las encontradas en *Physalis angulata* L. (Cobaleda-Velasco, 2017) en donde el fruto analizado, bajo diferentes etapas de crecimiento, a los 57 días de edad contenía 1.22 mg EAG/ g PF de la muestra, mientras que a los 115 días de edad el contenido era de 1.10 mg EAG/ g PF de la muestra. Se debe considerar que las plantas de *Physalis angulata* fueron cultivadas en invernadero, en dónde eran regadas semanalmente, y el análisis se realizó aún cuando los frutos no estaban maduros y cada muestra se molió en nitrógeno líquido. Con estos resultados se puede inferir que la edad del fruto influye en la cantidad de compuestos fenólicos.

Por otro lado, un estudio realizado a diferentes genotipos de *Physalis ixocarpa*, las concentraciones de compuestos fenólicos totales presentaron grandes variaciones, teniendo así el registro de mayor cantidad de compuestos fenólicos con 10.08 mg EAG/ g de PF y una cantidad mínima de 5.3 mg EAG/ g de PF en la pulpa (González-Mendoza, 2010). Medina-Medrano (2015), analizó diferentes especies de *Physalis*, las muestras en su evaluación fueron tejidos molidos de diferentes partes de la planta, el máximo valor de concentración obtenido en la pulpa fue 86.51 mg EAG/ g tejido seco, evidenciando con esto el papel que juega el alto contenido de humedad de este tipo de frutos. La composición fenólica de las frutas está determinada por factores genéticos y ambientales, pero puede modificarse mediante reacciones oxidativas durante el procesamiento y el almacenamiento (Robards, 1999).

En cuanto a la cáscara del tomate fresca se puede observar una mayor cantidad de compuestos fenólicos en este tipo de tejido ( $10.027 \pm 0.871$  mg EAG/g PF) en comparación del tejido de pulpa ( $0.274 \pm 0.007$  mg EAG/ g PF), obteniendo así, diferencia significativa en el contenido de compuestos fenólicos totales, pudiendo deberse esto a que la cáscara, al tener mayor cantidad de estos compuestos ofrece una mayor protección del fruto ante los factores externos que puedan dañarlo. En el estudio realizado por Cobaleda-Velasco (2017), se encontró que la cáscara fresca, a 57 días de crecimiento de la planta, contenía  $4.87 \pm 0.09$  mg EAG/ g PF, siendo el segundo tejido con mayor cantidad de compuestos fenólicos totales, mientras que el tejido con mayor contenido de fenoles totales en el estudio referido fue la flor al mismo tiempo de crecimiento con  $6.50 \pm 1.26$  mg EAG/g PF. Cobaleda-Velasco (2018), realizó otro análisis en hojas, tallos y raíces de *P. angulata*, en el cual la hoja resultó el tejido con mayor cantidad de fenoles totales ( $7.05$  mg EAG/g PF) a los 25 días de crecimiento de la planta. Estos resultados difieren a los reportados en la presente investigación, donde es posible destacar el contenido elevado de compuestos fenólicos totales en cáscara de tomate verde, el principal residuo generado durante el procesamiento de este fruto.

En otro estudio realizado a tejidos secos de distintas especies de *Physalis* (Medina-Medrano,2015), se encontró que en la cáscara de la especie *P. subulata* el máximo contenido de compuestos fenólicos totales fue de  $176.58 \pm 12.55$  mg EAG/ g PS, y la mínima cantidad en *P. angulata* con  $33.18 \pm 1.43$  mg EAG/ g PS. Lo anterior, ratifica el efecto que tiene el contenido de humedad presente en este tipo de muestras.

En el caso de las muestras de cáscara y pulpa juntas; las muestras sin aplicación de tratamiento térmico (testigo) sigue teniendo mayor cantidad de compuestos fenólicos totales ( $0.693 \pm 0.035$  mg EAG/g PF) que en la muestra fresca de la pulpa ( $0.274 \pm 0.007$  mg EAG/g PF), pero menor cantidad que la muestra de cáscara fresca ( $10.027 \pm 0.871$  mg EAG/g PF) (Figura 5). En nueces Baru (*Dipteryx alata*), sin cáscara, la cantidad de compuestos fenólicos totales fue menor ( $250.4 \pm 8.7$  mg EAG/ 100 g) que las nueces con cáscara ( $568.9 \pm 28.7$  mg EAG/ 100 g) (Bonilla-Lemos, 2012). Lo anterior, evidencia el efecto que presenta la presencia de la cáscara en diversos frutos. Como se mencionó anteriormente, los compuestos fenólicos sirven, entre otras cosas, a la resistencia de enfermedades de las plantas (Muñoz-Jáuregui, 2007). Por lo tanto, las cáscaras al presentar diferentes cantidades de compuestos fenólicos y en general, compuestos bioactivos, van a servir de protección de la fruta contra enfermedades y plagas.

Por otro lado, al someter la pulpa de tomate verde al tratamiento de asado, la cantidad de compuestos fenólicos no se ve afectada, ya que no se observó aumento o disminución de este biocompuesto (Figura 5). Este comportamiento ha sido documentado en frutos de jitomate (*Lycopersicon esculentum* L.), en donde el contenido fenólico total no presentó ningún efecto al ser sometido a tratamiento térmico ( $88^\circ\text{C}$ ); por lo que los jitomates procesados térmicamente podrían retener sus compuestos fenólicos totales, y pueden liberar más ácidos fenólicos debido al deterioro de los componentes celulares (pared celular, específicamente). Así mismo, la temperatura de procesamiento ( $88^\circ\text{C}$ ) inactiva las enzimas que destruyen estos ácidos fenólicos, evitando la pérdida de los mismos (Dewanto, 2002). Este

mismo efecto se considera que está presentándose en los tomates verdes evaluados en esta investigación.

En el caso de la cáscara de tomate verde al aplicar el tratamiento de asado, se presentó un aumento significativo ( $p < 0.05$ ) en la concentración de los compuestos fenólicos ( $15.791 \pm 0.674$  mg EAG/ g PF). Es importante recalcar que la naturaleza del tejido evaluado es diferente al encontrado en la pulpa de tomate; mientras el primero presenta un mayor contenido de compuestos lignocelulósicos, el segundo presenta una cantidad considerable de humedad. En el caso de distintos chiles mexicanos, ocurrió el mismo efecto al someterse a tratamientos térmicos como el asado, un aumento significativo en la cantidad de compuestos fenólicos totales (ej. Jalapeño verde crudo  $1609.4 \pm 53$   $\mu$ g EAG/ g PF, asado el jalapeño aumentó su cantidad de CFT a  $3746.3 \pm 197.5$   $\mu$ g EAG/ g PF) (Ornelas-Paz, 2010). Los incrementos en el contenido de CFT pueden atribuirse a la deshidratación de la matriz de los alimentos procesados térmicamente y a una mejor extracción de los compuestos fenólicos en los alimentos (Huffman, 1978; Harrison, 1985). Así también se puede deber este aumento a la alteración de algunas moléculas, incluidas las proteínas que están asociadas con los compuestos fenólicos, lo que resulta en un aumento de los niveles de los compuestos fenólicos libres (Bonilla-Lemos, 2012).

Mientras tanto, al someter ambos tejidos de tomate verde (pulpa + cáscara) al tratamiento de asado ocurre un aumento significativo de los compuestos fenólicos ( $1.535 \pm 0.057$  mg EAG/ g PF). A pesar de esto, es importante considerar el efecto que ejerce la presencia de humedad en la pulpa de tomate verde, lo cual provoca

un efecto de dilución de los compuestos fenólicos totales evaluados en el presente estudio.

En las muestras sometidas a hervido se presentó un cambio positivo de estos compuestos, aumentando significativamente su concentración en los tejidos evaluados ( $p < 0.05$ ). Tendencias similares fueron encontradas en chiles en donde aumentó de 1344.8 mg EAG/100 g PF a 1538.4 mg EAG/100 g PF; en el caso de los ejotes el aumento fue de 355.3 a 405.2 mg EAG/100 g PF y la espinaca de 1274.8 a 1291.8 mg EAG/100 g PF (Turkmen, 2005). Valores similares a los encontrados en el presente trabajo de investigación, particularmente cuando el tomate verde es hervido.

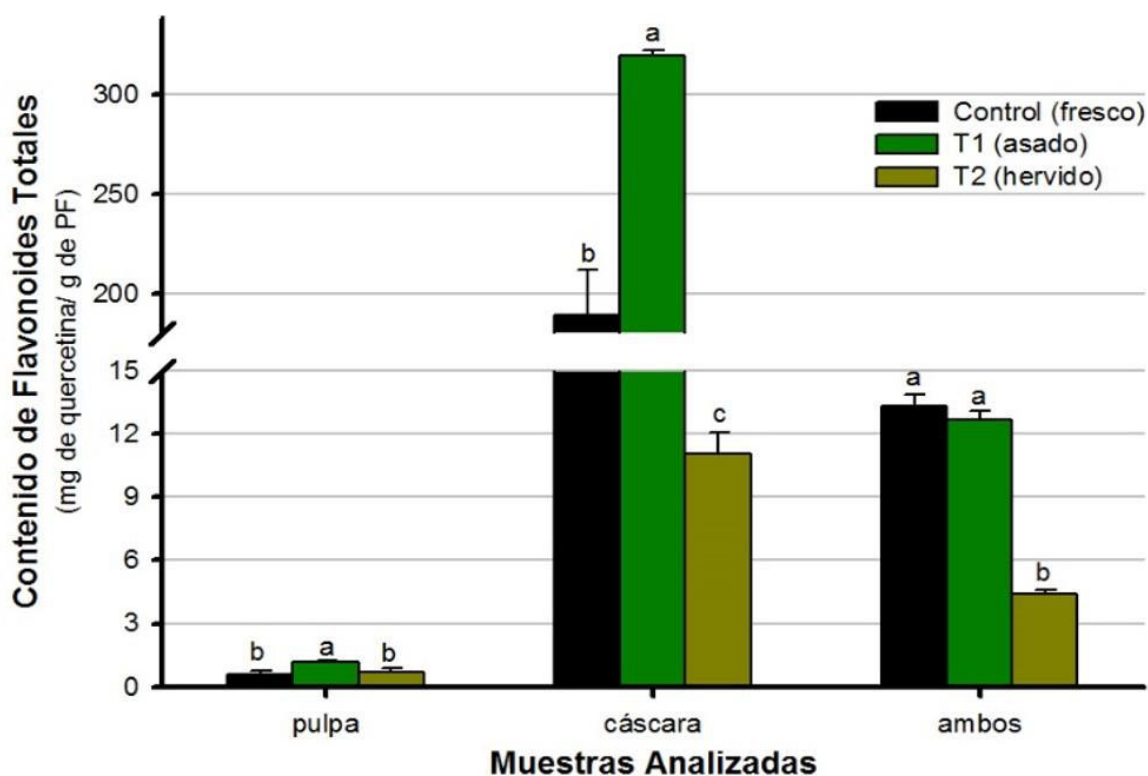
Estos incrementos en la cantidad de compuestos fenólicos se han atribuido a la inactivación de enzimas que se encargan de destruir a los fenoles y a la capacidad extractiva mejorada de los compuestos fenólicos de los alimentos (Ornelas-Paz, 2010). En el caso de la cáscara al aplicar el tratamiento de hervido los compuestos fenólicos disminuyen significativamente en comparación a la muestra de cáscara fresca. Diversos estudios, en donde se procesaron térmicamente algunos alimentos hortofrutícolas, encontraron que al hervir diversos alimentos, la ebullición ocasionaba una reducción en la cantidad de compuestos fenólicos totales, y otros compuestos bioactivos, esta disminución en la cantidad de fenoles totales se atribuye principalmente a la filtración de los compuestos solubles en el agua de ebullición (lixiviación), así como también que algunos de los compuestos son muy sensibles al tratamiento térmico, incluso en períodos cortos

sometidos a tratamientos térmicos (Ismail, 2004; Sahlin, 2004; Turkmen, 2005; Xu, 2008; Mazzeo, 2011, Ornelas-Paz, 2013).

Se puede determinar que el aplicar el tratamiento de asado a los diferentes tejidos no se presenta efecto negativo en los mismos, es más, en el caso de la cáscara, el contenido de compuestos fenólicos totales aumenta de  $10.027 \pm 0.87$  hasta  $15.791 \pm 0.67$  mg EAG/g PF, aunque, al aplicar el tratamiento de hervido la cantidad de compuestos fenólicos se ve disminuida en gran parte ( $0.958 \pm 0.041$  mg EAG/g PF). Caso contrario al ocurrido en el caso de la pulpa en donde se observa un aumento significativo ( $p \leq 0.05$ ) en la cantidad de estos compuestos al aplicar el hervido. Sin embargo, con el asado no existió ningún cambio significativo. Para el caso de las muestras de cáscara y pulpa juntas, el comportamiento de esta muestra compuesta fue similar al de las muestras de cáscara sola, obteniéndose mayores cantidades de compuestos fenólicos en las muestras frescas de los tejidos juntos ( $0.693 \pm 0.03$  mg EAG/g PF) que en la de la pulpa sola ( $0.274 \pm 0.007$  mg EAG/g PF), y al aplicar asado y hervido, el efecto fue parecido al de la cáscara, aumentando de manera significativa con el asado ( $1.535 \pm 0.05$  mg EAG/g PF) y disminuyéndose con el hervido ( $0.495 \pm 0.02$  mg EAG/g PF), sin embargo las cantidades de compuestos fenólicos siguen siendo mayores a las encontradas en las muestras de pulpa sola.

### 6.1.2 Flavonoides totales.

En el caso de los flavonoides totales, si se comparan contra las tendencias encontradas para los resultados de compuestos fenólicos totales, se observa un efecto distinto en la pulpa del tomate de cáscara (Figura 6).



**Figura 6.** Contenido de Flavonoides Totales en las muestras de tejido de tomate de cáscara. Valores promedio  $\pm$  desviación estándar,  $n=3$ . Letras diferentes para cada muestra analizada indica diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ).



En el caso de la muestra fresca de pulpa, se puede notar que la cantidad de flavonoides totales es baja ( $0.601 \pm 0.127$  mg EQ/ g PF). En el estudio realizado por Cobaleda-Velasco (2017), no se encontraron flavonoides totales en los frutos y cálices en frutos maduros de *P. angulata*, pero, sí se encontraron concentraciones de flavonoides en las hojas, tallos y flores de esta especie, en todas las etapas de crecimiento evaluadas.

Otro estudio realizado a tejidos de diferentes especies de *Physalis*, sí se encontraron flavonoides, y, las mayores cantidades de flavonoides ( $5.462 \pm 0.033$  mg EQ/ g PF) en *P. subulata*, y los menores ( $1.392 \pm 0.007$  mg EQ/ g PF) en *P. patula* (Medina-Medrano, 2015). Así también en la especie *P. alkekengi*, los contenidos de flavonoides extraídos con agua caliente fueron mucho mayores a los encontrados en este proyecto ( $98.62 \pm 2.83$   $\mu$ g EQ/ mg), y, al usar etanol como solvente de extracción los flavonoides en esta especie aumentaron a  $120.02 \pm 2.55$   $\mu$ g EQ/ mg (Díaz, 2012).

En diferentes tipos de chiles, en donde se analizaron compuestos bioactivos (fenoles totales/ flavonoides totales) con diferentes solventes de extracción se observó que los mejores resultados fueron con metanol, en donde, en el caso del chile habanero y de jalapeño el contenido de flavonoides fue de  $24.9 \pm 4.2$   $\mu$ g/ g de extracto,  $32.4 \pm 5.3$   $\mu$ g/ g de extracto, respectivamente, en comparación al hexano en donde no se detectaron flavonoides (Bae, 2012). Cabe resaltar que, para esta investigación, el solvente utilizado para la extracción y determinación de compuestos bioactivos fue metanol.

Para el tejido de interés, que es la cáscara de tomate verde, los resultados obtenidos durante la estimación de flavonoides totales fueron similares a la tendencia encontrada en los de compuestos fenólicos totales; en el caso de la muestra control, se encontró mayor cantidad de flavonoides ( $189.358 \pm 22.601$  mg EQ/ g PF) que en el control de pulpa de tomate ( $0.601 \pm 0.127$  mg EQ/ g PF). Cobelda-Velasco (2017) reportó que no encontró presencia de flavonoides totales en frutos inmaduros de *Physalis*, mientras que en los cálices la concentración de este biocomponente fue de  $14.33 \pm 1.48$   $\mu\text{g/ g PF}$ . Así mismo, otros tejidos como, flores, hojas y tallos resultaron con contenidos menores a los encontrados en este estudio ( $9.44 \pm 1.16$ ,  $23.17 \pm 1.28$ ,  $0.89 \pm 0.08$   $\mu\text{g/ g PF}$ , respectivamente).

Estos altos niveles de flavonoides en las cáscaras, hojas y tallos pueden asociarse tanto a procesos de diferenciación celular requeridos para el desarrollo como la foto-protección y defensa que las plantas necesitan en las etapas más vulnerables, es por ello que, al ser tejidos que protegen al fruto, van a tener mayor abundancia de estos compuestos que el fruto (Agati, 2013; Santiago, 2015). En diversas especies de *Physalis* se encontraron contenidos distintos de compuestos bioactivos en la cáscara dependiendo la especie, obteniéndose en la cáscara de la especie de *P. subulata* el mayor contenido de flavonoides totales ( $39.633 \pm 0.079$  mg EQ/ g PS) y a *P. solanácea* con el menor contenido ( $3.678 \pm 0.049$  mg EQ/ g PS) (Medina-Medrano, 2015). Las diferencias entre los tejidos pueden ser resultados de la regulación diferencial de la expresión génica en las células bien diferenciadas de cada parte del fruto (Medina-Medrano, 2015). En el caso correspondiente al análisis de los tejidos de tomate verde de manera conjunta, la

cantidad de flavonoides totales en la muestra control siguió siendo mayor ( $13.360 \pm 0.535$  mg EQ/ g PF) que la pulpa fresca ( $0.601 \pm 0.127$  mg EQ/ g PF), pero menor a la muestra fresca de cáscara ( $189.358 \pm 22.601$  mg EQ/ g PF) (Figura 6). Esto puede ser a causa de la disolución de estos compuestos por la humedad presente en la pulpa.

Al aplicar el tratamiento de asado tanto en la pulpa como en la cáscara, se observa un pequeño aumento en la cantidad de dichos compuestos (en pulpa) y un aumento significativo (en cáscara) ( $p \leq 0.05$ ) llegando a más de 300 mg EQ/ g PF (Figura 6), contrastando estos resultados con los obtenidos en un estudio realizado a jugo de manzana, en el cual la temperatura fue subiendo, y con ello también la cantidad de flavonoides totales, en el caso de la menor temperatura manejada ( $21^\circ\text{C}$ ) estos compuestos en el jugo de manzana fue de  $0.69 \pm 0.03$  mg/mL, y al llegar a la última temperatura señalada los flavonoides aumentaron a  $0.87 \pm 0.02$  mg/mL (Gerard, 2004). Así también en cebolla que fue sometida a diferentes procesamientos térmicos, en los cuales, en dos de ellos (horneado/ freído) tuvo un incremento en el contenido de flavonoides totales del 25% (Lombard, 2005).

El aumento en los compuestos puede ser a causa de una mejor extracción de los mismos, así como la sensibilidad de los flavonoides existentes en cada fruto y/o tejido (Ioannou, 2012). En el caso del análisis los tejidos de manera conjunta, con este mismo tratamiento, se observa que no hubo diferencia significativa en la cantidad de dichos compuestos ( $p > 0.05$ ). Sin embargo, en la mayor parte de los procesos de asado, existen pérdidas de los flavonoides totales. Asando hojas de lima a  $160^\circ\text{C}$  por 1 min, disminuyó de  $10.52 \pm 0.03$  a  $9.51 \pm 0.12$  mg ER/g

(Ratseewoo, 2016). Así mismo, en trigo, asado a 120°C por 20 min, provocó una disminución del 12% de los flavonoides totales (Zhang, 2010) y asado a 160°C, 30 min, tiene una pérdida de 16% (Zielinski, 2009). Se puede determinar con esto que la disponibilidad de los flavonoides totales en los alimentos, van a tener un efecto con los procesos térmicos y van a depender de la magnitud del proceso, así como de la duración de este (Ioannou, 2012).

Con el tratamiento de hervido en la pulpa, los flavonoides cuantificados no presentan diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) en contraste con la muestra control, es decir, no se ven afectados por el tratamiento, como en el caso reportado del jitomate en donde el contenido de flavonoides totales no se vio afectado después de aplicar un tratamiento térmico (88°C), esto puede ser por la retención de estos compuestos, así como también fenoles totales y actividad antioxidante (Dewanto, 2002). En el caso de la cáscara, al aplicar el tratamiento de hervido, los flavonoides se vieron afectados negativamente, disminuyendo su contenido ( $11.086 \pm 1.001$  mg EQ/ g PF) en contraste con la muestra fresca ( $189.358 \pm 22.601$  mg EQ/ g PF), de igual manera en los tejidos de manera conjunta, se puede observar una notable disminución de estos ( $p \leq 0.05$ ), en las literaturas revisadas, los efectos del hervido en distintas matrices alimentarias tuvieron el mismo efecto que en este estudio, es decir, disminuyeron.

En el caso de las hojas de lima, el hervir a 80°C por 10 min, provocó una disminución de 9.3% en los flavonoides totales (Ratseewoo, 2016). Así también el hervir en 250 mL por 15 min jitomates y cebollas, provocó una pérdida de 18% y 25% respectivamente (Crozier, 1997). De igual forma ocurrió una pérdida de 18.8

% en cebollas hervidas en 1000 mL por 5 min (Lombard, 2005). Aunque, los resultados anteriores pueden no ser comparables, pues, las matrices de los alimentos son diferentes de un estudio a otro, así como, que las mismas matrices pueden actuar como una barrera para el efecto de calor o inducir la misma disminución de los flavonoides (Ioannou, 2012), pero se puede determinar que, en los procesos donde se vean involucrados medios acuosos, existirá mayor pérdida, por lixiviación de los mismos compuestos en el medio, así como la termo-sensibilidad de estos.

### **6.1.3 Clorofila.**

En este estudio, se observa que para el contenido de clorofila (Cuadro 5) existen diferencias significativas entre cada tejido, independientemente del tratamiento aplicado ( $p \leq 0.05$ ). En cada uno de los tratamientos a los que fueron sometidos los diferentes tejidos analizados del tomate verde (cáscara, pulpa, ambos), los resultados mostraron la siguiente tendencia en relación con el contenido de clorofila cáscara > ambos > pulpa. La cáscara resultó el tejido con mayor cantidad de clorofila total ( $0.134 \pm 0.002$  mg/ g PF), la pulpa el tejido con menor cantidad de clorofila ( $0.009 \pm 0.0005$  mg/ g PF), en cuanto a la cáscara y pulpa juntas se observa un leve aumento en la cantidad de clorofila total ( $0.021 \pm 0.0007$  mg/ g PF), en comparación con la pulpa, pero menor a la cáscara ( $0.134 \pm 0.002$  mg/ g PF), esto es, porque se diluye la clorofila total de la cáscara en la pulpa, por efecto del agua presente del fruto. El agregar la cáscara provoca un mayor contenido de clorofila total, esto puede deberse a la acción protectora de este tejido (Cruz-

Álvarez, 2012). En estudios realizados a las hojas de *P. angulata*, con diferentes solventes, las hojas mostraron menores contenidos (53.23 µg/g PF) (Torres-Tanan, 2017) que los encontrados en este estudio en la cáscara de tomate verde.

Se observa también, que la cantidad de este metabolito en cada uno de los tejidos disminuye cuando se es aplicado cada tratamiento, por efecto de la cocción en agua o asado; siendo el tratamiento 1, asado, el tratamiento en donde hubo una mayor disminución de clorofila (Cuadro 5). Se sabe que el procesamiento de alimentos, como cocción o congelamiento, así como operaciones básicas como cortado, afectan el contenido de clorofila, ya que provocan liberación de ácidos y enzimas que van a entrar en contacto con este pigmento e iniciar el proceso de degradación, la velocidad de degradación de la clorofila va a depender del procesamiento al cual sea sometido el alimento (Heaton, 1996).

**Cuadro 5.** Cuantificación de Clorofila Total de tomate verde bajo diferentes condiciones de procesamiento.

<i>TRATAMIENTO</i>	MUESTRAS	CLOROFILA TOTAL (mg / g PF)
<i>FRESCO</i>	Pulpa	0.00962 <sup>c</sup> ± 0.0005
	Cáscara	0.13419 <sup>a</sup> ± 0.0022
	Ambos	0.02126 <sup>b</sup> ± 0.0007
<i>ASADO</i>	Pulpa	0.00288 <sup>c</sup> ± 0.0004
	Cáscara	0.09144 <sup>a</sup> ± 0.0072
	Ambos	0.01268 <sup>b</sup> ± 0.0032
<i>HERVIDO</i>	Pulpa	0.00427 <sup>c</sup> ± 0.0004
	Cáscara	0.02262 <sup>a</sup> ± 0.0010
	Ambos	0.01225 <sup>b</sup> ± 0.0002

En varios estudios realizados a diferentes frutos, se ha encontrado que el calentamiento produce una degradación de la clorofila en hojas de vegetales (Faboya, 1985), el contenido de este metabolito fue disminuyendo a medida que la temperatura se iba elevando, la tasa de pérdida fue entre 6% y 80%, sin embargo, se concluyó que a mayor contenido de clorofila total inicial, más lenta es la tasa de pérdida, provocado por las diferentes proporciones de clorofila-clorofilasa, ya que la enzima, clorofilasa, tiene una actividad máxima a 75°C. Así también, en el caso de la pulpa de kiwi, se observó una disminución de clorofila total conforme la temperatura aumentaba, llegando a degradarse por completo a 45°C (Schwartz, 1999), ocurriendo lo mismo en el caso de la espinaca, en la que, la disminución de clorofila *a* fue del 46 al 73% y la clorofila *b* del 5 al 19%, en donde, conforme la clorofila disminuía, la feofitina (un producto de degradación de la clorofila total), aumentaba (Schwartz, 1991).

Sin embargo, en el estudio realizado en *P. ixocarpa*, se encontró que a 15 días después de la cosecha, y almacenando los tomates (con y sin cáscara) a 20 y 4°C, no hubo un cambio significativo en el contenido de clorofila total en el caso de los tomates sin cáscara, sin embargo, en los tomates que aún mantenían la cáscara, a 4°C tuvieron una disminución (0.122 µg/ g PF ) en comparación con los que estuvieron a temperatura ambiente de 20°C (238 µg/ g PF), aunque esto sólo ocurrió en este tiempo de cosecha, ya que en diferentes días de cosecha (5,10, 20, 25 días) no hubo diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) en la cantidad de clorofila total (Cruz-Álvarez, 2012), pero se puede determinar que también las bajas temperaturas, llegan a afectar el contenido de clorofila, resultando en una disminución.

## 6.2 Propiedades fisicoquímicas

### 6.2.1 pH.

En cuanto a la determinación de pH en las muestras analizadas, destaca el valor de pH ácido característico de este fruto ( $4.44 \pm 0.075$ , pulpa fresca); los valores de pH van a variar dependiendo de la especie *Physalis*, oscilando entre 3.54 (*P. pubescens*) hasta 4.48 (*P. cinerascens*), siendo como ya se mencionó un pH ácido característico del fruto (Bock, 1995; El-Sheikha, 2010; Quero, 2012). Mientras que, este valor en cáscara resulta mayor que en pulpa, tendiendo a ser menos ácido (5.23 a 5.50). En cuanto a la muestra compuesta (pulpa con la cáscara), el valor del pH se mantiene a un nivel ácido (4.08-4.64). Al aplicar los diferentes tratamientos observamos que el pH ácido se mantiene independientemente del tratamiento térmico. Mientras que para la cáscara no se aprecia modificación en el pH, manteniéndose menos ácido que la pulpa de tomate (Cuadro 6). Lo mismo se aprecia en un estudio realizado a *P. peruviana*, en donde, se disminuyó la temperatura, al contrario de lo que en este estudio se realizó, y se encontró que el pH no tuvo diferencias significativas con el cambio de temperatura (Alvarado, 2004).



### 6.2.2 Color.

En la cuantificación de los parámetros de color (Cuadro 6), se puede observar que, en las muestras sin tratamiento (testigo), los máximos valores de luminosidad fueron detectados en cáscara ( $47.08 \pm 0.032$ ) y no en la pulpa ( $45.93 \pm 0.325$ ), en el caso de la pulpa, los resultados concuerdan con los obtenidos por Izli (2014), en donde, el valor  $L^*$  en *P. peruviana* fueron de  $46.08 \pm 0.07$ . En otro estudio los valores de luminosidad fueron altos (100.15), en este estudio la pulpa fue analizada junto con la cáscara en la especie *P. peruviana* (Chancosi-Conlago, 2017). En la presente investigación, con los resultados obtenidos para la variable  $L^*$  se asume que la cáscara fresca, tiene mayor luminosidad que la pulpa, esto puede ser por la saturación de los componentes en la pulpa. Sin embargo, cuando se aplica T2 (hervido), y de acuerdo con cada tejido evaluado, se encontró diferencia significativa para el valor de  $L^*$  en muestras de pulpa respecto a cáscaras ( $p \leq 0.05$ ). Invertiendo así los valores en  $L^*$ , que se habían encontrado en los tejidos frescos, obteniendo así, que la pulpa tiene mayor luminosidad ( $50.14 \pm 0.036$ ) que la cáscara ( $25.93 \pm 9.100$ ). Al aplicar el tratamiento de asado, este comportamiento se sigue manteniendo, la disminución en los valores de luminosidad  $L^*$ , pueden ser causados por el contenido de los compuestos antioxidantes debido al oscurecimiento no enzimático del fruto por reacciones oxidativas (Reis, 2006).

**Cuadro 6.** Cuantificación de parámetros de color y pH en muestras de tomate verde bajo diferentes condiciones de procesamiento.

TRATAMIENTO	MUESTRA	COLOR			pH
		L*	a*	b*	
FRESCO	Pulpa	45.93 <sup>b</sup> ± 0.325	10.44 <sup>b</sup> ± 0.17	31.03 <sup>a</sup> ± 0.183	4.44 <sup>b</sup> ± 0.075
	Cáscara	47.08 <sup>a</sup> ± 0.032	5.05 <sup>a</sup> ± 0.015	22.03 <sup>b</sup> ± 0.015	5.48 <sup>a</sup> ± 0.194
	Ambos	NE	NE	NE	4.63 <sup>b</sup> ± 0.076
ASADO	Pulpa	35.42 <sup>a</sup> ± 0.357	4.68 <sup>a</sup> ± 0.020	27.73 <sup>a</sup> ± 0.187	4.02 <sup>b</sup> ± 0.028
	Cáscara	31.27 <sup>b</sup> ± 0.155	4.64 <sup>a</sup> ± 0.060	12.72 <sup>b</sup> ± 0.060	5.23 <sup>a</sup> ± 0.086
	Ambos	NE	NE	NE	4.08 <sup>b</sup> ± 0.040
HERVIDO	Pulpa	50.14 <sup>a</sup> ± 0.036	1.96 <sup>a</sup> ± 0.035	36.05 <sup>a</sup> ± 0.064	4.65 <sup>b</sup> ± 0.005
	Cáscara	25.93 <sup>b</sup> ± 9.100	0.19 <sup>a</sup> ± 1.680	17.73 <sup>b</sup> ± 6.353	5.50 <sup>a</sup> ± 0.206
	Ambos	NE	NE	NE	4.64 <sup>b</sup> ± 0.037

Letras diferentes por columnas representan diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) por cada tratamiento aplicado. NE, no evaluado.

En la medición del parámetro a\* (verde a rojo), podemos observar que, al hervir las muestras, no existe diferencia significativa entre pulpa y cáscara ( $p > 0.05$ ), y este mismo resultado se mantiene aplicando el tratamiento T1 (Asado). Sin embargo, para los tejidos sin tratamientos se observaron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ), en este caso es porque la pulpa tiende más al color verde, que la cáscara que el “verde” es menor, la disminución en el valor a\* puede ser causado por pérdida de sustratos o la reacción de Maillard en el fruto (Xiao, 2009), así como también por la degradación que tiene la clorofila.

Al medir el parámetro b\* (amarillo a azul), a diferencia de los otros parámetros independientemente del tratamiento al que fueron sometidos, existe diferencia significativa entre los diferentes tejidos evaluados ( $p \leq 0.05$ ). Claramente se aprecia la diferencia de color entre la pulpa ( $31.03 \pm 0.183$ ) y la cáscara ( $22.03 \pm 0.015$ ) con

una mayor intensidad de amarillo en pulpa que en cáscara, en todos los tratamientos (Cuadro 5). En el caso de la cáscara, la disminución del valor  $b^*$  puede ser de igual forma por reacciones no enzimáticas (Reis, 2006; Xiao, 2009), por el termocromismo que sufre el alimento, al momento de ser sometido a tratamiento térmico. Es importante mencionar que debido a que la muestra compuesta (pulpa y cáscara de tomate) no es homogénea, se decidió no determinar el color de esta. Por lo tanto, no se muestran datos en la tabla de resultados correspondientes.

### **6.3 Compuestos bioactivos bajo diferentes condiciones del tratamiento**

Dados los resultados presentados por los compuestos bioactivos bajo las diferentes condiciones de tratamientos térmicos sobre los diferentes tejidos del tomate verde y especialmente en el tejido de interés, la cáscara, se pudo determinar que el mejor tratamiento para extraer estos biocomponentes fue el asado de las muestras. A partir de estos resultados, se establecieron diferentes condiciones de dicho tratamiento sobre la cáscara, a fin de encontrar la condición de procesamiento más adecuada. Por lo tanto, se asaron cáscaras de tomate, utilizando una parrilla eléctrica (600 W), durante diferentes tiempos de asado (0,1, 2 y 3 min; los cuales corresponden a una condición de asado nula, baja, media y alta, respectivamente), y con ello, determinar cuál es la mejor condición de procesamiento. Posteriormente, las cáscaras asadas fueron molidas finamente para su posterior análisis de compuestos fenólicos y flavonoides totales (Figura 7).

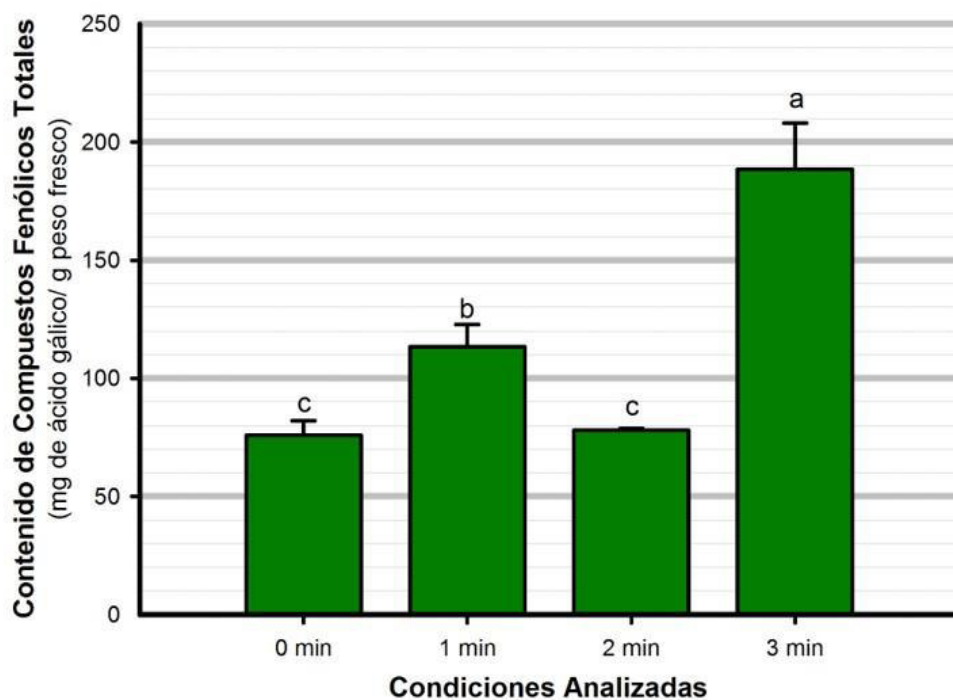


**Figura 7.** Muestras de cáscara bajo las diferentes condiciones de asado, es decir, 0 min (Fresca), 1 min (Baja), 2 min (Media) y 3 min (Intensa), respectivamente.

### **6.3.1 Compuestos fenólicos totales en cáscara asada**

Al realizar el análisis de los resultados en compuestos bioactivos sobre la cáscara de tomate asada bajo diferentes condiciones del tratamiento, claramente se puede notar un aumento significativo ( $p \leq 0.05$ ) en la cáscara asada a un nivel intenso (3 min;  $188.488 \pm 19.637$  mg EAG/ g PF), existe un comportamiento interesante en los niveles de dichos metabolitos, ya que, en cuanto a la condición baja (1 min) hay también un aumento ( $113.345 \pm 9.419$  mg EAG/ g PF) significativo, en comparación con la muestra control ( $75.869 \pm 6.295$  mg EAG/ g PF). Sin embargo, en la condición media (2 min) la cantidad de compuestos fenólicos se ve disminuida ( $78.045 \pm 0.787$  mg EAG/ g PF) significativamente en comparación con la primera condición, pero no teniendo diferencia significativa con la muestra control

( $P > 0.05$ ), para después dispararse a  $188.488 \pm 19.637$  EAG/ g PF en la condición de asado intensa de 3 min (Figura 8). Estos resultados son similares a los obtenidos por Gerard (2004), donde jugos de dos tipos de manzana fueron calentados gradualmente, inicialmente teniendo  $0.90 \pm 0.06$  y  $1.03 \pm 0.05$  (mg/mL) a  $21^\circ\text{C}$ , e ir aumentando a  $1.21 \pm 0.06$  y  $1.66 \pm 0.05$  (mg/mL) a  $70^\circ\text{C}$ .



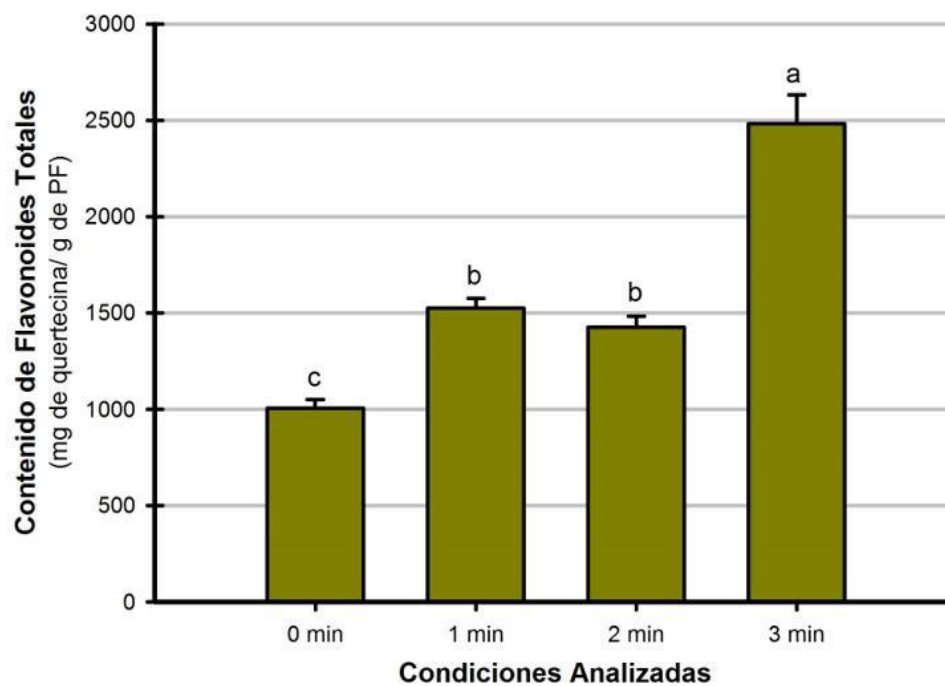
**Figura 8.** Contenido de los Compuestos Fenólicos Totales, en cáscara de tomate verde, bajo diferentes condiciones de procesamiento, nulo (0 min), bajo (1 min), medio (2 min) e intenso (3 min), respectivamente. Valores promedio  $\pm$  desviación estándar,  $n=3$ . Letras diferentes para cada muestra analizada indica diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ).

Sin embargo, así como ocurrió en este estudio, hubo una pequeña disminución en uno de los tipos de manzana ( $0.85\pm 0.01$  mg/mL a  $40^{\circ}\text{C}$ ) que no tuvo un cambio significativo en la cantidad de compuestos fenólicos. Por otro lado, se presentan tendencias de incremento para los compuestos fenólicos totales en plantas de jitomate, en donde, la cantidad de fenoles totales tuvo el mismo comportamiento que en este estudio, inicialmente con  $3060 \pm 120$   $\mu\text{g}$  ácido cafeico/ g PF a  $15^{\circ}\text{C}$ , una pequeña disminución a los  $25^{\circ}\text{C}$  ( $2266\pm 88.5$   $\mu\text{g}$  AC/ g PF) pero aumentando la cantidad a  $35^{\circ}\text{C}$  a  $5520\pm 216$   $\mu\text{g}$  AC/ g PF (Rivero, 2001). Estos autores concluyeron que las plantas de jitomate pueden desarrollar un mecanismo de aclimatación contra el estrés térmico super óptimo a  $35^{\circ}\text{C}$ , y esto puede ser por la acumulación de compuestos fenólicos como una forma de adaptación a este tipo de estrés (temperatura).

### **6.3.2 Flavonoides totales en cáscara asada**

En cuanto a los flavonoides totales (Figura 9), se puede observar un efecto similar al de los compuestos fenólicos totales, teniendo el nivel intenso (3 min) como la mejor condición para extracción de flavonoides totales ( $2482.108\pm 151.226$  mg EQ/ g PF), las condiciones baja y media, presentan un aumento significativo ( $p\leq 0.05$ ) en contraste con la muestra control ( $1005.167\pm 45.745$  mg EQ/ g PF), a pesar de que entre ellas no hay diferencia significativa ( $p>0.05$ ). El mismo efecto sucedió en el estudio sobre el jugo de diferentes manzanas, de  $0.43\pm 0.01$  y  $0.69\pm 0.03$  mg/mL a  $21^{\circ}\text{C}$  hasta  $0.62\pm 0.03$  y  $0.87\pm 0.02$  mg/mL a  $70^{\circ}\text{C}$  (Gerard, 2004), los flavonoides totales fueron aumentando conforme la temperatura subía en

las dos variedades de manzanas, sin tener disminución en ninguna de las condiciones experimentales evaluadas.



**Figura 9.** Contenido de flavonoides totales, en cáscara de tomate verde, bajo diferentes condiciones de procesamiento, nulo (0 min), bajo (1 min), medio (2 min) e intenso (3 min), respectivamente. Valores promedio  $\pm$  desviación estándar,  $n=3$ . Letras diferentes para cada muestra analizada indica diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ).

En un estudio sobre la estabilidad de los compuestos fenólicos (Liazid, 2007) sometidos a calentamiento térmico en un horno de microondas, se observó una disminución de flavonoles (miricetina, kaempferol) al ir aumentando la temperatura (50°C hasta 175°C). Aunque el kaempferol se mantiene estable hasta los 125°C, pero al llegar a 150°C se degrada completamente. En general se observó que la estructura química tiene que ver con la estabilidad de los compuestos, ya que aquellos que tienen un mayor número de sustituyentes de tipo hidroxilo son los que se degradan más rápido. Con esto se logró determinar que la mejor condición del tratamiento 1, corresponde a asar las muestras durante 3 min (intenso) para obtener una mayor cantidad de estos compuestos bioactivos durante su extracción.



## 7 CONCLUSIÓN

Dados los resultados obtenidos, se determina que la cáscara de tomate verde (*Physalis* spp.) contiene mayor cantidad de compuestos bioactivos, como compuestos fenólicos totales, flavonoides totales y clorofila total, en comparación a la pulpa del tomate. Al tratar térmicamente la cáscara con pulpa, también se comprueba que hay un aumento de los mismos compuestos bioactivos en estas muestras que en las realizadas únicamente en la pulpa del tomate.

En cuanto a los tratamientos térmicos analizados, la cáscara resultó afectada positivamente con el asado, con un aumento significativo ( $p \leq 0.05$ ) de los compuestos fenólicos totales y flavonoides totales. Sin embargo, en cuanto a la clorofila total, disminuyó manera significativa por la aplicación de los tratamientos asado y hervido. El hervido fue el mejor tratamiento para la pulpa del tomate verde, pero no para la cáscara, pues los compuestos bioactivos disminuyeron con este tratamiento.

La mejor condición del tratamiento asado para la cáscara del tomate fue asado por 3 min (condición intensa), existiendo un aumento significativo de los biocomponentes ( $p \leq 0.05$ ). Por lo anterior, se hace especial énfasis al gran potencial para su aprovechamiento que se puede realizar en la industria alimentaria con la cáscara del tomate verde (*Physalis* spp). Se recomienda estudiar el efecto de otros tipos de tratamientos térmicos sobre este tejido, tales como calentamiento con microondas, o incluso en el mismo tratamiento de asado, observar una condición más intensa a la utilizada en este estudio.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Agati, G., Brunetti, C., Di Ferdinando, M., Ferrini, F., Pollastri, S., Tattini, M., (2013). Functional roles of flavonoids in photoprotection: New evidence, lessons from the past. *Plant Physiology and Biochemistry*, 72, 35-45.
- Alessandra-Vignoli, J., Caldeira-Viegas, M., Gentil-Bassoli, D., Toledo-Benassi, M. (2013). Roasting process affects differently the bioactive compounds and the antioxidant activity of arabica and robusta coffees. *Food Research International*, 61, 279-285.
- Alvarado, P. A., Berdugo, C. A., Fischer, G., (2004). Efecto de un tratamiento de frío (a 1,5°C) y la humedad relativa sobre las características fisicoquímicas de frutos de uchuva *Physalis peruviana* L. durante el posterior transporte y almacenamiento. *Agronomía Colombiana*, 22 (2), 147-159.
- Awuah, G.B., Ramaswamy, H.S., Economides, A. (2007). Thermal processing and quality: Principles and overview. *Chemical Engineering and Processing*, 46, 584-602.
- Ayala-Zavala, J.F., Rosas-Domínguez, C., Vega-Vega, V., González-Aguilar, G.A., (2010). Antioxidant Enrichment and Antimicrobial Protection of Fresh-Cut Fruits Using Their Own By-products: Looking for Integral Exploitation. *Journal of Food Science*, 75 (8), 175-181.
- Bae, H., Jayaprakasha, G.K., Crosby, K., Jifon, J. L., Patil, B.S., (2012), Influence of extraction solvents on antioxidant activity and the content of bioactive

compounds in non-pungent peppers. *Plant Food for Human Nutrition*, 67, 120-128.

Barreiro-Méndez, J. A., Sandoval-Briceño, A. J., (2002). Operaciones de conservación de alimentos por bajas temperaturas. Editorial Equinoccio, 1ra edición. ISBN 980-237-210-2.

Bock, M. A., Sánchez-Pilcher, J., McKee, L. J., Ortiz, M., (1995). Selected nutritional and quality analyses of tomatillos (*Physalis ixocarpa*). *Plant Foods for Human Nutrition*, 48, 127-133.

Bonilla-Betancourt, M.L., Espinosa-Piedrathíta, K., Posso-Terranova, A.M., Vázquez-Amariles, H.D., Muñoz-Flórez, J. (2008). Caracterización molecular de 43 accesiones de uchuva de seis departamentos de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia.

Bonilla-Lemos, M. R., Machado de Almeida-Siqueira, E., Fernandes-Arruda, S., Zambiasi, R. C., (2012). The effect of roasting on the phenolic compounds and antioxidant potential of baru nuts (*Dipteryx alata* Vog.). *Food Research International*, 48, 592-597.

Castillejo, N., Martínez-Hernández, G.B., Monaco, K., Gómez, P.A., Aguayo, E., Artés, F., Artés-Hernández, F. (2016). Preservation of bioactive compounds of a green vegetable smoothie using short time-high temperature mild thermal treatment. *Food Science and Technology International*, 1-15.

Chancosi-Conlago, D. M., (2017). Evaluación del efecto de la temperatura del almacenamiento sobre el contenido de ácido ascórbico y propiedades

nutracéuticas de la uvilla *Physalis peruviana* L. con cáliz. Artículo Científico, Ibarra-Ecuador. <http://repositorio.utm.edu.ec/handle/123456789/6521>

Chasquibol-Silva, N., Lengua-Calle, R. L., Delmás-Robles, D. I., Rivera-Castilla, D. R., Bazán-Gutiérrez, D. M., Aguirre-Medrano, R. V., Bravo-Ayala, M. M., (2003). Alimentos funcionales o fitoquímicos, clasificación e importancia. Revista Peruana de Química e Ingeniería Química. Vol. 5 (2), 9-20.

Cheftel, J. C., Cheftel, H., (1982), Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos, Acribia, 1, Zaragoza.

Choi, Y., Lee, S. M., Chun, J., Lee, H. B., Lee, J. (2006). Influence of heat treatment on the antioxidant activities and polyphenolic compounds of Shiitake (*Lentinus edodes*) mushroom. Food Chemistry, 99, 381-987.

Cobaleda-Velasco, M., Alanis-Bañuelos, R.E., Almaraz-Abarca, N., Rojas-López, M., González-Valdez, L.S., Ávila-Reyes, J.A., Rodrigo, S., (2017). Phenolic profiles and antioxidant properties of *Physalis angulata* L. as quality indicators. Journal of Pharmacy & Pharmacognosy Research, 5 (2), 114-128.

Cobaleda-Velasco, M., Reyes-Martínez, A., Barriada-Bernal, G., Medina-Medrano, J.R., Torres-Ricario, R., Delgado-Alvarado, E.A., Alanis-Bañuelos, R.E., Almaraz-Abarca, N. (2013). Una Mirada General Al Tomate de Cáscara (*Physalis*). Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Durango, 5(2), 90-99.

- Crozier, A., Lean, M.E., McDonald, M.S., Black, C., (1997). Quantitative Analysis of the Flavonoid Content of Commercial Tomatoes, Onions, Lettuce and Celery. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45, 590-595.
- Cruz-Álvarez, O., Martínez-Damián, M.T., Rodríguez-Pérez, J.E., Colinas-León, M.T., Moreno-Pérez, E. del C., (2012). Conservación poscosecha de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) con y sin cáliz. *Revista Chapingo, serie Horticultura*, 18 (3), 333-344.
- De Paepe, D., Valkenborg, D., Coudijzer, K., Noten, B., Servaes, K., De Loose, M., Voorspoels, S., Diels, L., Van Droogenbroeck, B. (2014). Thermal degradation of cloudy apple juice phenolic constituents. *Food Chemistry*, 162, 176-185.
- Dewanto, V., Wu, X., Adom, K.K., Liu, R.H., (2002). Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 50, 3010-3014.
- Díaz, P., Jeong, S.C., Lee, S., Khoo, C., Koyyalamudi, S.R., (2012). Antioxidant and anti-inflammatory activities of selected medicinal plants and fungi containing phenolic and flavonoid compounds. *Chinese Medicine Journal*, 7:26, 1-9.
- Drost-Karbawska, K., Ellnain-Wojtaszek, M., Gawron-Gzella, A., Kowalewski, Z., Jankiewicz, L.S., Matlawska, I., Sikorska, M., Szauffer-Hajdreych, M., Walkowiak, A., (1993). Phytochemical Investigation of the Tomatillo Fruit (*Physalis ixocarpa* Brot. *Solanaceae*). *Medical Academy, ul, Serioca*, 62, 61-77.

Eguillor-Recabarren, P., (2017). Pérdida y desperdicio de alimentos: diciembre 2017, prevención y reducción; pérdida y desperdicio de alimentos. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias-ODEPA-. Chile.

El 20% de los alimentos que se producen en México se desperdician. (05 de Junio de 2013). Obtenido de Revista Forbes: <http://www.forbes.com.mx/>

El Sheikha, A. F., Zaki, M. S., Bakr, A. A., El Habashy, M. M., Montet, D., (2010). Biochemical and sensory quality of *Physalis* (*Physalis pubescens* L.) juice. *Journal of Food Processing and Preservation*, 34, 541-555.

Enachescu-Dauthy, M. (1995). Fruit and vegetable processing. *FAO Agricultural Services Bulletin*, 119, 1-249.

Faboya, O.O., (1985). Chlorophyll changes in some green leafy vegetables during cooking. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 36, 740-744.

García-Parra, J., González-Cebrino, F., Delgado, J., Cava, R., Ramírez, R. (2016). High pressure assisted thermal processing of pumpkin purée: Effect on microbial counts, color, bioactive compounds and polyphenoloxidase enzyme. *Food and Bioproducts Processing*, 98, 124-132.

Gasull, E., Sancho, M., Peralta, C., Davin, V., Melo, G., (2016). *Fisicoquímica de Alimentos, Apuntes de Teoría*. Universidad Nacional de San Luis, Facultad de Química, Bioquímica y Farmacia.

Gerard, K. A., Roberts, J. S., (2004). Microwave heating of apple mash to improve juice yield and quality. *LWT-Food Science and Technology*, 37(5), 551-557.

Gil-Garzón, M. A., Vélez- Acosta, L. M., Millán-Cardona, L. J., Acosta-Hurtado, M. A., Díez-Rodríguez, A. C., Cardona-Taborda, N., Rocha-Gutiérrez, L. A., Villa-Mejía, G.C., (2011). Desarrollo de un producto de panadería con alto valor nutricional a partir de la harina obtenida del banano verde con cáscara: una nueva opción para el aprovechamiento de residuos de la industria de exportación. *Producción + Limpia*, (6) 1, 96-107.

González-Mendoza, D., Grimaldo-Juárez, O., Soto-Ortiz, R., Escoboza-García, F., Santiguillo- Hernández, J. (2010). Evaluation of total phenolics, anthocyanins and antioxidant capacity in purple tomatillo (*Physalis ixocarpa*) genotypes. *African Journal of Biotechnology*, 9 (32), 5173-5176.

Harrison, M.K. & Harris, N.D., (1985). Effect of processing treatments on recovery of capsaicin in jalapeño peppers. *Journal of Food Science*, 50, 1764-1765.

Heaton, J.W., Marangoni, A. G., (1996). Chlorophyll degradation in processed foods and senescent plant tissues. *Trends in Food Science & Technology*, 7, 8-15.

Herrera-Chalé, F., Betancur-Ancona, D., Segura-Campos, M. R. (2014). Compuestos bioactivos de la dieta con potencial en la prevención de patologías relacionadas con sobrepeso y obesidad; péptidos biológicamente activos. *Nutrición Hospitalaria*, 29 (1), 10-20.

Huffman, V.L., Shadle, E. R., Villalon, B., Burns, E.E., (1978). Volatile components and pungency in fresh and processed jalapeño peppers. *Journal of Food Science*, 43, 1809-1811.

Infografía; Desperdicio de alimentos en México. Cruzada Nacional Sin Hambre. Gobierno Federal, México. (consultada 23 de enero de 2018).[http://www.sedesol.gob.mx/boletinesSinHambre/Informativo\\_02/infografia.html](http://www.sedesol.gob.mx/boletinesSinHambre/Informativo_02/infografia.html)

Ioannou, I., Ghoul, M., (2012). Biological activities and effects of food processing on flavonoids as phenolic antioxidant. Advances in Applied Biotechnology. Disponible en: <https://www.intechopen.com/books/advances-in-applied-biotechnology/biological-activities-and-effects-of-food-processing-on-flavonoids-as-phenolic-antioxidants>

Ismail, A., Marjan, Z.M., Foong, C.W., (2004). Total antioxidant activity and phenolic content in selected vegetables. Food Chemistry, 87, 581-586.

İzli, N., Yıldız, G., Ünal, H., Işık, E., Uylaşer, V., (2014). Effect of different drying methods on drying characteristics, color, total phenolic content and antioxidant capacity of Goldenberry (*Physalis peruviana* L.), International Journal of Food Science and Technology, 49, 9-17.

Kays, S. J., (1999). Preharvest factors affecting appearance, Postharvest Biology and Technology, 15, 233-247.

Khan, W., Bakht, J., Shafi, M., (2016), Antimicrobial potentials of different solvent extracted samples from *Physalis ixocarpa*. Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences. 29 (2), 467-475.



- Khanam-Salma, U. K., Oba, S., Yanase, E., Murakami, Y., (2012). Phenolic acids, flavonoids and total antioxidant capacity of selected leafy vegetables. *Journal of Functional Foods*, 4, 979-987.
- Liazid, A., Palma, M., Brigui, J., Barroso, C.G., (2007). Investigation on phenolic compounds stability during microwave assisted extraction. *Journal of Chromatography A*. 1140, 29-34.
- Lombard, K., Peffley, E., Geoffriau, E., Thompson, L., Herring, A., (2005). Quercetin in onion (*Allium cepa*. L.) after heat treatment simulating home preparation. *Journal of Food Composition and Analysis*, 18, 571-581.
- Lutz, M. (2013). Biodisponibilidad de compuestos bioactivos en alimentos. *Perspectivas en Nutrición Humana*, 15 (2), 217-226.
- Manrique-Reol, E., (2003). Los pigmentos fotosintéticos, algo más que la captación de luz para la fotosíntesis. *Ecosistemas, Revista Científica de Ecología y Medio Ambiente*, 12 (1), 1-11.
- Martínez, M. (1998). Revision of *Physalis* Section *Epeteiorhiza* (Solanaceae). En U. N. México, *Anales del Instituto de Biología, Botánica*. México: Universidad Nacional Autónoma de México, 69 (2), 71-117.
- Martínez-Flórez, S., González-Gallego, J., Culebras, J.M., Tuñón, M.J., (2002). Los flavonoides: propiedades y acciones antioxidantes. *Nutrición Hospitalaria*, 6, 271-278.

- Martínez-Navarrete, N., Camacho-Vidal, M. del Mar, Martínez-Lahuerta, J.J. (2008). Los compuestos bioactivos de las frutas y sus efectos en la salud. *Actividad Dietética*, 12 (2), 64-68.
- Mazzeo, T., N'Dri, D., Chiavaro, E., Visconti, A., Fogliano, V., Pellegrini, N., (2011). Effect of two cooking procedures on phytochemical compounds, total antioxidant capacity and color of selected frozen vegetables. *Food Chemistry*, 128, 627-633.
- Medina-Medrano, J.R., Almaraz-Abarca, N., González-Elizondo, M.S., Uribe-Soto, J.N., González-Valdez, L.S., Herrera-Arrieta, Y., (2015). Phenolic constituents and antioxidant properties of five wild species of *Physalis (Solanaceae)*. *Botanical Studies*. 56:24, 1-13.
- Muñoz-Jáuregui, A. M., Ramos-Escudero, D. F., Alvarado-Ortiz-Ureta, C., Castañeda-Castañeda, B., 2007. Evaluación de la capacidad antioxidante y contenido de compuestos fenólicos en recursos vegetales promisorios. *Revista de la Sociedad Química de Perú*, 73 (3), 142-149.
- Naczk, M., Shahidi, F., (2006). Phenolics in cereals, fruits and vegetables: Occurrence, extraction and analysis. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 41, 1523-1542.
- Nathiya, M., Dorcus, D., (2012). Preliminary phytochemical and antibacterial studies on *Physalis minima* Linn. *International Journal of Current Science*, 24-30.
- NCAGR, North Carolina Department of Agriculture and Consumer Services, Food and Drug Protection Division, Estados Unidos. (consultado 24 de mayo de 2018).  
<http://www.ncagr.gov/FOODDRUG/espanol/PHYlosAlimentos.pdf>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2012). *Perdidas y desperdicio de alimentos en el mundo-Alcance, causas y prevención*. Roma.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), (2015). *Food Loss and Waste Facts*. Infographic, Save Food: Global Initiative on Food Loss and Waste Reduction. I4807E/1/07.15.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), (2015). *Pérdidas y Desperdicios de Alimentos en América Latina y el Caribe*. Boletín 2.

Ornelas-Paz, J.J., Cira-Chávez, L. A., Gardea- Béjar, A. A., Guevara-Arauza, J.C., Sepúlveda, D. R., Reyes-Hernández, J., Ruiz-Cruz, S. (2013). Effect of heat treatment on the content of some bioactive compounds and free radical-scavenging activity in pungent and non-pungent peppers. *Food Research International*, 50, 519-525.

Ornelas-paz, J.J., Martínez-Burrola, J., Ruiz-Cruz, S., Santana-Rodríguez, V., Ibarra-Junquera, V., Olivas, G.I., Pérez-Martínez, J.D., (2010). Effect of cooking on the capsaicinoids and phenolics contents of Mexican peppers. *Food Chemistry*, 119, 1619-1625.

Palencia-Mendoza, Y., (1999), *Sustancias Bioactivas en Alimentos* [en línea], Universidad de Zaragoza, España. Consultado el 14 de enero del 2018 en: [http://www.unizar.es/med\\_naturista/bioactivos%20en%20alimentos.pdf](http://www.unizar.es/med_naturista/bioactivos%20en%20alimentos.pdf)

- Paz-Órnelas, J., Guevara-Arauza, J.C., (2009). Subproductos hortofrutícolas con aplicación tecnológica. *Horticultura Global* (286), 40-45.
- Pérez-Conesa, D., García-Alonso, J., García-Valverde, V., Iniesta, M.D., Jacob, K., Sánchez-Siles, L.M., Ros, G., Periago, M.J. (2009). Changes in bioactive compounds and antioxidant activity during homogenization and thermal processing of tomato purée. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 10, 179-188.
- Pietta, P.G., (2000). Flavonoids as Antioxidants. *Journal of Natural Products*, 63, 1035-1042.
- Puupponen-Pimiä, R., Häkkinen, S.T., Aarini, M., Suortti, T., Lampi, A.M., Eurola, M., Piironen, V., Nuutila, A.M., Oksman-Caldentey, K.M., (2003). Blanching and long-term freezing affect various bioactive compounds of vegetables in different ways. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83, 1389-1402.
- Quero, S., Santiaguillo-Hernández, J. F., Magaña-Lira, N., (2012). Análisis Físico Químico del fruto de cuatro especies silvestres de *Physalis* en diferente grado de madurez. Memoria, XIV Congreso Nacional de Ciencias Agronómicas. Texcoco, Estado de México, México; 25-27 de abril 2012.
- Rabie, M. A., Soliman, A.Z., Diaconesa, Z.S., Constantin, B., (2014). Effect of pasteurization and shelf life on the physicochemical properties of *Physalis* (*Physalis peruviana* L.) juice. *Journal of Food Processing and Preservation*, ISSN1745-4549, 1-10.

- Ramadan, M. F. (2011). Bioactive phytochemicals, nutritional value, and functional properties of cape. *Food Research International*, 4, 1830-1836.
- Ratseewo, J., Tangkhawanit, E., Meeso, N., Kaewseejan, N., Siriamornpun, S., (2016). Changes in antioxidant properties and volatile compounds of kaffir lime leaf as affected by cooking processes. *International Food Research Journal*, 23,1, 188-196.
- Rawson, A., Patras, A., Tiwari, B.K., Noci, F., Koutchma, T., Brunton, N. (2011). Effect of thermal and non-thermal processing technologies on the bioactive content of exotic fruits and their products: Review of recent advances. *Food Research International*, 44, 1875-1887.
- Reis, R. C., Ramos, A. M., Regazzi, A. J., Minim, V. P. R., Stringueta, P. C., (2006). Almacenamiento de mango secado, análisis fisicoquímico, microbiológico, color y sensorial. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 5 (3), 214-225.
- Restrepo-Gallego, M., (2006). Producción más Limpia en la Industria Alimentaria. *Producción + Limpia*. 1 (1), 88-101.
- Rivero, R. M., Ruiz, J. M., García, P. C., López- Lefebvre, L. R., Sánchez, E., Romero, L., (2001). Resistance to cold and heat stress: accumulation of phenolic compounds in tomato and watermelon plants. *Plant Science*, 160, 315-321.
- Robards, K., Prenzler, P.D., Tucker, G., Swastisitang, P., Glover, W., (1999). Phenolic compounds and their role in oxidative processes in fruits. *Food Chemistry*, 66, 401-436.

- Rohn, S., Buchner, N., Driemel, G., Rauser, M., Kroh, L. W. (2007). Thermal degradation of onion quercetin glucosides under roasting conditions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55, 1568-1573.
- Ros, M., Pascual, J., A., Ayuso, M., Morales, A., B., Miralles, J. R., Solera, C., (2012). Salidas valorizables de los residuos y subproductos orgánicos de la industria de los transformados de- frutas y hortalizas: proyecto Life-Agrowaste. *Residuos: Revista técnica*, 130, 28-35.
- SAGARPA, SIAP. (01 de diciembre de 2017). SAGARPA. Obtenido de: [http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola\\_siap\\_gobmx/ResumenProducto.do](http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.do)
- Sahlin, E., Savage, G.P., Lister, C.E., (2004). Investigation of the antioxidant properties of tomatoes after processing. *Journal of Food Composition and Analysis*, 17, 635-647.
- Santiago, R., de Armas, R., Legaz, M.E., Vicente, C. (2015). Separation from *Ustilago scitaminea* of different elicitors which modify the pattern of phenolic accumulation in sugarcane leaves. *Journal of Plant Pathology*, 90. (1) 87-96.
- Santiaguillo-Hernández, J.F., Blas-Yáñez, S. (2009). Aprovechamiento tradicional de las especies de *Physalis* en México. *Revista de Geografía Agrícola, Estudios Regionales de la Agricultura Mexicana*, (43), 81-86. (b)
- Santiaguillo-Hernández, J.F., Vargas-Ponce, O., Grimaldo-Juárez, O., Sánchez-Martínez, J., Magaña-Lira, N., (2009). Aprovechamiento Tradicional y Moderno de Tomate (*Physalis*) en México, *Red de Tomate de Cáscara*, (2), 10-11. (a)

- Schwartz, M., Núñez, H., Muñoz, A. M., (1999). Efecto de la temperatura de concentración de pulpa de kiwi sobre el color, clorofila y ácido ascórbico. Archivos Latinoamericanos de Nutrición, 49 (1), 44-48.
- Schwartz, S.J., Lorenzo, T.V. (1991). Chlorophyll stability during continuous aseptic processing and storage. Journal of Food Science, 56(4), 1059-1062.
- Secretaría de Desarrollo Social, (2016). Sedesol define con sociedad y sector privado acciones para combatir desperdicio de alimentos. Obtenido de: <https://www.gob.mx>
- Sergent, T., Piront, N., Meurice, J., Toussaint, O., Schneider, Y-J. (2010). Anti-Inflammatory effects of dietary phenolic compounds in an *in vitro* model of inflamed human intestinal epithelium. Chemical-Biological Interactions, 188, 659-667.
- Slinkard, K., y Singleton, V. (1977). Total Phenol Analysis: Automation and Comparison with Manual Methods. American Journal of Enology and Viticulture, 28, 49-55.
- Sonja-Djilas, J., Čanadanović-Brunet, G. Ć., (2009). By-products of fruits processing as a source of phytochemicals. Chemical Industry & Chemical Engineering Quarterly. 15 (4) 191-202.
- Streit, N. M., Pedroló-Canterele, L., Weber-do Canto, M., Hycheki-Hechtheuer, L.H., (2005). The Chlorophylls. Ciência Rural, Santa María, 35 (3), 748-755.
- Sung-Min, K., Hyun-Jung, Ch., Seung-Taik, L. (2014). Effect of various heat treatments on rancidity and some bioactive compounds of rice bran. Journal of Cereal Science, 60, 243-248.

- Tanaka, T., Shnimizu, M., Moriwaki, H. (2012). Cancer Chemoprevention by Carotenoids. *Molecules*, 17, 3202-3242.
- Torres-Tana, T., Neves-do Nascimento, M., da Silva-Leite, R., Santana-Guimarães, D., (2017). Spectrophotometric determinations of chloroplastidic pigments in *Physalis angulata* L. Leaves using different methodologies. *Journal of Agricultural Science*, 9 (11), 117-122.
- Turkmen, N., Sari, F., Velioglu, Y.S., (2005). The effect of cooking methods on total phenolics and antioxidant activity of selected green vegetables. *Food Chemistry*, (93), 713-718.
- Turturică, M., Stănciuc, N., Bahrim, G., Râpeanu, G. (2016). Effect of thermal treatment on phenolic compounds from plum (*Prunus domestica*) extracts- A kinetic study. *Journal of Food Engineering*, 171, 200-207.
- Urango-Marchena, L.A., Montoya-Parra, G.A., Cuadros-Quiroz, M.A., Henao, D.C., Zapata, P.A., López-Mira, L., Castaño, E., Serna-López, A. M., Venegas, C. V., Loaiza, M.C., Davahiva-Gómez, B. (2009). Efecto de los compuestos bioactivos de algunos alimentos en la salud. *Perspectivas en Nutrición Humana*, 11, 27-38.
- Wu, D., Sun, D., (2013). Colour measurements by computer vision for food quality control-A review. *Trends in Food Science and Technology*, 29, 5-20.
- Xiao, H.W., Lin, H., Yao, X. D., Du, Z. L., Lou, Z., Gao, Z. J., (2009). Effects of different pretreatments on drying kinetics and quality of sweet potato bars undergoing air impingement drying. *International Journal of Food Engineering*, 5 (5), 1-17.



- Xu, B., Chang S.K., (2008). Total phenolic, phenolic acids, isoflavones, and anthocyanins and antioxidant properties of yellow and black soybeans as affected by thermal processing. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56, 7165-7175.
- Yam, K. L., Papadakis, S. E., (2004). A simple digital imaging method for measuring and analyzing color of food surfaces. *Journal of Food Engineering*, 61, 137-142.
- Zhang, M., Chen, H., Li, J., Pei, Y., Liang, Y., (2010). Antioxidant properties of tartary buckwheat extracts as affected by different thermal processing methods. *Food Science and Technology*, 43, 181-185.
- Ziegler, R. y Egle, K. (1965). Zur quantitativen Analyse der Chloroplastenpigmente, *Beitr. Biologie. Pflanzen*, 41, 11-37.
- Zielinski, H., Michalska, A., Amigo-Benavent, M., Dolores-Del Castillo, M., Piskula, M.K., (2009). Changes in protein quality and antioxidant properties of buckwheat seeds and groats induced by roasting. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57, 4771-4776.