



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN**

**Efecto del escaldado incorporando  
nanoemulsiones de aceite esencial de  
mandarina sobre la actividad enzimática y  
calidad de camote (*Ipomoea Batatas*)**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**INGENIERA EN ALIMENTOS**

PRESENTA:

**NOEMI MONTSERRAT AGUILAR LÓPEZ**

ASESORES:

**M. EN C. RICARDO MOISÉS GONZÁLEZ REZA  
DRA. MARÍA DE LA LUZ ZAMBRANO ZARAGOZA**

**CUAUTITLÁN IZCALLI, EDO. DE MÉXICO 2020**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
SECRETARÍA GENERAL  
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

U.N.A.M.  
FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLÁN

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN  
PRESENTE

ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA  
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales  
de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: **Trabajo de Tesis.**

Efecto del escaldado incorporando nanoemulsiones de aceite esencial de mandarina sobre la actividad enzimática y calidad de camote (*Ipomoea batatas*).

Que presenta la pasante: **Noemi Montserrat Aguilar López**

Con número de cuenta: **414092167** para obtener el Título de la carrera: **Ingeniería en Alimentos**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO.**

**ATENTAMENTE**

**“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”**

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 26 de junio de 2019.

**PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO**

	NOMBRE	FIRMA
<b>PRESIDENTE</b>	I.A. Laura Margarita Cortazar Figueroa	
<b>VOCAL</b>	M. en C. Tais Nopal Guerrero	
<b>SECRETARIO</b>	M. en C. Ricardo Moisés González Reza	
<b>1er. SUPLENTE</b>	I.A. María Guadalupe López Franco	
<b>2do. SUPLENTE</b>	M. en C. Araceli Ulloa Saavedra	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

### **El presente proyecto fue financiado por:**

- El proyecto PAPIIT IT201617, “Efecto de recubrimientos nanoparticulados y tratamiento con luz UV-C sobre la actividad antioxidante, enzimática e integridad de frutas y hortalizas cortadas” de la Dirección General de Asuntos de Personal Académico de la Universidad Nacional Autónoma de México (DGAPA-UNAM), por el financiamiento para la realización de este trabajo
- El Programa Interno de Apoyo a Proyectos de Investigación (PIAPI 1647) de la UNAM: “Evaluación y diseño de sistemas nanoparticulados para la conservación refrigerada y/o congelada de productos de origen vegetal”, por el apoyo en la adquisición de reactivos para el desarrollo de este trabajo.

### **Lugar de Realización de la Tesis:**

Unidad de Investigación Multidisciplinaria: Laboratorio de Procesos de Transformación y Tecnologías Emergentes de Alimentos de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán – UNAM.

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, debo agradecer a Dios y a la vida, por darme la fuerza para no rendirme y siempre ser valiente porque a pesar de las circunstancias, me han enseñado que siempre debo dar mi mayor esfuerzo sea cual sea el resultado, porque nunca estaré segura de nada si no me atrevo a vencer mis miedos, disfrutar de todo lo que tengo y simplemente VIVIR. Gracias por las oportunidades y todas las bendiciones que me han dado a lo largo de mi vida por que eh aprendido a ser mejor cada día y por supuesto infinitas gracias por darme la bella familia que tengo. Mamá, papá, hermanas gracias por siempre estar ahí, por apoyarme y nunca dejarme sola, por buscar siempre lo mejor para mí, pero sobre todo por sus enseñanzas que me han hecho la persona que soy hoy, ustedes siempre serán mi motor y mi mayor motivación.

Gracias a mi segunda casa UNAM, por darme la oportunidad de formarme como profesional en ingeniería en alimentos, sin saber que sería algo en donde aprendería demasiado y donde encontraría mi vocación , pero sobre todo por ser ese lugar en donde tuve la fortuna de conocer personas tan valiosas para mí, que me han apoyado tanto en lo personal como en lo profesional, a ustedes debo agradecerles las bonitas experiencias que vivimos, los consejos buenos y malos, por las alegrías, las tristezas, por los conocimientos compartidos, por las materias que aprobamos y por que no? también por las que reprobamos, todas esas pequeñas lecciones aprendidas y oportunidades que tuvimos durante este proceso llamado universidad que nos han hecho mejores personas y profesionales. Sin duda a ustedes siempre les deseare todo lo mejor por que merecen todo lo bueno de esta vida.

También debo agradecer a cada profesor que formo parte de este proceso, en especial a mi asesor de tesis el profesor Ricardo Gonzalez Reza, por los conocimientos compartidos, por los consejos, por creer en mí, pero sobre todo por la paciencia y vaya que tuvo mucha paciencia. Para finalizar solo me queda decir gracias porque sin su apoyo este trabajo no hubiese sido posible.

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	v
INTRODUCCIÓN	i
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO	1
1.1 Escaldado	1
1.1.1 Definición	3
1.1.2 Aplicación	3
1.1.3 Equipos	4
1.2 Camote	7
1.2.1 Definición	7
1.2.2 Parámetros Físicos	10
1.2.3 Fenómenos de Oxidación	16
1.3 Actividad Enzimática	18
1.3.1 Definición	18
1.3.2 Polifenoloxidasa (PPO)	19
1.3.3 Peroxidasa (POD)	22
1.3.4 Pectinmetilesterasa (PME)	25
1.3.5 Inactivación por Tratamiento Térmico	26
1.3.6 Actividad Residual Relativa	28
1.4 Antioxidantes	29
1.4.1 Definición	29
1.4.2 Aceites Esenciales	29
1.5 Nanotecnología	31
1.5.1 Definición	31
1.5.2 Nanoemulsiones	31
1.5.3 Procesos de Formación	32
1.5.4 Aplicaciones	34
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL	35

2.1	Objetivos	35
2.1.1	Objetivo General	35
2.1.2	Objetivos Particulares	35
2.2	Materiales y Métodos	35
2.2.1	Materiales	35
2.3	Material Biológico	36
2.4	Preparación de la Emulsión	36
2.5	Preparación de la Nanoemulsión	36
2.6	Dispersión Dinámica de Luz y Movimiento Electroforético	37
2.7	Extracción del Mucílago de Chía	37
2.8	Escaldado de la Muestra	38
2.9	Actividad Enzimática	38
2.9.1	Polifenoloxidasa (PPO)	38
2.9.2	Peroxidasa (POD)	39
2.9.3	Pectinmetilesterasa (PME)	39
2.10	Colorimetría	40
2.11	Textura	40
2.12	Análisis Estadístico	41
CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		42
3.1	Caracterización de las Emulsiones	42
3.2	Polifenoloxidasa (PPO)	42
3.3	Peroxidasa (POD)	45
3.4	Pectinmetilesterasa (PME)	48
3.5	Cambio Total de Color ( $\Delta E$ )	51
3.6	Índice de Blancura (IB)	53
3.7	Textura	55
3.7.1	Pico Presión	55
3.7.2	Firmeza	57
CONCLUSIONES		60
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		61

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Escaldadora tipo cilindro (Jersa 2009).	6
<b>Figura 2.</b> Marmita basculante de volteo. (Aguilar,2017)	7
<b>Figura 3.</b> Variedades de camote (Ipomoea batatas) (Linares,2008).	8
<b>Figura 4.</b> Círculo cromático CIELAB (Mathias-Rettig & Ah-Hen, 2014).	15
<b>Figura 5.</b> Efectos del escaldado sobre la célula vegetal (Katsaboxakis, 1984)..	16
<b>Figura 6.</b> Estructura química del fenol (Peñarrieta et al., 2014)	16
<b>Figura 7.</b> Estructuras químicas de compuestos fenólicos simples ( Peñarrieta et al.,2014)	186
<b>Figura 8.</b> Estructura química del ácido ascórbico	18
<b>Figura 9.</b> Reacción generalizada de la PPO en plantas (Gache et al.,2003)	20
<b>Figura 10.</b> Mecanismo cinético propuesto para la oxidación de o-difenol (Catecol [A]) y un monofenol (fenol [B]) (Ramírez et al., 2003).	21
<b>Figura 11.</b> Mecanismo de reacción de la POD para llevar a cabo el pardeamiento enzimático, utilizando como sustrato guayacol (Whitaker, 1993).	24
<b>Figura 12.</b> Inactivación reversible e irreversible de una enzima (Badui,1999).	27
<b>Figura 13.</b> Diagrama de proceso de emulsificación por inversión de fases (McClements, 2011).	33
<b>Figura 14.</b> Diagrama de Pareto para la actividad de PPO.	43
<b>Figura 15.</b> Gráfico de contorno para actividad de PPO.	44
<b>Figura 16.</b> Gráfico de efectos principales para la actividad POD.	46
<b>Figura 17.</b> Gráfica de cubos de la actividad POD.	47
<b>Figura 18.</b> Diagrama de Pareto de efectos estandarizados para la actividad PME.	49
<b>Figura 19.</b> Gráfica de superficie para la actividad residual de PME en función de la temperatura y tiempo de escaldado.	50
<b>Figura 20.</b> Gráfico de interacción para el $\Delta E$ en los diferentes tratamientos.	51
<b>Figura 21.</b> Gráfica de cubos para el $\Delta E$ en los diferentes tratamientos.	52
<b>Figura 22.</b> Gráfico de interacciones evaluadas para el Índice de blancura en el camote.	53

<b>Figura 23.</b> Gráfico de efectos principales para pico presión en el escaldado de camote.	55
<b>Figura 24.</b> Superficie para pico presión en función de la temperatura y tiempo de escaldado.	56
<b>Figura 25.</b> Gráfico de efectos principales para firmeza (N) de las muestras escaldadas.	57
<b>Figura 26.</b> Gráfico de contornos obtenido para la firmeza de las muestras.	58

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Composición química del camote (Arce, 2010).	9
<b>Cuadro 2.</b> Atributos de color (Mathias-Rettig & Ah-Hen, 2014)	12

## RESUMEN

El camote es considerado una hortaliza de gran importancia en la alimentación por su alto valor nutritivo y los beneficios que aporta a la salud, por lo que podría ser una alternativa para reducir la prevalencia de algunas enfermedades crónicas (Renee et al., 2018). En este trabajo se evaluó el efecto de la incorporación de una dispersión de mucílago de chíá durante el proceso de escaldado y aceite esencial de mandarina durante el enfriamiento. Las muestras de camote fueron cortadas en geometrías cilíndricas con un diámetro de 1 cm, sometiéndose a tratamiento térmico por inmersión en un medio adicionado con mucílago chíá (3g/L), por 2 y 8 min, a temperaturas de 60 y 90°C. El medio de enfriamiento empleado fue aceite esencial de mandarina en nanoemulsión y emulsión a 4 °C. El estudio se auxilió en un diseño factorial completo 3<sup>2</sup>, se midieron los cambios de color y textura además de los cambios enzimáticos. La variable con mayor influencia fue la temperatura tanto en los términos lineales como en las interacciones ( $P < 0.05$ ), siendo un factor determinante en la disminución de la actividad enzimática, color y textura. Las condiciones más efectivas para realizar el tratamiento fueron a 60 °C/2 min conservando las características de color y textura evaluadas. Sin embargo, a estas condiciones la reducción de la actividad enzimática fue mínima, debido a la activación enzimática que produce cambios indeseables en el producto. A 90 °C / 8 min hubo una mayor reducción de la velocidad de cambio enzimático, sin que por ello se logrará la inhibición total de las enzimas determinadas. Concluyendo que desarrollando el escaldado a estas condiciones solo se logra controlar y minimizar la actividad enzimática, por lo que es necesario emplear otro método de conservación para su almacenamiento como es la congelación.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente el camote ha tomado interés, principalmente debido a que este tiene componentes funcionales y valor nutrimental, siendo un vegetal de bajo costo. Se ha estudiado ampliamente en el tratamiento de varios padecimientos y enfermedades que dañan la salud del ser humano, ya que los compuestos bioactivos contenidos en este tubérculo desempeñan un papel importante en la promoción de la salud, aportando nutrimentos esenciales a la dieta, mejorando la función inmunológica, previniendo el daño vascular y cardiaco, protegiendo al hígado, disminuyendo los niveles de azúcar en la sangre y reduciendo úlceras gástricas. Además, los antioxidantes provenientes del camote juegan un papel importante en la prevención del envejecimiento y las enfermedades relacionadas con la edad (Renee et al., 2018).

Es una raíz comestible perteneciente a la familia de las *Convolvulaceae* y existen más de 400 variedades, siendo más comunes las de pulpa naranja, blanca, amarilla, rojiza o púrpura. Su hábito de crecimiento es rastrero con tallos que crecen horizontales sobre el suelo, es de longitud variable (de 10 cm a 6 m), cilíndrico (calibre de 4 mm a más de 6 mm) y puede ser glabro (sin pelos) o pubescente (velloso) (Huamán,1999). Es un importante cultivo tropical y subtropical, reconocido por su robustez, y por su resistencia a la sequía, a las pestes y a las enfermedades (Linares et al., 2008), por tales razones podría llegar a producirse a gran escala para explotar su potencial de industrialización (FAO,2006), Sus aplicaciones en la industria a nivel mundial ya son cada vez mayores, siendo utilizado como complemento o sustituto en la elaboración de productos alimenticios.

No obstante este tubérculo luego de ser cosechado, continúa desarrollando procesos vitales y reacciones bioquímicas tales como la respiración y la transformación de azúcares, haciéndolo susceptible a enfermedades fisiogénicas como agrietado, deformación de las raíces; una vez que es pelado y cortado, durante su procesamiento el cambio de color por pardeamiento enzimático y la oxidación de nutrientes son fenómenos que se dan con mayor

frecuencia, provocando un aspecto desagradable frente al consumidor y posteriores pérdidas económicas, por el rechazo de los productos (Cardoso & Jiménez, 2015).

Las enzimas se encuentran presentes en los vegetales y son importantes en los procesos metabólicos para mantener con vida a los productos frescos. Sin embargo, estas son importantes durante el procesamiento, ya que contribuyen en gran medida a su deterioro, siendo capaces de resistir los procesos de conservación, debiendo someterse a algún tipo de acondicionamiento y tratamiento químico y/o físico para mantener su calidad por mayor tiempo (Arrázola et al., 2016). El escaldado ha sido utilizado como una alternativa ya que su eficacia está determinada experimentalmente por la desactivación parcial o total de las enzimas con capacidad hidrolítica u oxidativa que afectan mayormente a los alimentos (Castaldo et al., 1989), en cuanto a características relacionadas con el color, textura, sabor y calidad nutritiva (Vicente, 2004). Este tratamiento es una operación preliminar que se realiza por inmersión en agua o con vapor (Bosquez & Colina, 2010), y es un proceso tiempo-temperatura que depende en gran medida de las propiedades del alimento, estabilidad de sus enzimas y microorganismos.

Hoy en día el procesamiento de vegetales frescos se basa en la aplicación de tratamientos simples o combinados que salvaguarden con eficacia al vegetal frente a alteraciones, por ende se ha hecho el uso de tecnologías emergentes que han revolucionado en la industria de alimentos, como la nanotecnología que considera tamaños de entre 20 a 500 nm y aprovecha sus propiedades como área superficial, reactividad y baja percepción e impacto sensorial, siendo una alternativa para llevar a cabo funciones de protección, acarreo y liberación de ingredientes funcionales como antimicrobianos, antioxidantes y nutraceuticos en los alimentos, proporcionando al consumidor un producto fresco y al mismo tiempo garantizando la inocuidad de los mismos, manteniendo una alta calidad nutritiva y sensorial.

# CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

## 1.1 Escaldado

El escaldado es uno de los métodos térmicos más ampliamente aprovechado en la industria de alimentos, se utiliza como medio de transferencia, agua en fase líquida o vapor a temperaturas entre 50 °C y 100 °C y tiempos entre 30 s y hasta 30 min (Ávila & Silva, 1999). Este tratamiento presenta una serie de ventajas importantes, ya que, al realizarse con agua, es un sistema eficaz de lavado y limpieza de los alimentos al tiempo que los reblandece mejorando su textura (González, 2010).

Cabe mencionar que los objetivos que se persiguen con el escaldado no siempre son los mismos y varían de acuerdo con el estado de madurez y el tipo de fruta u hortaliza. Así mismo el escaldado se realiza por una o más de las siguientes razones (Canet, 1983; Morelí, 1991; Philippon, 1992; Mafart, 1993).

1. Inhibición de la acción enzimática, lo cual contribuye a la obtención de un producto de mayor calidad y valor nutricional, dado que se evitan cambios indeseables en el color, y sabor natural, así como la reducción en el contenido de ciertas vitaminas.
2. Expulsión de gases ( $O_2$  y  $CO_2$ ), generados por el proceso natural de respiración de los alimentos, consiguiendo un mejor vacío al momento de envasar.
3. Suavización del alimento, ayudando a que el producto se vuelva más manejable, para el proceso de envasado.
4. Facilitación de operaciones preliminares como el pelado, cortado, extracción de pulpa, etc., de acuerdo al alimento que se aplique.
5. Fijación de color natural, dando una mejor apariencia para el consumidor.
6. Remoción de sabores y olores no deseables de la materia prima.
7. Adición de limpieza al producto.
8. Reducción del número de microorganismos contaminantes, principalmente mohos, levaduras y algunas bacterias que se encuentren en la superficie de los alimentos.

En base a lo ya mencionado es cierto que el escaldado es un proceso que nos entrega múltiples beneficios. Sin embargo, durante el tratamiento se pueden presentar algunas desventajas como son, la pérdida de textura, de color, sabor e impacto ambiental por los requerimientos de grandes cantidades de agua y energía (Ávila & Silva, 1999; Gonçalves et al., 2010; Matheis, 1990; Neves et al., 2012). Otros efectos adversos de esta operación también son la modificación irreversible de la estructura celular, además de la solubilización y/o destrucción de nutrientes y vitaminas en el medio de escaldado (Rodríguez, 2008).

Esta operación debe ser cuidadosa, es decir, debe ser muy controlada en cuanto a la magnitud del tratamiento térmico en nivel de temperatura y periodo de aplicación (Peñuela, 1994). Además, debe ser detenida en forma rápida mediante un enfriamiento eficiente, para el cual se puede hacer uso de agua bacteriológicamente pura para prevenir contaminaciones no deseadas en operaciones posteriores; pero con el fin de economizar, se usa generalmente aire frío. Estos métodos son seleccionados en función del producto (Holdsworth, 1988; Mafart, 1993).

En el procesamiento de vegetales, el enfriamiento tiene igual importancia para la calidad del producto final, ya que la zona térmica entre 10 y 50 °C constituye una fase crítica para la calidad de este, por esta razón, se impone el principio de enfriar, hasta temperatura ambiente o menor. Para tal fin se sumerge el producto en baños de agua fría (5-20 °C) o se pulveriza sobre las materias primas. Otra forma es someterlos a la acción de corriente de aire refrigerado (Lee, 1958; Plank, 1963; Timbers et al., 1984).

Diversos autores recomiendan uno u otro método de escaldado y enfriado para uno u otro producto, sin embargo, la elección del método de escaldado y enfriado apunta al ahorro energético y económico y a la disminución de la pérdida de nutrientes, para mejorar el valor nutricional y la textura de los vegetales procesados (Hurt, 1979). Lo cual se traduce en el requerimiento de un menor tiempo de residencia del producto en los aparatos de escaldado y enfriado (Aguilera, 1996).

### 1.1.1 Definición

El escaldado es un tratamiento térmico de corta duración que se aplica a sistemas tisulares como etapa previa a otras operaciones como la congelación, enlatado, liofilización o secado. Teniendo como objetivo inactivar enzimas, de modo que estas detengan su actividad metabólica y cese la degradación del alimento (Jimenez, 2004; Fernández, 2007).

### 1.1.2 Aplicación

Su aplicación principal es para frutas y hortalizas, aunque también se emplea de forma similar en los crustáceos y aves, para limpieza y eliminación de partes no comestibles (Lund, 1977). Los distintos tratamientos térmicos a los cuales se someten los alimentos vegetales tienen una doble finalidad, evitar las alteraciones que a su vez causan diferentes trastornos y modificar en algunos casos las características del alimento con el fin de hacerlo más aprovechable por el organismo humano (Peñuela, 1994). Sin embargo, los cambios que determinan las alteraciones han demostrado que se deben en gran parte a la acción de los enzimas presentes (García & Hernández, 1989). Por ello, es preciso conocer y controlar estos factores, ya que las modificaciones provocadas, se manifiestan con reacciones químicas y cambios en los caracteres organolépticos, haciendo necesaria su inactivación.

El escaldado es un tratamiento térmico que tiene como objetivo principal la estimulación (activación y/o inactivación) de enzimas presentes en los tejidos vegetales y destrucción de células microbianas que pueden perjudicar la calidad, por lo tanto se han realizado investigaciones de su efecto sobre la actividad enzimática en alimentos como el camote blanco, ya que es un tubérculo perecedero que durante su maduración presenta formación de manchas pardas, heridas en el epidermo, sabores y olores extraños (Walter & Schadel 1982) causadas por la acción de sus enzimas, es por esta razón que no suele ser almacenado por periodos muy prolongados, lo que conlleva a pérdidas económicas.

Una vez que se conoce la principal causa de alteración de este tubérculo, es preciso controlarla y tomarla en cuenta durante todo el proceso de escaldado, debido a que los

compuestos termolábiles presentes pueden ser destruidos por el calor intenso o bien en algunos casos su actividad puede aumentar por el calor moderado.

Así mismo es de suma importancia tener un control en el tiempo y temperatura del tratamiento térmico, ya que el camote debe ser acondicionado adecuadamente, debido a que estudios de Linares (2008), indican que si esta raíz se consume cruda puede producir flatulencias, diarreas e incluso una purgación drástica debido a su alto contenido de resinas glicosídicas (alrededor de 5 a 18 %), similares a las responsables de la actividad purgante de las especies del género *Ipomoea*, además de que llega a ser más fibroso, insípido, sin sabor y aroma atractivos. Considerando que los productos vegetales, fuente de nutrientes como ácido ascórbico, vitaminas del complejo B, carotenoides, minerales, lípidos y carbohidratos (Karlsson & Luh, 1988) no deben ser sobre escaldados, puesto que resulta en una excesiva lixiviación de minerales, pigmentos, vitaminas y pérdida de valor nutricional (Woodroof, 1988), por tanto, la importancia de tener un control de tiempo y temperatura durante el proceso.

En los últimos años, los científicos y tecnólogos han dedicado grandes esfuerzos a resolver los aspectos negativos que presenta la operación de escaldado así, se ha estudiado la posibilidad de sustituir este proceso por tratamientos químicos que ejerzan una acción selectiva sobre los sistemas enzimáticos (principal objetivo del escaldado), o que minimicen sus efectos negativos sobre la calidad del vegetal (Philippon, 1984; Cano & Fúster, 1988; Mafart, 1993). Por ello, también se adicionan sales, como cloruros y sulfatos sódicos o potásicos, que, sin modificar el pH del agua de escaldado, mejoran la textura de algunas hortalizas (coles de bruselas, guisantes y judías verdes), o cloruros o citratos cálcicos que mejoran la firmeza de vegetales como coliflor y la patata (Canet, 1986).

### **1.1.3 Equipos**

Una buena técnica en cuanto a equipo y control del proceso de escaldado debe asegurar una distribución uniforme de calor a cada unidad individual del producto, un tiempo de escaldado uniforme, no debe dañar al producto, alto rendimiento y calidad del proceso, bajo consumo de energía, facilidad de manejo, montado y limpieza (Porsdal, 1986). Los dos métodos de escaldado comercialmente más empleados mantienen durante un tiempo el alimento en una atmósfera de vapor saturado, o sumergido en un baño de agua caliente. En los últimos años se han introducido importantes mejoras en las instalaciones con objeto de reducir el consumo energético y la pérdida de los componentes solubles. Esto último, reduce los contaminantes de los efluentes e incrementa el rendimiento del producto (Sánchez, 2003). Generalmente se utilizan dos tipos de equipos para este propósito, el escaldador giratorio de inmersión continua y la marmita basculante.

#### **1.1.3.1 Escaldador Giratorio de Inmersión Continua**

El escaldador giratorio de inmersión es un equipo en el cual los productos son transportados a través de un tanque o tambor estático con agua caliente utilizando un transportador en espiral con lo que el producto es sumergido constantemente en el agua (Hersom et al., 1984; Holdsworth, 1993). La temperatura del agua se mantiene mediante el calentamiento directo o indirecto con vapor. Este tipo de escaldador permite el procesamiento de la mayoría de los productos vegetales consiguiendo una amplia variación en los tiempos de residencia para cada uno de ellos de acuerdo a sus necesidades individuales (Holdsworth, 1993).



**Figura 1.** Escaldadora tipo cilindro (Jersa,2009).

### **1.1.3.2 Marmitas Basculantes**

Es un sistema de calentamiento indirecto muy utilizado en la industria alimentaria, en especial para el procesamiento de frutas y hortalizas. Consiste básicamente en una cámara de calentamiento conocida como camisa o chaqueta de vapor, que rodea el recipiente donde se coloca el material que se desea calentar. El calentamiento se puede realizar de dos formas diferentes, una que consiste en hacer circular el vapor a cierta presión por la cámara de calefacción, en cuyo caso el vapor es suministrado por una caldera. Esta es denominada marmita de vapor (FAO, 2015).

Usualmente la marmita tiene forma semiesférica y puede estar provista de agitador mecánico y un sistema de volteo para facilitar la salida del producto. Se pueden encontrar dos tipos de marmitas según sea abierta o cerrada. En la abierta el producto es calentado a presión atmosférica, mientras que en la cerrada se emplea vacío. El uso de vacío facilita la extracción de aire del producto por procesar y permite hervirlo a temperaturas menores que las requeridas a presión atmosférica, lo que evita o reduce la degradación de aquellos componentes del alimento que son sensibles al calor, favoreciendo la conservación de las

características organolépticas y el valor nutritivo de la materia prima, con lo que se obtienen productos de mejor calidad (FAO, 2015).



Figura 2. Marmita basculante de volteo (Aguilar,2017).

## 1.2 Camote

### 1.2.1 Definición

El camote (*Ipomoea batatas*) es una raíz comestible, perteneciente a la familia de las Convolvulaceae. Existen más de 400 variedades, siendo más común la de pulpa naranja, aunque también hay blanca, amarilla, rojiza o púrpura (Ver figura 3). Su hábito de crecimiento es rastrero con tallos que crecen horizontales sobre el suelo, es de longitud variable (de 10 cm a 6 m), cilíndrico (calibre de 4 mm a más de 6 mm) y puede ser glabro o pubescente (Huamán 1999).

Es un cultivo tropical y subtropical importante reconocido por su robustez, y por su resistencia a la sequía, a las plagas y a las enfermedades (Linares et al., 2008), por lo cual podría llegar a producirse a gran escala para explotar su potencial de industrialización (FAO, 2006).



**Figura 3.** Variedades de camote (*Ipomoea batatas*) (Linares,2008).

El camote se cultiva a nivel mundial, ocupando el tercer lugar después de la papa y la yuca, dentro de la producción de raíces y tubérculos. Su cultivo se localizó desde México hasta Chile, de ahí pasó a Polinesia y luego se difundió hasta África y Asia (FAO, 2006), por lo cual existen muchas variedades de camote, naranjas, moradas y blancas, con igual número y combinaciones de color de la carne interna. Sin embargo, hay dos variedades que son consumidas en mayor proporción, una es la de piel morada, pero con una carne color naranja y la otra, variedad de cáscara morada con carne blanca a un leve color amarillo y con una forma cilíndrica alargada; una de las principales características de esta variedad es que su sabor no suele ser tan dulce como el morado, por lo cual es una especie adecuada para la extracción de almidón.

Es considerado como un alimento de alta energía, además se caracteriza por contar con elongaciones carnosas y almidonadas que constituyen tubérculos de naturaleza biológicamente única (Kay 1973, Hoover et al. 1983, Tanaka et al. 2005), sus raíces tienen un contenido de carbohidratos totales de 25-30 %, de los cuales el 98 % es considerado fácilmente digestible (Arce, 2002). El contenido de almidón varía de 50 a 70 % de materia seca. Es una fuente excelente de carotenoides de provitamina A, también es una fuente de vitamina C, potasio, hierro y calcio (Ver cuadro 1). El contenido de aminoácidos es balanceado, con un mayor porcentaje de lisina que el arroz o el trigo, pero un contenido limitado de leucina (FAO, 2006). Las proteínas del camote son deficientes en Cisteína,

Metionina, Lisina y Leucina, pero ricos en otros como los ácidos Aspártico y Glutámico. El camote ha demostrado contener cantidades sustanciales de ácido ascórbico (vitamina C), moderadas cantidades de tiamina (vitamina B1), riboflavina (vitamina B2), niacina, piridoxina, y sus derivados (vitamina B6) y ácido fólico (Quinatoa, 2009).

**Cuadro 1.** Composición química del camote (Arce, 2010).

Agua	74%
Hidratos de Carbono	21.5% (fibra 1.2%)
Lípidos	0.2%
Proteína	1.2%
Sodio	41 mg/100g
Potasio	385mg/100g
Fósforo	55 mg/100g
Calcio	22 mg/100g
Hierro	1 mg/100g
Vitamina C	25 mg/100g
Vitamina A	667 UI/100g
Vitamina B	10,1 mg/100g
Vitamina B2	0.06 mg/100g
Vitamina B3	52 mg/100g

El camote tradicionalmente se lo consume: cocido, al horno, asado o frito, sin ningún condimento. Sus hojas y tallos sirven como forraje para ganado debido a su gran disponibilidad frente a otros pastos, además favorece e incentiva la producción de leche en el ganado (Bastidas et al., 2010). Actualmente la importancia de este tubérculo como cultivo alimenticio está creciendo rápidamente en algunas partes del mundo, debido a que es una fuente saludable y barata, por lo que se ha destinado a la alimentación humana y animal como

consumo fresco, y en productos elaborados como harina, almidón, alcohol, jarabes, dulces, glucosa, y como colorante (Acha, 2014).

## **1.2.2 Parámetros Físicos**

En general cualquier tratamiento térmico influye sobre la calidad sensorial del alimento, por lo que después del tratamiento de escaldado se pueden observar cambios de color, ablandamiento de tejidos y su consecuente cambio de textura, así como cambios de sabor y aroma (Mendoza, 2011).

### **1.2.2.1 Color**

Los alimentos, tanto en su forma natural como procesada, presentan un color característico y bien definido mediante el cual el consumidor los identifica. El color a menudo se utiliza para determinar el contenido de pigmentos de un producto, que a su vez es un índice de calidad, como lo es en el caso del salmón o del vino (González, 2010). También puede proporcionar cierta información sobre la calidad comestible de un alimento, sobre su identidad o sobre la intensidad del sabor. Por ello, en muchos casos se ha comprobado el papel decisivo que tiene el color sobre la experiencia de la persona en saborear un alimento (Badui, 2006).

El color es una cualidad organoléptica de los alimentos y se aprecia por medio del sentido físico de la vista. También suele ser considerado un factor psicológico de apreciación y un criterio para elegir un producto alimenticio; incluso en los productos de origen vegetal se relaciona con la posibilidad de elegir la maduración y su idoneidad.

Según Bello (2008), las causas que definen la coloración de un alimento son los siguientes:

1. La presencia de pigmentos o colorantes naturales, que son sustancias que tienen una función biológica muy importante en el tejido, tal como en el caso de la clorofila y la fotosíntesis, entre otros.

2. La formación de pigmentos colorantes como consecuencia de reacciones químicas o enzimáticas. Un ejemplo muy conocido es el oscurecimiento en frutas y vegetales, durante el tratamiento térmico y almacenamiento, lo cual es el resultado de reacciones de pardeamiento enzimático y no enzimático. Existen básicamente dos tipos de reacciones no enzimáticas asociadas con la pérdida de color en los alimentos durante el almacenamiento, una debida a las reacciones de azúcares reductores y aminoácidos (reacciones de Maillard), y la otra a reacciones de oxidación, tal como la conversión de polifenoles en policarbonilos o la degradación oxidativa del ácido ascórbico. Por otro lado las reacciones de formación de complejos con iones metálicos como el cobre y el hierro.
3. La adición intencionada de sustancias químicas colorantes para dar el color.
4. El efecto físico de los sistemas fisicoquímicos presentes en el alimento y relacionado con la dispersión de la luz.

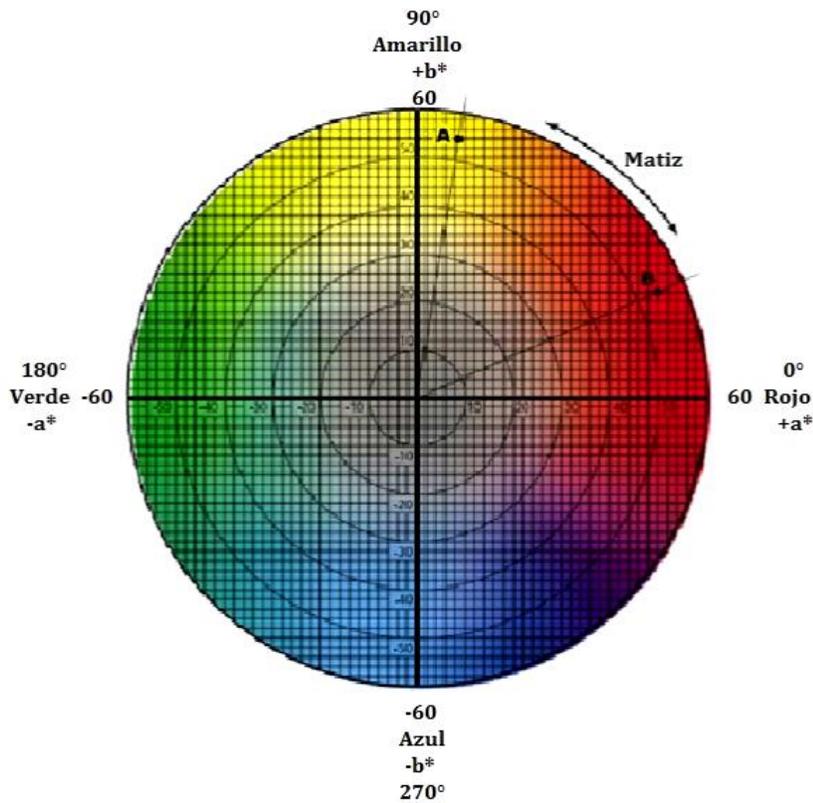
El color es una propiedad de la materia que se relaciona directamente con el espectro de la luz. Por lo tanto, se puede medir físicamente en términos de la energía radiante o la intensidad, y por la longitud de onda (Badui, 2006).

Las mediciones de color pueden ser realizadas de formas visuales (con el ojo humano) o instrumentales con un colorímetro, utilizando la visión digital (Wu & Sun, 2013). Para fines técnicos se define el color en tres atributos: matiz, croma y brillo (Cuadro 2), términos acuñados en la ciencia del color por Munsell (1905).

**Cuadro 2.** Atributos de color (Mathias-Rettig & Ah-Hen, 2014)

Atributo	Descripción	Ejemplo
Matiz	Tono, tinte, color, “hue”. Es caracterizado por la longitud de onda de la radiación y hace diferente un color de otro. Representa un espacio en el diagrama de cromaticidad.	Rojo - amarillo o Verde - amarillo
Cromaticidad	Saturación, intensidad, pureza, “croma”. Define la intensidad o pureza espectral del color que va desde los tonos grises, pálidos, apagados a los más fuertes y vivos. Es el grado de color (incoloro, brillo, palidez).	Brillante rojo- amarillo o Pálido-rojo amarillo
Luminosidad	Brillante, brillo, “brightness”. Es dado por el contenido total de energía. Da lugar a los colores claros y oscuros. Es el grado entre la oscuridad y el brillo máximo.	Rojo brillante- amarillo o Rojo oscuro- amarillo

Existen varios métodos para calcular los coeficientes tricromáticos del color de una muestra, sometida a un iluminante determinado, a partir de la luz que refleja. Uno de ellos consiste en la utilización de un colorímetro provisto de tres filtros determinados, con los cuales se realizan tres medidas sucesivas de la luz reflejada (Caivano, 1995). El espacio de color tridimensional, CIE- $L^*a^*b^*$ , define las magnitudes colorimétricas que se derivan matemáticamente de los valores tri estímulo, este espacio cartesiano está definido por tres coordenadas ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ) como se muestra en la Figura 4, estas coordenadas son importantes cuando se busca obtener numéricamente las diferencias de color.



**Figura 4.** Círculo cromático CIELAB (Mathias-Rettig & Ah-Hen, 2014).

La diferencia total de color ( $\Delta E$ ) es siempre positiva y considera la diferencia entre el estándar y la muestra, obtenidos por la aplicación del teorema de Pitágoras (Ecuación 1);

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde  $\Delta$  representa una diferencia y E es la letra inicial de Empfindung del alemán, lo cual significa sensación (Francis et al., 1975). Por lo tanto, define la cuantificación de un cambio en el color, pero no da información del tipo de diferencia. Sólo nos dirá si la muestra del ensayo es más clara u oscura que la referencia. Basados en la visión del ojo humano, los colorímetros son dispositivos triestimulares (tres filtros) para cada longitud de onda: filtros rojo, verde y azul. De esta forma se emula la respuesta del ojo humano al color y la luz. En algunas aplicaciones de control de calidad, estas herramientas representan la respuesta de

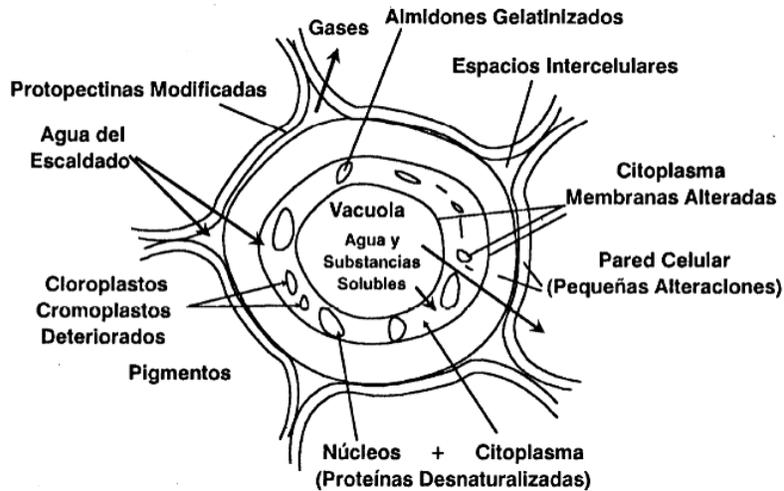
menor costo. Existe una serie de equipos, tales como los colorímetros Hunter Lab, Gardner, Color Eye, Color Master, Momcolor, Dr. Lange y Minolta (Figura & Teixeira, 2007).

Debido a que el color es un atributo de calidad muy importante para la determinación del tiempo de vida útil de un producto y muy apreciado por los consumidores. Algunos autores han evaluado los cambios de color causados por efectos del pardeamiento en frutas y vegetales, utilizando la disminución de la luminosidad ( $\Delta L^*$ ), cambios en  $L^*$  y  $a^*$  (cromaticidad verde (-) rojo (+) o cambios en  $L^*$  y  $b^*$  (cromaticidad azul (-) amarillo (+)).

En la actualidad existen diversas investigaciones donde se han estudiado los beneficios encontrados en el mantenimiento o mejora del color de frutas y hortalizas, como consecuencia de la aplicación de tratamientos de escaldado. Así, Agblor & Scanlon (2000) encontraron que tratamientos de escaldado con altas temperaturas y tiempos cortos incrementaron la luminosidad de patatas. Howard et al., (1996) concluyó que el escaldado con vapor ayuda a retardar la decoloración de zanahorias mínimamente procesadas, manteniendo el índice de blancura y la formación de lignina, además de inactivar a la enzima POD.

### **1.2.2.2 Textura**

El cambio de textura en vegetales escaldados está asociado al ablandamiento de la pared celular. Este efecto se puede describir mediante dos procesos: el daño que ocasiona el calor a las membranas celulares asociada a la pérdida de la presión de turgencia y los cambios de la pectina por reacciones de polimerización y fenómenos de solubilización como se muestra en la figura 5. En los alimentos ricos en almidón como tubérculos y granos, se genera además gelatinización de los gránulos de almidón que influyen en parámetros de textura como cohesividad, adhesividad y gomosidad (Van Marle et. al, 1997) como consecuencia de la transformación de la pectina y la extensión del volumen intracelular a causa de los gránulos de almidón (Ormerod et al., 2002).



**Figura 5.** Efectos del escaldado sobre la célula vegetal (Katsaboxakis, 1984).

El almidón es un polisacárido constituido por amilosa y amilopectina que a diferencia de todos los demás carbohidratos se presenta como complejos discretos (gránulos) que durante el proceso de gelatinización, el orden molecular dentro de los gránulos es destruido gradual e irreversiblemente, por esto la temperatura de gelatinización es característica para cada tipo de almidón.

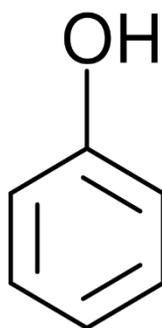
En los vegetales escaldados en trozos, el ablandamiento puede ser muy excesivo y generar el rechazo por parte del consumidor o existir incluso desintegración. Puede usarse como ayuda la adición de sales de calcio al agua de escaldado en concentraciones hasta del 0.6 % en tratamientos a temperatura entre 55 °C y 65 °C y tiempos de 15 min con el objetivo de que la enzima pectinesterasa desesterifique la pectina y los iones  $Ca^{++}$  se asocien con los grupos ácido y formen redes de pectato de calcio. Lo anterior puede aplicarse a frutas como manzanas en las que puede mantenerse su microestructura a lo largo del escaldado (Ni et al, 2005; Valle et al., 1998) y a tubérculos como papas en donde la firmeza es significativamente más alta en tubérculos escaldados a 65 °C y cocidos que en tubérculos escaldados a temperaturas mayores a 90 °C (Abu et al., 2006).

## 1.2.3 Fenómenos de Oxidación

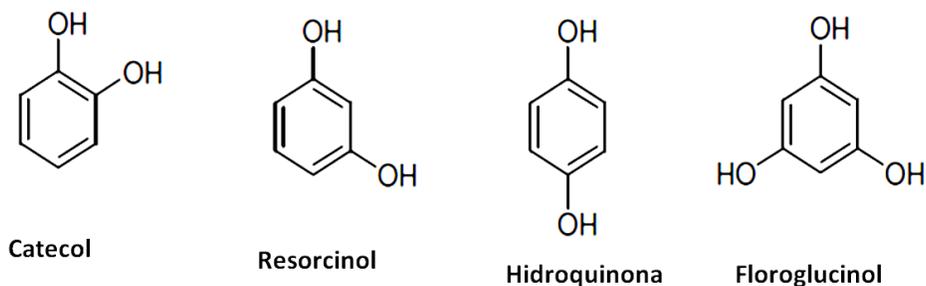
### 1.2.3.1 Fenoles Totales

Estos compuestos son moléculas que tienen uno o más grupos hidroxilo unidos a un anillo aromático. Para comprender la estructura química de los compuestos fenólicos es importante comenzar con el fenol, que es la molécula básica (Figura 6), este se compone de un anillo aromático (fenol) unido a un grupo hidroxilo (OH). La presencia de este anillo hace que los ácidos débiles, generen un efecto inductivo en el hidrógeno del grupo hidroxilo y presenta un papel importante en las propiedades antioxidantes.

En cambio, los fenoles simples son compuestos que tienen dos (en las posiciones 1,2, 1,3 o 1,4) o tres (en las posiciones 1,3,5 o 1,2,3) grupos hidroxilo en el anillo aromático. Las estructuras químicas de algunos compuestos fenólicos simples se muestran en la Figura 7.



**Figura 6.** Estructura química del fenol (Peñarrieta et al., 2014).



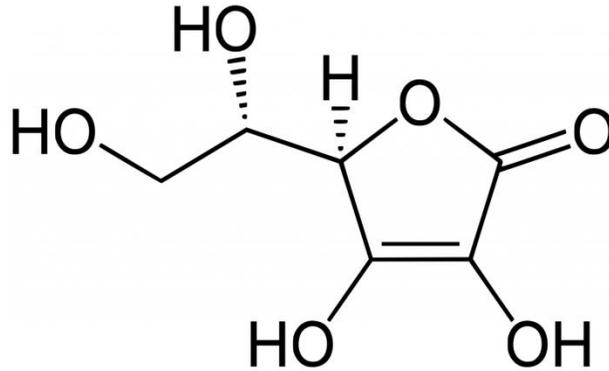
**Figura 7.** Estructuras químicas de compuestos fenólicos simples (Peñarrieta et al., 2014).

Dentro de la clasificación general se encuentran los fenoles, ácidos fenólicos (ácido benzoico y hidroxicinámico), flavonoides (flavonoles y antocianinas), estilbenos y lignanos, que constituyen un amplio grupo de sustancias químicas consideradas metabolitos secundarios de las plantas, con diferentes estructuras químicas y atributos. El color y la piel del camote orienta hacia la presencia de ciertos compuestos fenólicos, por ejemplo, las pigmentaciones rojas, azules o púrpuras se asocian con el contenido de antocianinas en los tubérculos (Brown, 2005; Garzón, 2008).

Por lo tanto, existe un gran interés, en estudiarlos debido a sus propiedades antioxidantes, su participación en procesos sensoriales de los alimentos naturales y procesados, además de sus posibles aplicaciones benéficas para la salud humana (Porrás et al, 2009).

#### **1.2.3.2 Ácido Ascórbico**

El ácido ascórbico, es un compuesto soluble en agua, que se oxida con facilidad, por lo tanto, actúa como agente reductor y antioxidante (captador de radicales). Está muy extendido en la naturaleza, y las frutas y las verduras son las fuentes más importantes de esta vitamina. Además, es estable en alimentos ácidos como determinadas frutas, pero también muy sensible al calor y a la oxidación. Si el alimento en cuestión se calienta durante demasiado tiempo, la vitamina pasa a formar parte del agua de la cocción. Muchas variedades de verdura contienen ácido ascórbico-oxidasa, una enzima que entra en contacto con la vitamina cuando la verdura se corta y la oxida. Esta enzima es la responsable de que los alimentos crudos tengan que consumirse inmediatamente después de cortarlos, antes de que se pierda la vitamina C. Una manera de evitarlo es escaldar la verdura justo después y por completo, de forma que se desactiven las enzimas de la capa externa y así evitar que se produzca una gran pérdida de la vitamina. Cuanto más desactivado, compacto y ácido sea el alimento, y frío y húmedo el ambiente, menos vitamina C perderemos.



**Figura 8.** Estructura química del ácido ascórbico.

### 1.3 Actividad Enzimática

#### 1.3.1 Definición

Las enzimas son el grupo más variado y especializado de las proteínas, su función es actuar como catalizadores, permitiendo que las reacciones que transcurren en los organismos y tejidos vivos puedan desarrollarse a un ritmo adecuado. Estas son capaces de acelerar reacciones químicas específicas en un medio acuoso, y en condiciones en las que los catalizadores no biológicos, serían incapaces de realizar iguales funciones. La importancia de las reacciones enzimáticas en la tecnología de alimentos constituye una parte fundamental y muy extensa. En general en el procesamiento de frutas y hortalizas se pretende minimizar los cambios enzimáticos, de tal forma que se puedan conservar por largos periodos en almacenamiento (Braverman, 1996). La mayor parte de las enzimas asociadas a la alteración de frutas y vegetales son polifenoloxidasas, pectinmetilesterasa, cloroflasas, catalasas y peroxidasas; a excepción de estas últimas, no suelen ser resistentes al calor (Philippon, 1992).

La velocidad a la cual una enzima cataliza una reacción es conocida como actividad enzimática. Esta puede ser medida por la velocidad de formación de productos o desaparición de reactivos en presencia de una cantidad de enzima dada (Engel, 1996), esta velocidad está determinada por un número de factores tanto inherentes como externos a ella.

Se han desarrollado varios métodos matemáticos, agrupados bajo el término de cinética para la cuantificación de los factores que afectan la velocidad de reacción (Hencht, 1998). La cinética enzimática permite caracterizar una enzima individual y proveer datos acerca del funcionamiento bajo diferentes condiciones fisiológicas, además de brindar información acerca del mecanismo de catálisis (Conn et al.,1996).

### **1.3.2 Polifenoloxidasas (PPO)**

La polifenoloxidasa (PPO) es una metaloenzima que se encuentra distribuida ampliamente entre microorganismos, plantas y animales. Participa en procesos como pigmentación en vertebrados y oscurecimiento enzimático de frutas y vegetales, hongos y algunos crustáceos como camarones y langostas (Ulloa, 2008).

Está presente en altas concentraciones en algunas uvas (pasas), ciruelas, higos (Black Mission), dátiles, hojas de té y de los granos del café, donde su acción es deseable. Se encuentra en concentraciones moderadas en melocotones, manzanas, plátanos, papas y lechugas, donde su acción es indeseable.

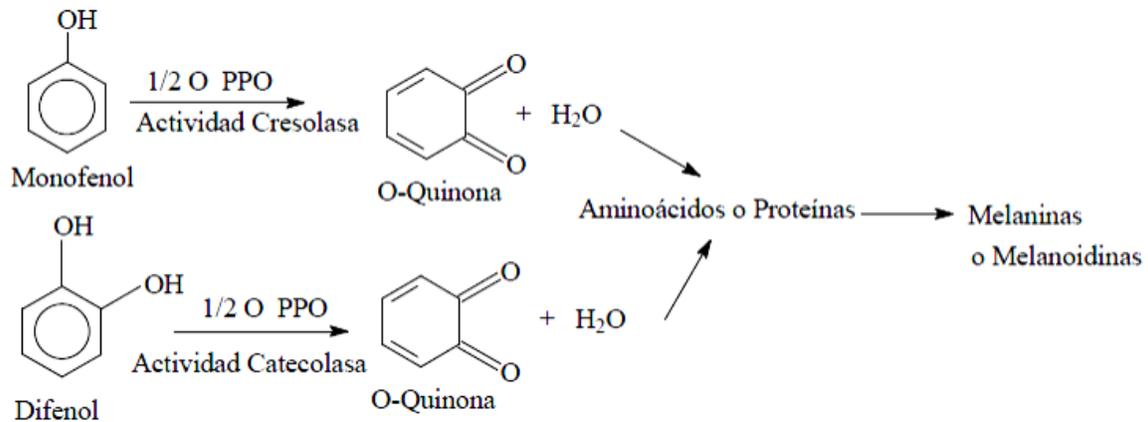
En frutas y vegetales las magulladuras, el troceado y otros procedimientos mecánicos dañan sus paredes lo cual permite que el oxígeno penetre, dando como resultado el oscurecimiento o las reacciones de pardeamiento enzimático. Este fenómeno es un problema de primera magnitud en la industria agroalimentaria y se reconoce como una de las principales causas de pérdidas de calidad y valor comercial de las frutas y vegetales cosechados, almacenados y procesados ya que produce cambios importantes tanto en la apariencia como en las propiedades organolépticas, además suele ir asociado al desprendimiento de olores y efectos negativos sobre el valor nutricional (Carriel et al., 2014).

#### **1.3.2.1 Mecanismo de Acción**

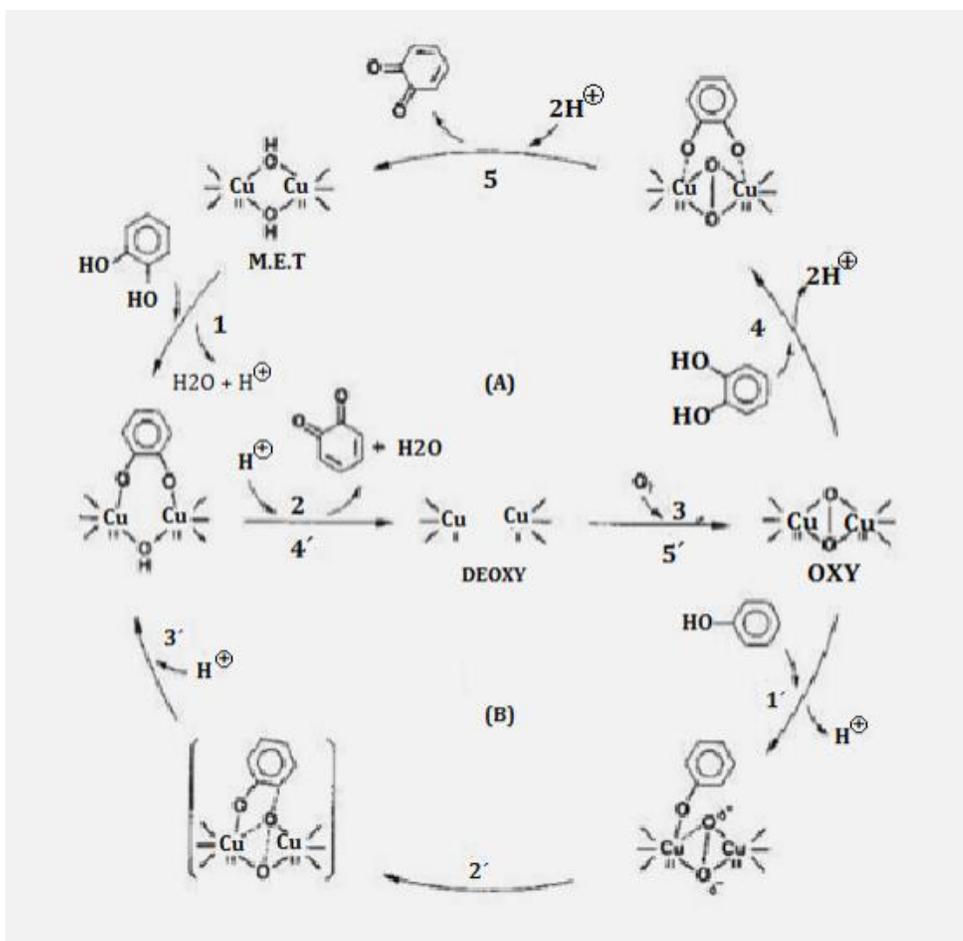
La enzima PPO juega un papel importante en la resistencia de los tejidos vegetales a los ataques microbianos, infección viral y a las temperaturas adversas. Actúa sobre dos tipos de

sustratos: monohidroxi fenoles como por ejemplo el p-cresol hidroxilandolos en posición orto con respecto al grupo hidroxilo original y sobre odihroxifenoles tales como el catecol, oxidándolos a benzoquinona por remoción de hidrógenos del grupo hidroxilo. La figura 9 muestra las dos actividades que ella presenta.

La característica estructural más importante de la PPO es la presencia de su centro activo de dos átomos de cobre, unidos a histidinas; alrededor de los cobres, se sitúan aminoácidos hidrofóbicos, con anillos aromáticos, importantes para la unión de los sustratos (Calvo 2007). Los sitios activos muestran una estructura piramidal trigonal coordinadas por las esferas formadas por los 3 ligandos de histidina y la molécula del solvente como puente. El átomo de azufre de la cisteína 92 no se liga al centro cobre, pero está unido covalentemente al átomo del carbono de la histidina 109, (Klabunde et al. 1998).



**Figura 9.** Reacción generalizada de la PPO en plantas (Gacche et al., 2003).



**Figura 10.** Mecanismo cinético propuesto para la oxidación de o-difenol (Catecol [A]) y un monofenol (fenol [B]) (Ramírez et al., 2003).

El mecanismo de reacción de la PPO, se basa en la catálisis de dos etapas, oxidación de un monofenol a o-difenol y la subsiguiente oxidación de éste a o-quinona, actividad cresolasa y catecolasa respectivamente. Siguiendo un mecanismo ordenado, la enzima liga primero el oxígeno y después el monofenol. Se produce un cambio de valencia de los iones de cobre de Cu<sup>+</sup> a Cu<sup>2+</sup> formándose un complejo que tiene un enlace O-O bien polarizado donde se produce la hidroxilación a o-difenilo. La oxidación del o-difenol a o-quinona finaliza el ciclo (Belitz et al., 2004). La PPO, es capaz de catalizar reacciones de oxidación de compuestos polifenólicos en presencia de oxígeno molecular y la presencia de los compuestos oxidados por la enzima son precursores de las reacciones de pardeamiento que ocurren en los procesos de pos-recolección y manipulación de frutas y hortalizas (Ayaz et al. 2008).

### 1.3.3 Peroxidasa (POD)

La peroxidasa (POD) es una enzima que pertenece al grupo de las oxidoreductasas. Las cuales descomponen peróxido de hidrógeno en presencia de un donador de hidrógeno. Son muy extendidas en la naturaleza ya que se encuentran presentes en vegetales, animales y microorganismos. Esta enzima controla el crecimiento fisiológico de las plantas, su diferenciación y desarrollo (Ercan et al., 2011). Pueden ser divididas en dos clases principales:

1. Peroxidasas que contienen hierro
2. Peroxidasas que contienen flavo-proteínas

Las enzimas que pertenecen a la clase 1 pueden ser subdivididas en peroxidasas ferriprotoporfirina y verdoperoxidasas. Donde las peroxidasas ferriprotoporfirina se encuentran presentes en frutas y vegetales, mientras que las verdoperoxidasas están en órganos, animales y leche (lactoperoxidasa) (Vámos, 1981). La POD que se encuentra en vegetales contiene hemoenzima, que es capaz de catalizar un gran número de reacciones en las que se reduce el peróxido, mientras que un donador de electrones se oxida (Ercan et al., 2011; Neves et al., 2012; Polata, et al., 2009).

Esta enzima interviene en la lignificación y construcción de la pared celular, la protección contra el deterioro de tejidos e infección por microorganismos, también interviene en la biosíntesis de etileno y por tanto en el control de la actividad respiratoria, en la madurez, senescencia y los cambios asociados a ella (Tijskens, et al., 1997), pero la función primaria de la peroxidasa en las plantas es la reducción de peróxido de hidrógeno a expensas de la oxidación de los compuestos fenólicos (Polata et al., 2009).

La POD participa en el desarrollo de aromas extraños, cambios de color y pérdida de ácido ascórbico durante el almacenamiento de productos procesados (Espín, 2001). A lo que Ercan & Soysal (2011) consideran que esta enzima tiene una relación empírica con el sabor y el color de las verduras congeladas blanqueadas, por la generación de aldehídos y cetonas.

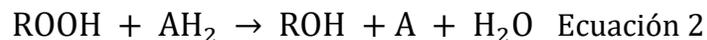
Kampis et al. (1984), le asigna responsabilidad a la peroxidasa en la biosíntesis de lignina y degradación de clorofila. Chang et al. (1984) señala que esta enzima está relacionada con cambios de sabor y color debido a la oxidación de compuestos fenólicos en quinonas (en presencia de peróxido de hidrógeno), y afectaría el valor nutritivo por reacción de éstas con aminoácidos y vitamina C en los vegetales no escaldados.

### 1.3.3.1 Isoenzimas de la Peroxidasa

Se trata de formas moleculares múltiples de la POD que catalizan fundamentalmente la misma reacción pero que difieren en sus propiedades químicas, físicas o estructurales (Jiménez,1993; Polata et al., 2009; Schmidt, 1981). La presencia de isoenzimas de peroxidasa puede causar problemas en el escaldado de la mayoría de los vegetales. Las isoenzimas actúan sobre el mismo sustrato, pero la composición química es diferente, lo que se refleja en las variadas estabilidades al calor. La cantidad relativa de isoenzimas varía de vegetal en vegetal, y aun en la misma especie puede diferir con la variedad, edad y factores ambientales (Ercan & Soysal, 2011; Vámos, 1981; Williams et al., 1986).

### 1.3.3.2 Mecanismo de Acción

La peroxidasa es una oxidorreductasa que cataliza reacciones usando oxígeno o peróxido como receptor de hidrógeno como se muestra en la figura 10. Hemeda & Klein (2006), señalan que los mecanismos de acción de la peroxidasa están basados en la formación de un complejo enzima -donante de hidrógeno, como se observa en la siguiente reacción:



Dónde:

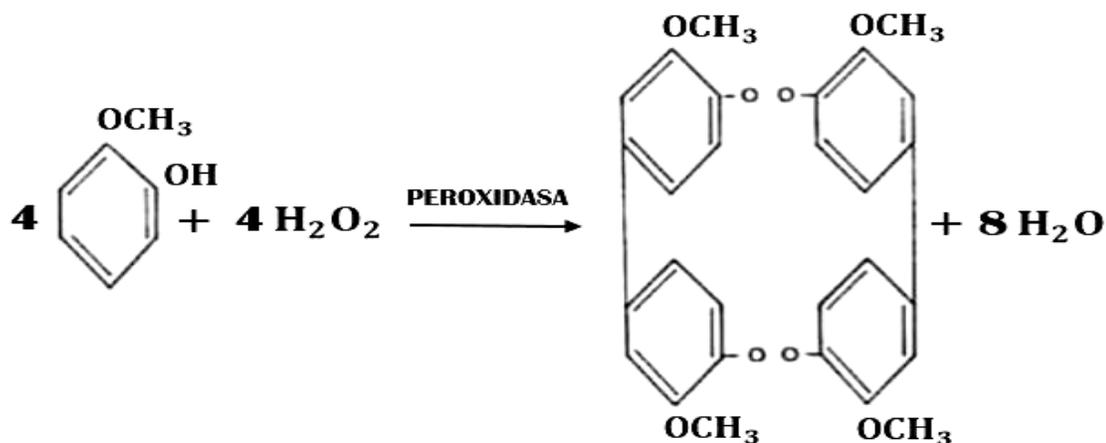
R = H+, CH<sub>3</sub> o C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>

AH<sub>2</sub>= Donador de hidrógeno en la forma reducida.

A = Donador de hidrógeno en forma oxidada.

Una gran variedad de compuestos puede actuar como donadores de hidrógeno, incluyendo, fenoles (p-cresol, guayacol, resorcinol), aminas aromáticas (anilina, bencidina, o-fenildiamina, o-dianisedina) y otros compuestos. La reacción oxidativa de POD puede tener lugar en ausencia de peróxido de hidrógeno, pero para ello se requiere de  $O_2$  y cofactores como  $Mn^{2+}$  y un fenol (Vámos, 1981).

La peroxidasa cataliza la reacción de ciertos compuestos dadores de hidrógeno, como fenoles (guayacol, pirogalol) y aminas aromáticas (o-fenilendiamina) por medio de peróxidos ( $H_2O_2$ ). El sustrato oxidable más usado es el guayacol, que es oxidado a un complejo coloreado de tetraguayacol en presencia de peróxido (Whitaker, 1993). La velocidad de formación del color rojo ladrillo puede ser utilizada como medida de la actividad enzimática por lecturas espectrofotométricas de las absorbancias con relación al tiempo (Fennema, 2000). La peroxidasa en general cataliza la oxidación de un electrón de una amplia variedad de compuestos fenólicos en presencia de peróxido de hidrógeno (Vámos, 1981).



**Figura 11.** Mecanismo de reacción de la POD para llevar a cabo el oscurecimiento enzimático, utilizando como sustrato guayacol (Whitaker, 1993).

### **1.3.4 Pectinmetilesterasa (PME)**

La enzima PME se encuentra en gran variedad de plantas las cuales presentan una gran actividad de la enzima. Estas pueden ser identificadas en frutos, por ejemplo, manzana, plátano, cerezas, cítricos, mango, papaya, zanahoria, coliflor, papa y jitomate (Wong et al., 2003). La pectinmetilesterasa es sintetizada por plantas particularmente vegetales y cítricos, hongos y bacterias (Barajas, 2003). El metanol es el producto mayoritario de la acción de PME. La especificidad de la enzima es con los grupos metil éster. Su actividad es sinergista y está presente antes de cualquier actividad de poligalacturonasa (Ketsa, 1999). El control de la actividad de la PME se encuentra referido a través del conocimiento de su dependencia a ciertos parámetros, como la temperatura y el pH, y ocupa gran importancia en la industria alimenticia para quienes procuran mantener las características texturales de los frutos y sus productos procesados (Castaldo et al., 1989).

La pectina es un componente principal de la pared celular de las plantas, durante la maduración normal de los frutos, las pectinas son degradadas lo cual contribuye a cambios de textura como el ablandamiento y la liberación del jugo. Esta enzima se puede encontrar en varios tejidos y están principalmente asociadas por interacciones iónicas con las proteínas de la pared celular. Dentro de cada especie se pueden mostrar múltiples formas de PME, en general se encuentran básicos, neutro y ácidos y difieren en varias propiedades bioquímicas como la masa molecular relativa y el pH óptimo. Su función exacta no se conoce, pero puesto que son capaces de ser pectina esterificada y a menudo están presentes en la pared celular, está claro que están involucradas en la modificación de la pectina (Wong et al., 2003).

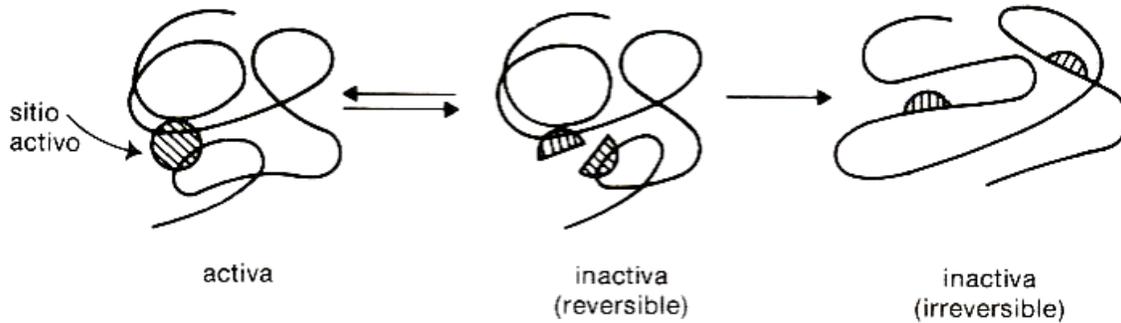
#### **1.3.4.1 Mecanismo de Acción**

Las pectinmetilesterasas hidrolizan los enlaces éster metílico de la pectina, liberan metanol y producen pectinas de bajo metoxilo. Esta enzima es también denominada pectinesterasa, pectasa, pectin demetoxilasa. Ataca a la cadena de pectina a partir de los grupos carboxilos libres y procede linealmente a través de la molécula dejando bloques sucesivos de residuos de ácido galacturónico con grupos carboxilos libres. Esto provoca la liberación del metanol y

formación de ácido péctico, que, en presencia de iones divalentes, como el calcio, conduce a un incremento de la consistencia debido a la formación de puentes cruzados entre el  $\text{Ca}^{+2}$  y los grupos carboxilo de ácidos pécticos. La PME aumenta la susceptibilidad de la pectina a una posterior degradación por PG, esto ocurre porque esta enzima actúa solo en los segmentos de la cadena de pectina que han sido desmetilados por la enzima, la PG rompe la cadena del ácido poligacturónico de la pectina y reduce la longitud promedio de las cadenas pécticas, lo que genera una reducción en la textura del producto (Gregory, 2000). Se ha encontrado que la enzima actúa sobre la pectina de manera continua a un pH cercano a 7.5, liberando un protón cuando se hidroliza el enlace éster.

### **1.3.5 Inactivación por Tratamiento Térmico**

La mayor parte de las enzimas presentan su actividad (actividad óptima) en el rango 30 - 40 °C y por encima de 45 °C comienzan a desnaturalizarse. Tienden también a tener una temperatura de resistencia máxima a la desnaturalización, por lo general claramente por debajo de la de máxima actividad (Fennema, 1993). Dado que la estructura proteica determina la actividad de una enzima, cualquier factor que modifique su configuración afectará su función. El proceso de desnaturalización proteica debida a un incremento en la temperatura conducirá a una modificación de la actividad. Las enzimas presentan una marcada fragilidad térmica, ya que por el calentamiento a temperaturas cercanas a los 50 °C tienen una pérdida de la estructura terciaria y, como consecuencia de la configuración de la proteína, se alteran los sitios isostérico y alostérico. Las enzimas sometidas a desnaturalización por altas temperaturas pierden su capacidad catalítica de manera irreversible debido a que las fuerzas débiles de unión se rompen al aumentar la vibración térmica, lo cual afecta la estructura terciaria (Hicks, 2000).



**Figura 12.** Inactivación reversible e irreversible de una enzima (Badui,2006).

Según Fennema (1993), la desnaturalización proteica suele seguir cinéticas de primer orden, por lo que la inactivación sigue en general una cinética de primer orden. Uno de los problemas de la inactivación de peroxidasa es la presencia de 1-10 % o más de isoenzimas termoestables en la mayoría de los vegetales (Delincée citado por Williams et al., 1986). Por otro lado, uno de los inconvenientes de no destruir completamente la peroxidasa es que puede regenerarse bajo ciertas condiciones (Joslyn citado por Williams et al., 1986). La peroxidasa es considerada habitualmente como una de las enzimas más termorresistentes (Baardseth, 1978; Matheis, 1990). Esta característica de resistencia al calor ha motivado que sea utilizada como índice de eficiencia de los procesos de escaldado de la mayoría de los vegetales (Ercan et al., 2011; Gonçalves et al., 2010; Neves et al., 2012) y también porque alarga la vida útil de los productos almacenados en frío (Polata et al., 2009).

La ventaja de utilizar a la POD como enzima indicadora de escaldado en comparación con otras enzimas también termorresistentes, es que su medición es más económica y sencilla (Polata et al., 2009; Tijsskens et al.,1997). Sin embargo, diversos investigadores han realizado estudios en los cuales se ha demostrado que existen otras enzimas que pueden ser útiles como indicadores de la efectividad de diversos tratamientos térmicos, tal es el caso de la PPO y la PME.

Stückrath et al. (1998) ha demostrado que al someter la enzima PME durante un minuto a distintas temperaturas en el rango de 40 °C a 70 °C la enzima es estable y de 70 °C a 90 °C es medianamente sensible, con un valor z de 35.1 °C, lo que indica que la enzima es muy

termoestable. Sin embargo también se han llevado a cabo estudios para obtener las condiciones para inactivar la PPO en manzanas (Rocha & Morais 2001), pitaya amarilla (Castro et al., 2016) y camote (Arrazola-Paternina, Alvis-Bermúdez, & García-Mogollon, 2016) en donde se determinó que la actividad enzimática de la polifenoloxidasa en el camote variedad blanca muestra un comportamiento decreciente en función del tiempo y temperatura de escaldado, resultando que a 85 °C a 180 s reducen su actividad en un 86.17% .

### 1.3.6 Actividad Residual Relativa

La actividad enzimática puede ser medida antes y después de que a un alimento se le aplique un tratamiento, esto con la finalidad de poder conocer en qué medida se ha podido reducir dicha actividad enzimática, a lo cual se le conoce como actividad residual relativa (ARR). Por lo tanto, se define como la relación entre la actividad de la enzima después del tratamiento con la actividad que tenía antes del mismo (Maca, et al., 2013). Entonces la actividad residual relativa puede ser calculada con la siguiente ecuación:

$$ARR(\%): \frac{A_t}{A_o} * 100 \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

At: Actividad enzimática de la muestra después del tratamiento.

Ao: Actividad enzimática de la muestra sin tratamiento o muestra control.

La actividad residual relativa y la concentración de proteína poseen una relación directamente proporcional ya que de la cantidad de proteína activa (enzima activa) depende el porcentaje de la actividad residual resultante. La desnaturalización de enzimas por calor suele a menudo irreversible debido a la ruptura de enlaces covalentes y/o la agregación de proteínas desdobladas (Ly-Nyguyen et al.,2003; Puppo et al., 2004).

## **1.4 Antioxidantes**

### **1.4.1 Definición**

Un antioxidante es una molécula capaz de retardar o prevenir la oxidación de un sustrato oxidable, actuando como donador de electrones (agente reductor). Todos los seres vivos que utilizan el oxígeno para obtener energía, liberan radicales libres, lo cual es incompatible con la vida a menos que existan mecanismos celulares de defensa que los neutralice. A estas defensas se las denomina antioxidantes. Los niveles bajos de los mismos, o la inhibición de las enzimas antioxidantes causan estrés oxidativo y pueden dañar o matar las células (Alomar, 2007).

### **1.4.2 Aceites Esenciales**

Los aceites esenciales son compuestos formados por varias sustancias orgánicas volátiles, que pueden ser alcoholes, acetonas, cetonas, éteres, aldehídos, que se producen y almacenan en los canales secretores de las plantas. Se definen, según Afnor (1988), productos obtenidos a partir de una materia prima vegetal, ya sea por arrastre con vapor, o bien por procedimientos mecánicos a partir del epicarpio de los cítricos, o por destilación seca. El aceite esencial se separa posteriormente de la fase acuosa por procedimientos físicos en los dos primeros modos de obtención; puede sufrir tratamientos físicos que no originen cambios significativos en su composición (por ejemplo, redestilación, aireación).

Esta definición establece claramente las diferencias que existen entre los aceites esenciales y otras sustancias aromáticas empleadas en farmacia y perfumería. Estos aceites están ampliamente distribuidos en tanto en las hojas (menta piperita, albahaca linalol), como en las flores (lavanda, ylang ylang), la madera (cedro del Atlas, sándalo blanco), las raíces (jengibre, valeriana, vetiver) o las semillas (cilantro, anís verde, zanahoria) (Segovia, 2014). Además, su composición varía con el hábitat en que se desarrolle, por lo general climas cálidos tienen mayor contenido de aceites esenciales.

### 1.4.2.1 Aceite Esencial de Mandarina

La mandarina, familia de las rutáceas (familia de los cítricos) posee como principales componentes: el limoneno, ácido metil antranílico y éster de metilo. El aceite esencial obtenido de la cáscara de esta fruta es de color amarillo dorado de olor dulce y delicado (Maxwell,1996). Entre sus propiedades generales se encuentra su capacidad antiviral, calmante, diurético estimulante y revitalizador (Chidell,1992).

Los cítricos (naranjas, mandarina, limones y pomelos) y algunos vegetales (tomate, pimientos, coliflor y brócoli) son alimentos que contienen ácido ascórbico o vitamina C. Debido a su hidrosolubilidad, esta vitamina antioxidante se encuentra intra y extracelularmente en la mayor parte de los sistemas biológicos. Su papel antioxidante es doble: elimina directamente los radicales de hidroxilo y superóxido, así como hidroperóxidos lipídicos y protege las lipoproteínas LDL de la oxidación.

Además, es importante mencionar que, los cítricos contienen una serie de metabolitos con actividad biológica llamados fitoquímicos como son, las flavononas, los monoterpenos y los carotenoides. En particular, el epicarpio de los cítricos es considerado una fuente importante de aceite esencial, debido a que están constituidos por compuestos volátiles (generalmente destilables por arrastre con vapor) que son responsables de los olores y sabores característicos de algunas plantas. Los aceites esenciales de los cítricos (mandarina, limón, naranja y lima) tienen una demanda alta, principalmente en la industria de alimentos, farmacéutica y de cosméticos y son utilizados en la preparación de aromatizantes, saborizantes, desinfectantes ambientales y en procesos de síntesis química (Navarrete et al., 2010).

Los aceites esenciales de cítricos pueden ser extraídos mediante prensado en frío, hidrodestilación, fluidos supercríticos e hidrodifusión con microondas y gravedad entre otros (Navarrete et al., 2010).

## **1.5 Nanotecnología**

### **1.5.1 Definición**

La aparición de la nanotecnología ha desencadenado enormes posibilidades para la obtención de productos y aplicaciones innovadoras para una amplia gama de sectores de la industria y de consumo. Es un campo de las ciencias aplicadas enfocado al diseño, síntesis, caracterización y aplicación de materiales en una escala de tamaño nanométrico (1 y 500 nanómetros de tamaño). Si bien la nanotecnología tiene muchas aplicaciones posibles, las que se utilizan actualmente en los sectores alimentario y agropecuario son relativamente pocas, dado que la ciencia sigue siendo muy reciente. Sin embargo, los productos y las aplicaciones derivados de la nanotecnología en estos sectores han aumentado de manera constante en los últimos años, y cabe prever que crecerán rápidamente en el futuro. Ello se debe a que la nueva nanotecnología ofrece un gran potencial para abordar muchas de las necesidades actuales de la industria.

### **1.5.2 Nanoemulsiones**

Un ámbito fundamental de la aplicación de la nanotecnología en la elaboración de alimentos implica la obtención de nanoestructuras. Los mecanismos utilizados más frecuentemente para producir alimentos derivados de nanoestructuras comprenden nanoemulsiones, micelas de surfactantes, bilayeres de emulsiones, emulsiones dobles o múltiples y micelas inversas (Weiss et al., 2006). Por ende, esto ha permitido mejorar el valor nutricional de los productos y su absorción en el cuerpo, de forma que la biodisponibilidad y dispersión de los nutrientes de interés aumenta.

Se le considera nanoemulsión, a una emulsión cuyos tamaños de gota se encuentran en el rango de 20 a 500 nm (Bilbao et al., 2010). Una nanoemulsión consiste en una fase dispersa de naturaleza lipídica en una fase acuosa, en la cual cada una de las gotas de aceite se encuentra rodeada por una capa interfacial delgada constituida por un emulgente.

Dentro de la industria y ciencia de los alimentos, la aplicación de nanoemulsiones se ha dirigido principalmente a su empleo como sistemas acarreadores de compuestos bioactivos de naturaleza lipofílica, esto debido, entre otros factores a su mínimo impacto en las características sensoriales de los alimentos, así como de su alta biodisponibilidad (Choi et al., 2011).

Entre las investigaciones realizadas para encapsular compuestos antioxidantes mediante nanoemulsiones, Donsi et al.,(2011) emplearon la homogeneización por altas presiones y probaron diferentes emulgentes para encapsular curcumina y resveratrol, los resultados mostraron que al encapsular resveratrol en nanoemulsiones conteniendo aceite de cacahuate, se mejoró la estabilidad del resveratrol, reduciendo su degradación y transformación, así mismo al encapsular curcumina la nanoemulsión contribuyó a mejorar su dispersabilidad en agua y evitar su recristalización y asentamiento a lo largo del almacenamiento.

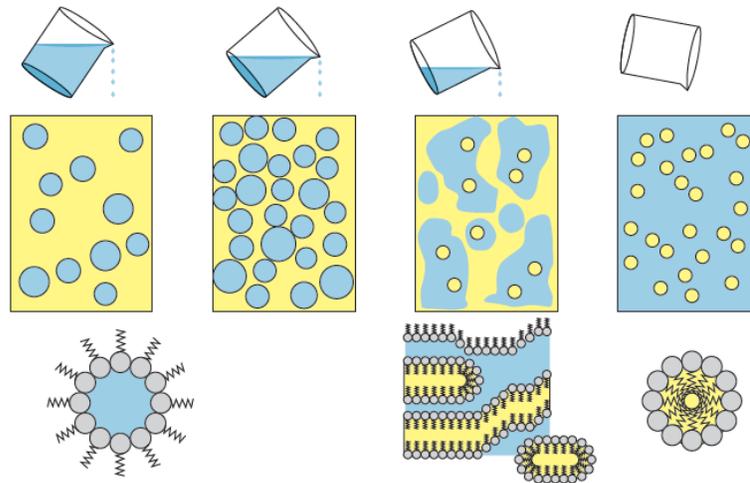
### **1.5.3 Procesos de Formación**

Debido a que la unión de un compuesto lipídico y uno acuoso, no puede presentarse de manera natural o espontánea, la formación de nanoemulsiones necesita la aplicación de energía. Respecto a la cantidad de energía empleada para su formación, los procesos han sido clasificados en dos grandes grupos: aquellos que emplean una baja cantidad de energía y los que utilizan una cantidad de energía alta (Ezhilarasi et al., 2013).

#### **PROCESOS DE BAJA ENERGÍA:**

Se basa en la formación de gotas dentro de sistemas de agua- aceite-emulgente, mediante la alteración intencional de las condiciones del entorno o la composición del sistema (Abbas et al., 2013). Entre los procesos más utilizados se encuentra la formación espontánea de emulsiones o inversión de fases, la aplicación de este método es una alternativa eficiente y menos costosa que los procesos de alta energía. Este método aprovecha la energía química en el sistema para la formación de

emulsiones e implica la inversión de las fases en el sistema; dicho fenómeno se refiere al proceso en el cual un sistema aceite en agua se convierte en un sistema agua en aceite y viceversa. Una variante de dicho método es la inversión catastrófica de fases (Bilbao et al., 2010).



**Figura 13.** Diagrama de proceso de emulsificación por inversión de fases (McClements, 2011).

### PROCESOS DE ALTA ENERGÍA:

La formación de nanoemulsiones mediante procesos de alta energía se caracteriza por someter al sistema a la aplicación de una alta cantidad de energía previamente determinada, dicha energía brinda al sistema una predisposición para mantener su estabilidad a pesar de que se lleven a cabo modificaciones en su composición. Estos procesos se basan en el empleo de dispositivos mecánicos que generan las fuerzas disruptivas necesarias para lograr el rompimiento de las fases macroscópicas. De manera general estos procesos han mostrado mayor eficiencia tanto en tiempo de formación de las nanoemulsiones como en reducción de tamaño de las gotas de la fase dispersa, sin embargo, su aplicación a nivel industrial es escasa. Los principales procesos de alta energía son aplicación de altas presiones, ultrasonido y agitación a altas velocidades (Abbas et al., 2013; Eizhilarasi et al., 2013).

#### 1.5.4 Aplicaciones

Al igual que otros sectores, la industria alimentaria está determinada por las innovaciones, la competitividad y la rentabilidad. Por lo tanto, está siempre buscando nuevas tecnologías para ofrecer productos con sabores, aromas y texturas mejorados, que se mantengan durante un período más largo y con una inocuidad y rastreabilidad mejores.

Las principales ventajas que presenta la nanotecnología en comparación con otras tecnologías existentes derivan de las mejores o novedosas funcionalidades de los nanomateriales y las nano sustancias. El tamaño sumamente pequeño permite la dispersión de los aditivos insolubles en el agua (tales como los colorantes, los aromatizantes y los conservantes) en los productos alimenticios sin necesidad de añadir grasas o surfactantes. Al tamaño nanométrico de las sustancias bioactivas también se le atribuye una mayor ingestión, absorción y biodisponibilidad en el organismo en comparación con los homólogos ordinarios. Los ingredientes y aditivos de nanotamaño y nanoencapsulados se utilizan en la elaboración de sabores, aromas y texturas nuevos o mejorados, y productos con un valor nutritivo mayor. La aparición de la nanotecnología ha permitido también que se obtengan materiales de envasado innovadores, nanosensores y tecnologías de intervención que pueden mejorar la inocuidad, la rastreabilidad y la conservación de los productos alimenticios. Tales perspectivas han abierto un nuevo abanico de posibilidades para desarrollar numerosas innovaciones en los sectores agropecuario, alimentario y otros relacionados.

## **CAPÍTULO II. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL**

### **2.1 Objetivos**

#### **2.1.1 Objetivo General**

Establecer el efecto del tratamiento de escaldado adicionado con sistemas nanoparticulados de aceite esencial de mandarina sobre la actividad enzimática, color y textura mediante pruebas físicas y enzimáticas en camote blanco.

#### **2.1.2 Objetivos Particulares**

- 1) Obtener emulsiones y nano emulsiones de aceite esencial de mandarina mediante el método de ultra alta agitación para su incorporación como agente antioxidante en el procesamiento térmico.
- 2) Analizar los cambios texturales en camote blanco por efecto del escaldado mediante pruebas de punción para asociarlo al deterioro y pérdida de calidad.
- 3) Analizar los cambios de color en el proceso de escaldado de camote blanco mediante colorimetría para su asociación con la inactivación enzimática y calidad del producto.
- 4) Evaluar la actividad de las enzimas polifenoloxidasas (PPO), peroxidasas (POD) y pectinmetilesterasas (PME) en camote blanco escaldado mediante pruebas espectrofotométricas para su correlación con la efectividad del proceso.

### **2.2 Materiales y Métodos**

#### **2.2.1 Materiales**

Aceite esencial de mandarina de Sigma-Aldrich® (St. Louis, Missouri, EE.UU.). Tween® 80 (monooleato de polioxietilen (20) sorbitano,  $P_M = 1310$  g/mol HLB = 15,  $\mu \approx 425$  mPas a 25 °C) fue obtenido de ICI Surfactantes de México. Span® 80, Pectina cítrica (70 – 75 % de

esterificación), Catecol, Tritón X-100, Polivinilpirrolidona, Guayacol y peróxido de hidrógeno fueron adquiridos de Sigma Aldrich® (St. Louis, Missouri, EE.UU.). El agua fue calidad Milli-Q®. Todos los demás reactivos fueron de grado analítico.

### **2.3 Material Biológico**

El camote (*Ipomoea batatas*) de variedad blanca, se adquirió en la central de abastos de Atizapán, Estado de México. La materia prima se seleccionó de acuerdo con: uniformidad de tamaño, color y sin daños mecánicos o microbiológicos visibles. Todas las unidades de cada lote fueron lavadas, peladas, desinfectadas y almacenadas a 4 °C hasta su utilización.

### **2.4 Preparación de la Emulsión**

La emulsión de aceite esencial de mandarina se preparó por el método de alta agitación de acuerdo a la metodología propuesta por Zambrano-Zaragoza et al., (2014). Se añadieron 5 g/L de Span® 80 y 2 g/L de aceite esencial de mandarina a la fase dispersa. La fase continua estaba compuesta de 10 g/L Tween® 80 considerando un HLB = 7. La formación de la emulsión se realizó con un agitador de velocidad variable (Eurostar Power Control Visc, IKA® Wilmington, EE.UU.) a  $209.44 \text{ s}^{-1}$  en tres ciclos de 5 min y reposos de 5 min entre estos.

### **2.5 Preparación de la Nanoemulsión**

La nanoemulsión de aceite esencial de mandarina se preparó por el método de ultra alta agitación de acuerdo a la metodología propuesta por Zambrano et al., (2014) con algunas modificaciones. Se tomó como punto de partida la emulsión preparada anteriormente (apartado 2.4). Las nanoemulsiones se obtuvieron a 3 ciclos de 5 min a  $1047.2 \text{ s}^{-1}$  de ultra alta agitación e intervalos de descanso de 5 min entre ciclos, utilizando un homogeneizador de rotor/estator (Ultra-Turrax T25, IKA® Wilmington, EE.UU.).

## 2.6 Dispersión Dinámica de Luz y Movimiento Electroforético

El tamaño de partícula (TP) y el índice de polidispersión (IPD) de las emulsiones se determinaron por la técnica de dispersión de luz láser en un ángulo fijo de 90°, a una temperatura de 25 °C utilizando un Z-sizer Nano ZS90 (Malvern Ltd., Enigma Business Park, Grovewood Road, UK). Las dispersiones se diluyeron con agua Milli-Q® para obtener los histogramas de frecuencias de volumen. El potencial zeta ( $\zeta$ ), se determinó para la evaluación de la estabilidad coloidal de las emulsiones utilizando un Z-sizer Nano ZS90 (Malvern Ltd., Enigma Business Park, Grovewood Road, UK) una vez diluidas con agua Milli-Q®. El valor del potencial zeta fue normalizado con dispersión patrón de poliestireno ( $\zeta = -55$  mV). Las mediciones se realizaron a 25 °C por triplicado (González et al., 2015).

## 2.7 Extracción del Mucílago de Chía

Se adicionaron 500 g de semilla de *S. hispánica* (chía) con una relación 1:20 m/v, en un agitador de velocidad variable (Eurostar Power Control Visc, IKA® Wilmington, EE.UU.). Se mezcló para homogenizar 5 min a una velocidad de 89 s<sup>-1</sup> y se dejó reposar por 5 h. La suspensión fue separada de la semilla hidratada de chia en una centrifuga de canasta con una velocidad de 36.7 s<sup>-1</sup> a una temperatura de 21 °C. El líquido viscoso obtenido pasó por una segunda separación mecánica en una centrifuga de discos (Modelo TAG1/d, Didacta Italia, Torino, Italia). La velocidad de alimentación del líquido fue de 200 mL/min y una velocidad de los discos de 628.32 s<sup>-1</sup> con el tornillo de gravedad cerrado. El líquido obtenido se precipitó. A cada litro de clarificado se adicionaron 2 L de etanol desnaturalizado con grado de pureza de 96 % (relación 1:2). La cantidad de agua-alcohol se eliminó mediante una criba en una malla del No. 20 serie USA. El mucílago obtenido se deshidrató a 40 °C durante 25 min en una estufa de convección (Modelo 3618, Barnstead International, Dubuque, Iowa, EE.UU.), hasta llegar a una humedad del 4 %. Posteriormente, el material sólido se pulverizó en un molino de cuchillas (Laboratorio Mill Modelo 4, Arthur H. Thomas Company, Filadelfia, Pensilvania, EE.UU.) utilizando una criba de 1.0 mm como restricción a la salida del molino. El polvo obtenido se hizo pasar a través de la malla No. 100 USA.

## 2.8 Escaldado de la Muestra

Para el escaldado de la muestra se obtuvieron geometrías cilíndricas de camote de 1 cm de diámetro y 2 cm de largo. Las muestras se escaldaron en una marmita basculante con inyección de vapor saturado y con un medio de escaldado que contenía una dispersión de mucílago de chía (3 g/L) durante 2 y 8 min, a 60 y 90°C. Posteriormente las muestras previamente escaldadas fueron sumergidas en una dispersión de mucílago de chía (3 g/L) conteniendo una emulsión o una nanoemulsión de aceite esencial de mandarina (500 mg/L) (de manera independiente de acuerdo al diseño experimental) a 4 °C hasta que la muestra alcanzó 20 °C, dejando escurrir durante 2 min. Al finalizar el tratamiento térmico se realizaron pruebas físicas (color y textura) y enzimáticas (PPO, POD y PME).

## 2.9 Actividad Enzimática

### 2.9.1 Polifenoloxidasa (PPO)

La extracción de la enzima PPO (EC 1.14.18.1) se realizó siguiendo la metodología propuesta por Zambrano-Zaragoza et al. (2014) con algunas modificaciones. La muestra (10 g) se homogenizó en un Ultra-Turrax (Tube Drive IKA®, Wilmington, EE.UU.) con 20 mL de fosfato de sodio (0.2 mol pH 7.0), 10 mL/L Triton® X-100 y polivinilpirrolidona (50 g/L) durante 30 s a 4 °C. El homogeneizado se filtró para eliminar las partículas sólidas y se centrifugó a  $837.75\text{ s}^{-1}$  utilizando una ultracentrífuga (Hermle Z323K, Labortechnik GMBH, Wehingen, Alemania) durante 35 min a 4 °C. El sobrenadante consistió en el extracto enzimático en bruto para determinar la actividad PPO. La actividad PPO se obtuvo por el método propuesto por Zhou, Smith y Lee (1993) utilizando 2.8 mL de catecol (50 mmol de citrato-fosfato en solución reguladora a pH 5) al cual se le añadió 0.2 mL de extracto enzimático. Los cambios en la absorbancia a 420 nm durante 15 min se midieron en un espectrofotómetro UV/VIS (Genesys 10s, Thermo scientific, Waltham, Massachussets, EE.UU.) y en comparación con una muestra sin extracto enzimático. Las unidades de actividad PPO se definieron como un cambio de 0.001  $U_{\text{abs}}/\text{min}$ . El ensayo se realizó por triplicado en tres extractos independientes.

## 2.9.2 Peroxidasa (POD)

La actividad POD (EC 1.11.1.7) se determinó utilizando la metodología propuesta por Gonçalves et al. (2010) con algunas modificaciones. Las muestras (10 g) se homogenizaron en un Ultra-Turrax (Tube Drive IKA®, Wilmington, EE.UU.) en 100 mL de solución de NaCl (1 mol) durante 2 min y el homogenizado se centrifugó en tubos de polipropileno a  $837.75\text{ s}^{-1}$  utilizando una ultracentrífuga (Hermle Z323K, Labortechnik GMBH, Wehingen, Alemania) a  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ . La suspensión se filtró usando una membrana de  $1.2\text{ }\mu\text{m}$  (Whatman). El filtrado se mezcló con guayacol y  $\text{H}_2\text{O}_2$  como sustratos. El aumento de la absorbancia a  $470\text{ nm}$  se registró usando un espectrofotómetro UV/Vis (Genesys 10s, Thermo scientific, Waltham, Massachussets, EE.UU.). La definición utilizada para 1 unidad de actividad enzimática fue la cantidad de enzima que produce un cambio en la absorbancia de 1 por cada minuto y por mL de muestra de extracto bajo las condiciones de ensayo. El análisis se llevó a cabo en tres extractos independientes.

## 2.9.3 Pectinmetilesterasa (PME)

Para la extracción de la enzima PME se tomaron 10 g de muestra y se homogenizaron en un Ultra-Turrax (Tube Drive IKA®, Wilmington, EE.UU.) con 20 mL de una disolución que contiene 0.2 mol de NaCl y 10 g/L de polivinilpirrolidona por 10 min, la mezcla se agitó magnéticamente durante 10 min con un baño de hielo externo. El homogeneizado se centrifugó en una ultracentrífuga (Hermle Z323K, Labortechnik GMBH, Wehingen, Alemania) a  $837.75\text{ s}^{-1}$  a  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante 20 min y se filtró a través de papel Whatman de  $1.2\text{ }\mu\text{m}$ . La disolución obtenida consistió en el extracto enzimático crudo para la determinación de la actividad PME, el cual se ajustará a  $\text{pH} = 7.5$  con NaOH 2 mol y NaOH 0.2 mol. La actividad PME (EC 3.1.1.11) se determinó de acuerdo con la metodología propuesta por Hagerman and Austin (1986) basado en el cambio de color de un indicador de pH durante la reacción catalizada por la PME con algunas modificaciones. Posteriormente en una celda espectrofotométrica se le adicionó 1 mL de pectina cítrica (10 g/L) a  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 200  $\mu\text{L}$  de azul de bromotimol (0.1 g/L), 200  $\mu\text{L}$  de NaCl (0.2 mol) y 580  $\mu\text{L}$  de agua Mili-Q®. Cada solución fue

ajustada a pH = 7.5 con NaOH 2 mol y NaOH 0.2 mol. La reacción se inició con la adición de 20 µL del extracto enzimático a la mezcla, se agitó ligeramente y se midió el decremento de la absorbancia a  $\lambda = 640$  nm durante 5 min en un espectrofotómetro UV-Vis (Genesys 10s, Thermo scientific, Waltham, Massachussets, EE.UU.). El análisis se llevó a cabo en tres extractos independientes.

## 2.10 Colorimetría

Para la determinación de color se utilizó un colorímetro portátil (Minolta CM-600d, Osaka, Japón). Se registraron las coordenadas de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  de la escala de CIELAB. Los ajustes utilizados en las mediciones fueron los siguientes: lámpara de arco de xenón pulsada, ángulo de  $0^\circ$  geometría del ángulo de visión y tamaño de apertura de 8 mm. El color de las muestras se determinó antes y después del tratamiento térmico a  $25^\circ\text{C}$  por triplicado. La evaluación de color se establecerá de acuerdo a los siguientes parámetros.

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad \text{Ecuación 4}$$

$$WI = 100 - \sqrt{(100 - L^{*2}) + (a^{*2}) + (b^{*2})} \quad \text{Ecuación 5}$$

## 2.11 Textura

La evaluación de textura en las muestras escaldadas se realizó en un Texturómetro Brookfield (TA-CT3, Brookfield Engineering Laboratories, Inc., Middleboro, Massachussets, EE.UU.). Se utilizó un punzón TA42 (3 mm), una mesa estándar TA-BT-KIT, con una fuerza de compresión de 15 kg a una velocidad de 1.5 mm/s. Se obtuvieron los parámetros de pico presión y firmeza. Las pruebas se realizaron a  $25^\circ\text{C}$  por triplicado en muestras independientes.

## 2.12 Análisis Estadístico

Con la finalidad de llevar a cabo la comparación de resultados en relación con los tratamientos; temperatura del medio de escaldado (60 y 90 °C), tiempo de mantenimiento (2 y 8 min) y la utilización de emulsión o nanoemulsión de aceite esencial de mandarina se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para evaluar las diferencias significativas entre las variables independientes ( $\alpha=0.05$ ). Todos los experimentos se llevaron a cabo considerando tres réplicas y en orden aleatorio (Myers, Montgomery, & Anderson-Cook, 2002). Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando el programa estadístico Minitab (Minitab® Statistical Software 18 Inc., Centre, Pensilvania, EE.UU.).

## CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1 Caracterización de las Emulsiones

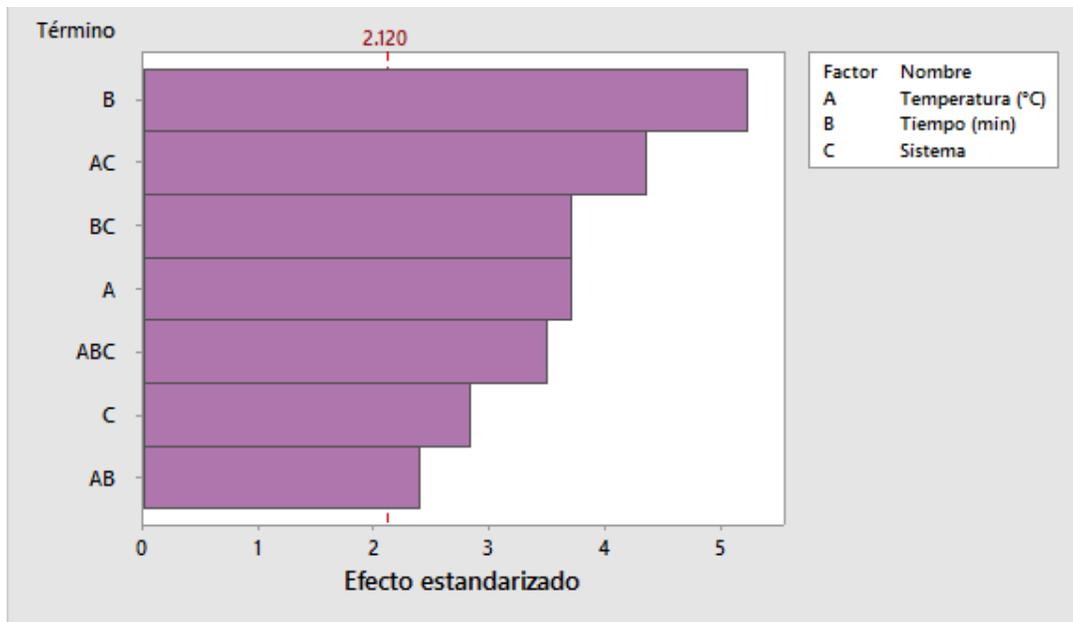
Las emulsiones de aceite esencial de mandarina presentaron un tamaño de partícula de  $1202 \pm 19$  nm con índice de polidispersión de  $0.11 \pm 0.02$ . El potencial zeta ( $\zeta$ ) obtenido fue de  $-26.5 \pm 1.3$  mV y las nanoemulsiones de  $187 \pm 10$  nm con índice de polidispersión de  $0.14 \pm 0.01$ , indicando una distribución estrecha. El  $\zeta$  fue de  $-31.21 \pm 2.4$  mV lo que sugiere una dispersión con baja probabilidad de agregación. La presencia de partículas con tamaño menor a 300 nm aproximadamente asevera la existencia de estructuras de talla submicrónica además de ser muy útiles como vehículos de antioxidantes y nutraceuticos (Zambrano et al., 2011). Una vez caracterizados los sistemas que contenían el activo antioxidante, se procedió a realizar las pruebas de escaldado y posteriormente a realizar las pruebas enzimáticas y físicas que se analizan a continuación.

### 3.2 Polifenoloxidasas (PPO)

Las polifenoloxidasas son enzimas ubicuas que catalizan la reacción dependiente de oxígeno, ya que transforman o-difenoles en o-quinonas. Estas quinonas son reactivas y capaces de modificar covalentemente un amplio abanico de especies nucleófilas, del interior de las células, que conduce a la formación de polímeros marrones, conocido como pardeamiento enzimático. Sin embargo, se cree que estas reacciones de pardeamiento desempeñan un papel importante en la resistencia de los tejidos vegetales a los ataques microbianos, infección viral y a las temperaturas adversas (Carriel et al, 2014).

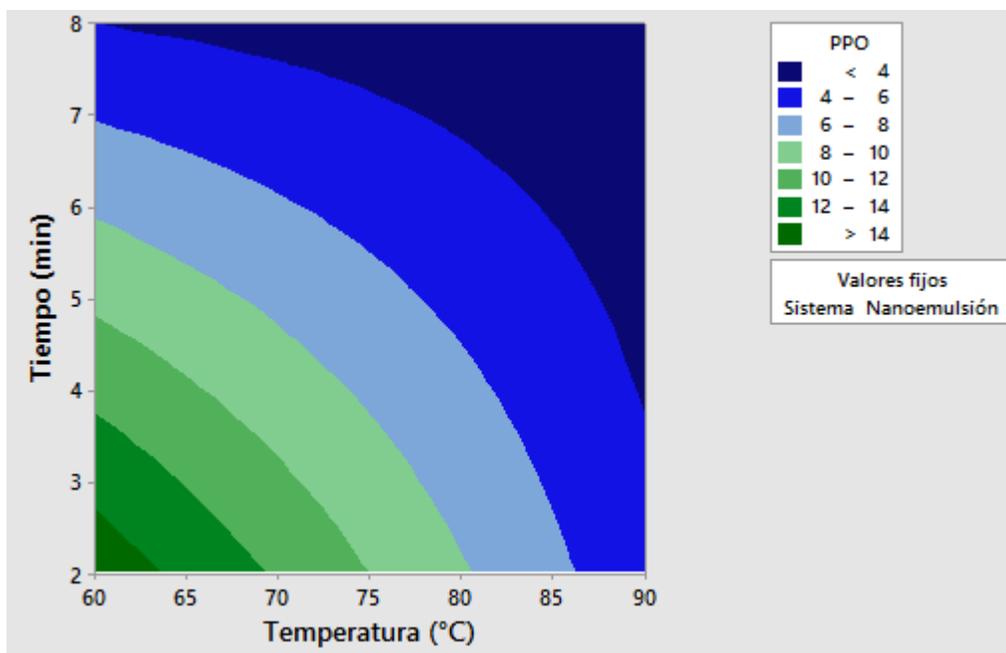
Entre los tratamientos para inactivar esta enzima están el uso de aditivos químicos, antioxidantes, agentes reductores como la cisteína, remoción de algún catalizador y el escaldado que como ya se mencionó en capítulos anteriores es un tratamiento térmico medio, aplicado a frutas y vegetales por contacto con vapor o bien agua caliente (Arrazola et al., 2016).

De acuerdo con el diagrama de Pareto que se muestra en la Figura 14, los factores lineales y sus interacciones tuvieron un efecto estadísticamente significativo ( $p < 0.05$ ). Destacando así que el factor que tuvo un mayor efecto sobre la actividad de dicha enzima fue el tiempo de escaldado, seguido de la interacción temperatura-sistema.



**Figura 14.** Diagrama de Pareto para la actividad de PPO.

En las muestras escaldadas la actividad de la enzima PPO osciló entre 2.3 -15.3  $U_{abs}/min$ , lo que indica que este tratamiento resultó efectivo para disminuirla a niveles aceptables. Según estudios de Fennema (1993) las enzimas por encima de 45 °C comienzan a desnaturalizarse, en donde su estructura secundaria se estabiliza principalmente mediante enlaces de hidrógeno, mientras que su estructura terciaria se mantiene mediante interacciones hidrófobas e iónicas, que se inhiben a altas temperaturas disminuyendo así su actividad. En el gráfico de contornos de la Figura 15, muestra que conforme aumenta la temperatura y el tiempo de proceso la actividad enzimática es menor, demostrando así que las mejores condiciones de operación fueron a 90 °C, 8 min y con un sistema de enfriamiento nanoparticulado.



**Figura 15.** Gráfico de contorno para actividad de PPO.

Cabe mencionar que a pesar de que el sistema de enfriamiento no tuvo un efecto mayor o igual frente a la temperatura de escaldado, también influye en la actividad enzimática debido a los compuestos bioactivos contenidos en el mismo. El mucilago de chíá junto con el aceite esencial de mandarina conforman dos antioxidantes naturales que además de resultar un saludable aporte dietario son de gran utilidad puesto que funcionan como compuestos reductores, interrumpiendo la cadena de formación de oxígenos libres e inactivando metales pro oxidativos gracias a su contenido de flavonoides, contribuyendo a reducir las reacciones de oxidación causadas por dicha enzima que dan lugar a la aparición de sabores, olores y colores desagradables (Frankel, 1991; Robey et al.,1994).

A pesar de que diversos estudios consideran a la PPO de baja termoestabilidad, y que durante el tratamiento existió una reducción considerable en su actividad, no se logró inhibir completamente, debido a los altos niveles de compuestos polifenólicos prooxidativos que pudiesen estar presentes en el camote, los cuales varían considerablemente según la especie de la que se trate, grado de madurez y manejo post-cosecha (Tomás-Barberán et al., 2001), haciendo que su actividad sea particularmente alta y que se requieran mayores temperaturas y tiempos de residencia para inhibirla (Amiot et al., 1992).

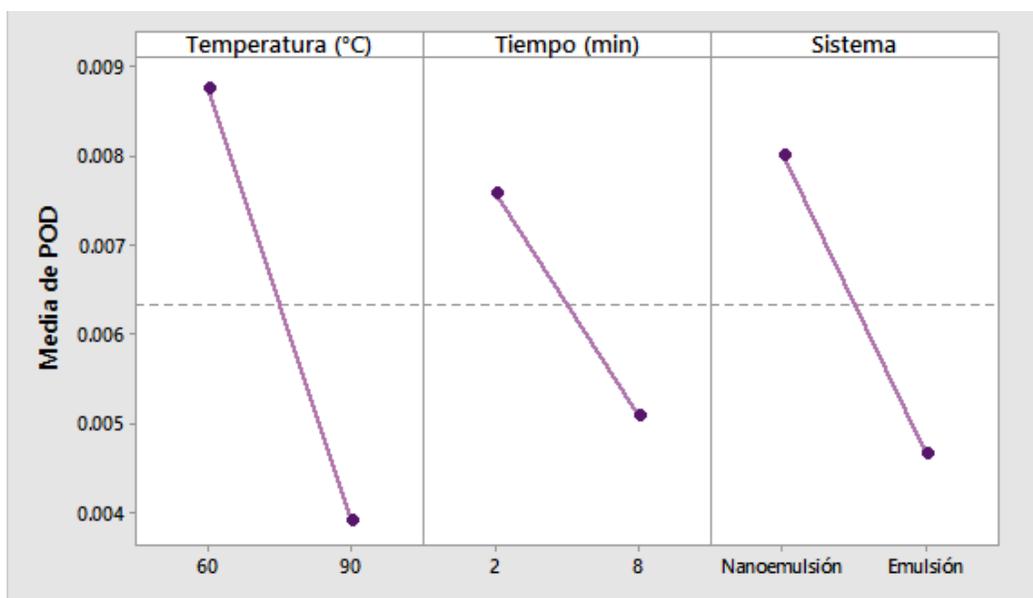
Los compuestos fenólicos constituyen un amplio grupo de sustancias, presentes en frutas y vegetales con diferentes estructuras químicas y efecto sobre la actividad metabólica (Shahidi & Nazk, 1995), siendo necesario considerar que hay más de 8000 compuestos fenólicos identificados, entre los cuales algunos pueden mostrar un comportamiento prooxidante bajo ciertas condiciones (Nieto et al., 2011). Dicha actividad prooxidante puede acelerar el daño celular y modificar moléculas tales como ADN, carbohidratos o proteínas (Aruoma et al., 1997). Sin embargo, hay compuestos con actividad antioxidante como los flavonoides que ocupan un lugar destacado ya que los mecanismos de acción resultan de una combinación de sus propiedades quelantes de metales de transición y secuestradoras de radicales libres, así como de la inhibición de oxidasas y acción sobre otras enzimas.

Arrazola estudió el efecto del tiempo y la temperatura de escaldado sobre la actividad enzimática de la polifenol oxidasa en dos variedades de camote (blanca y morada) con el objetivo de obtener y evaluar el comportamiento de esta enzima, observando que hubo una reducción de la polifenol oxidasa de 86.8 % en la variedad morada y de 86.17% en la variedad blanca a 85 °C y 180 s, con estos resultados dedujo que el escaldado representa una alternativa de conservación para el camote y sus derivados en la obtención de otros productos como chips y extruidos, principalmente.

Por lo tanto, la importancia de su inactivación radica en los efectos negativos que esta ocasiona en los alimentos vegetales (Ulloa, 2008) y como consecuencia provoca la disminución de la calidad del producto, así como de su vida de anaquel, lo que lleva a una depreciación económica importante del producto.

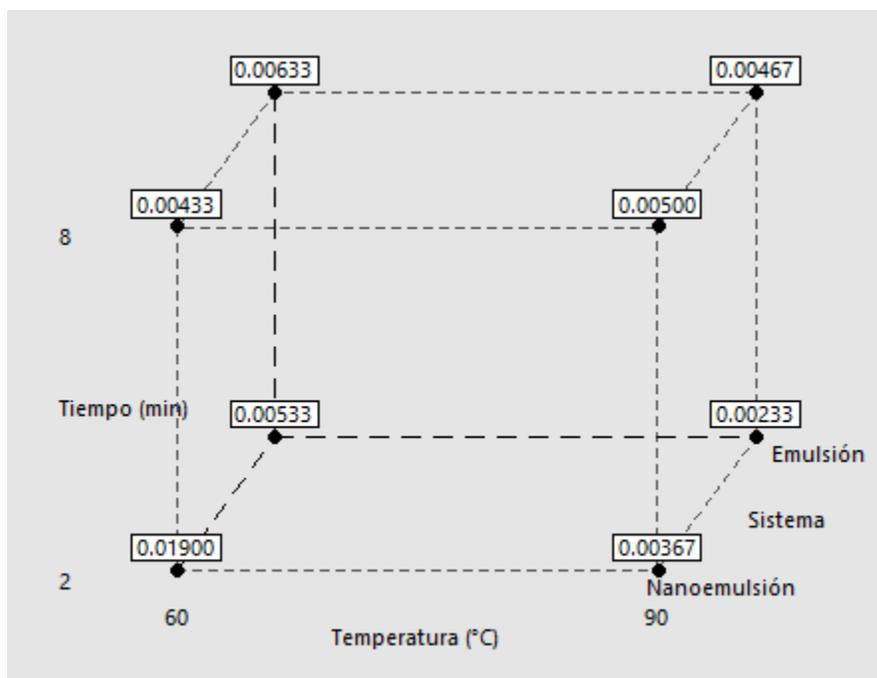
### **3.3 Peroxidasa (POD)**

La peroxidasa es una oxidoreductasa que cataliza reacciones usando oxígeno o peróxido como aceptor de hidrógeno, Ben - Aziz et al. (1970) y Hemeda & Klein (1990), señalan que los mecanismos de acción de la peroxidasa están basados principalmente en la formación de un complejo enzima - donante de hidrógeno, los cuales pueden ser fenoles, aminos u otros compuestos orgánicos. En la Figura 16, se muestran los efectos principales de las variables independientes sobre la actividad de la enzima POD, en donde la temperatura de escaldado mostró tener una mayor variabilidad ( $p < 0.05$ ), sobre el tiempo y el sistema de enfriamiento, siendo la variable que influye en mayor proporción sobre la actividad de la POD.



**Figura 16.** Gráfico de efectos principales para la actividad POD.

Al realizar el análisis estadístico, la ANOVA reveló que la temperatura y tiempo del tratamiento térmico en términos lineales y de interacción, son estadísticamente significativos ( $p < 0.05$ ) para la actividad, la cual osciló entre valores de 0.002-0.01 UAbs/min, evidenciando así que el escaldado tuvo un efecto ponderado sobre la misma. La figura 17 muestra los valores de actividad obtenidos en las condiciones experimentales probadas.



**Figura 47.** Gráfica de cubos de la actividad POD.

En el caso de las muestras sometidas a una temperatura de escaldado de 90 °C se logró obtener una actividad mínima de 0.23% al final del tratamiento, demostrando así que esta temperatura favorece la reducción de la actividad de POD en mayor proporción en el camote. Al igual que la temperatura de proceso, el medio de escaldado y los sistemas de enfriamiento contribuyeron a la reducción de la actividad de dicha enzima, ya que ambos fueron adicionados con mucilago de chíá con la finalidad de prevenir reacciones de oxidación durante y después del calentamiento, este compuesto resulta una gran ventaja ya que además de ser una fuente de hidrocoloides con propiedades de retención de agua, emulsionante, espesante y estabilizador, es soluble en agua caliente y fría (Muñoz et al., 2012), lo cual contribuyó a que los componentes contenidos en el mucilago y el aceite, desempeñaran su actividad antioxidante por su riqueza en compuestos fenólicos los cuales tienen la capacidad de retrasar la oxidación, por quelación con los metales de transición responsables de la generación de radicales libres, además por su bajo potencial redox, también son capaces de reducir las especies de oxígeno reactivo (ROS), altamente oxidadas (Decker, 1997).

A pesar de que la enzima mostró una reducción considerable en su actividad con el incremento de la temperatura y la adición de antioxidantes naturales, no logró su completa inactivación, debido a que existe una fracción termo resistente de la misma que no puede ser inactivada totalmente en estos rangos de temperatura-tiempo (Anthon & Barrett, 2002). Es importante mencionar que la POD es la más utilizada como indicadora del proceso de escaldado, debido a su alta resistencia térmica y a su facilidad para ser cuantificada (Anthon & Barrett, 2002; Polata et al., 2009). Sin embargo, cuando se utiliza como indicador de la efectividad de un proceso térmico, se espera que, a un mayor grado de inactivación, la calidad se mantenga por un mayor tiempo (Matheis, 1990; Barreiro & Sandoval, 2001).

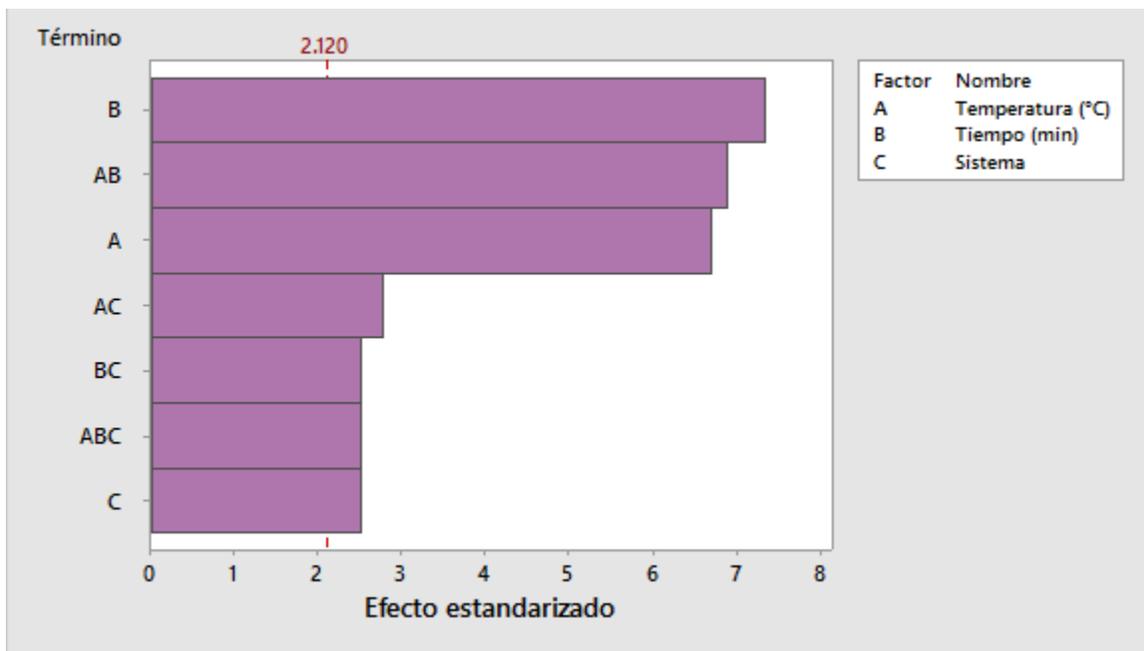
Se ha considerado que la peroxidasa puede estar involucrada en el deterioro de la calidad sensorial de los vegetales procesados, y principalmente en el desarrollo de sabores extraños. Kamps et al. (1984), le asigna responsabilidad en la biosíntesis de lignina; Chang et al. (1984) señala que esta enzima está relacionada con cambios de sabor y color debido a la oxidación de compuestos fenólicos en quinonas (en presencia de peróxido de hidrógeno) y afectaría el valor nutritivo por reacción de éstas con aminoácidos y vitamina C en los vegetales no escaldados.

Actualmente se considera que a actividad residual de peroxidasa es permisible en los productos congelados y que ello afecta menos la calidad que procesos de escaldado más severos por tiempos largos a menor temperatura. En general, los niveles de actividad residual entre 1 y 7% no parecen afectar en forma apreciable la calidad de algunos vegetales tales como los ejotes, chicharos, espinacas y zanahorias, durante lapsos de almacenamiento congelado de hasta nueve meses (Raventós, 2005).

### **3.4 Pectinmetilesterasa (PME)**

La PME es una enzima, sintetizada por plantas particularmente vegetales y cítricos, hongos y bacterias (Barajas, 2003). El metanol es el producto mayoritario de su acción. Su actividad es sinérgica y está presente antes de cualquier actividad de poligalacturonasa (Ketsa, 1999). Es una enzima péctica que está involucrada en procesos que degradan cadenas de

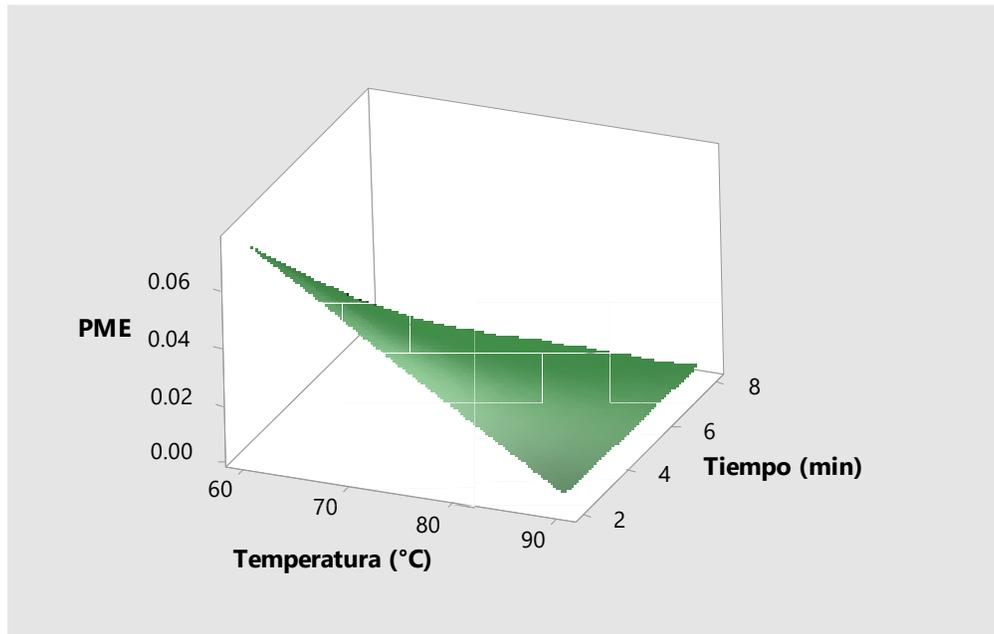
homogalacturanos que conforman las pectinas, al degradarse estas sustancias provocan y catalizan cambios indeseables en el sabor y color de los frutos. Se realizó un análisis estadístico de varianza con un nivel de confianza del 95%, con este análisis se denotó que el tiempo y la temperatura de escaldado en su forma lineal y de interacción presentaron un efecto estadísticamente significativo ( $p < 0.05$ ), teniendo así mayor influencia estadística sobre la actividad enzimática en el camote blanco (Figura 18).



**Figura 58.** Diagrama de Pareto de efectos estandarizados para la actividad PME.

En la Figura 19 se muestra la superficie que relacionan el tiempo y la temperatura de proceso, observándose que existió una mayor reducción de la actividad pectinmetil esterasa a 90 °C y 8 min, con una actividad residual de 0.26 %.

La PME ha sido relacionada con la degradación de las sustancias pécticas de la lamela media de la célula, que compone la pared celular y que actúa como el adhesivo o ligando entre las células y puede también controlar los movimientos de materiales solubles (King, 1990; Proctor et al., 1991). De tal forma, que su actividad se ve afectada por la temperatura y el pH del medio y por ende son importantes en el mantenimiento de la textura de productos frescos y procesados (Castaldo et al., 1989).



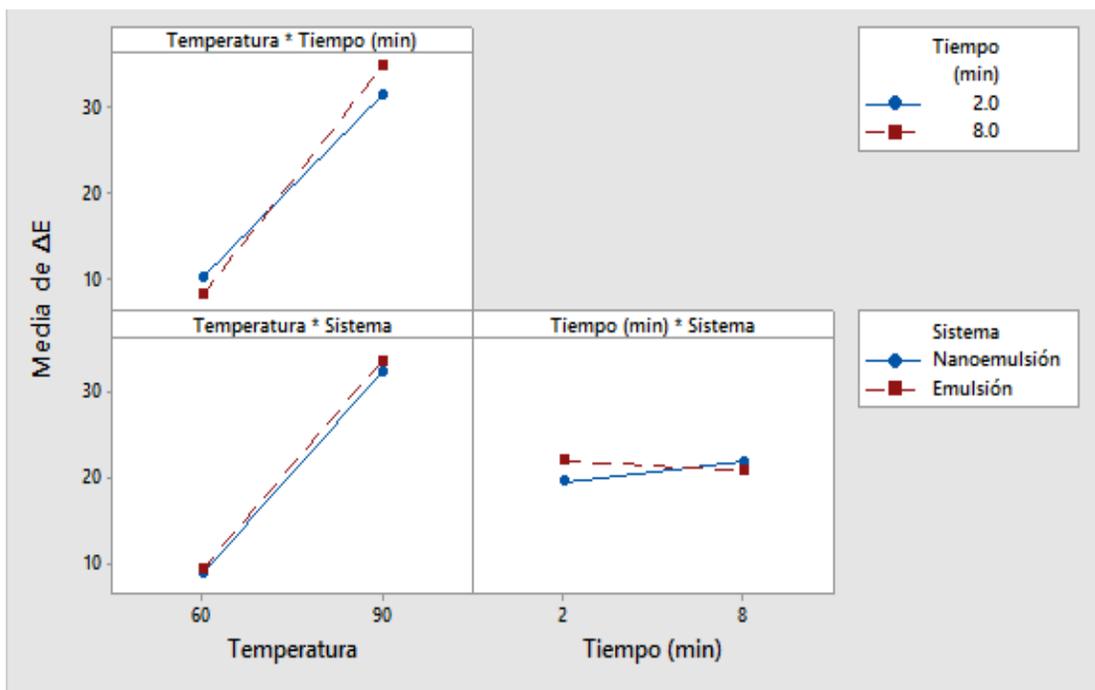
**Figura 69.** Gráfica de superficie para la actividad residual de PME en función de la temperatura y tiempo de escaldado.

La disminución de la actividad de PME se dio debido a la desnaturalización de la enzima a causa del calor, sin embargo, diversos estudios al realizar análisis de termo estabilidad de PME concluyeron que al someter la enzima durante 1 min a temperaturas en el rango de 40 °C a 70 °C la enzima es estable y de 70 °C a 90 °C es medianamente sensible (Maca, Osorio & Mejía-España, 2013). Uno de los motivos de la discrepancia existente entre resultados es que la temperatura de inactivación de esta enzima muestra un amplio rango debido al gran número de isoenzimas reportadas por lo que siempre esta inactivación dependerá del producto, su origen y condiciones de cultivo.

Es importante mencionar que la actividad residual y la concentración de proteína poseen una relación directamente proporcional, pues de la cantidad de proteína activa (enzima activa) depende el porcentaje de actividad residual resultante. La desnaturalización de PME por calor, suele a menudo ser irreversible con respecto a otras enzimas, debido a la ruptura de enlaces covalentes y/o la agregación de proteínas desdobladas (Ly-Nguyen et al., 2003; Puppo et al., 2004).

### 3.5 Cambio Total de Color ( $\Delta E$ )

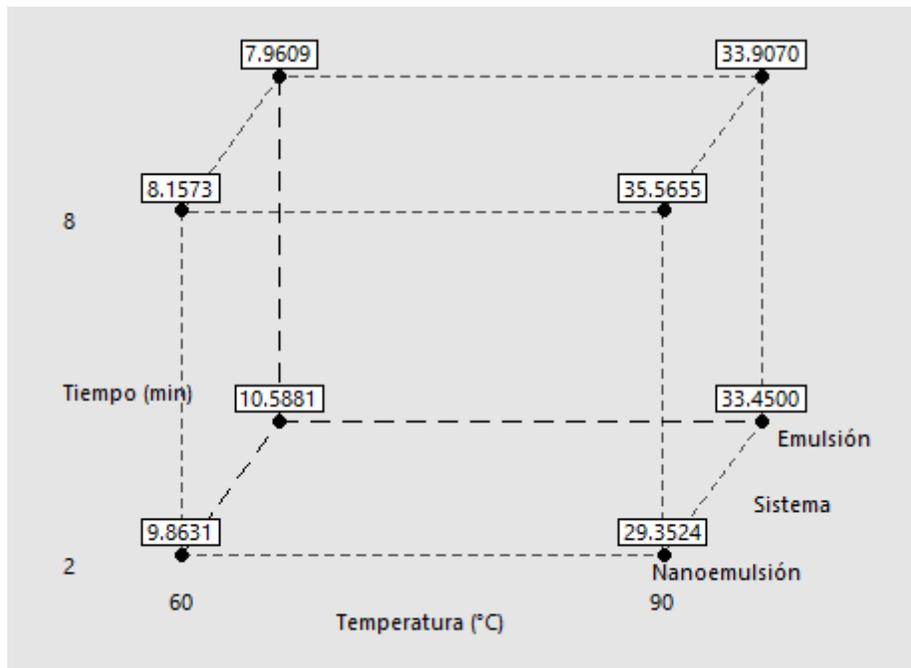
El  $\Delta E$  permite conocer los cambios de color de manera general durante el almacenamiento o después de algún procesamiento térmico. De acuerdo con Aguilera (2009), el cambio de color está dado por la diferencia aritmética de la luminosidad y los parámetros  $a^*$  y  $b^*$  al inicio y al final de un proceso en particular. En el gráfico de interacción de la Figura 20, se muestra que el tiempo y la interacción entre tiempo-sistema, presentaron un efecto estadísticamente significativo ( $P < 0.05$ ) sobre la variación del color de las muestras escaldadas, obteniendo valores de  $\Delta E$  desde 7.9 a 36, resultando la variación más elevada de color con un mayor tiempo (8 min) y temperatura (90°C) de tratamiento.



**Figura 20.** Gráfico de interacción para el  $\Delta E$  en los diferentes tratamientos.

En la figura 21, se señalan algunas variaciones en  $\Delta E$  en las diferentes condiciones de tratamiento, estas diferencias son atribuibles a los diferentes grados de madurez de las muestras estudiadas. Sin embargo se puede constatar que los valores más bajos de  $\Delta E$  siempre se obtuvieron a 60 °C y al sumergir las muestras en un medio de enfriamiento nanoemulsionado, ya que su pequeño tamaño de partícula lo hace un sistema cinéticamente

estable con mayor capacidad de penetración dentro de los tejidos del camote, permitiéndole a los compuestos bioactivos desempeñar su efecto antioxidante ayudando a eliminar directamente radicales de hidroxilo y superóxido, reduciendo así las reacciones de oxidación provocadas principalmente por las enzimas, destacando que el papel de los mismos en la percepción organoléptica del alimento se complementa con su implicación en la cualidad del color, importantísima en vegetales.



**Figura 21.** Gráfica de cubos para el  $\Delta E$  en los diferentes tratamientos.

Es preciso señalar que el color de los alimentos se debe a distintos compuestos, principalmente orgánicos, algunos que se producen durante el manejo y procesamiento y otros que son pigmentos naturales o colorantes sintéticos añadidos (Badui, 2006). Según Bello (2008), las causas que definen la coloración de un alimento son las siguientes: presencia de pigmentos o colorantes naturales, la formación de pigmentos colorantes como consecuencia de reacciones químicas o enzimáticas tal es el caso del escaldado en donde los cambios de color se dan durante el calentamiento, desarrollando tonalidades que van desde un ligero amarillo hasta un café intenso a causa de las enzimas presentes.

### 3.6 Índice de Blancura (WI)

El índice de blancura fue de entre 53.3 - 79.3, los valores más altos se obtuvieron a una temperatura de 60 °C, con de 2 min de tratamiento, al sumergir la muestra en un sistema de enfriamiento nanoemulsionado, así el producto conservó mejor el color inicial, con respecto a los valores obtenidos a condiciones de 90 °C, 8 min y con un sistema emulsionado, en donde el índice de blancura fue menor. Según Intriago & Merizalde (2013), una superficie blanca ideal debe tener un índice de blancura igual a 100, sin embargo, cuando la diferencia entre en blanco ideal y el de la superficie se incrementa entonces el índice será menor.

En la Figura 22 se muestra que la temperatura y la interacción temperatura-tiempo presentaron un efecto significativo ( $p < 0.05$ ) sobre el índice de blancura, manteniéndose por debajo del valor reportado anteriormente. Cuando los alimentos se someten a tratamientos térmicos, estos desarrollan diferentes tonalidades de color debido a cambios químicos inducidos por las diferentes condiciones de procesamiento, principalmente por las altas temperaturas (Badui, 1991).

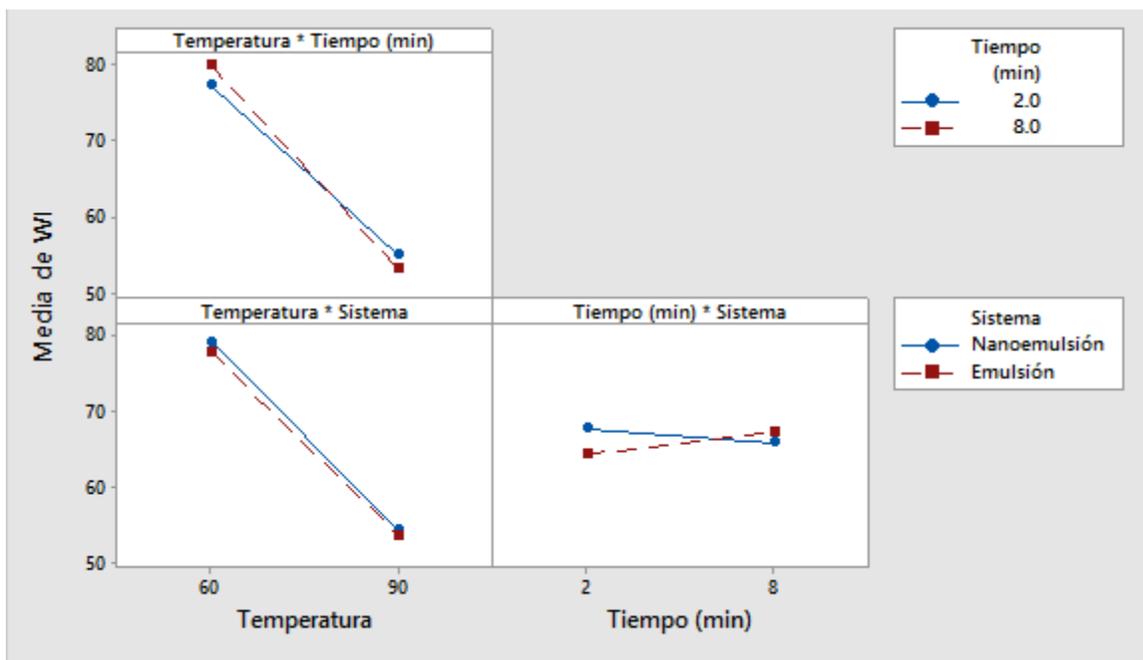


Figura 22. Interacciones evaluadas para el Índice de blancura en el camote.

Es importante resaltar que los alimentos adquieren su color de varias fuentes, una de ellas son los pigmentos naturales, los cuales se encuentran en el plasto celular y en menor cantidad disueltos en agua o grasa dentro de los protoplastos y vacuolas de la célula (Hernández et al.,2010), cabe mencionar que son inestables, lo que a su vez produce la pérdida o cambio del color natural, y aunque no pierden valor nutricional, si afectan la aceptabilidad por parte del consumidor.

La diferencia en el índice de blancura respecto a las características iniciales de las muestras y después del tratamiento se debe a diversos factores responsables de la alteración del color durante el procesado de las muestras, entre éstos se incluyen los fenómenos de oscurecimiento enzimático (de la actividad residual) y no enzimático, en donde los colores formados son muy variables, pueden ser marrones, rojizos o negros dependiendo del alimento y de las condiciones del proceso. Este fenómeno es una reacción de oxidación en la que interviene como principal sustrato agente activador el oxígeno molecular y esta catalizada principalmente por 2 enzimas importantes PFO y POD, sin embargo para reducir los efectos causados por dicha enzimas se llevó a cabo el uso combinado de 2 compuestos bioactivos (mucilago de chía y aceite esencial de mandarina) mediante sistemas de enfriamiento con distinto tamaño de partícula, destacando que el que resultó más efectivo fue el sistema nanoparticulado ya que su pequeño tamaño de gota ayudó a mejorar su dispersabilidad en los tejidos vegetales, y además de servir como buen acarreador, ya que ejerció una función de protección para mantener las propiedades funcionales de dichos compuestos (Donsi et al.,2011).

El mucilago de chía está compuesto por polifenoles y otras sustancias con potente actividad antioxidante, principalmente los flavonoides, que contienen en su estructura química un número variable de grupos hidroxilo fenólicos y excelentes propiedades de quelación del hierro y otros metales de transición por ello desempeñan un papel esencial en la protección frente a los fenómenos de daño oxidativo, contribuyendo a mantener el color característico del camote blanco. Así mismo, el aceite esencial de mandarina tuvo su actividad antioxidante,

ya que los polifenoles contenidos en este aceite reducen la producción de radicales libres, bien por inhibición de las enzimas que intervienen (Castro et al., 2016).

### 3.7 Textura

La textura de un alimento se puede definir como, la forma en que los distintos componentes están agrupados en su estructura y se puede evaluar objetivamente su comportamiento mecánico mediante sistemas de medidas que registren la resistencia del producto, cuando se le aplican fuerzas externas (Canet & Espinoza, 1983).

#### 3.7.1 Pico Presión

La Figura 23, muestra un gráfico de efectos principales de las variables independientes en la presión ejercida sobre las muestras de camote tratadas, en donde la temperatura de escaldado mostró tener una mayor variabilidad, con respecto a variables como el tiempo de tratamiento y sistema de enfriamiento que tuvieron menor influencia.

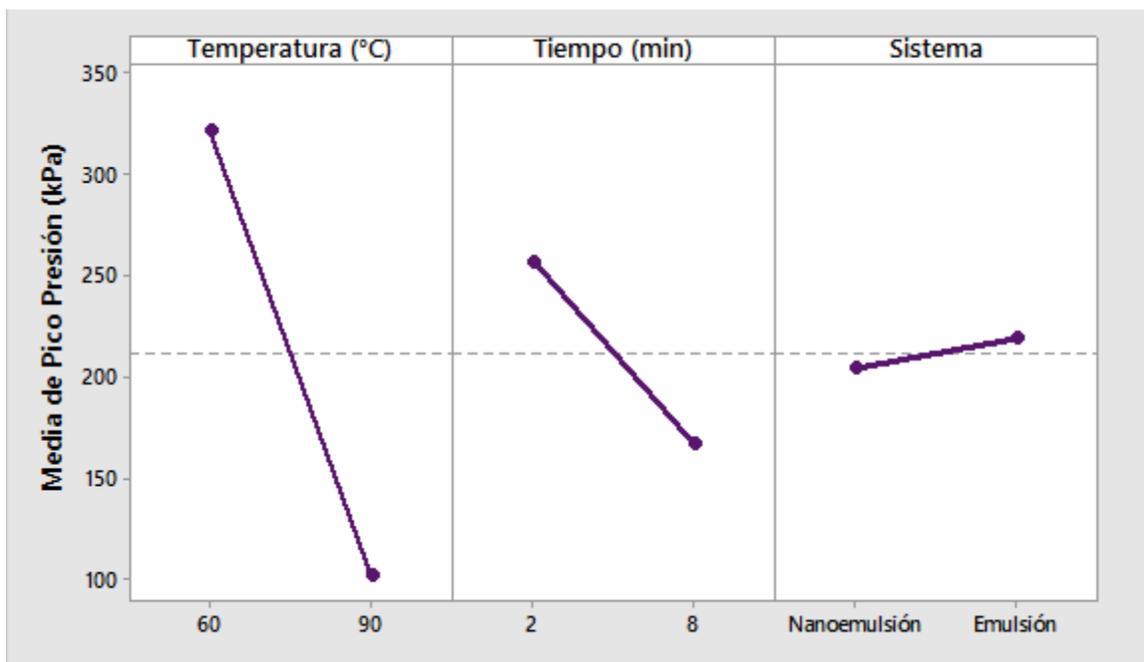
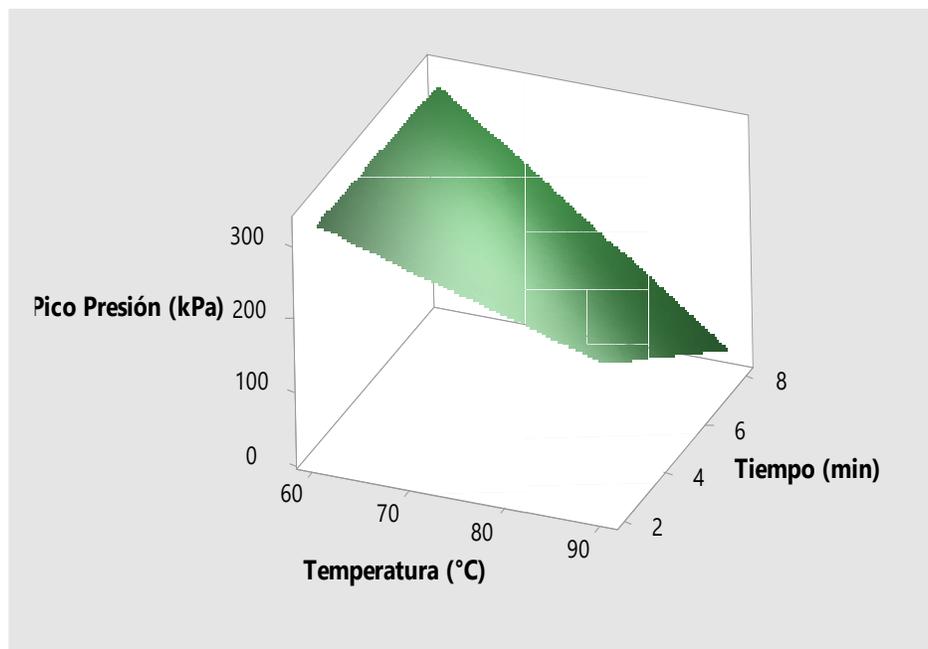


Figura 23. Gráfico de efectos principales para pico presión en el escaldado de camote.

La presión osciló entre valores de 29.14-425 kPa mientras que para la muestra control resultó de 454 kPa. Se determinó que el tiempo y la temperatura de escaldado en términos lineales y de interacción presentaron un efecto estadísticamente significativo ( $p < 0.05$ ). El gráfico de superficie de la Figura 24, determinó que, con un tratamiento a 60 °C durante 2 min, se ejerce una presión menor lo cual favorece la conservación de las características texturales del camote.



**Figura 24.** Superficie para pico presión en función de la temperatura y tiempo de escaldado.

La temperatura de escaldado es un factor que modifica de manera directa a la pared celular, el elemento estructural básico de los tejidos vegetales y, por lo tanto, juega un papel determinante en el mantenimiento de las características texturales. Los tejidos vegetales son materiales vivos y manifiestan frescura dependiendo del ordenamiento estructural y composición química de la pared celular ya que en los espacios intercelulares las sustancias pécticas son abundantes. Por lo tanto el calentamiento dado durante el escaldado ocasiona rompimiento de la misma y reducción de sustancias pécticas y además causa cambios irreversibles en la estructura celular y en las características físicas del tejido vegetal (Aponte & Guadarrama, 2003). El rompimiento de la membrana citoplasmática incrementa su

permeabilidad penetrando agua a la célula y a los espacios intercelulares son expelidos los gases y otros productos volátiles. Las proteínas se desnaturalizan y existe pérdida de nutrientes hidrosolubles como vitaminas, azúcares, minerales, clorofila y carotenos (Zeuthen, 1984).

### 3.7.2 Firmeza

La firmeza está determinada tradicionalmente como la fuerza necesaria para deformar la superficie de un fruto con una fuerza externa. Es un atributo textural importante en frutas y hortalizas, que se utiliza en relación con el establecimiento del momento óptimo de la recolección, a la evaluación de la calidad durante el almacenamiento o bien al procesado inicial de los productos. En la Figura 25, se demuestra que la temperatura de tratamiento tuvo mayor variabilidad sobre la firmeza de las muestras escaldadas. Así mismo el ANOVA realizado denotó que efectivamente la temperatura en términos lineales y de interacción en el diseño es estadísticamente significativa ( $p < 0.05$ ).

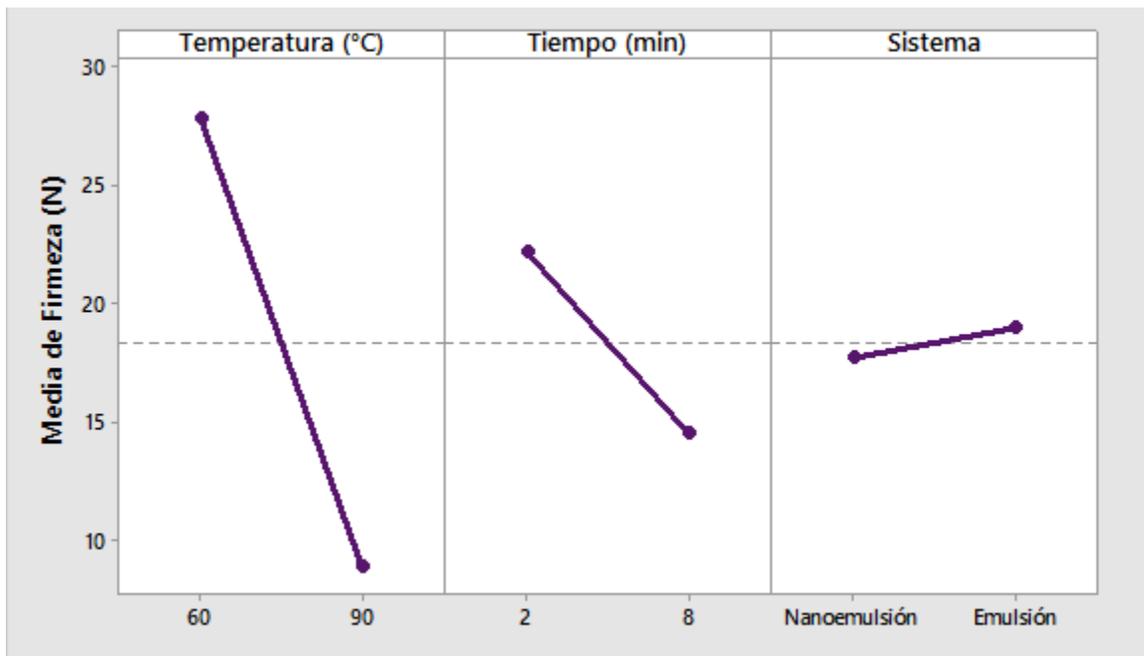
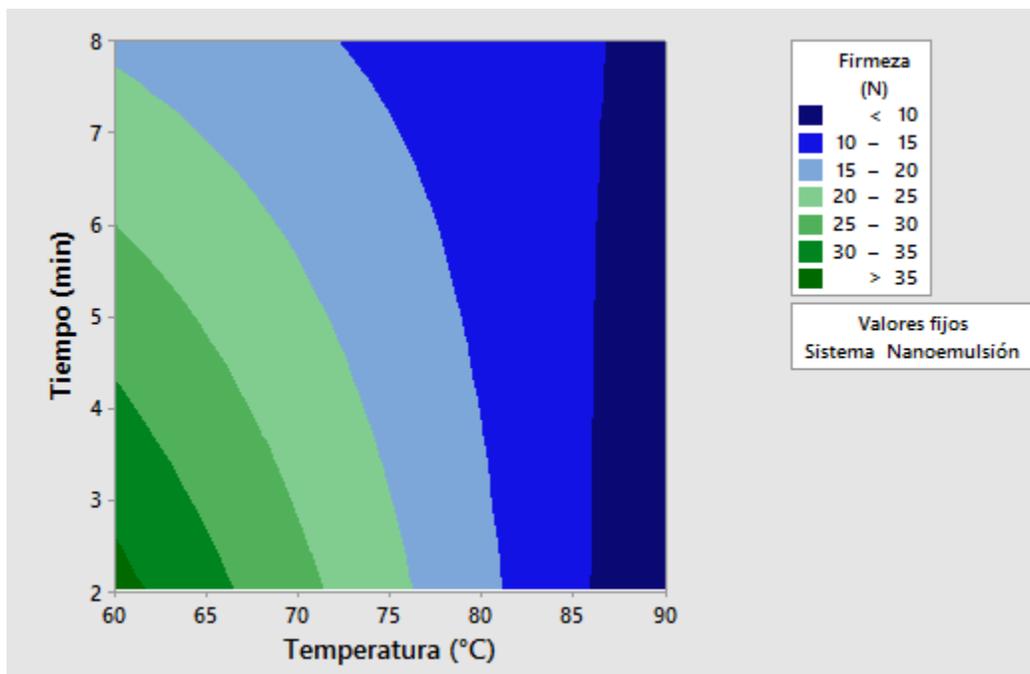


Figura 25. Gráfico de efectos principales para firmeza (N) de las muestras escaldadas.

Por otro lado, los valores promedio obtenidos oscilaron entre 2.52 - 36.80 N, mientras que la muestra control presentó una firmeza de 39.34 N, el gráfico de contorno de la Figura 26, muestra que los valores más bajos se obtuvieron a 90 °C y 8 min de escaldado, por lo tanto, podríamos decir que la pérdida de este atributo se debe en gran medida a las altas temperaturas y a los largos tiempos de exposición al procesamiento térmico.



**Figura 26.** Gráfico de contornos obtenido para la firmeza de las muestras.

Estudios de Bourne (1994) indican que el calentamiento de los tejidos a temperaturas de 60-70 °C, provoca la ruptura de las membranas, siendo uno de los fenómenos más acusados en frutas y hortalizas de baja acidez (Van Buren, 1991). Sin embargo, estos calentamientos moderados confieren a algunos productos vegetales una textura más firme (Wu & Hang, 1990). Se cree que esta firmeza inducida por el calor se debe a daños o lesiones que sufren las membranas celulares y a un aumento de su permeabilidad.

Es importante resaltar que dicho atributo también se ve influido por las modificaciones dadas tras las operaciones de pelado, corte, troceado, etc., produciéndose una pérdida de firmeza

en los tejidos, debido a la hidrólisis de los componentes de la pared celular por enzimas proteolíticos y pectinolíticos (Wiley, 1994). La actuación de enzimas pectin-hidrolasas, degradan la estructura péctica y como consecuencia modifican la textura del producto.

En el camote blanco el almidón es el componente sólido mayoritario y también juega un papel relevante en los cambios de textura, debido a que cuando este es sometido a tratamiento térmico, durante el calentamiento tiene lugar la gelatinización del almidón y su retrogradación y la unión, mediante los iones calcio, de los residuos del ácido urónico de las cadenas de pectinas en las paredes celulares y en la lámina media (Verlinden et al., 2000), este atributo en particular no solo se ve afectado por la temperatura, sino también por factores como el estado de madurez y el tratamiento que se le da durante la recolección, transporte, almacenamiento y procesamiento.

## CONCLUSIONES

Se logró evaluar que las condiciones de procesamiento térmico de 60 °C y 2 min, redujeron al máximo las pérdidas de calidad en los parámetros de color y textura. Los resultados en cuanto a índice de blancura y  $\Delta E$  mostraron que, a 60 °C por 2 min de tratamiento, se tuvieron efectos positivos debido a que se conservó en mayor proporción su luminosidad y blancura, dándole un aspecto agradable. La utilización de mucílago de chíá es un excelente soporte a sistemas nanoestructurados como lo es la nanoemulsión de aceite esencial de mandarina. Esto se fundamenta en la minimización de efectos negativos de cambio total de color y pico presión en las muestras analizadas.

Se estableció que la utilización de altas temperaturas en el medio de escaldado favoreció la inhibición de la actividad enzimática (PFO, POD y PME) en las muestras tratadas. Sin embargo, a altas temperaturas la pérdida de firmeza se presentó en mayor proporción. Sin embargo, cuando el medio de enfriamiento contenía nanoemulsión de aceite esencial de mandarina se logró además conservar el índice de blancura con las menores diferencias totales de color ( $\Delta E$ ). Los cambios de textura fueron mayores cuando se escaldó el producto a 90 °C por 2 min, debido a la absorción de agua y degradación de sustancias pécticas.

Se evidenció que los sistemas de talla nanométrica son una buena alternativa en la conservación de camote escaldado en comparación con el empleo de emulsiones, atribuible a que el tamaño permitió que la nanoemulsión se distribuyera mejor en el producto, tales perspectivas han abierto un nuevo abanico de posibilidades para desarrollar numerosas innovaciones en los sectores agropecuario, alimentario, por lo que este trabajo sin duda podría ser utilizado para impulsar investigaciones sobre el tema, en este y otro tipo de alimentos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbas, S., Hayat, K., Karangwa, E., Bashari, M., & Zhang, X. (2013). An overview of ultrasound-assisted food-grade nanoemulsions. *Food Engineering Reviews*, 5(3), 139-157.
- Acha, G. J. V. (2014). "Capacidad antioxidante del extracto acuoso de tres variedades tipo amarillo, naranja y morado de Ipomoea Batatas (camote)."
- Abu-Ghannam, N., & Crowley, H. (2006). The effect of low temperature blanching on the texture of whole processed new potatoes. *Journal of Food Engineering*, 74(3), 335-344.
- Afek, U., Orenstein, J., & Nuriel, E. (1998). Increased quality and prolonged storage of sweet potatoes in Israel. *Phytoparasitica*, 26(4), 307-312.
- Afnor. (1988). Recueil des normes françaises sur les corps gras, graines oléagineuses, produits dérivés, 4e édition. Asociación francesa de normalización; París.
- Agblor, A., & Scanlon, M. G. (1998). Effects of blanching conditions on the mechanical properties of french fry strips. *American Journal of Potato Research*, 75(6), 245.
- Aguilera O. M. (2009). Caracterización y estabilidad de las antocianinas de higo (*Ficus carica* variedad Mission) cultivado en Cd. Lerdo, Dgo. México. Tesis doctoral de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León. San Nicolás de los Garza, N. L.
- Aguilera, F. (1996). Simulación del proceso global escaldado-hidrogenfriado de productos vegetales. Tesis Lic. Ing. Alimentos Valdivia. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias. 230p.
- Alomar. (2007). Antioxidante: captadores de radicales libres ó sinónimo de salud?.
- Amiot, M. J., Tacchini, M., Aubert, S., & Nicolas, J. (1992). Phenolic composition and browning susceptibility of various apple cultivars at maturity. *Journal of Food Science*, 57(4), 958-962.
- Anthon, G. E., & Barrett, D. M. (2002). Kinetic parameters for the thermal inactivation of quality-related enzymes in carrots and potatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(14), 4119-4125.
- Aponte, L., & Guadarrama, A. (2003). Actividad de las enzimas pectinmetilesterasa, poligalacturonasa y celulasa durante la maduración de frutos de parchita maracuyá

- (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Degener). *Revista de la Facultad de Agronomía. (Maracay)*, 29(2), 145-160.
- Aponte, L., & Guadarrama, A. (2003). Actividad de las enzimas pectinmetilesterasa, poligalacturonasa y celulasa durante la maduración de frutos de parchita maracuyá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Degener). *Revista de la Facultad de Agronomía. Maracay*, 29(2), 145-160.
- Arce, F. A. (2002). El cultivo de la batata. *SENA - SA*, (00086), 40.
- Árrazola-Paternina, G., Alvis-Bermúdez, A., & García-Mogollon, C. (2016). Blanching treatment effect on the enzymatic activity of polyphenoloxidase in two varieties of sweet potato. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 10(1), 80-88.
- Aruoma, O. I., Halliwell, B., & Williamson, G. (1997). *In vitro methods for characterizing potential prooxidant and antioxidant actions of nonnutritive substances in plant foods* (pp. 173-204). AOCS Press: Champaign, IL.
- Ashie, I. N. A., Simpson, B. K., & Smith, J. P. (1996). Mechanisms for controlling enzymatic reactions in foods. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 36(1-2), 1-30.
- Ávila, I., & Silva, C. (1999). Modelling kinetics of thermal degradation of colour in peach puree. *Journal of Food Engineering*, 39, 161-166.
- Ayaz, F. A., Demir, O., Torun, H., Kolcuoglu, Y., & Colak, A. (2008). Characterization of polyphenoloxidase (PPO) and total phenolic contents in medlar (*Mespilus germanica* L.) fruit during ripening and over ripening. *Food Chemistry*, 106(1), 291-298.
- Baardseth, P. (1978). Quality changes of frozen vegetables. *Food Chemistry*, 3(4), 271-282.
- Barajas, M. Y. R. (2003). Efecto del Almacenamiento del Frijol en la Metilacion de la pectina y la actividad de pectinmetilesterasa. Méx.
- Barreiro, J. y Sandoval, A. (2001). Operaciones de conservación de alimentos por bajas temperaturas. Editorial Equinoccio. 359 p.
- Badui Dergal, S., & Cejudo Gómez, H. R. T. (2006). Química de los alimentos. 4ta ed. Pearson educación.
- Bastidas, S., & De la Cruz, S. (2010). Utilización de Harina de Camote (*Ipomea Batatas*) en la Elaboración de Pan. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de ingeniería mecánica y ciencias de la producción.

- Bello, J. 2008. *Ciencia Bromatológica; Principios Generales de Los Alimentos*, Ediciones Díaz de Santos S. A., Madrid.
- Belitz, H.D. & Grosh, W. 2004. *Química de los Alimentos*. Editorial Acribia S.A. Zaragoza.
- Ben-Aziz, A., Grossman, S., Ascarelli, I., & Budowski, P. (1970). Linoleate oxidation induced by lipoxygenase and heme proteins: a direct spectrophotometric assay. *Analytical Biochemistry*, 34(1), 88-100.
- Bilbao-Sáinz, C., Avena-Bustillos, R. J., Wood, D. F., Williams, T. G., & McHugh, T. H. (2010). Nanoemulsions prepared by a low-energy emulsification method applied to edible films. *Journal of agricultural and food chemistry*, 58(22), 11932-11938.
- Bosquez, M. & Colina, I. (2010). *Procesamiento térmico de frutas y hortalizas*. México. Trillas.
- Bourne, M. C. (1994). Rupture tests vs small-strain tests in predicting consumer response to texture. *Food Technology (USA)*. 33(10). 67-70.
- Braverman, J. B. S. 1967. *Introducción a la bioquímica de los alimentos*. Editorial omega. España.
- Brown, C. R. (2005). Antioxidants in potato. *American journal of potato research*, 82(2), 163-172.
- Buchar, J., Nedomová, Š., & Simeonovoná, J. (2003). Textural and rheological properties of edam cheese during ripening. In *III International Symposium on Food Rheology and Structure, (Zurich, Switzerland). Proceedings. Zurich: Eldgenössische Technische Hochschule-ETH* (561-562).
- Cano, P. y Fuster, C. (1988): "Congelación de productos vegetales". *Ibérica, actualidad tecnológica*, marzo, n~296, 123—129.
- Caivano, J. L. (1995). *Sistemas de orden del color (Vol. 12)*. José Luis Caivano. Facultad de Arquitectura, Diseño y urbanismo, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires.
- Calatayud, M. J. M. (1991). El escaldado en las industrias agroalimentarias. *Alimentaria: Revista de tecnología e higiene de los alimentos*, (220), 57-60.
- Calvo, M. (2007). *Bioquímica de los Alimentos*.
- Canet, W. y Espinosa, J. (1983). Influencia del proceso de congelación sobre la textura de vegetales. Efecto del escaldado y la velocidad de congelación sobre la textura de zanahoria. *Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos*, 23(4), 531-540.

- Cardoso, G., & Jiménez, M. T. (2015). Nanoemulsiones en alimentos: preparación y aplicaciones. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 9, 15–24.
- Cardoso-Ugarte, G. A., & Jiménez-Munguía, M. T. (2015). Nanoemulsiones en alimentos: preparación y aplicaciones. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 9, 15-24.
- Carriel, J. M., Obrebska, A. A., Bru-martínez, R., & Patiño, M. C. (2014). Distribución, localización e inhibidores de las polifenol oxidasas en frutos y vegetales usados como alimento. *Ciencia y Tecnología (Quevedo)*, 7(1), 23–31.
- Castaldo, D., Quagliuolo, L., Servillo, L., Balestrieri, C., & Giovane, A. (1989). Isolation and characterization of pectin methylesterase from apple fruit. *Journal of Food Science*, 54(3), 653-655.
- Castro-Vazquez, L., Alañón, M. E., Rodríguez-Robledo, V., Pérez-Coello, M. S., Hermosín-Gutierrez, I., Díaz-Maroto, M. C., ... & Arroyo-Jiménez, M. D. M. (2016). Bioactive flavonoids, antioxidant behaviour, and cytoprotective effects of dried grapefruit peels (*Citrus paradisi* Macf.). *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 1, 1-12.
- Chang, Y., Pennesi, A. y Dickson, M. (1984). Characterization of Cauliflower Peroxidase Isoenzyme. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 32(1), 18-21.
- Chidell, L. (1992). Aromaterapia: Una guía definitiva de los aceites esenciales. Primera edición. Editorial Diana. México.
- Choi, A. J., Kim, C. J., Cho, Y. J., Hwang, J. K., & Kim, C. T. (2011). Characterization of capsaicin-loaded nanoemulsions stabilized with alginate and chitosan by self-assembly. *Food and Bioprocess Technology*, 4(6), 1119-1126.
- Collins, J. L., & Aziz, N. A. (1982). Sweet potato as an ingredient of yeast-raised doughnuts. *Journal of Food Science*, 47(4), 1133-1139.
- Conn, E.S., Bruening, G. & Doi, R. (1996). *Bioquímica Fundamental*. 5ta. ed, ed. I. Ed. Jonh Wiley and Sons. 1987., Balderas (Mexico). Noriega Editores. 131-182.
- Decker, E. A. (1997). Phenolics: prooxidants or antioxidants?. *Nutrition reviews*, 55(11), 396-398.
- Demonte, P. (1995). Evaluación sensorial de la textura y búsqueda de correlaciones con medidas instrumentales. *Memorias de seminario textura y reología de alimentos. Memorias Cali*. Universidad del Valle. 8-20.

- Dolado, M. P. C., & Monescillo, C. F. (1988). Congelación de productos vegetales. In *Ponencias y comunicaciones: Congreso internacional de tecnología de alimentos naturales y biológicos*. Servicio de Extensión Agraria. Publicaciones. 223-234.
- Donsì, F., Annunziata, M., Sessa, M., & Ferrari, G. (2011). Nanoencapsulation of essential oils to enhance their antimicrobial activity in foods. *LWT-Food Science and Technology*, 44(9), 1908-1914.
- Engel, P. C. (1996). *Enzymology Labfax*. Bios Scientific. San Diego, CA: Academic Press: 77-112.
- Ercan, S. Ş., & Soysal, Ç. (2011). Effect of ultrasound and temperature on tomato peroxidase. *Ultrasonics Sonochemistry*, 18(2), 689-695.
- Espín, J.C. (2001). Phenolic compounds and related enzymes of quality in fruits and vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 81(9): 853-876.
- Ezhilarasi, P. N., Karthik, P., Chhanwal, N., & Anandharamakrishnan, C. (2013). Nanoencapsulation techniques for food bioactive components: a review. *Food and Bioprocess Technology*, 6(3), 628-647.
- Ezhilarasi, P. N., Karthik, P., Chhanwal, N., & Anandharamakrishnan, C. (2013). Nanoencapsulation techniques for food bioactive components: a review. *Food and Bioprocess Technology*, 6(3), 628-647.
- FAO. (2006). Fichas Técnicas Productos Frescos y Procesados. Camote (Ipomoea batatas).
- FAO. (2015). Equipos de procesamiento de alimentos Fichas técnicas, 76.
- Fennema. (1993). Química de los alimentos. Editorial Acribia Segunda edición
- Fennema, O. W. E. N. (2000). Química de los alimentos. Editorial Acribia. *Zaragoza, España*, 1258.
- Fernández, J.M., 2007. Tecnología de los alimentos, escaldado y pelado al vapor. Departamento de ingeniería química, Universidad de Almería.
- Figura, L., & Teixeira, A. A. (2007). *Food physics: physical properties-measurement and applications*. Springer Science & Business Media.
- Francis, F. J., & Clydesdale, F. M. (1975). *Food colorimetry: theory and applications*. AVI Publishing Co. Inc.
- Frankel, E. N. (1991). Recent advances in lipid oxidation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 54(4), 495-511.

- Gacche, R. N., Zore, G. B., & Ghole, V. S. (2003). Kinetics of inhibition of polyphenol oxidase mediated browning in apple juice by  $\beta$ -cyclodextrin and L-ascorbate-2-triphosphate. *Journal of enzyme inhibition and medicinal chemistry*, 18(1), 1-5.
- García, & Hernandez, A. (1989): "Fuentes, presencia y riesgo de los nitratos y nitritos. Situación en Cuba". *Alimentaria*, enero—febrero, 67—71.
- Garzón, G. A. (2008). Las antocianinas como colorantes naturales y compuestos bioactivos: revisión. *Acta Biológica Colombiana*, 13(3), 27-36.
- Gonçalves, E. M., Pinheiro, J., Abreu, M., Brandão, T. R., & Silva, C. L. (2007). Modelling the kinetics of peroxidase inactivation, colour and texture changes of pumpkin (*Cucurbita maxima* L.) during blanching. *Journal of Food Engineering*, 81, 693–701.
- Gonçalves, E. M., Pinheiro, J., Abreu, M., Brandão, T. R., & Silva, C. L. (2010). Carrot (*Daucus carota* L.) peroxidase inactivation, phenolic content and physical changes kinetics due to blanching. *Journal of Food Engineering*, 97(4), 574-581.
- González, M. (2010). Frutas conservadas por métodos combinados. *Temas Selectos de Ingeniería En Alimentos*.
- González-Reza, R. M., Quintanar-Guerrero, D., Flores-Minutti, J. J., Gutiérrez-Cortez, E., & Zambrano-Zaragoza, M. L. (2015). Nanocapsules of  $\beta$ -carotene: Thermal degradation kinetics in a scraped surface heat exchanger (SSHE). *LWT - Food Science and Technology*, 60(1), 124–130.
- Gregory, J. (2000). *Química de Los Alimentos*, 666–677.
- Gutiérrez, J. B. (2000). *Ciencia bromatológica: principios generales de los alimentos*. Ediciones Díaz de Santos.
- Hagerman, A. E., & Austin, P. J. (1986). Continuous spectrophotometric assay for plant pectin methyl esterase. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 34(3), 440-444.
- Hencht, S. M. (Ed.). (1998). *Bioorganic chemistry: peptides and proteins* (Vol. 2). Oxford University Press on Demand.
- Hemeda, H. M., & Klein, B. P. (2006). Inactivation and regeneration of peroxidase activity in vegetable extracts treated with antioxidants. *Journal of food science*, 56(1), 68-71.
- Hermesom, A.C. y Hulland, E.D. 1984. *Conservas alimenticias*. Editorial Acribia S.A. Zaragoza, España. 451.

- Hernández, R. G., Candelas, C. M., Meza, V. J., & Minjares, F. R. (2010). Estabilidad en el color y la concentración de carotenos en zanahorias escaldadas a diferentes temperaturas. *XII Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1481–1488.
- Hernández-Medina, M., Torruco-Uco, J. G., Chel-Guerrero, L., & Betancur-Ancona, D. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Food Science and Technology*, 28(3), 718-726.
- Hicks, K. B., Sapers, G. M., & Seib, P. A. (2000). *U.S. Patent No. 4,975,293*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Holdsworth, S. D. (1993). Congelación y refrigeración. *Manual de Industrias de los Alimentos. 2nd ed. Zaragoza, España: Editorial Acribia*, 475-498.
- Holdsworth, S. D., & Palacios Remondo, J. (1988). *Conservación de frutas y hortalizas* (No. 641.4 H6C6).
- Hoover, M. W., Walter Jr, W. M., & Giesbrecht, F. G. (1983). Method of preparation and sensory evaluation of sweet potato patties. *Journal of Food Science*, 48(5), 1568-1569.
- Horvitz, S., Yommi, A., López Camelo, A. F., & Godoy, C. A. (2004). Effects of maturity stage and use of modified atmospheres on quality of sweet cherries cv. sweetheart. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias.*, 36(2), 39-48.
- Howard, L. R., Braswell, D. D., & Aselage, J. (1996). Chemical composition and color of strained carrots as affected by processing. *Journal of Food Science*, 61(2), 327-330.
- Hurt, H.D. (1979). Effect of canning on the nutritive value of vegetables. *Food Tech.* 3(2) : 84-86.
- Huaman, Z. (1999). Systematic botany and morphology of the sweetpotato plant. Sweetpotato Germplasm Management (Ipomoea batatas). *International Potato Center (CIP)*.
- Intriago, S., Maira, F., Merizalde, A., & Martha, G. (2013). *Efecto del tipo de leche y contenido de sal en las características físico-químicas y sensoriales del requesón* (Bachelor's thesis, Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana, 2013.).
- Jimenez, J.M. 2004. Determinación de las condiciones de deshidratación de mora (*Rubus sp*) empleando aire caliente para la elaboración de una bebida natural en polvo. Tesis de licenciatura. Tecnología de alimentos. San José, Universidad de Costa Rica.

- Jimenez, E. 1993. Utilización de la Enzima Lipoxigenasa y Peroxidasa como Índice en el Blanqueado de Espárragos verdes (*Asparagus officinalis* L.). Tesis para optar al título de Ingeniero en Industria Alimentarias. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima Perú.
- Kampis, A., Bartucz-Kovács, O., Hoschke, A., & Vámos-Vigyázo, L. (1984). Changes in peroxidase activity of broccoli during processing and frozen storage. *Lebensmittel-Wissenschaft+ Technologie*, 17(5), 293-295.
- Karlsson, E., & Luh, B. S. (1988). Vegetable juices, sauces and soups. *Medtech: New York, NY, USA*.
- Kay, D. E. (1973). TPI Crop and Product Digest: No. 2 Root Crops. *Tropical Products Institute, London*, 29-32.
- Klabunde T, et al. (1998) Crystal structure of GyrA intein from *Mycobacterium xenopi* reveals structural basis of protein splicing. *Nat Struct Biol* 5(1):31-6
- Ketsa, S., & Daengkanit, T. (1999). Firmness and activities of polygalacturonase, pectinesterase,  $\beta$ -galactosidase and cellulase in ripening durian harvested at different stages of maturity. *Scientia Horticulturae*, 80(3-4), 181-188.
- King, K. 1990. Partial characterization of the in situ activity of pectinesterase in Bramley apple. *Int. J. Food Sci. Tech.* 25:188-197.
- Lee, F. A. (1958). The blanching process. In *Advances in Food Research*, Academic Press. 8, 63-109.
- Ley Mendoza, A. (1996). Estudio de los efectos de las velocidades de congelación lenta y rápida sobre la calidad física (color y textura) y organoléptica de la calabacita italiana (cucurbita pepo).
- Linares, E., Bye, R., Rosa-Ramírez, D., & Pereda-Miranda, R. (2008). El camote. *Biodiversitas*, 81(1), 11-15.
- Lund, D. B., 1977. Design of thermal process for maximizing nutrient retention. *Food Technology*, 31(2): 71-78.
- Ly-Nguyen, B., Van Loey, A. M., Smout, C., ErenÖzcan, S., Fachin, D., Verlent, I., ... & Hendrickx, M. E. (2003). Mild-heat and high-pressure inactivation of carrot pectin methylesterase: a kinetic study. *Journal of Food Science*, 68(4), 1377-1383.
- Maca, M. P., Osorio, O., & Mejía-España, D. F. (2013). Inactivación térmica de

- pectinmetilesterasa en tomate de árbol (*solanum betaceum*). *Informacion Tecnologica*, 24(3), 41–50.
- Mafart, P. (1993). Ingeniería industrial alimentaria. Vol. 1. Procesos físicos de conservación. Ed. Acribia, S.A., Zaragoza.
- Manresa, A., & Vicente, I. (2007). El color en la industria de los alimentos. *Editorial Universitaria, Cuba*.
- María Alomar. (2010). Antioxidante: captadores de radicales libres o sinónimo de salud, 11.
- María, A., Pino, T., Saavedra, J., Álvarez, F., Gutiérrez, R., Hernández, C., & Innova, F. (2008). Camote: materia prima para colorantes. *Instituto de Investigaciones Agropecuarias*. 36.
- Matheis, G. (1990). La lipoxigenasa como enzima indicador en el blanqueado de verduras. *DragocoReport. Información sobre sabores*, 2, 52-59.
- Mathias-Rettig, K., & Ah-Hen, K. (2014). El color en los alimentos un criterio de calidad medible. *AgroSur. Universidad Austral de Chile*, 42(2), 39–48.
- Maxwell H., C. (1996). *Pocket Massage for Stress Relief*. 1Th Edition. Dorling Kindersley Limited. Inglaterra.
- Mendoza, R. R. (2011). Evaluación de los procesos de precocción/congelación de tres presentaciones de papa criolla (*Solanum tuberosum* grupo phureja) variedad Colombia. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Muñoz, L. A., Cobos, A., Diaz, O., & Aguilera, J. M. (2012). Chia seeds: Microstructure, mucilage extraction and hydration. *Journal of food Engineering*, 108(1), 216-224.
- Munsell, A. H. (1905). A color notation – A measured color system based on the three qualities: Hue, value and chroma. Geo H. Ellis Co., Boston.
- Morel, M. J. (1991). “El escaldado en las industrias agroalimentarias”. *Alimentaria*.
- Myers, R. H., Montgomery, D. C., & Anderson-Cook, C. M. (2002). *Response surfamethodology: Process and product optimization using designed experiments* (2nd Editio). New York: John Wiley & Sons.
- Navarrete, C., Gil, J., Durango, D., & Garcia, C. (2010). Extraction and Characterization of Mandarin Essential Oil Obtained From Agroindustrial Residues. *Dyna*, 77(162), 85–92.
- Neves, F. I., Vieira, M. C., & Silva, C. L. (2012). Inactivation kinetics of peroxidase in zucchini (*Cucurbita pepo* L.) by heat and UV-C radiation. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 13, 158-162.

- Ni, L., Lin, D., & Barrett, D. M. (2005). Pectin methylesterase catalyzed firming effects on low temperature blanched vegetables. *Journal of food engineering*, 70(4), 546-556.
- Nieto, G., Huvaere, K., & Skibsted, L. H. (2011). Antioxidant activity of rosemary and thyme by-products and synergism with added antioxidant in a liposome system. *European Food Research and Technology*, 233(1), 11-18.
- Noda, T., Ohtani, T., Shiina, T., & Nawa, Y. (1992). Semi-continuous Hydrolysis of Sweet Potato Raw Starch by *Chalara paradoxa* Glucoamylase. *Journal of food science*, 57(6), 1348-1352.
- Ormerod, A., Ralfs, J., Jobling, S., & Gidley, M. (2002). The influence of starch swelling on the material properties of cooked potatoes. *Journal of materials science*, 37(8), 1667-1673.
- Partial characterization of the *in situ* activity of pectinesterase in Bramley apple. *International Journal of Food Science & Technology*, 25(2), 188-197.
- Peñarrieta, J., Tejada, L., Mollinedo, P., Vila, J., & Bravo, J. (2014). Compuestos fenólicos y su presencia en alimentos. *Bolivian Journal of Chemistry*, 31(2), 68-81.
- Peñuela, J. M. (1994). Influencia de los procesos de cocción y conservación sobre el contenido de nitratos y nitritos en espinacas (*spinacia oleracea* l.). *Universidad Complutense de Madrid, Servicio de Publicaciones*, 451.
- Perez-Gago, M.B. 2007. Frutas y Hortalizas Cortadas en Fresco: definición, calidad, y tecnologías. Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
- Philippon, J. (1992). Méthodes de blanchiment-refroidissement des légumes destinés a la congélation. *Sciences des aliments*, 4(4), 523—550.
- Picha, D. H. (1986). Influence of storage duration and temperature on sweet potato sugar content and chip color. *Journal of food science*, 51(1), 239-240.
- Plank, R. (1963). *El empleo del frío en la industria de la alimentación*. Reverté.
- Połata, H., Wilińska, A., Bryjak, J., & Polakovič, M. (2009). Thermal inactivation kinetics of vegetable peroxidases. *Journal of Food Engineering*, 91(3), 387-391.
- Porsdal, J. 1986. Optimization of vegetable blanching. *Food Technology*. 40(6): 122-129.
- Porras-Loaiza, A. P., & López-Malo, A. (2009). Importancia de los grupos fenólicos en los alimentos. *Temas selectos de Ingeniería de Alimentos*, 3(1), 121-134.
- Poulsen, K. P. (1986). Optimization of vegetable blanching. *Food technology*. 40(6):122-129.
- Proctor, A., & Miesle, T. J. (1991). Polygalacturonase and pectinmethylesterase activities in

- developing highbush blueberries. *HortScience*, 26(5), 579-581.
- Puppo, C., Chapleau, N., Speroni, F., de Lamballerie-Anton, M., Michel, F., Añón, C., & Anton, M. (2004). Physicochemical modifications of high-pressure-treated soybean protein isolates. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(6), 1564-1571.
- Quinatoa, M. A. (2009). Caracterización Física, Química y Nutricional de dos Variedades de Camote (*Ipomoea batatas* L.) cultivados en un mismo suelo Edafoclimático del Ecuador. Ingeniería en Industrialización de Alimentos, Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador.
- Raventós M. 2005. Industria alimentaria, tecnologías emergentes. ediciones UPC. 210.
- Renee, A., Linaloe, A., Lorena, M. De, & Vidal, A. R. (2018). Propiedades nutrimentales del camote ( *Ipomoea batatas* L .) y sus beneficios en la salud humana, 19.
- Ríos-Barajas, M. Y. (2003). Efecto del Almacenamiento del Frijol en la Metilacion de la pectina y la actividad de pectinmetilesterasa. Tesis de Licenciatura- Facultad de Química- UNAM.
- Robey, W. & Shermer W. (1994). The damaging effects of oxidation. *Feed Mix*, 2, 22-26.
- Rocha, A. M. C. N., & Morais, A. M. M. B. (2001). Shelf life of minimally processed apple (cv. Jonagored) determined by colour changes. *Food control*, 14(1), 13-20.
- Rodríguez, G. 2008. Caracterización de variedades de batata (*Ipomoea batata*) con el fin de desarrollar un puré que sea fuente para la elaboración de productos preformados en MCCAIN Colombia. Tesis de grado. Universidad de la Salle, Bogotá, Colombia.
- Rodríguez, M. (2008). Aplicación del frío a la conservación de alimentos. Refrigeración y Congelación.
- Romero, M. (2014). Métodos De Conservación De Los Alimentos., 2-209.
- Sánchez, M.T. (2003). Procesos de elaboración de alimentos y bebidas. Ediciones Mundi-Prensa Madrid, España. 518.
- Schmidt, H. H. (1981). *Ciencia y Tecnología de los Alimentos*. Santiago, Chile: Alfabeto.
- Segovia, S. R. A. (2014). Utilización de aceites esenciales naturales como conservantes en la elaboración de salchichas de pollo. *Universidad Politecnica Salesiana Ecuador 2014*, 129.
- Shahidi, F., & Naczki, M. (1995). Foods phenolics. Sources, Chemistry, Effects, Application. Tecnnomic, Publishing CO. Inc Eds. Lancaster, Pennsylvania, USA.

- Stückrath, R., D. Díaz, y L. Trujillo. (1998). *Purificación y caracterización de Pectinesterasa extraída de frambuesas de la variedad Meeker*, Información Tecnológica, 9(5), 45–48.
- Tanaka, M; Takahata, Y; Nakatani, M. (2005). Analysis of genes developmentally regulated during storage root formation of sweet potato. *Journal of Plant Physiology* 162: 91-102.
- Tijskens, L. M. M., Rodis, P. S., Hertog, M. L. A. T. M., Waldron, K. W., Ingham, L., Proxenia, N., & Van Dijk, C. (1997). Activity of peroxidase during blanching of peaches, carrots and potatoes. *Journal of food engineering*, 34(4), 355-370.
- Timbers, G. E., Stark, R., & Cumming, D. B. (1984). A new blanching system for the food industry I: Design, construction and testing of a pilot plant prototype. *Journal of Food Processing and Preservation*, 8(2), 115-133.
- Tomás-Barberán, F. A., & Espín, J. C. (2001). Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81(9), 853-876.
- Ulloa, M. B. (2008). Evaluación de una polifenoloxidasas (PPO) en champiñones producidos en compostas con distintos tipos de suplementos. México.
- Valverde Acha, G. J. (2014). Capacidad antioxidante del extracto acuoso de tres variedades tipo amarillo, naranja y morado de Ipomoea Batatas (camote).
- Valle J., Aranguiz V., Leon H. (1998). Effects of blanching and calcium infiltration on PPO activity, texture, microstructure and kinetics of osmotic dehydration of Apple tissue. *Food Process. Eng* 25: 125-140.
- Vámos-Vigyázó, L., & Haard, N. F. (1981). Polyphenol oxidases and peroxidases in fruits and vegetables. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 15(1), 49-127.
- Van Buren, J. P. (1991). Function of pectin in plant tissue structure and firmness. *The chemistry and technology of pectin*, 1-22.
- Van Marle, J. T., de Vries, R. V. D. V., Wilkinson, E. C., & Yuksel, D. (1997). Sensory evaluation of the texture of steam-cooked table potatoes. *Potato Research*, 40(1), 79-90.
- van Oirschot, Q. E., Rees, D., & Aked, J. (2003). Sensory characteristics of five sweet potato cultivars and their changes during storage under tropical conditions. *Food Quality and Preference*, 14(8), 673-680.

- Verlinden, B. E., Yuksel, D., Baheri, M., De Baerdemaeker, J., & Van Dijk, C. (2000). Low temperature blanching effect on the changes in mechanical properties during subsequent cooking of three potato cultivars. *International journal of food science & technology*, 35(3), 331-340.
- Vicente, A. (2004). Efecto de tratamientos térmicos de alta temperatura sobre calidad y fisiología postcosecha de frutillas (*Fragaria x ananassa Duch.*) (Tesis Doctoral), Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ciencias Exactas, Departamento de Química.
- Vidal, A. R., Zaucedo-Zuñiga, A. L., & de Lorena Ramos-García, M. (2018). Propiedades nutrimentales del camote (*Ipomoea batatas* l.) y sus beneficios en la salud humana. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 19(2).
- Walter Jr., WM & Schadel, W. (1982). Effect of lye peeling conditions on sweet potato tissue. *Journal of Food Science*, 47(3), 813-817.
- Weiss, J., Takhistov, P., & McClements, D. J. (2006). Functional materials in food nanotechnology. *Journal of food science*, 71(9), R107-R116.
- Whitaker, J. R. (1993). *Principles of Enzymology for the Food Sciences* (Vol. 2). New York: Marcel Dekker In.
- Williams, DC., Lim, MH., Chen, AO., Pangborn, RM. y Whitaker, JR. (1986). Blanching of Vegetables for Freezing Which Indicator Enzyme to Choose. *Food Technology*. 40(69: 130-139 p.
- Wiley, R. C. (1994). Minimally processed refrigerated fruits and vegetables. Chapman & Hall.
- Wong, D. W., Voraĝen, A. G., & Whitaker, J. R. (2003). *Handbook of food enzymology*. Marcel Dekker
- Woodroof, J.G. 1988. Preparing vegetables for processing. In: Commercial vegetables processing. AVI Book, Van Nostrand Reinhold. New York. 175-192.
- Wu, A., & Chang, W.H. (1990). Influence of precooking on the firmness and pectic substances of three stem vegetables. *International Journal of Food Science & Technology*, 25(5), 558-565.
- Zambrano-Zaragoza, M. L., Gutiérrez-Cortez, E., Del Real, A., González-Reza, R. M., Galindo-Pérez, M. J., & Quintanar-Guerrero, D. (2014). Fresh-cut Red Delicious apples coating using tocopherol/mucilage nanoemulsion: Effect of coating on polyphenol oxidase and

pectin methylesterase activities. *Food Research International*, 62, 974–983.

Zambrano-Zaragoza, M. L., Mercado-Silva, E., Gutiérrez-Cortez, E., Castaño-Tostado, E., & Quintanar-Guerrero, D. (2011). Optimization of nanocapsules preparation by the emulsion-diffusion method for food applications. *LWT - Food Science and Technology*, 44(6), 1362–1368.

Zhou, P., Smith, N. L., & Lee, C. Y. (1993). Potential purification and some properties of Monroe apple peel polyphenol oxidase. *Journal of agricultural and food chemistry*, 41(4), 532-536.