



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA**



**LIC. EN QUÍMICO FARMACOBIOLOGO**

**DEPARTAMENTO DE BIOQUÍMICA - ALIMENTOS**

**TESIS**

**EFFECTO DE LA IRRADIACIÓN CON LUZ AZUL Y LUZ ULTRAVIOLETA DE ONDA CORTA (UV-C) SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS ANTIOXIDANTES DE TEJOCOTE (*Crataegus mexicana*) FRESCO**

Que para obtener el título de:

**LICENCIATURA EN QUÍMICO FARMACOBIOLOGO**

**PRESENTA:**

**p. Q.F.B. AVILA CRISÓSTOMO EDSON**

**Director de Tesis**

**D.C. Carlos Enrique Ochoa Velasco**

**Asesor de Tesis**

**D.C. Addí Rhode Navarro Cruz**

**Fecha: Julio de 2016**

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	i
ÍNDICE DE TABLAS.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	v
AGRADECIMIENTOS.....	vii
DEDICATORIA.....	viii
RESUMEN.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	2
2. JUSTIFICACIÓN.....	3
3. OBJETIVOS.....	4
4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	5
4.1 Alimento funcional.....	5
4.2 Antioxidantes.....	5
4.3 Antioxidantes en los alimentos.....	7
4.4 Tejocote ( <i>Crataegus mexicana</i> ) como fuente de antioxidantes.....	8
4.5 Luz como potenciadora de la capacidad antioxidante.....	11
5. DIAGRAMA DE TRABAJO.....	15
6. MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
7. METODOLOGÍA.....	17
7.1 Primera Etapa: Preparación de material requerido y establecimiento de condiciones de estudio.....	17
7.1.1 Diseño y desarrollo del equipo de tratamiento.....	17

7.1.2 Recolección de material biológico y pruebas preliminares.....	17
7.2 Segunda Etapa: Caracterización de capacidad antioxidante del fruto sin tratar.....	17
7.3 Tercera Etapa: análisis del efecto de la luz azul y luz UV-C sobre compuestos bioactivos y capacidad antioxidante sobre tejocote.....	19
7.3.1 Análisis del efecto de la luz azul y luz UV-C sobre compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en fresco.....	19
7.3.2 Análisis del efecto de la luz azul y luz UV-C sobre compuestos bioactivos y capacidad antioxidante durante el almacenamiento.....	20
7.4 Cuarta etapa: Análisis de resultados.....	20
<b>8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>21</b>
8.1 Diseño y construcción del equipo del equipo de tratamiento con lámparas de luz azul y luz UV-C.....	21
8.2 Caracterización de los compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en tejocote sin tratamiento.....	22
8.3 Tratamiento de tejocote fresco con luz azul y luz UV-C a diferentes tiempos de exposición.....	23
8.3.1 Efecto de diferentes dosis de luz azul y luz UV-C sobre flavonoides.....	23
8.3.2 Efecto de diferentes dosis de luz azul y luz UV-C sobre compuestos fenólicos.....	24
8.3.3 Efecto de diferentes dosis de luz azul y luz UV-C sobre la vitamina C.....	26

8.3.4 Efecto de diferentes dosis de luz azul y luz UV-C sobre la capacidad antioxidante.....	27
8.4 Correlación entre compuestos bioactivos con la capacidad antioxidante de tejocote.....	28
8.4.1 Correlación entre capacidad antioxidante y flavonoides bajo los efectos de la luz azul y luz UV-C.....	28
8.4.2 Correlación entre capacidad antioxidante y los compuestos fenólicos bajo los efectos de la luz azul y luz UV-C.....	30
8.4.3 Correlación entre capacidad antioxidante y la vitamina C bajo los efectos de la luz azul y luz UV-C.....	31
8.5 Efecto de la luz azul y luz UV-C sobre compuestos bioactivos y capacidad antioxidante de tejocote durante el almacenamiento.....	33
8.5.1 Efecto de la irradiación con luz azul y luz UV-C sobre flavonoides durante el almacenamiento.....	33
8.5.2 Efecto de la irradiación con luz azul y luz UV-C sobre flavonoides durante el almacenamiento.....	36
8.5.3 Efecto de la irradiación con luz azul y luz UV-C sobre flavonoides durante el almacenamiento.....	36
8.5.4 Efecto de la irradiación con luz azul y luz UV-C sobre flavonoides durante el almacenamiento.....	37
<b>9. CONCLUSIONES.....</b>	<b>39</b>
<b>10. SUGERENCIAS.....</b>	<b>40</b>
<b>11. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>41</b>
<b>12. APÉNDICE.....</b>	<b>49</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

1. Clasificación taxonómica del tejocote.....	8
2. Química del tejocote ( <i>Crataegus mexicana</i> ).....	10
3. Actividad antioxidante de diversas especies de tejocote.....	11
4. Acciones y efectos de la luz a diferentes longitudes de onda.....	12
5. Equipos Utilizados.....	16
6. Métodos y Referencias.....	16
7. Caracterización de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante de tejocote sin tratamiento caracterizado en comparación con la literatura.....	22

## ÍNDICE DE FIGURAS

1. Cámara de luz azul y luz UV-C.....	21
2. Efecto del tratamiento con diferentes dosis de luz azul y luz UV-C sobre los flavonoides totales en tejocote.....	24
3. Efecto del tratamiento con diferentes dosis de luz azul y luz UV-C sobre los compuestos fenólicos totales en tejocote.....	25
4. Efecto del tratamiento con diferentes dosis de luz azul y luz UV-C sobre el nivel de vitamina C total en tejocote.....	27
5. Efecto del tratamiento con diferentes dosis de luz azul y luz UV-C sobre la capacidad antioxidante en tejocote.....	28
6. Correlación entre el efecto del contenido de flavonoides totales y capacidad antioxidante en tejocote tratado con luz azul.....	29
7. Correlación entre el efecto del contenido de flavonoides y capacidad antioxidante en tejocote tratado con luz UV-C.....	30
8. Correlación entre el efecto del contenido de compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante en tejocote tratado con luz azul.....	31
9. Correlación entre el efecto del contenido de compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante en tejocote tratado con luz UV-C.....	31
10. Correlación entre el efecto del contenido total de vitamina C y capacidad antioxidante en tejocote tratado con luz azul.....	32
11. Correlación entre el efecto del contenido total de vitamina C y capacidad antioxidante en tejocote tratado con luz UV-C.....	33
12. Efecto del tiempo de almacenamiento sobre compuestos flavonoides totales durante el almacenamiento de tejocote tratado con luz azul, luz ultravioleta de onda corta y combinaciones.....	34

13. Efecto del tiempo de almacenamiento sobre compuestos fenólicos durante el almacenamiento de tejocote tratado con luz azul, luz ultravioleta de onda corta y combinaciones.....	36
14. Efecto del tiempo de almacenamiento sobre vitamina C durante el almacenamiento de tejocote tratado con luz azul, luz ultravioleta de onda corta y combinaciones.....	37
15. Efecto del tiempo de almacenamiento sobre la capacidad antioxidante durante el almacenamiento de tejocote tratado con luz azul, luz ultravioleta de onda corta y combinaciones.....	38

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres por todo su apoyo brindado tanto en todos los aspectos de mi vida, por su paciencia y dedicación alentándome a ser una mejor persona.

A mis hermanos por todos esos consejos y toda la ayuda que me han brindado, ya que aparte de ser mis consanguíneos también considero que son mis amigos.

A la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla por brindarme educación de calidad y espacios adecuados para desarrollar mis aptitudes académicas.

A la Facultad de Ciencias Químicas y en especial al departamento de Bioquímica-Alimentos por todo su apoyo y empeño en ayudarme a realizar este trabajo y por todos los recursos brindados, además del buen trato y las experiencias fuera del ámbito académico.

Al D.C. Carlos Enrique Ochoa por la dirección de este proyecto así como a la D.C. Addí Rhode Navarro por su asesoría. También al D.C. Raúl Ávila por todo el apoyo brindado.

Al PRODEP por el apoyo económico brindado para apoyar el proyecto “NPTC-PTC-425 SEP”.

A mis amigos por todo su apoyo y por compartir tantas experiencias conmigo durante este trayecto de licenciatura, por los que han estado conmigo desde mi niñez y aún siguen apoyándome en muchos aspectos.

## **DEDICATORIA**

Esta tesis está dedicada a mi familia por todo el apoyo brindado durante toda mi vida, siendo el miembro más joven de la familia esta tesis significa la culminación de todo el esfuerzo de mis padres para formar hijos bien preparados tanto en aspectos académicos, morales, sentimentales, entre muchos otros. Como el menor de tres hermanos para mí es un orgullo presentar este trabajo como una especie de transición hacia una etapa más madura para toda la familia, es decir, el paso que se tiene que dar de ser un estudiante a ser una persona con título universitario. En resumen, este trabajo significa el esfuerzo de toda una familia para que todos sus integrantes sean profesionales, siendo yo el que cierre un ciclo para comenzar uno nuevo.

## RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del tratamiento con luz azul y luz UV-C sobre los compuestos bioactivos y capacidad antioxidante de tejocote fresco y durante el almacenamiento. Para evaluar el efecto de la dosis de radiación se evaluaron diferentes tiempos (Control, 1, 2, 3, 4 y 5 min) con luz azul o UV-C (incluyendo tejocote no tratado como control), para posteriormente realizar extractos etanólicos y evaluar algunos de sus compuestos bioactivos (flavonoides totales, compuestos fenólicos y vitamina C) así como su capacidad antioxidante (DPPH). Tras los resultados obtenidos de las primeras pruebas, se decidió evaluar el efecto del tipo de luz (azul y UV-C) a una sola dosis, así como el efecto de la combinación en los tratamientos (luz azul/luz UV-C y luz UV-C/luz azul) sobre los compuestos bioactivos y la capacidad antioxidante de tejocote durante 30 días de almacenamiento, analizando cada muestra a intervalos de 5 días con sus respectivos grupos control. Los mejores resultados se presentaron al primer minuto con ambos tipos de luz. Al analizar los resultados en tejocote fresco tratado con luz azul se observó un aumento en la síntesis de flavonoides totales (27%), compuestos fenólicos (17%) y vitamina C (17%), pero la capacidad antioxidante no tuvo aumento significativo ( $p < 0.05$ ). Asimismo, con el tratamiento con luz UV-C también se obtuvo aumentos en la síntesis de flavonoides totales (49%), compuestos fenólicos (10%), vitamina C (17%) y capacidad antioxidante (15%), existiendo una correlación positiva entre los niveles de vitamina C y la capacidad antioxidante. En cuanto a la evaluación durante el almacenamiento de tejocote, los resultados indicaron que la síntesis de compuestos bioactivos se mantuvo o aumentó bajo el efecto del tratamiento combinado luz UV-C/luz azul, destacándose la síntesis de flavonoides totales. Caso contrario a la capacidad antioxidante, en la cual se observó que los diferentes tratamientos no tuvieron efecto significativo ( $p > 0.05$ ) durante los 30 días de almacenamiento. Los resultados indican que la aplicación de la luz azul y/o UV-C y sus combinaciones en tejocote tiene mucho potencial para aumentar sus compuestos bioactivos y capacidad antioxidante aunque se debería evaluar los compuestos específicos para conocer el alcance de la tecnología.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las frutas y las hortalizas contienen compuestos bioactivos con capacidad antioxidante que son beneficiosos para la salud, entre éstos los compuestos fenólicos son los de mayor beneficio para la salud humana. Sin embargo, las frutas y hortalizas contienen diferentes tipos de compuestos antioxidantes, la mayor parte de la actividad antioxidante en éstas especies vegetales puede ser derivada de compuestos como vitamina C y otros compuestos fenólicos como los flavonoides. El tejocote es una de las frutas endémicas de México que contiene altos contenidos de compuestos fenólicos como flavonoides, proantocianidinas, catequinas, ácidos fenólicos, así como aceites esenciales y terpenoides por lo que se explica su uso como terapia natural para el tratamiento de enfermedades crónico-degenerativas, en algunos tipos de cáncer, en afecciones del sistema inmunológico y desórdenes cardiovasculares (Craig, 1999; Cui *et al.*, 2006).

Los compuestos bioactivos y la capacidad antioxidante de las frutas y hortalizas pueden ser potenciados gracias a la inducción de estrés que permita la síntesis de dichos compuestos como respuesta defensiva. La inducción de dicho estrés puede ser causado por estímulos diversos ya sean físicos o químicos, entre los que se destaca el uso de la luz, ultrasonidos o exposición a campos eléctricos, entre otros. Entre los estímulos ya mencionados, la luz visible y la luz ultravioleta en sus diferentes regiones han sido objeto de interés entre los investigadores, los cuáles han realizado estudios diversos que demuestran los diferentes efectos que puede causar la exposición de especies vegetales a estímulos luminosos. Por lo anterior, el objetivo de esta tesis fue estudiar la influencia que tiene la luz azul y la luz UV-C sobre los compuestos bioactivos y la capacidad antioxidante en tejocote fresco y durante su almacenamiento (El-Kawas y Khatab, 2007).

## 2. JUSTIFICACIÓN

Los alimentos funcionales en estos días pueden considerarse importantes por sus diversos beneficios, independientemente de sus propiedades nutricionales. El interés por los compuestos bioactivos con capacidad antioxidante de las distintas frutas y hortalizas se ha incrementado en los consumidores, por lo que se requieren más estudios concisos sobre como potenciar dichos compuestos. Actualmente no existen estudios reportados en la literatura que indiquen una relación entre el efecto de la irradiación con luz azul y luz ultravioleta de onda corta (UV-C) sobre los compuestos bioactivos y capacidad antioxidante de tejocote (*Crataegus mexicana*). Por tanto, existe la posibilidad de que el fruto del tejocote pueda ser estimulado por estos tipos de luz para estimular la producción de diferentes compuestos tales como flavonoides, vitamina C, compuestos fenólicos y por tanto afectar positivamente su capacidad antioxidante.

### 3. OBJETIVOS

✓ OBJETIVO GENERAL:

Evaluar el efecto de diferentes dosis de irradiación con luz azul y luz UV-C sobre los compuestos bioactivos y capacidad antioxidante de Tejocote (*Crataegus mexicana*) fresco y durante su almacenamiento.

✓ OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1. Diseñar y construir equipo de tratamiento con luz azul y luz UV-C para el procesamiento de frutas y hortalizas frescas enteras o cortadas.
2. Caracterizar el fruto de tejocote (*Crataegus mexicana*) en sus compuestos bioactivos (fenoles totales, flavonoides y vitamina C) y capacidad antioxidante (DPPH).
3. Evaluar el efecto de diferentes dosis de irradiación con luz azul y luz UV-C sobre los compuestos bioactivos (fenoles totales, flavonoides y vitamina C) y capacidad antioxidante (DPPH) de tejocote (*Crataegus mexicana*) fresco.
4. Evaluar el efecto de diferentes dosis de irradiación con luz azul y luz UV-C y sus combinaciones sobre los compuestos bioactivos (fenoles totales, flavonoides y vitamina C) y capacidad antioxidante (DPPH) de tejocote (*Crataegus mexicana*) durante su almacenamiento.

## **4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **4.1 Alimento Funcional**

El concepto de alimento funcional (AF) se basa en enfatizar el desarrollo de una nutrición optimizada, encaminada al beneficio de la salud tanto en aspectos genéticos y fisiológicos, además de prevenir y tratar enfermedades. Lo que se describe es un concepto que va más allá de la principal función de los alimentos, la cuál es la de nutrir al organismo para su correcto funcionamiento, concluyendo que lo que se busca principalmente en un AF es el de cumplir una función determinada independiente a la nutritiva y encaminada a objetivos específicos tales como el tratamiento de diversas enfermedades con enfoques terapéuticos o preventivos según sea el caso (Silveira-Rodríguez *et al.*, 2003). En este sentido, cualquier alimento ya sea en su forma natural o procesada que además de sus componentes nutritivos contenga componentes que favorezcan a la salud en aspectos físicos o mentales es considerado un alimento funcional (Alvídrez-Morales *et al.*, 2002).

En el décimo reporte de tendencia anual del Food Market Institute and Prevention Magazine (FMIPM) en 2001, se encontró que el 76% de los consumidores acordaron que alimentarse saludablemente es una mejor manera de prevenir enfermedades que a través de la medicación. Entre los diversos alimentos funcionales se pueden encontrar varios tipos, entre los que se pueden destacar: probióticos, prebióticos y simbióticos, alimentos enriquecidos con fibra, ácidos grasos con distintas propiedades (omega 3, ácido oléico, fitoesteróles, etc.) y antioxidantes diversos como los compuestos fenólicos (Silveira-Rodríguez *et al.*, 2003).

### **4.2 Antioxidantes**

Un antioxidante se define como una especie química capaz de inhibir la degradación oxidativa. Dicha especie química actúa gracias a su interacción enfocada hacia los radicales libres y por ende, recibe el nombre de antioxidante terminador de cadena. Sin embargo es necesario hacer destacar la clasificación

de éstas especies en base a su actividad. Se tienen a las sustancias estabilizadoras de radicales libres o anti-radicalarias, las cuales se determinan completamente por la reactividad de estas sustancias frente a radicales libres y se caracterizan por su velocidad reactiva. Por otro lado están los de actividad antioxidante, la cual es caracterizada por su capacidad para retardar la degradación oxidativa. Con esto se concluye que una alta actividad anti-radicalaria no siempre se relaciona con una alta actividad antioxidante, como es el caso de algunos compuestos fenólicos que presentan alta reactividad frente a radicales libres, pero moderada actividad antioxidante (Londoño-Londoño, 2011).

Los compuestos con actividad antioxidante actúan de diferentes maneras: como un captador de radicales libres, donador de moléculas de hidrógeno, donador de electrones o como inhibidor enzimático. Los antioxidantes tanto de naturaleza enzimática como no-enzimática existen en ambientes extracelulares e intracelulares (Lobo *et al.*, 2010).

Existen varios tipos de compuestos antioxidantes los cuáles se mencionarán a continuación:

- a) Sistemas de defensa enzimático** - Como su nombre los dice, son sistemas complejos de naturaleza proteica y carácter enzimático enfocados a catalizar diversos tipos de radicales libres, entre los cuales se encuentran a enzimas como la superóxido dismutasa (SOD) y Catalasa (Londoño-Londoño., 2011).
- b) Antioxidantes no enzimáticos** – En este tipo de clasificación se tienen diferentes tipos de compuestos de diversa naturaleza química capaces de interactuar con dichos radicales libres. Se puede hacer mención de varios compuestos como son Vitamina E, Ácido Ascórbico (Vitamina C), carotenoides, compuestos fenólicos, entre otros (Londoño-Londoño, 2011).

La suplementación con antioxidantes está fundamentada en varios estudios tanto epidemiológicos como clínicos. Estos estudios han demostrado una relación entre varios factores, como dieta, estilo de vida, exposición a la radiación, metales,

pesticidas, tóxicos y algunos medicamentos. También con la aparición y desarrollo de enfermedades como cáncer, diabetes, aterosclerosis, desórdenes neurodegenerativos y envejecimiento. Todos los estados mencionados están asociados a otro conocido como “estrés oxidativo”, es decir, a un incremento de especies oxidantes (especies reactivas de oxígeno – EROs) y/o a una disminución en los mecanismos desintoxicantes de éstas sustancias, entrando algunas de estas en las diversas familias de los radicales libres. De la gran cantidad existente de dichas especies se puede mencionar las más relevantes en sistemas biológicos, como son: el anión superóxido ( $O_2^{\cdot-}$ ), el radical hidroxilo ( $HO^{\cdot}$ ) y los radicales formados por la oxidación de ácidos grasos poliinsaturados como alcoxilo ( $alkO^{\cdot}$ ) y alquilperoxilo ( $alkOO^{\cdot}$ ) (Londoño-Londoño, 2011).

A escala biológica, una de las principales fuentes de radicales libres son las reacciones enzimáticas, produciendo radicales como intermediarios catalíticos; esto ocurre generalmente para enzimas que metabolizan xenobióticos, los cuales son oxidados o reducidos por un intercambio de un solo electrón para formar radicales libres intermediarios (Roberfroid y Calderon, 1994).

### **4.3. Antioxidantes en los alimentos**

El efecto protector de los alimentos de origen vegetal se ha atribuido a diversos nutrientes y fitoquímicos con capacidad antioxidante lo cual es frecuentemente olvidado en las recomendaciones alimentarias (Araya *et al.*, 2006). Está comprobado que la actividad antioxidante de frutas y verduras está relacionada con la presencia de compuestos fenólicos y flavonoides, aunque también es atribuido a otros metabolitos como lo son los carotenoides y la vitamina C (Georgé *et al.*, 2005; Brat *et al.*, 2007).

Las especies antioxidantes presentes en frutas y verduras también pueden ser derivadas de distintos mecanismos de defensa, los cuales pueden disminuir los niveles de EROs ya sea minimizando la producción de éstos en el medio mediante adaptaciones fisiológicas o eliminando estas especies a través de la acción de las moléculas antioxidantes (Peralta-Pérez y Volke-Sepulveda, 2012).

El factor dietético es de suma importancia para poder comprender el papel que juegan los antioxidantes en el sistema, es decir, se debe crear una conciencia sobre el futuro prometedor de cómo es que los alimentos ricos en antioxidantes pueden ayudar a prevenir y tratar diversas enfermedades, así como disminuir el estrés oxidativo en general. Por esto es necesario tener un conocimiento general sobre qué alimentos contienen una mayor cantidad de antioxidantes y así se promueva el hábito de ingerirlos para la mejora en la salud del consumidor (Zamora, 2007).

#### 4.4. Tejocote (*Crataegus mexicana*) como fuente de antioxidantes

En México, una de las especies nativas es el Tejocote (*Crataegus mexicana*), el cual presenta muchas cualidades nutraceuticas. Se han descrito alrededor de 200 especies del género (*Crataegus*) en el mundo y aproximadamente 13 se han identificado en el norte y centro de México con 9 especies endémicas, en la Tabla 1 se muestra su clasificación taxonómica. Este género es de gran variedad y diversidad en sus características fenotípicas y genotípicas. Pertenece a la familia Rosácea y se localiza principalmente en climas fríos. En México se usa principalmente para alimentación de animales, como planta ornamental; en la industria agrícola es usada para la elaboración de dulces típicos así como en la preparación de ponche y conservas por su alto contenido de pectina; tiene una gran demanda en las regiones sur, sureste y central del país en las festividades de “Día de Muertos” (Nieto-Ángel, 2007).

Tabla 1. Clasificación taxonómica del Tejocote (Hernández-Valle, 2008).

Reino	<i>Plantae</i>
División	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Subclase	<i>Rosidae</i>
Orden	<i>Rosales</i>
Familia	<i>Rosaceae</i>
Subfamilia	<i>Amygdaloideae</i>
Tribu	<i>Maleae</i>
Género	<i>Crataegus</i>
Especie	<i>mexicana</i>

El tejocote está distribuido principalmente en los estados de México, Puebla, Tlaxcala, Chiapas, Michoacán, Hidalgo y Morelos. Los estados de Oaxaca, México, Puebla y son los principales productores de este fruto (Banderas-Tarabay *et al.*, 2015).

El fruto, hojas y sus flores son apreciados por sus contenidos de vitamina A y C, carotenoides y sales minerales como calcio, fósforo y hierro, además de sus altos contenidos de pectina y azúcares, en la Tabla 2 se puede apreciar la química del tejocote. También se ha reportado la presencia de saponinas, taninos, aminos cardiotónicas. Los contenidos de vitamina C varía según diferentes autores, el rango se encuentra de 40 a 75 mg/100g, sin embargo, los autores no especifican la variedad de tejocote que reportan, por esto, se puede sugerir que la diferencia en la composición es debido a la variabilidad del fruto, su origen y su producción. Se ha encontrado que las hojas, raíces y frutos de tejocote contienen altas concentraciones de metabolitos secundarios diversos, como lo son bi-flavonoides, procianidinas oligoméricas de flavonoles, ácidos fenólicos, ácidos tri-terpénicos, ácidos orgánicos y esteroides, epicatequinas y catequinas. También contienen una importante cantidad de pectinas, rutinas y taninos. Recientemente, estudios realizados en el fruto de tejocote en sus distintas variedades han demostrado la presencia de terpenoides, polifenoles (flavonoides como las catequinas, proantocianidinas poliméricas y oligoméricas). También presenta carotenoides, los cuales proporcionan una coloración amarilla, anaranjada y roja al fruto (Banderas-Tarabay *et al.*, 2015).

Tabla 2. Química del tejocote (*Crataegus mexicana*) (Menchú y Méndez. 2007)

Nutriente	Cantidad Presente
Agua (%)	74.8
Energía (Kcal)	89
Proteína (g)	0.06
Grasa total (g)	0.30
Carbohidratos (g)	23.50
Fibra Dietética Total (g)	-
Ceniza (g)	0.70
Calcio (mg)	82
Fósforo (mg)	28
Hierro (mg)	1.60
Tiamina (mg)	0.03
Riboflavina (mg)	0.04
Niacina (mg)	0.40
Vit C (mg)	79
Vit A Equiv. Retinol (mcg)	-
Ácidos Grasos mono-insat. (g)	-
Ácidos Grasos poli-insat. (g)	-
Ácidos Grasos Saturados (g)	-
Colesterol (mg)	-
Potasio (mg)	-
Sodio (mg)	-
Zinc (mg)	-
Magnesio (mg)	-
Vit. B6 (mg)	-
Vit. B12 (mcg)	-
Ác. Fólico (mcg)	-
Folato Equiv. FD (mcg)	-
Fracción Comestible (%)	0.63

Estudios han demostrado que el contenido de estos antioxidantes varía según los diversos fenotipos y genotipos en esta especie como se muestra en la Tabla 3. La gran variabilidad en diversidad y genotipos de tejocote que existen en México ha demandado la caracterización de estos frutos y la determinación de sus propiedades antioxidantes para ser recomendados como alimentos de gran valor nutracéutico que permita un uso agro-industrial más eficiente y provocar nuevas alternativas económicas para los productores (García-Mateos *et al.*, 2013).

Tabla 3. Actividad antioxidante de diversas especies de Tejocote (García-Mateos *et al.*, 2013).

Espece	Estado	Actividad Antioxidante (IC <sub>50</sub> = $\mu$ ml <sup>-1</sup> )
<i>C. rosei</i>	Puebla	0.16
<i>C. aurescens</i>	Puebla	0.20
<i>C. tracyi</i>	Chiapas	0.11
<i>C. baroussana</i>	Chiapas	0.18
<i>C. cuprina</i>	Puebla	0.13
<i>C. gracillior</i>	Chiapas	0.22
<i>C. greggiana</i>	Edo. Mexico	0.46
<i>C. mexicana</i>	Puebla	0.10

IC<sub>50</sub> = media de concentración inhibitoria; concentración requerida de muestra para inhibir el 50% de DPPH después de 30 min.

#### 4.5. Luz como potenciadora de capacidad antioxidante en alimentos

Stevens *et al.* en 1996 definieron como hormesis a la aplicación de un agente dañino en bajas dosis a plantas para inducir una respuesta al estrés, estos agentes pueden ser de naturaleza física o química y a pesar de que las plantas no poseen tejido especializado en la defensa, tienden a responder mediante la construcción de una barrera de defensa (Quintero-Cerón *et al.*, 2013).

Se ha comprobado una relación entre la utilización de luz ultravioleta y el aumento de los mecanismos de defensa de diversas especies vegetales. En función de la intensidad y la longitud de onda, la irradiación con luz UV puede inducir un estrés biológico en las plantas, con la consecuente producción de fitolexinas (de acción fungicida). La acumulación de dichos compuestos puede desencadenar una serie de respuestas defensivas, tales como síntesis de enzimas y fitonutrientes, modificación de paredes celulares e incluso muerte celular (Mercier *et al.*, 1993). Hay evidencias del efecto positivo del tratamiento con UV en aumentar las propiedades nutraceuticas de los alimentos. La exposición de los tejidos a dosis

bajas de irradiación UV también puede retrasar procesos de maduración y senescencia (Cisneros-Zevallos, 2003).

Por otra parte, la luz azul aporta otros beneficios tales como morfogénesis de las plantas o diferenciación de órganos, pero una consecuencia de irradiaciones constantes a esas longitudes de onda puede cambiar las conformaciones de diversas proteínas, cuyas respuestas van desde cambios de pH intracelular hasta regulación de la expresión de genes y síntesis de novo de proteínas (Meisel *et al.*, 2011). Otro de los efectos comprobados que provoca la luz azul es la de potenciar la capacidad antioxidante y la actividad enzimática en algunas frutas así como el aumento de la producción de etileno (Xu *et al.*, 2014).

A continuación se muestra en la Tabla 4 con los efectos que provoca la irradiación con luz a diversas longitudes de onda y los fotorreceptores asociados a dichos efectos.

Tabla 4. Acciones y efectos de la luz a diferentes longitudes de onda (Meisel *et al.*, 2011).

Región	$\lambda$ (nm)	Acciones y Efectos	Tipo de fotorreceptor y otras moléculas que absorben energía lumínica
UV-C	< 280	Mutaciones, daño y muerte celular	DNA - RNA
UV-B/UV-A	315 – 400	Acción fotomorfológica; síntesis de pigmentos; daño y muerte celular	Criptocromos, fotorreceptores UV
Violeta – Azul	400 – 510	Acción fotosintética fotomorfogénesis, ritmo circadiano, tiempo de floración, fototropismo, movimiento de cloroplastos, apertura de estomas, estimulación del síntesis de clorofila y carotenos	Fotosistemas (clorofilas a y c), Criptocromos, Fototropinas
Verde – Amarillo	510 – 610	Acción reducida sobre la fotosíntesis	Carotenos
Anaranjado – Rojo/Rojo lejano	610 – 1000	Acción fotosintética, germinación de semillas, tiempo de floración, ritmo circadiano, fotomorfogénesis, elongación celular	Fotosistemas, (clorofilas a y b), Fotocromos

Gracias a dichos mecanismos defensivos, se ha propuesto aprovecharse de éstos para generar alimentos que permitan ampliar el contenido de antioxidantes en frutas y verduras empleando tecnologías emergentes como lo es el uso de la luz a diversas longitudes de onda, entre las cuales se tiene a la luz azul o la luz ultravioleta. Esta tecnología parece ser adecuada, ya que se ha demostrado que el uso de técnicas tradicionales como lo son los tratamientos térmicos pueden influir negativamente si se quiere incrementar los niveles de antioxidantes en frutas y verduras, por ejemplo durante el hervido, horneado o irradiación con microondas (Agostini *et al.*, 2004).

Para poder generar luz azul o luz UV-C, es necesario contar con una fuente que proporcione la longitud de onda necesaria, entre las fuentes existentes, se pueden destacar las siguientes (Antonio-Gutiérrez *et al.*, 2012):

- Lámparas de mercurio
- Lámparas de mercurio de baja presión
- Lámparas UV de microondas
- Lámparas de pulsos UV

Se han realizado varios trabajos de investigación que indican una fuerte correlación entre los diferentes tratamientos en diversas especies vegetales, algunos de los cuales se citan a continuación:

Se ha demostrado que la luz azul potencia la producción de antocianinas, las cuales representan un grupo natural de compuestos flavonoides. Además, la luz azul parece tener un efecto positivo en la síntesis de compuestos bioprotectores, lo cual indica que este tipo de tratamiento puede ser un método potencial para el mantenimiento de la calidad de la frutas (Feng *et al.*, 2014).

González-Aguilar *et al.* (2007a) reportan que al irradiar mangos con luz UV-C en un tiempo de diez minutos, la actividad antioxidante se incrementó aproximadamente un 125% a los 15 días de almacenamiento a 5°C. Erkan *et al.* (2008) irradiaron fresas con luz UV-C durante 5 minutos, aumentando el contenido de compuestos fenólicos y antocianinas de la fresa en un 29 y 27%,

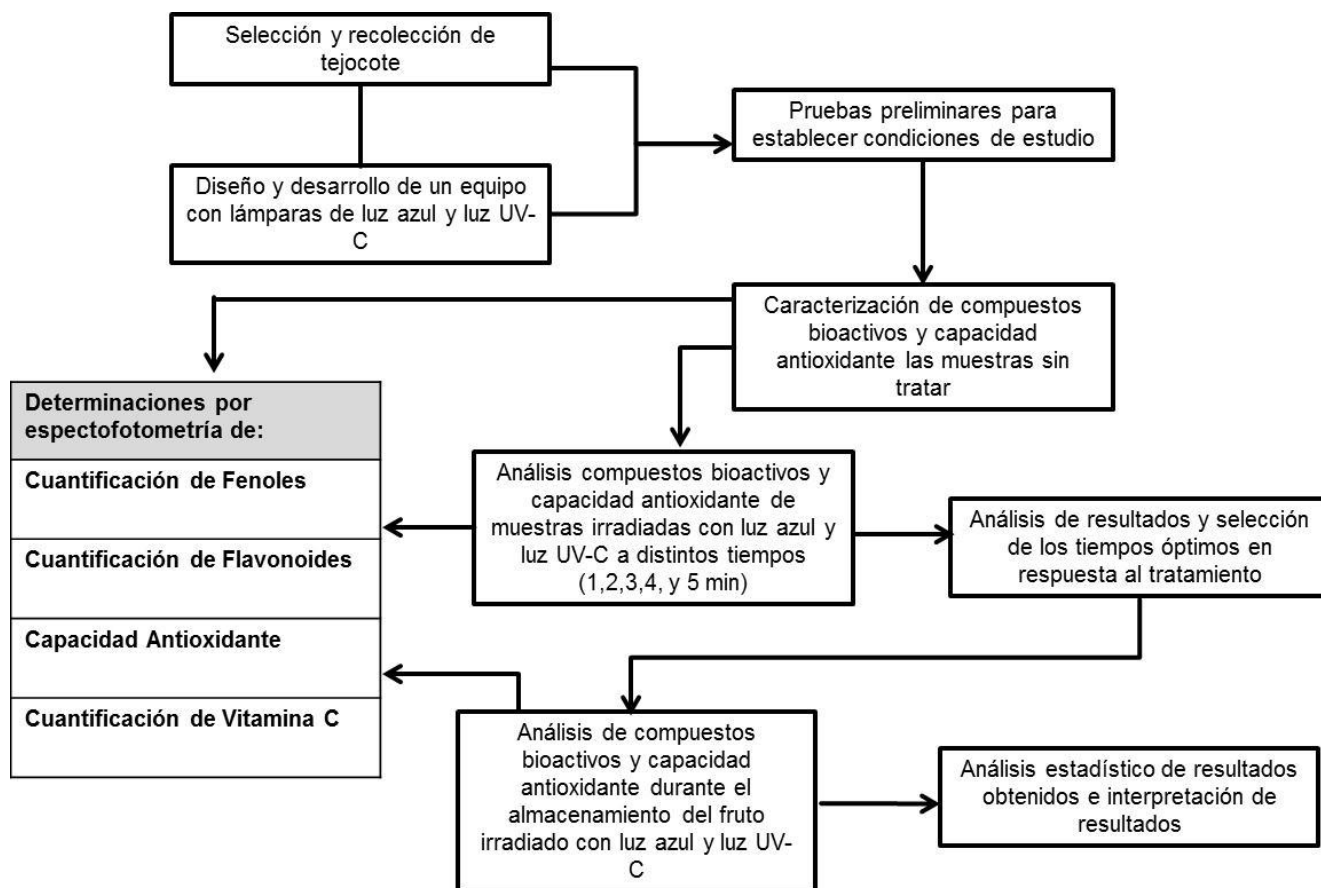
respectivamente después de 15 días en almacenamiento a 10 °C. Lemoine *et al.* (2010) analizaron el efecto de la radiación UV-C en una dosis de 8 kJ/m<sup>2</sup> el cual puede ejercer un incremento sobre los compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante en brócoli.

Andrade-Cuvi *et al.* (2010) cuantificaron la actividad de la enzima superóxido dismutasa en carambolo troceado tratado con UV-C a dosis de 13 kJ/m<sup>2</sup> a los 14 días de almacenamiento, sugiriendo que el tratamiento retrasó la actividad de esta enzima por 7 días de forma que se aumentara la eficiencia en la disminución de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Li *et al.* (2010) reportaron una elevada cantidad de las enzimas superóxido dismutasa, catalasa, peroxidasa y de glutatión reductasa en peras (*Pyrus bretschneideri*) al irradiarlas durante dosis de 5 kJ/m<sup>2</sup> (Quintero-Cerón *et al.*, 2013). Pombo *et al.* (2011) y Yong-Gui & He (2012) lograron retardar el reblandecimiento en rebanadas de piña y fresas al inhibir la acción enzimática de las pectinasas con una dosis de 4.5 kJ/m<sup>2</sup>.

Por otra parte, existe la probabilidad de que el tratamiento no cause ninguna diferencia sensorial significativa, esto lo explicó Basaran (2009) cuando irradió avellanas y realizó una comparación entre las avellanas tratadas y las avellanas sin tratamiento. Él concluyó que no hubo diferencias sensoriales significativas en textura, color, olor y sabor. Además existen cambios que no son inmediatos, como lo reportaron Erkan *et al.* (2001), ellos irradiaron calabazas con una dosis de 9.86 kJ/m<sup>2</sup>, que después de una semana en refrigeración, mostraron una coloración rojiza, este efecto se atribuyó al tratamiento con UV (Haro-Maza & Guerrero-Beltrán, 2013).

Los probables efectos adversos de la luz UV-C pueden ser el pardeamiento en frutos, con lo cual los investigadores concluyeron que no era responsabilidad de las enzimas oxidativas, sino del tejido mismo, al observarse el engrosamiento de la pared celular y pérdida de clorofila. Se reportó la proliferación de bacterias ácido lácticas por la disminución de bacterias competitivas (flora), mientras que en espinaca y calabacín aumentaron su tasa de respiración y en lechuga existió un ablandamiento a una dosis de 7.1 kJ/m<sup>2</sup> (Quintero-Cerón *et al.*, 2013).

## 5. DIAGRAMA DE TRABAJO



## 6. MATERIALES Y MÉTODOS

- **Material:** Material de vidrio necesario para cada determinación
- **Equipo:** Se muestra en la tabla 5
- **Reactivos:** los necesarios para cada determinación grado analítico
- **Material biológico:** Tejocote (*Crataegus mexicana*) en buen estado sin magulladuras y contaminación evidente.

Tabla 5. Equipos Utilizados

Equipo	Modelo	Marca
Espectrofotómetro	4001/4	Spectronic 20 Genesys
Lámpara de UV	G15T8	Philips
Lámpara de luz Azul	Aqua coral	Philips
Micropipeta (100-1000 µL)	LMP 1000	Labmate Pro
Micropipeta (10-100 µL)	D-100	Transferpette S
Balanza analítica	PA313	Ohaus Pioneer
Batidora de inmersión	CE22841	Continental Electric

Tabla 6. Métodos y Referencias

Determinación	Método	Referencia
Flavonoides	Espectrofotometría	Alothman et. al (2009)
Fenoles	Espectrofotometría	Gao et. al. (2000)
Vitamina C	Espectrofotometría	Jiménez Durán (2015)
Capacidad Antioxidante	Espectrofotometría	Andrade Cuvi et al. (2011)

## **7. METODOLOGÍA**

### **7.1. Primera Etapa: Preparación de material requerido y establecimiento de condiciones de estudio**

#### *7.1.1. Diseño y desarrollo del equipo de tratamiento*

Se procedió con el desarrollo y ensamblaje del equipo con lámparas de luz azul y luz UV-C requeridas para el estudio. Esto implicó establecer las medidas volumétricas de un contenedor cúbico (60 x 60 x 60cm) de acero inoxidable. La disposición de las lámparas, la cual consistió en colocar una lámpara de luz azul y una de luz UV-C en cada lado del contenedor, así como las especificaciones técnicas que se requirieron (voltaje adecuado, instalación de interruptores manuales, cableado eléctrico, etc.).

#### *7.1.2. Recolección de material biológico y pruebas preliminares*

Se hizo la recolección de la fruta en un supermercado local, procurando que la selección de ésta fuera la adecuada y se encontrara en condiciones óptimas para un mejor aprovechamiento de la misma, es decir, que se presentara en un estado de maduración adecuado en función del color, sin presentar golpes ni magulladuras. Además, se llevaron a cabo pruebas preliminares para establecer las condiciones óptimas de los distintos ensayos, las cuales consistieron en temperatura y presión estándar, ausencia de luz según los distintos estudios.

### **7.2. Segunda Etapa: Evaluación de diferentes condiciones de tratamiento con luz azul y luz UV-C sobre las características antioxidantes de tejocote**

Se realizó la caracterización de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante (sin ningún tratamiento) del tejocote. Antes se procedió a procesar la muestra de tejocote entero, haciendo extractos etanólicos para un mejor rendimiento de las muestras, los cuáles consistieron en la trituración de la pulpa del fruto en etanol después de registrado el peso de la pulpa. Todos los procesos se llevaron a cabo por triplicado y con sus respectivos controles. Se determinaron las diversas

pruebas mediante espectrofotometría UV-Visible con sus respectivas curvas de calibración. Los ensayos que se realizaron fueron los siguientes:

- **Cuantificación de Flavonoides:** por el método (modificado) descrito por Allothman *et al.* (2009) usando nitrito de sodio ( $\text{NaNO}_2$ ), cloruro de aluminio ( $\text{AlCl}_3$ ) e hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}$ ) para el ensayo. Se adicionó a un tubo de ensayo 0.15mL de extracto, más 0.5mL de etanol, más 1.2 mL de agua destilada, esto para diluir la concentración de flavonoides que contiene el tejocote. Después se adicionó 75 $\mu\text{L}$  de  $\text{NaNO}_2$ , más 75 $\mu\text{L}$  de  $\text{AlCl}_3$  para esperar 5 minutos y adicionar 0.5mL de  $\text{NaOH}$ . Tras todo este proceso se leyó la absorbancia de la mezcla a 490nm. Como el tejocote resultó ser un fruto alto en contenido de compuestos flavonoides se realizó una dilución 1:1 del extracto del fruto (75 $\mu\text{L}$  de extracto más 75 $\mu\text{L}$  de agua destilada). El blanco de la muestra consistió en el mismo proceso con la excepción de la adición de agua destilada en lugar del reactivo de  $\text{AlCl}_3$  en la misma proporción. La curva estándar de calibración correspondiente se realizó utilizando catequina (Apéndice A).
- **Cuantificación de Fenoles totales:** usando el reactivo de Folin-Ciocalteu, el cual consiste en una reacción colorimétrica de óxido-reducción. En este ensayo se adicionó en un tubo 1 mL de reactivo de Folin al 1N, más 1 mL de extracto de tejocote, más la adición de 1 mL de  $\text{NaCO}_3$  tres minutos después, esperar 30 minutos para posteriormente leer la absorbancia de la muestra a 765nm. Debido a que la muestra de tejocote presentó una alta concentración de compuestos fenólicos, se diluyó la muestra a razón de 1:20 (50 $\mu\text{L}$  de extracto más 950 $\mu\text{L}$  de agua destilada). El blanco de la muestra consistió en la adición de 1mL de agua destilada en lugar del reactivo de Folin con los siguientes pasos posteriores. La curva estándar de calibración se realizó con ácido gálico (Apéndice B).
- **Cuantificación de Vitamina C:** se realizó mediante el uso del 2,6-dicloroindofenol – indofenol de Sodio (DCIP), el cuál actúa como un agente oxidante, provocando una decoloración al entrar en contacto con la vitamina

C presente en el analito. Esta prueba consistió en la adición de 700µL de extracto de tejocote, más 700µL buffer de acetato, más 700µL de reactivo de DCIP para después leer la absorbancia a 515nm. Ya que el contenido de vitamina C en tejocote es alto, se diluyó la muestra en razón de 1:1 (350µL de extracto más 350µL de agua destilada). Se utilizó ácido ascórbico como estándar para la curva de calibración (Apéndice C).

- **Capacidad antioxidante:** para evaluar la capacidad antioxidante del fruto, se usó el reactivo 2,2-difenil-1-picrihidrazil (DPPH) el cual se basa en la pérdida de la coloración del reactivo que se relaciona proporcionalmente con la capacidad antioxidante del analito. Consistió en la adición de 1mL de reactivo de DPPH más la adición de 1mL extracto de tejocote en un tubo de ensayo y esperar 30 minutos antes de leer la absorbancia al espectrofotómetro a 517nm. Debido a la alta capacidad antioxidante observada, se tuvo que diluir la concentración del extracto de tejocote con agua destilada, a proporción de 1:20 (50µL de extracto más 950µL de agua destilada). El blanco de la muestra consistió en 1mL de etanol más 1mL de la muestra. El blanco del reactivo de DPPH consistió en la adición de 1mL de reactivo de DPPH más 1mL de etanol el cual debía dar una absorbancia resultante entre el rango de 0.600 a 0.800 para una lectura confiable. Para un mayor control en la prueba se realizó un estimado de la concentración del reactivo con una medición de la absorbancia del reactivo de DPPH, el cuál debió de oscilar entre 0.800 a 1.400. Se usó Trolox como estándar para la realización de la curva de calibración (Apéndice D).

Todas las determinaciones se hicieron en ausencia de luz.

### **7.3. Tercera Etapa: análisis del efecto de la luz azul y luz UV-C sobre compuestos bioactivos y capacidad antioxidante sobre tejocote.**

#### *7.3.1 Análisis del efecto de la luz azul y luz UV-C sobre compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en fresco.*

Terminada la caracterización, se procedió a establecer un rango de dosis de irradiación correspondiente a tiempos determinados. Las muestras a analizar se evaluaron a distintos tiempos de irradiación de luz azul y luz UV-C, comprendiendo un rango de tiempo de 1 a 5 minutos, separando las distintas muestras en diferentes dosis de irradiación en cada intervalo de un minuto (1, 2, 3, 4 y 5 minutos), con respectivas sus dosis de 0.68, 1.35, 2.03, 2.71 y 3.39 kJ/m<sup>2</sup> para luz UV-C y 2.86, 5.83, 8.59, 11.46 y 14.32 kJ/m<sup>2</sup> para luz azul usando el equipo especialmente diseñado para este estudio.

De los resultados obtenidos se evaluaron los tiempos en los cuáles se observó el mejor rendimiento obtenido para decidir la dosis adecuada para la evaluación de tejocote conforme su almacenamiento.

### *7.3.2 Análisis del efecto de la luz azul y luz UV-C sobre compuestos bioactivos y capacidad antioxidante durante el almacenamiento.*

Con la recopilación de los datos obtenidos, se procedió a evaluar los cambios en los compuestos bioactivos y la capacidad antioxidante del fruto conforme a su almacenamiento, en el cual se fijaron días de evaluación en un mes de almacenamiento y se trataron con dosis individuales: luz azul (A) y luz UV-C; así como combinaciones entre los dos tipos de luz: luz azul seguida de luz UV-C (A/UV-C) y luz UV-C seguida de luz azul (UV-C/A).

## **7.4. Cuarta Etapa: Análisis de resultados**

Con los resultados obtenidos se procedió a hacer el análisis estadístico de los resultados obtenidos, utilizando el análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$ , para después realizar un análisis postvarianza por método de Tukey así como una interpretación de los mismos con sus respectivas conclusiones.

## 8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 8.1 Diseño y construcción del equipo del equipo de tratamiento con lámparas de luz azul y luz UV-C.

En la Figura 1 se muestra una imagen correspondiente al equipo. Se construyó una cámara de tratamiento de acero inoxidable con medidas de 60 x 60 x 60cm, al cual se le instalaron 12 lámparas (seis de luz UV-C y seis de luz azul) dispuestas en pares por cada lado del equipo para así contener en cada lado una lámpara de luz azul y una lámpara de luz UV-C. Asimismo, también se acondicionó una rejilla en medio de la cámara con el propósito de ser un soporte para las muestras a emplear. También se probó la eficacia del equipo, esto consistió en asegurarse de que cada una de las lámparas funcionara correctamente por una hora sin incrementar la temperatura al interior del equipo.

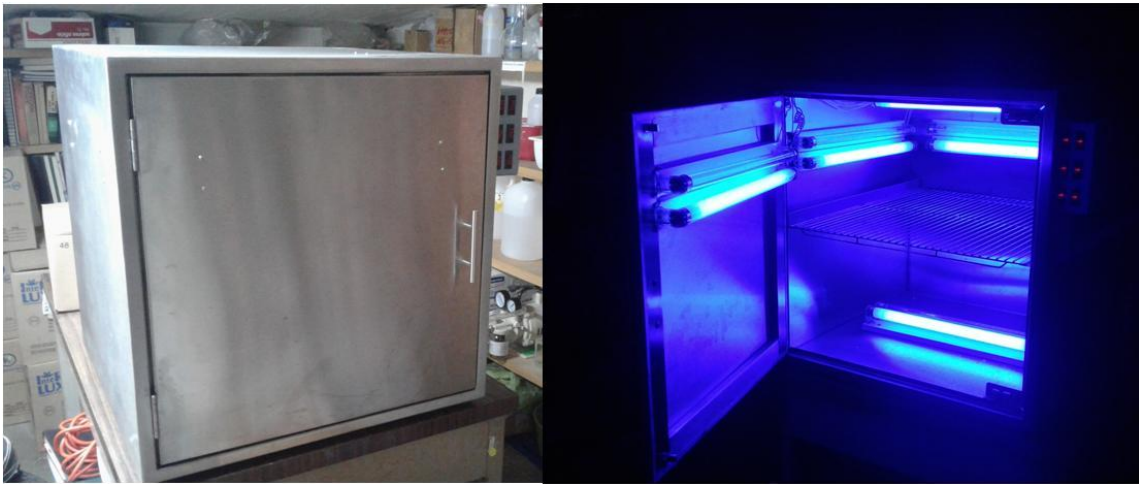


Figura 1. Cámara de luz azul y luz UV-C

## 8.2 Caracterización de los compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en tejocote sin tratamiento.

A continuación se presenta la Tabla 7, en la cual están los resultados obtenidos en cuanto al contenido de compuestos bioactivos y la capacidad antioxidante de tejocote sin tratar.

Tabla 7. Caracterización de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante de tejocote sin tratamiento caracterizado en comparación con la literatura.

Determinación	Caracterización (mg/100g de muestra)	Reportado en literatura (mg/100g de muestra)	Referencia
Flavonoides totales (mg catequina)	299.0 ± 2.79	285.0 ± 0.09*	Banderas-Tarabay et al., 2015
Fenoles totales (mg EAG)	178.98 ± 4.36	265.0 ± 0.002	Banderas-Tarabay et al., 2015
Vitamina C (mg AA)	11.6 ± 0.05	40.0 ± 0.04	García-Mateos et. al., 2013
Capacidad Antioxidante (mg Trolox)	95.09 ± 3.40	82.5 ± 0.7**	Mahattanatawee et al., 2006

\* Reportado como mg de quercetina por cada cien gramos de muestra

\*\* Mediciones realizadas en mango

EAG = equivalentes de ácido gálico; AA = ácido ascórbico

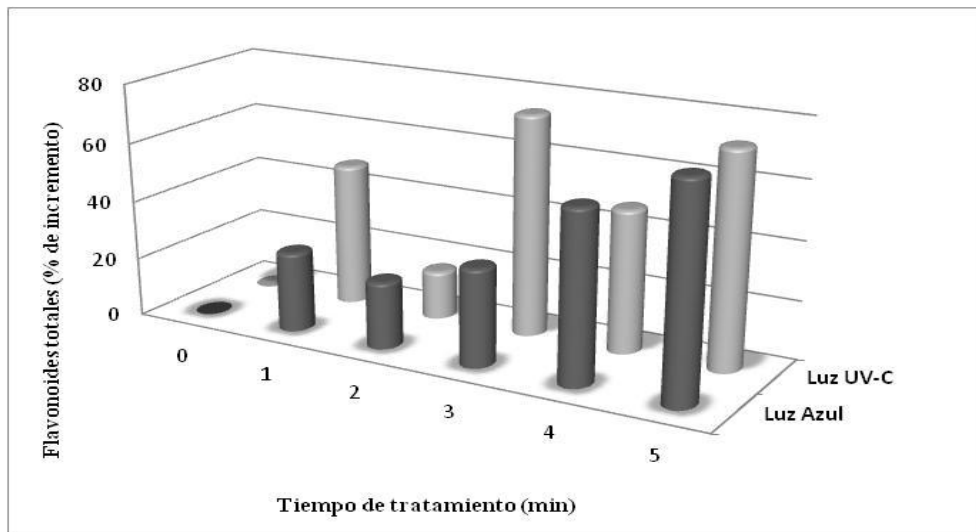
Se puede apreciar que los resultados obtenidos varían con los reportados en la literatura. Esto es debido a que las características nutraceuticas y los fitonutrientes del tejocote varían dependiendo de múltiples factores como la especie, la variedad, el clima en que se desarrolla el árbol, el cuidado se le de, la posición geográfica que ocupe, etc. Se debe destacar que actualmente no existen suficientes datos sobre estudios de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en el tipo de fruto que se estudió, por lo que es difícil obtener valores concretos sobre las determinaciones efectuadas.

### 8.3 Tratamiento de tejocote fresco con luz azul y luz UV-C a diferentes tiempos de exposición.

#### 8.3.1 Efecto de diferentes dosis de luz azul y luz UV-C sobre flavonoides.

En la Figura 2 se presenta el efecto de la luz azul y UV-C sobre los flavonoides totales en tejocote irradiado durante diferentes tiempos. Se observa que al primer minuto de irradiación existe un incremento significativo ( $p < 0.05$ ) en los niveles de flavonoides totales, obteniéndose un incremento de 27% en tejocotes tratados con luz azul y de 49% en aquellos tratados con luz UV-C (comparado con el grupo de tejocotes control). Además, hay una tendencia al incremento gradual de flavonoides totales conforme se aumenta el tiempo de exposición en cada tratamiento, destacando que al minuto cinco el incremento en los flavonoides totales fue de 70 y 74% en tejocotes tratados con luz azul y UV-C respectivamente, apreciándose que el comportamiento con los dos tipos de luz es similar. Todos los frutos tratados responden de manera positiva al aumentar el nivel de flavonoides totales bajo los dos tratamientos, se aprecia que el tratamiento con luz UV-C tiene una mayor respuesta comparado al tratamiento con la luz azul aunque no es significativo ( $p > 0.05$ ). Estos resultados se deben a una respuesta defensiva del fruto a la inducción de estrés provocado por radiaciones (Stevens *et al.*, 1996). Se ha demostrado que la luz es importante en la biosíntesis de flavonoides, estos compuestos absorben la luz UV y actúan como bloqueador de ésta, debido a que este tipo de compuestos contienen cromóforos aromáticos, los cuales tienen la propiedad de absorber a la luz ultravioleta (Sisa *et al.*, 2010). Estos resultados concuerdan con estudios realizados en manzanas, en los cuales se demuestran comparaciones entre manzanas en ausencia de luz y otras tratadas a dosis de  $97 \text{ kJ/m}^2$  de luz UV-B; se observó que las manzanas tratadas aumentaron de un 12% a un 200% el contenido de compuestos flavonoides, esto dependiendo en la variedad del fruto (Solovchenko & Shmitz-Eiberger., 2003). Ambas especies tanto *Crataegus mexicana* como *Malus domestica* pertenecen a la familia de las Rosáceas. Por otra parte, estudios han demostrado que varios

tipos de frutos que se caracterizan por pigmentos de color rojo contienen fotoreceptores para luz azul (Criptocromo 2), la expresión de este tipo de receptores provoca incrementos en los niveles de flavonoides y licopenos en frutos maduros. En este sentido se ha comprobado que en frutos como el tomate existió un incremento en los niveles de flavonoides al irradiarlos con luz azul a dosis de  $5.13 \text{ J/m}^2$  de casi tres veces el contenido total de flavonoides (Giliberto *et al.*, 2004).

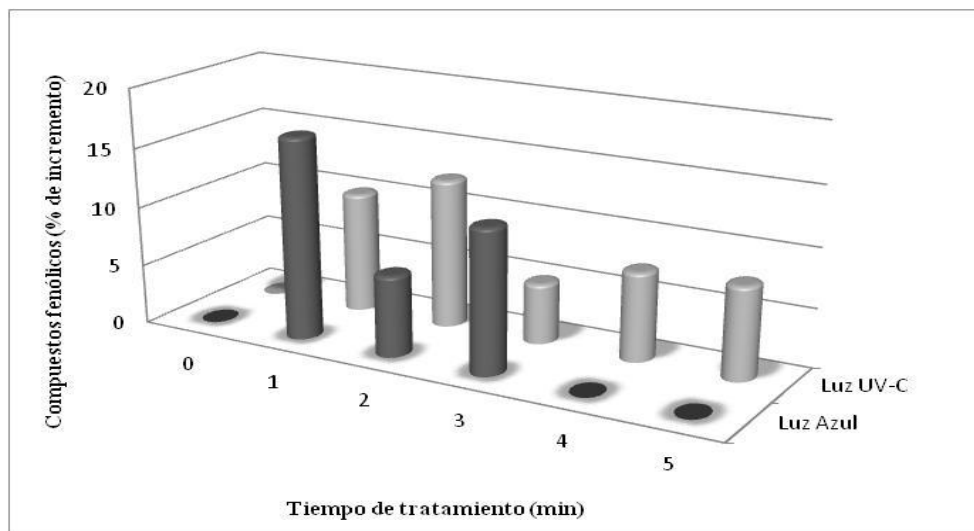


**Figura 2. Efecto del tratamiento con diferentes dosis de luz azul y luz UV-C sobre los flavonoides totales en tejocote**

### 8.3.2. Efecto de diferentes dosis de luz azul y luz UV-C sobre compuestos fenólicos.

El grupo que conforma a los compuestos fenólicos es muy extenso, por lo que la luz azul y luz UV-C puede afectar a especies específicas de este grupo, esto se puede observar en la Figura 3. Al primer minuto de irradiación existe un incremento en los niveles de compuestos fenólicos de 10 y 17% en tejocote irradiado con luz UV-C y luz azul, respectivamente sobre tejocote. Sin embargo para el caso del tratamiento con luz azul se observa que a tiempos más altos (arriba de 1 min) no existe un incremento significativo ( $p > 0.05$ ) de los

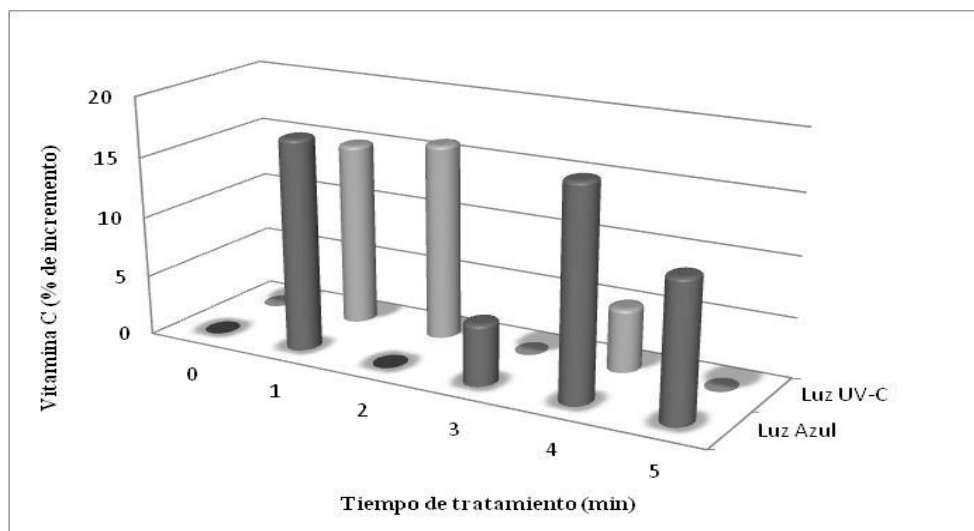
compuestos fenólicos. El efecto de la luz azul es muy variable para las diferentes especies vegetales, como el caso de las alubias (*Vigna sinensis*) y frijol (*Phaseolus vulgaris*) en el cuál este tipo de radiación aumenta los niveles de compuestos fenólicos el doble de su composición habitual (El-Khawas & Khatab., 2007). En otros casos el efecto no produce diferencias significativas como en el caso de plantas medicinales como “hoja de aire” (*Kalanchoe pinnata*) en el cual la luz azul no incrementa los niveles de compuestos fenólicos (Nascimento *et al.*, 2013). Por el contrario, en el caso del tratamiento con luz UV-C se aprecia que el efecto de incremento sigue en todos los tiempos de exposición aunque no son significativos ( $p > 0.05$ ) ni presentan una tendencia en función del tipo de tratamiento. Lo anterior puede ser debido a que la luz UV-C afecta positivamente la actividad de la enzima PAL (fenilalanina amonía-liasa) encargada de la síntesis de fenoles (González-Aguilar *et al.*, 2007b). Resultados similares fueron observados por Erkan *et al.* (2008), donde reportaron que la luz UV-C tiende a incrementar los niveles de compuestos fenólicos en fresa.



**Figura 3. Efecto del tratamiento con diferentes dosis de luz azul y luz UV-C sobre los compuestos fenólicos totales en tejocote**

### 8.3.3 Efecto de diferentes dosis de luz azul y luz UV-C sobre la vitamina C.

La luz azul y UV-C en la vitamina C en tejocote se ve afectada de diferentes formas como se muestra en la Figura 4. Al primer minuto las respuestas en tejocotes irradiados de ambos tratamientos son similares, con un incremento cercano al 15% en los niveles de la vitamina C; a tiempos más prolongados se observa un comportamiento diferente en cada tratamiento. Es apreciable a partir del minuto 3 un decremento en cuanto a niveles de vitamina C con un ligero aumento no significativo ( $p > 0.05$ ) al cuarto minuto bajo la influencia de la luz UV-C. Los tratamientos con luz azul resultan en comportamientos variables, se observan los incrementos más altos de todos los tratamientos, con 17% de aumento de los niveles de vitamina C en tejocote tratado al primer y al cuarto minuto, pero en los minutos 2, 3 y 5 la respuesta es mucho menor. El efecto de la luz azul suele ser mayor que otros tipos de radiación como lo demostrado en cebada en la cual tras ser irradiada con luz azul, se incrementó el nivel de ácido ascórbico (Appleman & Pyfrom, 1955). Sin embargo, en el caso del tratamiento con luz UV-C el efecto no es siempre significativo, este tipo de luz puede inducir una oxidación del ácido ascórbico a formas no activas (Thayer & Rajswoki, 1999). Asimismo se ha demostrado en sandías cortadas que el efecto de esta radiación inducía pérdidas e incrementos en proporciones bajas de vitamina C (Artés-Hernández *et al.*, 2010).

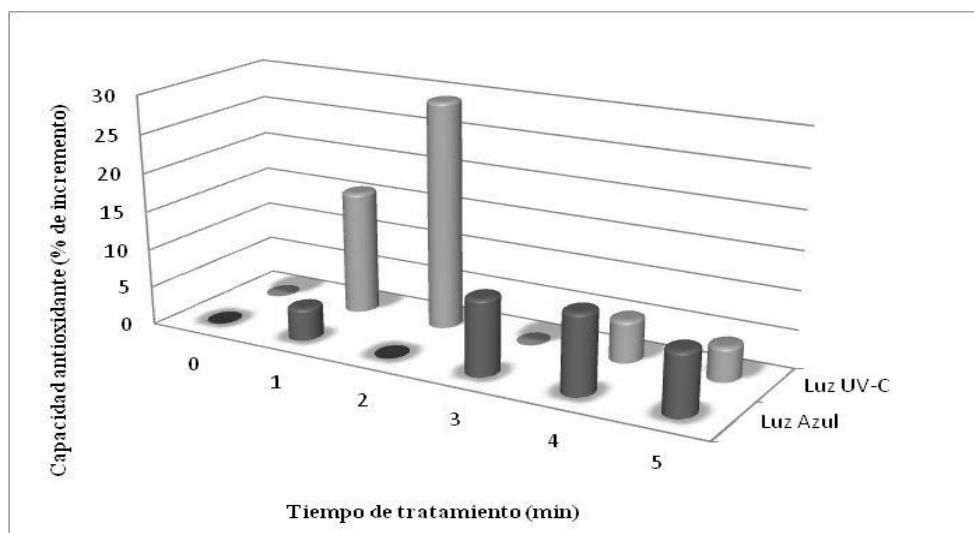


**Figura 4. Efecto del tratamiento con diferentes dosis de luz azul y luz UV-C sobre el nivel de vitamina C total en tejocote**

#### 8.3.4 Efecto de diferentes dosis de luz azul y luz UV-C sobre la capacidad antioxidante.

La capacidad antioxidante es muy variable dependiendo la especie vegetal, los compuestos presentes que pueden afectar la capacidad antioxidante, así como los tiempos de exposición a la luz azul y UV-C. En la Figura 5 se pueden apreciar comportamientos muy diferentes para cada tratamiento, el efecto de la luz azul no es significativo ( $p > 0.05$ ) en ningún tiempo de tratamiento. Por el contrario, es apreciable una respuesta alta con el tratamiento de luz UV-C en comparación con el grupo de tejocotes irradiados con luz azul. La respuesta más alta se obtuvo al segundo minuto de exposición a la luz UV-C, aumentando la capacidad antioxidante un 29% respecto al grupo de tejocotes control. Los efectos de la luz azul incrementan la capacidad antioxidante ya que está relacionada con el efecto de algunos compuestos bioactivos como polifenoles, pero el efecto observado puede explicarse en que algunas especies vegetales que presentan alta actividad antioxidante tienden a tener mayor tolerancia al estrés (Johkan *et al.*, 2010). Por otra parte, la irradiación con luz UV-C suele tener efectos diversos sobre la capacidad antioxidante que son dependientes de diversos factores como el tiempo

de irradiación o el tipo de especie vegetal, en este caso los resultados obtenidos pueden atribuirse a la probable oxidación de algunos grupos antioxidantes que contribuyen en gran parte a la capacidad antioxidante del fruto. Los resultados concuerdan con estudios realizados en diferentes frutas tropicales (piña, plátano y guayaba) en los cuales se describe la variabilidad de los efectos (Alothman *et al.*, 2009).



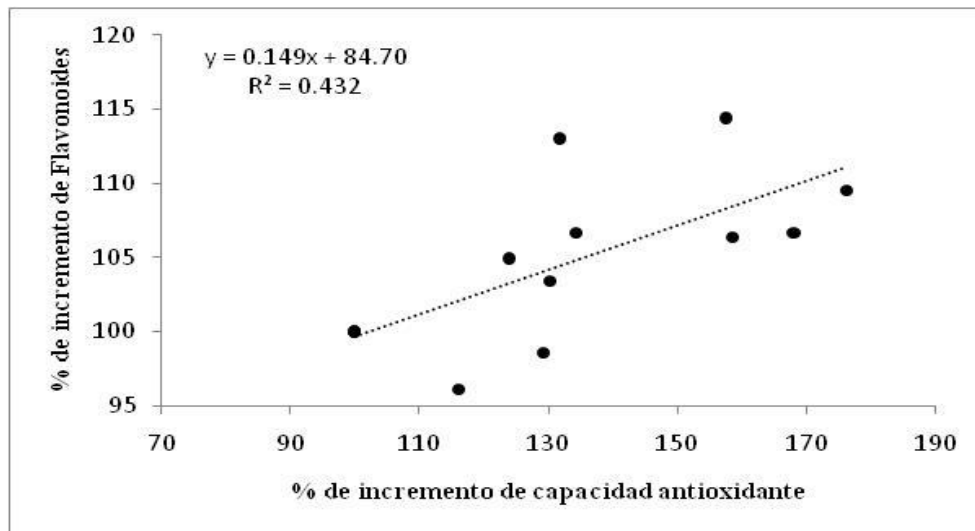
**Figura 5. Efecto del tratamiento con diferentes dosis de luz azul y luz UV-C sobre la capacidad antioxidante en tejocote**

#### **8.4 Correlación entre compuestos bioactivos con la capacidad antioxidante de tejocote.**

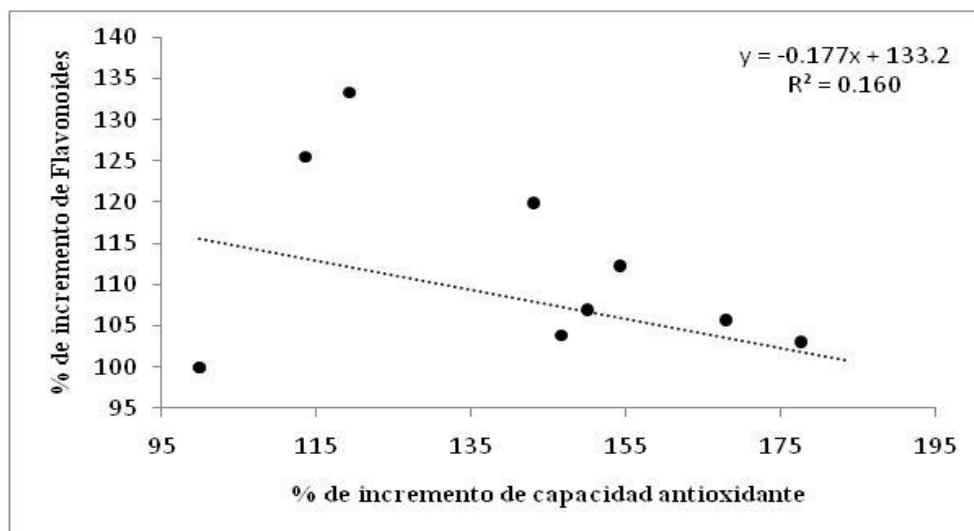
##### *8.4.1 Correlación entre capacidad antioxidante y flavonoides bajo los efectos de la luz azul y luz UV-C*

En las Figuras 6 y 7 aprecia una tendencia negativa en el tratamiento de luz UV-C en el porcentaje de incremento del nivel de flavonoides respecto a la capacidad antioxidante, sin embargo, se observa un comportamiento contrario en el efecto ocasionado con el tratamiento de luz azul, el cual presenta una tendencia positiva. Estudios han demostrado que la actividad de los compuestos flavonoides depende de la estructura que éstos posean, ya que el grupo que los conforma es diverso

(antocianidinas, flavones, flavonones entre otros). La correlación obtenida en los dos tratamientos se debe a que cada tratamiento podría potenciar la síntesis de diferentes compuestos flavonoides. Cada compuesto puede presentar diferente actividad antioxidante, por lo tanto es posible que un tipo de tratamiento potencie compuestos con mayor capacidad antioxidante. En el género *Crataegus* existen diversos compuestos flavonoides, entre los que se destacan: flavonoles (quercetina, hiperósidos, rutina, quercitina) y flavanoles (epicatequina, procianidina), cada uno con diversa capacidad antioxidante (Bernatoniene *et al.*, 2009).



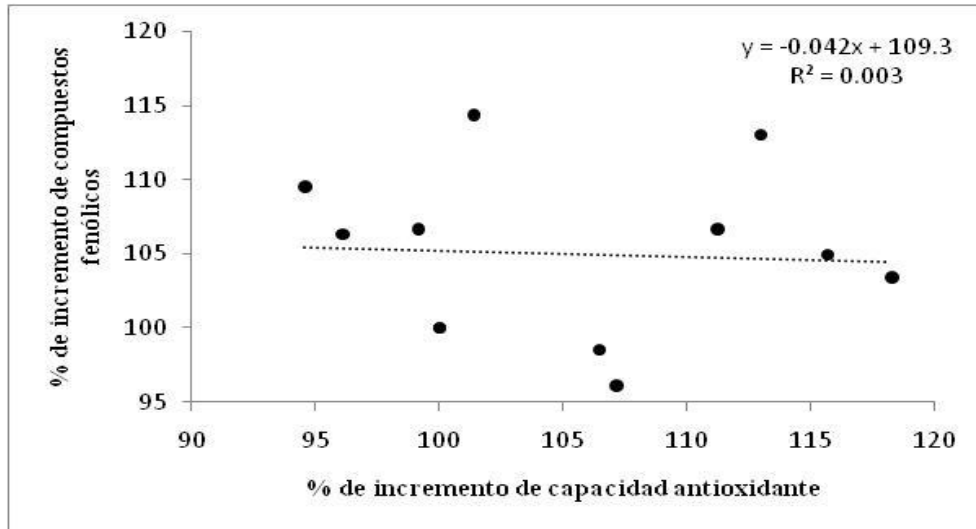
**Figura 6. Correlación entre el efecto del contenido de flavonoides totales y capacidad antioxidante en tejocote tratado con luz azul.**



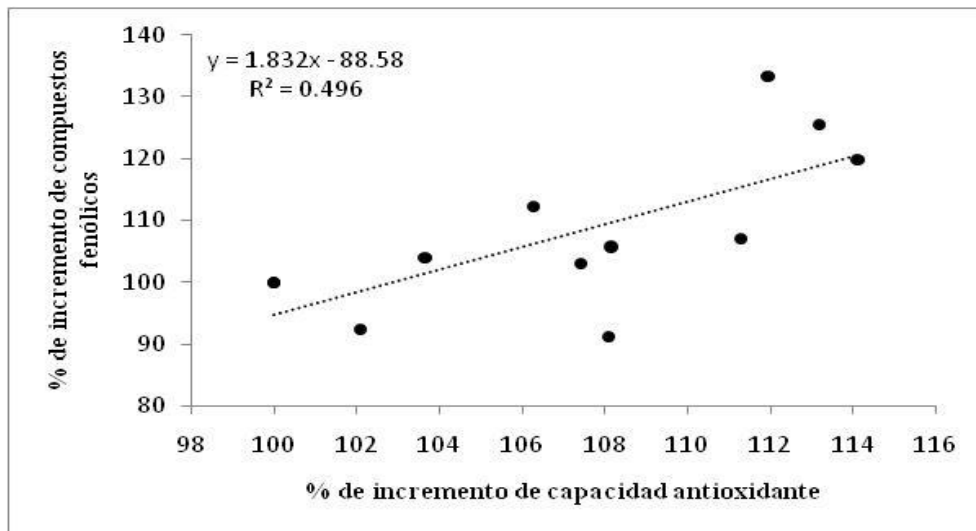
**Figura 7. Correlación entre el efecto del contenido de flavonoides totales y capacidad antioxidante en tejocote tratado con luz UV-C.**

#### 8.4.2 Correlación entre capacidad antioxidante y compuestos fenólicos bajo los efectos de la luz azul y luz UV-C

En las Figuras 8 y 9 se presenta la relación entre la capacidad antioxidante y el nivel de compuestos de naturaleza fenólica con los dos tipos de radiación. En el caso del tratamiento con luz azul la gráfica no muestra una tendencia definida, con un coeficiente de correlación muy cercano al cero, no existiendo correlación alguna entre los compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante. Mientras que se aprecia una tendencia positiva en el tratamiento con luz UV-C en el nivel de compuestos fenólicos con respecto a la capacidad antioxidante. Los compuestos fenólicos son de diversa naturaleza química y presentan diferente capacidad antioxidante, se puede decir que aunque el tratamiento produzca un incremento en compuestos fenólicos, no implica un aumento en la capacidad antioxidante. Los resultados mostrados en la Figura 3 concuerdan en que el tratamiento con luz azul tiene menor efecto en el incremento de los niveles de compuestos fenólicos comparado con el tratamiento con luz UV-C, el cual presenta mayor relación entre el incremento de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante (Londoño-Londoño., 2011).



**Figura 8. Correlación entre el efecto del contenido de compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante en tejocote tratado con luz azul.**

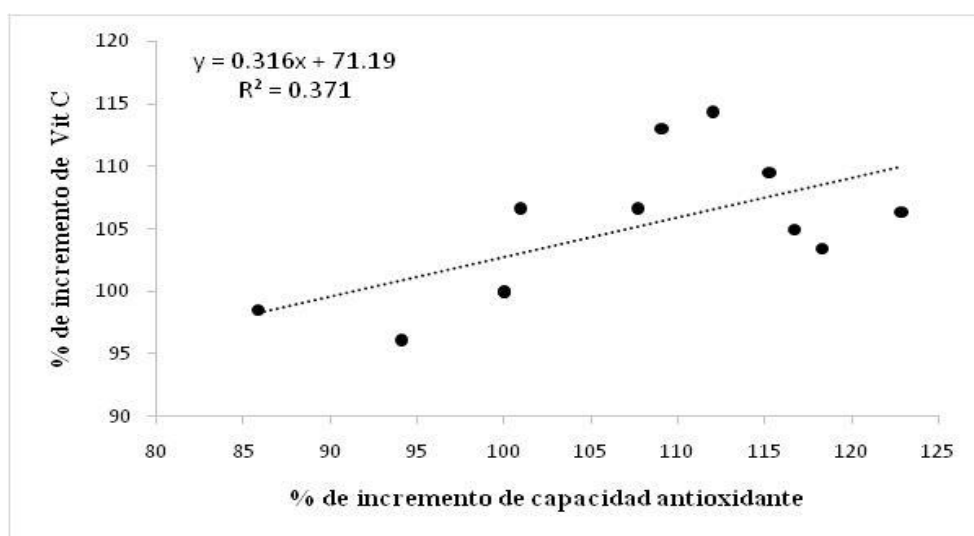


**Figura 9. Correlación entre el efecto del contenido de compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante en tejocote tratado con luz UV-C.**

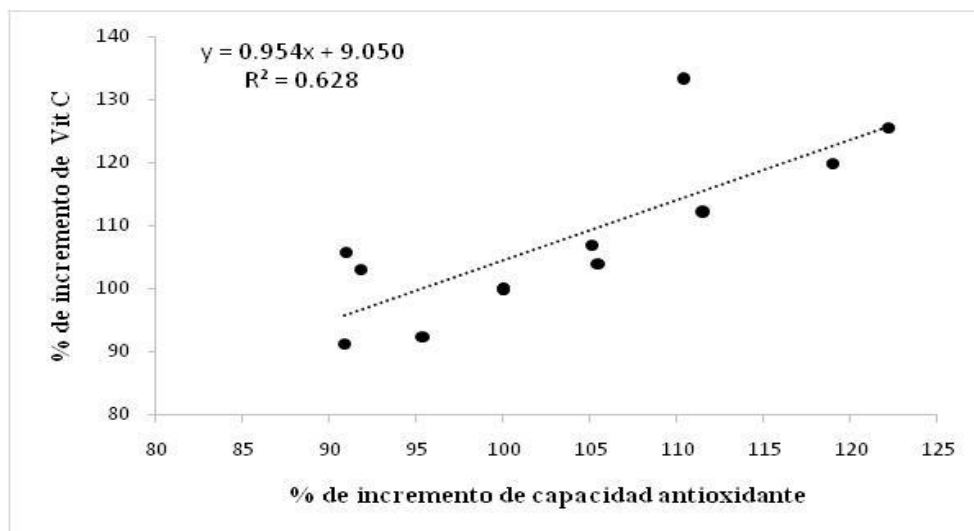
#### 8.4.3 Correlación entre capacidad antioxidante y la vitamina C bajo los efectos de la luz azul y luz UV-C

La vitamina C es una de las especies químicas provenientes de diversos frutos en estado natural y es conocida por su capacidad antioxidante. Dicha capacidad se

puede observar en las Figuras 11 y 12 bajo los efectos de radiación con luz azul y luz UV-C, respectivamente. Se aprecia una tendencia positiva en ambos tratamientos en el nivel de vitamina C con respecto a la capacidad antioxidante. En ese sentido se ha demostrado que la capacidad antioxidante está ampliamente influenciada por la presencia de la vitamina C y niveles de polifenoles en algunas frutas. Esto concuerda con varios estudios reportados en la literatura, en donde se indica que el contenido de vitamina C en kiwi corresponde al 40% de la capacidad antioxidante total del fruto, demostrando que en algunos frutos esta vitamina representa la mayor especie antioxidante (Guorong *et al.*, 2009).



**Figura 10. Correlación entre el efecto del contenido total de vitamina C y capacidad antioxidante en tejocote tratado con luz azul.**



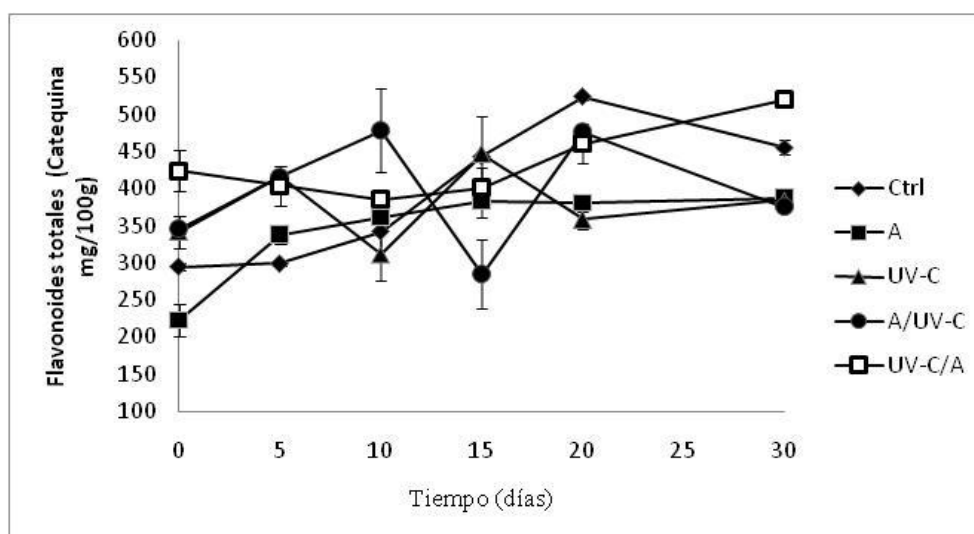
**Figura 11. Correlación entre el efecto del contenido total de vitamina C y capacidad antioxidante en tejocote tratado con luz UV-C.**

## **8.5 Efecto de la luz azul y luz UV-C sobre compuestos bioactivos y capacidad antioxidante de tejocote durante el almacenamiento.**

### *8.5.1 Efecto de la irradiación con luz azul y luz UV-C sobre flavonoides durante el almacenamiento*

El efecto del almacenamiento sobre los compuestos bioactivos es muy diverso en las diferentes especies vegetales y estos efectos pueden variar más si se aplica un tratamiento alterno como se muestra en la Figura 12. Se puede recalcar que el tratamiento que tuvo resultados menos significativos fue el realizado con luz azul, debido a que no incrementa los niveles de flavonoides a lo largo de los 30 días de almacenamiento. Por otra parte, se puede observar que el mejor tratamiento es la combinación de radiaciones UV-C/A ya que desde el día cero, el tratamiento provoca un aumento de los niveles de flavonoides aproximadamente 40%, éstos se mantienen constantes durante los primeros 15 días de almacenamiento. Para los siguientes días (del 15 al 30) se aprecia un aumento gradual significativo ( $p > 0.05$ ), con un aumento del 14% al final del período de almacenamiento (en comparación con las mediciones del grupo control del último día). Esto puede ser

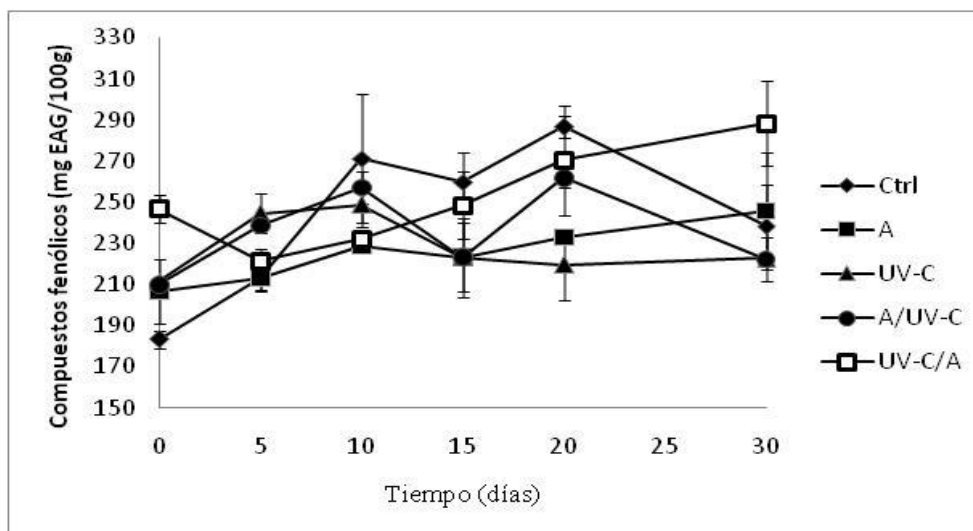
resultado de las respuestas defensivas de las plantas hacia el estrés y a enzimas clave relacionadas con la biosíntesis de flavonoides como la PAL y la chalcona sintasa (CHS) (González-Aguilar *et al.*, 2007b). En este caso, la luz UV-C puede inducir estrés y con esto la síntesis de flavonoides para posteriormente con el tratamiento de luz azul potenciar este efecto debido a la estimulación de enzimas para producir dichos compuestos (Xu *et al.*, 2014). El efecto resultante se debe a que los compuestos flavonoides suelen mantenerse durante el almacenamiento de 30 días en algunos frutos como la uva verde, tomate, pimiento amarillo, entre otros (Kevers *et al.*, 2007). Estudios similares se han realizado en hojas de uva, nabo, entre otros (Olsson *et al.*, 1999, Kolb *et al.*, 2001).



**Figura 12. Efecto del tiempo de almacenamiento sobre compuestos flavonoides totales durante el almacenamiento de tejocote tratado con luz azul, luz ultravioleta de onda corta y combinaciones.**

### 8.5.2 Efecto de la irradiación con luz azul y luz UV-C sobre compuestos fenólicos totales durante el almacenamiento

Los procesos naturales de maduración y senescencia de las especies vegetales son muy variables y están sujetos a cambios en el metabolismo de dichas especies. Estos cambios pueden derivar alteraciones de diferentes metabolitos, tal es el caso de los compuestos fenólicos en las frutas y hortalizas. En la Figura 13 se aprecia que todos los tratamientos aumentan los niveles de compuestos fenólicos al día cero de tratamiento a comparación del control, para posteriormente diferir en sus comportamientos a lo largo de los 30 días de almacenamiento. Se puede destacar que el mejor tratamiento para aumentar los niveles de compuestos fenólicos es la combinación de luz UV-C/A, siendo el tratamiento que al final de las evaluaciones resultó ser el de mejores resultados con un aumento del 20% en comparación con el grupo control para el día 30 de almacenamiento. Esto se debe al incremento en la actividad de la enzima PAL, se ha demostrado que bajo el efecto de la luz UV-C ésta aumenta su actividad tanto al momento de la exposición como en el almacenamiento. El efecto puede ser potenciado por la luz azul, ya que de acuerdo a resultados obtenidos como se muestran en la Figura 4, el tratamiento con luz azul fue más significativo que el tratamiento con luz UV-C. Este comportamiento se debe a que la preservación de contenido de compuestos fenólicos tiene un gran impacto en la calidad de las frutas debido a la contribución de dichos compuestos no sólo en reacciones de pardeamiento enzimático, sino también en el valor nutritivo del producto. Se ha demostrado que en algunos frutos y vegetales, el almacenamiento no afecta negativamente el contenido de compuestos fenólicos, como en el caso del melocotón, uva verde, tomate, pimiento amarillo, entre otros (Kevers *et al.*, 2007). Además, se ha demostrado que la luz azul induce la actividad enzimática y el aumento de los compuestos fenólicos durante el almacenamiento (Xu *et al.*, 2014). Estudios similares en mango con tratamiento UV-C respecto a almacenamiento concuerdan con los obtenidos (González-Aguilar *et al.*, 2007b).

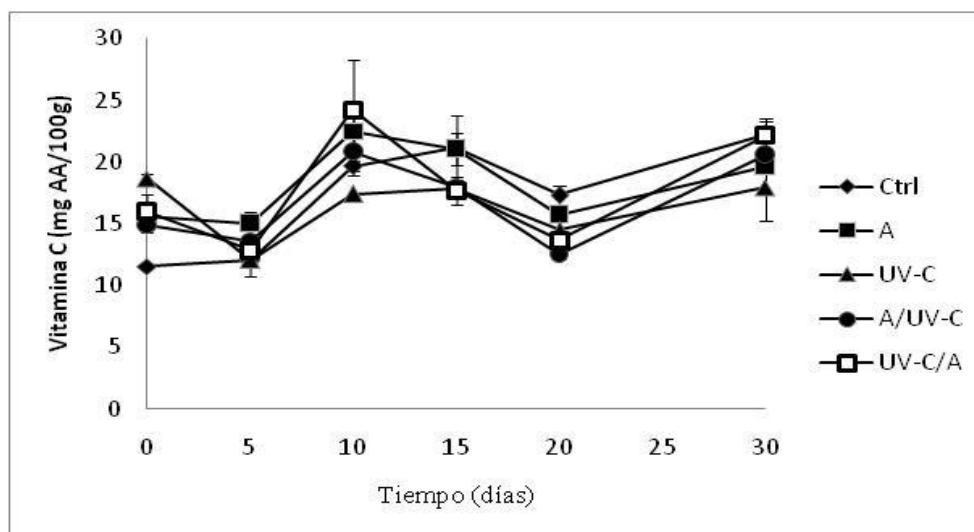


**Figura 13. Efecto del tiempo de almacenamiento sobre compuestos fenólicos durante el almacenamiento de tejocote tratado con luz azul, luz ultravioleta de onda corta y combinaciones.**

### 8.5.3 Efecto de la irradiación con luz azul y luz UV-C sobre la vitamina C durante el almacenamiento

Los efectos de la vitamina C bajo la influencia de radiaciones como la luz azul y luz UV-C son diversas como lo demostrado en la Figura 14, pero si se mide el nivel de esta vitamina durante el almacenamiento sobre tejocote bajo los efectos de dichas radiaciones, se observa que todos los tratamientos y el grupo control muestran un comportamiento muy similar. En el día 0 hay un leve incremento de los niveles de vitamina C, siendo el tratamiento con luz UV-C el que logra aumentar en mayor proporción los niveles de este compuesto al iniciar el almacenamiento. Al pasar 10 días se observa que hay un aumento de los niveles de vitamina C en todos los tratamientos, siendo el tratamiento UV-C/A el que aumenta la concentración de esta vitamina en mayor proporción que los demás grupos y en comparación con los demás días de almacenamiento, con un incremento del 23% en los niveles de vitamina C pero no representa un resultado significativo ( $p > 0.05$ ) en cuanto a los demás. Se observa que los niveles de vitamina C no se modifican demasiado desde el inicio del tratamiento. Esto puede

ser debido a una oxidación del ácido ascórbico por el efecto de la irradiación. Se ha reportado que este tipo de radiación oxida una porción del ácido ascórbico total a su forma reducida (Thayer & Rajswoki, 1999). En cuanto al almacenamiento se ha reportado que los niveles de ácido ascórbico no presentan alteraciones significativas durante 30 días, esto dependiendo del fruto, ya que se ha reportado excepciones como en plátanos, en los cuales el nivel de ácido ascórbico tiende a disminuir drásticamente entre el segundo y el cuarto día de almacenamiento (Kevers *et al.*, 2007). Estudios en mango han demostrado que durante el almacenamiento se pierde una cantidad de ácido ascórbico (González-Aguilar *et al.*, 2007a).

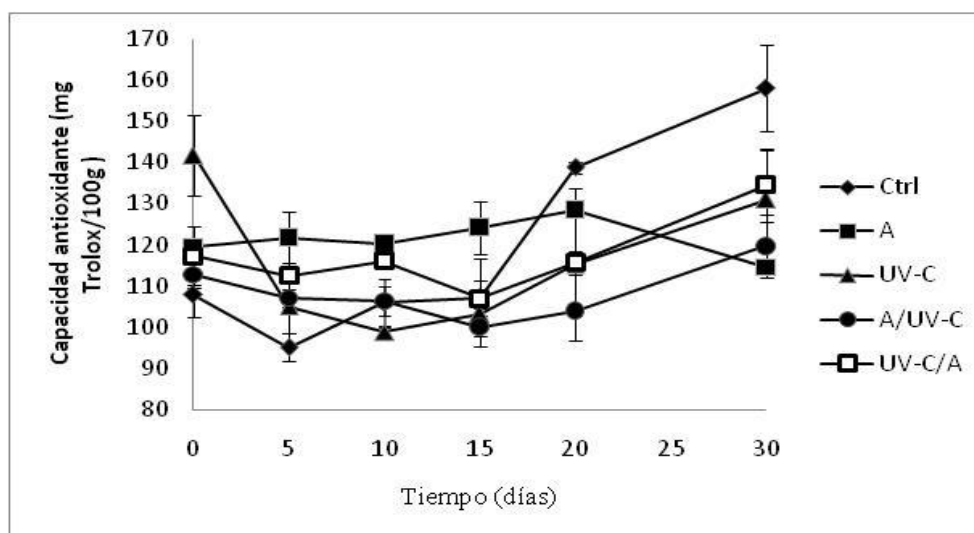


**Figura 14. Efecto del tiempo de almacenamiento sobre vitamina C durante el almacenamiento de tejocote tratado con luz azul, luz ultravioleta de onda corta y combinaciones.**

#### 8.5.4 Efecto de la irradiación con luz azul y luz UV-C sobre la capacidad antioxidante durante el almacenamiento

La capacidad antioxidante es afectada por muchos factores, en este caso, la Figura 15 muestra cómo la inducción de estrés afecta al tejocote durante su almacenamiento. Se observa que al inicio de los tratamientos hay un aumento de

aproximadamente 40% en la capacidad antioxidante bajo el efecto del tratamiento con luz UV-C, pero al pasar los 10 días de almacenamiento ningún tratamiento logra un efecto significativo ( $p > 0.05$ ) para aumentar los niveles de capacidad antioxidante, ya que al final del proceso de almacenamiento el grupo control logró tener el mayor nivel en cuanto a capacidad antioxidante, con un aumento del 46% en el día 30 con respecto al día inicial (día 0). Esto puede deberse al efecto que provoca la senescencia del fruto, se ha demostrado que frutos como guayaba, makiang y maluod (fruto nativo de Tailandia) la actividad antioxidante disminuye a las dos semanas y al mes de almacenamiento (Patthamakanokporn *et al.*, 2008). En este caso el efecto de los diferentes tratamientos potencia la capacidad antioxidante al instante de ser irradiados los tejocotes pero sus efectos no pasan más allá de los 5 días.



**Figura 15. Efecto del tiempo de almacenamiento sobre la capacidad antioxidante durante el almacenamiento de tejocote tratado con luz azul, luz ultravioleta de onda corta y combinaciones.**

## 9. CONCLUSIONES

La construcción de la cámara de luz azul y luz UV-C fue realizada de manera satisfactoria ya que los resultados obtenidos en este trabajo son prometedores. En cuanto a la caracterización del tejocote los resultados se asemejan a los reportados en la literatura.

Los resultados obtenidos en tejocote fresco irradiado con luz azul aumentaron la síntesis de flavonoides en un 70% al quinto minuto de tratamiento, así como en compuestos fenólicos y vitamina C un aumento de 17% entre el primer y segundo minuto de exposición. Por el contrario, no hubo aumento significativo ( $p > 0.05$ ) sobre la capacidad antioxidante bajo este tipo de luz.

Por otra parte, en tejocote fresco irradiado con luz UV-C hubo un efecto mayor en cuanto a la síntesis de flavonoides al primer minuto de tratamiento con un aumento de 49%, aunque el efecto en los demás parámetros medidos fue menor como en el caso del nivel de compuestos fenólicos y vitamina C, el cual aumentó en 17 y 15% respectivamente entre el primer y segundo minuto de exposición. En cuando a la capacidad antioxidante bajo este tipo de luz se observó un aumento de 29%.

En cuanto al efecto de los tratamientos durante el almacenamiento de tejocote sobre sus compuestos bioactivos, se observó un incremento sobre todo bajo el efecto del tratamiento combinado UV-C/A. Al final del período de almacenamiento de 30 días los niveles de compuestos flavonoides aumentaron un 14% comparado con el grupo control en el último día de almacenamiento, los de compuestos fenólicos totales aumentaron en un 20% más. Sin embargo, los niveles de vitamina C se comportaron de manera similar en todos los tratamientos por lo que el aumento no fue significativo ( $p > 0.05$ ). La capacidad antioxidante del fruto sólo se aumentó durante los primeros 5 días de almacenamiento pero el efecto no perduró.

## **10. SUGERENCIAS**

Realizar un análisis más detallado del fruto mediante la adición de más pruebas de composición de compuestos bioactivos con capacidad antioxidante, así como pruebas alternativas a la de DPPH para evaluar la capacidad antioxidante, esto para abarcar una mayor gama de referencias.

Analizar si existen diferencias entre las distintas especies del género *Crataegus* y evaluar las respuestas que éstas tienen frente a los tratamientos de luz azul y luz UV-C.

Realizar pruebas sensoriales para determinar si los distintos tratamientos no afectan la percepción del producto por los consumidores.

## 11. BIBLIOGRAFÍA

Agostini, L. R., Morón-Jiménez, M. J., Ramón, N.A. & Ayala-Gómez, A. (2004). Determinación de la capacidad antioxidante de flavonoides en frutas y verduras frescas y tratadas térmicamente. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición. Venezuela*, 54 (1), 89-92.

Alothman, M. Bhat, R., Karim, A. (2009). UV radiation-induced changes of antioxidant capacity of fresh-cut tropical fruits. *Innovative food science and emerging technologies*, 10(4), 512-516.

Alvídrez-Morales, A., González-Martínez, B. E. & Jiménez-Salas, Z (2002). Tendencias en la producción de alimentos: alimentos funcionales. *Rev. Salud Pública y Nutrición*, 3 (3), 1-6.

Andrade-Cuvi M. J., Moreno-Guerrero C., Henríquez-Bucheli A., Gómez-Gordillo A., Concellón A. (2010). Influencia de la radiación UV-C como tratamiento postcosecha sobre carambola (*Averrhoa carambola* L.) mínimamente procesada, almacenada en refrigeración. *Rev. Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 11(1), 18-27.

Andrade-Cuvi, M. A., Vicente, A. R., Concellón, A. & Chaves, A. R. (2011). Changes in red pepper antioxidants as affected by UV-C treatments and storage at chilling temperatures. *Food Science and Technology*, 44(7), 1666-1671.

Antonio-Gutiérrez, O.T., Palou, E. & López-Malo, A. (2012). Equipos para tratamientos de alimentos con radiación UVC. *Temas selectos de ingeniería de alimentos*, 149-159.

Appleman, D. & Pyfrom, H. T. (1955). Changes in Catalase Activity and Other Responses Induced in Plants by Red and Blue Light. *Plant. Physiol*, 30(6), 543–549.

Araya L.H., Clavijo R.C. & Herrera C., (2006). Capacidad antioxidante de frutas y verduras cultivadas en Chile. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 56(4), 361-365.

Artés-Hernández, F., Robles, P. A., Gómez, P. A., Tomás-Callejas, A. & Artés, F. (2010). Low UV-C illumination for keeping overall quality of fresh-cut watermelon. *Postharvest Biology and Technology*, 55(2), 114-120.

Banderas-Tarabay, J. A., Cervantes-Rodríguez, M. & Méndez-Iturbide (2015). Biological properties and antioxidant activity of Hawthorn *Crataegus Mexicana*. *J. Pharmacogenomics & Pharmacoproteomics*, 6(4), 2153-0645.

Basaran, P. (2009). Reduction of *Aspergillus parasiticus* on hazelnut surface by UV-C treatment. *Int. J. F. Sci. Tech*, 44(9), 1857-1863.

Bernatoniene, J., Trumbeckiate, S., Majiene, D., Beniene, R., Baliutyte, G., Savickas, A. & Toleikis, A. (2009). The effect of *Crataegus* fruit extract and some of its Flavonoids on mitochondrial oxidative phosphorylation in the heart. *Phytotherapy Research*. 23(12), 1701-1707.

Brat, P., S. Georgé, A. Bellany, L. Du Chaufaut, L. Mennen, A. Scalbert & Amiot-Carlin M. J., (2007). Determination of the polyphenol content of fruit and vegetables. Establishment of a database and estimation of the polyphenol intake in French Diet. *Acta horticulturae*. 744(5), 61-70

Cisneros-Zevallos L. (2003). The use of controlled postharvest abiotic stresses as a tool for enhancing the nutraceutical content and adding- value of fresh fruits and vegetables. *J. F. Sci.*, 68(5), 1560- 1565.

Craig, W. J. (1999) Health-promoting properties of common herbs. *Am. J. Clin. Nut.*, 70, 491S-499S.

Cui, N., Nakamura, K., Tian, S., Kayahara, H. & Tian, T. (2006) Polyphenolic content and physiological activities of Chinese hawthorn extracts. *Bioscience Biotechnology and Biochemistry*, 70, 2948-2956.

El-Khawas, S. & Khatab H. (2007). Comparative studies on the effects of different light qualities on *Vigna sinensis* L. and *Phaseolus vulgaris* L. seedlings. *Res. J. Agr. Biol. Sci.* 3(6), 790–799.

Erkan, M., Wang, S., & Krizek. D. T., (2001). UV-C irradiation reduces microbial populations and deterioration in *Cucurbitapepo* fruit tissue. *Environmental and Experimental Botany*, 45(1), 1-9.

Erkan, M., Wang, S., & Wang C. Y. (2008). Effect of UV treatment on antioxidant capacity, antioxidant enzyme activity and decay in strawberry fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 48(2), 163-171.

Feng, X., Shifeng, C. Liyu, S. Wei, C., Xinguo, S. & Zhenfeng, Y. (2014). Blue Light Irradiation affects anthocyanin content and enzyme activities involved in postharvest strawberry fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(20), 4778-4783.

Food Marketing Institute & Prevention Magazine (2001) The Top 10 functional foods trends: the next generation. *Shopping for Health, 2001: Reaching Out The Whole Health Consumer* Food Marketing Institute Washington, DC.

Gao, X., Ohlander, M., Jeppsson, N., Bjork, L. & Trajtkovski, V. (2000). Changes in antioxidant effects and their relationship to phytonutrients in fruits of sea L. during maturation Buckthorn (*Hippophae rhamnoides*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(5), 1485-1490.

García-Mateos, R., Ibarra-Estrada, E. & Nieto-Angel, R. (2013). Antioxidant compounds in hawthorn fruits (*Crataegus* spp.) of Mexico. *Rev. Mex. de Biodiversidad*. 84(4), 1298-1304.

Georgé, S., P. Brat, P. Alter & M. J. Amiot-Carlín. (2005). Rapid determination of polyphenols and vitamin C in plants derived products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(5), 1370-1373.

Giliberto L., Perrotta G., Pallara P., Weller L. J., Fraser P.D, Bramley P.M., Fiore A., Tavazza M. & Giuliano G. (2004). Manipulation of the Blue Light Photoreceptor Cryptochrome 2 in Tomato affects vegetative development, flowering time and fruit antioxidant content. *Plant Physiology*, 137(1), 199-208.

González-Aguilar, G. A., Villegas-Ochoa, M. A., Martínez-Téllez M. A., Gradea A. A. & Ayala-Zavala J.F. (2007a). Improving antioxidant capacity of fresh-cut Mangoes treated with UV-C. *Journal of food science*, 72 (3), 197-202.

González-Aguilar, G. A., Zavaleta-García, R. & Tizando-Hernández, M. E. (2007b) Improving postharvest quality of mango 'Haden' by UV-C treatment. *Postharvest Biology and Technology*, 45 (1), 108-116.

Guorong, D., Mingjun, L., Fengwang, M. & Dong, L. (2009) Antioxidant capacity and the relationship with polyphenol and Vitamin C in *Actinidia* fruits. *Food Chemistry*, 113 (2), 557–562.

Haro-Maza, F.J. & Guerrero-Beltrán, J.A. (2013). Efecto de la radiación UV-C en frutas y verduras. *Temas selectos de ingeniería de alimentos* (68-77).

Hernández-Valle E., (2008). Inhibición de la enzima convertidora de angiotensina por extractos de *Crataegus mexicana* Moc. Sessé silvestre y micropropagada (tesis de maestría). Instituto Politécnico Nacional, Morelos, México.

Jiménez-Durán, A. (2015). Deshidratado de rebanadas de mango Tommy Atkins utilizando extractos de su semilla y metabisulfito de sodio como pretratamiento. 41-42.

Johkan, M., Shoji, K., Goto, F., Hashida, S. & Yoshihara, T. (2010). Blue light-emitting diode light irradiation of seedling improves seedling quality and growth after transplanting in red leaf lettuce. *HortScience*, 45(12), 1809-1814.

Kevers, C., Folkowski, M., Tabart, J., Defraigne, J. O., Dommès, J. & Pincemail, J., (2007). Evolution of antioxidant capacity during storage of selected fruits and vegetables. *J. Agr. F. Chem.*, 55 (21), 8596-8603.

Kolb, C. A., Käser, M. A., Kopecký, Z., Zotz, G., Riedrer, M. & Pfündel, E. E. (2001) Effects of natural intensities of visible and ultraviolet radiation on epidermal ultraviolet screening and photosynthesis in grapes leaves. *Plant Physiol.* 127(3), 863-875.

Lemoine , L., Civello, M., Chavez, R., & Martinez., A. (2010). Influence of a combined hot air UV-C treatment on quality parameters of fresh-cut broccoli florets at 0°C. *Int. J. F. Sci. Tec*, 45(6), 1212-1218.

Li, J., Zhang, Q. Cui, Y., Cao, J., Zhao, Y. & Jiang, W. (2010). Use of UV-C treatment to inhibit the microbial growth and maintain the quality of Yali pear. *J. F. Sci*, 75(7), M503-M507.

Lobo, V., Patil, A., Phatak, A. & Chandra, N. (2010) Free radicals antioxidants and functional foods: impact on human health. *Phcog. Rev*, 4 (8), 118-126.

Londoño-Londoño, J. (2011). Antioxidantes: importancia biológica y métodos para medir su actividad. *Ed. Lasallista*, 129-162.

Mahattanatawee, K., Manthey, J.A., Luzio, G., Talcott, S. T. & Goodner, K. (2006). Total antioxidant activity and fiber content of select Florida-grown tropical fruits. *J. Agr. F. Chem.*, 54(19), 7355-7363.

Meisel, L.A., Urbina, C. D. & Pinto M. E. (2011). Fotoreceptores y Respuestas de Plantas a Señales Lumínicas. *Fisiología Vegetal*, Ed. Universidad de La Serena, 18, 1-10.

Menchú M. T. & Méndez H. (2007). Tabla de Composición de Alimentos de Centroamérica. INCAP, 2<sup>a</sup> Ed. p. 43.

Mercier J., Arul, C., & Julien, C. (1993). Effect of UV-C on phytoalexin accumulation and resistance to *Botrytis cinerea* in stored carrots. *J. Phytopathol*, 139(1), 17-35.

Nascimento, L. B. S., Leal-Costa, M. V., Coutinho, M. A. S., Moreira, N. d. S., Lage, C. L. S., Barbi, N. d. S., Costa, S. S. & Tavares, E. S. (2013). Increased Antioxidant Activity and Changes in Phenolic Profile of *Kalanchoepinnata* (Lamarck) Persoon (Crassulaceae) Specimens Grown Under Supplemental Blue Light. *Photochemistry and Photobiology*, 89(2), 391–399.

Nieto-Ángel, R. (2007). Colección, conservación y caracterización del Tejocote (*Crataegus* spp.). Frutales nativos, un recurso fitogenético de México. *Universidad Autónoma de Chapingo- Servicio Nacional de Inspección y Certificación de semillas, Chapingo, México*, pp. 24-107.

Olsson, L. C, Velt, M. & Bornman J.F. (1999). Epidermal transmittance and phenolic composition in leaves of atrazine-tolerance and atrazine-sensitive cultivars of *Brassica napus* grown under enhanced UV-B radiation. *Physiol. Plant.*, 107(3), 259-266.

Patthamakanokporn, O., Puwastien, P., Nitithamyong, A. & Sirichakwal P. P. (2008) Changes of antioxidant activity and total phenolic compounds during storage of selected fruits. *J. F. Comp. An.*, 21 (3), 241-248.

Peralta-Pérez, M. del R. & Volke-Sepulveda, T.L. (2012). La defensa antioxidante en las plantas: Una herramienta clave para la fitorremediación. *Rev. Mex. Ing. Quím. México*, 11(1), 75-88.

Pombo, M. A., Rosli, G. H., Martínez, G. A., & Civello, P. M. (2011). UV-C treatment affects the expression and activity of defense genes in strawberry fruit (*Fragaria xananasa*, Duch). *Postharvest Biology and Technology*, 59(1), 94-102.

Quintero-Cerón, J.P., Bohorquez Pérez, Y., Valenzuela Real, C. & Solanilla Duque, J.F. (2013). Avances en la aplicación de luz ultravioleta de onda corta (UVC) en frutas y vegetales enteros y mínimamente procesados: revisión *Tumbaga*, 1(8), 34-37.

Roberfroid, M. & Calderon, P. (1994). Free Radicals and oxidation phenomena in biological systems. *Ed. CRC Press*, 128-140.

Silveira-Rodríguez, M. B., Monereo-Megías, S. & Molina-Baena, B. (2003). Functional Foods and Optimum Nutrition: A way or Away? *Rev. Esp. Salud Pública*, 77(3), 317-331.

Sisa, M., Bonnet, S. L., Ferreira, D. & Van der Westhuizen, J.H. (2010). Photochemistry of Flavonoids. *Molecules*, 15(8), 5196-5245.

Solovchenko, A. & Schmitz-Eiberger, M. (2003). Significance of skin flavonoids for UV-B protection in apple fruits. *J. Exp. Bot.*, 54(389), 1977-1984.

Stevens, C., Wilson, C.L., Lu, J. Y., Khan, V. A., Chalutz, E., Droby, S., Kabwe, M. K., Haung, O., Adeyeye, O., Pusey, L. P. Wisniewski, M. E. & West, M. (1996) Plant hormesis induced by ultraviolet light-C for controlling postharvest diseases of tree fruits. *Crop Protection*, 15 (2), 129-134.

Thayer, D. W. & Rajswoski, K. T. (1999). Development in irradiation of fresh fruits and vegetables. *Food Techno.*, 62-5.

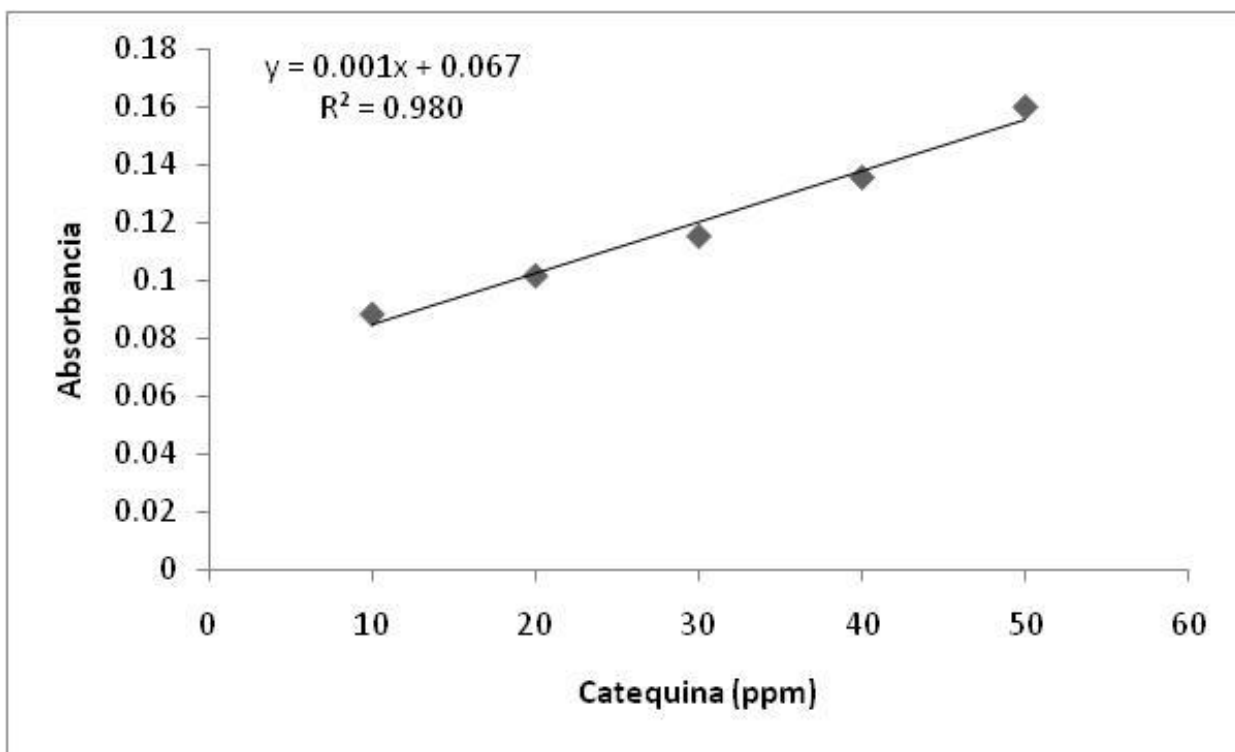
Xu, F., Shi, L., Chen, W., Cao, S., Su, X. & Yang, Z. (2014). Effect of blue light treatment on fruit quality, antioxidant enzymes and radical-scavenging activity in strawberry fruit. *Scientia Horticulturae* 175, 181-186.

Yong-Gui, P. & He, Z. (2012). Effect of UV-C Radiation on the quality of fresh-cut Pineapples. *Procedia Engineering*, 37, 113-119.

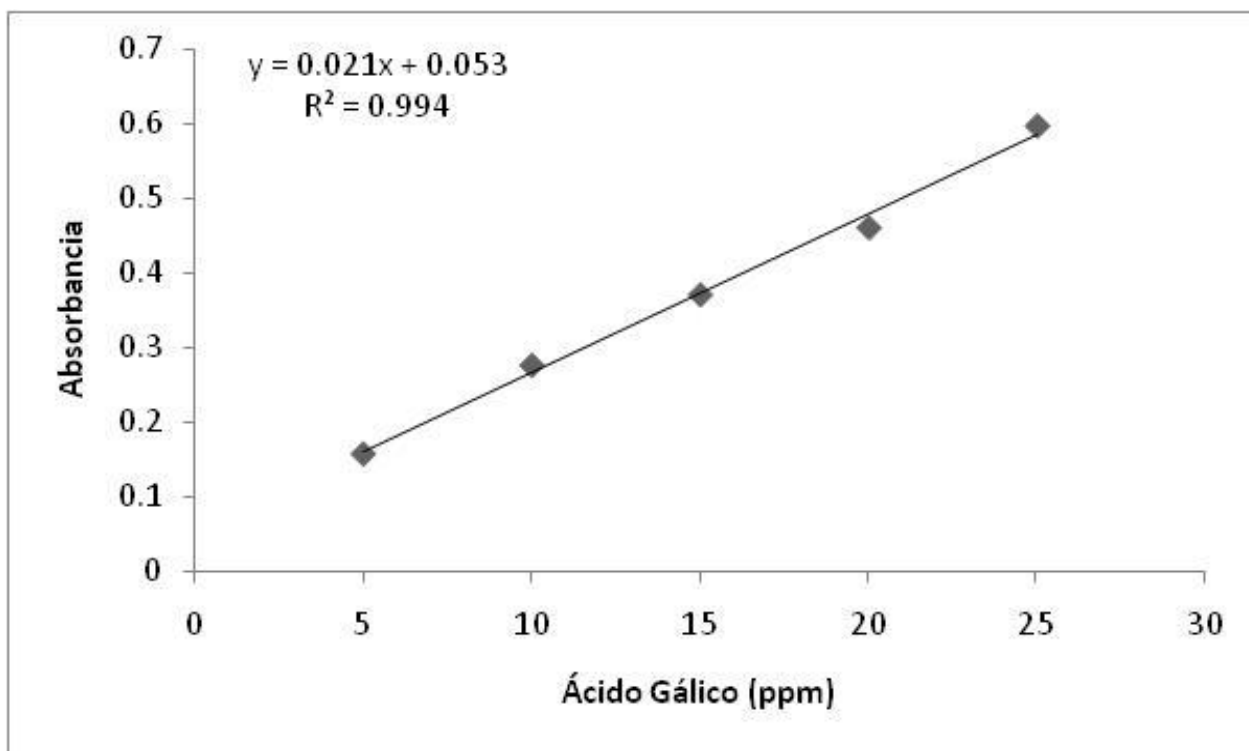
Zamora, J. D., (2007). Antioxidantes: micronutrientes en lucha por la salud. *Rev. Chil. Nut.*, 34(1), 17-26.

## 12. APÉNDICE

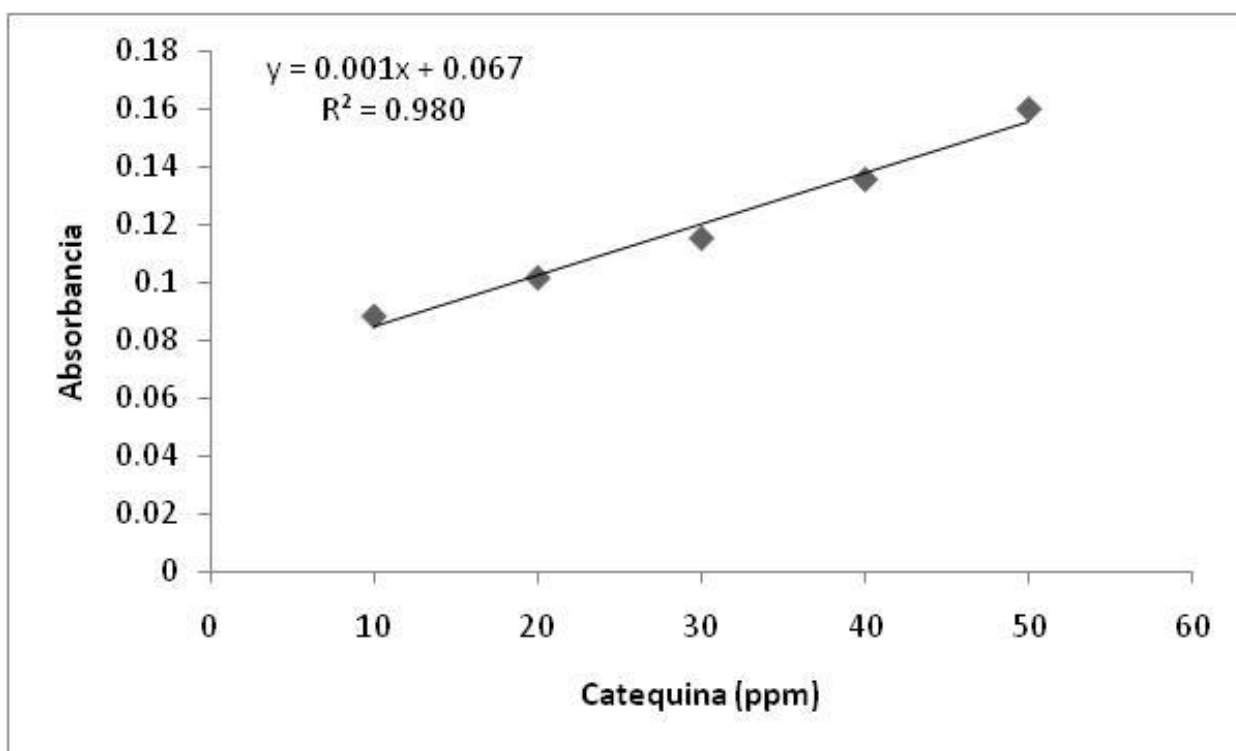
### A. Curva de calibración de flavonoides



## B. Curva de calibración de compuestos fenólicos



### C. Curva de calibración de compuestos fenólicos



#### D. Curva de calibración de capacidad antioxidante

