



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS

EVALUACIÓN DE LA LUZ ULTRAVIOLETA DE ONDA CORTA (UV-C) Y LUZ AZUL SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS EN TEJOCOTE (*Crataegus mexicana*) DURANTE EL ALMACENAMIENTO

TESIS

Para obtener el título de:

Licenciatura en Químico Farmacobiólogo

PRESENTA:

p.QFB. Edgar Alexis Reyes Arcos

DIRECTOR DE TESIS:

D.C. Carlos Enrique Ochoa Velasco

ASESOR DE TESIS:

D.C. Raúl Ávila-Sosa Sánchez



JULIO 2016

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| 1. RESUMEN..... | 1 |
| 2. INTRODUCCIÓN..... | 2 |
| 3. JUSTIFICACIÓN..... | 4 |
| 4. OBJETIVOS..... | 5 |
| 5. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA..... | 6 |
| 5.1. El consumo de frutas y hortalizas..... | 6 |
| 5.2. Comercio de frutas..... | 8 |
| 5.3. Tejocote (<i>Crataegus mexicana</i>)..... | 9 |
| 5.3.1. Generalidades..... | 9 |
| 5.3.2. Producción de tejocote en México..... | 11 |
| 5.3.3. Condiciones de cultivo..... | 12 |
| 5.3.4. Tratamientos..... | 13 |
| 5.4. Métodos generales de conservación..... | 13 |
| 5.5. Métodos alternativos..... | 15 |
| 5.7. Luz Ultravioleta..... | 16 |
| 5.7.1. Generalidades..... | 16 |
| 5.7.2. Mecanismo de desinfección por UV..... | 18 |
| 5.7.3. Desinfección de agua con radiación UV-C y aplicación en jugos..... | 19 |
| 5.7.4. Efecto antimicrobiano de la radiación UV-C en sólidos..... | 20 |
| 5.7.5. Mejoras en las propiedades sensoriales..... | 21 |
| 5.7.6. Probables efectos adversos por la exposición la luz UV..... | 21 |
| 5.8. Luz visible..... | 22 |
| 5.8.1. Generalidades..... | 22 |

| | |
|--|----|
| 5.8.2. La luz azul en la síntesis de color | 22 |
| 5.8.3. Inhibición del crecimiento microbiano | 23 |
| 6. DIAGRAMA DE TRABAJO..... | 24 |
| 7. MATERIALES Y MÉTODOS | 25 |
| 8. METODOLOGÍA | 27 |
| 8.1. Caracterización de tejocote | 27 |
| 8.2. Diseño y construcción del equipo | 27 |
| 8.3. Irradiación y selección del tiempo de tratamiento | 27 |
| 8.4. Evaluación del efecto de la luz UV-C y luz azul | 28 |
| 8.5. Análisis de resultados | 28 |
| 9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 29 |
| 9.1. Caracterización del tejocote..... | 29 |
| 9.4. Crecimiento Microbiano | 38 |
| 10. CONCLUSIONES..... | 42 |
| 11. SUGERENCIAS | 43 |
| 12. REFERENCIAS..... | 44 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Contenido de vitaminas en algunas frutas y hortalizas consumidas habitualmente. | 6 |
| Tabla 2. Contenido de minerales en algunas frutas y hortalizas consumidas habitualmente. | 7 |
| Tabla 3. Clasificación taxonómica del tejocote. | 9 |
| Tabla 4. Composición nutricional del tejocote. | 10 |
| Tabla 5. Espectro visible y sus colores..... | 22 |
| Tabla 6. Equipo utilizado. | 25 |
| Tabla 7. Métodos y referencias. | 26 |
| Tabla 8. Características generales de tejocote (<i>Crataegus mexicana</i>)..... | 29 |
| Tabla 9. Crecimiento de Bacterias Mesófilas Aerobias en el grupo control y los tratamientos | 39 |
| Tabla 10. Crecimiento de mohos en el grupo control y en los tratamientos | 40 |
| Tabla 11. Crecimiento de levaduras en el grupo control y en los tratamientos | 41 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Distribución de la producción de tejocote en México. | 12 |
| Figura 2. Espectro electromagnético y regiones de la luz ultravioleta. | 16 |
| Figura 3. Interacción de la luz UV-C con el material genético del microorganismo. | 19 |
| Figura 4. Cámara de luz UV-C y luz Azul | 30 |
| Figura 5. Diferencias de color en el grupo control y en los tratamientos..... | 31 |
| Figura 6. Tono en el grupo control y en los tratamientos..... | 32 |
| Figura 7. Intensidad de color en el grupo control y en los tratamientos. | 33 |
| Figura 8. Cambios en la coloración del grupo control y los tratamientos..... | 34 |
| Figura 9. Sólidos totales en el grupo control y en los tratamientos. | 35 |
| Figura 10. Porcentaje de acidez titulable en el grupo control y en los tratamientos | 37 |
| Figura 11. Textura en el grupo control y en los tratamientos..... | 38 |

1. RESUMEN

Se evaluó el efecto de la aplicación de luz ultravioleta de onda corta (UV-C) y luz azul sobre las características fisicoquímicas y microbiológicas de tejocote (*Crataegus mexicana*). Los tejocotes fueron expuestos a radiación durante 1 minuto con luz UV-C (0.68 kJ/m^2) y azul (2.9 kJ/m^2), así como la combinación de ellos (luz azul/UV-C y luz UV-C/azul) y almacenados durante 30 días en cajas de poliestireno a temperatura ambiente. Los tejocotes fueron evaluados en sus características fisicoquímicas (color textura, acidez titulable y sólidos solubles totales) al igual que las características microbiológicas (bacterias mesófilas aerobias, mohos y levaduras) durante 30 días. La luz ultravioleta de onda corta (UV-C) por si sola ayudó a mantener el tono a comparación de los demás tratamientos mientras que los tratamientos con la luz azul presentaron una disminución en el valor de Hue (por la síntesis de carotenoides), además la luz azul presentó mejores resultados en la reducción del crecimiento de hongos. Además la combinación de luz UV-C/azul mantuvo el mismo color, la intensidad de color durante los primeros 15 días y fue el método que conservó más bajo el número de bacterias. También se demostró que ninguno de los tratamientos cambió de manera significativa la acidez, textura, sólidos solubles totales e inclusive la diferencia de color no es apreciable, con respecto al control. Se concluyó que los resultados más destacados se observaron en el crecimiento de microorganismos, donde todos los tejocotes irradiados presentaron crecimiento microbiano, resultado del estrés provocado por los tratamientos presentándose un mayor número de tejocotes en descomposición. Aún falta mucho por estudiar en los tratamientos de irradiación en tejocote para poder explotar el uso de esta tecnología.

2. INTRODUCCIÓN

Crataegus mexicana es una especie nativa de México también conocida como manzanilla, manzanita, tejocotera y su nombre común es tejocote, llamado así por el árbol que da el fruto. Su nombre es de origen Náhuatl y proviene de las raíces “*Tetl*” piedra y “*Xocotl*” fruto (Hernández-Valle, 2008). Una de las desventajas de este producto es que existe una pérdida postcosecha de hasta un 23% debido a deterioros microbiológicos y/o fisiológicos, esta problemática es debido al mal manejo durante la cosecha y postcosecha (Alzamora *et al.*, 2004).

Conforme pasa el tiempo todas las industrias tienden a innovar y a mejorar sus procesos, para disminuir daños a sus productos, en el caso de la industria de alimentos en las últimas décadas se han utilizado compuestos químicos para la conservación de alimentos y desinfección de maquinaria necesaria para el procesamiento de dichos productos, por lo que se ha generado una interrogante de la existencia de algún otro método de conservación y/o desinfección que no produzca compuestos dañinos para el hombre, como lo hacen los compuestos clorados (sustancias utilizadas en la industria alimentaria). Por otra parte los consumidores han tomado conciencia acerca de los efectos que los tratamientos térmicos pueden ejercer sobre los atributos sensoriales (cambios en la firmeza, color, aroma y sabor) y nutrimentales de los alimentos (pérdida de vitaminas principalmente) (Haro-Maza y Guerrero-Beltrán, 2013). Actualmente, hay un gran interés por tecnologías emergentes, que pueden reducir costos de procesamiento, con el menor daño a los productos a comparación de los procesamientos térmicos tradicionales. En este sentido, se ha observado el daño celular que provoca la luz sobre los microorganismos, es por eso que la tecnología de desinfección por radiación es muy prometedora como una alternativa a los métodos habituales. La radiación ultravioleta de onda corta (UV-C) se ha empleado en la industria de alimentos para provocar deterioro en el material genético de varios microorganismos, además de ser un tratamiento que no altera las propiedades sensoriales de los productos y reduce el uso de compuestos químicos (López-Díaz *et al.*, 2012). Por otra parte los estudios sobre la aplicación de la luz azul en frutas y

hortalizas son escasos. Por lo que se vuelve una necesidad estudiar el efecto de estos tratamientos en alimentos, por lo anterior el objetivo de este trabajo es el de evaluar el efecto de la luz UV-C y luz azul sobre las características fisicoquímicas y microbiológicas de tejocote durante el almacenamiento. Es por esto que el interés acerca del uso de esta nueva tecnología ha ido incrementando tanto por las industrias de alimentos como por los consumidores, pero que tan factible es utilizarlo en ciertos alimentos y que benéfico o en su caso perjudicial puede resultar la exposición de los alimentos a estas y otras radiaciones (Haro-Maza y Guerrero-Beltrán, 2013).

3. JUSTIFICACIÓN

El tejocote (*Crataegus mexicana*) es una fruta que debido a sus propiedades fisicoquímicas tiende a resistir al ataque microbiano pero después de cierto tiempo de almacenamiento puede servir como hospedero principalmente de mohos y levaduras provocando que se descomponga con mayor rapidez. Los métodos de conservación tradicionales tales como refrigeración, congelación, tratamientos térmicos entre otros, tienden a modificar sus características sensoriales, nutrimentales y fisicoquímicas. Se ha descrito el potencial antimicrobiano que tiene la luz UV-C en ciertos alimentos y el efecto de la luz azul sobre algunos microorganismos. Por lo anterior, el uso del tratamiento de irradiación con luz UV-C y luz azul puede ser una buena opción para incrementar la vida útil del tejocote, sin afectar las características sensoriales nutrimentales y fisicoquímicas del fruto.

4. OBJETIVOS

- Objetivo General:

Evaluar el efecto de la radiación con luz ultravioleta de onda corta (UV-C) y luz azul sobre las características fisicoquímicas y microbiológicas del tejocote durante el almacenamiento.

- Objetivos Específicos:

1. Caracterizar fisicoquímica y microbiológicamente al tejocote fresco.
2. Diseñar y construir un equipo de luz UV-C y luz azul para el procesamiento de frutas y hortalizas frescas y cortadas.
3. Evaluar los efectos de los tratamientos de luz UV-C y luz azul sobre las características fisicoquímicas y microbiológicas durante el almacenamiento.

5. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

5.1. El consumo de frutas y hortalizas

Las frutas y hortalizas son componentes esenciales en una dieta equilibrada y el consumo diario de estos podría prevenir enfermedades importantes, puesto que contienen vitaminas y minerales, las cuales tienen una serie de funciones necesarias para el organismo como por ejemplo, la vitamina A ayuda a la salud visual y al sistema inmune, las vitaminas del grupo B son necesarias para transformar los alimentos en energía, las vitaminas C y E tienen propiedades antioxidantes, además la vitamina C ayuda a la absorción de calcio. La cantidad de estas y otras vitaminas presentes en algunas frutas se muestran en la Tabla 1. Mientras que los minerales como el potasio, favorece el correcto funcionamiento de los músculos y del sistema nervioso, el calcio es necesario para la salud ósea y dental y el hierro ayuda a prevenir la anemia, solo por nombrar algunos (FAO, 2003). En la Tabla 2 se encuentran las cantidades de minerales presentes en algunos alimentos de interés.

Tabla 1. Contenido de vitaminas en algunas frutas y hortalizas consumidas habitualmente.

| Alimento | Tiamina (g) | Riboflavina (mg) | Niacina (mg) | Vitamina B ₆ (mg) | Folatos (µg) | Vitamina C (mg) | Vitamina A (µg) | Vitamina E (mg) | Carotenoides (µg) |
|------------------|-------------|------------------|--------------|------------------------------|--------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|
| Aguacate | 0.08 | 0.15 | 1.4 | 0.36 | 30.0 | 6.0 | 12.0 | 1.3 | 53.5 |
| Fresa | 0.031 | 0.054 | 0.79 | 0.06 | 61.6 | 54.9 | 3.0 | 0.23 | 18.0 |
| Manzana | 0.035 | 0.032 | 0.13 | 0.06 | 5.8 | 12.4 | 3.0 | 0.36 | 15.0 |
| Naranja | 0.08 | 0.04 | 0.48 | 0.06 | 38.7 | 50.6 | 33.6 | 0.81 | 39.4 |
| Plátano | 0.05 | 0.07 | 0.98 | 0.36 | 20.0 | 11.5 | 38.0 | 0.23 | 228.0 |
| Piña | 0.08 | 0.03 | 0.39 | 0.076 | 5.0 | 15.0 | 6.1 | 0.13 | 36.8 |
| Papa | 0.11 | 0.047 | 1.7 | 0.31 | 22.0 | 17.0 | 0.87 | 0.053 | 5.2 |
| Rábano | 0.033 | 0.03 | 0.52 | 0.06 | 24.0 | 29.0 | 3.8 | 0.001 | 23.0 |
| Remolacha | 0.022 | 0.042 | 0.32 | 0.05 | 83.0 | 10.0 | 1.8 | 0.047 | 11.0 |
| Tapioca | 0.004 | 0.1 | 0.15 | 0.008 | Trazas | 0.0 | 0.0 | Trazas | 0.0 |
| Zanahoria | 0.06 | 0.05 | 0.77 | 0.14 | 13.9 | 6.5 | 1.455 | 0.55 | 8.731 |
| Guayaba | 0.03 | 0.04 | 1.1 | 0.14 | 14.0 | 273.0 | 122.0 | 1.1 | 733.0 |
| Limón | 0.051 | 0.02 | 0.27 | 0.06 | 6.3 | 51.0 | 0.57 | 0.8 | 3.4 |
| Melón | 0.05 | 0.01 | 0.66 | 0.06 | 2.7 | 32.1 | 112.0 | 0.14 | 669.0 |
| Pera | 0.02 | 0.03 | 0.2 | 0.02 | 3.0 | 5.2 | 2.7 | 0.89 | 16.2 |

| | | | | | | | | | |
|------------------|-------|------|------|------|-------|------|-------|------|-------|
| Tomate | 0.07 | 0.04 | 0.9 | 0.13 | 28.8 | 26.6 | 217.0 | 0.89 | 1.302 |
| Pepino | 0.04 | 0.03 | 0.36 | 0.04 | 19.4 | 7.0 | 28.2 | 0.39 | 169.0 |
| Lechuga | 0.06 | 0.07 | 0.8 | 0.06 | 33.6 | 13.0 | 187.0 | 0.6 | 1.122 |
| Espinaca | 0.092 | 0.2 | 1.4 | 0.22 | 145.0 | 40.0 | 589.0 | 1.4 | 3.535 |
| Calabacín | 0.09 | 0.07 | 0.71 | 0.07 | 33.1 | 13.8 | 47.8 | 0.06 | 287.0 |
| Cacahuete | 0.9 | 0.16 | 18.4 | 0.44 | 110.0 | 0.0 | 0.33 | 10.9 | 2.0 |
| Nuez | 0.34 | 0.12 | 3.6 | 0.87 | 77.0 | 2.6 | 4.5 | 3.5 | 27.2 |
| Almendra | 0.22 | 0.62 | 5.5 | 0.16 | 45.0 | 0.0 | 20.0 | 26.2 | 120.0 |
| Avellana | 0.39 | 0.21 | 3.8 | 0.59 | 71.0 | 3.0 | 4.8 | 26.2 | 29.0 |

(Aranceta-Bartrina *et al.*, 2006).

Tabla 2. Contenido de minerales en algunas frutas y hortalizas consumidas habitualmente.

| Alimento | Calcio (mg) | Fósforo (mg) | Hierro (mg) | Yodo (µg) | Zinc (mg) | Magnesio (mg) | Sodio (mg) | Potasio (mg) |
|------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|----------------------|----------------------|--------------------------|-----------------------|-------------------------|
| Aguacate | 12.0 | 43.0 | 0.49 | 1.0 | 0.4 | 30.0 | 4.7 | 487.0 |
| Fresa | 21.5 | 26.0 | 0.46 | 2.7 | 0.22 | 13.3 | 1.4 | 161.0 |
| Manzana | 5.5 | 11.0 | 0.56 | 1.1 | 0.13 | 5.6 | 1.2 | 120.0 |
| Naranja | 41.0 | 20.0 | 0.49 | 2.1 | 0.15 | 15.2 | 1.4 | 165.0 |
| Plátano | 7.3 | 23.0 | 0.59 | 2.4 | 0.21 | 36.4 | 1.0 | 370.0 |
| Piña | 4.5 | 10.0 | 0.41 | 4.3 | 0.13 | 16.9 | 2.1 | 175.0 |
| Papa | 6.4 | 50.0 | 0.43 | 2.6 | 0.34 | 21.0 | 2.7 | 418.0 |
| Rábano | 26.0 | 18.0 | 0.44 | 1.2 | 0.19 | 9.4 | 21.0 | 241.0 |
| Remolacha | 17.0 | 45.0 | 0.91 | 0.4 | 0.36 | 21.0 | 58.0 | 407.0 |
| Tapioca | 12.0 | 12.0 | 1.0 | - | 0.12 | 3.0 | 4.0 | 20.0 |
| Zanahoria | 27.2 | 35.0 | 0.47 | 6.5 | 0.28 | 11.2 | 61.0 | 321.0 |
| Guayaba | 17.0 | 31.0 | 0.75 | - | 0.56 | 13.0 | 4.0 | 290.0 |
| Limón | 11.0 | 16.0 | 0.45 | 1.5 | 0.11 | 28.0 | 1.9 | 170.0 |
| Melón | 15.6 | 17.0 | 0.35 | 0.55 | 0.29 | 11.8 | 17.0 | 310.0 |
| Pera | 9.6 | 13.0 | 0.3 | 2.1 | 0.23 | 8.4 | 2.1 | 116.0 |
| Tomate | 10.6 | 24.0 | 0.7 | 2.2 | 0.16 | 8.3 | 9.0 | 242.0 |
| Pepino | 18.5 | 23.0 | 0.2 | 0.3 | 0.14 | 7.3 | 3.0 | 140.0 |
| Lechuga | 34.7 | 28.0 | 1.0 | 3.0 | 0.23 | 8.7 | 3.0 | 220.0 |
| Espinaca | 117.0 | 46.0 | 2.7 | 12.0 | 0.6 | 60.0 | 69.0 | 554.0 |
| Calabacín | 21.5 | 45.0 | 0.67 | 2.0 | 0.24 | 12.9 | 1.0 | 230.0 |
| Cacahuete | 60.0 | 430.0 | 2.5 | 13.0 | 3.5 | 210.0 | 2.0 | 670.0 |
| Nuez | 87.1 | 409.0 | 2.8 | 2.1 | 2.7 | 121.0 | 2.4 | 544.0 |
| Almendra | 252.0 | 454.0 | 4.1 | 2.0 | 3.2 | 270.0 | 14.0 | 835.0 |
| Avellana | 226.0 | 333.0 | 3.8 | 1.5 | 2.1 | 156.0 | 6.0 | 636.0 |

(Aranceta-Bartrina *et al.*, 2006).

De acuerdo con los datos presentados en el Informe sobre la salud en el mundo en 2002, la ingesta insuficiente de frutas es uno de los 10 factores de riesgo principales que contribuyen a la mortalidad. Cada año podrían salvarse hasta 1,7 millones de vidas si hubiera un consumo mundial suficiente de las ya mencionadas, porque podrían ayudar a prevenir importantes enfermedades no transmisibles, como las enfermedades cardiovasculares y algunos tipos de cáncer y su consumo garantiza la mayoría de los micronutrientes además de fibra dietética (OMS, 2015). A pesar de los múltiples beneficios del consumo de frutas y hortalizas, la población no las consume por distintas razones: el costo, la conveniencia, el sabor, prejuicios, entre otras. Pero conforme la ciencia reitera la importancia del consumo de estos alimentos, los organismos nacionales de salud, los representantes de la industria y las organizaciones internacionales, comprendida la FAO, están colaborando para tratar estos problemas y encontrar la forma de incrementar su consumo en todo el planeta (FAO, 2003).

5.2. Comercio de frutas

La globalización ha permitido el intercambio de frutas frescas, pero aun así la mayor parte de la producción se consume internamente ya que existen barreras comerciales y un elevado costo de transporte a largas distancias. No obstante, los avances en la tecnología han permitido una mejor conservación para los productos perecederos, provocando que haya una mayor demanda y una gran cantidad de productos de calidad. (Cook, 1997). La Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación indicó que hasta el 2013, México era el principal exportador agroalimentario del mundo en aguacate, chile verde, guayaba, jitomate, limón, mango, papaya, pepino y sandía. Los países a los que se le vendieron fueron Alemania, Argentina, Australia, Belice, Bélgica, Canadá, Costa Rica, Corea del Sur, Cuba, Chile, Dinamarca, El Salvador, Estados Unidos, Holanda y Países Bajos, con un valor aproximado a los 6,289 millones de dólares (Kaleydoscopio, 2014).

5.3. Tejocote (*Crataegus mexicana*)

5.3.1. Generalidades

Especie nativa de México también conocida como manzanilla, manzanita, tejocotera y tejocote, llamado así por el árbol que da el fruto (Hernández-Valle, 2008). El tejocote es un árbol pequeño cuyos frutos son amarillos y esféricos de 1 a 2 cm de diámetro, su pulpa es seca y dulce, en donde se encuentran 4 semillas grandes (León, 1968), el nombre es de origen Náhuatl y proviene de las raíces “*Tetl*” piedra y “*Xocotl*” fruto (Velasco-Hernández, 2012). El género *Crataegus* pertenece a la familia Rosaceae y su taxonomía está descrita en la Tabla 3.

Tabla 3. Clasificación taxonómica del tejocote.

| | |
|--------------------|------------------|
| Reino | Plantae |
| Subreino | Tracheobionta |
| División | Spermatophyta |
| Subdivisión | Magnoliophyta |
| Clase | Magnoliopsida |
| Subclase | Rosidae |
| Orden | Rosales |
| Familia | Rosaceae |
| Subfamilia | Maloideae |
| Género | <i>Crataegus</i> |
| Especie | <i>mexicana</i> |

(Hernández-Valle, 2008).

El árbol se desarrolla dependiendo a las condiciones en las que se encuentra y las características morfológicas importantes para la identificación del tejocote (*Crataegus mexicana*) son: tallos alargados y leñosos sin espinas, crecen de forma irregular pudiendo ser recto o espiral; las hojas son alternas, pecioladas y simples, mientras estén más cercanas a los frutos son más grandes y van disminuyendo de tamaño conforme se distancian de los frutos; las flores se producen en racimos terminales de forma cimosa, cinco pétalos blancos o rosados insertados en el

cuello del hipanto y la floración ocurre alrededor de una semana; la forma del fruto es redonda, aunque pueden ser ovalados o periformes, tienen un peso promedio que va entre los 15 y 20 g, la epidermis es amarilla, anaranjada o roja: cuando el fruto se encuentra maduro su pulpa es amarilla, de textura firme; las semillas son de color café lisas, están rodeadas por un endocarpo o hueso leñoso y el número de semillas van de 2 a 4 dependiendo del tamaño (Velasco-Hernández, 2012).

Se ha descrito que el tejocote es un alimento rico en carbohidratos con un alto contenido de agua, pero tiene un mayor interés entre la población por la gran cantidad de vitamina C, sales minerales, entre ellas, calcio, fósforo y hierro (Tabla 4) así como su alto contenido de pectina (Pérez-Lainez, 2014).

Tabla 4. Composición nutricional del tejocote.

| Nutrientes | Cantidad |
|----------------------|-----------------|
| Energía | 89 Kcal |
| Agua | 74.8 % |
| Proteínas | 0.70 g |
| Lípidos | 0.30 g |
| Carbohidratos | 23.5 g |
| Ceniza | 0.70 g |
| Calcio | 82 mg |
| Fosforo | 28 mg |
| Hierro | 1.6 mg |
| Tiamina | 0.03 mg |
| Riboflavina | 0.04 mg |
| Niacina | 0.4 mg |
| Vitamina C | 79 mg |

(INCAP y OPS, 2012).

El fruto del tejocote ha sido empleado desde la época prehispánica para el consumo humano, actualmente es conocido principalmente por su presencia en épocas navideñas por la elaboración de ponche. La presencia del fruto es por la gran cantidad de antioxidantes como la vitamina C y los carotenoides entre otros, además la raíz y las hojas del tejocote se han empleado tradicionalmente para controlar padecimientos del corazón, del sistema respiratorio y sistema urinario (Franco-Mora *et al.*, 2009). Los efectos farmacológicos sobre el sistema cardiovascular se atribuyen a sus compuestos fenólicos (Hernández Pérez, 2012), para las vías respiratorias se utilizan como sedante para aliviar la tos y en el sistema urinario actúa como diurético para enfermedades renales (Pérez-Lainez, 2014).

5.3.2. Producción de tejocote en México

El género *Crataegus* está constituido principalmente por 140 especies distribuidas en todo el mundo (Hernández-Pérez, 2012). Mientras que en México se encuentran 13 de las especies, las cuales crecen en zonas montañosas de la Sierra Madre Oriental (Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, San Luis Potosí e Hidalgo), Sierra Madre Occidental (Durango y Chihuahua), la Sierra Madre del Sur (Oaxaca y los Altos de Chiapas) y el Eje Neo volcánico (Veracruz, Puebla, Estado de México, Morelos, Jalisco y Michoacán) (Pérez-Lainez, 2014), en esta zona es donde se encuentra *Crataegus mexicana* (Figura 1). El 93% de la producción nacional se produce en el estado de Puebla, siendo los municipios de Soltepec, Chiautzingo, Calpan, Tochimilco y Huejotzingo donde se concentra el mayor rendimiento con un promedio de 5.1 toneladas por hectárea, logrando obtenerse un valor promedio de mil 900 pesos por tonelada (SAGARPA, 2015).

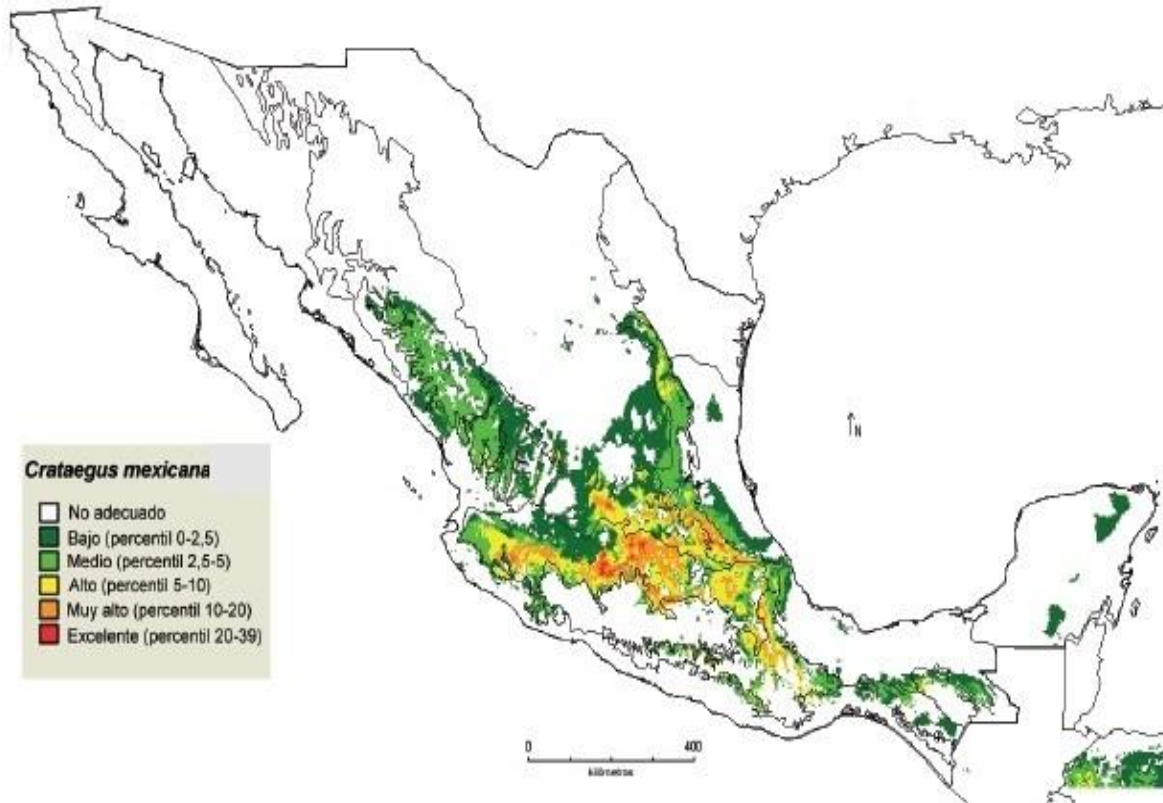


Figura 1. Distribución de la producción de tejocote en México (Tomado de modelos de las zonas adecuadas de adaptación de tejocote (*Crataegus mexicana* D.C.) por efecto del cambio climático, Nuñez-Colin *et al.*, 2012).

5.3.3. Condiciones de cultivo

El árbol del tejocote crece a orillas de terrenos de cultivo, en laderas de cerros con topografía inclinada (60 % de pendiente) y en barrancas. Habita en bosques de encino y pino, frecuentemente le favorece los suelos ácidos, negros, arcillosos, pedregosos de origen sedimentario y volcánico. Se localiza desde los 1200 hasta 3000 msnm, la temperatura óptima de crecimiento es de 15 a 18 °C (Pérez-Lainez, 2014). Es tolerante a las sequias, a los suelos ligeramente alcalinos, a las inundaciones periódicas, pero si le afecta el exceso de humedad y requiere una distancia mínima de 6 metros entre cada árbol. Se observa el florecimiento de mayo a agosto, pero el fruto se recolecta mayormente en noviembre y diciembre (Hernández-Pérez, 2012).

5.3.4. Tratamientos

Se ha logrado alargar la vida en anaquel del tejocote mediante técnicas de conservación combinadas, la pulpa escaldada adicionada con aditivos, así como deshidratada y/o conservada en refrigeración logra mantener las características sensoriales y fisicoquímicas por más tiempo (Higareda *et al.*, 1995). Vivar-Vera *et al.* (2007) lograron inactivar la enzima pectinmetilesterasa al someter el fruto a escaldado (80°C durante 10 min), esta enzima está relacionada con la degradación de las sustancias pécticas de la pared celular que sirve como estabilizante y también como filtro de materia soluble. Por otra parte, se han utilizado extractos de vegetales en combinación con aceites esenciales en tejocote, mostrando efectos antifúngicos y bactericidas, ya que compuestos como fenoles, taninos, alcaloides, saponinas, terpenoides, cumarinas, glicósidos, glucosinolatos y esteroides son los que tienen la capacidad antimicrobiana, mientras que los aceites esenciales logran aumentar la vida en anaquel del producto (Gutiérrez-Martínez *et al.*, 2015). Otras investigaciones evaluaron el oscurecimiento enzimático utilizando sal, azúcar, ácido ascórbico, ácido cítrico y sus combinaciones, las variables fueron la actividad de enzimas tales como la catalasa, peroxidasa y cambio de color a temperatura ambiente durante 24 horas de almacenamiento, donde se observó una mejora en esos parámetros fue en las combinaciones de sal/azúcar/ácido ascórbico y sal/azúcar/ácido ascórbico/ácido cítrico (Pluma-Alvarado *et al.*, 2004).

5.4. Métodos generales de conservación

Los productos frescos empiezan a descomponerse después de la cosecha debido a la actividad enzimática y microbiológica. Las enzimas controlan los procesos vitales incluso después de la cosecha, provocando la descomposición del alimento y los métodos convencionales de conservación se enfocan a la inactivación de las enzimas. Mientras que los mohos, levaduras y bacterias son los principales microorganismos que deterioran las frutas y hortalizas. Dentro de los principales métodos de conservación, se encuentran los siguientes:

- Secado: tiene como objetivo disminuir la actividad de agua hasta que la actividad enzimática y el crecimiento microbiano sea muy baja, si se le quita demasiada agua se vuelve quebradizo. Puede realizarse de manera natural o artificial, la primera consiste en la exposición del alimento a los rayos del sol y por lo tanto no se controla las condiciones de secado, la segunda puede ser utilizando aire caliente, una superficie caliente e incluso se puede emplear radiación con microondas (FAO, 1993).
- Calor: el objetivo es inactivar enzimas y microorganismos por la exposición del alimento a elevadas temperaturas, entre las desventajas que presenta este método es que alteran la composición química del alimento. Las técnicas usuales son: Escaldado, que consiste en la inmersión del alimento en agua a una temperatura de 95-100 °C o bien exponer el alimento a vapor. La pasteurización implica baja intensidad de calor tratando de evitar cambios en la composición del alimento, existe la pasteurización alta, donde las temperaturas son de 75-80 °C por 15-25 segundos y la pasteurización baja usando temperaturas de 60-65 °C por lo menos 30 minutos. Esterilización o también llamada apertización, se introduce el alimento en recipientes herméticamente cerrados (latas o frascos) y se someten a temperaturas mayores de 100 °C por 15-25 segundos (Bello-Gutiérrez, 2000).
- Bajas temperaturas: cuanto más baja sea la temperatura, más lenta será la acción enzimática y el crecimiento bacteriano, las temperaturas cercanas a las de congelación mantienen al alimento en condiciones casi similares a las recién cultivadas, pero el tiempo de almacenamiento es limitado. Se dividen en tres grupos respecto a las temperaturas: almacenamiento común (8-15 °C), refrigeración (0-8 °C) y congelación (menor a 0 °C). En el almacenamiento común el deterioro de la enzimas y microorganismos no se evita pero es más lenta que a temperatura ambiente. En refrigeración no hay crecimiento microbiológico pero tampoco se inactivan los que ya se encontraban desde un principio. En la congelación se cristaliza el citoplasma de los microorganismos y la acción enzimática es prácticamente nula (UPTC, 1980).

- Químico: estos métodos tienen como principios cambiar la composición química de la superficie del alimento. Algunos ejemplos son: Salazón; la acción de la sal es deshidratar ya que adsorbe el agua, impidiendo que las bacterias puedan desarrollarse y disminuya la actividad enzimática. Encurtido; se utiliza como conservador el vinagre, puesto que las bacterias se les dificultan crecer en medios ácidos. Escabeche; el fundamento es el calentamiento del aceite y el cambio de pH por la adición de vinagre (López-Barreras, 2007).

5.5. Métodos alternativos

Los métodos tradicionales de conservación de alimentos basados en tratamientos térmicos, tienen algunos efectos negativos sobre la calidad del producto, como pérdida o reducción de ciertos nutrientes o alteración de sus características sensoriales. Por lo tanto la industria alimentaria está realizando ensayos sobre dos líneas de trabajo, por un lado, las nuevas tecnologías de conservación con tratamientos térmicos alternativos o mejorar los ya existentes y la búsqueda de procesos de conservación de alimentos sin la aplicación de calor (Pelayo, 2007).

Uno de ellos consiste en someter el alimento a un campo eléctrico intenso que provoca la formación de poros en las membranas celulares microbianas variando su permeabilidad. Los pulsos eléctricos tienen una alta eficacia por su capacidad de destruir poblaciones de microorganismos patógenos (Pelayo, 2007). El ultrasonido se utiliza en la industria alimenticia para el desarrollo de aroma y sabor en la producción de vinos, esterilización, la inactivación de enzimas se incrementa al aumentar el poder ultrasónico, pero disminuye al aumentar el volumen de la muestra (Gómez-Díaz y López-Malo, 2009). Otra técnica es la aplicación de pulsos o destellos de luz con un espectro entre el ultravioleta y el infrarrojo con una duración muy corta, lo que provoca que la energía transmitida sea muy intensa, aunque el consumo total del proceso sea moderado. Se encuentra en fase de estudio el mecanismo de inactivación de microorganismos, así como los procesos enzimáticos implicados en el deterioro del alimento. Pero se conoce que disminuye el riesgo microbiológico del producto y aumenta su vida útil (Pelayo, 2007). La

El sol emite radiación en un amplio rango de longitudes de onda, pero la intensidad relativa de la radiación ultravioleta que penetra la superficie de la Tierra depende de la atenuación y dispersión en la atmósfera. La luz UV vacío y UV-C son absorbidas completamente en la atmósfera superior. A pesar que la luz UV-B es atenuada, un poco de esta radiación logra penetrar la superficie. Sin embargo la luz UV-A es pobremente afectada, por lo que el medio ambiente está expuesto a radiación ultravioleta principalmente entre 290 y 400 nm (González-Déctor, 2006). Por ello, las aplicaciones prácticas de desinfección por UV dependen de fuentes artificiales de UV-C. Las fuentes más comunes son lámparas de arco de mercurio de baja y mediana presión que están disponibles comercialmente (Wright y Cairns. 1998). Se han elaborado diversas lámparas de luz UV-C para obtener diferentes condiciones y mejorar los resultados, algunos ejemplos se citan a continuación.

- Lámparas de mercurio: Consiste de un tubo herméticamente cerrado de sílica vitreosa o cuarzo (transmisores de radiación UV-C) con electrodos en ambos extremos. El tubo es llenado con mercurio y gas inerte (usualmente Argón). Un electrodo se localiza en cada extremo del tubo conectado por un sello, estos electrodos son una combinación de tungsteno y mezclas de alcalinotérreos. La radiación UV es emitida por el mercurio que es excitado por una descarga. El Argón ayuda para el arranque de la lámpara y reduce las pérdidas térmicas, al igual que extiende la vida de los electrodos.
 1. Lámparas de mercurio de baja presión: Ésta lámparas son operadas de 10^2 - 10^3 Pascales, presión correspondiente al mercurio líquido a 40°C . Aproximadamente el 85% de la radiación emitida con una longitud de onda de 253.7 nm, la cual es más eficiente para la destrucción de microorganismos.
 2. Lámparas de mercurio de mediana presión: Lámparas operadas a 10^4 - 10^6 Pascales, alcanzando temperaturas que van entre 600 y 800°C , por lo que se requiere utilizar recubiertos de cuarzo ventiladas, al igual que evitar el contacto directo de la superficie de la lámpara con el fluido a tratar, se producen ondas que van de los 250 nm a los

600 nm, no son útiles como germicida, pero la fuerte radiación en una penetración más profunda.

- Lámparas UV de microondas: Utilizan un magnetrón, el cual produce microondas, la radiación se produce cuando los átomos de mercurio que son excitados regresan a un nivel excitado de menor energía, el uso de esta tecnología para la desinfección de alimentos se encuentra en investigación.
- Lámparas de pulsos de UV: Generan radiaciones electromagnéticas con longitudes de onda de entre 100 y 1100 nm. La radiación es producida, almacenando energía eléctrica en un capacitor y liberándola en forma de pulsos de intensa emisión de radiación por microsegundos, se determinó que los alimentos deben recibir esta radiación por no más de 2 milisegundos (Antonio-Gutiérrez *et al.*, 2012)

5.7.2. Mecanismo de desinfección por UV

Los microorganismos son inactivados por la luz UV como resultado del daño fotoquímico a sus ácidos nucleicos (ADN o ARN). La radiación UV es absorbida por los nucleótidos, promoviendo la formación de enlaces entre nucleótidos adyacentes, con lo que se crean moléculas dobles o dímeros. Si bien la formación de dímeros de tiamina-tiamina son los más comunes, también suelen ocurrir dímeros de citosina-citosina, citosina-tiamina, y dimerización del uracilo (Figura 3). La formación de un número suficiente de dímeros dentro de un microorganismo impide que este replique su ADN o ARN, lo que impide su reproducción. Debido a la dependencia de la longitud de onda para la absorción de UV por parte del ADN, la inactivación por UV de los microorganismos también está en función de la longitud de onda (Wright y Cairns, 1998).

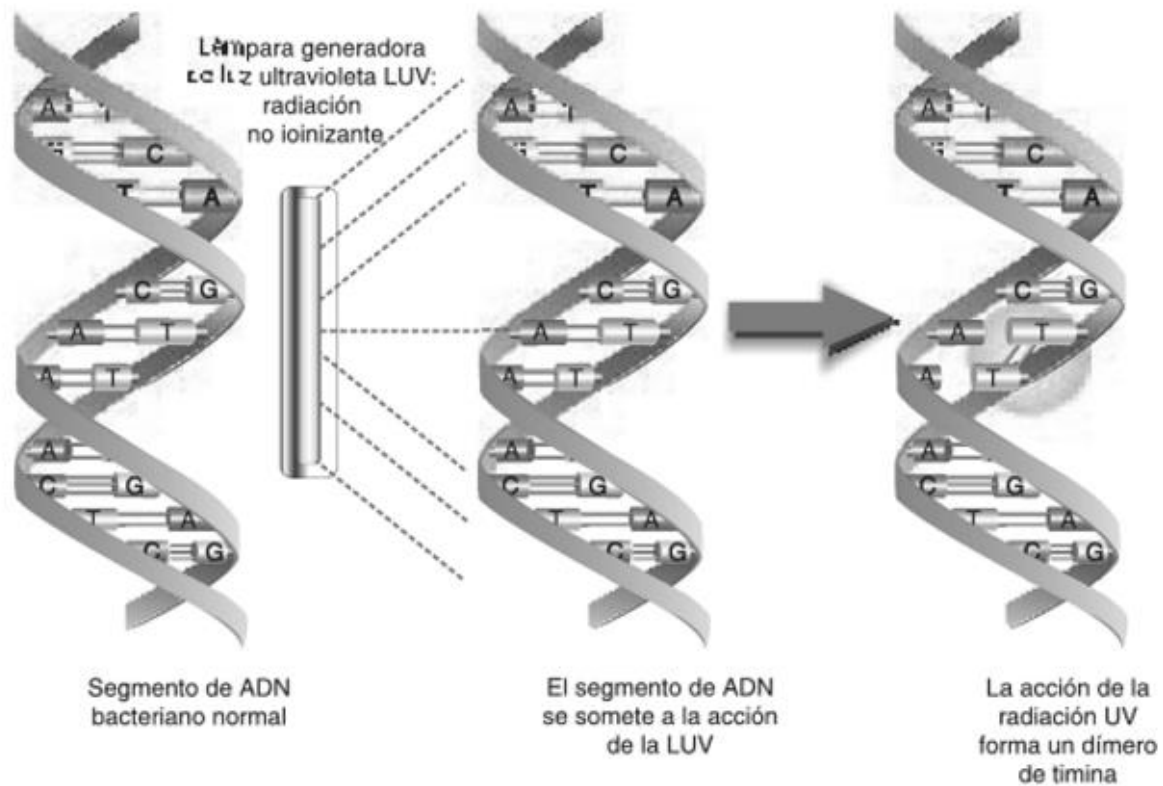


Figura 3. Interacción de la luz UV-C con el material genético del microorganismo (Tomado de Microbiología básica para el área de la salud y afines. Montoya-Villafañe, 2008).

5.7.3. Desinfección de agua con radiación UV-C y aplicación en jugos

La radiación UV no deja ningún residuo en agua tratada, se ha utilizado ampliamente en los sistemas de abastecimiento de agua en establecimientos, tales como hospitales, industrias de alimentos y bebidas. Recientemente se ha incrementado su uso para la desinfección en plantas de tratamiento de agua. Para un grado determinado de inactivación de microorganismos, el tiempo requerido de exposición del agua a la luz ultravioleta es inversamente proporcional a la intensidad de la luz que penetra el agua. La penetración de la luz UV disminuye cuando se tratan líquidos con color y/o con sólidos en suspensión. Los líquidos con buena transmitancia de luz, no presentan inconvenientes al tratamiento con luz UV. La sobredosis de luz ultravioleta tampoco resulta en ningún efecto nocivo. No

obstante, el operador del equipo de desinfección con luz ultravioleta debe usar anteojos y ropa protectora para evitar exponerse a la radiación de alta energía, característica de la luz ultravioleta (Wright y Cairns, 1998).

5.7.4. Efecto antimicrobiano de la radiación UV-C en sólidos

En cualquier industria de alimentos es fundamental reducir la cuenta microbiana para minimizar las pérdidas post-cosecha y el crecimiento de microorganismos patógenos y deteriorativos. La resistencia microbiana a los tratamientos con luz UV-C va de bacterias Gram negativas < Gram positivas < levaduras < esporas bacterianas < mohos < virus, por lo que con una dosis de irradiación mayor a 400 J/m², se podrían inactivar todos los microorganismos (López-Díaz *et al.*, 2012). La radiación UV-C podría ofrecer productos microbiológicamente seguros y con atributos sensoriales muy parecidos al alimento fresco. En el 2004 se determinaron los efectos antimicrobianos de la radiación UV-C en tomates Roma y chiles jalapeños inoculados con *Salmonella* spp. utilizando dosis de 0.5 y 4 J/cm², obteniendo una reducción microbiológica de 2.6 a 3.8 ciclos logarítmicos (Yaun *et al.*, 2004). Mientras que en otro estudio se encontró que después de tratar tomates frescos, utilizando una dosis de 4 kJ/m² se podía inhibir la flora de los vegetales mediante el incremento de las defensas del alimento tratado (Liu *et al.*, 2011). Además se trataron rebanadas de calabacín con una dosis de 9.86 kJ/m² y aunque esta no disminuyó de manera considerable la carga microbiana, el efecto se notó en la disminución de la reproducción de los microorganismos durante el almacenamiento. Recientemente científicos sometieron hojas de lechuga “Red oak leaf” a tratamiento con radiación UV-C. Las bacterias utilizadas fueron *Enterobacter*, *Erwinia*, *Escherichia*, *Leuconostoc*, *Pantonea*, *Pseudomonas*, *Rahnela*, *Salmonella*, *Serratia* y *Yersinia*, que están asociados a infecciones en vegetales, la mayoría de los organismos se inhibieron inmediatamente con una dosis de 30 J/m². Mientras que para la completa erradicación de *Erwinia carotovora*, *Leuconostoc carnosum*, *Salmonella* Typhimorium y *Yersinia aldovae* se necesitó una dosis de 85 J/m², en cuanto al almacenamiento, se encontró que aplicando una dosis de 7.11 kJ/m², el efecto germicida continuo aun en días

posteriores al tratamiento, aumentando la vida de anaquel del producto de 2 hasta 6 días (Quintero-Cerón *et al.*, 2013).

5.7.5. Mejoras en las propiedades sensoriales

Uno de los estudios más completos se le realizaron a plátanos irradiados con dosis de 0.02, 0.03 y 0.04 kJ/m² y almacenados a 5 y 25 °C, donde se observó un aumento en la actividad de las enzimas superóxido dismutasa, catalasa, peroxidasa y glutatión reductasa. Los frutos control desde el segundo día de almacenamiento presentaron daño por frío, mientras que en los irradiados se hizo evidente el daño hasta el cuarto día (Pongprasert *et al.*, 2011). Por otra parte, diferentes tratamientos 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/m². Además, existe la probabilidad de que el tratamiento no cause ninguna diferencia sensorial significativa, se hizo una comparación entre las avellanas tratadas y las avellanas sin tratamiento, donde se concluyó que no hubo diferencias sensoriales significativas en textura, color, olor y sabor. Pero existe cambios que no son inmediatos, se irradiaron calabazas con una dosis de 9.86 kJ/m², pero después de una semana en refrigeración, mostro una coloración rojiza, este efecto se le atribuyo al tratamiento con UV (Haro-Maza y Guerrero-Beltrán, 2013).

5.7.6. Probables efectos adversos por la exposición la luz UV

Tras realizarse el estudio en frutos como melocotón, bayas, uva y lechuga roja se observó el efecto de pardeamiento en dichos frutos, con lo cual los investigadores concluyeron que no era responsabilidad de las enzimas oxidativas, sino del efecto de la irradiación sobre el tejido mismo, al observarse el engrosamiento de la pared celular y pérdida de clorofila. Mientras que en espinaca y calabacín aumentaron su tasa de respiración provocando que se acelere la maduración y en lechuga existe un ablandamiento a una dosis de 7.1 kJ/m², ya que a cierto umbral de dosis ejerce daños en el tejido (Quintero-Cerón *et al.*, 2013).

5.8. Luz visible

5.8.1. Generalidades

Se denomina luz visible a la región del espectro que el ojo humano es capaz de percibir (Sánchez-Ramos Roda, 2010), su espectro va desde los 400 hasta los 780 nm (Fontal *et al.*, 2005). La luz blanca es una mezcla de rayos de luz combinados y cada uno tiene su propia longitud de onda y su variación es lo que nos permite obtener varios colores (Tabla 5) como el violeta, azul, verde, amarillo, naranja y rojo (Suaste-Gómez y Rodríguez-Guzmán, 2007).

Tabla 5. Espectro visible y sus colores.

| Color | Longitud de onda |
|-----------------|-------------------------|
| Violeta | 400-420 |
| Índigo | 420-440 |
| Azul | 440-490 |
| Verde | 490-560 |
| Amarillo | 560-590 |
| Naranja | 590-630 |
| Rojo | 630-780 |

(Fontal *et al.*, 2005).

5.8.2. La luz azul en la síntesis de color

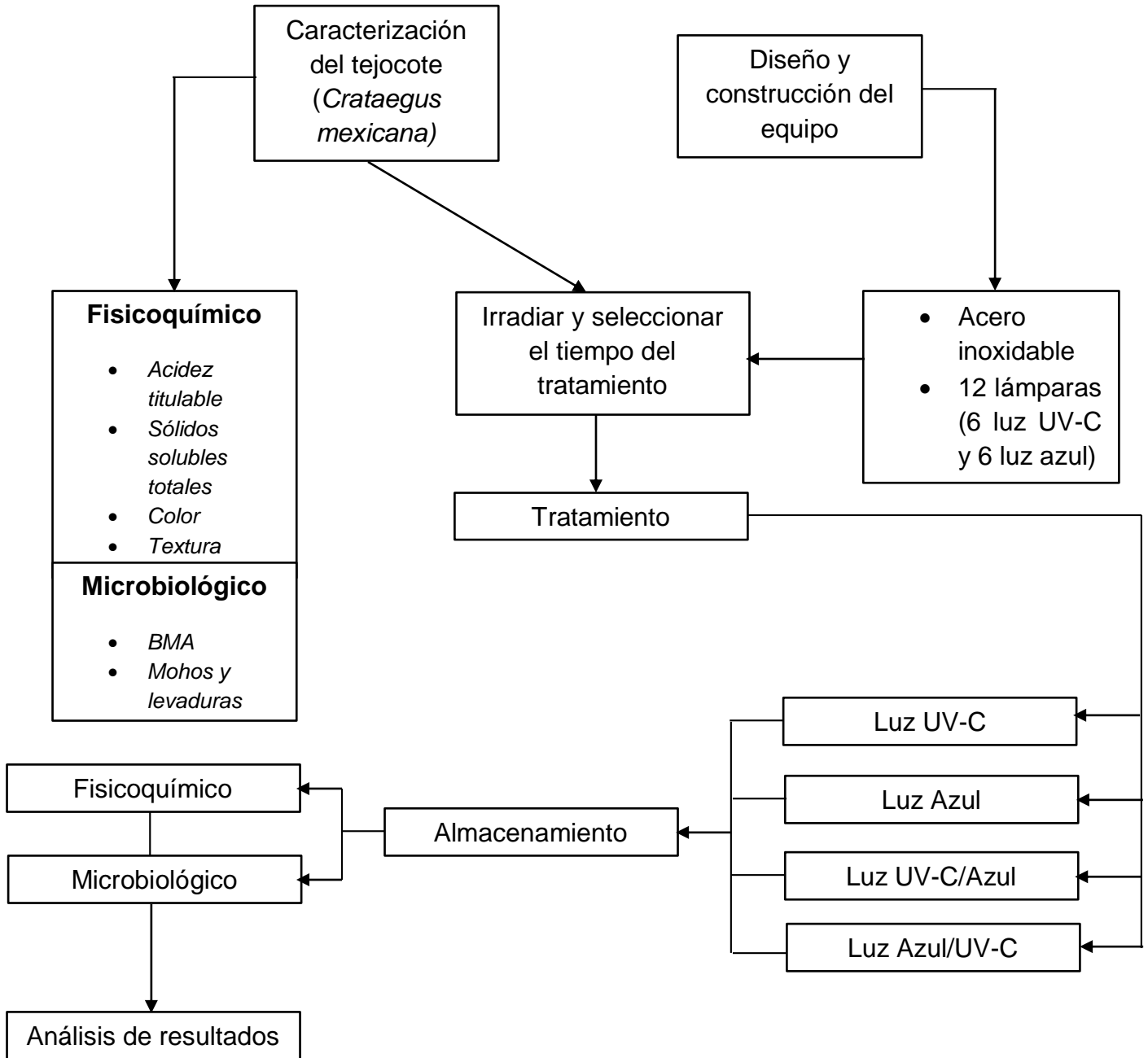
La luz azul es un importante regulador de la expresión de genes en la inducción de la chalcona sintasa (CHS) y la fenilalanina amonio liasa (PAL). La luz azul regula los niveles de calcio en el citoplasma mediante la acción de la ATPasa dependiente de Ca^{+2} , por lo que se propone que la actividad reductora de la membrana plasmática es iniciada por fotoreceptores asociada a la liberación de calcio generando señales necesarias para la inducción de CHS (Long y Jenkins, 1998). La luz azul junto con la luz UV son efectivos para la síntesis de antocianinas en fresa, la concentración de antocianinas se vio incrementado en el grupo control los primeros 4 días, mientras que los tratados mantuvieron su incremento durante los 12 días de almacenamiento (Feng *et al.* 2014). Por lo tanto, los colores de los

alimentos se mantienen por más tiempo, ya que, los carotenoides son los responsables del color amarillo, anaranjado y rojo, los polifenoles y antocianinas de los colores que van desde violeta a rojo (Llerena-Silva, 2014).

5.8.3. Inhibición del crecimiento microbiano

La luz azul inhibe la maduración de los conidióforos, y es más eficaz cuando el hongo se expone a la luz azul entre 4 y 10 horas. Una pequeña cantidad de exposición a la luz azul (1, 250 erg/cm²/seg) durante 10 minutos es suficiente para suprimir la esporulación (Honda y Sakamoto, 1968). Otros resultados muestran que las exposiciones cortas a la luz azul de 30 y 60 min pueden inhibir la formación de conidios aproximadamente en un 50% y 100%, respectivamente pero el efecto inhibitor de la luz azul depende de la temperatura porque el 80% de inhibición ocurrió a 26 °C y prácticamente no hubo inhibición a 20 °C (Suzuki *et al.*, 1977).

6. DIAGRAMA DE TRABAJO



7. MATERIALES Y MÉTODOS

- Material de vidrio el necesario para cada determinación
- Reactivos los necesarios para cada determinación grado analítico
- Material biológico: Tejocote en buen estado, sin magulladuras y contaminación evidente

Tabla 6. Equipo utilizado.

| EQUIPO | MODELO | MARCA |
|-----------------------------|---------------|-------------------------|
| Lámpara de luz UV-C | G15T8 | Philips |
| Lámpara de luz azul | Aqua Coral | Philips |
| Balanza analítica | Ohaus Pioneer | PA313 |
| Batidora de inmersión | CE22841 | Continental Electric |
| Autoclave 20 L | AS-25 | Cisa |
| Campana de Flujo Laminar | CFL-102V | Prendo |
| Parrillas | HP46825 | Barnstead International |
| Incubadora | EC | Riossa |
| Potenciómetro | PH15 | Conductronic |
| Texturómetro | GY-2 | |
| Refractómetro | N-1EBX | Atago |
| Colorímetro | TCR 200 | Precise Color Reader |

Tabla 7. Métodos y referencias.

| DETERMINACIÓN | MÉTODO | REFERENCIA |
|--|--|--|
| Acidez titulable | Titulación acido-base | Comité del Codex Sobre Frutas y Hortalizas Elaboradas (2000) |
| Textura | Determinación con texturómetro | Palmero <i>et al.</i> (2007) |
| Color | Colorimetría | León <i>et al.</i> (2006) |
| Sólidos solubles totales | Refractometría | Comité del Codex Sobre Frutas y Hortalizas Elaboradas (2000) |
| Cuantificación de microorganismos | Cuenta de bacterias mesófilas aerobias Cuenta de mohos y levaduras en placa | NOM-092-SSAI-1994 NOM-111-SSAI-1994 |

8. METODOLOGÍA

8.1. Caracterización de tejocote

En el laboratorio de bromatología de la Facultad de Ciencias Químicas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, al tejocote fresco conseguido en un supermercado local, se le determinó sus características fisicoquímicas (acidez titulable, sólidos solubles totales, color y textura) y microbiológicas (bacterias Mesófilas aerobias, mohos y levaduras).

La medición del color constó de la utilización de un colorímetro, el cual se colocó en un área específica del tejocote y se leyeron los parámetros de L , a y b en la escala de Hunter, donde el valor " L " indica la luminosidad, el valor " a " el rango de rojo a verde y el valor " b " el rango de amarillo a azul.

Mientras que la textura se cuantificó con el uso del texturómetro, se empezó colocando el embolo del equipo en la superficie de la muestra, para posteriormente ejercer presión y permitir que este penetre hasta la marca indicada, finalmente se observó la fuerza que se requiere para penetrar al tejocote.

8.2. Diseño y construcción del equipo

Se diseñó la cámara en donde se localizan las lámparas de UV-C y luz azul; se concretó las dimensiones correctas de dicha cámara y se procedió a su construcción, el material con el que está hecho es de acero inoxidable permitiendo soportar las radiaciones que las lámparas emiten, además contiene una rejilla que sostiene la muestra en el centro de la cámara.

8.3. Irradiación y selección del tiempo de tratamiento

Se realizaron tratamientos preliminares que constaron en la exposición del tejocote con luz UV-C y luz azul durante 1, 2, 3, 4 y 5 minutos, para después almacenar a temperatura ambiente en cajas de plástico durante 20 días. Después de haber transcurrido los 20 días, se seleccionó el tiempo de exposición a la que estuvieron expuestos todos los tejocotes, el cual fue de 1 minuto por conservar mejor la

muestra, se dividieron y procesaron en 4 grupos. Un grupo fueron los tratados con luz UV-C a dosis de 0.68 kJ/m², otro con luz azul con dosis de 2.86 kJ/m² y otros dos los cuales fueron tratamientos combinados que constaron de la exposición con luz UV-C/ azul y luz azul/UV-C, además se utilizó un grupo control, el cual no fue irradiado.

8.4. Evaluación del efecto de la luz UV-C y luz azul

Se realizó los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de los frutos (tratados y control) durante 30 días cada 5 días. Los frutos se almacenaron en recipientes de plástico (poliestireno) de 14 x 11.5 cm.

8.5. Análisis de resultados

Para evaluar el efecto de los tratamientos con luz UV-C, luz azul y sus combinaciones sobre las características fisicoquímicas y microbiológicas, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con una comparación de medidas utilizando la prueba de Tukey con un 95% de confianza.

9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

9.1. Caracterización del tejocote

Los valores para la determinación de color y las de textura no han sido reportados anteriormente por lo que no es posible compararlos, sin embargo es un fruto claro con una coloración entre rojo y amarillo, característica en este fruto. La textura del tejocote es similar al de la piña cortada en cubos ya que esta tiene una firmeza de 1.27 kg/cm², este valor fue descrito por García-Pereira *et al.* (2013). El porcentaje de acidez titulable reportado en este estudio es igual al obtenido por De la Cruz-Martínez *et al.* (2008), mientras que la cantidad de sólidos solubles totales son menores a los reportados por Franco-Mora *et al.* (2009) donde reportaron una cantidad de 3.4 °Brix, probablemente debido a la variedad del fruto (Tabla (8)).

Tabla 8. Características generales de tejocote (*Crataegus mexicana*)

| | |
|---|---------------|
| Luminosidad (L) | 68.99 ± 0.01 |
| Rango de rojo a azul (a) | 17.2 ± 0.08 |
| Rango de amarillo a azul (b) | 63.41 ± 0.25 |
| Tono (Hue) | 74.8 ± 0.01 |
| Cromaticidad (Croma) | 65.7 ± 0.27 |
| Sólidos Solubles Totales (°Brix) | 2.4 ± 0.2 |
| Acidez Titulable (% acidez) | 0.09 ± 0.0001 |
| Textura (kg/cm²) | 1.95 ± 0.007 |

9.2. Diseño y construcción del equipo

Las dimensiones de la cámara fueron de 60 x 60 x 60 cm, dentro se colocaron 6 lámparas de luz UV y 6 de luz azul situadas en cada lado de la cámara, en el centro se colocó una rejilla que sirve como soporte para las muestras como se observa en la Figura 4. El material con que está hecho fue de acero inoxidable para evitar el desgaste que pueden provocar las radiaciones, a un costado se localizan los interruptores de cada lámpara los cuales están conectados a balastos

necesarios para regular la corriente eléctrica, el cambio de luz UV-C a luz azul se efectúa gracias a la ayuda de un switch. El equipo se evaluó durante 1 hora sin presentar problemas en las lámparas y sin registrar aumento de temperatura.



Figura 4. Cámara de luz UV-C y luz Azul

9.3. Características Fisicoquímicas

9.3.1. Color

En la Figura 5 se presenta el cambio neto de color durante el almacenamiento de tejocote (*Crataegus mexicana*) tratado con diferentes tipos de luz (luz azul, luz UV-C y sus combinaciones). Se puede observar que el mayor cambio neto de color en todos los frutos (procesados y sin procesar) se presenta en los primeros 5 días de almacenamiento ($p < 0.05$), presentándose un incremento en el color de 8.9, 10.4, 8.3, 9.9 y 6.0 en el tejocote control, tratado con luz azul, UV-C, azul/UV-C y UV-C/azul, respectivamente. Además durante el almacenamiento se puede apreciar que el tejocote en el cual hay una mayor diferencia en el color es el que fue irradiado con luz azul; mientras que el tratamiento UV-C/azul presenta un menor cambio neto de color, este cambio ocurre por el proceso de maduración y se debe en primera instancia en la degradación de pigmentos específicos de la especie (López-Camelo, 2003). El comportamiento anterior puede ser debido a que los tratamientos con irradiación (luz ultravioleta y visible) son capaces de estimular a las plantas y sus derivados para que produzcan compuestos antioxidantes, siendo muchos de ellos pigmentos tales como careotenoides (Liu *et al.*, 2009). Resultados similares fueron encontrados por Giliberto *et al.* (2005) de donde reportaron que en

tomate procesado con luz azul (5.13 J/m^2) promovió un incremento en el contenido de licopeno en jitomate, lo que ayudó a mantener el color durante un mayor tiempo.

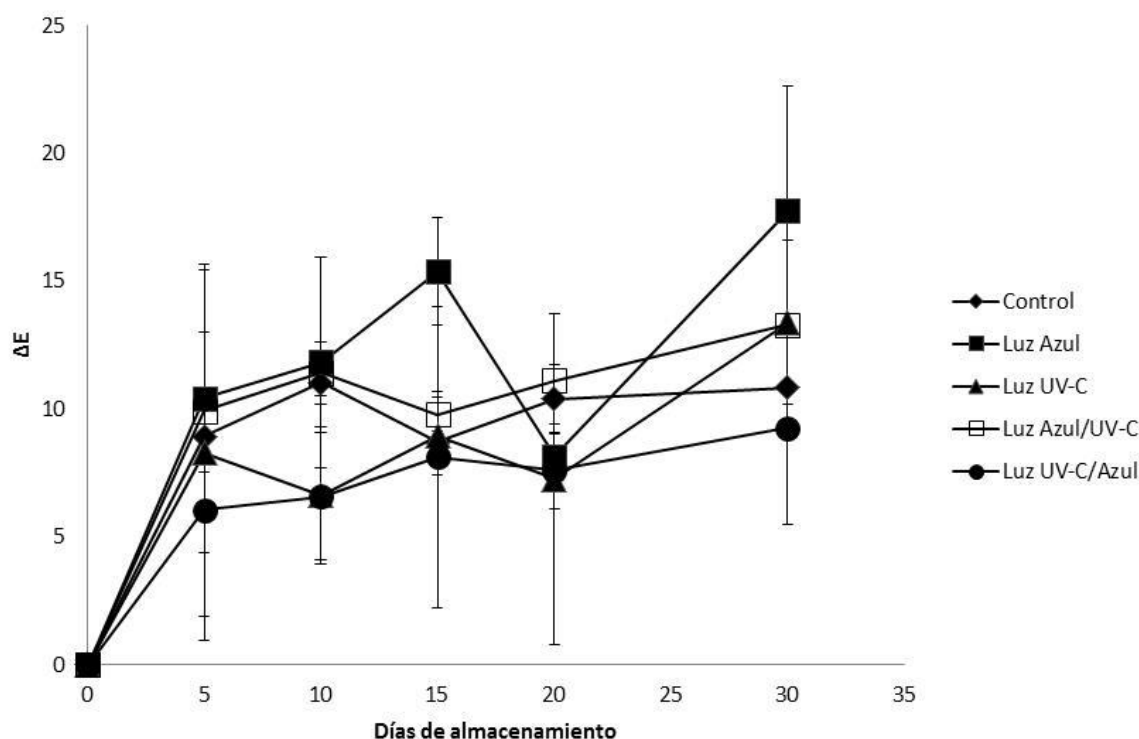
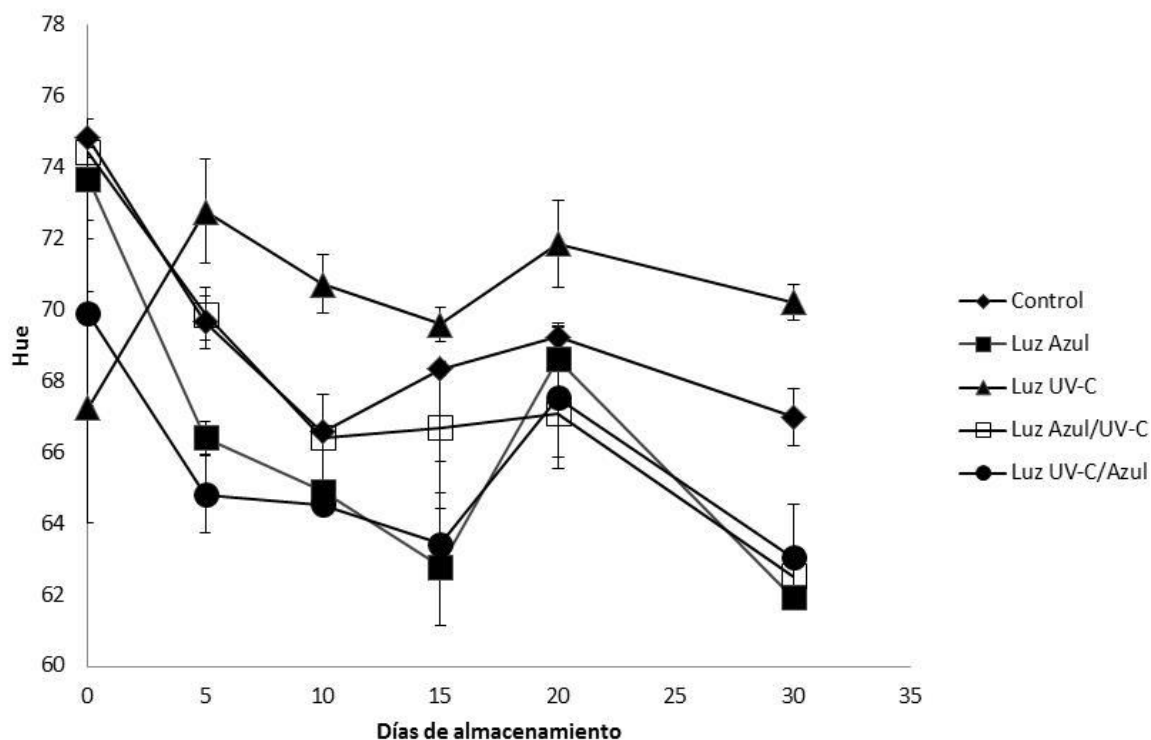


Figura 5. Diferencias de color en el grupo control y en los tratamientos.

El efecto de las radiaciones en tejocote (*Crataegus mexicana*) sobre el cambio en la tonalidad (Hue) del fruto se muestra en la Figura 6. La tonalidad o ángulo de tono de una fruta representa la región de color en la que la fruta se encuentra. Se puede observar que los valores de Hue al inicio del almacenamiento se encuentran comprendidos entre 67 y 75° , lo que indica una coloración entre amarilla y anaranjada (característica del fruto). Durante el almacenamiento de tejocote irradiado con luz UV-C y luz azul se observó que el mayor cambio en el tono de los frutos (a excepción de la luz UV-C) se presenta en los primeros 10 días de almacenamiento ($p < 0.05$), presentándose una disminución de 74.8 a 66.6 en el tejocote control, 73.7 a 64.9 en el tratamiento con la luz azul, 74.4 a 66.4 en la combinación de luz azul/UV-C y de 69.9 a 64.5 en la luz UV-C/azul del valor Hue, lo anterior indica que los tejocotes procesados bajo estas condiciones están perdiendo ligeramente la coloración amarilla, es decir se están oscureciendo, lo

que significa una disminución de los pigmentos (carotenoides) (Cote et al., 2013). Asimismo, se puede apreciar que el tejocote irradiado con luz UV-C tiene un aumento no significativo en el tono a diferencia de los otros tratamientos; mientras que los demás tratamientos presentan una disminución de tonalidad incluso a comparación del control. Este comportamiento es debido a que el tono (Hue) está relacionado con el desarrollo de color. Por otra parte, la luz ultravioleta es el tratamiento que promueve la síntesis de compuestos encargados en la coloración de plantas y frutos (Liu et al., 2009). Vicente et al. (2005) reportaron que en papaya procesada con luz UV-C a dosis de 7 kJ/m², mostraba resultados similares, ya que inmediatamente no se observó un cambio en la tonalidad pero entre los días 12 y 18 de almacenamiento a 10 °C se demostró una mejora de esta propiedad.



. Figura 6. Tono en el grupo control y en los tratamientos.

El valor de cromaticidad (croma) está definido como el contenido de color de una superficie, representando la intensidad de un matiz dando la apariencia de ser muy vivo y está relacionado a la luminosidad (Valero-Muñoz, 2013). El valor se ve afectado por la exposición a la luz y se demuestra en la Figura 7. Se puede

apreciar que el tratamiento con luz UV-C y azul no afectó de manera significativa la cromaticidad al principio del almacenamiento; sin embargo, durante el almacenamiento se observó que se mantuvo constante en todos los tratamientos hasta el día 20, posteriormente solo los tejocotes irradiados con la combinación de luz azul/UV-C y UV-C/azul además del control fueron los que no presentaron cambios significativos ($p > 0.05$) al final del almacenamiento. Al final del almacenamiento los valores fueron 68.0 para el control, 57.9 con luz azul, 54.7 con luz UV-C, 59.1 con luz azul/UV-C y 62.6 con luz UV-C/azul. La saturación de color de la superficie disminuye durante el almacenamiento pero la exposición a luz UV-C logra ralentizar el cambio (Cote *et al.* 2013), las radiaciones UV-C y luz visible ayudan a producir compuestos antioxidantes, como son los carotenoides (Liu *et al.*, 2009). Gómez *et al.* (2010) realizaron estudios donde se realizaba tratamiento con UV-C durante 10 y 15 min en rebanadas de manzana, lo cual provocó un aumento en la cromaticidad, este parámetro se mantuvo sin mayor variación a lo largo de los 7 días del almacenamiento.

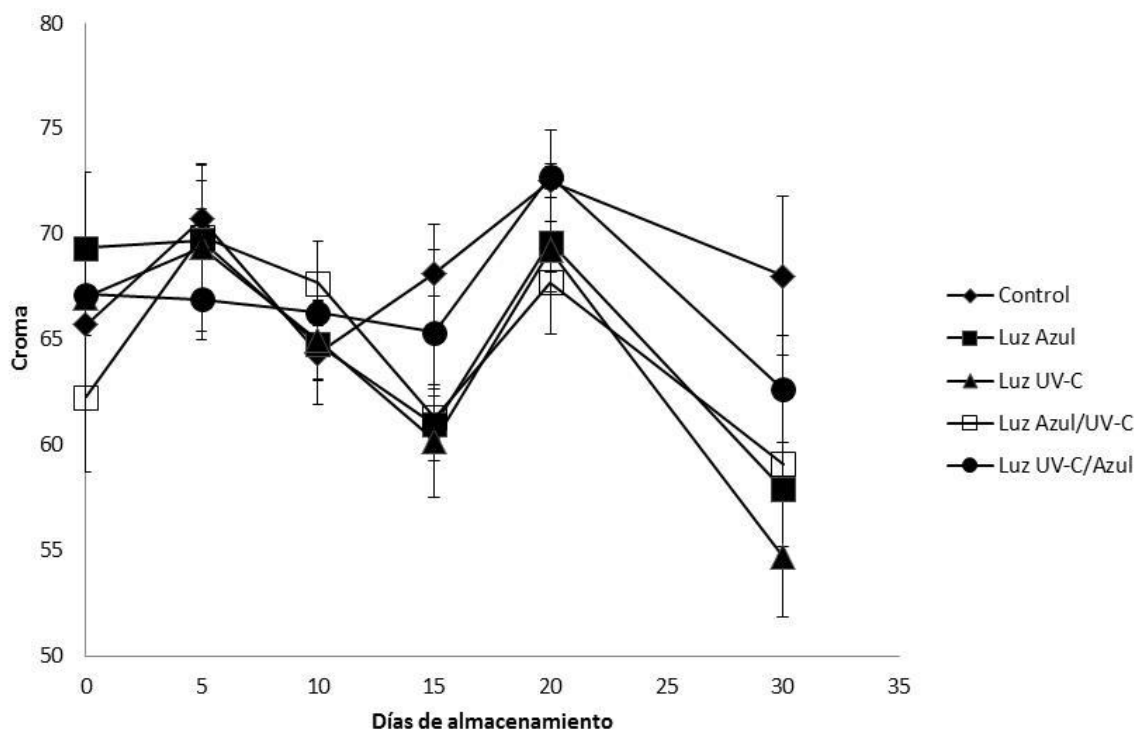


Figura 7. Intensidad de color en el grupo control y en los tratamientos.

La evolución de la coloración, según el diagrama de color CIELAB, de la superficie de tejocote (*Crataegus mexicana*) previamente tratados con diferentes radiaciones se muestra en la Figura 8. Tanto el fruto control como los tratados con luz azul, luz azul/UV-C y luz UV-C/azul mostraron un ligero cambio de color que va del amarillo al rojo, el tratamiento con luz UV-C/azul provocó que ese cambio de color no fuera tan notable, mientras que en los tejocotes irradiado con luz UV-C se observó lo contrario. Se puede observar que los tratamientos que involucran a luz azul, provoca que el cambio de tonalidad sea más evidente, mientras que los tratamientos que implican la exposición a la luz UV-C mejoró o mantuvo la coloración, dándonos a conocer que esta radiación es la que tiene mejores resultados en la expresión de carotenoides.

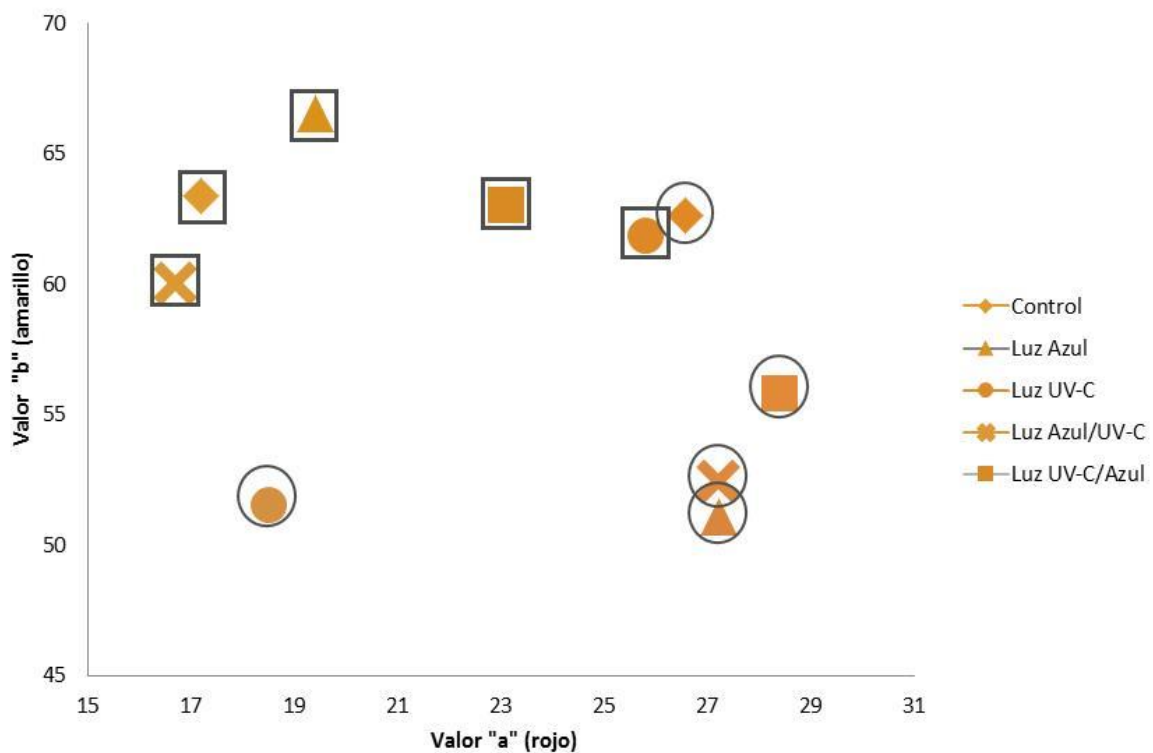


Figura 8. Cambios en la coloración del grupo control y los tratamientos (día 0 “□” y día 30 “○”).

9.3.2. Sólidos Solubles Totales

En la Figura 9 se muestra el cambio de concentración de sólidos totales durante el almacenamiento de tejocote (*Crataegus mexicana*) irradiado con luz azul, luz UV-C, además de las combinaciones luz azul/UV-C y luz UV-C/azul. Se comprueba que la mayor cantidad de sólidos totales en todos los se presenta hasta el día 30 de almacenamiento ($p > 0.05$), presentándose un incremento de 2.40 a 2.83 en el tejocote control, 1.83 a 2.50 tratado con luz azul, 2.23 a 2.70 tratado con UV-C y 1.27 a 2.33 en la combinación de luz azul/UV-C. Igualmente, se aprecia que todos los frutos van incrementando la cantidad de solidos solubles totales, este es debido a la degradación de su ácido predominante y ningún tratamiento logra tener efecto sobre esta característica. Este comportamiento es debido a que estos compuestos no absorben a las longitudes de onda utilizadas (Ochoa-Velasco *et al.*, 2014). Pataro *et al.* (2015) midieron los °Brix de tomates tratados con luz UV-C a dosis entre 1 y 8 J/cm² a comparación de los no tratados y almacenados durante 21 días no mostraron diferencias significativas ya que se mantuvieron dentro de un rango.

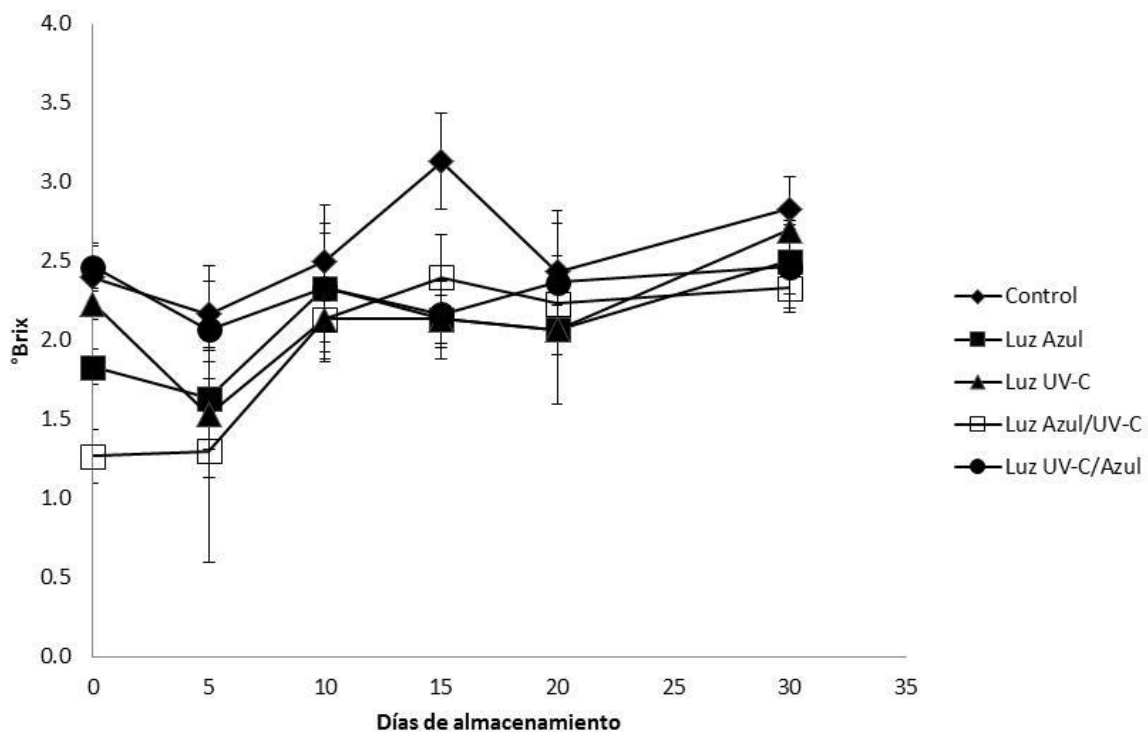


Figura 9. Sólidos solubles totales en el grupo control y en los tratamientos.

9.3.3. Acidez titulable

La Figura 10 muestra el cambio en el porcentaje de acidez durante el almacenamiento de tejocote (*Crataegus mexicana*) tratado con diferentes tipos de luz (azul, UV-C y combinaciones de ambas radiaciones). Se puede observar que se incrementa el porcentaje de acidez titulable en todos los frutos (procesados y sin procesar) paulatinamente hasta el último día de almacenamiento ($p < 0.05$), presentándose un incremento de 0.09 a 0.23 en el tejocote control, de 0.06 a 0.27 en la exposición con luz azul, 0.07 a 0.19 en el tratamiento con luz UV-C, de 0.08 a 0.19 en la combinación de luz azul/UV-C y de 0.07 a 0.22 en el tratamiento con luz UV-C/azul. Se demuestra que el tejocote en el cual hay un mayor porcentaje de acidez es el que fue irradiado con luz azul; mientras que el tratado con luz UV-C presenta una menor acidez titulable, pero no se encuentran diferencias importantes en relación al control y los demás tratamientos. En estudios anteriores se encontró que el aumento de la acidez titulable está acompañado con un aumento de la carga microbiana (Yong-Gui & He, 2012). La acidez titulable incrementa debido a la concentración de metabolitos, los cuales son en su mayoría ácidos orgánicos. Pan *et al.* (2004) determinaron que en fresa aumentó la acidez titulable tanto en los grupos control como en los tratamientos en un almacenamiento a 20 °C, la luz UV-C a dosis de 4.1 kJ/m² controló la acidez, pero no fueron significativas las diferencias entre el control y los tratamientos.

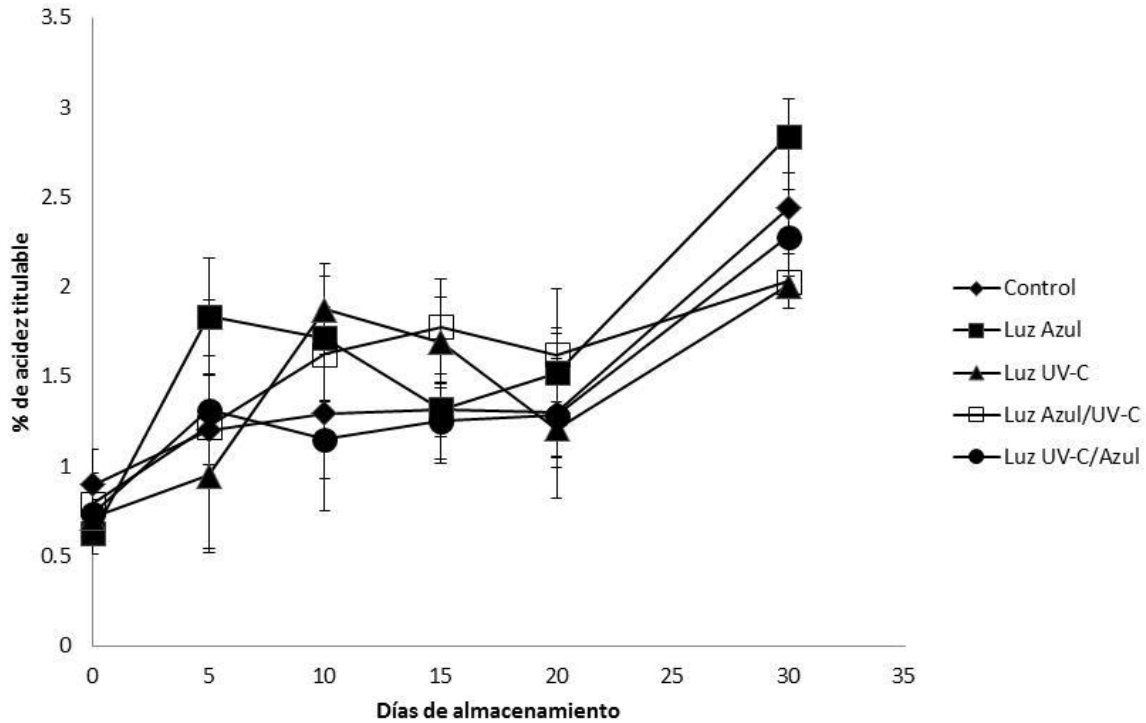


Figura 10. Porcentaje de acidez titulable en el grupo control y en los tratamientos.

9.3.4. Textura

El comportamiento de la textura de tejocote (*Crataegus mexicana*) durante el almacenamiento una vez expuesto a las diferentes radiaciones como la luz azul, luz UV-C y sus combinaciones se muestra en la Figura 11. El cambio en la firmeza no varió entre los frutos tratados y el control, a excepción del tejocote irradiado con luz UV-C, la tendencia de todas las muestras fue aumentar su firmeza sin existir diferencias significativas durante todo el almacenamiento ($p > 0.05$). Se puede apreciar que el tejocote tratado con la luz UV-C mantuvo su textura durante los 30 días de almacenamiento. Este efecto se le atribuye al agua, ya que ejerce un efecto sobre la textura por el control de la presión de turgencia, durante el almacenamiento existe mayor pérdida de agua por la separación celular (Manrique y Lajolo, 2004). Lemoine *et al.* (2007) demostraron que el brócoli tratado con luz UV-C a dosis de 8 kJ/m² y posteriormente almacenado durante 21 días a 4 °C no hubo pérdida de agua significativa entre el control y las muestras tratadas.

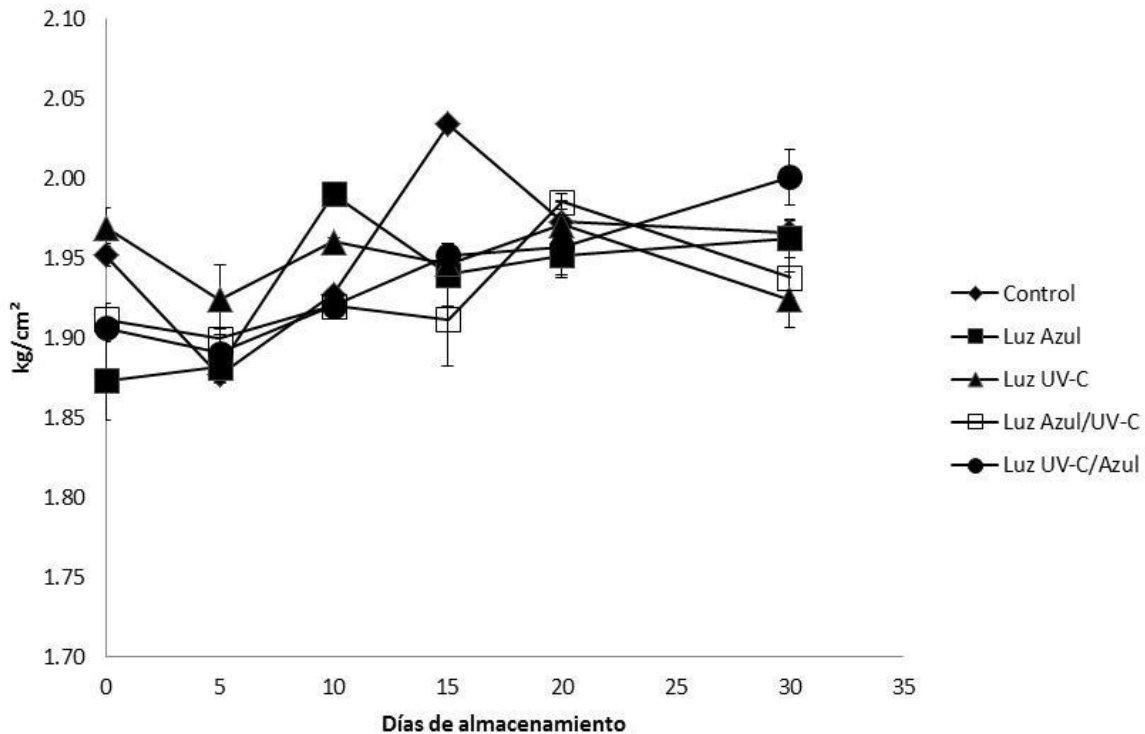


Figura 11. Textura en el grupo control y en los tratamientos.

9.4. Crecimiento Microbiano

9.4.1. Crecimiento de Bacterias Mesófilas Aerobias

En la literatura se ha descrito el potencial antimicrobiano que poseen algunas radiaciones y con ello conservar algunos alimentos por más tiempo. En la Figura 12 se presenta el crecimiento de bacterias mesofilas aerobias durante el almacenamiento de tejocote (*Crataegus mexicana*) tratado con luz azul, luz UV-C además de las combinaciones de ambas radiaciones. Se puede observar que existe poco crecimiento de bacterias en todos los frutos procesados a comparación del grupo control donde en ningún momento se demostró la presencia bacteriana. Además, se puede apreciar que el tejocote en el cual hay un mayor crecimiento bacteriano es el que fue irradiado con luz UV-C; mientras que el grupo control no presenta crecimiento bacteriano durante los 30 días de almacenamiento. Esto pudo ocurrir por la estimulación del crecimiento de bacterias ácido lácticas debido a que las radiaciones alteran la permeabilidad celular provocando liberación de electrolitos, aminoácidos y carbohidratos incitando el crecimiento bacteriano

(Allende y Artés, 2003). Nigro *et al.* (1998) utilizaron un rango de dosis de 0.125 a 0.5 kJ/m² de luz UV-C en uvas y fueron almacenadas a 21 y 3°C, para posteriormente monitorear el crecimiento microbiano, logrando observar un incremento significativo de bacterias en los frutos tratados a comparación de los frutos control.

Tabla 9. Crecimiento de Bacterias Mesófilas Aerobias en el grupo control y los tratamientos

| Día | Control | Luz Azul | Luz UV-C | Luz Azul/UV-C | Luz UV-C/Azul | NOM-093 |
|-----------|--------------|---------------|--------------|---------------|---------------|-------------------|
| 0 | <10 UFC/g | <10 UFC/g | <10 UFC/g | <10 UFC/g | <10 UFC/g | <150,000 UFC/g |
| 5 | 50 UFC/g | 30 UFC/g | 17 UFC/g | 10 UFC/g | 20 UFC/g | <150,000 UFC/g |
| 10 | <10 UFC/g | <10 UFC/g | <10 UFC/g | 25 UFC/g | <10 UFC/g | <150,000 UFC/g |
| 15 | 10 UFC/g | <10 UFC/g | 10 UFC/g | 60 UFC/g | 15 UFC/g | <150,000 UFC/g |
| 20 | <10 UFC/g | 90 UFC/g | 15 UFC/g | < 10 UFC/g | 20 UFC/g | <150,000 UFC/g |
| 30 | <10 UFC/g | < 10 UFC/g | <10 UFC/g | < 10 UFC/g | <10 UFC/g | <150,000 UFC/g |

9.4.2. Crecimiento de mohos

En la Figura 13 se presenta el crecimiento de mohos durante el almacenamiento de tejocote (*Crataegus mexicana*) tratado con diferentes tipos de luz (luz azul, luz UV-C y sus combinaciones). Se demuestra que todos los tejocotes presentan desarrollo de mohos y que este crecimiento va aumentando durante el almacenamiento. Hasta el día 15 ya se aprecian la presencia de mohos en todas las muestras. Se observa que el tejocote en el cual se logra mantener una cantidad mínima de mohos es el que fue irradiado con luz azul durante el almacenamiento; mientras que el tejocote control presenta una mayor cantidad de colonias. Lo anterior puede ser debido a que los tratamientos con luz azul inhiben la formación de conidios aproximadamente en un 50 y 100% pero el efecto inhibitor de la luz azul depende de la temperatura. (Suzuki *et al.*, 1977). Kangmin *et al.* (2013)

trataron con luz azul al tomate a una dosis de 51.3 J/m², logrando disminuir los ataques del hongo gris, enfermedad causada por *Botrytis cinerea*.

Tabla 10. Crecimiento de mohos en el grupo control y en los tratamientos

| Día | Control | Luz Azul | Luz UV-C | Luz Azul/UV-C | Luz UV-C/Azul |
|------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------------|----------------------|
| 0 | <10 UFC/g | <10 UFC/g | <10 UFC/g | <10 UFC/g | <10 UFC/g |
| 5 | <10 UFC/g | <10 UFC/g | <10 UFC/g | <10 UFC/g | <10 UFC/g |
| 10 | <10 UFC/g | <10 UFC/g | <10 UFC/g | 10 UFC/g | 15 UFC/g |
| 15 | 85 UFC/g | 40 UFC/g | 65 UFC/g | 35 UFC/g | 85 UFC/g |
| 20 | 75 UFC/g | 70 UFC/g | 95 UFC/g | 10 UFC/g | 15 UFC/g |
| 30 | 127 UFC/g | 43 UFC/g | 87UFC/g | 145 UFC/g | 115 UFC/g |

9.4.3. Crecimiento de levaduras

Las levaduras son microorganismos cuya forma dominante de crecimiento es unicelular. Poseen un núcleo y se multiplican por reproducción sexual o asexual, por gemación o por fisión transversal. La reproducción sexual cuando ocurre, es por medio de ascosporas contenidas en un saco. El crecimiento de levaduras durante el almacenamiento de tejocote (*Crataegus mexicana*) después de ser irradiado con luz azul, luz UV-C y sus combinaciones se muestra en la Tabla 11. Se puede observar que en el grupo control y en los tratados con luz UV-C el crecimiento de levaduras ocurrió durante los primeros 5 días de almacenamiento, a excepción del expuesto a la luz azul, el mayor cambio sucedió hasta el día 10 de almacenamiento logrando disminuir su carga microbiana. Además, se puede apreciar que el tejocote en el cual hay una mayor disminución en el crecimiento de levaduras es el que fue irradiado con luz azul; mientras que el tratado con la combinación UV-C/azul presenta un menor decremento en el número de colonias. Lo anterior se debe a que los tratamientos con luz azul, tienen efecto sobre las proteínas responsables de la forma de reproducción sexual de las levaduras, impidiendo que se reproduzcan (Ying-Ku *et al.*, 2005). Ying-Ku *et al.* (2005) incubaron *Cryptococcus neoformans* en placas a 22°C los cuales percibieron la luz

azul a una dosis de 3.76 J/m² logrando inhibir la formación de filamentos e hifas, con la irradiación de luz azul son mucho más escasas y más cortas en comparación de otras condiciones de iluminación.

Tabla 11. Crecimiento de levaduras en el grupo control y en los tratamientos

| Día | Control | Luz Azul | Luz UV-C | Luz Azul/UV-C | Luz UV-C/Azul |
|------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------------|----------------------|
| 0 | <10 UFC/g | <10 UFC/g | <10 UFC/g | <10 UFC/g | <10 UFC/g |
| 5 | 30 UFC/g | <10 UFC/g | 60 UFC/g | 10 UFC/g | 15 UFC/g |
| 10 | <10 UFC/g | <10 UFC/g | 25 UFC/g | <10 UFC/g | 23 UFC/g |
| 15 | <10 UFC/g | <10 UFC/g | <10 UFC/g | <10 UFC/g | <10 UFC/g |
| 20 | <10 UFC/g | <10 UFC/g | <10 UFC/g | <10 UFC/g | <10 UFC/g |
| 30 | <10 UFC/g | <10 UFC/g | <10 UFC/g | <10 UFC/g | <10 UFC/g |

10. CONCLUSIONES

El tejocote es un fruto que varía de color entre amarillo, anaranjado y rojo, con una textura firme, tiene una relación entre sabor dulce y ácido, la cual se ve afectada por el proceso de maduración. Además es un alimento prácticamente inocuo, porque no presenta una cantidad de microorganismos importante.

La cámara funcionó correctamente tanto para la radiación UV-C y luz azul, ambas con dosis bajas para evitar un aumento de temperatura.

Este método de conservación logró mantener las características fisicoquímicas del alimento. Esto se demostró en este estudio ya que ninguno de los tratamientos alteró de manera significativa la textura, sólidos solubles totales, acidez titulable y color durante los 30 días de almacenamiento.

Las radiaciones incrementaron la población de bacterias por el daño celular al tejido del fruto, mientras que la luz azul resultó ser el mejor tratamiento para la inhibición del crecimiento de mohos logrando reducir en un 44% su población y en un 51% el desarrollo de levaduras.

11. SUGERENCIAS

Realizar un análisis sensorial al tejocote procesado con luz UV-C y luz azul, para conocer si el sabor y aroma se ven afectados por los tratamientos.

Evaluar el efecto antimicrobiano de las radiaciones sobre el fruto previamente inoculado y comprobar si el tiempo es el adecuado para la exposición, además de corroborar la dosis que presente mejores resultados.

Evaluar otros rangos de luz dentro de las regiones ultravioleta y visible para determinar si se obtienen mejores resultados tanto microbiológicos como fisicoquímicos.

Almacenar en diferentes condiciones la fruta, como la utilización de otro tipo de recipientes, a diferentes temperaturas (refrigeración o congelación) o simplemente dejar las cajas abiertas o con ventilación.

12. REFERENCIAS

1. Allende, A. & Artés, F. (2003). UV-C radiation as a novel technique for keeping quality of fresh processed “Lollo Rosso” lettuce. *Food Research International*, 36 (7), pp. 739-746.
2. Alzamora, M., Guerrero, N., Nieto, A., Vidales, S. (2004). Conservación de frutas y hortalizas mediante tecnologías combinadas. *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación*. pp. 1-76.
3. Antonio-Gutiérrez, O.T., Palou, E. & López-Malo, A. (2012). Equipos para tratamientos de alimentos con radiación UVC. *Temas selectos de ingeniería de alimentos*. Puebla, México: Universidad de las Américas Puebla. pp. 149-159.
4. Aranceta-Bartrina, J., Pérez-Rodrigo, C., Serra-Majem, L. & Ortega-Antam, R. (2006). *Frutas verduras y salud*. [Barcelona]. España: Masson. pp. 4-5.
5. Bello-Gutiérrez, J. (2000). *Ciencia Bromatológica: Principios generales de los alimentos*. [Madrid]. España: Díaz de Santos. pp. 426-428.
6. Comité del Codex Sobre Frutas y Hortalizas Elaboradas. (2000). *Métodos de Análisis Para Frutas y Hortalizas Elaboradas*. [online] Fao.org. Available at: ftp://ftp.fao.org/codex/Meetings/CCPFV/ccpfv20/pf00_07s.pdf. [Accesed 23 Aug. 2016].
7. Cook, R. L. (1997). *Tendencias internacionales en el sector de frutas y hortalizas frescas*. Available at: http://www.magrama.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_reea%2Fr181_08.pdf. [Accesed 15 Jun. 2016].
8. Cote, S., Rodoni, L., Miceli, E., Cencellón, A., Civellos, P. M. & Vicente, A. R. (2013). Effect of radiation intensity on the outcome of postharvest UV-C treatments. *Postharvest biology and technology*, 83, pp. 83-89.
9. De la Cruz-Martínez, E. A., Nieto-Ángel, R., Soriano-García & Hernández-Unzón, H. (2008). Estudio de los flavonoides de ocho genotipos de tejocote (*Crataegus pubescens*) y su uso potencial como alimento funcional. En: *V Congreso Internacional de Ingeniería Bioquímica*. México, pp.1-9.

10. Domingo, D. & López-Brea, M. (2003). Plantas con acción antimicrobiana. Prous Science. Revista Española de Quimioterapia. pp. 385-393.
11. 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*, 62(20), pp. 4778-4783.
12. Fontal, B., Suárez, T., Reyes, M., Bellandi, F., Contreras, R. & Romero, I. (2005). *El espectro electromagnético y sus aplicaciones*. [Mérida]. Venezuela: Escuela Venezolana para la Enseñanza de la Química. p. 47.
13. Franco-Mora, O., Aguirre-Ortega, S., Morales-Rosales, E. J., González-Huerta, A. & Gutiérrez-Rodríguez, F. (2009). Caracterización morfológica y bioquímica de frutos de tejocote (*Crataegus mexicana* DC.) de Lerma y Ocoyoacan, México. *Ciencias Naturales y Agropecuarias*, 17(1), pp. 61-66.
14. García-Pereira, A., Muñoz-Becerá, S., Hernández-Gómez, A., González, L. M., Fernández-Valdés, D. (2013). Análisis comparativo de la cinética de deshidratación osmótica y por flujo de aire caliente de piña (*Ananas Comosus*, variedad Cayena lisa). *Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22(1), pp. 1-6.
15. Giliberto, L., Perrota, G., Pallara, P., Weller, J. L., Fraser, P. D., Bramley, P. M., Fiore, A., Tavazza, M. & Giuliano, G. (2005). Manipulation of the blue light photoreceptor Cryptochrome 2 in tomato affects vegetative development, flowering time, and fruit antioxidant content. *Plant Physiology*, 137(1), pp. 199-208.
16. Gómez, P. L., Alzamora, S. M., Castro, M. A. & Salvator, D. M. (2010). Effect of ultraviolet-C light dose on quality of cut-apple: Microorganism, color and compression behavior. *Journal of Food Engineering*, 98(1), pp. 60-70.
17. Gómez-Díaz, J. & López-Malo, A. (2009). Aplicaciones del ultrasonido en el tratamiento de alimentos. *Temas selectos de Ingeniería de Alimentos*, 3(1), pp. 59-73.

18. González-Déctor, D. (2006). *Desinfección de semillas de alfalfa con luz ultravioleta de onda corta (UV-C)*. Licenciatura. Universidad de las Américas Puebla.
19. Gutiérrez-Martínez, P., Bautista-Baños, S. & Barrera-Necha, L. L. (2015). Uso potencial de extractos vegetales, aceites esenciales y quitosano para reducir el daño causado por hongos postcosecha en productos hortofrutícolas. Nayarit, México: Instituto Tecnológico de Nayarit. pp. 1-8.
20. 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*, pp. 68-77.
21. Hernández-Pérez, A. (2012). *Evaluación de la actividad antioxidante y determinación de los compuestos fenólicos de frutos y hojas de Crataegus mexicana DC*. Licenciatura. Universidad Autónoma de Querétaro.
22. Hernández-Valle, E. (2008). *Inhibición de la enzima convertidora de angiotensina por extractos de Crataegus mexicana Moc. Sessé silvestre y micropropagada*. Maestría. Instituto Politécnico Nacional.
23. Higareda, R. A., Salazar-Montoya, J. A. & Ramos-Ramírez, G. E. (1995). Conservación postcosecha del tejocote. *Horticultura*, 4, pp. 161-163.
24. Honda, Y. & Sakamoto, M. (1968). On the blue light inhibition of sporulation in *Helminthosporium oryzae*. *Annals of the Phytopathological Society of Japan*, 34, pp. 328-335.
25. Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP) & Organización Panamericana de la Salud (OPS). (2012). *Tabla de composición de alimentos de Centroamérica*. Guatemala: Serviprensa. p. 43.
26. Kaleydoscopio. (2014). *Frutas y hortalizas mexicanas en el mundo*. [online] Kaleydoscopio.mx. Available at: <http://kaleydoscopio.mx/index.php/archiveros/lo-mas/item/2079-frutas-y-hortalizas-mexicanas-en-el-mundo>. [Accesed 15 Jun. 2016].
27. Kangmin, K., Hee-Sun, K., Ye-Jin, J., Wang-Hyu, L., Seralathan, K. K., Jong-Chan, C. & Kui-Jae, L. (2013). The effect of blue-light-emitting diodes on

- antioxidant properties and resistance to *Botrytis cinerea* in tomato. *Journal of plant pathology & microbiology*. 4(9)
28. Lemoine, M. L., Civello, P. M., Martinez, G. A. & Chaves, A. R. (2007). Influence of postharvest UV-C treatment on refrigerated storage of minimally processed broccoli (*Brassica oleracea* var. *Italica*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87(6), pp. 1132-1139.
 29. León, J. (1968). *Fundamentos botánicos de los cultivos tropicales*. [San José], Costa Rica: Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la O.E.A. p. 330.
 30. León, K., Mery, D., Pedreschi, F. & León, J. (2006). Color measurement in $L^*a^*b^*$ units from RGB digital images. *Food Research International*, 39(10), pp. 1086-1091.
 31. Liu, C., Cai, L., Han, X. & Ying, T. (2011). Temporary effect of postharvest UV-C irradiation on gene expression profile in tomato fruit. *Gene*, 468(1) pp. 56-64.
 32. Liu, L. H., Zabarás, D., Bennett, L. E., Aguas & P., Woonton, B. W. (2009). Effects of UV-C, red light and sun light on the carotenoid content and physical qualities of tomatoes during post-harvest storage. *Food Chemistry*, 115(2), pp. 495-500.
 33. Llerena-Silva, W. M. (2014). Estudio de la relación entre el color y el contenido de antioxidantes de seis frutas tropicales y andinas: Arazá (*Eugenia stipitata*), Mora (*Rubus glaucus*) variedad Iniap Andimora 2013, Mortiño (*Vaccinium floribundum* Kunth), Naranjilla (*Solanum quitoense*) variedad Iniap Quitoense 2009, Tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) variedad Anaranjado Gigante y Uvilla (*Physalis peruviana* L.) variedad Golden Keniana. Ambato. Ecuador: Universidad Tecnológica de Ambato. p. 25.
 34. Long, J. C. & Jenkins, G. I. (1998). Involvement in plasma membrane redox activity and calcium homeostasis in UV-B and UV-A/Blue Light induction of gene expression in *Arabidopsis*. *The Plant Cell*, 10(12), pp. 2077-2086.

35. López-Barreras, F. (2007). Preelaboración y conservación de alimentos. Libros EnRed. pp. 63-65.
36. López-Camelo, A. F. (2003). *Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas: Del campo al mercado*. [Roma], Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. p. 3.
37. López-Díaz, A.S., Palou, E. & López-Malo, A. (2012). Radiación ultravioleta en jugos de frutas: fundamentos y aplicaciones. Temas selectos de ingeniería de alimentos. Puebla, México: Universidad de las Américas Puebla. pp. 79-93.
38. Manrique, G. D. & Lajolo, F. M. (2004). Cell-wall polysaccharide modifications during postharvest ripening of papaya fruit (*Carica papaya*). *Postharvest Biology and Technology*, 33(1), pp. 11-26.
39. Montoya-Villafañe, H. H. (2008). *Microbiología básica para el área de la salud y afines*. [Medellin], Colombia: Universidad de Antioquia. p. 218.
40. Nigro, F., Ippolito, A. & Lima, G. (1998). Use of UV-C light to reduce *Botrytis* storage rot of table grapes. *Postharvest Biology and Technology*, 13(3), pp. 171-181.
41. Norma Oficial Mexicana. (1994). *NOM-092-SSA1-1994, bienes y servicios. Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa*. [online] Salud.org.mx. Available at: <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/092ssa14.html>. [Accesed 23 Aug. 2015].
42. Norma Oficial Mexicana. (1994). *NOM-111-SSA1-1994, bienes y servicios. Método para la cuenta de mohos y levaduras en alimentos*. [online] Salud.org.mx. Available at: <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/111ssa14.html>. [Accesed 23 Aug. 2015]
43. Nuñez-Colín, C. A., Escobedo-López, D., Hernández-Martínez, M. A., Ortega-Ramírez, C. & (2012). Modelos de las zonas adecuadas de adaptación del tejocote (*Crataegus mexicana* D.C.) por efecto del cambio climático. *Agronomía Mesoamericana*, 23(2), p.241.

44. Ochoa-Velasco, C. E., Cruz-González, M. & Guerrero-Beltrán, J. A. (2014). Ultraviolet-C light inactivation of *Escherichia coli* and *Salmonella typhimurium* in coconut (*Cocos nucifera* L.) milk. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 26, pp. 199-204.
45. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO. (2003). *Prioridad mundial al consumo de fruta y hortalizas*. [online] Fao.org. Available at: <http://www.fao.org/spanish/newsroom/focus/2003/fruitveg1.htm>. [Accesed 15 Jun. 2016].
46. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO. (1993). *Prevención de pérdidas de alimentos poscosecha: frutas, hortalizas, raíces y tubérculos*. [Roma], Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. pp. 113-114.
47. Organización Mundial de la Salud OMS. (2015). *Fomento del consumo mundial de frutas y verduras*. [online] Who.int. Available at: <http://www.who.int/dietphysicalactivity/fruit/es/>. [Accesed 15 Jun. 2016]
48. Palmero, J. A., García, M. A., Avila, E. C & Suárez, M. D. (2007). Evaluación de la respuesta de la combinación de carne de chivo, pollo y cerdo en jamón cocido. *AGROLLANIA*, 4, pp. 23-36.
49. Pan, J., Vicente, A. R., Martínez, G. A., Chaves, A. R. & Civello, P. M. (2004). Combined use of UV-C irradiation and heat treatment to improve postharvest life of strawberry fruit. *Journal of the science of food and agriculture*, 84(14), pp. 1831-1838.
50. Pataro, G., Sinik, M., Capitoli, M. M., Donsi, G. & Ferrari, G. (2015). The influence of post-harvest UV-C and pulsed light treatments on quality and antioxidant properties of tomato fruits during storage. *Innovative food science and emerging technologies*, 30, pp. 103-111.
51. Pelayo, M. (2007). *Métodos alternativos de conservación de alimentos*. [online] Consumer.es: <http://www.consumer.es/web/es/alimentacion/tendencias/2007/06/15/27934.php>. [Accesed 15 Jun. 2016].

52. Pérez-Lainez, M. D. (2014). Perfil fotoquímico del aceite esencial del fruto del tejocote mexicano (*Crataegus* spp.). Maestría. Universidad Autónoma de Chapingo.
53. Pluma-Alvarado, V., López-Valdéz, F. & Luna-Suárez, S. (2004). Evaluación de algunos agentes químicos para la inhibición del oscurecimiento enzimático de tejocote (*Crataegus mexicana*). En: *VII Encuentro Ibero Americano Sobre las Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias*. Cuba. P.11.
54. Pongprasert, N., Sekosawa, Y., Sugaya, S., & Gemma, H. (2011). The role and mode of action of UV-C hormesis in reducing cellular oxidative stress and the consequential chilling injury of banana fruit peel. *International Food Research Journal*, 18(2), pp. 721- 729.
55. 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. *Tumbaga*, 1(8), pp. 29-60.
56. Sánchez-Ramos Roda, C. (2010). *Filtros ópticos contra el efecto fototóxico del espectro visible en la retina: Experimentación animal*. [Madrid]. España: Universidad Europea de Madrid. p. 12.
57. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación SAGARPA. (2015). Puebla lidera producción nacional de tejocote con un rendimiento de 5.1 toneladas por hectárea. Puebla, México: SAGARPA.
58. Suaste-Gómez, E. & Rodríguez-Guzmán, M. D. (2007). *Acción del espectro electromagnético visible como elemento de diagnóstico médico*. [México]. México: p. 44.
59. Suzuki, Y., Kumagai, T. & Oda, Y. (1977). Locus of blue and near ultraviolet reversible photoreaction in the stages of conidial development in *Botrytis cinerea*. *Microbiology*, 98(1), pp. 199-204.
60. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC). Facultad de Agronomía. (1980). *Curso sobre preparación y evaluación de proyectos agropecuarios y agroindustriales*. [Tunja], Colombia: IICA. pp. 47-49

61. Valero-Muñoz A. (2013). *Principios de color y holopintura*. [San Vicente] España. Club Universitario. p. 130.
62. Velasco-Hernández, A. (2012). Comportamiento pre y postcosecha de frutos de siete accesiones de tejocote (*Crataegus* spp.). Texcoco, México: Instituto de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas. p. 4.
63. Vicente, A. R., Pineda, C., Lemoine, L., Civello, P. M., Martinez, G. A. & Chaves, A. R. (2005). UV-C treatments reduce decay, retain quality and alleviate chilling injury in pepper. *Postharvest biology and technology*, 35(1). pp. 69-78.
64. Vivar-Vera, M. A., Salazar-Montoya J. A., Calva-Calva G. & Ramos-Ramírez E. G. (2007). Extraction, thermal stability and kinetic behavior of pectinmethylesterase from hawthorn (*Crataegus pubescens*) fruit. *Food Science and Technology*, 40(2). pp. 278–284.
65. Wright, H.B. & Cairns, W.L. (1998). Ultraviolet light. Ontario, Canadá. Trojan Technologies Incorporation.
66. 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, pp. 181-186.
67. Yaun, B. R., Sumner, S. S., Eifert, J. D. & Marcy, J. E. (2004). Inhibition of pathogens on fresh produce by ultraviolet energy. *Journal of food microbiology*. pp. 1-8.
68. Ying-Ku, L., Kai-Hui, S. & Wei-Chiang, S. (2005). Blue light negatively regulates the sexual filamentation via the Cwc1 and Cwc2 proteins in *Cryptococcus neoformans*. *Molecular Microbiology*, 56. pp. 480-491
69. Yong-Gui, P. & He, Z. (2012). Effect of UV-C radiation on the quality of fresh-cut pineapples. *Procedia Engineering*, 37, pp. 113-119.