



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS

DEPARTAMENTO DE BIOQUÍMICA- ALIMENTOS

TESIS

Evaluación de estrés abiótico sobre las características de calidad durante el almacenamiento del jitomate cherry (*Solanum lycopersicum* L.) variedad cerasiforme.

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIATURA EN QUÍMICO FARMACOBIOLOGO

PRESENTA:

p.Q.F.B. Sandra Adriana Alejandra Barona Rivera

DIRECTOR DE TESIS

D.C. Carlos Enrique Ochoa Velasco

Co-DIRECTOR DE TESIS:

D.C. Raúl Ávila Sosa Sánchez



Fecha: Diciembre 2018

ÍNDICE

	Pag.
ÍNDICE DE TABLAS	IV
ÍNDICE DE FIGURAS	V
RESUMEN	VI
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	2
2.1.1 Generalidades del jitomate cherry (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) variedad cerasiforme.	2
2.1.2 Índices de calidad	3
2.1.2. Condiciones de almacenamiento	4
2.2. Estrés abiótico	5
2.2.1. Factores de estrés abiótico	5
2.3. Luz	8
2.3.1 Luz visible	9
2.3.2 Luz ultravioleta	9
2.3.3. Luz azul	12
3. JUSTIFICACIÓN	13
4. OBJETIVOS	14
5. DIAGRAMA DE TRABAJO	15
6. MATERIALES Y MÉTODOS	16
7. METODOLOGÍA	18

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
8.1 Selección de temperatura	22
8.2 Caracterización fisicoquímica de jitomate cherry.	22
8.2.1. Acidez titulable	22
8.2.2 Ph	23
8.2.3.Sólidos Solubles Totales	24
8.2.4. Color	25
8.2.5. Textura	32
8.3. Crecimiento Microbiano	34
9. CONCLUSIONES	35
10.SUGERENCIAS	38
11.REFERENCIAS	39
12.ANEXO I	40

ÍNDICE DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1. Equipos, modelo y marca usados en el presente estudio.	16
Tabla 2. Métodos y fundamentos de técnicas usadas.	17
Tabla 3. Diseño factorial de caras centradas con luz azul y luz UV-C a diferentes tiempos de exposición y temperaturas para establecer condiciones de estudio.	20
Tabla 4. Diseño factorial de caras centradas con luz azul (0, 3.5 y 7 minutos de exposición) y luz UV-C (0, 2.5 y 5 minutos de exposición) como factores experimentales.	21
Tabla 5. Parámetros de color evaluados el día 0 y el día 20 de almacenamiento para la selección de temperatura.	22
Tabla 6. Efecto de los tratamientos con luz UV-C y luz azul sobre acidez titulable de jitomate cherry almacenado durante 20 días.	23
Tabla 7. Efecto de los tratamientos con luz UV-C y luz azul sobre pH de jitomate cherry almacenado durante 20 días.	24
Tabla 8. Efecto de los tratamientos con luz UV-C y luz azul sobre sólidos solubles totales (SST) de jitomate cherry almacenado durante 20 días.	25
Tabla 9. Valores de "hue" de los tratamientos de jitomate cherry el día 20.	30
Tabla 10p. Efecto de los tratamientos con luz UV-C y luz azul sobre análisis microbiológico de bacterias mesófilas aerobias del jitomate cherry almacenado durante 20 días.	35
Tabla 11. Efecto de los tratamientos con luz UV-C y luz azul sobre análisis microbiológico de mohos y levaduras del jitomate cherry almacenado durante 20 días.	36

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1. Espectro de luz visible, que muestra el rango de frecuencias y longitudes de onda (en aire) de los diversos colores.	9
Figura 2. Efecto de los tratamientos con luz UV-C y luz azul sobre la luminosidad del jitomate cherry almacenado durante 20 días.	26
Figura 3. Efecto de los tratamientos con luz UV-C y luz azul sobre “a” (componentes rojo-verde) de jitomate cherry almacenado durante 20 días.	27
Figura 4. Efecto de los tratamientos con luz UV-C y luz azul sobre “b” (componente azul-amarillo) de jitomate cherry almacenado durante 20 días.	28
Figura 5. Gráfico de superficie de respuesta sobre el efecto de los tratamientos con luz UV-C y luz azul sobre “b” de jitomate cherry almacenado durante 20 días	28
Figura 6. Efecto de los tratamientos con luz UV-C y luz azul sobre “hue” (tono o matiz) de jitomate cherry almacenado durante 20 días	30
Figura 7. Gráfico de superficie de respuesta sobre el efecto de los tratamientos con luz UV-C y luz azul sobre “hue” de jitomate cherry almacenado durante 20 días	31
Figura 8. Efecto de los tratamientos con luz UV-C y luz azul sobre “croma” (pureza o saturación de color) de jitomate cherry almacenado durante 20 días.	32
Figura 9. Gráfico Efecto de los tratamientos con luz UV-C y luz azul sobre la firmeza de jitomate cherry almacenado durante 20 días.	33
Figura 10. Gráfico de superficie de respuesta sobre el efecto de los tratamientos con luz UV-C y luz azul sobre la firmeza de jitomate cherry almacenado durante 20 días.	33
Figura A1. Estándares de clasificación de jitomates de la USDA (2005)	47

RESUMEN

El jitomate es un producto altamente consumido en México y el tratamiento con luz ultravioleta ha probado incrementar sus características antioxidantes así como mantener por más tiempo sus características fisicoquímicas y disminuir los agentes microbiológicos que los atacan. Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto del estrés abiótico sobre factores de calidad del jitomate cherry. Para realizarlo, se seleccionaron jitomates cherry (*Solanum lycopersicum L.*) variedad cerasiforme, se irradiaron y se realizó la medición de los parámetros de color, textura, pH, sólidos solubles totales, bacterias mesófilas aerobias, recuento de mohos y levaduras, los distintos parámetros fueron evaluados cada 4 días durante 20 días de almacenamiento a una temperatura de 5°C. El tratamiento con luz ultravioleta y luz azul demostró que, al tiempo 0 microbiológicamente no había bacterias mesófilas aerobias, mohos ni levaduras presentes en el fruto, en cuanto al aspecto fisicoquímico el día 0 casi todos los tratamientos mostraron estar en un rango parecido, sin embargo, después de 20 días de almacenamiento se observó un cambio significativo en los parámetros de textura, color y el aspecto microbiológico; lo cual puede deberse al incremento de los antioxidantes como lo son los carotenos, licopenos y fenoles; además de una disminución de la firmeza debido a una relación entre la irradiación de luz UV-C y luz azul con respecto a las enzimas ubicadas en el pericarpio del fruto. Se concluye que, el tratamiento con luz azul y luz ultravioleta puede ayudar al cambio de color, textura y disminución de población microbiana en el jitomate cherry.

1. INTRODUCCIÓN

La maduración de las frutas y hortalizas comprende tanto cambios físicos como químicos que ocurren en el fruto hasta alcanzar la maduración fisiológica y/o comestible, dando lugar a un producto atractivo por su apariencia externa, aroma y sabor. Estos cambios se deben a transformaciones en la actividad enzimática y composición que determinan el sabor característico de los mismos (Martín-Hernández *et al.*, 2012). El color es uno de los aspectos que más notablemente varía durante la maduración del fruto; la pérdida de clorofila presente en los cloroplastos está asociada a la síntesis de carotenos y licopenos, los cuales aparte de dar el color característico del jitomate, provee al fruto de ciertas propiedades antioxidantes (Casierra-Posada & Aguilar-Avedaño, 2008).

Debido a que el jitomate es un producto altamente consumido en México, el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera reportó una producción de 1, 074,690 toneladas de jitomate de las cuales en Puebla hubo una producción de 1,221 toneladas de jitomate (SIAP, 2017). El jitomate cherry es evaluado por factores de calidad, entre los cuales se consideran todas las características valoradas por los consumidores, así como la forma, el color, la ausencia de daños físicos y microbiológicos, el sabor, el aroma, la textura y el contenido nutricional. Son numerosos los factores que determinan la calidad del fruto entre las cuales podemos mencionar el contenido en azúcares, el grado de maduración, la nutrición vegetal, el genotipo y el manejo postcosecha (Ruíz-Martínez *et al.*, 2012).

Debido a lo anterior, por la gran producción e importancia que tiene el jitomate cherry para la gastronomía como para la agricultura, es importante explorar las alternativas de almacenamiento así como la conservación que mejoren la competitividad del producto en el mercado actual (Notario-Medellín & Sosa Morales, 2012). Por lo que el objetivo de esta investigación, es explorar el efecto del tratamiento con luz UV-C y/o luz azul sobre el color, la textura y la carga microbiana de jitomate cherry almacenado a 5°C para alargar la vida de anaquel del producto.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Generalidades del jitomate cherry (*Solanum lycopersicum* L.) variedad cerasiforme.

La palabra jitomate deriva de los vocablos náhuatl *xictl* (ombligo) y *tomatl* (tomate) que significa tomate de ombligo. Es originario de la región Sur Central de Perú, y por su amplia habilidad de adaptación puede cultivarse en ambientes secos y húmedos. Por las evidencias históricas, culturales, lingüísticas y etnobotánicas, se cree que fue domesticado en México alrededor del año 1523, distribuyéndose a Europa después de la conquista española. Su taxonomía es: Reino *Plantae*, División *Magnoliophyta*, Clase *Magnoliopsida*, Subclase *Astride*, Orden *Solanales*, Familia *Solanaceae*, Género *Solanum*, Especie *S. lycopersicum* L (Notario-Medellín & Sosa-Morales, 2012).

La fruta es una baya carnosa, dividida en su interior en 2 a 18 lóculos o celdas; el tomate tipo cherry tiene 2 lóculos. Presenta una variación en tamaño entre cultivares desde 0.5 hasta 6 pulgadas de diámetro. La superficie de la fruta es lisa o lobulada, y brillante al madurar. La fruta en estadio joven presenta en su superficie una leve vellosidad que luego desaparece. Su forma usualmente es globosa o deprimida en uno de los extremos (oblada), pero existen las de forma casi cuadrada, alargada, ovalada, en forma de pera (piriforme) o variantes de las formas antes mencionadas (Fornaris, 2007).

El jitomate ocupa un lugar preponderante con relación al desarrollo económico y social de la agricultura a nivel mundial, reportándose que requiere de 140 jornales por hectárea. En lo que respecta a superficie sembrada existen más de 90,000 hectáreas, de las que aproximadamente el 33% se sitúan en el Estado de Sinaloa. La producción de jitomate en México creció a una tasa promedio anual de 3.3 por ciento entre 2005 y 2015, para ubicarse en 3.1 millones de toneladas (FIRA, 2016).

En la maduración del producto, las clorofilas se degradan y se sintetizan los carotenoides, los cuales le confieren al jitomate la coloración anaranjada tenue que culmina en un rojo intenso (Luna-Guevara & Delgado-Alvarado, 2014). El color rojo, el cual, se debe al pigmento carotenoide licopeno, β -caroteno además

de la clorofila; el color amarillo a otros pigmentos carotenoides como β -caroteno y el γ -caroteno específicamente, los cuales ayudan a contrarrestar los efectos dañinos de radicales libres (Hernández-Pérez, 2017). Los colores intermedios entre ellos, se deben a diferentes proporciones de estos pigmentos en la pulpa (pericarpio), en combinación con el color que adquiere la piel de la fruta (Fornaris, 2007).

El jitomate es un alimento poco energético que solo aporta apenas 0.2 Kcal g⁻¹. Es una fuente tanto de fibra como de minerales, por ejemplo, el potasio y fósforo; así como de vitamina C, E, provitamina A además de vitaminas del grupo B, en especial B1 y B3. Presenta un alto contenido de carotenos como el licopeno. El alto contenido de vitaminas y presencia de carotenos en el tomate convierten a éste en una importante fuente de antioxidantes (Rosales-Villegas, 2008).

2.1.2 Índices de calidad

Jones, (1999) define la calidad en función del uso al que va a ser destinado el producto por lo que en el caso del jitomate fresco se debe entender al concepto de "calidad total" considerando todas las características valoradas por los consumidores, no sólo la forma, el color, así como la ausencia de daños, sino también el sabor, el aroma, la textura y el contenido nutricional. A continuación se mencionan los siguientes parámetros de calidad según diversos autores:

- Apariencia física: color, tamaño, forma, defectos y deterioro. La calidad del jitomate estándar se basa principalmente en la uniformidad de la forma (dependiendo del tipo puede ser redondo, forma globosa, globosa aplanada u ovalada) y el color (anaranjado-rojo a rojo intenso o amarillo claro, evitando las manchas), y en la ausencia de defectos de crecimiento y manejo. El tamaño no es un factor que defina el grado de calidad, pero puede influir de manera importante en las expectativas de su calidad comercial.
- Textura: los atributos texturales más importantes en el jitomate son carnosidad, jugosidad, harinosidad y sobre todo la firmeza. El jitomate debe ser firme al tacto, no debe estar suave ni deformarse fácilmente debido a sobremadurez. En este sentido, las demandas de los

consumidores quedan relegadas, ya que con frecuencia los altos rendimientos están inversamente relacionados con aspectos de calidad como sabor y/o color.

- Sabor: son numerosas las causas que determinan la variación del sabor del jitomate, entre las que podemos mencionar: el contenido en azúcares, el grado de maduración, la nutrición vegetal, el genotipo y el manejo postcosecha. La intensidad del sabor del fruto está determinada principalmente por el contenido en azúcares (fundamentalmente fructosa y glucosa), de ácidos orgánicos (cítrico, málico y acidez total) y la composición de compuestos volátiles. El gusto del consumidor determina que una mayor relación azúcares/acidez genera un efecto favorable en el sabor (Baldwin *et al.*, 1998)
- Características nutricionales: el contenido nutricional del tomate ha ganado interés ya que los consumidores están alcanzando una mayor conciencia sobre la salud, pues existe una relación inversa entre el consumo de tomate y el riesgo en la aparición de ciertos tipos de cáncer, enfermedades cardiovasculares y degeneración muscular relacionada con la edad. Esto es debido a su elevado contenido en compuestos antioxidantes y minerales (Dorais *et al.*, 2008).

2.1.3 Condiciones de Almacenamiento

La refrigeración consiste en la conservación de los productos a bajas temperaturas, pero por encima de su temperatura de congelación. De manera general, la refrigeración se enmarca entre -1°C y 8°C . De esta forma se consigue que el valor nutricional y las características organolépticas no se diferencien de los productos al inicio de su almacenaje (Umaña-Cerros, 2007). La actividad de los microorganismos que deterioran los alimentos, se elimina o retarda con mayor eficacia con el empleo de frío (Aguilar-Morales, 2012).

El almacenamiento en frío, es un método utilizado para prolongar la vida útil de los frutos climatéricos, se puede afectar su calidad nutricional provocando daño por frío. Este tipo de estrés se produce durante el almacenamiento por debajo de 10°C en las frutas carnosas, al que el tomate es sensible. El jitomate es un

fruto climatérico y por lo tanto perecedero, por lo que requiere el uso de tecnologías de conservación que retrasen el proceso de maduración, que se produce, después de la cosecha para de ese modo extender la calidad y la vida útil del fruto. Los frutos de tomate se almacenan en frío 10-15°C para extender su vida útil (Constán-Agilar, 2014).

El daño por frío son presentados cuando son almacenados a temperaturas inferiores a 10°C por periodos mayores a 2 semanas, y a 5°C por periodos mayores de 6-8 días; éste se caracteriza por falta de madurez (color y sabor), color irregular, picaduras en la superficie y formación de áreas blandas y oscurecimiento de las semillas; favoreciendo una mayor susceptibilidad de que el producto sea atacado por microorganismos (Notario-Medellín & Sosa-Morales, 2012).

2.2 Estrés abiótico

Existen varias clasificaciones en los factores de estrés. En general, se dividen en estrés biótico y abiótico; éste último, dependiendo del agente causal, se dividen en físicos y químicos. Entre los factores físicos se pueden mencionar el estrés por déficit o exceso de agua, temperaturas extremas (calor, frío, congelación), salinidad (en su componente osmótico) y radiación. Entre los factores químicos destacan la contaminación atmosférica por metales pesados, toxinas, salinidad (en su componente iónico o tóxico) y carencia de elementos minerales (Azcón-Bieto & Talón, 2010).

2.2.1 Factores de estrés abiótico

A continuación se mencionan los factores de estrés abiótico:

a) Temperatura

En el fruto, el efecto directo de la alta temperatura induce daño en membranas celulares, proteínas y ácidos nucleicos; de forma indirecta, inhibición de la síntesis de pigmentos y/o degradación de los ya existentes, produciéndose una amplia gama de síntomas de escaldado y quemaduras. En manzanas, fresas y peras se ha puesto de manifiesto una relación entre firmeza y temperatura, la

cual se mantiene mejor a temperaturas bajas. En algunos casos se aprecian efectos globales que afectan a la maduración, inhibiéndola o acelerándola, como en plátano y calabaza respectivamente. Concretamente en el jitomate, cuando las condiciones de alta temperatura se prolongan durante un largo periodo, puede afectar a la fisiología y morfología de los frutos. Algunos de estos efectos pueden verse amplificados cuando las altas temperaturas están asociadas a una radiación solar intensa, afectando no solo a las alteraciones de color (pardeamientos) sino también, a las propiedades organolépticas, debido a cambios en el contenido en sólidos solubles y acidez valorable. Las altas temperaturas también pueden provocar la aparición de BER lo cual es una fisiopatía muy común en cultivos de tomate y pimiento consistente en la podredumbre apical de los frutos que los invalida comercialmente. Esto es, debido a que el aumento de temperatura provoca una disminución de la transpiración, limitando el transporte de Ca^{2+} a los frutos. Dependiendo del cultivo, la temperatura puede tener mayor o menor influencia en la calidad nutricional, por ejemplo, aunque temperaturas inferiores a 20°C favorecen el aumento de la vitamina C en diversos cultivos hortícolas, en el tomate la acumulación máxima tiene lugar entre 27 y 30°C (Hernández-Pérez, 2017).

b) Salinidad

Las principales sales que se encuentran en los suelos y que afectan negativamente a la producción vegetal son cloruros (Cl^{-}) y sulfatos de sodio (Na_2SO_4), calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}) y potasio (K^{+}), siendo Na^{+} , Cl^{-} y SO_4^{2-} los iones más perjudiciales para las plantas. Las causas principales de la salinización del suelo suelen ser el uso excesivo de fertilizantes, utilización de aguas de mala calidad, suelos asfixiantes y la tala de vegetación arbórea que favorezca la lixiviación a aguas subterráneas. El tomate es un cultivo que puede ser utilizado en zonas donde la calidad del agua y del suelo sería muy limitante para otros cultivos, ya que es moderadamente sensible a la salinidad (Hernández-Pérez, 2017).

En la planta se acumulan iones que son benignos para el crecimiento y desarrollo del cultivo, como lo son el potasio (K), solutos orgánicos simples (azúcares simples como fructuosa y glucosa), alcoholes derivados de azúcares y azúcares

complejos (manitol), además de diferentes aminoácidos; la acumulación de estos compuestos permite a las células disminuir su potencial osmótico, hecho que facilita el movimiento del agua hacia el interior de las células de las raíces. La salinidad provoca un “efecto específico” asociado a los desequilibrios iónicos producidos en las células normalmente por la absorción y acumulación masiva de iones, como Cl^- y Na^+ , en concentraciones tóxicas para las plantas. Esta acumulación origina una cadena de efectos secundarios, como son: problemas de toxicidad específica y de desequilibrio nutricional, vinculados a la menor absorción de iones esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Así, elevadas concentraciones de Na^+ en la solución externa, causan una disminución en las concentraciones de K y Ca en los tejidos de las plantas (Hernández-Pérez, 2017).

Estudios demostraron que en alta salinidad, los iones Ca^{2+} y K^+ son aumentados, además que se acumulan menos iones Na^+ y Cl^- ; además hay una ligera disminución en los rasgos de calidad de la fruta tales como la Vitamina C, acidez titulable (TA) y sólidos solubles totales (TSS) (Gerszberg & Hnatuszko-Konka 2017).

c) Humedad

Bajo invernadero, la humedad ambiental juega un papel relevante en el desarrollo del cultivo. El aire se enriquece de vapor de agua por evaporación del suelo y por transpiración de las plantas, como mecanismo para refrigerarse, transportar nutrientes y regular su crecimiento. La transpiración depende del déficit de saturación entre las estomas y el aire. Cuando los déficits de saturación son demasiado altos o demasiados bajos influyen en la fisiología del cultivo y su desarrollo (Hernández-Pérez, 2017).

Los valores de humedad para el cultivo de tomate oscilan entre 70 y 80% y siempre inferiores al 90%, ya que valores superiores favorecen el desarrollo de enfermedades, especialmente la provocada por *Botrytis cinerea* (hongo que causa enfermedades postcosecha en las frutas y verduras. Bakai-Golan et al., 2001). En condiciones de baja humedad relativa, la tasa de transpiración aumenta, lo que puede provocar, especialmente en fase de fructificación cuando

la actividad radicular es menor, estrés hídrico, cierre estomático y reducción de la fotosíntesis (Hernández-Pérez, 2017).

Por otro lado, valores excesivos de humedad reducen el cuajado del fruto en tomate. Los efectos negativos de la alta humedad relativa pueden ser más drásticos si se combinan con baja iluminación, reduciéndose la viabilidad del polen. Además, bajo estas condiciones, se ve limitada la evapotranspiración del cultivo, reduciéndose la absorción de agua y nutrientes y generándose un déficit de elementos como Ca^+ lo que induce desórdenes fisiológicos (podredumbre apical) (Hernández-Pérez, 2017).

2.3 Luz

Existen evidencias de que la luz puede afectar al contenido de compuestos antioxidantes de los frutos, probablemente debido al papel fotoprotector de estos compuestos. La luz es un estímulo que activa un amplio rango de genes en las plantas, relacionados con la fotosíntesis y foto morfogénesis. Algunos estudios, describen que la luz regula procesos tan importantes como la activación de genes que inducen la biosíntesis de carotenoides y que estos metabolitos son requeridos durante la fotosíntesis en plantas y algas (Hernández-Pérez, 2017).

El jitomate es un cultivo clasificado como planta de día neutro (PDN), es decir, florece independientemente de la longitud del día, aunque requiere buena iluminación. La limitación lumínica reduce la fotosíntesis neta de la planta y, por lo tanto, implica una mayor competencia por los fotoasimilados, incidiendo de forma negativa sobre el desarrollo vegetativo, en los procesos de floración y fecundación, afectando finalmente a la producción. En particular, en jitomate, la luz juega un papel fundamental en la concentración de metabolitos de interés, como vitamina C, carotenoides y compuestos fenólicos. En los momentos críticos durante el período vegetativo, resulta crucial la interrelación existente entre la temperatura diurna y nocturna y la luminosidad. Valores de radiación total diaria en torno a $0,85 \text{ MJ m}^{-2}$ (megajoules) son los umbrales considerados mínimos para la floración y cuajado, siendo preferible mayor iluminación en menor período de tiempo que iluminaciones más débiles durante más tiempo (Hernández-Pérez, 2017).

2.3.1 Luz visible

La luz visible (espectro visible) consta de frecuencias que van desde 4×10^{14} hasta 7.5×10^{14} Hz, que corresponden a las longitudes de onda en el aire de aproximadamente 400 a 750 nm. Dentro del espectro visible se encuentran los diferentes colores desde el violeta hasta el rojo (Figura 1) (Giancoli, 2006).

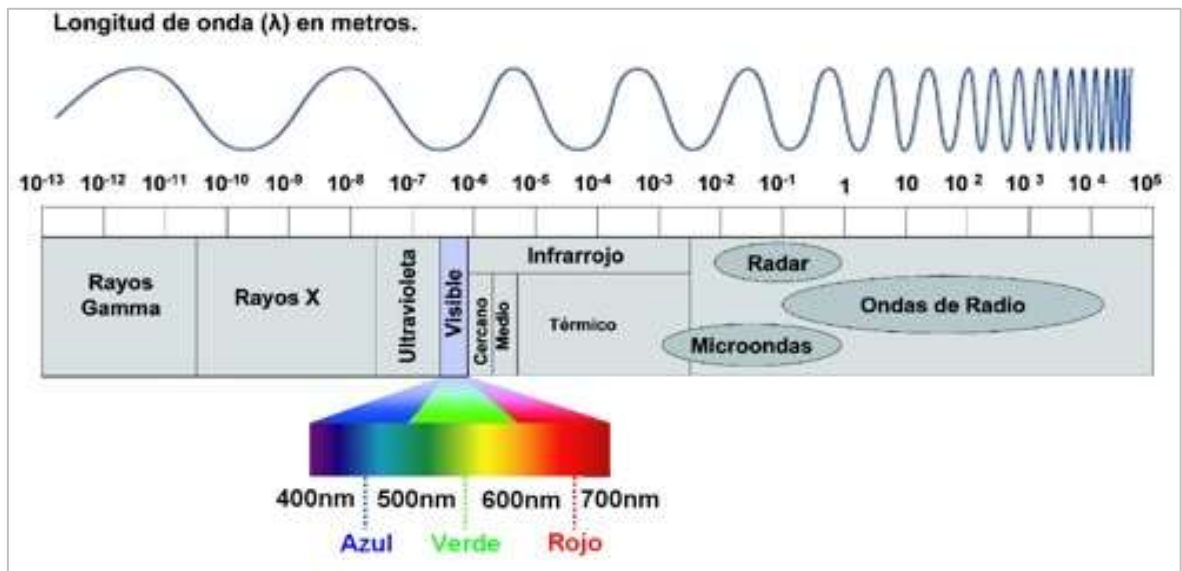


Figura. 1. Espectro de luz visible, que muestra el rango de frecuencias y longitudes de onda (en aire) de los diversos colores. Adaptada de (Giancoli, 2006).

2.3.2 Luz Ultravioleta

La radiación ultravioleta (UV) se encuentra entre las bandas de rayos X y la luz visible del espectro electromagnético, con longitudes de onda que van desde 100 hasta 400 nm. Adicionalmente, la radiación ultravioleta se subdivide en 3 regiones: UV onda corta, UV de onda media y UV de onda larga. (Gutiérrez *et al.*, 2012). Según el efecto que causan en los seres vivos los intervalos son los siguientes: región UV de onda corta 200-280 nm (UV-C), UV de onda media (UV-B) 280–315 nm y UV onda larga (UV-A) 315–400 nm. (OMS, 2003). La luz ultravioleta de onda corta es llamada rango germicida el cual es efectivo inactivando bacterias y virus especialmente a 254 nm. La luz ultravioleta de onda media es relacionada con quemaduras en la piel o cambios de coloración a exposición prolongada. La luz ultravioleta de onda larga tiene efecto germicida

menor comparado, la luz UV-C o de onda corta en las células microbianas (González-Déctor, 2006).

Se han elaborado diversas lámparas de luz UV-C para obtener diferentes condiciones y mejorar los resultados. Gutiérrez *et al.*, (2012) menciona algunos ejemplos que a continuación se citan:

- a) Lámparas de mercurio: Consiste de un tubo herméticamente cerrado de sílica vítrea 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.
- b) 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.
- c) 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.

La luz UV es considerada una de las tecnologías de procesamiento mínimo así como la alta presión, pulsos electrónicos, ultrasonidos en potencia, ozonos y los campos electromagnéticos oscilantes. El interés reciente de estas tecnologías es obtener alimentos de alta calidad con características frescas y proporcionar éstos con funcionalidades mejoradas. Estudios demuestran resultados favorables acerca del uso de irradiación UV-C como una técnica de conservación de alimentos no térmica. La exposición post cosecha de diferentes cultivos a bajas dosis de irradiación muestran una mejora en el almacenamiento (Márquez-Villacorta, 2013). La aplicación de la irradiación UV-C es usada para la descontaminación (inactivación de bacterias, mohos y levaduras), el control de patógenos y la mejora del tiempo de vida útil de frutas enteras, cortadas y de sus productos. Como tratamiento post cosecha, la irradiación UV reduce la velocidad de maduración y retrasa la senescencia de la fruta, induce la acumulación de compuestos bioactivos y reduce desórdenes fisiológicos (González-Aguilar *et al.*, 2007). Los tratamientos de estrés abiótico, como la irradiación UV-C, afecta el metabolismo secundario de los productos frescos e incrementan la síntesis de compuestos fotoquímicos con actividad antioxidante; los carotenoides, el ácido ascórbico y los compuestos fenólicos aumentan (Artés-Hernández *et al.*, 2010). Se ha reportado que la exposición a dosis bajas de UV-C como un tratamiento alternativo o combinado a la refrigeración contribuyen a la preservación de frutas y hortalizas; estudios muestran que retrasó la maduración y senescencia en manzana, mango, durazno y naranja (Andrade-Cuvi *et al.*, 2010), además de controlar el desarrollo de hongos asociados con procesos de maduración el papaya, uva y calabaza. En el sector hortícola eso permite reducir las pérdidas post cosecha ocasionada por desórdenes fisiológicos como daño por frío, susceptibilidad a ataque de fitopatógenos, daños mecánicos, pérdida de firmeza, entre otros (Moreno-Guerrero *et al.*, 2013).

2.3.3 Luz azul

La luz azul (de 450 a 495 nm en el espectro de luz visible) tiene una corta longitud de onda, y forma parte de la alta energía del espectro visible a comparación de otros colores (Kuse *et al.*, 2014).

Particularmente en las plantas, se ha aislado tres tipos de fotoreceptores que son: los fitocromos, criptocromos y fototropinas, que alteran la expresión de un gran número de genes y controlan su metabolismo y crecimiento. Los fitocromos percibe la luz roja e infrarroja y éstos controlan la germinación, desarrollo de la plántula, reproducción, dormancia, elevación de la sombra, entre otros. Los criptocromos son sensibles a la luz UV-A y azul, regulan respuestas como son: la morfología de la planta, la expresión de los genes, la transición de la floración así como la expansión de la hoja. Las fototropinas son sensibles a la luz UV-A y luz azul, pero solo regulan los movimientos de la planta que hace que se oriente en dirección a la luz; también controlan el movimiento de los cloroplastos (Paniagua-Pardo *et al.*, 2014).

La luz azul particularmente en las plantas 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 potenciar la capacidad antioxidante y la actividad enzimática en algunas frutas así como el aumento de la producción de etileno (Xu *et al.*, 2014b).

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 (Xu *et al.*, 2014a). 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, tanto los polifenoles como las antocianinas de los colores que van desde violeta a rojo (Llerena & Wilma, 2014).

3 JUSTIFICACIÓN

El jitomate cherry es un producto vegetal de gran importancia económica, gastronómica y social en México. Es un producto perecedero que se debe almacenar a bajas temperaturas para poder alargar su vida en anaquel; sin embargo, aún existen pocos estudios acerca de la aplicación de otras tecnologías para incrementar la calidad y/o alargar la vida en anaquel del mismo. La luz UV-C y la luz azul se han evaluado en productos de origen vegetal ya que pueden afectar de manera benéfica la calidad de estos alimentos incrementando no solo las características antioxidantes sino además las características físicas como el color y textura. Por lo anterior, la aplicación de luz UV-C y/o azul podría ser una alternativa para incrementar la calidad y/o vida en anaquel del jitomate cherry.

4 OBJETIVOS

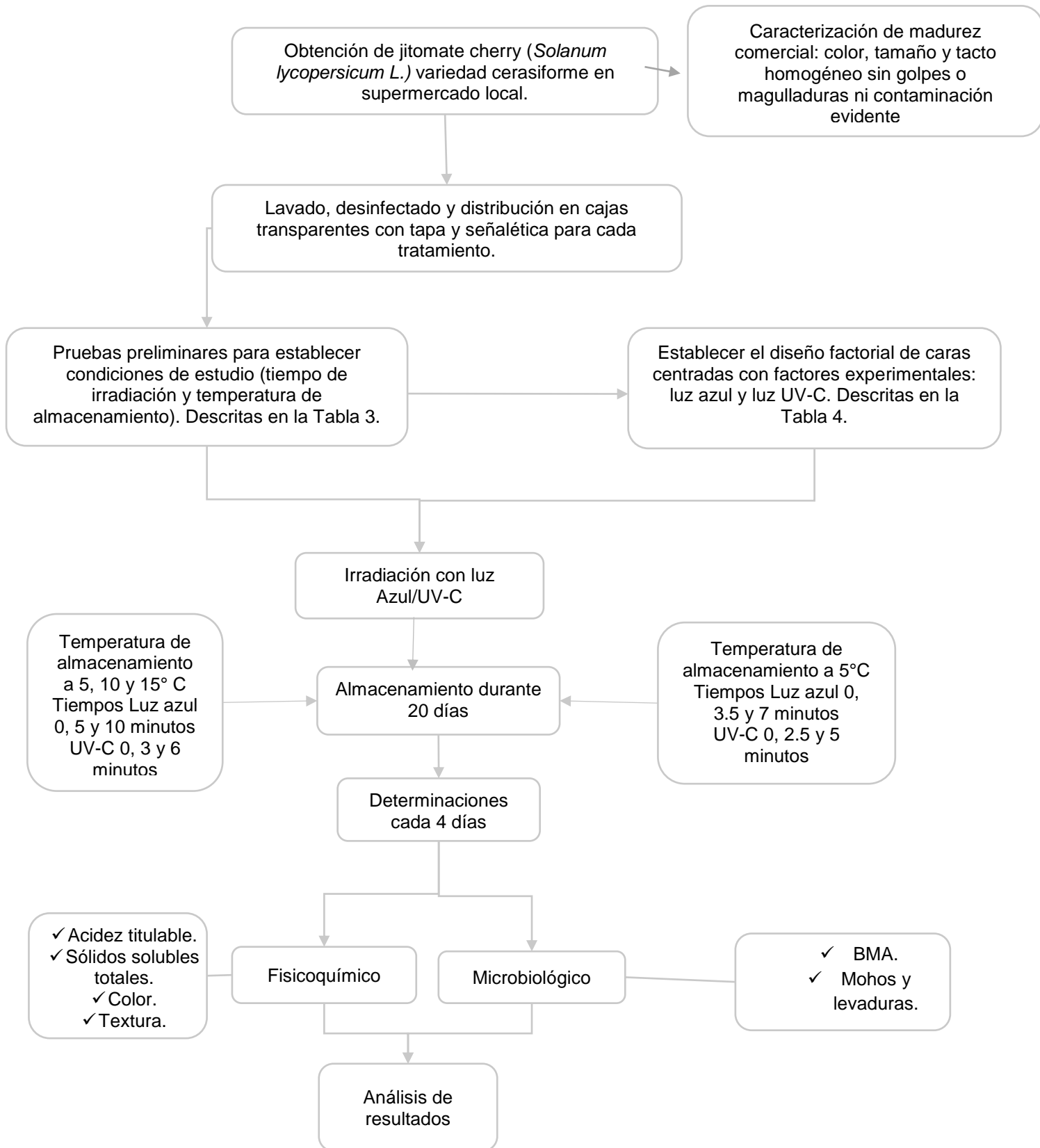
OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto del estrés abiótico sobre factores de calidad del jitomate cherry durante el almacenamiento.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Seleccionar la temperatura de almacenamiento de jitomate cherry a diferentes dosis de irradiación con luz azul y luz UV-C.
2. Evaluar el efecto combinado de la luz azul y luz UV-C sobre la calidad fisicoquímica y microbiológica de jitomate cherry durante el almacenamiento a una temperatura seleccionada.

3 DIAGRAMA DE TRABAJO



4 MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Material: de vidrio, el necesario para cada determinación.

4.2 Reactivos: los necesarios para cada determinación grado analítico.

4.3 Material biológico: jitomate cherry (*Solanum lycopersicum* L.) variedad cerasiforme en buen estado, sin magulladuras ni contaminación evidente obtenidos en un supermercado local.

Tabla 1. Equipos, modelo y marca utilizados en el presente estudio.

Equipo	Modelo	Marca
Lámpara de luz UV-C	TLD15W/03	Philips
Lámpara de luz azul	G15T8	Philips
Balanza analítica	PA313	Ohaus Pioneer
Batidora de inmersión	CE22841	Continental Electric
Autoclave 20 L	500	Geo-Lab
Campana de Flujo Laminar Vertical	CFL-120V	PRENDO SEVE
Parrilla de calentamiento-agitación	Isotep	Fisher Scientific
Incubadora	E-41	BG
Potenciómetro	pH 15	JT Baker
Texturómetro	TA.TX.Plus	Texture Analyser
Refractómetro	4001/4	Spectronic 20 Genesis
Colorímetro	TCR 200	Time Bejing Time high Technology Ltd
Stomaker	Stomaker 400 Circulator	Seward
Refrigerador	WT8420N	Whirlpool
Micropipeta (100-1000µL)	LMP 100	Labmate Pro
Micropipeta (10-100µL)	D-100	Transferpette S

Tabla 2. Métodos y fundamento de técnicas usadas.

Determinación	Método	Referencia
Acidez titulable	Titulación acido-base	Comité del Codex Sobre Frutas y Hortalizas Elaboradas <i>et al.</i> , (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 <i>et al.</i> , (2000)
pH	Potenciometría	NOM-F-317-S-1978
Cuantificación de BMA	Cuenta de bacterias mesófilas aerobias en placa	NOM-092-SSA1-1994
Cuantificación de mohos y levaduras	Cuenta de mohos y levaduras en placa	NOM-111-SSA1-1994

5 METODOLOGÍA

Fase 1: Selección, lavado y desinfectado de materia prima

Se adquirió jitomate cherry en supermercado local, con un grado de madurez comercial nivel 4 o 5 (Anexo1) homogénea: color, tamaño y tacto; sin golpes o magulladuras ni contaminación evidente, se desinfectó con hipoclorito de sodio comercial usando 10 gotas por cada litro de agua potable durante 15 minutos, se enjuagó con agua destilada y se secó con una toalla limpia; se realizó distribución en cajas transparentes con tapa y señalética para cada tratamiento.

Fase 2: Pruebas preliminares para establecer condiciones de estudio.

La selección de la temperatura se realizó mediante pruebas preliminares en las cuales se trabajó con un lote de jitomate cherry a diferentes temperaturas (5, 10 y 15°C) en las cuales se sometieron los jitomates a irradiación para determinar las condiciones de estudio. Las condiciones se observan en la tabla 3. Se realizaron determinaciones fisicoquímicas (color, textura, pH, acidez titulable y sólidos solubles totales) y microbiológicas (cuantificación de BMA, mohos y levaduras) cada 4 días durante 20 días.

Fase 3: Establecimiento de condiciones de estudio

A partir del modelo anterior, se estableció un diseño factorial de caras centradas con factores experimentales: irradiación de luz azul (0, 3.5, 7 minutos) y luz UV-C (0, 2.5 y 5 minutos), posteriormente fueron almacenados a temperatura de 5°C. Las condiciones se observan en la Tabla 4. Se realizaron determinaciones fisicoquímicas y microbiológicas cada 4 días durante 20 días.

Variables evaluadas

La medición de las variables de calidad se realizó los días 0, 4, 8, 12, 16 y 20 de almacenamiento.

Caracterización fisicoquímica:

- **Color**, se tomaron lecturas por triplicado (en la región ecuatorial del fruto), con un colorímetro TCR 200 (Technology Ltd), que proporciona los registros Hunter de L^* , a^* y b^* , con los cuales se calculó el ángulo de tono (“*hue*”) mediante la fórmula $Hue = \arctan \frac{b^*}{a^*}$ y de “*croma*” mediante la fórmula $Croma = \sqrt{a^2 + b^2}$, los resultados se expresan en grados.
- **Textura**, se determinó indirectamente con un analizador de textura (Texture Analyser, T.A. T.X. Plus), con una punta de 3 mm de diámetro. Consistió una medida de fuerza en compresión, con una distancia de penetración de 8 mm, velocidad de ensayo de $1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Se midió en tres puntos diferentes de la zona ecuatorial del fruto de jitomate y fue expresado como el promedio de ambas lecturas en gramos-fuerza (g/f), los días 0 y 20.
- **pH del fruto**, para medir esta variable se preparó una mezcla homogeneizada, para ello se pesó el jitomate y se realizó relación 1:2 para calcular el agua destilada utilizada, posteriormente se licuó y se filtró. Se utilizaron 10 ml y se midió el pH en un potenciómetro JT Baker (pH 15).
- **Sólidos solubles totales**, fueron medidos con un refractómetro manual marca Spectronic 20 Genesis, modelo 4001/4, empleando para ello una gota de jugo del fruto previamente obtenido, expresados en °Brix.
- **Acidez titulable**, se determinó mediante la metodología establecida por el comité del códex sobre frutas y hortalizas elaboradas *et al*, (2000).

Caracterización microbiológica:

Los análisis se realizaron basados en las siguientes normas:

- NOM-092-SSA1-1994, Bienes y servicios. Método para la cuenta de bacterias anaerobias en placa.
- NOM-111-SSA1-1194, Bienes y servicios. Método para la cuenta de mohos y levaduras en alimentos.

Análisis de datos:

Los resultados obtenidos se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) utilizando el programa Minitab Inc. PA, USA, 2008.

Tabla 3. Diseño factorial de caras centradas con luz azul y luz UV-C a diferentes tiempos de exposición y temperaturas para establecer condiciones de estudio.

Tratamiento	Tiempo (min) de exposición a luz		Temperatura(°C)
	Azul	UV-C	
1	0	0	5
2	10	6	5
3	0	0	15
4	10	6	15
5	0	0	10
6	10	6	10
7	5	3	5
8	5	3	15
9	5	3	10
10	5	3	10
11	5	3	10
12	5	3	10
13	5	3	10

Tabla 4. Diseño factorial de caras centradas con luz azul (0, 3.5 y 7 minutos de exposición) y luz UV-C (0, 2.5 y 5 minutos de exposición) como factores experimentales.

Temperatura 5°C	Tiempo (min) de exposición a luz	
Tratamiento	Azul	UV-C
1	0	0
2	0	5
3	7	5
4	7	0
5	0	2.5
6	3.5	0
7	7	2.5
8	3.5	5
9	3.5	2.5
10	3.5	2.5
11	3.5	2.5
12	3.5	2.5
13	3.5	2.5

8 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1 Selección de temperatura

En la Tabla 5 se muestran los resultados de color evaluados el día 0 y el día 20 de almacenamiento donde se hace notar la retención de color en los parámetros CIE L^*a^*b , “*hue*” y “*croma*” en el día 20 del almacenamiento. La selección de la temperatura para este estudio fue de 5°C, mediante los resultados de color que se le obtuvieron con las pruebas preliminares; a 10 y 15°C los jitomates (*Solanum lycopersicum L.*) variedad cerasiforme no lograban mantener el color, es decir, el color fue un rojo más intenso en comparación a los que se almacenaron a 5°C. La retención de color es importante debido a que éste es uno de los parámetros de calidad en el jitomate, ya que el fruto debe tener un color uniforme que vaya de anaranjado a rojo; además estos colores son proporcionados por los antioxidantes presentes en el pericarpio del jitomate (Jones *et al.*, 2018) Cabe destacar que, durante el almacenamiento el fruto no sufrió daño por frío por lo que no se afectaron sus características fisicoquímicas.

Tabla 5. Parámetros de color evaluados el día 0 y el día 20 de almacenamiento para la selección de temperatura.

Parámetros de color	Día 0	Día 20		
		5°C	10°C	15°C
<i>L</i>	43.55	39.50	40.07	39.50
<i>a*</i>	22.27	24.93	36.59	27.00
<i>b*</i>	9.00	0.43	-0.52	0.13
<i>Hue</i>	68.38	36.02	14.16	29.99
<i>croma</i>	24.21	25.38	36.86	27.19

8.2 Caracterización fisicoquímica de jitomate cherry

8.2.1 Acidez Titulable

La Tabla 6 muestra el efecto de los tratamientos con luz UV-C, luz azul y sus combinaciones sobre la acidez titulable (ácido cítrico) del jitomate cherry almacenado durante 20 días. Se puede observar que en algunos tratamientos

fue aumentando la acidez (0/0, 7/0, 3.5/0, 3.5/5 y 3.5/2.5) y en otros fue disminuyendo (0/5, 7/5, 0/2.5 y 7/2.5), resultados similares fueron reportados por Navarro-López *et al.*, (2012) donde se observa que los frutos de jitomate rojo de la variedad Reserva F1, producidos en hidroponia almacenados a 4°C se mostró un aumento de acidez (valores de 0.33 ± 0.2 el día 20), sin embargo, los almacenados a temperaturas mayores (10 y 20°C) mostraron una disminución de acidez titulable como forma natural en la mayoría de los frutos, debido a las condiciones de almacenamiento y a las condiciones del mismo; un aumento de acidez titulable se puede deber a daño por frío; en los resultados obtenidos no hay diferencia significativa ($p > 0.05$) entre los tratamientos sobre los cambios en el contenido de acidez. La disminución de los ácidos presentes en el fruto, principalmente el ácido cítrico, se debe a que los ácidos orgánicos son usados como sustrato en el proceso de respiración (Žnidarčič & Požrl, 2006). De Souza *et al.*, (1999) reportó en fresa (*Fragaria ananassa* Dutch, cv. Sequoia) almacenadas a 4°C en atmósfera controlada un incremento en los ácidos totales los primeros 14 días de almacenamiento, sin embargo, al transcurrir más tiempo (14 - 21 días) los ácidos totales fueron disminuyendo, tomando como conclusión que, el incremento de acidez titulable probablemente ocurra por una elevación de la concentración de CO₂ y una reducción de O₂ por lo que éstos, pueden afectar el sistema de enzimas glucolíticas, lo que resulta en una acumulación de ácidos.

Tabla 6. Efecto de los tratamientos con luz UV-C y luz azul sobre acidez titulable de jitomate cherry almacenado durante 20 días.

Almacenamiento	Tratamientos								
	0/0	0/5	7/5	7/0	0/2.5	3.5/0	7/2.5	3.5/5	3.5/2.5
	% Acidez (Ácido cítrico)								
0	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
20	0.24	0.16	0.17	0.37	0.13	0.23	0.16	0.24	0.24

8.2.2 pH

En la Tabla 7 se muestra el efecto de los tratamientos con luz UV-C y luz azul sobre el pH del jitomate cherry almacenado durante 20 días. Se puede observar

que al inicio del almacenamiento, se tenía un valor inicial de 4.26 y durante el transcurso del almacenamiento en algunos tratamientos aumentó (0/5, 7/5, 0/2.5 y 3.5/0) y en otros disminuyó (0/0, 7/2.5, 3.5/5 y 3.5/2.5) pero no son significativos; resultados similares fueron descritos por Pataro *et al.* (2015) en jitomates (*Solanum lycopersicum*) var. San Marzano, muestra que el pH del jitomate en el transcurso de 21 días de almacenamiento no hubo cambio alguno en su valor inicial de 3.88 ± 0.06 . Otros autores como Ríos-Osorio *et al.*, (2014), De Souza *et al.*, (1999), entre otros, demostraron que al transcurrir el tiempo de almacenamiento no existe cambio significativo en el pH. Un pH alto puede indicar que el fruto está cerca de la senescencia; el aumento del pH en la etapa de almacenamiento puede estar parcialmente atribuido a la maduración del fruto por lo que causa una pérdida del contenido de ácido y su transformación a azúcares debido a la gluconeogénesis (Cherono *et al.*, 2018).

Tabla 7. Efecto de los tratamientos con luz UV-C y luz azul sobre pH de jitomate cherry almacenado durante 20 días.

Almacena miento	Tratamientos								
	0/0	0/5	7/5	7/0	0/2.5	3.5/0	7/2.5	3.5/5	3.5/2.5
0	4.26	4.26	4.26	4.26	4.26	4.26	4.26	4.26	4.26
20	4.12	4.31	4.46	4.26	4.47	4.44	4.21	4.21	4.17

8.2.3 Sólidos Solubles Totales

En la Tabla 8 se muestra el efecto de los tratamientos con luz UV-C y luz azul sobre sólidos solubles totales (SST) representados en °Brix de jitomate cherry almacenado durante 20 días. Se puede observar que hubo una disminución comparando el día 0 con el día 20; ya que los valores de °Brix fueron alrededor de 5 ± 1.71 respectivamente. Resultados similares fueron obtenidos por Liu *et al.* (2009) en jitomates (*Lycopersicum esculentum*) cv. Red Ruby almacenados durante 21 días con una temperatura de 12-14°C en oscuridad; los valores iniciales de SST fueron de 4.3, transcurrido el tiempo de almacenamiento los valores finales fueron de 4 ± 0.1 °Brix, por lo que no hay diferencia significativa ($p > 0.05$) entre los tratamientos sobre los cambios en el contenido de Sólidos

Solubles Totales (SST) durante el almacenamiento. Los sólidos solubles totales se pueden perder debido a que los sustratos del proceso de respiración son los azúcares simples (glucosa-fructuosa) y el aumento de la tasa de respiración puede hacer que se pierdan o sean más bajos (Arias *et al.*, 2000). El contenido de sólidos solubles es un indicador de dulzor que aumenta con la madurez de la fruta a través del proceso de biosíntesis o degradación de polisacáridos (Žnidarčič *et al.*, 2010).

Tabla 8. Efecto de los tratamientos con luz UV-C y luz azul sobre sólidos solubles totales (SST) de jitomate cherry almacenado durante 20 días.

Almacenamiento	Tratamientos								
	0/0	0/5	7/5	7/0	0/2.5	3.5/0	7/2.5	3.5/5	3.5/2.5
	(°Brix)								
0	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9
20	5.03	3.37	5.40	5.20	7.72	6.72	5.76	3.36	5.57

8.2.4 Color

En la Figura 2 se presenta el efecto de los tratamientos con luz UV-C y luz azul sobre la luminosidad de jitomate cherry almacenado durante 20 días. Se observa que después de 20 días de almacenamiento en la mayoría de los jitomates se tiene una disminución de la luminosidad, cabe recalcar que los tratamientos en los cuales hay menor diferencia en luminosidad son: tratamientos 7/5, 0/2.5 y 3.5/2.5; la luminosidad al inicio de almacenamiento tiene un valor aproximado de 40 ± 3 , valores similares fueron reportados por Zapata *et al.*, (2007) en jitomate redondo variedad “Alma” almacenados durante 14 días a $12 \pm 1^\circ\text{C}$ teniendo resultados finales de $41,86 \pm 3,33$ y $41,09 \pm 3,37$. En frutas y vegetales, el cambio de color es causado por la degradación de la clorofila así como la síntesis de pigmentos carotenoides en los cloroplastos y los pigmentos fenólicos (Benito-Bautista *et al.*, 2016). Además, la exposición a luz UV-C puede ayudar al incremento de vitamina C, antioxidantes y carotenoides en algunos alimentos (Haro-Maza & Guerrero-Beltrán, 2013).

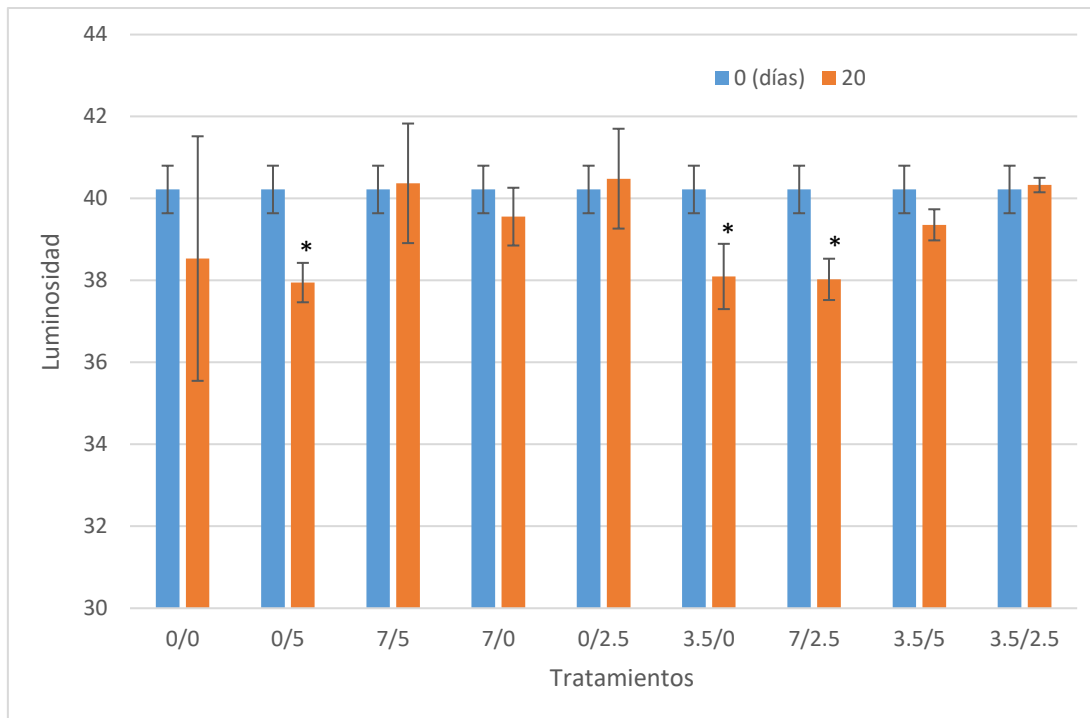


Figura 2. Efecto de los tratamientos con luz UV-C y luz azul sobre la luminosidad del jitomate cherry almacenado durante 20 días.

En la Figura 3 se presenta el efecto de los tratamientos con luz UV-C y luz azul sobre el parámetro de color “a” (rojo a verde) de los jitomates cherry almacenados durante 20 días. Se observa que durante el almacenamiento se produjeron cambios en el pericarpio del jitomate ya que en el día 0 el valor de este parámetro fue de 17 y después se observó un incremento de 25 ± 2 , valores similares fueron reportados por Padrón-Pereira *et al.* (2012) en jitomates (*Lycopersicon esculentum Mill*) almacenados durante 24 días, el valor final reportado fue de 19 a 28°. Debido a que el principal pigmento responsable del color rojo es el licopeno por lo que un aumento de éste le confiere un cambio de color: de rojo etapa 4-5 a rojo etapa 6 según la escala de maduración (Espinosa-Gómez, 2004). Lo anterior se debe a una degradación de clorofilas y consecuentemente una síntesis de licopeno (López-Camelo & Gómez, 2004). Como se observa en la figura, no existió efecto alguno de la luz UV-C y/o luz azul sobre el parámetro de color “a” del jitomate después de 20 días de almacenamiento.

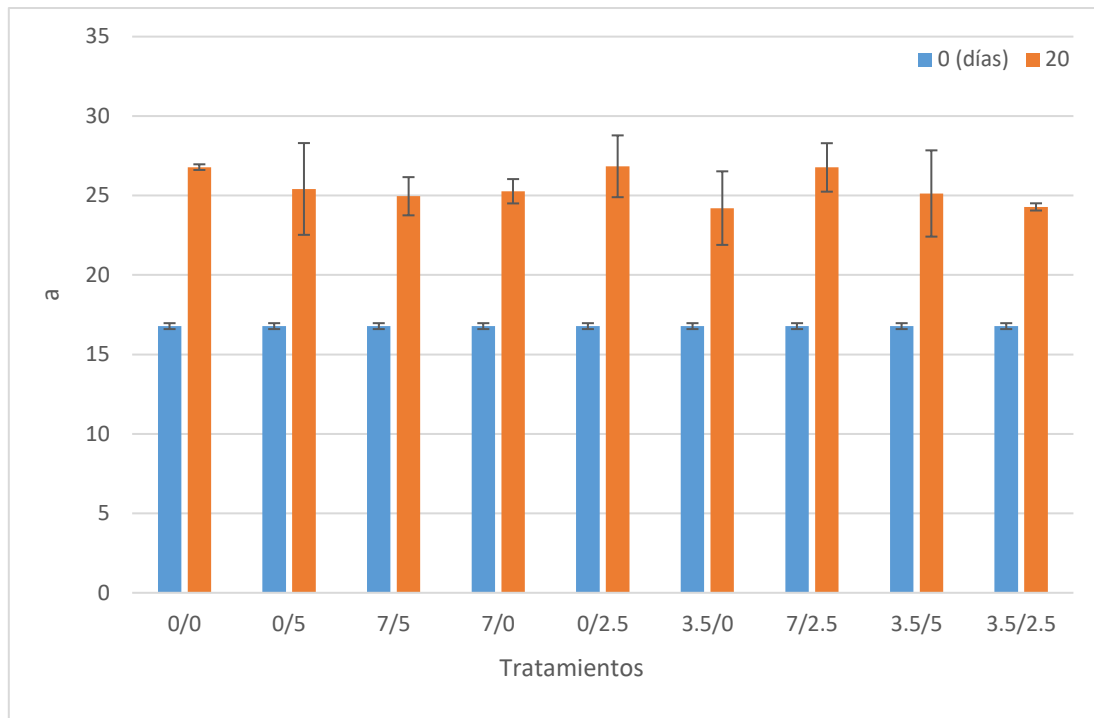


Figura 3. Efecto de los tratamientos con luz UV-C y luz azul sobre “a” (componentes rojo-verde) de jitomate cherry almacenado durante 20 días.

En las Figuras 4 y 5 se presenta el efecto de los tratamientos con luz UV-C y luz azul sobre el parámetro de color b (azul-amarillo) de jitomate cherry almacenado durante 20 días. Se observa que inicialmente los tratamientos presentaron un valor inicial de 6, lo que significa que hay una alta concentración del color amarillo en el fruto. Durante el almacenamiento, los tratamientos 0/0, 7/5, 3.5/5 y 7/0 disminuyeron en su valor de b; mientras que en los tratamientos 0/2.5 y 3.5/2.5 se observó un ligero aumento pero no significativo ($p > 0.05$), sin embargo, los valores que si son significativos son los tratamientos 0/5, 3.5/0 y 7/2.5. Resultados similares fueron reportados por Liu *et al.* (2009), quienes reportaron una disminución en el parámetro de color b de 16 ± 1 en jitomates (*Lycopersicum esculentum*) cv. Red Ruby tratados con luces UV-C y almacenados durante 21 días a 12-14 ° C. Existe una diferencia de color debido a la variedad de especie de los frutos. Por otra parte, Giliberto *et al.* (2005) reportó que el jitomate (*Solanum lycopersicum*) procesado con luz azul promovió un incremento en licopeno y se mantuvo el color por más tiempo. Debido a que diferentes colores están presentes simultáneamente en el fruto y a que las enzimas sintetizan los carotenos en especial el licopeno (color rojo) y el beta-caroteno (color naranja)

al transcurrir el tiempo de almacenamiento, éstos pueden alcanzar su mayor concentración, por lo que se va perdiendo la concentración de color verde que inicialmente tenía el fruto y aumenta gradualmente la concentración de color amarillo (López-Camelo & Gómez, 2004).

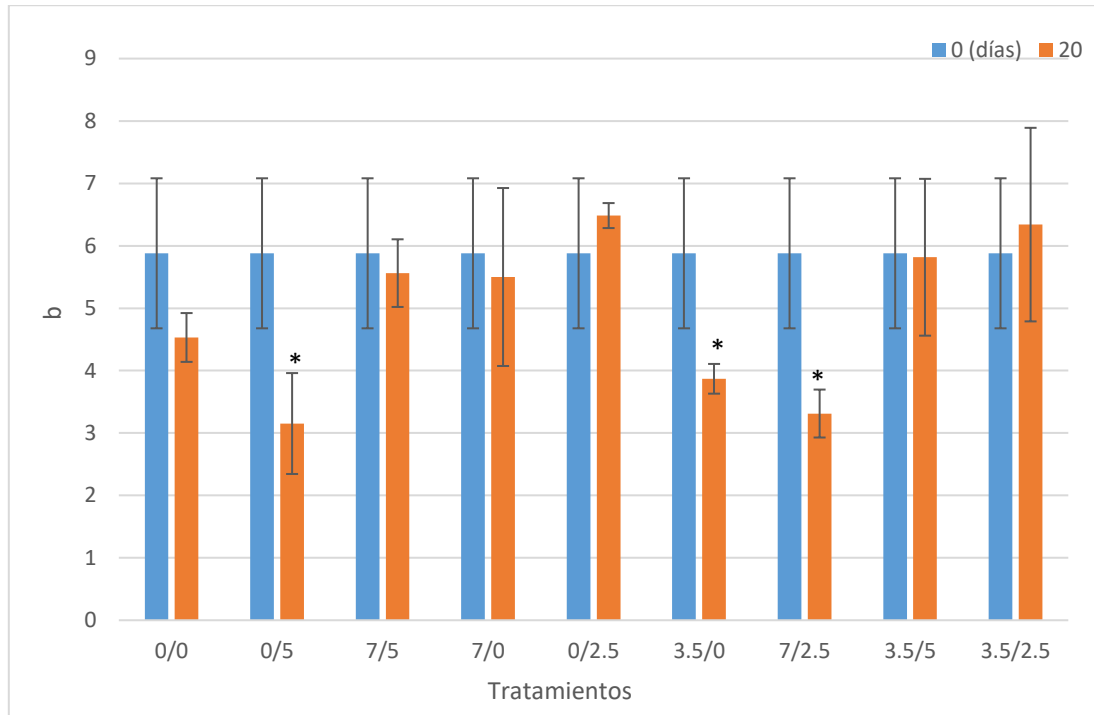


Figura 4. Efecto de los tratamientos con luz UV-C y luz azul sobre “b” (componente azul-amarillo) de jitomate cherry almacenado durante 20 días. El símbolo * representa diferencia significativa ($p < 0.05$).

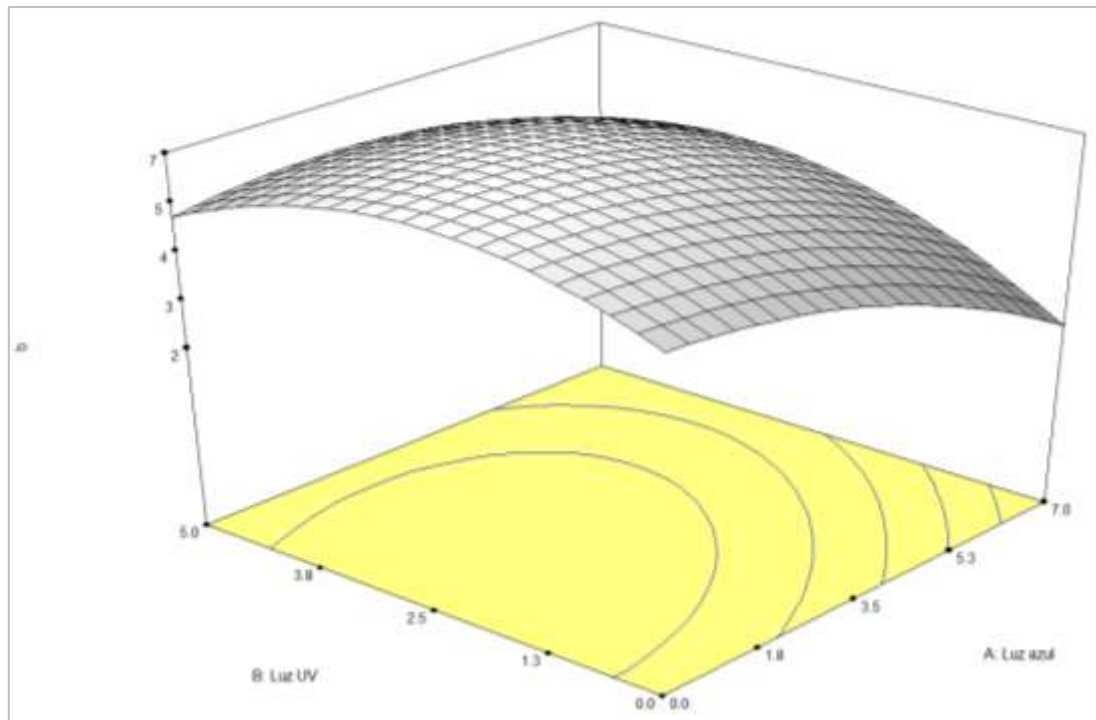


Figura 5. Gráfico de superficie de respuesta sobre el efecto de los tratamientos con luz UV-C y luz azul sobre “b” de jitomate cherry almacenado durante 20 días.

En las Figuras 6 y 7 se presenta el efecto de los tratamientos con luz UV-C y luz azul sobre el parámetro “hue” (ángulo de tono o matiz) de jitomate cherry almacenado durante 20 días. Se observa que en la gráfica hay diferentes vectores señalando el ángulo del color en los diferentes tratamientos, los valores de “hue” (h°) son varios, ya que los intervalos al día 20 se encuentran en un rango de 5 hasta 17.5 descritas en la Tabla 9; éste parámetro se relaciona con las coordenadas a y b debido a que se encuentra en las escalas rojo (a) y amarillo (b), el ángulo de tono “hue” explica los cambios de color durante el almacenamiento. Al respecto, se observa que bajos valores de “hue” los tomates son más rojos, mientras que al incrementar el valor de hue, estos se encuentran cambiando hacia los colores naranjas. Valores similares fueron reportados por Maldonado-Peralta *et al.* (2016) en el que se reportan valores de hue de $16-48^\circ$ en jitomate (*Solanum lycopersicum L.*) y concluyen que las diferencias entre los valores pueden deberse al tiempo y las condiciones de almacenamiento, la irradiación UV-C y de luz azul, el tipo de fruto utilizado, entre otros factores. La irradiación con luz UV puede causar un importante efecto en el aumento de carotenoides, licopenos y fenoles contenidos en el fruto (Luthria

et al., 2006). El aumento del contenido de licopeno se muestra cuando los tomates son almacenados a 10°C o menos, por lo que puede favorecer a un aumento de antioxidantes y como consecuente un aumento en el color rojo del pericarpio del jitomate (Passam et al., 2007).

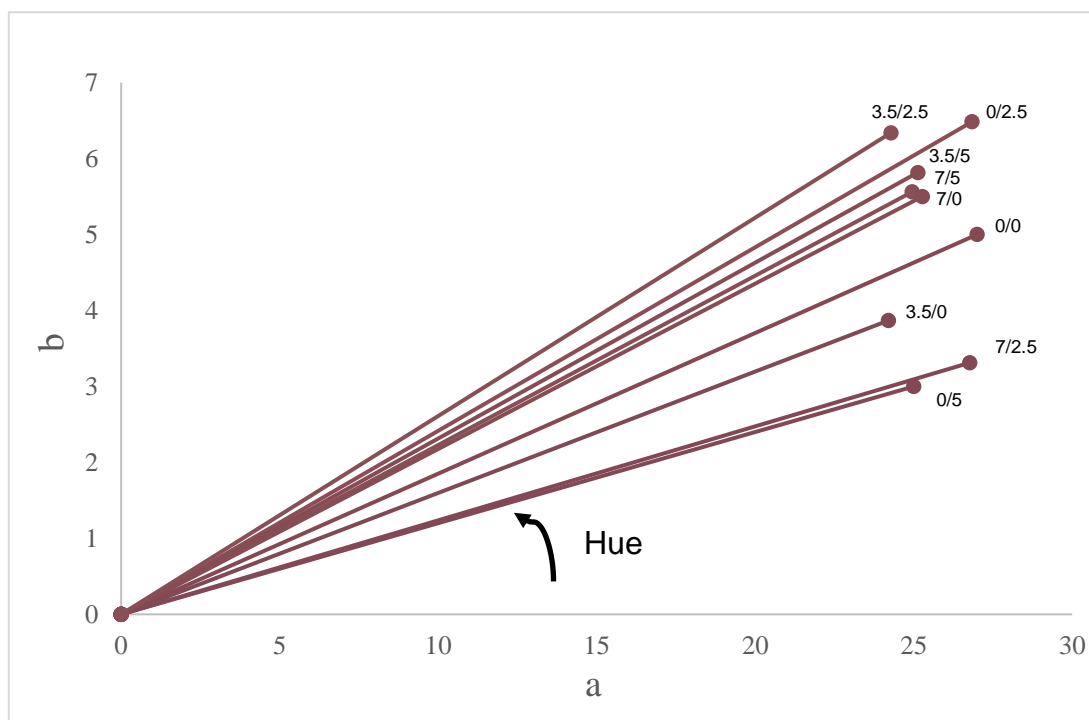


Figura 6. Efecto de los tratamientos con luz UV-C y luz azul sobre “hue” (tono o matiz) de jitomate cherry almacenado durante 20 días.

Tabla 9. Valores de “hue” de los tratamientos de jitomate cherry el día 20.

Hue	0/0	0/5	7/5	7/0	0/2.5	3.5/0	7/2.5	3.5/5	3.5/2.5
Día 20	11.85	5.09	11.50	9.83	14.12	8.92	8.38	10.70	17.50

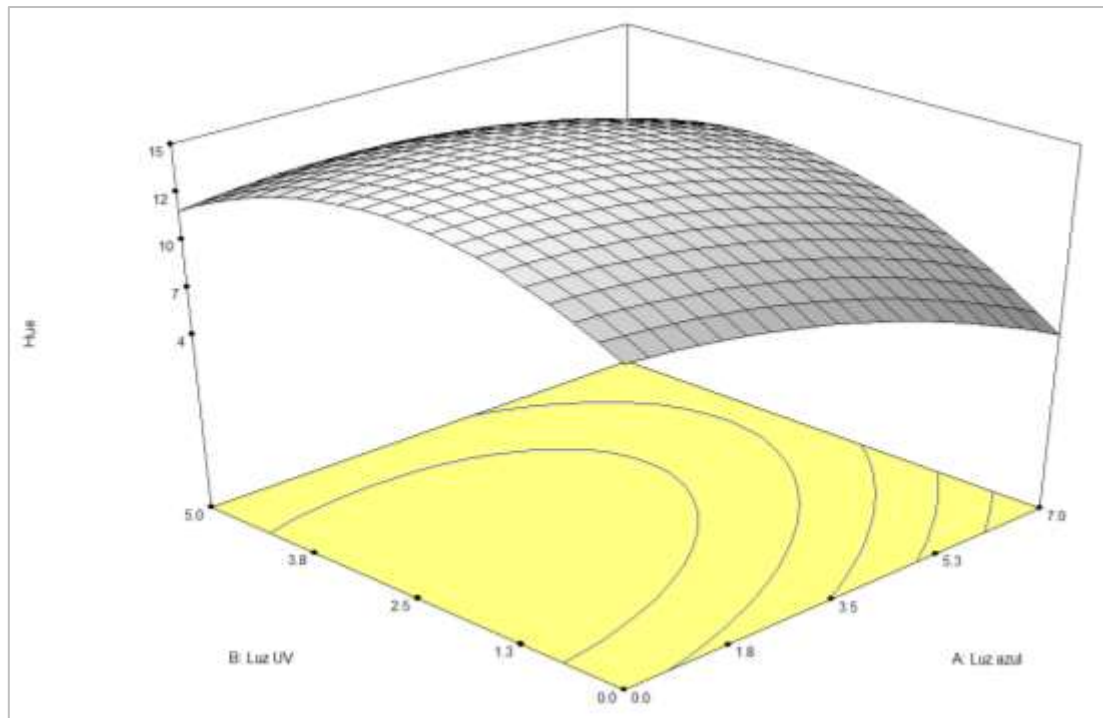


Figura 7. Gráfico de superficie de respuesta sobre el efecto de los tratamientos con luz UV-C y luz azul sobre “hue” de jitomate cherry almacenado durante 20 días.

En la Figura 8 se presenta el efecto de los tratamientos con luz UV-C y luz azul sobre el parámetro de color “croma” (pureza o saturación de color) de jitomate cherry almacenado durante 20 días. Se observa que todos los tratamientos tenían un valor inicial de 17 y al transcurrir los 20 días, estos aumentaron a un valor de 26 ± 1 . Los valores fueron similares a los reportados por Borgheshi *et al.* (2010) donde se muestra un valor de 20.68 ± 6.17 en la variedad de Sun Black; esta diferencia entre los valores obtenidos en el presente estudio y en la bibliografía citada se debe a la variedad del fruto. Debido a que croma indica la pureza o intensidad de color en un valor de 0 a 100, al transcurrir los días de almacenamiento podemos observar que se va saturando el color indicando mayor intensidad de color en el pericarpio (Padrón-Pereira *et al.*, 2012).

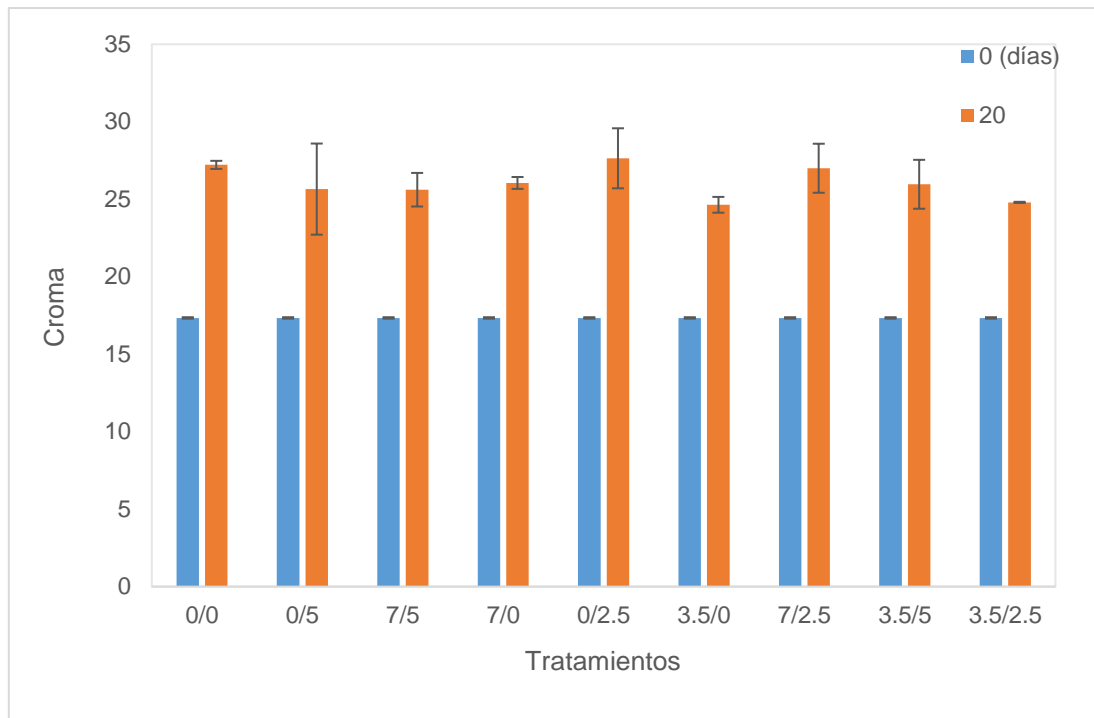


Figura 8. Efecto de los tratamientos con luz UV-C y luz azul sobre “*croma*” (pureza o saturación de color) de jitomate cherry almacenado durante 20 días.

8.2.5 Textura

En las Figuras 9 y 10 se presenta el efecto de los tratamientos con luz UV-C y luz azul sobre la textura de jitomate cherry almacenado durante 20 días. Se observa que el día 0 los tomates presentaron un valor de 802.52 g/fuerza y al transcurrir 20 días de almacenamiento se puede notar una disminución de la textura [371.6-669.7 g/fuerza (3.6-6.5 N)]; haciendo notar que en el tratamiento 0/5 hubo menor disminución en comparación con los otros tratamientos. Valores similares fueron obtenidos por Monge-Pérez (2015) ya que los valores finales fueron de 4.6 N. La disminución de la firmeza durante el almacenamiento es debido a las enzimas estructurales que se encuentran en el fruto (Jackman et al., 1990). La pérdida de la firmeza en tomate es un proceso enzimáticamente controlado que se obtiene en el proceso de degradación de celulosa, pectina y lignina por las enzimas pectinesterasa (PE), poligalacturonasa (PG) y β -galactosa (β -gal) en la pared celular (Cherono et al., 2018).

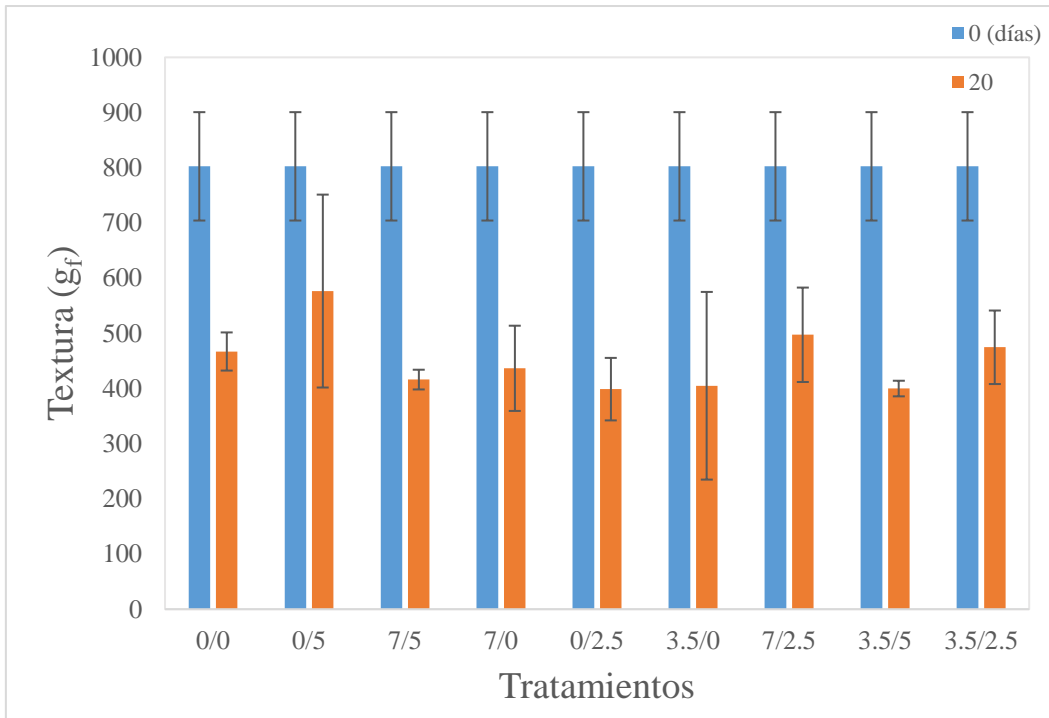


Figura 9. Efecto de los tratamientos con luz UV-C y luz azul sobre firmeza de jitomate cherry almacenado durante 20 días.

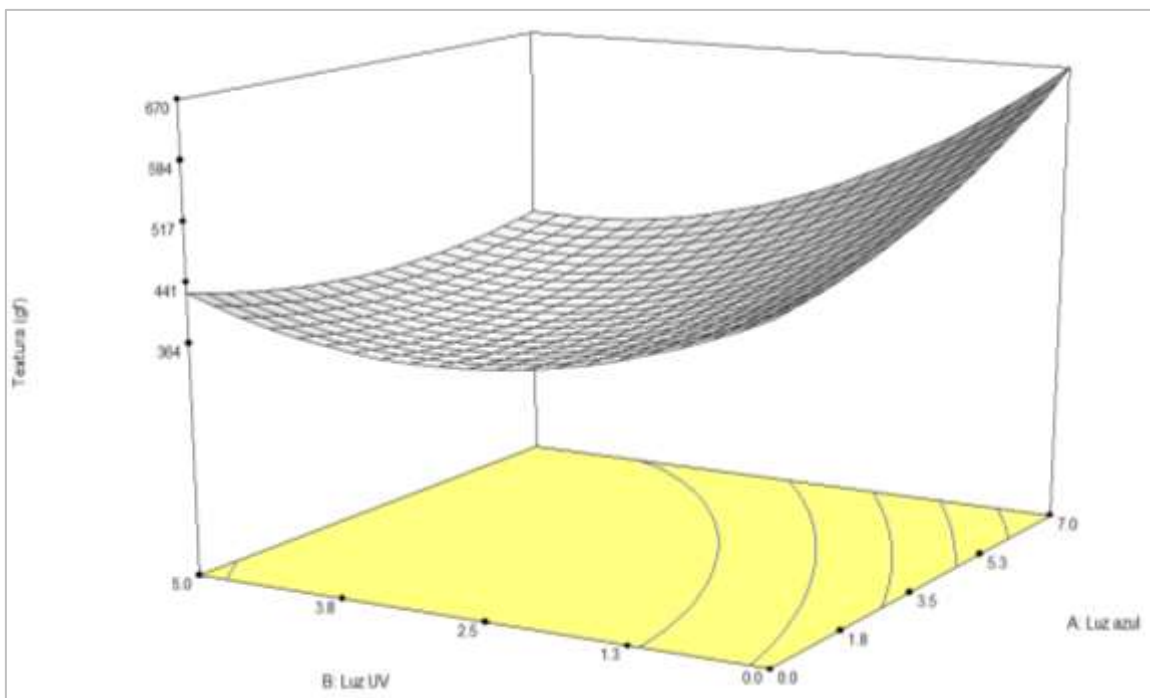


Figura 10. Gráfico de superficie de respuesta sobre el efecto de los tratamientos con luz UV-C y luz azul sobre firmeza de jitomate cherry almacenado durante 20 días.

8.3 Crecimiento microbiano

En la literatura se ha descrito el potencial antimicrobiano que poseen algunas radiaciones y con ello conservar algunos alimentos por más tiempo. En la Tabla 10 muestra el crecimiento microbiano de bacterias mesófilas aerobias durante el almacenamiento por 20 días de jitomate cherry tratado con luz UV-C, luz azul y sus combinaciones. Se puede observar que en el día 0, todos los tratamientos no muestran crecimiento microbiano, lo cual se debe al proceso de limpieza y desinfección al que se sometió el producto. Después de 20 días de almacenamiento se logra apreciar crecimiento de bacterias mesófilas aerobias, aunque comparado con la Norma Oficial Mexicana 092, estos resultados están debajo del rango que ésta señala (<250 UFC/g), por lo cual, se puede decir que el tratamiento fue efectivo en cuanto a la disminución de bacterias mesófilas aerobias. Resultados obtenidos por Hyun-Jin *et al.* (2008) demuestran que la población de bacterias fue reducida en tomates recién cortados (variedad Durita) después del tratamiento con irradiación UV-C con intensidad de 9.6 y 19.2 $\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$ después de tres días de almacenamiento a 10°C. Autores como Pinheiro *et al.* (2015) y Rivera-Pastrana *et al.* (2007) en sus artículos, describen que la baja concentración de microorganismos puede estar atribuido a las ventajas que tiene la aplicación del tratamiento UV-C debido a que puede ayudar a la inactivación o eliminación de microorganismos, lo que es atribuido a la lesión fotoquímica inducida por la irradiación y esto repercute en su DNA o RNA haciendo eficaz la mutación en su material genético por lo que el microorganismo es incapaz de realizar la transcripción y replicación de ácido nucleico haciendo que el microorganismo muera.

Tabla 10. Efecto de los tratamientos con luz UV-C y luz azul sobre análisis microbiológico de bacterias mesófilas aerobias del jitomate cherry almacenado durante 20 días.

Tiempo (días)	Tratamientos								
	0/0	0/5	7/5	7/0	0/2.5	3.5/0	7/2.5	3.5/5	3.5/2.5
	(UFC/g)								
0	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
20	28	123	110	94	94	107	100	84	70

En la Tabla 11 se puede apreciar los efectos de los tratamientos con luz UV-C y luz azul sobre el desarrollo de mohos y levaduras del jitomate cherry almacenado durante 20 días. Se observa que fueron efectivos en todos los tratamientos con luz azul y luz UV-C debido a que en todos presentan una población <10 UFC/g, en la Norma Oficial Mexicana 111 menciona que lo ideal es que el valor esté por debajo de 250 UFC/g. Estudios realizados por Obande *et al.* (2011), demostró que en jitomate (*Solanum lycopersicum Mill*) Tratado con luz UV-C a la dosis de 8 kJ m⁻² hubo inhibición de crecimiento de *Penicillium digitatum* que fue previamente inoculado en el fruto, lo que podría indicar que el uso de irradiación de UV-C puede afectar en el crecimiento de hongos. La irradiación UV-C también actúa de manera indirecta al inducir mecanismos de resistencia por acumulación de compuestos fungicidas como fenoles, flavonoides y poliaminas (Rivera-Pastrana *et al.*, 2007).

Tabla 11. Efecto de los tratamientos con luz UV-C y luz azul sobre análisis microbiológico de mohos y levaduras del jitomate cherry almacenado durante 20 días.

		Tratamientos							
Tiempo (días)	0/0	0/5	7/5	7/0	0/2.5	3.5/0	7/2.5	3.5/5	3.5/2.5
	(UFC/g)								
0	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
20	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10

9 CONCLUSIONES

Se utilizó una temperatura de 5°C debido a que ésta en comparación con las demás temperaturas previamente utilizadas (10 y 15°C), se observó que el fruto mantiene el color durante más tiempo, mantiene su textura y ayuda a disminuir los microorganismos que pueden afectar al fruto.

Se observaron cambios significativos en los parámetros de color obteniendo un color más rojo (tratamientos 0/2.5, 7/5, 3.5/5, 3.2/2.5) y se logró mantener la textura durante el almacenamiento (tratamiento 0/5); sin embargo, ninguno de los tratamientos alteró de manera significativa en los sólidos solubles totales, acidez titulable y pH durante los 20 días de almacenamiento.

Microbiológicamente, el tratamiento de luz azul y luz UV-C se obtuvieron resultados aceptables debido a que, en ambos casos, tanto en las bacterias mesófilas aerobias como en mohos y levaduras los microorganismos se mantuvieron por debajo de lo requerido de las Normas 111 y 093, lo que puede deberse además a un efecto por la refrigeración.

Con base a los resultados obtenidos, se puede decir que los tratamientos utilizados son efectivos al mantener las características fisicoquímicas del jitomate cherry.

10 SUGERENCIAS

Se sugiere realizar un análisis más detallado del fruto mediante las pruebas como DPPH para evaluar la capacidad antioxidante, carotenos, licopenos, fenoles totales, pérdida de peso, actividad de agua, flavonoides, evolución de etileno y respiración, extracción de pectina y de enzimas para su análisis.

Realizar un análisis sensorial, 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.

11 REFERENCIAS

Aguilar-Morales J. (2012). Métodos de conservación de los alimentos. Red Tercer Milenio, 112-113.

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

Arias R.; Lee T.C.; Specca D. & Janes H. (2000). Quality comparison of hydroponic tomatoes (*Lycopersicon Esculentum*) ripened on and off vine. Journal of food science 65(3):545-8.

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. Postharvest and refrigeration group, department of food engineering. Technical University of Cartagena. Murcia, Spain. 55(2): 114-120.

Azcón-Bieto, J. & Talón, M. (2010). Fundamentos de fisiología vegetal (2ª ed.). Capítulo 29: Fisiología de las plantas y el estrés. Pp. 578-579.

Bakai-Golan, R. (2001). Postharvest diseases of foods and vegetables: development and control (1ª Ed.). Capítulo 2: Postharvest disease initiation. Pp. 9-10.

Baldwin E.A.; Scott J.W.; Malundo T.M.M.; Shewfelt R.L. & Tandom K.S. (1998). Relationship between sensory and instrumental analysis for tomato flavor. Journal of the american society for horticultural science. (123). 900-915

Benito-Bautista, P.; Arellanes-Juárez, N. & Pérez-Flores, M. E. (2016). Color y estado de madurez del fruto de tomate de cáscara. Agronomía Mesoamericana, 27(1), 115-130.

Borgheshi E.; González Miret M. L.; Escudero Gilete M. L.; Meléndez Martínez A. J.; Malorgio F. & Heredia F. J. (2010). Influencia del tipo de cultivo en el color y el contenido en pigmentos de diferentes variedades de tomate (*Solanum lycopersicum*

L.). Dipartimento di Biologia delle Piante Agrarie, Universidad de Pisa. Laboratorio de color y calidad de alimentos, Universidad de Sevilla. IX Congreso Nacional Del Color. Alicante. Pp 284-287.

Casierra-Posada F. & Aguilar-Avendaño O. E. (2008). Calidad en frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cosechados en diferentes estados de madurez. *Agronomía Colombiana*. Vol 26 (2): 300-307.

Cherono K.; Sibomana M. & Seyoum Workneh T. (2018). Effect of infield handling conditions and time to pre-cooling on the shelf-life and quality tomatoes. *Brazilian Journal of Food Technology*, 21 (16): 1-12.

Comité del Codex Sobre Frutas y Hortalizas Elaboradas. (2000). Métodos de Análisis Para Frutas y Hortalizas Elaboradas. [online] Fao.org.

Constán-Aguilar, C. (2014). Biofortificación con potasio en plantas de tomate cherry: estudio de la producción y calidad de frutos en cosecha y postcosecha [Tesis doctoral]. Pp 18-27.

De Souza A.L.; Quintão-Scalon. S. P.; Fernandes-Chitarra M.I. & Bosco-Chitarra A. (1999). Post-harvest application of CaCl₂ in strawberry fruits (*Fragaria Ananassa Dutch Cv. Sequóia*): evaluation of fruit quality and post-harvest life. *Ciência e agrotec. Lavras*, v.23 (4): 841-848.

Dorais M.; Ehret D.L. & Papadopoulos A.P. (2008). Tomato (*Solanum lycopersicum*) health components: from the seed to the costumer. *Phytochemistry reviews*. 7: 231-250.

Espinosa-Gómez R. (2004). Comparación del contenido de licopeno, características físicas y químicas en siete variedades de tomate (*Lycopersicon esculentum*) cultivado en el Estado de Veracruz México [Tesis de maestría]. Instituto de Ciencias Básicas, Universidad Veracruzana, pp. 23, 44.

FIRA. (2016). Tomate Rojo. Dirección de investigación y evaluación económica sectorial.

Fornaris, G. (2007). Conjunto tecnológico para la producción de tomate: cosecha y manejo postcosecha. Estación experimental agrícola, (166), 1-16.

Gerszberg A. & Hnatuszko-Konka K. (2017). Tomato tolerance to abiotic stress: a review of most often engineered target sequences. *Plant Growth Regulation*, (83), Pp: 175-198.

Giancoli D. (2006). Física: principios y aplicaciones (6ª ed.). Capítulo 22: Ondas electromagnéticas. México: Prentice-Hall Hispanoamericana. Pp: 671-673.

Giliberto L., Perrotta 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. *American Society of Plant Biologists*, 137, 199-208.

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

González-Déctor, D. (2006). Desinfección de semillas de alfalfa con luz ultravioleta de onda corta (UV-C). Universidad de las Américas Puebla. [Tesis de Licenciatura].

Gutiérrez A.; Palou E. & López Malo A. (2012). Equipos para tratamientos de alimentos con radiación UV-C. *Temas selectos de ingeniería de alimentos*. (6), 149-159.

Haro-Maza, H. F. & Guerrero-Beltrán, J. A. (2013). Efecto de la radiación UV-C en frutas y verduras. *Temas selectos de ingeniería en alimentos*. Vol 7(1), 68-77.

Hernández-Pérez, V. (2017). Respuesta de tomate a condiciones abióticas y mitigación de su efecto mediante estrategias agronómicas. Técnicas avanzadas en investigación y desarrollo agrario y alimentario. 51-55. [Tesis doctoral]. Universidad politécnica de Cartagena.

Hyun-Jin, K., M. Fonseca, J., Kubota, C., Kroggel, M., & Choi, J. H. (2008). Quality of fresh-cut tomatoes as affected by salt content in irrigation water and post-

processing ultraviolet-C treatment. *Journal of Science of Food and Agriculture* (88): 1969-1974.

Jackman R.L.; Marangoni A.G. & Stanley D.W. (1990). Measurement of Tomato Fruit Firmness. Department of food science, University of Guelph, Guelph, Ontario N1G 2W1, Canada. *HortScience*. Vol 25 (7): 781-783.

Jones J.B. (1999). *Tomato Plant Culture: In the Field, Greenhouse and Home Garden*. CRC Press LLC, Boca Raton, Florida, EEUU.

Kuse Y.; Ogawa K.; Tsuruma K.; Shimazawa M. & Hara H. (2014). Damage of photoreceptor-derived cells in culture induced by light emitting diode-derived blue light. *Scientific Reports*.

León, K., Mery, D., Pedreschi, F. & León, J. (2006). Color measurement in $L^*a^*b^*$ units from RGB digital images. *Food research international*. Vol 39(10), pp. 1086-1091.

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*. Vol. 115 (2): 495-500.

Llerena S.; Wilma 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. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos. [Tesis licenciatura].

López-Camelo, A. F. & Gómez, P. A. (2004). Comparison of color indexes for tomato ripening. *Horticultura Brasileira*, Brasília, 22 (3), 534-537.

Luna-Guevara, M. L. & Delgado-Alvarado, A. (2014). Importancia, contribución y estabilidad de antioxidantes en frutos y productos de tomate (*Solanum lycopersicum L.*). *Avances en Investigación Agropecuaria*, (18), 51-66,

Luthria D.L.; Mukhopadhyay S. & Krizek D.T. (2006) Content of total phenolics and phenolic acids in tomato (*Lycopersicon esculentum Mill.*) fruits as influenced by cultivar and solar UV radiation. *Journal of Food Composition and Analysis* 19, 771-777.

Maldonado-Peralta, R.; Ramírez-Vallejo, P.; González-Hernández, V.A.; Castillo-González, F.; Sandoval-Villa, M.; Livera-Muñoz, M. & Cruz Huerta, N. (2016). Riqueza agronómica en colectas mexicanas de tomates (*Solanum lycopersicum L.*) nativos. *Agroproductividad*. Vol (9) 68-75.

Márquez-Villacorta L. & Pretell-Vásquez C. (2013). Irradiación UV-C en frutas tropicales mínimamente procesadas. *Scientia Agropecuaria*, (4), 147-161.

Martín- Hernández C.S.; Ordaz-Chaparro V.M.; Sánchez García P.; Colinas- León M.T.B. & Borges-Gómez. (2012). Calidad de tomate (*Solanum lycopersicum L.*) producido en hidroponía con diferentes granulometrías de tezontle. *Agrociencia* 46: 243-254.

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

Monge-Pérez J.E (2015). Evaluación de 60 genotipos de tomate (*Lycopersicon esculentum Mill.*) Cultivados bajo invernadero en Costa Rica. *InterSedes* vol.16 (33).

Moreno-Guerrero, C.; Andrade Cuví, M.J.; Concellón, A. & Díaz Navarrete, G. (2013). Estudio de la capacidad antioxidante durante el almacenamiento refrigerado de naranjilla (*Solanum quitoense*) Tratada con radiación UVC. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, (14), 125-132.

Navarro-López, E. R., Nieto-Ángel, R., Corrales-García, J., García-Mateos, M.R., Ramírez Arias, A. (2012). Calidad poscosecha en frutos de tomate hidropónico producidos con agua residual y de pozo. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 18(3), 263-277.

NOM-092-SSA1-1994. Bienes y servicios. Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa.

NOM-111-SSA1-1994. Bienes y servicios. Método para la cuenta de mohos y levaduras en alimentos.

NOM-F-317-S-1978. Determinación de pH en alimentos. Determination of pH in foods.

Notario-Medellín C.M. & Sosa-Morales M.E. (2012). El jitomate (*Solanum lycopersicum*): aporte nutrimental, enfermedades postcosecha y tecnologías para su almacenamiento en fresco. Temas selectos de ingeniería en alimentos, (6-1), 40-53.

Obande M.A.; Tucker G.A. & Shama G. (2011). Effect of preharvest UV-C treatment of tomatoes (*Solanum lycopersicon Mill.*) on ripening and pathogen resistance. Postharvest biology and technology 62:188–192.

OMS (2003). Índice UV. Solar mundial. Guía práctica. UV Index.

Padrón-Pereira, C. A.; Padrón-León, G. M.; Montes-Hernández, A. I. & Oropeza-González, R.A. (2012). Determinación del color en epicarpio de tomates (*Lycopersicum esculentum Mill.*) con sistema de visión computarizada durante la maduración. Agronomía Costarricense. Vol 36(1): 97–111.

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: 23-36.

Paniagua-Pardo, G. (2014). Luz led de alta intensidad en procesos fisiológicos de lechuga (*Lactuca sativa*): enfoque sistmatico transdisciplinario. . Instituto Politécnico Nacional. 57-59.

Passam, H. C.; Karapanos, I. C.; Bebeli, P. J. & Savvas, D. (2007) A review of recent research on tomato nutrition, breeding and post-harvest technology with reference of quality. The European Journal of Plant Science and Biotechnology. Vol 1: 1-21.

Pataro G.; Sinik M.; Capitoli M. M; Donsí G. & Ferrari G. (2015). The influence of post-harvest UV-C and pulsed light tratments on quality and antioxidant properties of tomato fruits during storage. Innovative Food Science and Emerging Technologies. Vol 30: 103-111.

Pinheiro J.; Alegria C.; Abreu M.; Gonzales E.M. & Silva Cristina L. M. (2015). Use of UV-C postharvest treatment of extending fresh whole tomato (*Solanum lycopersicum*, cv. Zinac) shelf-life. Association of Food Scientists & Technologies (India). Vol 52 (8): 5066- 5074.

Ríos-Osorio O.; Chávez-Servia J. L.; Carrillo-Rodríguez J. C. & Vera-Guzmán A. M. (2014). Variación agromorfológica y cambios biofísicos poscosecha en frutos de tomate (*Solanum lycopersicum L.*). Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Vol 46 (2): 29-44.

Rivera-Pastrana D. M.; Gardea-Béjar A.A.; Martínez-Téllez M.A.; Rivera-Domínguez M.; González Aguilar G.A. (2007). Efectos bioquímicos postcosecha de la irradiación UV-C en frutas y hortalizas. Rev. Fitotec. Mex. Vol 30 (4): 361-372.

Rosales-Villegas, M.A. (2008). Producción y calidad nutricional en frutos de tomate cherry cultivados en dos invernaderos mediterráneos experimentales: respuestas metabólicas y fisiológicas. Granada: editorial de la Universidad de granada. [Tesis]. Pp 6-10.

Ruíz-Martínez J.; Vicente A.A.; Montañéz-Saenz J.C.; Rodríguez-Herrera R. & Aguilar González C. (2012). Un tesoro percedero en México: el tomate, tecnologías para prolongar su vida en anaquel. Investigación y ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes. Vol 54: 57-63.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2017). Consultado 28-04-2017 en <http://www.siap.sagarpa.gob.mx/>

Umaña-Cerros, E. (2007). Conservación de Alimentos por frío. POINNOVA. Fusades. Pp 20.

USDA (2005). Shipping Point and Market Inspection Instructions for Tomatoes. United States Department of Agriculture. Agricultural Marketing Service. Fruit and vegetable Programs. Fresh Product Branch. Pages: 1-48.

Xu F. ; Cao S.; Shi L.; Chen W.; Su X. & Yang Z. (2014a). Blue Light Irradiation Affects Anthocyanin Content and Enzymes Activities Involved In Postharvest Strawberry Fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, (20), 78-83.

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

Zapata, L.; Gerard, L.; Davies, C.; Oliva, L. & Schvab, M. (2007). Correlación matemática de índices de color del tomate con parámetros texturales y concentración de carotenoides. *Ciencia, docencia y tecnología*, (34), 207-226.

Žnidarčič D.; Ban D.; Oplanić M.; Karić L. & Požrl T. (2010). Influence of postharvest temperatures on physicochemical quality of tomatoes (*Lycopersicon esculentum Mill.*). *Journal of Food, Agriculture and Environment*. Vol 8 (1): 21-25.

Žnidarčič, D. & Požrl, T. (2006). Comparative study of quality changes in tomato cv. 'Malike' (*Lycopersicon esculentum Mill.*) whilst stored at different temperatures. *Acta agriculturae Slovenica*. Vol 87(2): 235-243.

ANEXO I



Figura A1. Estándares de clasificación de jitomates de la USDA (2005).

El grado de madurez comercial de jitomate cherry (*Solanum lycopersicum* L. variedad cerasiforme) de acuerdo con la USDA et al (2005) donde la tabla de maduración de jitomate con base a la coloración hay 6 clasificaciones:

1. "Green": La superficie del jitomate es completamente verde en color. El color verde puede variar de claro a oscuro.
2. "Breakers": Hay una ruptura definitiva en el color de verde a amarillo-amarillento, rosa o rojo en no más de 10% de la superficie.
3. "Turnung": Más del 10 % pero no más del 30% de la superficie muestra cambio definitivo en color de verde a amarillo-amarillento, rosa, rojo, o una combinación de los mismos.
4. "Pink": Más del 30% pero no más del 60% de la superficie muestra rosa o color rojo.
5. "Light red": Más del 60% de la superficie muestra rojo-rosado o rojo: siempre que no sea más del 90% de la superficie sea del color rojo.
6. "Red": Más del 90% de la superficie muestra color rojo.