

**Universidad de Costa Rica**  
**Facultad de Ciencias Agroalimentarias**  
**Escuela de Agronomía**

**Efecto de la exposición a luz ultravioleta sobre la calidad y el  
desarrollo de patógenos en poscosecha de frutos de melón  
(*Cucumis melo* L.)**

**Cristofher Ruiz Padilla**

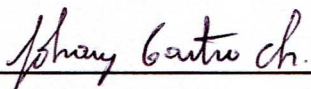
**Tesis presentada para optar al grado de profesional de ingeniero  
agrónomo con el grado de Licenciado en agronomía**

2017

Efecto de la exposición a luz ultravioleta sobre la calidad y el desarrollo de patógenos en poscosecha de frutos de melón (*Cucumis melo* L.)

**Cristofher Ruiz Padilla**

Tesis presentada para optar al grado de profesional de ingeniero agrónomo con el grado de Licenciado en agronomía



**Johanny Castro chinchilla M.Sc**

**Director de tesis**



**Gerardina Umaña Rojas Ph.D.**

**Miembro del tribunal**



**Mario Saborio Mora M.Sc**

**Miembro del tribunal**



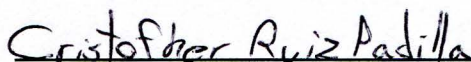
**Maricruz Ramírez Sánchez Ph.D.**

**Miembro del tribunal**



**Luis Gómez Alpizar Ph.D.**

**Director de escuela**



**Cristofher Ruiz Padilla**

**Sustentante**

## Resumen

En el presente trabajo se evaluó el efecto de la exposición a luz ultravioleta (UV-C) como tratamiento poscosecha sobre la calidad y el desarrollo de patógenos causantes de enfermedades en dos variedades de melón (*Cucumis melo* L.). La investigación se realizó en el Laboratorio de Tecnología Poscosecha (LTP) del Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA) de la Universidad de Costa Rica. Se ejecutaron tres ensayos para cada uno de los dos tipos de melón evaluados Cantaloupe y Honey Dew amarillo. La etapa I consistió en exponer los frutos de melón a diferentes dosis de radiación UV-C: 0, 2, 4, 6, 8 y 10 kJ/m<sup>2</sup> correspondiente a tiempos de 0, 98, 148, 221, 295 y 360 segundos a una intensidad de 2,71 mW/cm<sup>2</sup>, una longitud de onda de 253,7 nm y 10 cm de distancia. Una vez aplicados los tratamientos, los frutos se almacenaron durante 14 días en una cámara fría a una temperatura de 5°C para el tipo Cantaloupe y 10°C para el tipo Honey Dew amarillo, a una humedad relativa de 95%, concluido este período la fruta se almacenó a temperatura ambiente a 20-22°C durante 5 días. En esta etapa se midió el porcentaje de quemaduras a los 8, 14 y 19 días de aplicados los tratamientos, los resultados de las dosis aplicadas mostraron que el tipo Cantaloupe no presentó daños en ninguna de las dosis, sin embargo no fue así para el tipo Honey Dew amarillo, ya que a dosis mayores de 8 kJ/m<sup>2</sup> presentaron quemaduras a los 7 días de almacenamiento. En la etapa II se seleccionaron las dosis más altas evaluadas que no causaron daño a la fruta en la etapa I del estudio, siendo las dosis 0, 4, 6, 8, 10 y 12 kJ/m<sup>2</sup> para el tipo Cantaloupe y 0, 4, 6 y 8 kJ/m<sup>2</sup> para el tipo Honey Dew amarillo. Una vez tratados los frutos se les dio el mismo manejo poscosecha y metodología utilizada en la etapa I, se realizaron evaluaciones de variables de calidad externas e internas de las frutas (color, firmeza) así como tasa respiratoria y determinación del °Brix a los 0, 14 y 19 días de aplicado el tratamiento. En el melón tipo Cantaloupe no se observó ningún efecto de la radiación sobre las variables: firmeza externa e interna, color interno y sólidos solubles, sin embargo la tasa respiratoria si se vio afectada presentando una mayor respiración a mayor radiación. En el tipo Honey Dew amarillo no se observó ningún efecto de la radiación sobre las variables de

calidad presentando valores normales de calidad para exportación. Para la tercera etapa del estudio dirigido al efecto de la radiación sobre el control de patógenos se utilizaron las mismas dosis que en la etapa II para cada tipo, una vez tratados los frutos se les dio el mismo manejo poscosecha y metodología de aplicación de tratamientos utilizada en las etapas previas, en esta etapa se analizaron las variables porcentaje de incidencia y severidad de enfermedades en el pedúnculo a los 0, 14 y 19 días de aplicado el tratamiento. Para el melón tipo Cantaloupe se observó una disminución en las diferentes variables de enfermedades evaluadas a mayor dosis de radiación aplicada, siendo el tratamiento testigo el que presentó la mayor incidencia de moho con 90% y el de menor incidencia el tratamiento de 12 kJ/m<sup>2</sup> con 27%, a los 19 días de aplicado el tratamiento. En el melón tipo Honey Dew amarillo se presentaron resultados similares, observándose una disminución en la incidencia a mayor dosis de radiación aplicada, siendo el tratamiento testigo el que presento mayor incidencia con 89%, mientras que el tratamiento 8 kJ/m<sup>2</sup> mostró la menor incidencia con un valor de 36%, a los 19 días de aplicación. Si bien por sí solo el tratamiento poscosecha con radiación UV-C no logró tener un control de patógenos que permita ser usado como tratamiento alternativo a los de origen químico, esta tecnología tiene la facilidad de ser combinado con otros tratamientos entre ellos los biológicos, no solo dando los beneficios que ofrece la aplicación de radiación UV-C sobre la fruta como tal, sino también un valor agregado al ser un proceso poscosecha ambientalmente sostenible. Para poder usar esta tecnología como tratamiento poscosecha se recomienda realizar más pruebas como: tolerancia a dosis de radiación UV-C de la fruta de melón con respecto a la edad de cosecha, efectuar pruebas semi-comerciales de exportación y conocer las dosis de radiación UV-C a las que se controlan otros patógenos de importancia poscosecha en el cultivo de melón.

### **Dedicatoria**

A todas las personas que se vieron involucradas en mi educación: familiares, amigos, profesores y compañeros. Sin ellos no hubiera sido posible concluir esta etapa de mi vida.

## **Agradecimientos**

Agradezco especialmente a los profesores Gerardina Umaña, Marco Vinicio Sáenz y mi director de tesis Johanny Castro por el apoyo, consejos, motivación y enseñanzas durante todo el proceso para culminar este proyecto de tesis. A mis compañeros y amigos de universidad que siempre extendieron su mano cuando necesité ayuda.

A todos los colaboradores y compañeros del Laboratorio de Tecnología Poscosecha por toda la ayuda brindada durante la etapa experimental.

A Exporpack S.A. por facilitar la fruta para realizar la parte experimental de este proyecto.

## Índice general

Miembros del tribunal.....	i
Resumen.....	ii
Dedicatoria.....	iv
Agradecimientos.....	v
Índice general.....	vi
Índice de Cuadros.....	ix
Índice de figuras.....	xi
1) Introducción.....	1
2) Objetivos.....	3
2.1) Objetivo General.....	3
2.2) Objetivos específicos.....	3
3) Antecedentes.....	4
3.1) Generalidades del cultivo de melón.....	4
3.2) Principales enfermedades poscosecha del melón.....	5
3.3.) Efecto de la radiación ultravioleta sobre calidad de productos agrícolas.....	7
3.3.1) Cambios en membrana y pared celular.....	7
3.3.2) Retraso en la maduración y senescencia.....	8
3.3.3) Inducción de mecanismos de defensa.....	10
3.3.4) Efectos adversos.....	10
3.4.) Uso de la radiación ultravioleta para el control de patógenos.....	11

3.4.1) Generalidades de la radiación UV-C.....	11
3.4.2) Propiedades de la luz ultravioleta.....	11
3.4.3) Dosis.....	12
3.4.4) Modo de acción.....	13
4) Materiales y métodos.....	15
4.1) I etapa: Prueba preliminar para determinación de las dosis de luz ultravioleta.....	16
4.2) II etapa: Evaluación del efecto de la luz ultravioleta sobre la calidad de la fruta.....	17
4.3) III etapa: Evaluación del efecto de la luz ultravioleta sobre el crecimiento en la fruta de los patógenos <i>Fusarium sp.</i> <i>Cladosporium sp.</i> .....	18
4.4) Variables evaluadas.....	20
4.4.1) Severidad de quemaduras ocasionadas por radiación UV-C en la cáscara.....	20
4.4.2) Firmeza cáscara.....	20
4.4.3) Firmeza pulpa.....	20
4.4.4) Color externo.....	20
4.4.5) Color interno.....	20
4.4.6) Sólidos solubles.....	21
4.4.7) Respiración.....	21
4.4.8) Severidad de moho en el pedúnculo.....	22
4.4.9) Porcentaje de área externa del fruto cubierta por patógenos.....	23

4.5) Análisis estadístico.....	23
5) Resultados.....	24
5.1) Cantaloupe.....	24
5.1.1) I etapa: Prueba preliminar para determinación de las dosis de luz ultravioleta.....	24
5.1.2) II etapa: Evaluación del efecto de la luz ultravioleta sobre la calidad de la fruta.....	25
5.1.3) III etapa: Evaluación del efecto de la luz ultravioleta sobre el crecimiento de patógenos en la fruta.....	29
5.2.1) Honey Dew amarillo.....	31
5.2.2) I etapa: Prueba preliminar para determinación de las dosis de luz ultravioleta.....	30
5.2.3) II etapa: Evaluación del efecto de la luz ultravioleta sobre la calidad de la fruta.....	34
5.2.4) III etapa: Evaluación del efecto de la luz ultravioleta sobre el crecimiento de patógenos en la fruta.....	38
6) Discusión.....	40
7) Conclusiones.....	48
8) Recomendaciones.....	49
7) Literatura citada.....	50
8) Anexo.....	61

## Índice de Cuadros

Cuadro 1. Resumen del cálculo de las diferentes dosis.....	16
Cuadro 2. Dosis aplicadas en la segunda tapa para las dos diferentes tipos de melón.....	18
Cuadro 3. Escala de severidad de porcentaje de moho en pedúnculo de melón...22	
Cuadro 4. Firmeza externa en frutos de melón Cantaloupe a los 0, 14 y 19 días de almacenamiento.....	26
Cuadro 6. Porcentaje de sólidos solubles totales en frutos de melón Cantaloupe a los 0, 14 y 19 días de almacenamiento.....	27
Cuadro 5. Color interno en frutos de melón Cantaloupe a los 0, 14 y 19 días de almacenamiento.....	28
Cuadro 7. Color externo en frutos de melón Honey Dew amarillo a los 0, 14 y 19 días de almacenamiento.....	33
Cuadro 8. Firmeza externa en frutos de melón Honey Dew amarillo a los 0, 14 y 19 días de almacenamiento.....	34
Cuadro 9. Color externo en frutos de melón Honey Dew amarillo a los 0, 14 y 19 días de almacenamiento.....	35
Cuadro 10. Color interno en frutos de melón Honey Dew amarillo a los 0, 14 y 19 días de almacenamiento.....	36
Cuadro 11. Porcentaje de sólidos solubles totales en frutos de melón Honey Dew amarillo a los 0, 14 y 19 días de almacenamiento.....	36

Cuadro 12. Diferentes variables de color interno en melón Cantaloupe a los 0, 14 y 19 días.....	61
Cuadro 13. Firmeza externa e interna en melón Cantaloupe a los 0, 14 y 19 días.....	61
Cuadro 14. Sólidos solubles totales en °Brix en melón Cantaloupe a los 0, 14 y 19 días.....	62
Cuadro 15. Sólidos solubles en °Brix en melón Honey Dew amarillo a los 0,14 y 19 días.....	63
Cuadro 16. Firmeza externa e interna en melón Honey Dew amarillo a los 0,14 y 19 días.....	63
Cuadro 17. Diferentes variables de color interno en melón Honey Dew amarillo a los 0,14 y 19 días.....	64
Cuadro 18. Diferentes variables de color externo en °Brix en melón Honey Dew amarillo a los 0,14 y 19 días.....	64

## Índice de figuras

Figura 1. Luz ultravioleta-C en el espectro de la radiación electromagnética, Lenntech (2009).....	12
Figura 2. Fotos de frutos de melón Cantaloupe a los 19 días de almacenamiento.....	24
Figura 3. Tasa respiratoria en frutos de melón Cantaloupe a los 0, 14 y 19 días de almacenamiento.....	29
Figura 4. Porcentaje de incidencia enfermedades en pedúnculo de frutos de melón Cantaloupe a los 0, 14 y 19 días de almacenamiento.....	30
Figura 5. Índice de severidad de enfermedades (IS) en pedúnculo de frutos de melón Cantaloupe a los 0, 14 y 19 días de almacenamiento.....	31
Figura 6. Porcentaje de quemaduras en frutos de melón Honey Dew amarillo a los 14 días de almacenamiento.....	32
Figura 7. Quemaduras en frutos de melón Honey Dew amarillo provocadas por la dosis de 10 kJ/m <sup>2</sup> a los 14 días ( 7 días a 19°C) de almacenamiento.....	33
Figura 8. Tasa respiratoria en frutos de melón Honey Dew amarillo a los 0, 14 y 19 días de almacenamiento.....	37
Figura 9. Porcentaje incidencia de enfermedades en pedúnculo de melón Honey Dew amarillo a los 0, 14 y 19 días.....	39
Figura 10. IS enfermedades en pedúnculo de melón Honey Dew amarillo a los 0, 14 y 19 días.....	39
Figura 11. Tasa respiratoria en melón Cantaloupe a los 0, 14 y 19 días.....	62
Figura 12. Tasa respiratoria en melón Honey Dew amarillo a los 0, 14 y 19 días..	65

## 1. Introducción

El melón (*Cucumis melo* L.) es una planta originaria de Asia occidental y África que presenta diferentes colores internos, como naranja, verde y salmón, posee un sabor característico delicado y apetecido en época de mucho calor especialmente (Cerdas *et al.*, 2015).

A nivel mundial, España es el mayor exportador de melón con un valor de 306 millones de dólares, Costa Rica se posiciona en la octava posición entre los países exportadores con 68,8 millones de dólares (Cerdas *et al.*, 2015). El cultivo de melón en Costa Rica es de gran importancia para el sector agrícola generando fuentes de empleo y proporcionando ingresos al país, en el 2016 representó un 1% del total de las exportaciones agrícolas (PROCOMER, 2016).

De acuerdo con los datos de la Promotora de Comercio Exterior desde el año 2010 las exportaciones de melón venían en decadencia hasta el 2013, sin embargo hasta el 2015 se presentó un aumento de un 10 % (7078 contenedores en el 2013 y 7890 en el 2015 para 68 millones de dólares). En el 2016 bajo un 3% cuyo valor representó 66 millones de dólares, siendo el mercado europeo el principal destino con un 74% de las exportaciones (PROCOMER, 2016).

En Costa Rica, durante la temporada del 2014, se sembraron aproximadamente 4.666 hectáreas en las zonas del Pacífico Central, Valle del Tempisque y Península de Nicoya, de lo cual el 85% de la fruta fue destinada a exportación y el 15% restante para el mercado local, siendo el principal tipo Cantaloupe, representando un total de 60% de la fruta exportada y seguido del tipo Honey Dew amarillo con un 28% (Monge-Pérez, 2014).

El mercado internacional exige que la fruta llegue a destino con una calidad óptima y libre de patógenos, para cumplir con tal exigencia actualmente se emplean tratamientos poscosecha con fungicidas de origen químico, sin embargo su uso se ha visto restringidos por los residuo que dejan en la fruta y que pueden afectar la salud del consumidor (Rivera-Pastrana *et al.*, 2007).

Los dos principales mercados para Costa Rica (Estados Unidos y Europa) tienen listas de agroquímicos y sus tolerancias permitidas, estas restricciones pueden provocar problemas para exportar en el futuro si no se está preparado con otras alternativas, como sucedió con los supermercados del bloque Europeo, donde se estableció que a partir del 1 de enero del 2004 solo se compraría productos certificados con sellos ambientales y sociales mediante la Eurep Gap (medida de inocuidad alimentaria promovida por supermercados) (Servicio Fitosanitario del Estado, 2012).

Los exportadores de melón deben de buscar medidas que generen mayor competitividad en el mercado entre las que se encuentran reducir el uso de agroquímicos y aumentar el compromiso ambiental e innovación (Monge-Pérez, 2014). Los tratamientos con luz ultravioleta (UV-C) pueden ser una alternativa ante este panorama al presentar numerosas ventajas, ya que son procesos relativamente cortos, se aplican en seco, requieren menos infraestructura que otros métodos y son económicos debido a que la inversión de capital es generalmente baja al igual que el costo de mantenimiento (Cote Daza, 2011). Además los tratamientos con UV-C pueden ser combinados con otros tratamientos como lo demostró Huang *et al.* (2015) quien combinó el tratamiento UV-C con control biológico sobre patógenos poscosecha, obteniendo una reducción del 80% en la incidencia de patógenos sobre melón en su vida poscosecha.

Otra de las ventajas del uso de luz ultravioleta UV-C, es que no existen restricciones legales para su uso en productos frescos y cuando se utiliza adecuadamente no existe un efecto negativo sobre la calidad, por lo cual constituye una excelente alternativa para extender la vida poscosecha de las frutas (Cote Daza, 2011). En Costa Rica podría constituirse en una alternativa importante para disminuir el uso de fungicidas sintéticos en los tratamientos poscosecha del melón.

## **2. Objetivos**

### **2.1. Objetivo general**

Evaluar el efecto de la exposición a luz ultravioleta (UV-C) como tratamiento poscosecha, sobre la calidad y el desarrollo de patógenos causantes de enfermedades en dos tipos de melón (*Cucumis melo* L.).

### **2.2. Objetivos específicos**

1. Evaluar el efecto de la exposición a diferentes dosis de luz ultravioleta, sobre variables de calidad poscosecha en frutos de melón de los tipos Cantaloupe y Honey Dew amarillo.

2. Evaluar el efecto de la exposición a diferentes dosis de luz ultravioleta, sobre el desarrollo de patógenos causantes de enfermedades poscosecha en frutas de melón de los tipos Cantaloupe y Honey Dew amarillo.

### **3. Antecedentes:**

#### **3.1. Generalidades del cultivo de melón.**

El melón (*Cucumis melo* L.) es miembro de la familia Cucurbitaceae. Es una planta anual, rastrera y de polinización cruzada con frutos redondos u ovalados, originaria de Asia occidental y África (Martínez, 2015). Este cultivo se desarrolla mejor en climas cálidos con temperaturas que van de 18°C a 32°C, suelos francos a francos arcillosos, ricos en materia orgánica, con un pH entre 6 y 7 y en altitudes de 0 a 1000 m.s.n.m. (Martínez, 2015).

Cantaloupe y Honey Dew amarillo son los principales tipos de melón cultivados en Centroamérica. El melón Cantaloupe presenta frutos precoces (85-95 días), esféricos, de irregularidades en la cáscara, piel fina y pulpa de color naranja, dulce y de aroma característico, con un peso entre 700 y 1200 gramos. El rango óptimo de sólidos solubles totales (SST) para la recolección oscila entre 12° y 14° Brix según Bolaños (1998). Sin embargo, Do Nascimento Nunes (2009) menciona que el melón debe de tener entre 9° y 11°Brix, y que por encima de 15° Brix su conservación es bastante corta. Por su parte el Honey Dew amarillo presenta frutas con buena conservación, cáscara verde o amarilla, con piel lisa o estriada y pulpa verde con aroma poco fuerte (Chavira, 2014). El rango óptimo de sólidos solubles totales (SST) para la recolección de Honey Dew amarillo oscila entre 9° a 10° Brix (Moreno y Coronado, 1998).

El melón de tipo Cantaloupe es una fruta climatérica, que no cuenta con reservas de almidón por lo que no incrementa el contenido de sólidos solubles después de la cosecha, la maduración poscosecha se restringe al ablandamiento de la pulpa y el desarrollo de compuestos aromáticos volátiles. El melón de tipo Honey Dew amarillo se considera no climatérica e inodoro. La cosecha se realiza cuando el tallo se encuentra agrietado, pero bien formado para que permita llegar a mercados distantes y con una maduración aceptable (Snowdon, 2010A).

El manejo poscosecha que se le da al melón incluye el transporte a la planta empacadora donde se le realiza un lavado y desinfección con cloro a una

concentración de 100 mg/L, posteriormente se clasifica según el peso y tamaño para ser empacado en cajas de cartón para finalmente realizar el transporte hacia el destino final (Kader, 2011), donde la fruta es almacenada entre 2,2 y 5°C el Cantaloupe (García-Robles *et al.* 2016) y entre 7 y 10°C el Honey Dew amarillo (Amaro *et al.*, 2012) a una humedad relativa de 90-95% durante un periodo de 15 a 21 días dependiendo el mercado de destino (Namesny, 1997).

### **3.2. Principales enfermedades poscosecha del melón.**

Las exportaciones agrícolas en Costa Rica se realizan mayoritariamente por vía marítima representando un 78,1% del total de las exportaciones, transporte que tarda en promedio ocho días al mercado estadounidense y entre 16 y 21 días a los mercados europeos que son los principales mercados del melón (PROCOMER, 2011). Estos tiempos son suficientes para el desarrollo de los microorganismos causantes de enfermedades y de pérdidas de calidad. Sobral da Silveira *et al.* (2005), mencionan que en Brasil, uno de los mayores productores de frutas tropicales del mundo, se estima que las pérdidas poscosecha por enfermedades en melón alcanzan un volumen de 10 millones de toneladas/año, lo que equivale al 30-40% de la producción.

Las enfermedades pueden ser una causa importante de pérdidas poscosecha dependiendo de la estación del año, región productora y prácticas de manejo. Los hongos y bacterias figuran dentro de los principales organismos causantes de pudriciones en poscosecha, encontrándose una mayor frecuencia de hongos en los frutos (Rojas, 2010). Esto como consecuencia de la gran cantidad de especies involucradas y la eficiencia de los mecanismos de colonización que presentan. Estas enfermedades pueden empezar en el campo durante la ontogenia del fruto o después de la cosecha junto con la maduración fisiológica, provocando cambios en las características de la fruta tales como textura, sabor, aroma, color y alterando los procesos de maduración (Sobral da Silveira *et al.*, 2005).

Del grupo de hongos (poscosecha) que atacan frutos de origen tropical se encuentran los géneros *Alternaria*, *Aspergillus*, *Botrytis*, *Colletotrichum*, *Diplodia*, *Fusarium*, *Geotrichum*, *Lasiodiplodia*, *Mucor*, *Pestalotiopsis*, *Sclerotium* y *Phomopsis* (Rojas, 2010). Según Pérez (2012) y Casaca (2005), en Costa Rica las principales pudriciones o las lesiones de la superficie son causadas por los hongos fitopatógenos pertenecientes a los géneros *Alternaria*, *Penicillium*, *Cladosporium*, *Phomopsis*, *Geotrichum*, *Fusarium*, *Rhizopus* y en menor grado *Mucor*. En melón Mitcham (2013) menciona a *Cladosporium*, *Geotrichum*, *Rhizopus*, *Alternaria*, *Fusarium* y ocasionalmente *Mucor* como los principales hongos causantes de pudriciones o mohos superficiales poscosecha en melón.

*Fusarium* sp., uno de los hongos más comunes que causa pérdidas poscosecha, generalmente se establece en la zona de abscisión (corte del pedúnculo), en el sector del fruto que se apoya al suelo (mancha basal) o en daños mecánicos de cualquier tipo (Zapata, 1989), sin embargo, este hongo puede afectar todas las partes de una planta, siendo más común en el pedúnculo del fruto. *Fusarium* sp. se caracteriza por presentar un crecimiento rápido a temperaturas entre 24°C y 27°C. En el fruto produce áreas putrefactas que conforme se extienden, toman apariencia ligeramente húmeda, a menudo se hunden y en la superficie del fruto crece moho de color blancuzco (Saldarriaga *et al.*, 2008). Las colonias son algodonosas, inicialmente de color blanco y posteriormente la coloración del micelio se torna rosada, con bordes blancos y con centro de color café, el reverso de la colonia es rojizo (Gonzales, 2011); evidenciando una clara demarcación con una línea clara entre el tejido sano y el afectado (Snowdon, 2010A). El control en campo se puede efectuar mediante rotaciones del cultivo, proteger el cultivo de daños por insectos, resistencia genética de las variedades o por tratamientos químicos del suelo (Kader, 1992).

Otro hongo de importancia poscosecha en melón es *Cladosporium*, organismo considerado un patógeno menos agresivo, ya que solo puede afectar productos con heridas y daños que facilitan su ingreso, extensión y la formación de moho. Este patógeno es asociado con el almacenamiento a temperaturas bajas

menores a 10 °C (Rojas, 2010). En melón, *Cladosporium* coloniza con facilidad la cicatriz del tallo y puede llegar a ser densamente cubierta con moho oscuro. Los síntomas de este hongo varían con la variedad en la que se desarrollen, en el melón Honey Dew amarillo y Cantaloupe el síntoma habitual es de manchas circulares oscuras discretas, cada una de las cuales puede estar rodeada por un halo de color marrón pálido (Snowdon, 2010B).

Existen otros hongos que crecen de forma endófitica en los tejidos del tallo antes de que emerjan las inflorescencias como por ejemplo *Phomopsis* sp., que alcanzan el tejido del pedúnculo de los frutos jóvenes ocho semanas después de la floración. La colonización endofítica de la inflorescencia y el tejido del pedicelo se considera una ruta primaria de infección del fruto, la cual se desarrolla después de la maduración, sin embargo se considera que el mayor número de infecciones causadas por *Phomopsis* ocurren durante la cosecha, al entrar el fruto en contacto con el suelo o con materia orgánica presente en las cajas usadas para la recolección (Rojas, 2010) y los síntomas se observan posteriormente como una pudrición negra (Snowdon, 2010B).

### **3.3. Efecto de la radiación ultravioleta sobre calidad de productos agrícolas.**

#### **3.3.1 Cambios en la membrana y la pared celular**

En el melón, la pared y la membrana celular son organelas blanco de la irradiación UV-C, ya que los componentes de la membrana (fosfolípidos y glicolípidos) y de la pared (proteínas y ligninas) absorben energía en el rango ultravioleta; al mismo tiempo la UV-C genera especies reactivas de oxígeno que causan estrés oxidativo que afecta la estabilidad de la pared y de la membrana celular (Rivera-Pastrana *et al.*, 2007). Una respuesta de defensa a este efecto involucra el aumento o activación de compuestos antioxidantes y la inactivación de enzimas, respuesta que se da en dos fases, la primera fase se da cuando la membrana celular es blanco de la irradiación UV-C, una segunda fase se da cinco días después cuando los niveles lipídicos de peroxidación bajan, induciendo un mecanismo de reparación o de defensa. Esto sugiere que en una primera fase el

incremento rápido de especies reactivas de oxígeno después de la irradiación puede activar uno o más mecanismos antioxidantes y desintoxicantes, como lo es la actividad de enzimas peroxidasa (Rivera-Pastrana *et al.*, 2007).

Un ablandamiento excesivo de la pulpa es uno de los principales factores que reducen la calidad y limitan la comercialización para el consumo fresco del melón. Angelitti *et al.*, (2010) mencionan la importancia de mantener la firmeza y como esta influye en extender la vida de almacenamiento de las frutas frescas en buenas condiciones. Al mantener la firmeza esta reduce la incidencia de enfermedades por patógenos, por la inhibición directa en el crecimiento de hongos, la germinación de esporas y debido al fortalecimiento de las paredes celulares de las células en las frutas, estas al estar más rígidas resisten más a la degradación por las enzimas fúngicas, también ayudando a prevenir el desarrollo de trastornos fisiológicos (Elmer *et al.*, 2007; Ciccarese *et al.*, 2013). De acuerdo con Barka *et al.* (2000) y Rivera-Pastrana *et al.* (2007), hay cambios en la firmeza y maduración debido a la reducción en la actividad de enzimas de degradación de la pared celular, como por ejemplo, la poligalacturonasa, pectinasa, metilesterasa, celulasa, xilanasa y D- galactosidasa, al aplicar dosis bajas de irradiación de 3,7 kJ/m<sup>2</sup>.

### **3.3.2 Retraso en la maduración y senescencia**

Lu *et al.* (1991) reportan que el tratamiento de UV-C en frutos de manzana y durazno retrasa el proceso de maduración, lo cual sugieren está íntimamente relacionado con una mayor resistencia al deterioro. Según Barka *et al.* (2000) y Rivera-Pastrana *et al.* (2007), al realizar aplicaciones de radiación ultravioleta se da una reducción en las enzimas: poligalacturonasa, pectinasa, metilesterasa, celulasa, xilanasa y D- galactosidasa, que juegan un papel importante en el deterioro natural del melón, durante su maduración se produce una disminución de la integridad textural y firmeza debido a los cambios en la composición y solubilidad de los polisacáridos de la pared celular, incluyendo pectina, hemicelulosa y celulosa. La celulosa proporciona rigidez y resistencia a la degradación, mientras que la pectina y la hemicelulosa contribuyen a la elasticidad

del tejido (Do Nascimento Nunes, 2009). Con respecto al color los cambios visuales son el resultado de la degradación de la pulpa y / o síntesis de pigmentos. Al inicio de la maduración, la clorofila se pierde rápidamente, mientras que los carotenoides aumentan provocando un aumento en la intensidad del color naranja de la pulpa durante la maduración (Do Nascimento Nunes, 2009).

Un color adecuado tanto externo como interno es el principal criterio para la comercialización de los productos frescos (Montero y Cerdas, 2000). Para utilizar el UV-C como tratamiento poscosecha no se debe ver afectado el color externo e interno del fruto debido a que durante el proceso poscosecha el color no cambia, el fruto de melón solo se restringe al ablandamiento de la pulpa y el desarrollo de compuestos aromáticos volátiles (Snowdon, 2010A), por lo tanto cualquier alteración en el color va a ser notable. En general las aplicaciones potenciales de esta tecnología incluyen el retraso de la maduración durante el almacenamiento, reducción de desórdenes fisiológicos y un aumento de fitoalexinas, antioxidantes o vitaminas (Rivera-Pastrana *et al.*, 2007).

Lamikanra *et al.* (2005), concluyeron que la irradiación UV-C en melón Cantaloupe pre cortado mantiene la firmeza durante el almacenamiento al ser irradiado con UV-C a una dosis de 11,8 kJ/m<sup>2</sup> (254 nm) y a una distancia de 35 cm, debido a la acumulación de poliamidas que suprimen el ablandamiento de la pared celular y la actividad de la poligalacturonasa, formando cationes de calcio en la retícula con ácido péptico y otros polisacáridos. González-Aguilar *et al.* (2007) menciona que en mango fresco cortado, realizar aplicaciones UV-C a una dosis de 2,4 y 4,93 kJ/m<sup>2</sup> a una longitud de onda de 254 nm fueron efectivas en disminuir el índice de oscurecimiento y la actividad de la polifenoloxidasas. Obande (2010), explica el efecto de la aplicación UV sobre el color externo de tomates, tendiendo a un retraso en el desarrollo del color ante una mayor dosis irradiada.

### **3.3.3. Inducción de mecanismos de defensa en fruta.**

En función de la intensidad y longitud de onda, la irradiación UV puede inducir un estrés biológico en los tejidos vegetales y activar algunos mecanismos de defensa, con la consecuente producción de fitoalexinas. La acumulación de estos compuestos podría estar acompañada por otros sistemas de defensa inducidos tales como modificación de las paredes celulares, síntesis de enzimas de defensa e incluso la muerte celular (Rivera-Pastrana *et al.*, 2007).

Según Shama (2015), la radiación UV-C en tejidos vegetales provoca un efecto hórmino, que equivale al efecto de la aplicación de dosis bajas de un tratamiento biótico o abiótico potencialmente dañino, que induce respuestas positivas en los tejidos contra varios tipos de estrés. Hay evidencia del efecto positivo del tratamiento UV-C en aumentar las propiedades nutraceuticas de los alimentos y la síntesis de compuestos que actúan como parte de los mecanismos de defensa natural de los vegetales expuestos. Estos inducen a la producción de compuestos fungicidas como fitoalexinas en la fruta y promueve el retraso en procesos de maduración y senescencia, disminuyendo pérdidas poscosecha ocasionadas por desórdenes fisiológicos (Cisneros-Zevallos, 2003).

### **3.3.4 Efectos adversos sobre la calidad de la fruta**

Existen efectos adversos cuando la aplicación de UV-C es superior a la intensidad tolerada por el producto. El principal efecto se manifiesta como un manchado y una decoloración de la piel y su intensidad varía con el tiempo de exposición. En tomate, una dosis superior a 8 kJ/m<sup>2</sup> causó maduración anormal y pardeamiento del exocarpio, así como la decoloración indeseable del endocarpio (Rivera-Pastrana *et al.*, 2007). Al igual que Mata (2012), que en su trabajo realizado en mango observó un oscurecimiento en la cáscara al tratar frutos de mango con dosis de 6,57 kJ/m<sup>2</sup> de radiación UV-C (254 nm), en comparación con los frutos no tratados.

### **3.4. Uso de la radiación ultravioleta para el control de patógenos.**

#### **3.4.1. Generalidades de la radiación UV-C**

Es común que tanto frutas como hortalizas se cosechen en sistemas de producción a campo abierto y, por lo tanto, posean el riesgo potencial de contaminarse con microorganismos que habitan y se transportan a través del suelo, aire, agua de riego y otras fuentes, que luego persisten durante la poscosecha e inciden sobre la calidad microbiana de los alimentos (Tournas y Kadsoudas, 2005). Para tratar de reducir esta carga microbiana en el manejo poscosecha se ha estudiado la desinfección con luz ultravioleta, que es conocida desde antes de la década de los años 90 como un método eficaz de destrucción de microorganismos. El uso mediante pulsaciones de luz ultravioleta tiene un alto potencial como una alternativa no térmica y libre de residuos químicos para la desinfección de superficies en frutas frescas.

Los métodos de conservación de alimentos que existen actualmente se basan en aplicación de técnicas que impidan alteraciones microbiológicas y mantengan la calidad del producto, reduciendo la carga microbiana y evitando su desarrollo. Para tal fin, muchos productos son tratados térmicamente, técnica que muchas veces modifica las características tanto sensoriales (textura, sabor y color) como nutricionales del alimento, por lo que hace años se estudia como alternativa el efecto producido por radiaciones monocromáticas del espectro ultravioleta (UV-C, 190-280 nm), método que se puede emplear para desinfectar aire, agua y superficies de materiales con contaminación biológica (virus, bacterias, esporas, mohos y levaduras) (Dominguez y Parzanese, 2012).

#### **3.4.2 Propiedades de la luz ultravioleta**

La radiación con luz ultravioleta se caracteriza por longitudes de onda muy cercanas a las de la luz del sol, por lo cual se ha dividido según la longitud emitida (Figura 1). La luz ultravioleta constituye una parte del espectro electromagnético con longitudes de onda entre 100 y 400 nanómetros (nm). Cuanto menor la longitud de onda, mayor la energía producida (Terrán, 2002). Existen tres tipos de

luz ultravioleta: ultravioleta-A (315-400 nm), ultravioleta-B (280-315 nm) y ultravioleta-C (100-280 nm). Según Yaun (2002) el rango germicida se encuentra entre 240 y 280 nm (nanómetros), obteniéndose la máxima eficiencia a 260 nm, dentro del rango de ultravioleta-C (UV-C).

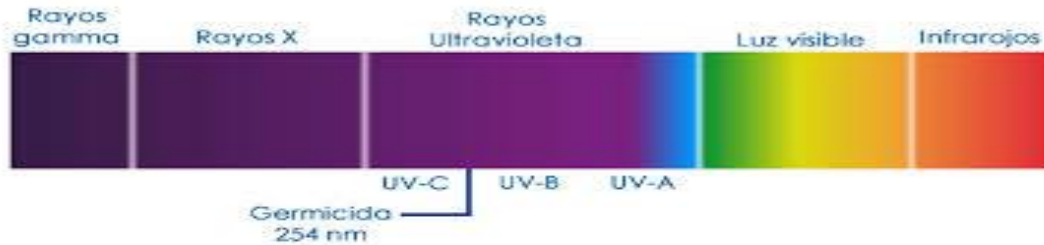


Figura 1. Luz ultravioleta-C en el espectro de la radiación electromagnética, tomada de Lenntech (2009).

### 3.4.3 Dosis

La dosis para la desinfección con luz ultravioleta es expresada en cantidad de energía por unidad de área. Esta se calcula multiplicando la intensidad aplicada ( $I$ ) por el tiempo ( $T$ ) ( $Dosis = I \times T$ ). La intensidad es definida como el poder de radiación incidente de todas las direcciones sobre la superficie (Quincho, 2005). Las unidades para intensidad son miliwatts por centímetro cuadrado ( $mW/cm^2$ ) y las unidades para el tiempo son segundos ( $s$ ), por lo que la dosis se expresa en miliwatt-segundo por centímetro cuadrado ( $mWs/cm^2$ ) o igual a  $10 kJ/m^2$  que es la unidad utilizada para expresar la energía emitida por la lámpara (Conversión de Unidades, 2009).

Los factores que determinan la dosis son: la intensidad emitida por la lámpara, el tiempo de exposición y la distancia de la lámpara al objeto irradiado. Estas son las principales consideraciones para la eficiencia en la destrucción o inactivación de los microorganismos, ya que un exceso en la aplicación de la dosis utilizada puede provocar una alteración en la permeabilidad de la membrana celular, aumentando la salida de electrolitos, aminoácidos y carbohidratos que puede estimular el crecimiento de microorganismos sobre la superficie acortando la vida útil del producto (Artés-Hernández *et al.*, 2009).

#### **3.4.4. Modo de acción y uso de la luz ultravioleta como tratamiento desinfectante.**

Existen dos efectos de la luz UV-C sobre los microorganismos. En primer lugar hay un efecto directo sobre los patógenos, ya que esta daña su ADN. El ADN absorbe la luz ultravioleta, la cual es perjudicial para la célula, conduciendo a la inactivación celular y finalmente la muerte para la misma (Guerrero-Beltran y Barbosa-Cánovas, 2009; González *et al.*, 2007). En segundo lugar, Lagunas-Solar *et al.* (2006) citado por Mata (2012) mencionan que la exposición de las frutas a la UV-C, puede generar resistencia al ataque de patógenos, ya que se ha observado un incremento en la biosíntesis de sustancias como los fenoles que son tóxicos para los patógenos. Estas sustancias son inducidas por la actividad de enzimas biosintéticas como la fenilalanina amoniliasa, aumentando de esta manera los mecanismos de defensa y alargando así la vida poscosecha de los productos expuestos.

Mata (2012) en su trabajo realizado en mango, obtuvo resultados positivos en el análisis microbiológico logrando 0 UFC/25cm<sup>2</sup> con rayos ultravioleta-C generados con una lámpara de 30-watts (253,7 nm), a 15 cm de distancia de la fruta y en tiempos de exposición de 10 y 15 minutos para una dosis de 6,57 kJ/m<sup>2</sup> y 9,86 kJ/m<sup>2</sup> respectivamente. Fonseca y Rushing (2006), obtuvieron una disminución de > 1 log en la población microbiana de melón fresco cortado con una dosis de 4.1 kJ/m<sup>2</sup> (254 nm). Por su parte, Silva (2015) logró observar en piña una disminución en las poblaciones de hongos utilizando una dosis de 8,087 kJ/m<sup>2</sup> (254 nm) a una distancia de 12 cm de la fruta precortada, y no obtuvo cambios en la población con dosis menores a 5,4 kJ/m<sup>2</sup> en las mismas condiciones. Un trabajo similar fue realizado en uva por Cia *et al.* (2009) donde se probaron cuatro dosis diferentes: 1,05, 2,09, 4,18 y 8,35 kJ/m<sup>2</sup> (254 nm) con tiempos de 1, 2, 4 y 8 minutos respectivamente a una distancia de 10 cm del producto, logrando una disminución en la población de microorganismos con las dosis más altas (4,18 y 8,35 kJ/m<sup>2</sup>). Huang *et al.* (2015) en trabajos realizados con melón observaron una

reducción en la incidencia de un 80% de los hongos *Fusarium oxysporum* y *Alternaria alternata*, con una dosis de 4 kJ/m<sup>2</sup> a una distancia de 20 cm.

Por otra parte y no menos importante es la inocuidad de los alimentos frescos, el melón es susceptible a ser portador de patógenos de origen bacteriano que constituyen un problema para la salud pública como lo son *Escherichia coli*, *Enterobacter* sp., *Pseudomonas* sp. y *Salmonella* sp. Actualmente se usan técnicas para prevenir la contaminación con estos microorganismos y aumentar la vida de la fruta fresca, como la modificación de la atmósfera a temperaturas bajas. Sin embargo bacterias como *Listeria monocytogenes* logran sobrevivir, ya que toleran las temperaturas bajas (Fonseca y Rushing, 2006). Debido al impacto en pérdidas que conlleva la carga microbiana contaminante sobre la superficie de los productos frutícolas y sumados a la seguridad humana, los investigadores y la industria han tomado interés en el estudio de aplicaciones de la radiación ultravioleta por su efecto deletéreo sobre fitopatógenos, relativo bajo costo, versatilidad y nula residualidad (Cerón *et al.*, 2013).

#### 4. Materiales y métodos:

El presente trabajo de investigación se realizó en el Laboratorio de Tecnología Poscosecha (LTP) del Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA) de la Universidad de Costa Rica, ubicado en el cantón de Montes de Oca, se llevó a cabo de enero del 2016 hasta abril del 2016.

Se utilizaron frutos de melón de dos tipos (Cantaloupe C. Diamond y Honey Dew amarillo bola de oro) provenientes de plantas empacadoras comerciales ubicadas en el Pacífico Norte de Costa Rica. Se seleccionaron frutos con calidad de exportación (calibre 6), sin daños físicos, pudriciones u otros defectos de calidad aparentes, para luego ser transportados a temperatura ambiente hasta el Laboratorio de Tecnología Poscosecha (LTP). Una vez en el LTP a los frutos se le realizó un lavado con cloro a una concentración de 100 mg/L en agua y fueron sumergidos durante un minuto, posterior a esto, las frutas se dejaron secar y se procedió a realizar las aplicaciones de los tratamientos con luz UV-C.

Los tratamientos fueron aplicados usando una cámara sellada, provista con tres lámparas General Electric (G30T8) de 30 watts cada una, a una distancia de 10 centímetros sobre la fruta por el tiempo correspondiente para cada dosis. Las dosis para cada tratamiento fueron calculadas con ayuda de un radiómetro digital portátil modelo TIF 3710, el cuál mide la intensidad emitida por la lámpara en  $mW/cm^2$  a una longitud de onda de 253,7 nm, que para la lámpara fue de aproximadamente  $2,71 mW/cm^2$  a 10 cm de distancia, siendo el tiempo de exposición de la fruta a la luz lo que permitió estimar las diferentes dosis.

Fórmula (cálculo de dosis UV-C):

$$mW/cm^2 * \frac{1W}{1000 mW} * \frac{10000cm^2}{1m^2} = W/m^2 = I(W/m^2) * t(s) = J/m^2 = J/ m^2/1000 = kJ/m^2$$

El trabajo constó de tres etapas, la primera etapa donde se expusieron los frutos de melón a diferentes dosis de luz ultravioleta para determinar la mejor respuesta externa sin causar quemaduras a los frutos. En la segunda etapa se utilizaron los mejores tratamientos obtenidos en la primera etapa para determinar

los mejores tratamientos sin causar alteraciones de diferentes variables de calidad externa e interna. En la tercera etapa se utilizaron los mejores tratamientos de la segunda etapa para determinar el efecto de los tratamientos como controlador de enfermedades poscosecha.

#### **4.1. I etapa: Prueba para determinación de las dosis de luz ultravioleta.**

Para cada una de las dos variedades de melón se utilizaron seis dosis diferentes; 0, 2, 4, 6, 8 y 10 kJ/m<sup>2</sup> (Cuadro 1) de radiación UV-C a una longitud de onda de 253,7 nm, designando la dosis 0 kJ/m<sup>2</sup> como tratamiento testigo.

**Cuadro 1.** Resumen del cálculo de las diferentes dosis a una longitud de onda de 253,7 nm.

<b>Tiempo de exposición (s)</b>	<b>Intensidad (I)</b>	<b>Tratamiento (Dosis)</b>
0		0 kJ/m <sup>2</sup>
98		2 kJ/m <sup>2</sup>
148	2,71 mW/cm <sup>2</sup>	4 kJ/m <sup>2</sup>
221		6 kJ/m <sup>2</sup>
295		8 kJ/m <sup>2</sup>
360		10 kJ/m <sup>2</sup>

Una vez lavadas y desinfectadas las frutas fueron expuestas a las diferentes dosis definidas en el Cuadro 1, para lograr una cobertura total de la superficie: primeramente se expuso la fruta por un lado para luego girarla 180° (ambas caras recibieron el mismo tiempo de exposición). Una vez realizadas las aplicaciones, los frutos fueron almacenados en cámaras frías simulando transporte al mercado europeo durante 14 días a 5°±1°C el melón Cantaloupe y 10°±1°C el Honey Dew amarillo a una humedad relativa de 95%. Concluido este periodo la fruta se almacenó a temperatura ambiente durante 5 días simulando el tiempo que se toma para llegar al consumidor.

Para evaluar el efecto de las dosis aplicadas sobre la calidad externa de la fruta se realizaron mediciones visuales del porcentaje de quemaduras a cada uno de los seis tratamientos definidos en el Cuadro 4, los frutos se evaluaron a los 8, 14 y 19 días después de aplicados los tratamientos. A partir de los resultados obtenidos en la etapa I se determinaron las dosis que causaron daño de forma visual sobre la cáscara para ser descartadas, seleccionando las dosis más altas que no causaron daño a la fruta, para las pruebas a realizar en las etapas II y III.

La unidad experimental del ensayo consistió en un fruto de melón. Se utilizó un diseño irrestricto al azar con diez repeticiones por tratamiento y cada repetición constituida por un fruto de melón.

Para esta etapa en el melón tipo Honey Dew amarillo el total de los frutos de cada tratamiento se dividió en dos partes iguales: 1- Un grupo que fue almacenado durante 14 días a 10 °C y 4 días a 19 °C y se le realizaron evaluaciones a los 8 y 19 días de almacenamiento. 2- El otro grupo del total de los frutos se almacenó a 10 °C durante 7 días y 7 días a 19 °C y fueron evaluados a los 14 días, lo anterior para ver resultados más rápidamente debido al inconveniente del poco tiempo que dura la temporada melonera en Costa Rica.

#### **4.2. II etapa: Evaluación del efecto de la luz ultravioleta sobre la calidad de la fruta.**

Una vez seleccionadas las dosis más altas que no causaran daño sobre la fruta (Cuadro 2) se procedió a realizar el mismo manejo poscosecha utilizado en la etapa I. Una vez aplicados los tratamientos se le realizaron evaluaciones de calidad externa e interna así como respiración a cada uno de los dos tipos (Cantaloupe y Honey Dew amarillo). Las evaluaciones se realizaron a los 0 días (calidad inicial, lote de 15 frutas seleccionadas al azar), a los 14 días (salida de frío) y a los 19 días (consumo) basado en una simulación de transporte al mercado Europeo.

**Cuadro 2.** Dosis aplicadas en la segunda etapa para las dos diferentes variedades de melón a una longitud de onda de 253,7 nm.

<b>Tipo</b>	<b>Tiempo de exposición (s)</b>	<b>Intensidad (I)</b>	<b>Tratamiento (dosis)</b>
Cantaloupe	0	2,71 mW/cm <sup>2</sup>	0 kJ/m <sup>2</sup>
	221		6 kJ/m <sup>2</sup>
	295		8 kJ/m <sup>2</sup>
	360		10 kJ/m <sup>2</sup>
	442		12 kJ/m <sup>2</sup>
Honey Dew amarillo	0		0 kJ/m <sup>2</sup>
	148		4 kJ/m <sup>2</sup>
	221		6 kJ/m <sup>2</sup>
	295		8 kJ/m <sup>2</sup>

La unidad experimental del ensayo consistió en una caja comercial de melón con seis frutos (calibre 6). Se utilizó un diseño irrestricto al azar con siete repeticiones por tratamiento (siete cajas de seis frutos) y para cada variedad se estableció un ensayo independiente. Las variables de calidad interna y externa se midieron a tres frutos por repetición en cada evaluación y la tasa respiratoria se midió en seis frutas por tratamiento, fruta destinada solo a respiración para observar el comportamiento en el tiempo.

**4.3. III etapa: Evaluación del efecto de la luz ultravioleta sobre el crecimiento en la fruta de los patógenos *Fusarium sp.* y *Cladosporium sp.***

Para evaluar el efecto germicida de la luz ultravioleta se inocularon los frutos con los patógenos *Fusarium sp.* y *Cladosporium sp.*, que corresponden a los hongos más frecuentemente aislados en muestreos previos realizados en el Laboratorio de Tecnología Poscosecha del Centro de Investigaciones Agronómicas (LTP).

Los frutos de los dos tipos de melón fueron inoculados con una mezcla de los dos patógenos con una concentración de  $1 \times 10^5$  esporas/mL de *Fusarium sp.*, y  $1 \times 10^4$  esporas/mL de *Cladosporium sp.* Para esto se preparó una suspensión de esporas a partir de colonias puras de cada patógeno añadiendo 30 mL de agua destilada estéril a la placa Petri con la colonia del patógeno y con ayuda de un asa se raspó la superficie, luego la suspensión se transvasó a un beaker, se agregó una gota de Tween 20 y se agitó durante 10 minutos en un agitador magnético. Posterior a la agitación se filtró la suspensión a través de cuatro capas de gasa para eliminar los restos de medio de cultivo; y se agitó nuevamente durante cinco minutos.

Una vez finalizado el periodo de agitación, se extrajo una muestra de la suspensión y se realizó el conteo de esporas al microscopio con ayuda de un hematocitómetro (Gonzales, 2011). La inoculación se realizó por medio de aspersión con una bomba a presión previamente calibrada para dispersar un volumen de 5 ml por fruta garantizando la cobertura total de la superficie. Una vez inoculados los frutos se dejaron secar durante 20 minutos para realizar el manejo poscosecha utilizado en la etapas I y II, a los frutos se les realizaron evaluaciones de calidad externa e interna, respiración e incidencia y severidad de enfermedades. Las evaluaciones se realizaron a los 0 días (calidad inicial en un lote de 20 frutas), a los 14 días (salida de frío) y a los 19 días (consumo). Los tratamientos usados en la III etapa son los mismos de la II etapa descritos en el Cuadro 2 con la diferencia de que en la III etapa se agregó la fuente de inóculo descrita anteriormente. Además se realizó en dos momentos de la temporada melonera, a inicio (febrero) y al final de la temporada (abril del año 2016).

La unidad experimental del ensayo consistió en una caja comercial de melón con seis frutos. Se utilizó un diseño irrestricto al azar con siete repeticiones por tratamiento (siete cajas de seis frutos) y para cada variedad se estableció un ensayo independiente. Las variables de calidad interna y externa fueron evaluadas en tres frutos por repetición en cada evaluación. La respiración se midió en seis frutas por tratamiento (fruta destinada solo a respiración para observar el comportamiento en el tiempo). Las variables de incidencia y severidad de

enfermedades en pedúnculo y en cáscara se le midieron a seis frutos por repetición a los 14 días y a tres a los 19 días. La III etapa se realizó por duplicado.

#### **4.4. Variables evaluadas**

##### **4.4.1. Severidad de quemaduras ocasionadas por radiación UV-C en la cáscara.**

Para la evaluación del quemado se utilizó una escala subjetiva de 1 a 100% mediante una inspección visual del porcentaje del área dañada (oscurecimiento de la cáscara, maduración des uniforme, oxidación de cáscara, bronceado) metodología empleada por Safriti *et al.* (2015) en mango.

##### **4.4.2. Firmeza de la cáscara**

Se determinó a través de un penetrómetro QA supplies modelo FT011 (0-11 Lbs) y con una punta convexa de 6,5 mm de ancho, en tres puntos equidistantes en la zona media de la fruta. Los datos se expresaron en Newton (N).

##### **4.4.3. Firmeza de la pulpa**

Se determinó utilizando un penetrómetro QA supplies modelo FT011 (0-11 Lb) y con una punta convexa de 6,5 mm de ancho en tres puntos equidistantes en la zona media de la fruta, para ello se eliminó un segmento de cáscara con ayuda de un pelador manual. Los datos se expresaron en Newton (N).

##### **4.4.4. Color externo**

Esta variable solo se realizó en el tipo Honey Dew amarillo. Se realizaron mediciones con colorímetro digital marca i-wave (modelo WR-10), basado en la escala CIE  $L^*a^*b$  y, con base en los resultados obtenidos, se calculó el Hue mediante la fórmula  $Hue = \text{tg}^{-1} (b^*/a^*)$ , los datos fueron medidos en tres puntos equidistantes en la zona media de la fruta.

#### 4.4.5. Color interno

Se realizaron mediciones con colorímetro digital marca i-wave (modelo WR-10), basado en la escala CIE L\*a\*b y, con base en los resultados obtenidos, se calculó el Hue mediante la fórmula  $Hue = \text{tg}^{-1}(b^*/a^*)$ , los datos fueron medidos en tres puntos equidistantes en la zona ecuatorial de la fruta, para ello se realizó un corte longitudinal en el medio de la fruta.

#### 4.4.6. Sólidos solubles

Esta medición se realizó colocando una gota del jugo de la pulpa en un refractómetro digital de mano ATAGO modelo PAL-1 (incertidumbre  $\pm 0.2^\circ$ Brix). A cada fruta evaluada se le eliminó la cáscara y la semilla extrayendo jugo de la zona media de la fruta de forma de que la muestra fuera representativa.

#### 4.4.7. Respiración

Estas mediciones se realizaron utilizando un analizador de gases marca Brigde Analyzer, MAP Headspace O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> Analyzer (Modelo 9001). Se colocaron los frutos previamente pesados en recipientes de 9 litros con cierre hermético, y luego de un aproximado de cuatro horas se midió el porcentaje de CO<sub>2</sub> emitido por la fruta.

Fórmula para el cálculo de la tasa de respiración:

$$CO_2 \text{ (mL/kg * h)} = \frac{(CO_2f) - (CO_2i)}{100} * \left( \frac{Vrep - P}{\left(\frac{P}{1000}\right) * T} \right)$$

En donde:

CO<sub>2</sub>f= Concentración final de CO<sub>2</sub> expresada en porcentaje.

CO<sub>2</sub>i= Concentración inicial de CO<sub>2</sub> expresada en porcentaje (para efectos del trabajo se asumió como 0).

Vrep= Volumen del recipiente en cm<sup>3</sup>.

P= Peso del fruto en gramos.

T=Tiempo en horas.

#### 4.4.8. Severidad de moho en el pedúnculo

Esta variable se evaluó mediante una inspección visual del porcentaje de área cubierta con moho. Para esto se utilizó una escala del Laboratorio de Tecnología Poscosecha (LTP) basada en 4 grados que van del 1 al 100% de cobertura (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Escala de severidad de porcentaje de moho en pedúnculo de melón.

Grado	Porcentaje de moho
0	0
1	0-20%
2	20-50%
3	>50

Fórmula para el cálculo del índice de severidad:

$$IS = \left( \sum \frac{na}{(N - 1)} * T \right) * 100$$

En donde:

IS= índice de severidad

n= número de frutos en cada grado

a= grado de severidad

N= número de grados

T= total de frutos

#### **4.4.9. Porcentaje de área externa del fruto cubierta por patógenos**

Se evaluó mediante una inspección visual del porcentaje del área total de la fruta con presencia de daños provocados por los patógenos inoculados. Como daño se definió la presencia de micelio y pudriciones causadas por patógenos.

#### **4.5. Análisis estadístico:**

El análisis estadístico se realizó mediante el software InfoStat y se realizó el análisis por separado para cada tipo de melón y cada momento de evaluación. Para la etapa I las variables de porcentaje de quemaduras se realizó un análisis de varianza no paramétrico con la prueba Kruskal-Wallis, con un nivel de significancia de  $p$  de 0,05. Para etapa II las variables de índice de color con colorímetro, tasa respiratoria, firmeza, sólidos solubles se realizó un análisis de varianza con una comparación de promedios con la prueba Tukey con un nivel de significancia  $p= 0,05$ . En la etapa III las variables incidencia de enfermedades y porcentaje de mohos en pedúnculo se realizó un análisis de varianza no paramétrico con la prueba Kruskal-Wallis, con un nivel de significancia de  $p$  de 0,05 y para los índices de severidad se realizó un análisis de modelos lineales generalizados mixtos con la interfaz del programa Rstudio, con un nivel de significancia de  $p$  de 0,05. Para los ensayos 3 y 4 se realizó un análisis combinado correspondiente al inicio y final de temporada para Cantaloupe y Honey Dew amarillo por separado.

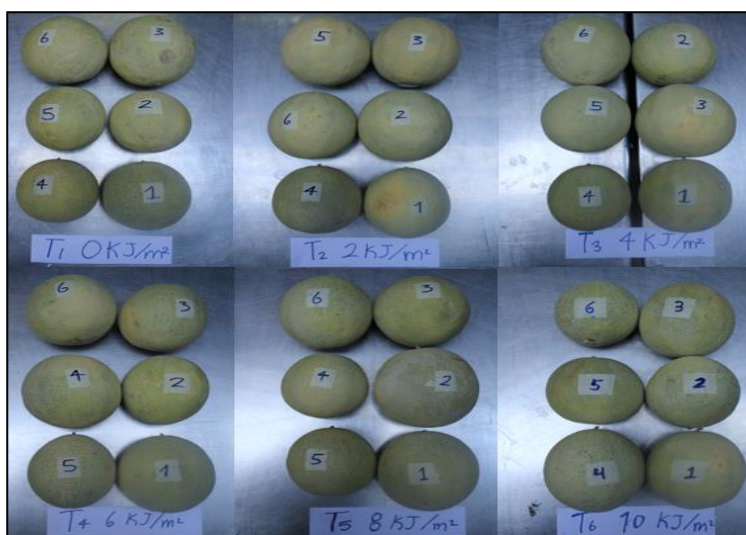
## 5. Resultados

Los resultados se presentan para cada variedad por separado.

### 5.1. Cantaloupe

#### 5.1.1 I etapa: Prueba para determinación de las dosis de luz ultravioleta

Esta etapa fue evaluada mediante una escala subjetiva del porcentaje de quemaduras y mediante fotos, para determinar las dosis mayores que no causen daños externos a la fruta. Los resultados muestran que ninguno de los tratamientos presentó quemaduras ni daños a los 8, 14 y 19 días de almacenamiento como se observa en la Figura 2 (19 días después de aplicado el tratamiento).



**Figura 2.** Frutos de melón Cantaloupe expuestos a diferentes dosis de radiación UV-C a los 19 días de almacenado.

### **5.1.2. II etapa: Evaluación del efecto de la luz ultravioleta sobre la calidad de la fruta.**

Para la etapa II del proyecto se descartaron los tratamientos de 2 y 4 kJ/m<sup>2</sup> debido a que estas dosis son iguales o menores a la que controló enfermedades en pruebas preliminares realizadas *in vitro* en el Laboratorio de Tecnología Poscosecha (LTP) y se incluyó el tratamiento de 12 kJ/m<sup>2</sup> para estimar la dosis más alta que no cause daños a la fruta.

Como se observa en el Cuadro 4, sobre las variables de calidad: firmeza externa e interna, los tratamientos no presentaron diferencias significativas entre ellos para las diferentes fechas de evaluación, mostrando que ninguna de las dosis alteró la firmeza tanto externa como interna, comportándose de manera similar al testigo durante los 19 días poscosecha mostrando valores de 73,3N firmeza externa y 10,3 N firmeza interna a los 19 días de almacenamiento.

**Cuadro 4.** Firmeza externa e interna en frutos de melón Cantaloupe a los 0, 14 y 19 días de almacenado.

Tratamiento	Días	Firmeza externa (N)	Firmeza interna (N)
Calidad inicial	0	74,2	19,1
0 kJ/m <sup>2</sup>		73,3	14,2
6 kJ/m <sup>2</sup>		73,1	13,7
8kJ/m <sup>2</sup>	14	72,2	14,4
10 kJ/m <sup>2</sup>		73,9	14,3
12 kJ/m <sup>2</sup>		73,5	14,6
0 kJ/m <sup>2</sup>		73,3	10,3
6 kJ/m <sup>2</sup>		75,6	9,9
8kJ/m <sup>2</sup>	19	73,7	10,5
10 kJ/m <sup>2</sup>		73,8	11,7
12 kJ/m <sup>2</sup>		75,1	10,3

*No se obtuvo diferencias estadísticas, de acuerdo con el análisis de varianza y la prueba de Tukey ( $p > 0,05$ ), (a los 14 días  $p = 0,2993$  para firmeza interna y  $0,146$  para firmeza externa y a los 19 días  $p = 0,5604$  para firmeza interna y  $0,5776$  para firmeza externa).*

El color interno se comportó de manera similar, donde no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos para las variables  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  y  $h^\circ$ , en las diferentes fechas de evaluación, como se observa en el Cuadro 5.

**Cuadro 5.** Color interno en frutos de melón Cantaloupe a los 0, 14 y 19 días de almacenado.

Tratamiento	Días	L*	a*	b*	°Hue
Calidad inicial	0	51,2	10,2	22,8	65,9
0 kJ/m <sup>2</sup>	14	53,1	10,0	22,6	66,2
6 kJ/m <sup>2</sup>		53,2	10,0	22,3	65,9
8 kJ/m <sup>2</sup>		53,2	10,4	23,1	65,7
10 kJ/m <sup>2</sup>		52,4	10,0	22,2	65,7
12 kJ/m <sup>2</sup>		53,1	10,0	22,6	66,3
0 kJ/m <sup>2</sup>	19	55,3	9,0	21,3	67,0
6 kJ/m <sup>2</sup>		55,0	9,0	21,3	67,1
8 kJ/m <sup>2</sup>		56,4	9,5	22,2	66,8
10 kJ/m <sup>2</sup>		56,8	9,2	21,9	67,4
12 kJ/m <sup>2</sup>		56,4	9,1	21,9	67,5

*No se obtuvo diferencias estadísticas, de acuerdo con el análisis de varianza y la prueba de Tukey ( $p > 0,05$ ), (a los 14 días  $p = 0,6198$  para L\*, 0,5348 para a\*, 0,6053 para b\* y 0,2199 para °Hue a los 19 días  $p = 0,1973$  para L\*, 0,3898 para a\*, 0,2586 para b\* y 0,2199 para °Hue).*

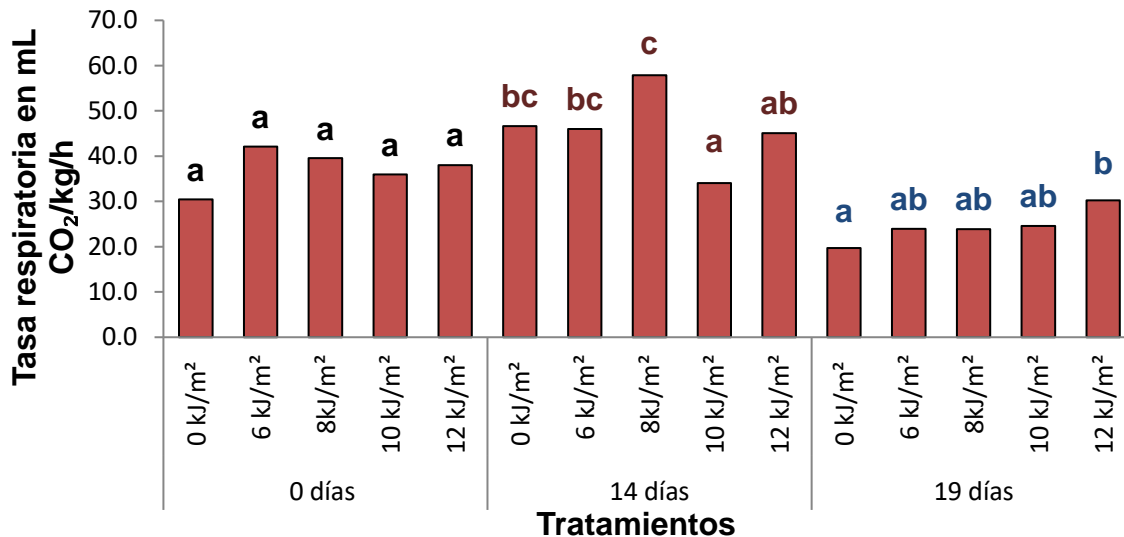
El porcentaje de sólidos solubles no presentó diferencias significativas entre tratamientos, ni variaciones en los tratamientos de los 14 a los 19 días de almacenamiento, mostrando que los diferentes tratamientos no alteran los sólidos solubles en la fruta, teniendo valores similares al testigo con 10,71 °Brix a los 14 días y 10,69 °Brix a los 19 días, (Cuadro 6).

**Cuadro 6.** Porcentaje de sólidos solubles totales en frutos de melón Cantaloupe a los 0, 14 y 19 días de almacenado.

<b>Tratamiento</b>	<b>Días</b>	<b>°Brix</b>
Calidad inicial	0	11,06
0 kJ/m <sup>2</sup>	14	10,71
6 kJ/m <sup>2</sup>		10,85
8kJ/m <sup>2</sup>		10,97
10 kJ/m <sup>2</sup>		11,09
12 kJ/m <sup>2</sup>		11,27
0 kJ/m <sup>2</sup>	19	10,69
6 kJ/m <sup>2</sup>		10,44
8kJ/m <sup>2</sup>		10,71
10 kJ/m <sup>2</sup>		10,03
12 kJ/m <sup>2</sup>		10,31

*No se obtuvo diferencias estadísticas, de acuerdo con el análisis de varianza y la prueba de Tukey ( $p > 0,05$ ), (a los 14 días  $p = 0,5987$  a los 19 días  $p = 0,2805$ ).*

En la Figura 3 se observa como a la salida de frío (14 días), el tratamiento con la menor tasa respiratoria fue el de 10 kJ/m<sup>2</sup>, teniendo una mayor tasa de respiración el tratamiento de 8 kJ/m<sup>2</sup>. A los 19 días todos los tratamientos tendieron a una reducción en la tasa respiratoria siendo la menor en el tratamiento testigo con 19,7 mL CO<sub>2</sub>/kg/h y la mayor en el de 12 kJ/m<sup>2</sup> con 30,2 mL CO<sub>2</sub>/kg/h presentando diferencias estadísticas.



Medias con una letra diferente son significativamente diferentes de acuerdo con el análisis de varianza y prueba tukey ( $p < 0,05$ ) (a los 0 días  $p = 0,5054$ , a los 14 días  $p = 0,0002$  y a los 19 días  $p = 0,0046$ ).

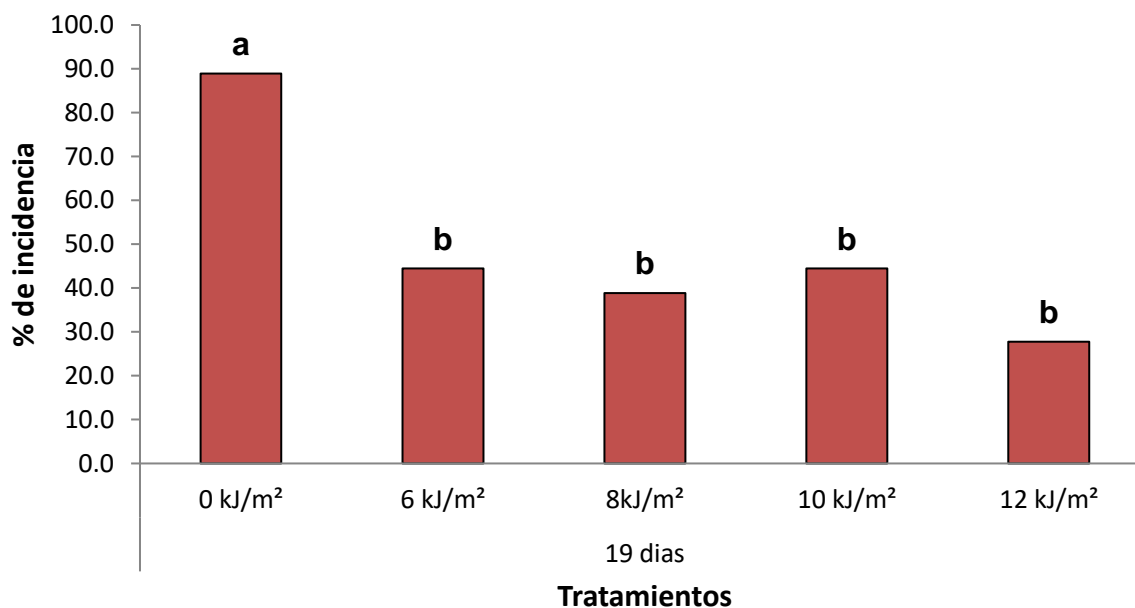
**Figura 3.** Tasa respiratoria en frutos de melón Cantaloupe aplicados con radiación UV-C a los 0, 14 y 19 días de almacenado.

### **5.1.3. III etapa: Evaluación del efecto de la luz ultravioleta sobre el crecimiento de patógenos en la fruta**

Para la etapa III se evaluaron las variables de calidad presentadas en la etapa II; firmeza externa e interna, color interno y respiración, variables que tuvieron un comportamiento similar a las de la etapa II y no presentaron diferencias significativas entre tratamientos (ver en anexos Cuadros 12, 13, 14 y Figura 11).

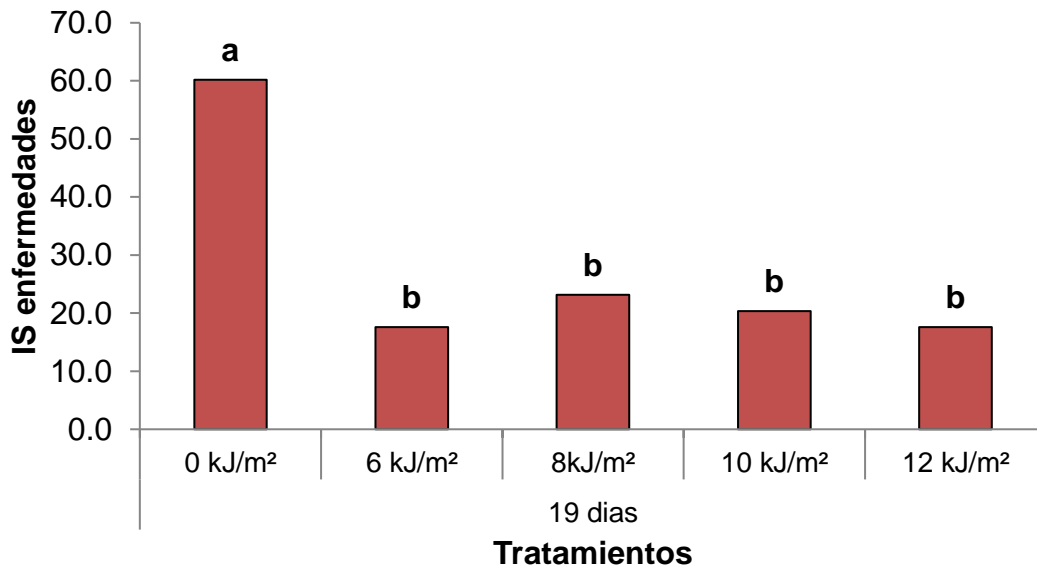
Durante esta etapa del trabajo a los 14 días de almacenamiento a 5°C no se presentó incidencia de los patógenos inoculados en ninguno de los tratamientos. Como se observa en la figura 4, a los 19 de almacenamiento (14 días a 10°C más cuatro días a 19°C) se observó el desarrollo de moho en general para todos los tratamientos mostrando diferencias significativas con respecto al tratamiento testigo, siendo el de la mayor incidencia el tratamiento testigo con 90% y el de menor incidencia el tratamiento de 12 kJ/m² con 27%.

Para la variable severidad no hubo presencia de enfermedades a los 14 días de almacenamiento, dándose un incremento en la severidad a los 19 días, mostrando diferencias significativas entre las dosis y el tratamiento testigo, siendo el de mayor severidad el tratamiento testigo con un 60% y el de menor severidad el tratamiento de 12 kJ/m<sup>2</sup> con 27%.



Medias con una letra diferente son significativamente diferentes de acuerdo con el análisis Kruskal Wallis ( $p < 0,05$ ), ( $p = 0,0014$ ).

**Figura 4.** Porcentaje de incidencia enfermedades en el pedúnculo de frutos de melón Cantaloupe a los 19 días de almacenado.



Medias con una letra diferente son significativamente diferentes de acuerdo con el análisis GLMs ( $p < 0,05$ ) ( $p < 0,0001$ ).

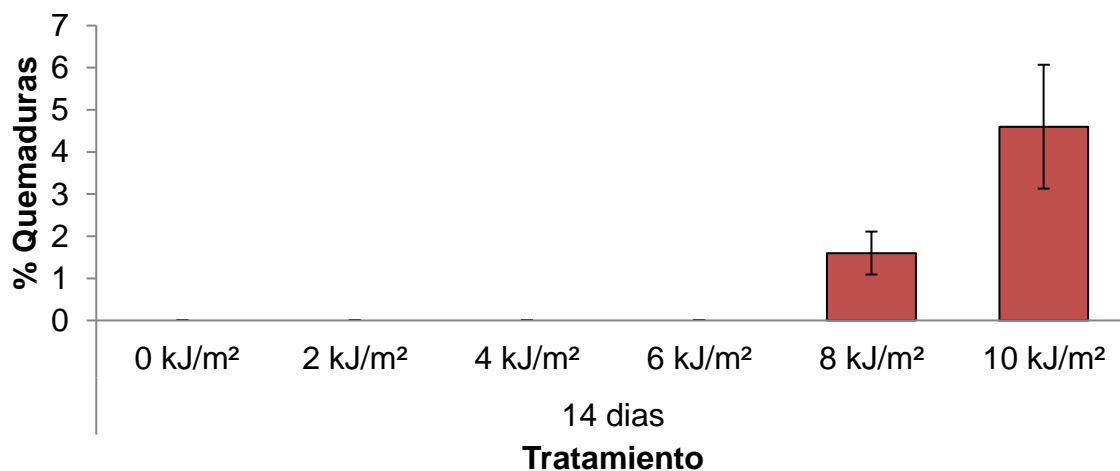
**Figura 5.** Índice de severidad de enfermedades (IS) en el pedúnculo de frutos de melón Cantaloupe a los 19 días de almacenado.

## 5.2. Honey Dew amarillo

### 5.2.1. I etapa: Prueba para determinación de las dosis de luz ultravioleta

En la Figura 6 se observa como a los 14 días (7 días de almacenamiento a 19 °C) los tratamientos de 2, 4 y 6 kJ/m<sup>2</sup> no causaron quemaduras en la fruta, no fue así para los tratamientos de 8 y 10 kJ/m<sup>2</sup> que si presentaron quemaduras en la fruta.

El tratamiento que se diferenció al tratamiento testigo estadísticamente fue el de 10 kJ/m<sup>2</sup> con un valor de 4,5 % de quemaduras sobre la superficie del fruto, sin embargo en la evaluación del color externo realizada con colorímetro no se registraron quemaduras como se observa en el Cuadro 7 donde no hubo diferencias significativas entre tratamientos, mostrando valores similares al tratamiento testigo en las variables L\*, a\*, b\* y °hue a los 8, 14 y 19 días de almacenamiento. Lo anterior puede deberse a que las quemaduras no se presentaron de manera uniforme en la fruta como se observa en la Figura 7, estas se presentaron en los extremos de la fruta.



*Barras representan error estándar.*

**Figura 6.** Porcentaje de quemaduras en frutos de melón Honey Dew amarillo a los 14 días de almacenado (7 días a 10 °C y 7 días a 19 °C).

**Cuadro 7.** Color externo en frutos de melón Honey Dew amarillo a los 0, 14 y 19 días de almacenado.

Tratamiento	Días	L*	a*	b*	°Hue
0 kJ/m <sup>2</sup>	8	68,8	73,9	82,5	9,2
2 kJ/m <sup>2</sup>		68,4	73,5	81,8	9,4
4 kJ/m <sup>2</sup>		68,8	73,6	82,7	8,7
6 kJ/m <sup>2</sup>		70,2	74,5	81,3	9,8
8 kJ/m <sup>2</sup>		69,5	74,0	81,4	9,8
10 kJ/m <sup>2</sup>		69,5	74,3	81,1	10,3
0 kJ/m <sup>2</sup>	14	70,1	74,4	81,5	11,7
2 kJ/m <sup>2</sup>		69,4	74,0	82,0	11,4
4 kJ/m <sup>2</sup>		69,8	74,2	81,4	11,5
6 kJ/m <sup>2</sup>		68,4	73,1	81,2	11,8
8 kJ/m <sup>2</sup>		68,9	73,9	81,9	11,4
10 kJ/m <sup>2</sup>		68,4	73,1	81,0	11,9
0 kJ/m <sup>2</sup>	19	68,5	72,9	80,1	14,6
2 kJ/m <sup>2</sup>		68,2	73,0	82,2	13,0
4 kJ/m <sup>2</sup>		69,6	73,9	80,6	14,3
6 kJ/m <sup>2</sup>		69,4	73,8	79,8	14,5
8 kJ/m <sup>2</sup>		68,1	73,0	80,6	13,6
10 kJ/m <sup>2</sup>		69,1	73,4	80,7	14,3

*\*No se obtuvo diferencias estadísticas, de acuerdo con el análisis de varianza y la prueba de Tukey ( $p > 0,05$ ), (a los 8 días  $p = 0,9420$  para L\*, 0,9772 para a\*, 0,6382 para b\* y 0,6063 para °Hue a los 14 días  $p = 0,7149$  para L\*, 0,6150 para a\*, 0,7636 para b\* y 0,9185 para °Hue a los 19 días  $p = 0,9420$  para L\*, 0,8262 para a\* y 0,0487 para b\* y 0,9185 para °Hue).*



**Figura 7.** Quemaduras en frutos de melón Honey Dew amarillo provocadas por la dosis de 10 kJ/m<sup>2</sup> a los 14 días (7 días a 19°C) de almacenado.

### **5.2.2. II etapa: Evaluación del efecto de la luz ultravioleta sobre la calidad de la fruta.**

Tomando en cuenta los resultados de la etapa I, la dosis de 10 kJ/m<sup>2</sup> fue descartada por las quemaduras observadas (Figura 7). Al igual que la dosis de 2 kJ/m<sup>2</sup> ya que esta dosis es menor a la que controló enfermedades en pruebas *in vitro* realizadas por el LTP. Por lo tanto se procedió a evaluar las dosis de 4, 6 y 8 kJ/m<sup>2</sup> en la etapa II de la investigación para evaluar el efecto en variables de calidad externa e interna.

Para las variables de calidad firmeza externa e interna, se puede observar en el Cuadro 8 que ninguno de los tratamientos tuvo diferencias significativas en cada una de las diferentes fechas de evaluación a los 14 y 19 días, comportándose de manera similar al tratamiento testigo a los 19 días de almacenamiento que tuvo valores de 96.5 N firmeza externa y 12,9 N firmeza interna. No hubo una alteración en la firmeza de la fruta al aplicar radiación UV-C a las dosis descritas anteriormente.

**Cuadro 8.** Firmeza externa en frutos de melón Honey Dew amarillo a los 0, 14 y 19 días de almacenamiento.

<b>Tratamiento</b>	<b>Días</b>	<b>Firmeza externa (N)</b>	<b>Firmeza interna (N)</b>
Calidad inicial	0	100,3	15,8
0 kJ/m <sup>2</sup>	14	100,2	13,9
4 kJ/m <sup>2</sup>		104,1	15,2
6 kJ/m <sup>2</sup>		107,1	14,8
8 kJ/m <sup>2</sup>		97,7	14,9
0 kJ/m <sup>2</sup>	19	96,5	12,9
4 kJ/m <sup>2</sup>		93,8	12,6
6 kJ/m <sup>2</sup>		88,9	12,7
8 kJ/m <sup>2</sup>		94,9	12,6

*\*No se obtuvo diferencias estadísticas, de acuerdo con el análisis de varianza y la prueba de Tukey ( $p > 0,05$ ), (a los 14 días  $p = 0,4800$  para firmeza interna y  $0,8159$  para firmeza externa, a los 19 días  $p = 0,7067$  para firmeza interna y  $0,2703$  para firmeza externa).*

Durante la etapa II la dosis de 8 kJ/m<sup>2</sup> no presentó quemaduras sobre la cáscara, las cuales si se observaron en la etapa I. Con respecto a las variables de color externo e interno no presentaron diferencias significativas entre tratamientos para las variables L\*, a\*, b\* y hue° en las diferentes fechas de evaluación 14 y 19 días, teniendo valores similares al testigo a los 19 días de almacenamiento; L\* 68,5, a\* 10,2, b\* 70,2 y h° 81,8 para color externo y L\* 61,1, a\* -0,6, b\* 8,0 y hue° 94,4 para color interno (Cuadros 9 y 10).

**Cuadro 9.** Color externo en frutos de melón Honey Dew amarillo a los 0, 14 y 19 días de almacenado.

Tratamiento	Días	L*	a*	b*	°Hue
Calidad inicial	0	70,4	8,3	67,0	83,0
0 kJ/m <sup>2</sup>	14	70,1	9,8	68,7	82,0
4 kJ/m <sup>2</sup>		69,7	10,1	68,7	81,7
6 kJ/m <sup>2</sup>		69,9	9,2	68,8	82,5
8 kJ/m <sup>2</sup>		70,3	9,6	68,3	82,2
0 kJ/m <sup>2</sup>	19	68,5	10,2	70,2	81,8
4 kJ/m <sup>2</sup>		68,9	10,4	70,2	81,6
6 kJ/m <sup>2</sup>		68,7	11,1	71,9	81,3
8 kJ/m <sup>2</sup>		68,6	11,1	71,6	81,2

*\*No se obtuvo diferencias estadísticas, de acuerdo con el análisis de varianza y la prueba de Tukey ( $p > 0,05$ ), (a los 14 días  $p = 0,2287$  para L\*, 0,2840 para a\* y 0,9711 para b\* y 0,1445 para \*Hue, a los 19 días  $p = 0,6916$  para L\*, 0,3245 para a\* y 0,1562 para b\* y 0,4166 para \*Hue).*

**Cuadro 10.** Color interno en frutos de melón Honey Dew amarillo a los 0, 14 y 19 días de almacenado.

Tratamiento	Días	L*	a*	b*	°Hue
Calidad inicial	0	61,0	-0,9	7,5	96,8
0 kJ/m <sup>2</sup>	14	63,1	-0,8	6,9	96,9
4 kJ/m <sup>2</sup>		63,6	-0,8	6,9	96,7
6 kJ/m <sup>2</sup>		63,3	-0,8	7,0	96,6
8 kJ/m <sup>2</sup>		64,8	-0,8	7,3	96,4
0 kJ/m <sup>2</sup>	19	61,1	-0,6	8,0	94,4
4 kJ/m <sup>2</sup>		64,0	-0,7	8,0	95,2
6 kJ/m <sup>2</sup>		64,3	-0,6	7,7	94,8
8 kJ/m <sup>2</sup>		63,6	-0,6	7,3	94,9

*\*No se obtuvo diferencias estadísticas, de acuerdo con el análisis de varianza y la prueba de Tukey ( $p > 0,05$ ), (a los 14 días  $p = 0,5060$  para L\*, 0,8756 para a\* y 0,3931 para b\* y 0,7687 para °Hue, a los 19 días  $p = 0,0714$  para L\*, 0,1742 para a\* y 0,3931 para b\* y 0,2330 para °Hue).*

Al igual que las variables de calidad descritas anteriormente, los sólidos solubles totales no presentaron diferencias significativas entre tratamientos en las diferentes fechas de evaluación y estos no variaron a través de las diferentes evaluaciones a los 0, 14 y 19 días de almacenamiento. Las diferentes dosis se comportaron de manera similar al testigo con valores de 10,4 °Brix a los 14 días y 9,7 °Brix a los 19 días de almacenamiento (Cuadro 11).

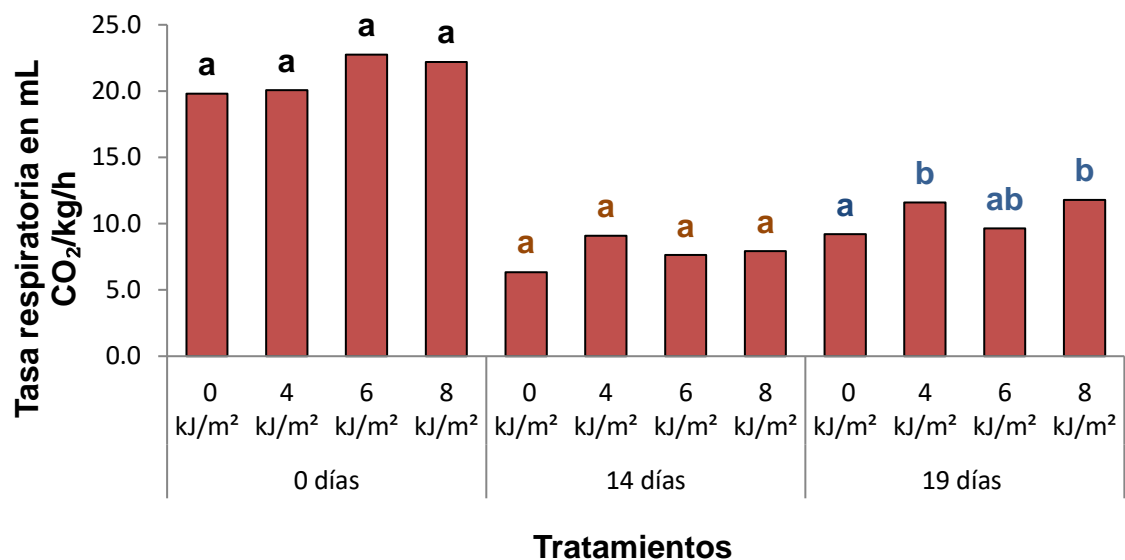
**Cuadro 11.** Porcentaje de sólidos solubles totales en frutos de melón Honey Dew amarillo a los 0, 14 y 19 días de almacenado.

Tratamiento	Días	°Brix
Calidad inicial	0	10,0
0 kJ/m <sup>2</sup>	14	10,4
4 kJ/m <sup>2</sup>		10,1
6 kJ/m <sup>2</sup>		9,5
8 kJ/m <sup>2</sup>		9,3
0 kJ/m <sup>2</sup>	19	9,7
4 kJ/m <sup>2</sup>		10,0
6 kJ/m <sup>2</sup>		9,4
8 kJ/m <sup>2</sup>		10,6

*\*No se obtuvo diferencias estadísticas, de acuerdo con el análisis de varianza y la prueba de Tukey ( $p > 0,05$ ), (a los 14 días  $p = 0,0598$  y a los 19 días 0,0777).*

Para la tasa respiratoria no hubieron diferencias significativas entre tratamientos a los 0 y 14 días de almacenamiento (Figura 8), sin embargo, hubo una disminución de la tasa respiratoria a los 14 días con respecto a 0 días de almacenado esto debido al cambio de temperatura a 10 °C.

A los 19 días se presentó un leve aumento en la tasa respiratoria en general para todos los tratamientos con respecto a los 14 días, debido al cambio de temperatura, siendo el testigo el que presentó una menor tasa de respiración con 9.2 mL CO<sub>2</sub>/kg/h mostrando diferencias significativas con los tratamientos de 4 y 8 kJ/m<sup>2</sup>, en donde el tratamiento de 8 kJ/m<sup>2</sup> presentó la mayor tasa respiratoria con 11.8 mL CO<sub>2</sub>/kg/h.



*Medias con una letra diferente son significativamente diferentes de acuerdo con el análisis de varianza y la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ), (a los 0 días  $p = 0,7083$ , a los 14 días  $0,2849$  y a los 19 días  $0,0083$ ).*

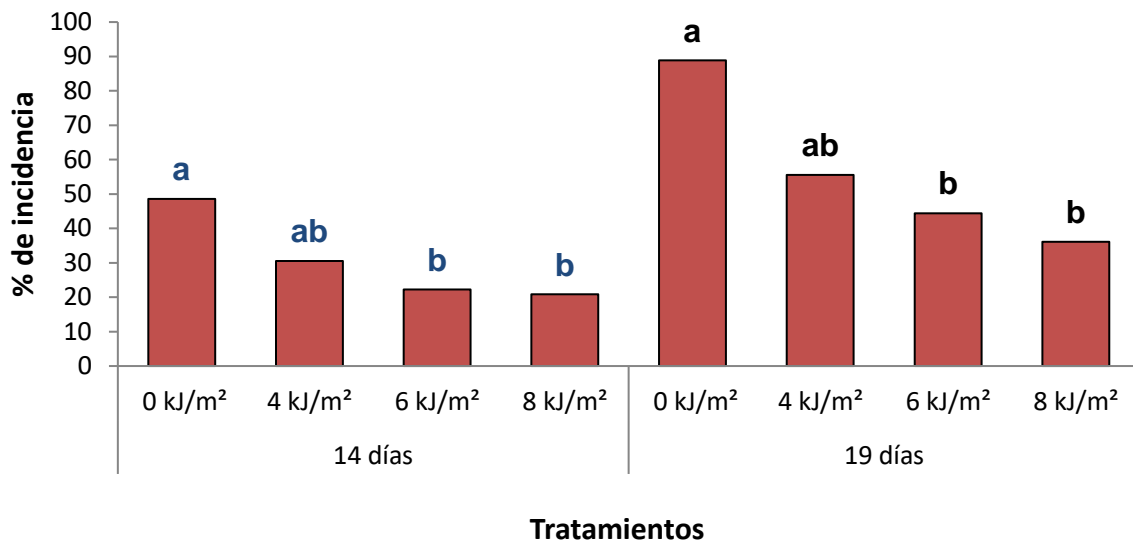
**Figura 8.** Tasa respiratoria en frutos de melón Honey Dew amarillo a los 0, 14 y 19 días de almacenado.

### **5.2.3. III etapa: Evaluación del efecto de la luz ultravioleta sobre el crecimiento de patógenos en la fruta**

Para la etapa III del presente trabajo se evaluaron las variables de calidad: firmeza externa e interna, color y respiración, estas variables tuvieron comportamiento similar al de la etapa II y no presentaron diferencias significativas entre tratamientos (ver en anexos figuras 15, 16, 17, 18 y figura 12).

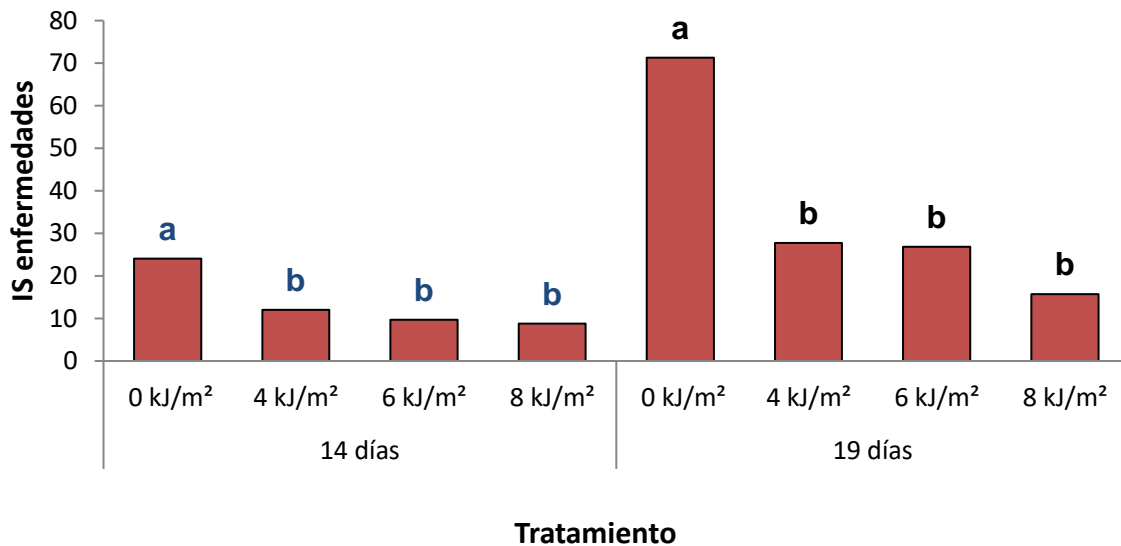
En la Figura 9 se observa como a los 14 días (salida de frío) hubo incidencia de enfermedades para todos los tratamientos presentando diferencias significativas, siendo el de mayor incidencia el tratamiento testigo con 49% y el de menor incidencia 8 kJ/m<sup>2</sup> con 21% el cual no se diferenció estadísticamente con los tratamientos de 4 y 6 kJ/m<sup>2</sup>. A los 19 días se dio otro incremento en la incidencia para todos los tratamientos, siendo el de mayor incidencia el tratamiento testigo con 89% y el de menor incidencia el de 8 kJ/m<sup>2</sup> con 36%, mostrando que los tratamientos de 6 y 8 kJ/m<sup>2</sup> son diferentes estadísticamente del tratamiento testigo.

Para la variable severidad (Figura 10) se presentó incidencia de patógenos a los 14 días en todos los tratamientos siendo el de mayor severidad el tratamiento testigo con 24% y el de menor severidad 8 kJ/m<sup>2</sup> con 8% mostrando que los tratamientos de 6 y 8 kJ/m<sup>2</sup> son diferentes estadísticamente del tratamiento testigo. A los 19 días de almacenamiento se dio un incremento en el nivel de severidad presentando mayor incidencia el tratamiento testigo con 71% y la menor el de 8 kJ/m<sup>2</sup> con 15%, mostrando diferencias significativas de todos los tratamientos con respecto al tratamiento testigo.



Medias con una letra diferente son significativamente diferentes de acuerdo con el análisis GLMs ( $p < 0,05$ ), (a los 14 días  $p = 0,0096$  y a los 19 días  $< 0,0068$ ).

**Figura 9.** Porcentaje de incidencia de moho en pedúnculo de melón Honey Dew amarillo a los 14 y 19 días de almacenado.



Medias con una letra diferente son significativamente diferentes de acuerdo con el análisis GLMs ( $p < 0,05$ ), ( $p = 0,0001$  a los 14 y 19 días).

**Figura 10.** Índice de severidad (IS) de enfermedades en pedúnculo de melón Honey Dew amarillo a los 14 y 19 días de almacenado.

## 6. Discusión

Con la ejecución del presente trabajo sobre la radiación UV-C como alternativa del tratamiento poscosecha se evaluó su capacidad para mantener la calidad del fruta de melón durante el almacenamiento y su eficacia en patógenos igual o mejor que la del tratamiento químico que se utiliza actualmente. La calidad en la fruta es una combinación de diversas características y propiedades que hacen que un alimento se disfrute y los consumidores lo tienen presente, ya que ellos seleccionan productos en función de las características de calidad tamaño, color, forma y firmeza apropiadas (Kader, 2011). La firmeza y el color se encuentran dentro de los principales parámetros de calidad para estimar el grado de madurez de un fruto, ya que conforme avanza la maduración la fruta se ablanda y se pierde la firmeza, lo que provoca cambios en el sabor y color que se asocian con la descomposición de la fruta. El uso de la radiación UV-C como tratamiento poscosecha demostró ser viable ya que no afectó estas variables de calidad de la fruta a dosis adecuadas, si estas se ven afectadas a medida que el proceso de maduración continúa se produce la sobre maduración, que a su vez conduce en última instancia a la desorganización de los tejidos y descomposición del producto dejando de ser atractivo para el consumidor (Camelo, 2003).

En el melón de tipo Cantaloupe no se presentaron quemaduras externas a las diferentes dosis a las que se expuso, pero en el tipo Honey Dew amarillo, dosis mayores a 8 kJ/m<sup>2</sup> provocaron quemaduras las cuales se manifiestan con un bronceado y decoloración de la piel, esto debido a que la dosis es superior a la tolerada por la fruta (Rivera-Pastrana *et al.*, 2007). En otros frutos como mango, Mata (2012) determinó que dosis mayores a 13 kJ/m<sup>2</sup> provocan un oscurecimiento del tejido externo. Autores como Domínguez y Parzanese (2012) y Cerón *et al.* (2013) asocian este bronceado de la fruta tras el engrosamiento de las paredes celulares, pérdida de la clorofila b y liberación de feofitinas.

En ambos tipos de melón estudiados no se presentaron diferencias en la firmeza con respecto al tratamiento testigo, lo que indica que la radiación no alteró la firmeza de la fruta, resultados similares a los obtenidos por Mata, (2012) ya que no observó diferencias en firmeza al aplicar dosis de 0 a 13 kJ/m<sup>2</sup> en mango fresco, esto difiere con lo expuesto por Rivera-Pastrana *et al.* (2007) y Barka *et al.* (2000) quienes mencionan que hay un retraso en el deterioro de la firmeza de la fruta al presentarse una reducción en la actividad enzimática involucrada con la degradación de la pared celular como lo son la poligalacturonasa, pectin metilesterasa, celulasa y xilanasa, estas enzimas pueden ser blanco de la irradiación provocando proteólisis o una disminución de su síntesis.

En el presente trabajo se observó una reducción de la firmeza externa e interna de la fruta a través del tiempo de almacenamiento para todos los tratamientos, patrón descrito por Lidon y Pinto, (2001) en melón Honey Dew y por Portela y Cantwell (1998) en melón Honey Dew mínimamente procesado, ellos describen una reducción de la firmeza progresiva con el tiempo hasta los 40 días de almacenamiento donde alcanza hasta un 70 % de reducción, esta reducción está estrechamente relacionada con un proceso de senescencia natural de la fruta donde hay una alteración textural en las paredes celulares lo que podría estar asociado con un aumento en la actividad de la celulasa y otras enzimas pécticas que ablandan la fruta. Portela y Cantwell, (1998) observaron datos similares a los del presente estudio, donde se presentó una reducción en la pulpa de 17,3 N a 9 N durante 12 días de almacenamiento a 5°C, firmeza inicial mayor a la del presente estudio, esto podría estar relacionado con el estado de madurez fisiológico de cosecha o la variedad utilizada.

Con la aplicación de la radiación UV-C como tratamiento poscosecha se busca que no modifique los pigmentos que dan la coloración característica de cada una de las variedades. En el melón Cantaloupe las antocianinas acumuladas en la vacuola son las responsables del color rojo-naranja en la pulpa y en el melón Honey Dew amarillo el color verde-blanco es producto de pigmentos como la clorofila presente en los cloroplastos (Stanley, 1991).

Los resultados sobre las pruebas de color muestran que la radiación UV-C a las diferentes dosis estudiadas no alteraron la coloración tanto interna como externa de los dos tipos de melón estudiados, obteniendo valores similares a las del tratamiento testigo y a valores a los que se exportan normalmente Cantwell y Suslow, (2002), Resultados similares fueron obtenidos por Fonseca, (2006), Huang *et al.* (2015) en frutos de melón y Mata, (2012) en frutos de mango donde las variables L\*, a\*, b\* no mostraron diferencias entre frutos tratados con radiación UV-C y frutos sin tratar; sin embargo, Costa *et al.* (2006) con una dosis de 7 kJ/m<sup>2</sup> en brócoli lograron ver una reducción en la degradación de clorofila al reducirse la liberación de Magnesio de moléculas de clorofila en el proceso de senescencia y Cote Daza (2011) con dosis de 3 kJ/m<sup>2</sup> logró ver un incremento en el contenido de pigmentos antociánicos en tomate.

En el tipo de melón Cantaloupe, en todos los tratamientos incluido el testigo se observó un aumento en L\* y una disminución en a\* y b\* efecto que se refleja en la fruta como una pérdida del color rojo (Fonseca y Rushing, 2006), variables que son afectadas debido al almacenamiento y proceso de senescencia natural de la fruta (Kyriacou y Soteriou, 2010). En el tipo Honey Dew amarillo ocurren algunos cambios a nivel interno de la fruta a través del tiempo como lo es una leve disminución en el °hue\* y un aumento en a\* esto se debe a la pérdida de color verde en la pulpa producto de la degradación de pigmentos como la clorofila en plástidos, proceso normal de senescencia de la fruta (Portela y Cantwell, 1998).

Tomando en cuenta que los sólidos solubles totales (SST) en el melón no cambian después de la cosecha, debido a que el proceso de maduración poscosecha solo se restringe al ablandamiento de la pulpa y el desarrollo de compuestos aromáticos volátiles (Snowdon, 2010A), el tratamiento con radiación UV-C no debe de alterar la cantidad de SST durante el proceso poscosecha. Para ambas variedades de melón la aplicación de diferentes dosis UV-C no alteraron la cantidad de sólidos solubles en la fruta mostrando valores similares a los del tratamiento testigo y a los parámetros de fruta de exportación, 9-12 °Brix para melón Cantaloupe (Do Nascimento, 2009 y Cantwell, 2002) y 10 °Brix para el

melón Honey Dew amarillo (Cantwell y Suslow, 2002). Mata, (2012) en mango, Andrade-Cuvi *et al.* (2010) en carambola y Huang *et al.* (2015) en melón obtuvieron los mismos resultados al no observar diferencias de la fruta irradiada con respecto a fruta no irradiada.

La tasa respiratoria indirectamente refleja la vida útil de la fruta y con ello la calidad. En productos frescos una tasa respiratoria elevada produce tiempos cortos de vida llevándolos a una senescencia rápida (Meza, 2013). En el presente trabajo en el melón Cantaloupe el tratamiento con mayor tasa de respiración fue el de 12 kJ/m<sup>2</sup> con 32,2 mL CO<sub>2</sub>/kg/h mientras que la menor fue la fruta sin tratar con 19,7 ml CO<sub>2</sub>/kg/h, sin embargo Cantwell (2002) menciona que los rangos de tasa de respiración para el melón Cantaloupe bajo las condiciones a las que fueron almacenados son de 23-33 mL CO<sub>2</sub>/kg/h, ubicando a las dosis dentro del rango normal de almacenamiento. De igual manera para el tipo Honey Dew amarillo los tratamientos que presentaron una mayor tasa respiratoria fueron los de 10 y 6 kJ/m<sup>2</sup> con valores de 11,8 y 11,6 mL CO<sub>2</sub>/kg/h mientras que el menor fue la fruta sin tratar con 9,2 mL CO<sub>2</sub>/kg/h, valores que según Cantwell (2002) se encuentran dentro de los rangos de tasa de respiración para el melón Honey Dew amarillo que bajo las condiciones descritas son de 20-27mL CO<sub>2</sub>/kg/h ubicando los resultados por debajo de la tasa respiratoria reportada en otros trabajos.

Alanís-Guzman *et al.* (2013) exponen que la respiración es un proceso en el cual las células convierten la energía de un tipo de estructura química en otra que es mejor aprovechada por las células para conducir reacciones metabólicas para retrasar la senescencia, al irse agotando la energía de la fruta esta va acercándose cada vez más a la senescencia y respirando menos (Alanís-Guzmán *et al.*, 2013). Al exponerlo a un cambio de temperatura a la fruta a los 14 días (cambio de 5°C Cantaloupe y 10 °C Honey Dew amarillo a 19°C) la tasa respiratoria aumenta, resultados que también obtuvo Flores *et al.* (2004) en melón Cantaloupe, donde expone que la fruta presenta una reducción de la tasa respiratoria durante el periodo de almacenamiento en frío y al presentarse el

cambio de temperatura la tasa respiratoria aumenta gradualmente durante las primeras 24 horas y luego tiende a disminuir gradualmente durante cuatro días.

Si la dosis aplicada es más alta que la tolerada por la fruta esta causa quemaduras aumentando la tasa de respiración producto de los daños provocados por la radiación. Sin embargo, Rivera-Pastrana *et al.*, (2007) mencionan que la radiación UV-C en dosis adecuadas promueve el retraso de la maduración y senescencia el cual está íntimamente ligado a la tasa respiratoria, datos que concuerdan con lo descrito por Safitri *et al.* (2015) en mango, donde se observó una reducción en la tasa de respiración en frutas tratadas con UV-C a una dosis de 2,5 kJ/m<sup>2</sup> con respecto a frutas no tratadas, al igual que Maharaj *et al.* (1999) en tomate donde reportan que los tratamientos con dosis de 3,7 y 2,4 kJ/m<sup>2</sup> lograron bajar el pico de respiración con respecto a no tratados y Lamikanra *et al.* (2005) en melón Cantaloupe pre-cortado también lograron una reducción en la tasa de respiración con una dosis de 1,5 kJ/m<sup>2</sup>, la cual los diferentes autores atribuyen a la producción de agentes anti senescentes oposicionales al efecto fisiológico del etileno, resultados que no se obtuvieron en el presente trabajo ya que los frutos irradiados presentaron mayor respiración que los no tratados.

Uno de los principales enfoques del presente trabajo fue evaluar el efecto de la radiación UV-C sobre los patógenos poscosecha. Los resultados del presente trabajo revelan que ante la aplicación de radiación UV-C se da una reducción de patógenos con respecto al tratamiento testigo; Cantaloupe un 61% (12 kJ/m<sup>2</sup>) y Honey Dew amarillo un 55% (10 kJ/m<sup>2</sup>). Como se muestra en los resultados hay un efecto de la radiación UV-C donde a mayor cantidad de energía aplicada se da una menor incidencia y severidad de patógenos, dosis que también han sido estudiadas por diferentes autores, Huang *et al.* (2015) en frutos de melón inoculados con *F. oxysporum*, lograron tener una reducción de un 85% de incidencia con dosis de 6 kJ/m<sup>2</sup> con respecto al tratamiento testigo el cual llegó a un 100% de incidencia y Mata, (2012) en frutos de mango obtuvo 0 UFC/25cm<sup>2</sup> sobre la superficie de la fruta con dosis de 6,57 y 9,86 kJ/m<sup>2</sup>, mientras que el testigo presentó 140 UFC/25 cm<sup>2</sup>. En otro trabajo similar Cia *et al.* (2009) lograron

ver una reducción en la incidencia de enfermedades en uvas inoculadas con *Colletotrichum gloeosporioides* al aplicar dosis de 4 y 8 kJ/m<sup>2</sup> y Pinheiro *et al.* (2015) midieron la carga microbiana en el mesófilo de tomate antes y después de aplicar radiación ultravioleta a una dosis de 4 kJ/m<sup>2</sup> logrando reducir esta carga de 2,15 Log<sub>10</sub> UFC.g<sup>-1</sup> a 0,97 Log<sub>10</sub> UFC.g<sup>-1</sup> y Cia *et al* (2007) en papaya reportan una disminución en la velocidad del crecimiento de micelio y una reducción en la esporulación de *C. gloeosporioides* al aplicar dosis mayores a 1,5 kJ/m<sup>2</sup>.

Koutchma (2009), Silva (2015) y Domínguez y Parzanese (2012) mencionan que el mecanismo de acción letal de la radiación UV-C es provocado por la radiación absorbida por parte del ADN microbiano impidiendo su posterior síntesis, deteniendo el crecimiento celular y provocando la muerte. A su vez Silva (2015) menciona que hay una disminución en la velocidad de crecimiento en los patógenos debido a que el proceso de reparación celular es dañado por la irradiación, efecto que se observó en las evaluaciones de enfermedades donde la radiación provocó un efecto de reducción de severidad, datos que concuerdan con los de Silva (2015) donde se estudió la velocidad específica de crecimiento exponencial de patógenos en piña, el crecimiento de levaduras y mohos disminuyó de 0,35 hasta 0,02 del logaritmo natural con dosis de 8,087 kJ/m<sup>2</sup>, evidenciando que el tiempo de regeneración de mohos y levaduras en frutas tratadas es mayor.

El efecto hórmino que produce la aplicación de radiación UV-C también pudo contribuir en la reducción del crecimiento de microorganismos, el cual es el efecto indirecto que provoca la aplicación de radiación UV-C, que equivale al efecto de la aplicación de dosis bajas de un tratamiento biótico o abiótico potencialmente dañino, este induce respuestas positivas en los tejidos como lo es la síntesis de varios compuestos anti fúngicos en el fruto (Shama, 2015).

Algunos de estos efectos hórnicos fueron descritos por varios autores: (Shama, 2015) menciona que la aplicación de radiación UV-C en cítricos mejoró la resistencia al moho verde causado por *Penicillium digitatum* efecto que se atribuye a la acumulación de la fitoalexina scoparona (6,7-dimetoxicumarina), Ryalls *et al.* (1996) en melocotón demostraron que la irradiación UV-C dio como resultado la inducción de quitinasa,  $\beta$ -1,3-glucanasa síntesis que en condiciones normales se da en días, en solo seis horas después del tratamiento se dio presencia de la quitinasa y alcanzó su punto máximo a las 96 horas, sugiriendo que la aplicación de UV-C induce a respuestas bioquímicas indirectas, como síntesis de fenoles y fitoalexinas asociado con procesos locales de resistencia.

Si bien por si solo el tratamiento poscosecha con radiación UV-C no logra tener un control de patógenos que sea competitivo en el mercado, esta tecnología tiene la facilidad de ser combinado con otros tratamientos, entre ellos los ambientalmente sostenibles como lo evaluó Huang *et al.* (2015), en donde se combinó el tratamiento de radiación UV-C con un tratamiento biológico como es la levadura *Pichia cecembensis*, logrando tener hasta un 80% de reducción en la incidencia de patógenos en el fruto. Diferentes autores como Cuvil *et al.* (2011) y Cerón *et al.* (2013) mencionan al tratamiento UV-C como una operación tendiente a minimizar e interrumpir el crecimiento microbiano que ofrece una versatilidad para ser combinado con diferentes tratamientos que pueden ser físicos y biológicos.

Los beneficios que ofrece la aplicación de radiación UV-C no solo son sobre la fruta como tal, para los comercializadores esto refleja un valor agregado sobre la fruta al ser un proceso poscosecha que ofrece compromiso ambiental (Monge-Pérez, 2014). Además, puede tener impacto económico en el proceso poscosecha al darse el cambio de control químico al tratamiento físico UV-C, ya que es un proceso que requiere de poca inversión inicial y bajo costo de mantenimiento (Domínguez *et al.* 2012) estos mismos autores también mencionan que lo que más requiere mantenimiento son las lámparas que emiten la radiación que tienen una vida útil de un año aproximadamente dependiendo del uso.

Ante el panorama descrito anteriormente se presenta a la radiación UV-C como una alternativa o complemento a los tratamientos poscosecha que buscan disminuir la carga microbiana sobre la superficie de la fruta o inducir a mecanismos de defensa (Mata, 2012), con la facilidad de que puede ser combinado con otros tratamientos que ayuden a mantener la calidad de los frutos durante todo el proceso poscosecha y que generen una disminución del uso de agroquímicos poscosecha.

## 7. Conclusiones

1- La dosis de radiación UV-C que toleran los dos tipos de melón sin causar quemaduras es diferente, el tipo Cantaloupe tolera dosis de 12 kJ/m<sup>2</sup> y el tipo Honey Dew amarillo tolera dosis de 8 kJ/m<sup>2</sup>.

2- La aplicación de radiación UV-C a dosis adecuadas en frutos de melón Cantaloupe y Honey Dew amarillo no provoca alteraciones en las variables de calidad firmeza externa e interna, color externo e interno y sólidos solubles durante el almacenamiento poscosecha.

3- La radiación UV-C como tratamiento poscosecha en frutos de melón fue eficaz para el control de los patógenos *Fusarium* sp. y *Cladosporium* sp. al presentar una reducción en la severidad de 61% en Cantaloupe a una dosis de 12 kJ/m<sup>2</sup> y 55% en Honey Dew amarillo a una dosis de 8 kJ/m<sup>2</sup> con respecto a los testigos.

4- No se observaron diferencias en la eficacia de las diferentes dosis de radiación UV-C estudiadas sobre patógenos en los tipos de melón Cantaloupe y Honey Dew amarillo recolectados en diferentes momentos de la temporada.

## 8. Recomendaciones

- 1- Realizar pruebas de tolerancia del fruto de melón a dosis de radiación UV-C con respecto a la temporada de cosecha.
- 2- Efectuar pruebas semi-comerciales de exportación del uso de la radiación UV-C como tratamiento poscosecha en los tipos de melón Cantaloupe y Honey Dew amarillo a las dosis de 12 y 8 kJ/m<sup>2</sup> respectivamente.
- 3- Definir las dosis de radiación UV-C a las que se controlan otros patógenos de importancia poscosecha en el cultivo de melón (*Botrytis*, *Colletotrichum*, *Diplodia*, *Geotrichum*, *Lasiodiplodia*, *Mucor*, *Pestalotiopsis*, *Sclerotium*).
- 4- Evaluar la aplicación de dosis de radiación UV-C en forma de pulsaciones a través del tiempo y no en forma continua en frutos de melón y verificar si se puede aumentar las dosis sin causar quemaduras.

## 9. Literatura citada

- Alanís-Guzman, J; García Díaz, C. L; Reyes-Avalos, M. y Meza Velázquez, J. A. 2013. Aplicación de hidrogenofriamiento y una cubierta de HPMC-parafina para aumentar la vida de anaquel de melón. Universidad Autónoma de Nuevo León. Ciudad Universitaria. San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México, Vol. 29(2), pag 179-190.
- Amaro, A. L.; Beaulieu, J. C.; Grimm, C. C.; Stein, R. E. y Almeida, D. P. 2012. Effect of oxygen on aroma volatiles and quality of fresh-cut cantaloupe and honeydew melóns. Food Chemistry. Universidade do Porto, Rua Campo Alegre, Porto, Portugal. Vol.130(1), pag 49-57.
- Andrade-Cuvi, M. J.; Moreno-Guerrero, C.; Henríquez-Bucheli, A.; Gómez-Gordillo, A.; y Concellón, A. 2010. Influencia de la radiación UV-C como tratamiento postcosecha sobre carambola (Averroha carambola L.) mínimamente procesada almacenada en refrigeración. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha. Hermosillo, México. Vol. 11(1), pag 18-27.
- Angeletti, P.; Castagnasso, H.; Miceli, E.; Terminiello, L.; Concellón, A.; Chaves, A. y Vicente, A. R. 2010. Effect of preharvest calcium applications on postharvest quality, softening and cell wall degradation of two blueberry (*Vaccinium corymbosum*) varieties. Postharvest biology and technology. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja, Boyacá- Colombia. Vol. 58(2), pag 98-103.
- Artés -Hernández, F.; Escalona, V. H.; Robles, P. A.; Martínez- Hernández, G. B. y Artés, F. 2009. Effect of UV- C radiation on quality of minimally processed spinach leaves. Journal of the Science of Food and Agriculture. La Victoria, Hermosillo, Mexico. Vol. 89(3), pag 414-421.
- Barka, E. A.; Kalantari, S.; Makhlof, J.; y Arul, J. 2000. Impact of UV-C irradiation on the cell wall-degrading enzymes during ripening of tomato (*Lycopersicon*

- esculentum* L.) fruit. Journal of Agricultural and Food chemistry. Vol. 48(3) pag 67-71.
- Bolaños, A. 1998. Introducción a la Olericultura. San José, Costa Rica, EUNED. 351p.
- Camelo, A. F. L. 2003. Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas del campo al mercado. INTA E.E.A. Balcarce, Argentina. Vol. 151.
- Cantwell, M. y T. Suslow. 2002. Lechuga Crisphead: Recommendations for Maintaining Postharvest Quality. USA, California Citado el 22-10-2017 en línea disponible en [http://ucanr.edu/sites/Postharvest\\_Technology\\_Center\\_/Commodity\\_Resources/Fact\\_Sheets/Datastores/Vegetables\\_English/?uid=19&ds=799](http://ucanr.edu/sites/Postharvest_Technology_Center_/Commodity_Resources/Fact_Sheets/Datastores/Vegetables_English/?uid=19&ds=799) (Accessed 24/10, 2016).
- Casaca, A. 2005. Cultivo del Melón (*Cucumis melo*) Guías tecnológicas de frutas y vegetales. PROMOSTA. San José, Costa Rica. 8p.
- Chavira, S. 2014. El melón Centroamericano. Contexto Agrícola. Editorialderiego.Latin America y Caribbean. Revista de Riego, México. .A. Vol. 2, pag 38.
- Cerdas Delgado, I.; Aguirre Moreno, V.; Jesus Lozano, L.. y Martinez Cano, G. 2015. Producción de Melón en el Estado de Coahuila y sus Oportunidades en el Mercado Internacional. Tesis Lic. Buena Vista, Coahuila, México.
- Cerón, J; Pérez Q; Real, C. 2013. Avances en la aplicación de luz ultravioleta de onda corta (UVC) en frutas y vegetales enteros y mínimamente procesados: revisión. Tumbaga, Vol.1(8), pag 29-60.
- Cia, P; Benato, E; Valentini, T; Anjos, A; Ponzo, S; Sanches, J., y Terra, M. 2009. Radiação ultravioleta no controle pós-colheita de *Colletotrichum gloeosporioides* em uva'Niagara Rosada'. Bragantia, Vol. 68(4), pag 1009-1015.

- Cia, P.; Pascholati, F.; Benato, A.; Camili, C. y Santos, A. 2007. Effects of gamma and UV-C irradiation on the postharvest control of papaya anthracnose. *Postharvest Biology and Technology*. Instituto Agronômico, Centro de Engenharia e Automação, Brasil. Vol. 43(3), pag 366-373.
- Ciccarese, A.; Stellacci, M.; Gentileco, G. y Rubino, P. 2013. Effectiveness of pre- and post-verification calcium applications to control decay and maintain table grape fruit quality during storage. *Postharvest Biology and Technology*. Center of Biotechnology of Sfax, University, Tunisia Vol. 75, pag 135-141.
- Cisneros-Zevallos, L. 2003. The use of controlled postharvest abiotic stresses as a tool for enhancing the nutraceutical content and adding-value of fresh fruits and vegetables. *Journal of food Science-Chicago*. 68(5), 1560-1567.
- Conversion de unidades. 2009. Metricconversion.Biz. Consultada: octubre 20015. En línea disponible en: <http://metricconversion.biz/energy-conversion.html>.
- Costa, L., Vicente, R.; Civello, M.; Chaves, R. y Martínez, A. 2006. UV-C treatment delays postharvest senescence in broccoli florets. *Postharvest Biology and Technology*. Chascomús, Argentina. Vol. 39(2), pag 204-210.
- Cote Daza, S. 2011. Efecto de la intensidad de la radiación UV-C sobre la calidad sensorial, microbiológica y nutricional de frutos. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Exactas. La Plata, Argentina. Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos (CIDCA). 99 p.
- Cuvi, M. J. A., Vicente, A. R., Concellón, A., y Chaves, A. R. 2011. Changes in red pepper antioxidants as affected by UV-C treatments and storage at chilling temperatures. *LWT-Food science and technology*. Sciences, Kocaeli University, Kocaeli, Turkey. Vol. 44(7), pag 1666-1671.
- Da Silveria, N. S.; Michereff, S. J.; y de Oliveira, S. M. 2005. Doenças fúngicas pós-colheita em frutas tropicais: patogenese e controle. *Revista Caatinga*,

- Universidad de Federal Rural do Semi-Árido Mossoró, Brasil. Vol. 18(4), pag 283-298.
- Do Nascimento Nunes, M. C. 2009. Color atlas of postharvest quality of fruits and vegetables. John Wiley y Sons. State Avenue, Ames, Iowa, USA. Cap 4, 191 pag.
- Domínguez, L; y Parzanese, M. 2012. Luz ultravioleta en la conservación de alimentos. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. En línea disponible en: [http://www.alimentosargentinos.gov.ar/contenido/revista/ediciones/52/articulos/r52\\_13\\_LuzUltravioleta.pdf](http://www.alimentosargentinos.gov.ar/contenido/revista/ediciones/52/articulos/r52_13_LuzUltravioleta.pdf). Recuperado, 22, 09-14.
- Elmer, P. A.; Spiers, T. M.; y Wood, P. N. 2007. Effects of pre-harvest foliar calcium sprays on fruit calcium levels and brown rot of peaches. Crop Protection. University of Debrecen, P.O. Box 36, H-4015 Debrecen, Hungary. Vol. 26(1), pag11-18.
- Estadísticas de Comercio Exterior Costa Rica. 2014. Maureen Alpizar Arce.[et al]; Promotora del Comercio Exterior de Costa Rica. - San José, Costa Rica: PROCOMER, 2015.
- Flores, F. B.; Martínez-Madrid, M. C.; Amor, M. B.; Pech, J. C., Latché, A. y Romojaro, F. 2004. Modified atmosphere packaging confers additional chilling tolerance on ethylene-inhibited cantaloupe Charentais melón fruit. European food research and technology, Vol. 219(6), pag 614-619.
- Fonseca, J. M. y Rushing, J. W. 2006. Effect of ultraviolet-C light on quality and microbial population of fresh-cut watermelon. Postharvest Biology and Technology. Vol.40(3), pag 256-261.
- García-Robles, J. M.; Quintero-Ibarra, M.; Mercado-Ruiz, J. N. y Báez-Sañudo, R. 2016. Conservación postcosecha de melón cantaloupe mediante el uso de cera comestible y 1-metilciclopropeno. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha. Hermosillo, México. Vol. 1(1), pag 79-85.

- González, J. D. 2011. Evaluación de la actividad antifúngica de los extractos de las cáscaras y semillas de tres especies de cítricos contra el hongo fitopatógeno *Fusarium roseum*. Tesis Lic. Bogota, Colombia. Universidad de Javeriana. Pg 87.
- Gózales-Aguilar. 2007. Efectos bioquímicos postcosecha de la irradiación UV-Cen frutas y Hortalizas. CIAD. Rev. Fitotec. Mexico. Vol 30 (4), pag 361-272.
- Guerrero-Beltran, J.A; Barbosa-Cánovas, G.V. 2009. Ventajas y limitaciones del procesamiento de alimentos con luz ultravioleta. Mundo alimentario. 15/10/2015. Disponible en línea en: [http://www.catedu.es/ctamagazine/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1038&catid=82:septiembre-2009](http://www.catedu.es/ctamagazine/index.php?option=com_content&view=article&id=1038&catid=82:septiembre-2009).
- Herrera, A. M; Romero de Ávila, M. D. 2006. Innovaciones en el procesado de alimentos: tecnologías no térmicas. Revista Médica Universidad de Navarra, España. Vol. 50(4),pag 71-74.
- Huang, K; Zou, Y; Luo, J; & Liu, Y. 2015. Combining UV-C treatment with biocontrol yeast to control postharvest decay of melón. Environmental Science and Pollution Research. Yongchuan, China. 1-7p.
- Kader, A. 1992. Postharvest Technology of Horticultural Crops 1992. US, University of California. 535 p.
- Kader, A. A. 2011. Tecnología postcosecha de cultivos hortofrutícolas. Centro de Información e Investigación en Tecnología Postcosecha. US, UCANR Publications. Vol. 3.
- Koutchma, T. 2009. Advances in ultraviolet light technology for non-thermal processing of liquid foods. Food and Bioprocess Technology, Springer International Publishing AG. Vol. 2(2), pag 138-155.
- Kyriacou, M. C., y Soteriou, G. A. (2010, August). Postharvest change in compositional, visual and textural quality of grafted watermelon cultivars.

- InXXVIII International Horticultural Congress on Science and Horticulture for People (IHC2010): International Symposium. Pag 985-991.
- Lagunas-Solar, M. C; Pina, C; MacDonald, J. D; y Bolkan, L. 2006. Development of pulsed UV light processes for surface fungal disinfection of fresh fruits. *Journal of Food Protection*, Vol. 69(2), pag 376-384.
- Lamikanra, O; Kueneman, D; Ukuku, D; y Bett-Garber, K. L. 2005. Effect of processing under ultraviolet light on the shelf life of fresh-cut cantaloupe melón. *Journal of food Science-Chicago*. Chicago, USA. Vol. 70(9), pag 534.
- Lenntech, 2009. Informacion de la luz ultravioleta. Lenntch BV, rotterdamseweg 402M 2629H, Delft, Holanda. Consultado; agosto 2016. En línea disponible en: <http://www.lenntech.es/aplicaciones/index.htm>.
- Lidon, F. C., y Pinto, M. 2001. Physicochemical characterisation of the postharvest senescence of the winter melón. *Fruits*, 56(1), 51-58. Lidon, F. C., & Pinto, M. Physicochemical characterisation of the postharvest senescence of the winter melón. *Fruits*. Nova Oeiras,2784-505 Oeiras,Portugal. Vol. 56(1), pag 51-58.
- Lu, J. Y; Stevens, C; Khan, V. A; Kabwe, M y Wilson, C. L. 1991. The effect of ultraviolet irradiation on shelf- life and ripening of peaches and apples. *Journal of Food Quality*. Campinas, SP, Brasil Vol. 14(4), pag 299-305.
- Maharaj, R., Arul, J. y Nadeau, P. 1999. Effect of photochemical treatment in the preservation of fresh tomato (*Lycopersicon esculentum* cv. Capello) by delaying senescence. *Postharvest Biology and Technology*, Vol. 15(1), pag 13-23.
- Martinez P, J. 2015. Evaluación de nuevos híbridos de melón (*Cucumis melo* L.), Tipo harper para rendimiento y calidad de fruto bajo campo abierto. Tesis Lic Coahuila, Mexico. Universidad Agraria Antonio Navarro.

- Mata, H.J.2012. Eficiencia del tratamiento con luz ultravioleta sobre el desarrollo de antracnosis (*Colletotrichum gloeosporoides*) y la calidad poscosecha del mango. Tesis Lic. San José, Costa Rica, Universidad de Costa Rica.
- Meza Velázquez, J. A. (2013). Aplicación de hidrogenfrío y una cubierta de polímero al melón cantaloupe para disminuir su tasa de respiración y actividad enzimática. Tesis doctoral, San Nicolás de los Garza, N.L., México. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Mitcham, J. 2013. Melón Honeydew: Recomendaciones para mantener la calidad Postcosecha. Postharvest Technology. UCDAVIS. University of California, USA. Disponible en línea en: [http://postharvest.ucdavis.edu/frutasymelones/Mel%C3%B3n\\_Honeydew/](http://postharvest.ucdavis.edu/frutasymelones/Mel%C3%B3n_Honeydew/)
- Monge-Pérez, J. E. 2014. Producción y exportación de melón (*Cucumis melo*) en Costa Rica. Tecnología en Marcha. Alajuela, Costa Rica. Vol. 27(1), pag 93-103.
- Montero, M., y M Cerdas Araya, M. M. (2000). Manejo poscosecha del mango para el mercado fresco (No. 634.44 M274). Universidad de Costa Rica. Centro de Investigaciones Agronómicas. Costa Rica, San José, Laboratorio de Tecnología Poscosecha.
- Mora, S., Báez, M., Siller, J., Muy, M., y Valdez, J. Culiacán, Sinaloa, México. Efecto del 1-metilciclopropeno en la firmeza de melón cantaloupe durante su comercialización. in el x congreso nacional de la sociedad mexicana de ciencias hortícolas, ix congreso nacional y ii internacional de horticultura ornamental, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Disponible en línea en: [https://www.researchgate.net/publication/228839379\\_EFECTO\\_DEL\\_1-METILCICLOPROPENO\\_EN\\_LA\\_FIRMEZA\\_DE\\_MELÓN\\_CANTALOUPE\\_DURANTE\\_SU\\_COMERCIALIZACION](https://www.researchgate.net/publication/228839379_EFECTO_DEL_1-METILCICLOPROPENO_EN_LA_FIRMEZA_DE_MELÓN_CANTALOUPE_DURANTE_SU_COMERCIALIZACION)

- Moreno, L. F. R., y Coronado, M. A. G. (1998). Evaluación de ácidos carboxílicos y nitrato de calcio para incrementar calidad, cantidad y vida de anaquel en tres tipos de melón. *Terra Latinoamericana*. Obregón, México Vol. 16(1), pag 49-54.
- Namesny, A. 1997. "Melónes" Compendios de Horticultura. Barcelona, España. Ediciones de Horticultura. Vol. 10; 277p.
- Obande, M. A. 2010. Effect of preharvest UV-treatment on shelf life of fruits and vegetables. Doctoral dissertation, Obande, M. A. 2010. Effect of preharvest UV-treatment on shelf life of fruits and vegetables. Tesis para optar por el título Doctoral. Loughborough University, Leicestershire, UK. 144 p.
- OECD, 2014. International standards for fruit and vegetables: melóns. Paris, Francia.
- Pérez, P. M. 2012. Manejo postcosecha del melón (*Cucumis melo*) variedad cantaloupe en Finca Melónes de Costa Rica. T F G Instituto Tecnológico de Guanacaste, Costa Rica. Disponible en línea en: <http://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/2810#sthash.PgxZR7wh.dpuf>
- Pinheiro, J., Alegria, C., Abreu, M., Gonçalves, E. M., y Silva, C. L. (2015). Use of UV-C postharvest treatment for extending fresh whole tomato (*Solanum lycopersicum*, cv. Zinac) shelf-life. *Journal of food science and technology*. Bethesda MD, USA. Vol. 52(8), pag 5066-5074.
- Promotora Comercio Exterior de Costa Rica (PROCOMER). 2011. Estadística del Comercio Exterior de Costa Rica 2011. Dirección de Inteligencia Comercial. San José, Costa Rica. ISBN: 2215-2342.
- Promotora Comercio Exterior de Costa Rica (PROCOMER). 2016. Estadística del Comercio Exterior de Costa Rica 2015. Dirección de Inteligencia Comercial. San José, Costa Rica. ISBN: 2215-2342.

- Portela, S. I., y Cantwell, M. I. (1998). Quality changes of minimally processed honeydew melons stored in air or controlled atmosphere. *Postharvest Biology and Technology*. Vol. 14(3), pag 351-357.
- Quicho, J. M. 2005. Efficacy of ultraviolet light in combination with chemical preservatives for the reduction of *Escherichia coli* in apple cider. Tesis para optar por el grado de Masters en ciencias alimentarias y tecnología. Polytechnic Institute and State University Blacksburg, Virginia USA.
- Rivera-Pastrana, D. M; Gardea Bejar, A. A; Martinez-Tellez, M. A; Rivera-Dominguez, M. y Gonzalez-Aguilar, G. A. 2007. Postharvest biochemical effects of UV-C irradiation on fruit and vegetables. *Revista Fitotecnia Mexicana*. Chapingo, México. Vol. 30(4), pag 361-372.
- Rojas, G. U; y Agronómicas. 2010. Principales problemas fitopatológicos en frutos tropicales de Costa Rica durante el transporte y alternativas para su control. Evaluación no destructiva de la calidad e implementación en la industria frutícola. Reunión científico frutícola. Santiago, Chile Universidad de Chile. Capítulo 3. 28p. Disponible en línea en: [http://oa.upm.es/23292/1/Vol\\_III\\_FRUTURA\\_CHILE.pdf](http://oa.upm.es/23292/1/Vol_III_FRUTURA_CHILE.pdf)
- Ryalls Neuenschwander, Willits, Molina, Steiner y Hunt. 1996. Systemic Acquired Resistance. *Plant Cell*. 1996 Oct; Vol. 8(10), pag 1809-1819. Disponible en línea en: <http://www.plantcell.org/content/8/10/1809.long>
- Saldarriaga-Cardona, A; Castaño-Zapata, J; y Arango-Isaza, R. 2008. Caracterización del agente causante de la antracnosis en tomate de árbol, manzano y mora. *Rev Ciencias Exactas Naturales de Colombia*. Guática, Colombia Vol. 32(123), pag 145-156.
- Safitri, A; Theppakorn, T; Naradisorn, M; y Setha, S. 2015. Effects of UV-C irradiation on ripening quality and antioxidant capacity of mango fruit cv. Nam Dok Mai Si Thong. *Journal of Food Science and Agricultural Technology (JFAT)*. Chiang Rai 57100, Tailandia. Vol. 1(1), pag 164-170.

- Servicio Fitosanitario del Estado, 2014. Departamento de certificación fitosanitaria. San José, Costa Rica: MAG, 2014.
- Servicio Fitosanitario del Estado, 2012. Guía técnica para instalaciones de empaque de melón (*Cucumis melo*) y sandía (*Citrullus vulgaris*) para la exportación. Departamento de certificación fitosanitaria. San José, Costa Rica, MAG, 2012.
- Shama, G; y Alderson, P. 2005. UV hormesis in fruits: a concept ripe for commercialisation. Trends in food science & technology. Loughborough, Leics, UK. Vol. 16(4), pag 128-136.
- Silva, M. L. R. 2015. Irradiación UV-C y tiempo de almacenamiento en características fisicoquímicas, recuento de mohos y levaduras en Ananas comosus var. Cayena lisa, mínimamente procesada. Cientifi-k. América Latina Vol. 2(1), pag 47-61.
- Snowdon A. L. 2010 .A Post-Harvest Diseases and Disorders of Fruits and Vegetables. General Introduction and Fruits. CRC Press. (Vol. 1). Cap. Watermelon and melón.
- Snowdon A. L. 2010. B Post-harvest diseases and disorders of fruits and vegetables: Vegetables. CRC Press. (Vol. 2). Cap. Watermelon and melón.
- Sobral da Silveria, N.. S., Michereff, S. J., y de Oliveira, S. M. A. 2005. Doenças fúngicas pós-colheita em frutas tropicais: patogenese e controle. Revista Caatinga. Universidade Federal Rural do Semi-Árido Brasil. Vol. 18(4), pag 283-298.
- Stanley, J. K. 1991. Post harvest physiology of perishable plant products. Van Nestrand Reinhold, New York, USA.
- Tournas, V.H y Katsoudas, E. 2005. Mould and yeast flora in fresh berries, grapes and citrus fruits. International Journal of Food Microbiology. Bethesda MD, USA. Pag 11-17.

Yaun, B. R. 2002. Efficacy of ultraviolet treatments for the inhibition of pathogens on the surface of fresh fruits and vegetables. Tesis para optar por el grado de Masters ciencias alimentarias y tecnología. Virginia Polytechnic Institute and State University. Blacksburg, Virginia USA.

Zapata, M. 1989. El melón. Ediciones Mundiales Prensa. Madrid, España. Pag 174.

## 10. Anexos

Resultados obtenidos en la III etapa de evaluación para el tipo de melón Cantaloupe.

**Cuadro 12.** Diferentes variables de color interno en melón Cantaloupe a los 0, 14 y 19 días de almacenado.

Tratamiento	Días	L*	a*	b*	Hue
Calidad inicial	0	55,8	10,3	25,2	67,9
0 kJ/m <sup>2</sup>	14	57,3	10,2	22,0	65,5
6 kJ/m <sup>2</sup>		56,4	9,7	21,5	65,8
8kJ/m <sup>2</sup>		56,5	9,6	21,6	66,1
10 kJ/m <sup>2</sup>		56,7	9,9	21,9	65,7
12 kJ/m <sup>2</sup>		57,0	9,9	22,2	66,2
0 kJ/m <sup>2</sup>	19	56,1	9,7	24,5	68,4
6 kJ/m <sup>2</sup>		56,5	9,7	24,4	68,4
8kJ/m <sup>2</sup>		56,3	9,5	24,3	68,7
10 kJ/m <sup>2</sup>		56,5	10,2	24,6	68,6
12 kJ/m <sup>2</sup>		56,8	9,4	24,0	68,7

No se obtuvo diferencias estadísticas, de acuerdo con el análisis de varianza y la prueba de Tukey ( $p > 0,05$ ), (a los 14 días  $p = 0,5049$  para L\*, 0,6730 para a\*, 0,7857 para b\* y 0,1963 para \*Hue a los 19 días  $p = 0,5105$  para L\*, 0,6447 para a\*, 0,7187 para b\* y 0,9215 para \*Hue).

**Cuadro 13.** Firmeza externa e interna en melón Cantaloupe a los 0, 14 y 19 días de almacenado.

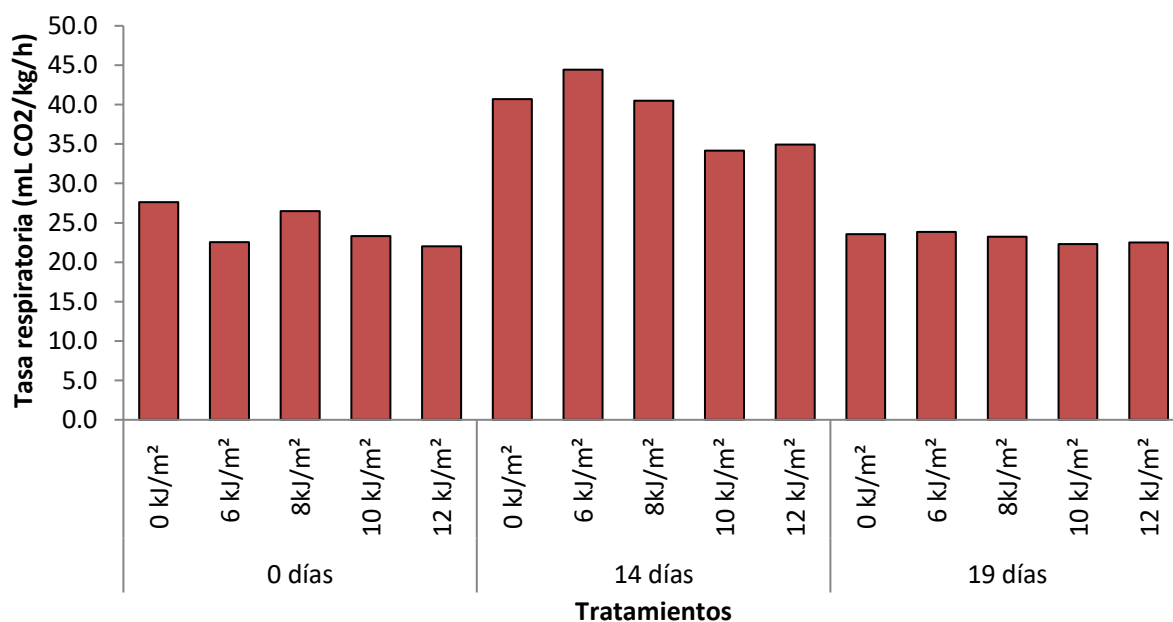
Tratamiento	Días	Firmeza interna (N)	Firmeza externa (N)
Calidad inicial	0	74,2	19,1
0 kJ/m <sup>2</sup>	14	73,3	14,2
6 kJ/m <sup>2</sup>		73,1	13,7
8kJ/m <sup>2</sup>		72,2	14,4
10 kJ/m <sup>2</sup>		73,9	14,3
12 kJ/m <sup>2</sup>		73,5	14,6
0 kJ/m <sup>2</sup>	19	73,3	10,3
6 kJ/m <sup>2</sup>		75,6	9,9
8kJ/m <sup>2</sup>		73,7	10,5
10 kJ/m <sup>2</sup>		73,8	11,7
12 kJ/m <sup>2</sup>		75,1	10,3

No se obtuvo diferencias estadísticas, de acuerdo con el análisis de varianza y la prueba de Tukey ( $p > 0,05$ ), (a los 14 días  $p = 0,9369$  para firmeza interna y 0,9867 para firmeza externa y a los 19 días  $p = 0,0966$  para firmeza interna y 0,8778 para firmeza externa).

**Cuadro 14.** Sólidos solubles totales en °Brix en melón Cantaloupe a los 0, 14 y 19 días de almacenado.

Tratamiento	Días	° Brix
Calidad inicial	0	9,9
0 kJ/m <sup>2</sup>	14	9,8
6 kJ/m <sup>2</sup>		10,0
8kJ/m <sup>2</sup>		9,8
10 kJ/m <sup>2</sup>		9,9
12 kJ/m <sup>2</sup>		9,7
0 kJ/m <sup>2</sup>	19	9,5
6 kJ/m <sup>2</sup>		9,9
8kJ/m <sup>2</sup>		9,8
10 kJ/m <sup>2</sup>		9,7
12 kJ/m <sup>2</sup>		9,8

No se obtuvo diferencias estadísticas, de acuerdo con el análisis de varianza y la prueba de Tukey ( $p > 0,05$ ), (a los 14 días  $p = 0,8584$  a los 19 días  $p = 0,8890$ ).



No se obtuvo diferencias estadísticas, de acuerdo con el análisis de varianza y la prueba de Tukey ( $p > 0,05$ ), (a los 0 días  $p = 0,0474$ , a los 14 días  $p = 0,0671$  y a los 19 días  $p = 0,9390$ ).

**Figura 11.** Tasa respiratoria en melón Cantaloupe a los 0, 14 y 19 días.

Resultados obtenidos en la III etapa de evaluación para el tipo de melón Honey Dew amarillo.

**Cuadro 15.** Firmeza externa e interna en melón Honey Dew amarillo a los 0,14 y 19 días de almacenado.

Tratamiento	Días	Firmeza externa (N)	Firmeza interna (N)
Calidad inicial	0	82,9	18,3
0 kJ/m <sup>2</sup>	14	87,7	15,6
4 kJ/m <sup>2</sup>		86,1	16,4
6 kJ/m <sup>2</sup>		89,9	16,5
8 kJ/m <sup>2</sup>		83,2	16,1
0 kJ/m <sup>2</sup>	19	84,6	15,1
4 kJ/m <sup>2</sup>		82,9	16,6
6 kJ/m <sup>2</sup>		80,9	15,1
8 kJ/m <sup>2</sup>		83,1	14,7

No se obtuvo diferencias estadísticas, de acuerdo con el análisis de varianza y la prueba de Tukey ( $p > 0,05$ ), (a los 14 días  $p = 0,6421$  para firmeza interna y  $0,1104$  para firmeza externa y a los 19 días  $p = 0,2149$  para firmeza interna y  $0,6847$  para firmeza externa).

**Cuadro 16.** Sólidos solubles en °Brix en melón Honey Dew amarillo a los 0,14 y 19 días de almacenado.

Tratamiento	Días	°Brix
Calidad inicial	0	8,7
0 kJ/m <sup>2</sup>	14	8,2
4 kJ/m <sup>2</sup>		8,4
6 kJ/m <sup>2</sup>		8,2
8 kJ/m <sup>2</sup>		8,1
0 kJ/m <sup>2</sup>	19	8,2
4 kJ/m <sup>2</sup>		8,2
6 kJ/m <sup>2</sup>		7,6
8 kJ/m <sup>2</sup>		8,1

No se obtuvo diferencias estadísticas, de acuerdo con el análisis de varianza y la prueba de Tukey ( $p > 0,05$ ), (a los 14 días  $p = 0,8844$  a los 19 días  $p = 0,4381$ ).

**Cuadro 17.** Diferentes variables de color interno en °Brix en melón Honey Dew amarillo a los 0,14 y 19 días de almacenado.

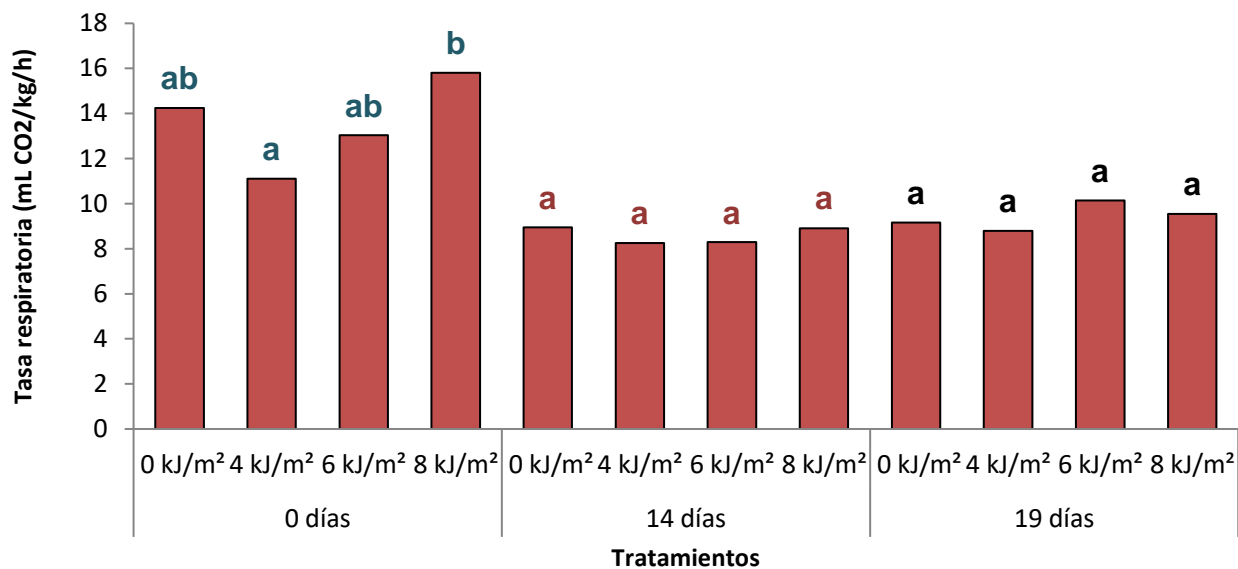
Tratamiento	Días	L*	a*	b*	°Hue
Calidad inicial	0	60,82	-0,22	10,49	91,00
0 kJ/m <sup>2</sup>	14	64,15	-0,18 <b>b</b>	9,61 <b>b</b>	91,06 <b>b</b>
4 kJ/m <sup>2</sup>		65,07	-0,25 <b>b</b>	9,72 <b>b</b>	91,42 <b>b</b>
6 kJ/m <sup>2</sup>		64,29	-0,36 <b>ab</b>	9,69 <b>b</b>	92,06 <b>b</b>
8 kJ/m <sup>2</sup>		65,78	-0,52 <b>a</b>	8,86 <b>a</b>	93,49 <b>a</b>
0 kJ/m <sup>2</sup>	19	63,46	-0,03	9,58 <b>b</b>	90,11 <b>b</b>
4 kJ/m <sup>2</sup>		70,30	-0,02	9,45 <b>b</b>	90,13 <b>b</b>
6 kJ/m <sup>2</sup>		64,52	-0,04	9,61 <b>b</b>	90,15 <b>b</b>
8 kJ/m <sup>2</sup>		64,66	-0,23	8,36 <b>a</b>	91,96 <b>a</b>

Medias con una letra diferente son significativamente diferentes de acuerdo con el análisis de varianza y prueba tukey ( $p < 0,05$ ), (a los 14 días  $p = 0,2415$  para L\*, 0,0033 para a\*, 0,0018 para b\* y  $< 0,0001$  para \*Hue a los 19 días  $p = 0,4755$  para L\*, 0,0834 para a\*,  $< 0,0001$  para b\* y 0,0024 para \*Hue).

**Cuadro 18.** Diferentes variables de color externo en °Brix en melón Honey Dew amarillo a los 0,14 y 19 días de almacenado.

Tratamiento	Días	L*	a*	b*	°Hue
Calidad inicial	0	71.5	5.2	61.3	85.4
0 kJ/m <sup>2</sup>	14	69,9 <b>ab</b>	7,0	64,9	84,0
4 kJ/m <sup>2</sup>		69,5 <b>a</b>	7,0	63,6	83,9
6 kJ/m <sup>2</sup>		69,5 <b>a</b>	6,9	63,8	84,0
8 kJ/m <sup>2</sup>		70,6 <b>b</b>	6,2	62,0	84,5
0 kJ/m <sup>2</sup>	19	70,4 <b>ab</b>	6,9	62,6	84,0
4 kJ/m <sup>2</sup>		70,9 <b>b</b>	6,5	61,8	84,2
6 kJ/m <sup>2</sup>		70,6 <b>ab</b>	7,3	62,3	83,5
8 kJ/m <sup>2</sup>		69,7 <b>a</b>	7,8	65,0	83,3

Medias con una letra diferente en una misma fecha son significativamente diferentes de acuerdo con el análisis de varianza y prueba tukey ( $p < 0,05$ ), (a los 14 días  $p = 0,0144$  para L\*, 0,5091 para a\*, 0,3754 para b\* y 0,5199 para \*Hue a los 19 días  $p = 0,0041$  para L\*, 0,1631 para a\*, 0,0678 para b\* y 0,1334 para \*Hue).



Medias con una letra diferente son significativamente diferentes de acuerdo con el análisis de varianza y prueba tukey ( $p < 0,05$ ,) (a los 0 días  $p=0,0073$ , a los 14 días  $p=0,7456$  y a los 19 días  $p=0,6905$ ).

**Figura 12.** Tasa respiratoria en melón Honey Dew amarillo a los 0, 14 y 19 días.