

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**Estudio de preservación de uvillas de exportación mediante la
implementación de radiación UV-C como tratamiento poscosecha**

Mathías Salvador Solís Fonseca

Ingeniería en Alimentos

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de
Ingeniero en Alimentos

Quito, 9 de mayo de 2025

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

**Estudio de preservación de uvillas de exportación mediante la
implementación de radiación UV-C como tratamiento poscosecha**

Mathías Salvador Solís Fonseca

Nombre del profesor, Título académico

María José Andrade Cuvi, Ph.D.

María Lorena Mejía Castañeda, Ph.D.

Quito, 9 de mayo de 2025

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Mathías Salvador Solís Fonseca

Código: 00339785

Cédula de identidad: 1751249283

Lugar y fecha: Quito, 9 de mayo de 2025

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETheses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETheses>.

RESUMEN

Se evaluó el efecto de la radiación ultravioleta tipo C (UV-C) como una tecnología no térmica para conservar la calidad de frutos de uvilla (*Physalis peruviana* L.) de exportación durante su almacenamiento. Esta investigación surge ante la necesidad de extender la vida útil de este fruto andino de alto valor nutricional y creciente interés comercial, pero altamente perecedero. Se aplicaron dos modelos de tratamiento (diferente distribución de lámparas UV-C y material de recubrimiento interno), con tiempos de irradiación de 6, 8 y 10 minutos, más un grupo control (sin tratamiento). Los frutos fueron almacenados por 35 días bajo refrigeración y evaluados periódicamente en cuanto a pérdida de peso, sólidos solubles, textura, color superficial y carga microbiana. Los resultados mostraron que el tratamiento con UV-C influyó positivamente en la conservación del fruto, especialmente el modelo que usa 6 lámparas en la parte superior construida con aluminio, con 10 minutos de exposición (6.1 kJ/m^2), que logró retardar el deterioro físico y reducir significativamente la presencia de hongos filamentosos en comparación con el control. Estos hallazgos demuestran que la aplicación controlada de UV-C, particularmente bajo un modelo de doble exposición, es una estrategia prometedora para prolongar la vida útil de uvillas de exportación, lo que representa una oportunidad de valor para el sector agroalimentario, siendo una alternativa de conservación que puede ser escalada a nivel industrial.

Palabras claves: *Physalis peruviana*, radiación UV-C, tecnologías no térmicas, tecnología poscosecha, microbiología alimentaria

ABSTRACT

The effect of ultraviolet-C (UV-C) radiation as a non-thermal technology was evaluated to preserve the quality of export-grade golden berries (*Physalis peruviana* L.) during storage. This research arises from the need to extend the shelf life of this highly perishable Andean fruit, which is known for its high nutritional value and growing commercial interest. Two treatment models were applied (with different UV-C lamp distributions and internal lining material), using irradiation times of 6, 8, and 10 minutes, in addition to a control group (no treatment). The fruits were stored under refrigeration for 35 days and periodically evaluated in terms of weight loss, soluble solids, texture, surface color, and microbial load. Results showed that UV-C treatment had a positive impact on fruit preservation, especially the model using six UV-C lamps on the top section constructed with aluminum, with 10 minutes of exposure (6.1 kJ/m²), which effectively delayed physical deterioration and significantly reduced the presence of filamentous fungi compared to the control. These findings demonstrate that the controlled application of UV-C, particularly under a double-exposure model, is a promising strategy to extend the shelf life of export-quality golden berries, offering a valuable alternative for the agri-food sector and a viable preservation method that can be scaled up for industrial use.

Key words: *Physalis peruviana*, UV-C radiation, non-thermal technologies, postharvest technology, food microbiology

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	9
1.1. Antecedentes.....	9
1.2. Objetivos.....	11
1.2.1. Objetivo general	11
1.2.2. Objetivos específicos.....	12
2.1. Material vegetal	13
2.2. Selección del diseño de cámara de radiación UV-C y dosis efectiva	13
2.3. Efecto de la dosis efectiva de radiación UV-C sobre la calidad de la uvilla	15
2.4. Análisis fisicoquímicos.....	15
2.4.1 Pérdida de peso.....	15
2.4.2 Porcentaje de frutos deteriorados	15
2.4.2. Contenido de sólidos solubles (°Brix).....	15
2.4.3. pH, acidez titulable y <i>ratio</i>	16
2.4.4. Color superficial.....	16
2.4.5. Análisis de textura (TPA).....	16
2.5. Análisis microbiológicos	16
2.5.1. Preparación del medio de cultivo DRBC y agua peptonada.	16
2.5.2. Recuento en placa.....	17
2.5.3. Aislamiento e identificación de mohos.	17
2.6. Diseño experimental	17
2.7. Análisis estadístico.....	18
3. RESULTADOS	19
3.1. Diseño de cámara UV-C y dosis efectiva	19
3.2. Características de la calidad fisicoquímica	21
3.2.1. Pérdida de peso	22
3.2.2. Variación de sólidos solubles, pH, acidez y <i>ratio</i>	23
3.2.3. Análisis de color	26
3.3. Análisis microbiológico	30
3.3.2. Identificación de mohos aislados en uvilla	31
4. CONCLUSIONES.....	35
5. REFERENCIAS	37
6. ANEXOS	41
6.1. Anexo A: Uvillas dentro de la cámara de UV-C.	41
6.2. Anexo B: Colocación de las uvillas dentro de la cámara UV-C.....	41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Efecto de la radiación UV-C sobre la pérdida de peso.....	22
Tabla 2. Sólidos solubles, pH, acidez titulable y ratio en uvillas durante el tiempo de almacenamiento. Medias seguidas por las mismas letras no difieren entre sí al 5% de probabilidad por la prueba de Tukey.....	24
Tabla 3. Valores de parámetros de colorimetría en las uvillas durante el tiempo de almacenamiento.....	27
Tabla 4. TPA en las uvillas durante el tiempo de almacenamiento.....	29

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Modelo virtual de la cámara de radiación UV-C Modelo A: a) vista frontal y b) vista de las lámparas (10 W cada una)	14
Figura 2. Modelo virtual de la cámara de radiación UV-C Modelo B: a) vista frontal y b) distribución de las lámparas (60 W cada una).....	14
Figura 3. Porcentaje de uvillas deterioradas de muestras control y tratadas con 4, 8 y 10 minutos de radiación UV-C en los dos modelos de cámaras: a) modelo A y b) modelo B y almacenadas en refrigeración (4°C)	19
Figura 4. Apariencia de frutos de uvilla control y tratados con radiación UV-C (6, 8 y 10 minutos) almacenados durante 21 días.....	20
Figura 5. Recuento de mohos en frutos control y tratados con radiación UV-C (6.1 kJ/m ²) durante el almacenamiento refrigerado.	31
Figura 6. Hongos filamentosos presentes en los frutos de uvilla: a) <i>Alternaria Alternata</i> , b) <i>Cladosporium</i> , c) <i>Botrytis cinérea</i> , d) <i>Penicillium</i> , e) <i>Cladosporium cucumerinum</i> , f) <i>Aspergillus flavus</i> , g) <i>Trichoderma</i>	32
Figura 1 A. Envases de uvillas dentro del diseño de la cámara Modelo A.	40
Figura 1 B. Colocación de las uvillas dentro de la cámara del Modelo A.	40

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

La uvilla (*Physalis peruviana* L.) es un fruto de gran interés agrícola y comercial en Ecuador, su producción se concentra en regiones de clima templado como las provincias Pichincha, Imbabura, Carchi, Cotopaxi y Tungurahua [1]. Este fruto exótico destaca por su alto valor nutricional, contenido de vitaminas A y C, flavonoides y compuestos bioactivos con propiedades antioxidantes [2]. Su demanda en mercados internacionales ha ido en aumento, especialmente en la Unión Europea y Estados Unidos, donde es valorado tanto por su sabor como por sus beneficios para la salud [1].

Ecuador es uno de los principales productores de uvilla en América Latina. En 2018 el país cultivó aproximadamente 492 hectáreas, con una producción total de 6383 toneladas, lo que representa una productividad aproximada de 13 toneladas por hectárea [1]. Las zonas de cultivo presentan condiciones agroclimáticas favorecen su desarrollo. Para su exportación, la uvilla debe cumplir con estrictos estándares de calidad, que incluyen parámetros de madurez, tamaño, contenido de sólidos solubles y ausencia de enfermedades postcosecha [3]. En 2019, las exportaciones de uvilla desde el Ecuador alcanzaron un valor aproximado de 24508 USD por tonelada, siendo sus principales destinos Francia, Canadá y Estados Unidos [1]. Sin embargo, las pérdidas postcosecha representan un grave problema, ya que un gran porcentaje de frutos pueden verse descartados debido a la presencia de patógenos, principalmente hongos como *Botrytis cinerea* y *Colletotrichum* sp., *Alternaria* sp., *A. tenuissima*, *Epicoccum nigrum*, *Diaporthe* sp., *Xylaria multiplex*, los cuales aceleran el deterioro del fruto [4].

La uvilla es ampliamente utilizada en la industria alimentaria para la elaboración de mermeladas, jugos, deshidratados y confitería, debido a su característico sabor agridulce y su alto contenido de compuestos bioactivos [5].

A nivel global, la producción y comercialización de la uvilla enfrenta diversas necesidades y limitaciones en términos ambientales, económicas y de salud pública. En términos ambientales, la conservación postcosecha de la uvilla es un reto debido a su alta perecibilidad y la susceptibilidad a enfermedades fúngicas, lo que genera desperdicio de alimentos y pérdidas económicas [6]. Desde el punto de vista económico, la falta de tecnologías de conservación accesibles y sostenibles puede afectar la competitividad del sector en mercados internacionales. En el ámbito de la salud pública y bienestar, la disponibilidad de frutos de alta calidad y libres de contaminantes es un aspecto crucial para su consumo y exportación [7].

Diversas estrategias han sido desarrolladas para minimizar las pérdidas postcosecha de la uvilla. Métodos tradicionales como el almacenamiento en frío y el uso de recubrimientos comestibles han mostrado cierto grado de efectividad [8]. No obstante, las tecnologías no térmicas han surgido como alternativas prometedoras, entre ellas la radiación ultravioleta tipo C (UV-C), la cual ha demostrado tener un efecto eficaz en la reducción de microorganismos patógenos aumentando así la vida útil de diversos productos hortofrutícolas [9].

La radiación UV-C es una tecnología que utiliza longitudes de onda entre 200 y 280 nm para inactivar microorganismos mediante la alteración de su material genético [9]. En la industria, esta tecnología se emplea en la desinfección de superficies, agua y alimentos, con aplicaciones exitosas en frutas y hortalizas [10]. Estudios recientes han evidenciado que la aplicación de UV-C en frutas y hortalizas puede reducir la carga microbiana sin afectar significativamente sus propiedades sensoriales y nutricionales [10].

En el caso de la uvilla, investigaciones previas han demostrado que la radiación UV-C puede ser una alternativa viable para la reducción de enfermedades postcosecha y la preservación de su calidad comercial. Diversos estudios han evidenciado una disminución significativa de hongos patógenos tras la exposición a dosis controladas de UV-C, contribuyendo a la prolongación de la vida útil del fruto [1].

Se encuentran numerosos trabajos publicados respecto al uso de la radiación UV- C como tecnología poscosecha, sin embargo, se desconoce su aplicación a nivel industrial. El presente estudio constituye una alternativa innovadora para la conservación de la uvilla que contribuiría significativamente a mejorar su competitividad en mercados internacionales y reducir las pérdidas postcosecha disminuyendo la carga microbiana y prolongando su vida útil sin el uso de productos químicos [8].

La transferencia tecnológica desde las universidades hacia las empresas del sector agroindustrial es fundamental para impulsar la innovación, mejorar la competitividad y optimizar los procesos productivos. A través de la aplicación del conocimiento científico y el desarrollo de nuevas tecnologías se promueve la eficiencia en el uso de los recursos, la sostenibilidad y la elaboración de productos con mayor valor agregado. Además, esta colaboración fortalece el vínculo entre la academia y la industria, permitiendo que los avances en investigación se traduzcan en soluciones concretas para los desafíos del sector.

1.2.Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de la radiación UV-C en la conservación de uvillas de exportación en Ecuador, enfocado en la reducción del crecimiento fúngico y la extensión de la vida útil del fruto.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar la dosis efectiva de radiación UV-C adecuado para la conservación de la uvilla mediante el índice de deterioro.
- Evaluar el impacto de la dosis efectiva sobre el desarrollo fúngico de uvilla durante el almacenamiento refrigerado.
- Comparar las características fisicoquímicas durante el almacenamiento refrigerado de las uvillas con y sin tratamiento de radiación UV-C.

2. METODOLOGÍA

2.1. Material vegetal

Se utilizaron frutos de uvilla (*Physalis peruviana L.*) cosechados en la zona de Machachi, cantón Mejía, provincia de Pichincha ($0^{\circ}30'36''\text{S}$ $78^{\circ}34'11''\text{O}$), entre los meses de agosto de 2024 y febrero de 2025. La cosecha se realizó manualmente en estado de madurez comercial. Inmediatamente después de la cosecha los frutos se trasladaron a la Planta Piloto de Alimentos de la USFQ para su tratamiento.

2.2. Selección del diseño de cámara de radiación UV-C y dosis efectiva

La selección del tratamiento con UV-C (dosis efectiva) se realizó colocando los frutos (190 g) en cajas PET transparentes en dos diseños de cámaras de radiación UV-C construidas con diferentes materiales: **Modelo A:** madera cubierta con papel aluminio en su interior (Figura 1) y **Modelo B:** acero (Figura 2). Cada cámara cuenta con 6 lámparas UV-C colocadas en diferentes disposiciones, cada lámpara tiene una potencia de 180 y 80 Watts para los modelos A y B, respectivamente. Los frutos se irradiaron a una distancia de 9 cm y 18 cm, para los modelos A y B, respectivamente. La exposición a la luz UV-C fue durante 6, 8 y 10 minutos para ambas cámaras. Los ensayos se compararon con frutos sin tratamiento (denominados control).

Para seleccionar tanto el diseño de la cámara como la dosis más adecuada de radiación UV-C los frutos se evaluaron diariamente durante 35 días. Durante este tiempo se calculó el porcentaje de frutos deteriorados [2].

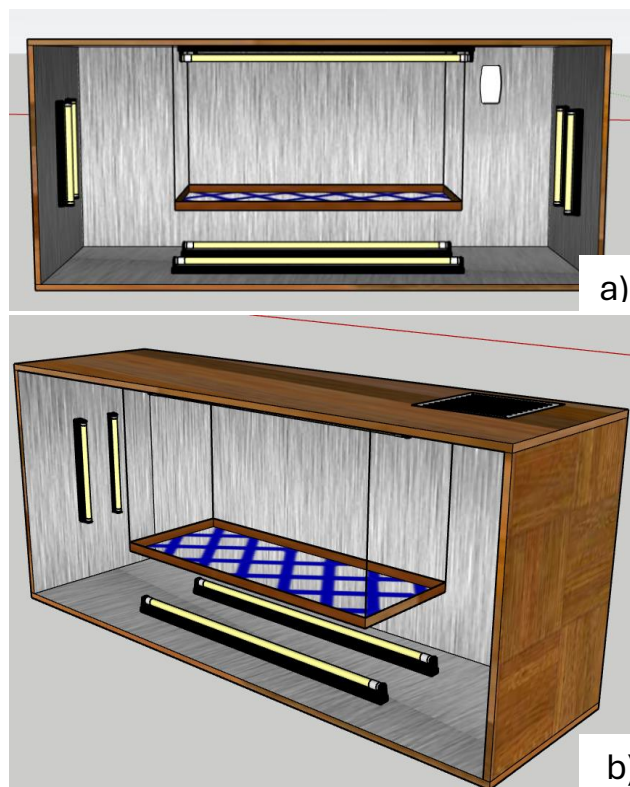


Figura 1. Modelo virtual de la cámara de radiación UV-C Modelo A: a) vista frontal y b) vista de las lámparas (10 W cada una)

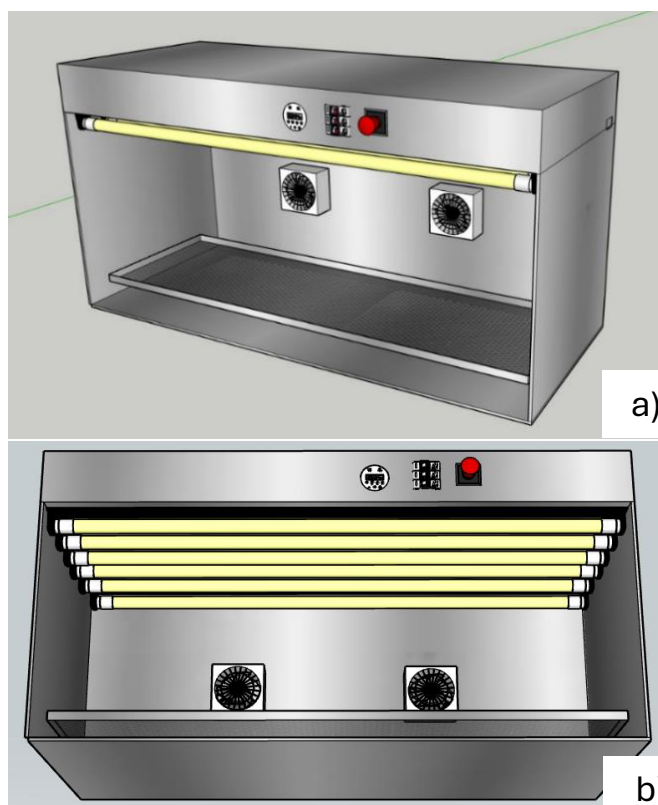


Figura 2. Modelo virtual de la cámara de radiación UV-C Modelo B: a) vista frontal y b) distribución de las lámparas (60 W cada una)

2.3. Efecto de la dosis efectiva de radiación UV-C sobre la calidad de la uvilla

Una vez seleccionados la dosis efectiva y el tipo de cámara se repitió el tratamiento bajo las mismas condiciones mencionadas anteriormente. Frutos sin tratamiento (denominados control) se almacenaron directamente en refrigeración. A los 0, 7, 14, 21, 28 y 35 días de almacenamiento refrigerado se tomaron muestras para evaluar el efecto de la dosis efectiva sobre características de calidad fisicoquímica (pérdida de peso, perfil de textura, sólidos solubles, pH, acidez titulable y color superficial) y microbiológica (mohos). Además, se identificaron los mohos causantes de deterioro durante la poscosecha. El ensayo completo se realizó por duplicado.

2.4 Análisis fisicoquímicos

2.4.1 Pérdida de peso

Cada caja de fruta se pesó individualmente durante el almacenamiento y la pérdida de peso se calculó en relación con el valor inicial, expresándose como porcentaje (ecuación 1)

$$\text{Pérdida de peso (\%)} = \frac{\text{peso inicial promedio} - \text{peso final promedio}}{\text{peso inicial promedio}} \times 100\% \quad [1]$$

2.4.2 Porcentaje de frutos deteriorados

El deterioro de los frutos se determinó mediante inspección visual, contando la cantidad de frutos sanos y deteriorados por cada caja. El porcentaje se calculó según la ecuación 2:

$$\text{Frutos deteriorados (\%)} = \frac{\text{Frutos detriorados}}{\text{Frutos totales}} \times 100\% \quad [2]$$

2.4.2. Contenido de sólidos solubles (°Brix)

Para determinar la cantidad de sólidos solubles se utilizó el método AOAC 932.12. Se tomó una muestra de 25 gramos de fruta, se trituraron, homogenizaron y filtraron. Los

sólidos solubles se determinaron con un refractómetro digital (Milwaukee MA871) y se expresaron en °Brix [11].

2.4.3. pH, acidez titulable y *ratio*

Se utilizó el filtrado obtenido en la sección 2.4.2. El pH se midió con un potenciómetro (Mettler Toledo SevenDirect SD20), y para la acidez titulable se utilizó el método AOAC 942.15, el cual indica que para determinar la cantidad de ácido cítrico en frutas debe realizarse mediante una titulación con NaOH (0.1 N) y fenolftaleína como indicador [11]. El *ratio* se calculó con la relación entre los sólidos solubles y la acidez titulable.

2.4.4. Color superficial

Se utilizó un colorímetro (Konica Minolta CR-410) se midió el color superficial de los frutos analizando diferentes áreas de estos. Se midieron los parámetros colorimétricos *L* (luminosidad), *a* (verde-rojo), *b* (azul-amarillo), *Cr* (croma o saturación del color) y *Hue* (tono).

2.4.5. Análisis de textura (TPA)

Se utilizó con un texturómetro (Lamy Rheology TX-700) con los siguientes parámetros: velocidad, 1 mm/s; distancia, 6 mm; detección de la muestra, 0.01 N; velocidad de retorno, 10 mm/s; posición de retorno, 10 mm y una sonda de 2 mm de diámetro colocada en la región ecuatorial del fruto [2]. En cada día de muestreo se seleccionaron aleatoriamente seis frutos para cada tratamiento. Se determinó la cohesividad, gomosidad (N), masticabilidad (N), elasticidad (N), resiliencia y dureza (N).

2.5. Análisis microbiológicos

2.5.1. Preparación del medio de cultivo DRBC y agua peptonada.

El Agar DRBC (6.64 g) fue mezclado con agua destilada (210 mL) para la elaboración del medio de cultivo DRBC que se lo utiliza para el aislamiento de hongos

[12]. Al agua de peptona tamponada (32.40 g) se la mezcló con agua destilada (1620 mL) para obtener agua peptonada.

2.5.2. Recuento en placa.

Se seleccionaron aleatoriamente 30 g de frutos por caja que fueron homogenizados con 270 g de agua peptonada estéril para realizar una dilución de fruto:agua peptonada (1:10), el proceso se realizó por triplicado. Se tomó 1 mL por cada dilución y se inoculó por vertido utilizando aproximadamente 30 mL de medio de cultivo DRBC. Las cajas Petri se incubaron a 34°C por 5 días [12], [13]. Transcurrido ese tiempo, se realizó el recuento de unidades propagadoras de moho formadas. Los resultados se expresaron como UPM/g.

2.5.3. Aislamiento e identificación de mohos.

Con un hisopo se extrajo parte del micelio de cada colonia, estas fueron cultivadas y aisladas en agar DRBC mediante extensión en placa. Cada colonia aislada fue incubada a 34°C por 3 días [13]. Transcurrido este tiempo, se realizó la tinción depositando una gota de azul de metileno sobre un portaobjetos y, con la ayuda de cinta adhesiva transparente, se extrajo una pequeña porción del micelio de la colonia aislada y se observó la morfología utilizando un microscopio (Olympus CX22) con un aumento de 100X. Las imágenes así obtenidas se utilizaron para identificar el género y la especie de moho [14]. Estas actividades se desarrollaron en el laboratorio del Instituto de Microbiología de la Universidad San Francisco de Quito.

2.6. Diseño experimental

Se aplicó un diseño completamente al azar (DCA) 4×2, en el que se evaluaron los efectos de dos factores sobre el índice de deterioro de las uvillas. Como primer factor se consideró el tiempo de exposición a la radiación UV-C con cuatro niveles: 0 minutos (denominado control), 6 minutos, 8 minutos y 10 minutos; como segundo factor el

material interno de la cámara de radiación UV-C, con dos niveles: modelo A (aluminio) y modelo B (acero). Se realizaron 2 repeticiones, obteniendo en total 16 unidades experimentales. Como variable de respuesta se analizó el índice de deterioro con el fin de identificar el tratamiento que minimizara la severidad del daño poscosecha producida por el crecimiento de mohos. Una vez determinado el tratamiento más adecuado, se realizó el análisis microbiológico para verificar su efectividad en la reducción de la carga fúngica presente en las uvillas tratadas.

2.7. Análisis estadístico

El análisis de datos se realizó utilizando el software MINITAB 21 STATISTICAL SOFTWARE® mediante un análisis de varianza (ANOVA) para las variables de respuesta, con el objetivo de determinar si existen diferencias significativas entre los tratamientos aplicados. El valor de significancia se estableció en un nivel de $\alpha = 0.05$, lo que implica un umbral de confianza del 95%. Después de realizar el ANOVA, se procedió a realizar una prueba de separación de medias (prueba de Tukey con una probabilidad de error del 5%).

3. RESULTADOS

3.1. Diseño de cámara UV-C y dosis efectiva

La presencia de mohos en el fruto fue el principal indicativo de deterioro. En la Figura 3 se muestran los valores de los porcentajes de frutos deteriorados obtenidos durante los 35 días de observación correspondientes al modelo A y modelo B respectivamente.

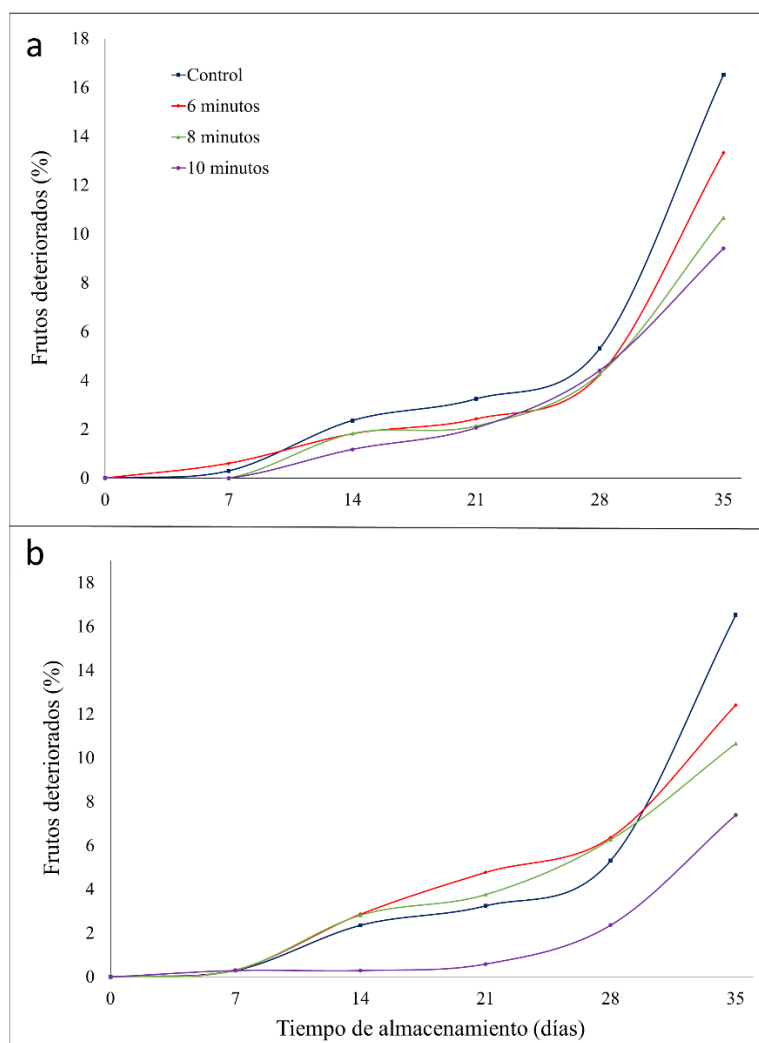


Figura 3. Porcentaje de uvillas deterioradas de muestras control y tratadas con 4, 8 y 10 minutos de radiación UV-C en los dos modelos de cámaras: a) modelo A y b) modelo B y almacenadas en refrigeración (4°C)

Los frutos tratados en los modelos de cámara no presentan deterioro durante los primeros 7 días de almacenamiento. Sin embargo, en la Figura 3a (modelo A) se observó

que a partir del día 14 el porcentaje de frutos deteriorados aumenta de forma significativa. En la Figura 3b (modelo B), se observa un comportamiento similar, a excepción del tratamiento de 10 minutos, el cual retrasa el deterioro de la fruta hasta el día 21 (Figura 6). Pasado este tiempo, existe un leve incremento en el porcentaje de frutos deteriorados en comparación al resto de tratamientos que aumentan progresivamente, sin llegar a alcanzar el porcentaje de deterioro de los frutos control.

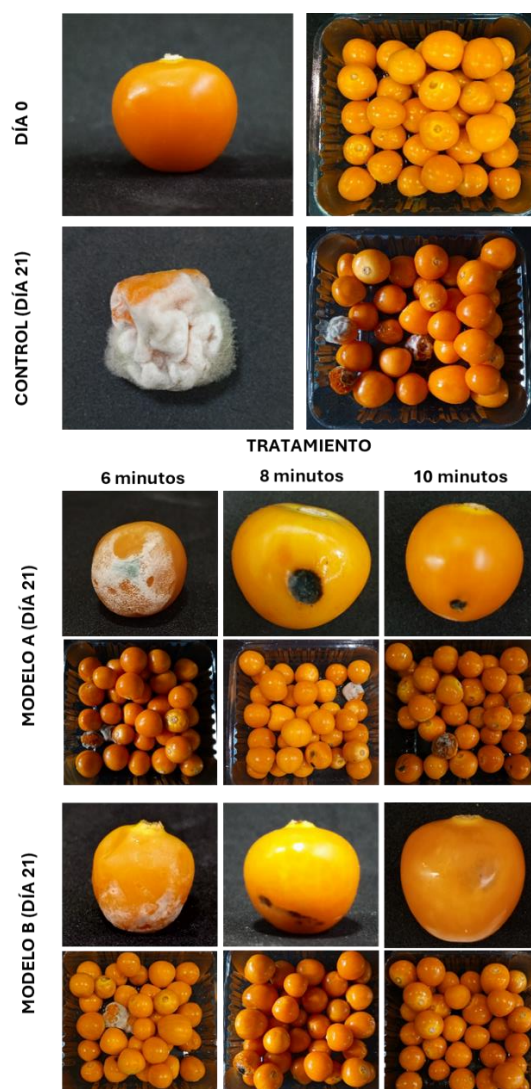


Figura 4. Apariencia de frutos de uvilla control y tratados con radiación UV-C (6, 8 y 10 minutos) almacenados durante 21 días.

Al final del almacenamiento (día 35) se observó los frutos control presentaron mayor porcentaje de frutos deteriorados, seguido por el tratamiento de 6 y 8 minutos

sucesivamente, tanto para el modelo A como para el modelo B de las cámaras de radiación UV-C. El tratamiento de 10 minutos fue el que presentó una menor cantidad de frutos con deterioro. Si se comparan los frutos tratados con 10 minutos entre ambos modelos, se observa que el tratamiento del modelo B fue más efectivo que el del modelo A, ya que presentó un valor aproximado igual a 7.40% frente al 9.41% correspondiente al modelo A. Con estos resultados obtenidos, se eligieron los tratamientos de 10 minutos de ambos modelos de diseño de la cámara de radiación, según se observa en la Figura 6.

Son numerosos los estudios publicados sobre el uso de la radiación UV-C en poscosecha de productos frutihortícolas, se evalúa el efecto de la dosis aplicada, tiempo de exposición a la luz UV-C [15], [16], la altura entre las lámparas y el vegetal [17], no obstante, no comparan directamente el material de las cámaras o la distribución de las lámparas.

El estudio de diferentes materiales en la construcción de cámaras UV-C es fundamental para optimizar su uso a nivel industrial, ya que influye directamente en el costo, durabilidad, capacidad operativa y eficiencia del tratamiento poscosecha. Materiales como el aluminio, con alta reflectancia UV, pueden mejorar la distribución uniforme de la radiación, mientras que otros como la madera ofrecen menor costo, pero menor eficiencia óptica. Evaluar cómo estos materiales afectan la distribución espacial de la radiación es clave para diseñar túneles de tratamiento más efectivos, donde se garantice una dosis homogénea sobre la superficie del fruto, maximizando su desinfección sin comprometer su calidad.

3.2. Características de la calidad fisicoquímica

El análisis de la calidad fisicoquímica -pérdida de peso, °Brix, pH, acidez, color y análisis de textura (TPA) de los frutos de uvilla tratados con 10 minutos de exposición

a luz UV-C (tratamiento seleccionado) se encuentran resumidos en esta sección del estudio.

3.2.1. Pérdida de peso

Durante el periodo de almacenamiento, la pérdida de peso en las uvillas mostró diferencias importantes entre los tratamientos, como se evidencia en la Tabla 1. En los primeros días de almacenamiento, tanto los frutos control como los tratados con radiación UV- C presentaron pérdidas de peso mínimas, lo cual es común en frutas recién almacenadas, donde la transpiración aún no ha alcanzado niveles críticos. Sin embargo, a partir de la segunda semana (día 14), el control evidenció un aumento progresivo y significativo de la pérdida de peso en comparación con los tratamientos UV-C.

Tabla 1. Efecto de la radiación UV-C sobre la pérdida de peso.

Parámetro	Tratamiento	Tiempo de almacenamiento (días)					
		0	7	14	21	28	35
Pérdida de peso (%)	C	0	3.7	5.7	7.4	16.5	16.6
	A	0	4.0	6.6	6.6	19.1	24.5
	B	0	3.3	5.3	8.3	16.7	15.2

C = frutos control, A y B = modelos de cámara de radiación UV-C

En particular, el tratamiento con el modelo B del diseño de la cámara de radiación mostró el mejor desempeño, preservando la masa del fruto durante más tiempo. Este resultado se debe a que la aplicación de UV-C en frutas frescas actúa sobre la cutícula y la epidermis, reduciendo la pérdida de humedad al inducir respuestas fisiológicas que refuerzan la estructura celular [18]. Al final del almacenamiento (día 35), el tratamiento UV-C con el modelo B mantuvo valores significativamente más bajos de pérdida de peso en comparación con el control y el modelo A, el cual presentó un mayor porcentaje de pérdida de peso entre los tratamientos [19].

Los productos frutihortícolas presentan pérdida de peso durante el almacenamiento como producto de su metabolismo, principalmente por la pérdida de agua por evaporación [20]. Está comprobado que el uso de radiación UV-C como tratamiento poscosecha retrasa la pérdida de peso en frutas y hortalizas enteras y mínimamente procesadas. La aplicación de dosis de 1.6, 2.0, y 2.4 kJ/m² produjeron la reducción de la pérdida de peso en 8% en guayaba, en tanto que en tomates Cherry [21], y frutillas [22], esta reducción fue de 1% comparado con los controles. Es importante mencionar que varios estudios combinan el uso de la radiación UV-C con coberturas comestibles como el mucílago de pitahaya o aceites esenciales, potenciando el efecto de reducción de pérdida de peso [21], [22]. En este sentido resultaría interesante probar el uso de recubrimientos comestibles combinado con radiación UV-C en uvilla y evaluar su potencial uso industrial para reducir las pérdidas de peso y reducir el deterioro del fruto durante la poscosecha de forma que la calidad de la uvilla se mantenga por más tiempo permitiendo su transporte a lugar distantes y exposición en percha. Se debe tomar en cuenta que el precio de la fruta de exportación se basa en el peso entre otros factores como el calibre, apariencia, certificaciones, costos logísticos y operativos, y la oferta y demanda internacional. Por lo que resulta importante desarrollar estrategias de marketing, educación al consumidor y promoción basado en la calidad y valor nutricional de la uvilla [23].

3.2.2. Variación de sólidos solubles, pH, acidez y *ratio*

A continuación, se presentan parámetros como el contenido de sólidos solubles en los frutos durante el almacenamiento, este parámetro refleja el contenido de azúcares y compuestos solubles del fruto, y se utiliza como indicador del estado de maduración y calidad organoléptica.; valores de pH; y acidez titulable medidos a lo largo del almacenamiento en frutos tratados y no tratados. Estos parámetros son indicadores del

estado fisiológico del fruto y de la posible actividad microbiana. Los resultados se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Sólidos solubles, pH, acidez titulable y *ratio* en uvillas durante el tiempo de almacenamiento. Medias seguidas por las mismas letras no difieren entre sí al 5% de probabilidad por la prueba de Tukey.

Parámetro	Tratamiento	tiempo de almacenamiento (días)					
		0	7	14	21	28	35
Sólidos Solubles	C	11.7±0.1 ^g	11.7±0.1 ^g	13.6±0.1 ^{bc}	13.6±0.4 ^{bc}	12.9±0.1 ^{de}	14.0±0. ^b
	A	11.7±0.1 ^g	14.0±0.1 ^{ab}	13.8±0.1 ^{bc}	13.2±0.0 ^{cd}	13.7±0.07 ^{bc}	14.6±0.4 ^a
	B	11.8±0.1 ^{fg}	12.4±0.0 ^{ef}	14.0±0.0 ^{ab}	13.9±0.1 ^b	13.9±0.07 ^{de}	13.9±0.0 ^b
pH	C	3.5±0.0	3.5±0.0 ^d	3.5±0.0 ^d	3.6±0.0 ^c	3.7±0.0 ^b	3.6±0.0 ^c
	A	3.7±0.0	3.7±0.0 ^b	3.7±0.0 ^b	3.7±0.0 ^b	3.7±0.0 ^b	3.8±0.0 ^a
	B	3.7±0.0	3.6±0.0	3.6±0.0 ^c	3.7±0.0 ^b	3.7±0.0 ^b	3.7±0.0 ^b
Acidez titulable	C	2.3±0.01 ^a	2.2±0.1 ^a	2.1±0.1 ^{ab}	2.0±0.4 ^{ab}	2.1±0.1 ^{ab}	1.9±0.1 ^{ab}
	A	1.7±0.1 ^{ab}	1.5±0.1 ^b	2.1±0.1 ^{ab}	1.9±0.0 ^{ab}	2.2±0.1 ^a	2.0±0.4 ^{ab}
	B	2.4±0.1 ^a	2.4±0.0 ^a	2.1±0.0 ^{ab}	2.2±0.1 ^a	2.2±0.1 ^a	2.0±0.0 ^{ab}
<i>Ratio</i>	C	0.2±0.0 ^a	0.2±0.0 ^a	0.1±0.0 ^b	0.1±0.0 ^b	0.2±0.0 ^a	0.1±0.0 ^b
	A	0.1±0.0 ^b	0.1±0.0 ^b	0.1±0.0 ^b	0.1±0.0 ^b	0.2±0.0 ^a	0.1±0.0 ^b
	B	0.2±0.0 ^a	0.2±0.0 ^a	0.1±0.0 ^b	0.2±0.0 ^a	0.1±0.0 ^b	0.1±0.0 ^b

C = frutos control, A y B = modelos de cámara de radiación UV-C

En cuanto al contenido de sólidos solubles (°Brix), los tratamientos con radiación UV-C permitieron mantener la estabilidad de los niveles durante la mayor parte del periodo de almacenamiento, mientras que en el grupo control se observó una disminución a partir del día 21. Esto sugiere que el tratamiento ayudó a conservar la integridad de los tejidos, retrasando la degradación de azúcares simples. Estudios previos reportaron un comportamiento similar en tomates y pimientos tratados con UV-C, donde se preservaron los compuestos solubles gracias a la inactivación parcial de enzimas degradativas y la reducción del metabolismo respiratorio [24].

Los parámetros de acidez titulable y pH también se vieron afectados positivamente por la radiación UV-C. A diferencia del control, en el que se observó una disminución en la acidez y un incremento en el pH hacia el final del almacenamiento, los frutos irradiados conservaron estos parámetros dentro de rangos más estables. La conservación de la acidez es un indicativo de menor deterioro metabólico y menor actividad de microorganismos, por lo que los tratamientos con UV-C, indistintamente del modelo de cámara utilizado, actuaron como un agente conservante que estaría inhibiendo los procesos bioquímicos relacionados con la senescencia, manteniendo la calidad de la uvilla.

El *ratio* (índice de madurez) es la relación entre los sólidos solubles y la acidez, y refleja el equilibrio entre el dulzor y la acidez, además puede considerarse como un indicador de aceptación comercial y calidad sensorial, puede relacionarse con las expectativas del consumidor [25]. Como se observa en la Tabla 2, el *ratio* se mantiene prácticamente constante durante 35 días, lo cual es favorable como un indicador de estabilidad de la uvilla durante el almacenamiento prolongado.

Tanto el pH, la acidez, y los sólidos solubles son parámetros directamente relacionados con la calidad de las frutas, influyen directamente en sus características sensoriales (sabor, textura, color) y en consecuencia en su vida útil. La uvilla se caracteriza por ser un fruto ácido, lo que puede relacionarse con frescura y buen sabor, además de alta acidez que favorece a su conservación. Estos valores se ven influenciados por el genotipo [23], por lo que es recomendable caracterizar los aquellos resistentes a plagas y que producen frutos con buenas características organolépticas.

3.2.3. Análisis de color

La evaluación del color es un parámetro importante en la aceptación comercial de frutas frescas como la uvilla, ya que influye directamente en la percepción de frescura y calidad por parte del consumidor. Los valores registrados del color de los frutos de uvilla a lo largo del almacenamiento se presentan en la Tabla 3.

Durante los primeros 7 días de almacenamiento, los parámetros de color se mantuvieron estables en todos los tratamientos, lo cual sugiere que tanto la radiación UV- C como los cambios de temperatura no generaron cambios inmediatos en la apariencia superficial del fruto. Sin embargo, hacia el día 21 y con mayor notoriedad al día 35, los frutos control presentaron una disminución en el valor de L , indicando una pérdida de luminosidad que podría relacionarse con pardeamiento superficial. Asimismo, se observó una reducción en los valores de b , lo que refleja una pérdida de la tonalidad amarilla característica del fruto, y una alteración del *Hue*, acercándose a tonos menos vivos.

Por el contrario, los frutos tratados con UV-C, especialmente el del modelo B, lograron mantener valores más altos de L y b , conservando un color más brillante y fresco. El croma (Cr) también se mantuvo más elevado en los frutos irradiados, lo cual indica que el tratamiento ayudó a preservar la intensidad del color durante el almacenamiento, esto se debe a que la radiación UV-C contribuye a retardar el pardeamiento en frutas al inhibir la actividad de enzimas oxidativas como la polifenoloxidasas (PPO) y la peroxidasa (POD) [26]. Además, se señala que la radiación UV-C puede inducir respuestas fisiológicas que estabilizan los pigmentos responsables del color, como los carotenoides y flavonoides, lo que explicaría la mayor estabilidad colorimétrica observada en este estudio [24].

Tabla 3. Valores de parámetros de colorimetría en las uvillas durante el tiempo de almacenamiento.

Tratamiento		Tiempo de almacenamiento (días)					
		0	7	14	21	28	35
L	C	63.1±1.2 ^{ab}	62.7±2.8 ^{ab}	63.3±1.4 ^{ab}	63.6±0.0 ^a	59.9±2.6 ^{abcd}	60.7±1.6 ^{abcd}
	A	60.6±1.4 ^{abcd}	60.9±1.4 ^{abcd}	62.3±2.4 ^{abc}	63.5±0.0 ^a	57.5±4.0 ^d	57.61±4.1 ^{cd}
	B	62.9±0.9 ^{ab}	63.0±1.2 ^{ab}	60.8±3.8 ^{abcd}	63.6±0.0 ^a	56.8±3.0 ^d	58.7±1.7 ^{bcd}
a*	C	17.2±0.9 ^{ab}	16.3±2.0 ^{ab}	18.6±1.6 ^{ab}	18.9±0.0 ^{ab}	18.2±1.1 ^{ab}	17.8±1.7 ^{ab}
	A	16.7±0.9 ^{ab}	17.6±1.7 ^{ab}	17.9±1.0 ^{ab}	18.8±0.0 ^{ab}	16.3±3.1 ^{ab}	16.2±0.5 ^{ab}
	B	16.7±2.0 ^{ab}	16.3±2.6 ^{ab}	18.4±2.2 ^{ab}	19.6±0.0 ^a	18.5±1.9 ^{ab}	16.0±2.8 ^b
b*	C	53.3±0.8 ^{abc}	54.3±2.4 ^{abc}	55.0±3.4 ^{ab}	55.0±0.0 ^{ab}	52.87±3.4 ^{abc}	53.1±4.1 ^{abc}
	A	53.3±1.0 ^{abc}	54.2±1.4 ^{abc}	55.0±3.5 ^{ab}	56.8±0.0 ^a	49.7±7.5 ^{bc}	47.7±4.5 ^c
	B	53.3±1.9 ^{abc}	53.4±2.2 ^{abc}	51.6±3.9 ^{abc}	56.2±0.0 ^{ab}	50.8±4.4 ^{abc}	49.8±3.3 ^{bc}
Cr	C	54.2±1.7 ^{abc}	56.7±2.8 ^{abc}	58.1±3.7 ^{ab}	58.1±0.0 ^{ab}	55.9±3.4 ^{abc}	55.3±3.1 ^{abc}
	A	57.3±1.9 ^{abc}	57.03±1.7 ^{abc}	57.9±3.5 ^{ab}	59.8±0.0 ^a	52.4±8.0 ^{bc}	50.4±4.3 ^c
	B	53.3±1.9 ^{abc}	53.4±2.2 ^{abc}	51.6±3.9 ^{abc}	59.5±0.0 ^a	50.8±4.4 ^{abc}	52.3±3.3 ^{bc}
Hue	C	56.3±1.0 ^{ab}	73.3±1.5 ^{abcd}	71.3±0.7 ^{abcd}	70.8±0.0 ^{abcd}	71.0±1.2 ^{abcd}	71.2±0.9 ^{abcd}
	A	71.9±0.9 ^{abcd}	72.0±1.4 ^{abcd}	71.9±0.9 ^{abcd}	71.7±0.0 ^{abcd}	71.9±1.4 ^{abcd}	71.1±1.5 ^{abcd}
	B	73.8±1.9 ^a	73.4±2.1 ^{ab}	70.3±2.8 ^{cd}	70.8±0.0 ^{bcd}	69.9±2.0 ^d	72.3±2.1 ^{abcd}

Medias seguidas por las mismas letras no difieren entre sí al 5% de probabilidad por la prueba de Tukey.

En general, el tiempo de almacenamiento, los tratamientos poscosecha y la interacción entre estos factores tienen efectos significativos sobre el color superficial de productos frutihortícolas [27].

3.2.4. Análisis de textura (TPA)

La textura es uno de los atributos más relevantes en la calidad poscosecha de frutas frescas, especialmente en aquellas destinadas a la exportación como la uvilla. El análisis de perfil de textura (TPA, por sus siglas en inglés) permite evaluar de forma

objetiva parámetros mecánicos como dureza, cohesividad, elasticidad, y adhesividad, que se relacionan directamente con la estructura celular del fruto. En la tabla 4. Se muestran los resultados obtenidos del análisis de textura.

En la etapa inicial del almacenamiento, no se observaron diferencias significativas entre tratamientos. Sin embargo, con el avance del tiempo, los frutos del tratamiento control presentaron una disminución progresiva en la dureza, mostrando tejidos más blandos y menor resistencia a la compresión. Además, disminuyó la cohesividad, reflejando una menor integridad estructural, y la elasticidad, lo que indica que el fruto perdió su capacidad para recuperar su forma original tras ser deformado.

En contraste, los frutos tratados con radiación UV-C conservaron mejor sus propiedades. En particular, el tratamiento dado por el modelo B mostró valores más altos de dureza y cohesividad hacia el final del almacenamiento, lo cual sugiere que la radiación contribuyó a retardar la degradación de las paredes celulares y la actividad de enzimas como las poligalacturonasas (PG) y celulasas, responsables del ablandamiento de los tejidos vegetales. Los tratamientos con UV-C en frutas permiten mantener la firmeza del fruto durante más tiempo, probablemente debido a una menor despolimerización de la pectina y hemicelulosa [28].

Por otro lado, la adhesividad también fue menor en los frutos irradiados, lo que implica una menor liberación de exudados o jugos superficiales, comúnmente asociados a procesos de senescencia o ataque fúngico. Esta característica es importante para mejorar la vida útil comercial y facilitar el manejo postcosecha [28].

En general, estos resultados indican que la aplicación de radiación UV-C tiene un efecto protector sobre la textura del fruto, ayudando a conservar la firmeza y las propiedades mecánicas deseables durante el almacenamiento.

Tabla 4. TPA en las uvillas durante el tiempo de almacenamiento.

Parámetro	Tratamiento	Tiempo de almacenamiento (días)					
		0	7	14	21	28	35
Cohesividad	C	0.1±0.1 ^a	0.1±0.0 ^a	0.1±0.0 ^a	0.1±0.0 ^a	0.05±0.01 ^a	0.1±0.0 ^a
	A	0.2±0.1 ^a	0.1±0.0 ^a	0.1±0.0 ^a	0.1±0.0 ^a	0.056±0.0 ^a	0.1±0.1 ^a
	B	0.1±0.1 ^a	0.1±0.0 ^a	0.1±0.0 ^a	0.1±0.0 ^a	0.05±0.0 ^a	0.1±0.0 ^a
Gomosidad	C	0.4±0.1 ^{ab}	0.3±0.1 ^{ab}	0.3±0.1 ^{ab}	0.2±0.1 ^b	0.2±0.0 ^b	0.2±0.1 ^b
	A	0.5±0.2 ^a	0.3±0.0 ^{ab}	0.3±0.1 ^{ab}	0.2±0.1 ^b	0.2±0.0 ^b	0.3±0.2 ^{ab}
	B	0.4±0.2 ^{ab}	0.3±0.1 ^{ab}	0.3±0.1 ^{ab}	0.2±0.0 ^b	0.2±0.0 ^b	0.2±0.0 ^b
Masticabilidad	C	0.8±0.3 ^{abc}	0.5±0.2 ^{abcd}	0.5±0.0 ^{abcd}	0.4±0.2 ^{bcd}	0.3±0.1 ^{cd}	0.2±0.1 ^d
	A	0.8±0.5 ^{ab}	0.6±0.0 ^{abcd}	0.4±0.1 ^{bcd}	0.3±0.1 ^{cd}	0.3±0.1 ^{cd}	0.4±0.2 ^{bcd}
	B	0.9±0.4 ^a	0.5±0.2 ^{abcd}	0.5±0.2 ^{abcd}	0.3±0.1 ^{cd}	0.2±0.0 ^d	0.3±0.1 ^{cd}
Resiliencia	C	0.03±0.0 ^a	0.01±0.0 ^{ab}	0.005±0.0 ^b	0.008±0.0 ^b	0.01±0.0 ^b	0.007±0.0 ^b
	A	0.02±0.0 ^{ab}	0.007±0.0 ^b	0.007±0.0 ^b	0.008±0.0 ^b	0.006±0.0 ^b	0.02±0.0 ^{ab}
	B	0.02±0.0 ^{ab}	0.005±0.0 ^b	0.008±0.0 ^b	0.008±0.0 ^b	0.008±0.0 ^b	0.008±0.0 ^b
Dureza	C	3.0±0.8 ^{ab}	2.8±0.3 ^{ab}	3.2±0.7 ^{ab}	3.3±1.0 ^{ab}	4.0±0.6 ^{ab}	3.0±0.8 ^{ab}
	A	2.9±0.5 ^{ab}	2.5±0.4 ^b	3.1±0.6 ^{ab}	2.9±0.7 ^{ab}	4.2±0.5 ^a	2.9±0.8 ^{ab}
	B	2.6±0.5 ^{ab}	3.6±0.6 ^{ab}	3.2±0.5 ^{ab}	3.4±0.6 ^{ab}	3.7±0.4 ^{ab}	2.9±0.5 ^{ab}
Elasticidad	C	1.9±0.6 ^{abc}	1.7±0.2 ^{abcd}	1.6±0.2 ^{abcd}	1.7±0.2 ^{abcd}	1.5±0.1 ^{bcd}	1.1±0.5 ^d
	A	1.7±0.6 ^{abcd}	2.0±0.1 ^{ab}	1.5±0.2 ^{bcd}	1.5±0.2 ^{abcd}	1.4±0.2 ^{bcd}	1.2±0.2 ^{cd}
	B	2.3±0.4 ^a	1.6±0.2 ^{abcd}	1.5±0.5 ^{bcd}	1.5±0.2 ^{bcd}	1.3±0.2 ^{bcd}	1.5±0.3 ^{bcd}

Medias seguidas por las mismas letras no difieren entre sí al 5% de probabilidad por la prueba de Tukey.

El análisis global del efecto de la radiación UV-C aplicada en uvilla en el modelo de cámara A produjo resultados similares al control por lo que se descartó su uso para el análisis microbiológico. Por otro lado, se utilizó un radiómetro (Solarmeter Model 8.0) para determinar la dosis de radiación UV-C correspondiente a la exposición de la fruta por 10 minutos en el modelo de cámara B. Este valor fue de 6.1 KJ/m².

3.3. Análisis microbiológico

Como se mencionó anteriormente, el deterioro de uvilla causado por el crecimiento de mohos es la principal causa de pérdidas poscosecha. Para la industria frutihortícola es primordial la búsqueda de estrategias que permitan reducir la contaminación microbiana especialmente en frutos como la uvilla en los que no se realiza un lavado previo al empacado.

Según se observa en la Figura 5, el tratamiento UV-C tuvo un impacto positivo en el control del crecimiento fúngico en las uvillas. En la primera semana de almacenamiento (7 días), no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos; sin embargo, a partir del día 14 los frutos control presentaron una carga microbiana considerablemente mayor en comparación con los frutos irradiados. Esto sugiere que el efecto germicida de la radiación UV-C comienza a hacerse evidente a tiempos intermedios de almacenamiento, coincidiendo con el periodo en que las esporas comienzan a germinar y proliferar. Desde hace más de 20 años, la radiación UV-C es una tecnología utilizada para el control del decaimiento en productos frutihortícolas [29], [28], [30]. Numerosos estudios han probado su efecto germicida de la radiación UV-C que se basa en la inhibición de la germinación de esporas y altera el ADN de hongos fitopatógenos como *Botrytis cinerea*, reduciendo su capacidad de crecimiento y diseminación [31].

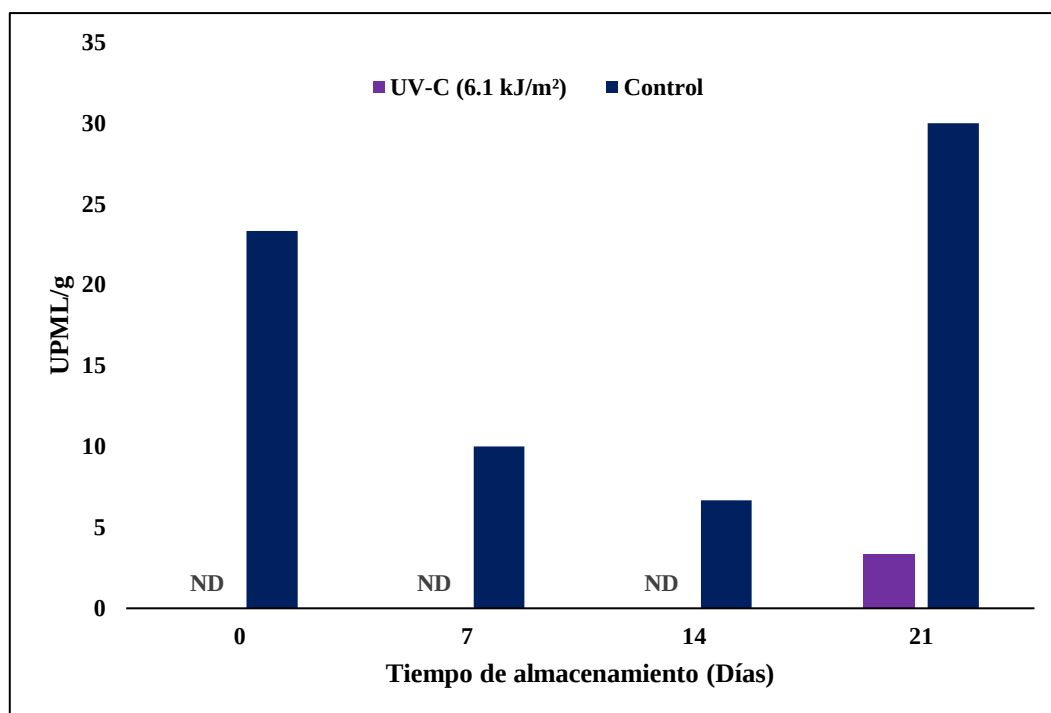


Figura 5. Recuento de mohos en frutos control y tratados con radiación UV-C (6.1 kJ/m^2) durante el almacenamiento refrigerado.

Al finalizar el periodo de almacenamiento (día 21), los recuentos microbianos en el control fueron significativamente mayores, con presencia visible de mohos y pérdida de calidad comercial. En cambio, los frutos tratados con UV-C presentaron una notable reducción en la incidencia fúngica, lo que evidencia la efectividad del tratamiento como método de conservación postcosecha. Este resultado coincide con lo reportado por estudios previos, los cuales mostraron una reducción significativa de *Penicillium* y *Botrytis* en uvas y fresas sometidas a radiación UV-C antes del almacenamiento [28].

3.3.2. Identificación de mohos aislados en uvilla

Los hongos filamentosos aislados estuvieron presentes tanto en los frutos control como en los frutos tratados (aunque en estos en menor concentración), en la Figura 6 se muestra la morfología de los mohos causante de pérdidas poscosecha en uvilla.

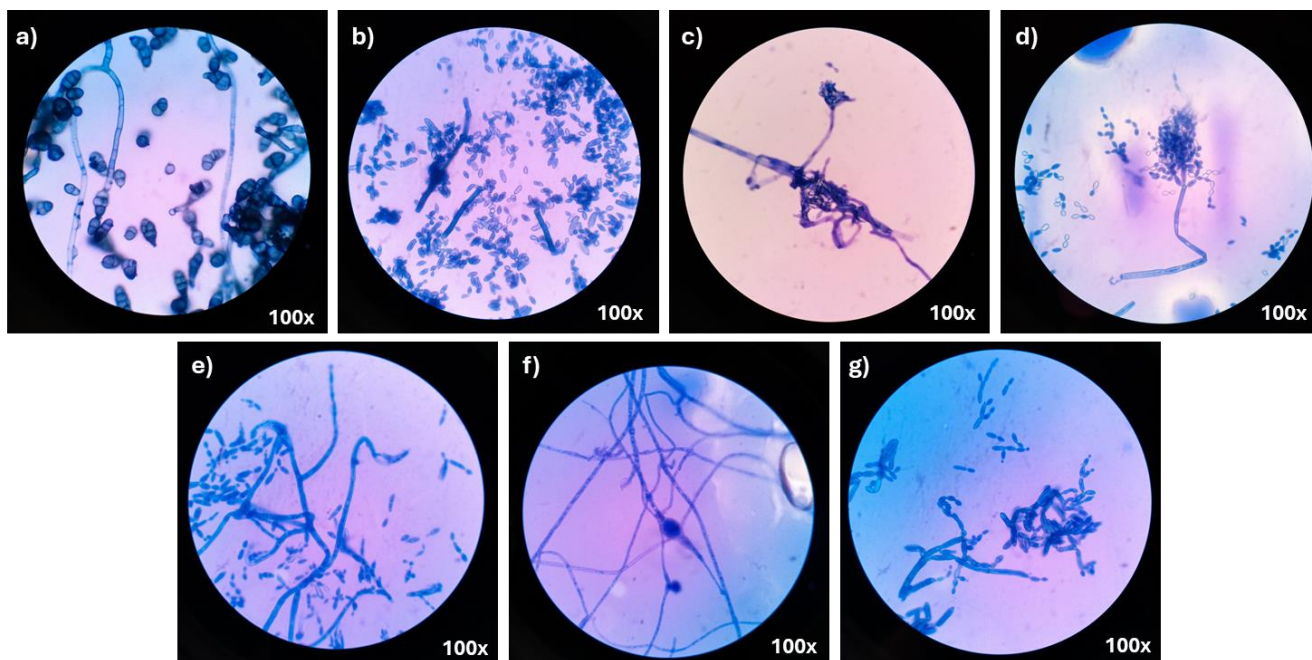


Figura 6. Hongos filamentosos presentes en los frutos de uvilla: a) *Alternaria alternata*, b) *Cladosporium*, c) *Botrytis cinerea*, d) *Penicillium*, e) *Cladosporium cucumerinum*, f) *Aspergillus flavus*, g) *Trichoderma*.

Los hongos filamentosos desarrollan diversos mecanismos para resistir la radiación UV-C. Uno de los más importantes es la presencia de pigmentos como melaninas o carotenoides en sus esporas que funcionan como escudos naturales al absorber parte de la radiación incidente. Esto disminuye la formación de dímeros de timina en el ADN, protegiendo su integridad genética [32]. Géneros como *Alternaria*, *Cladosporium*, *Aspergillus* y *Penicillium* poseen esporas pigmentadas y estructuras resistentes, lo que explica su supervivencia tras tratamientos con UV-C [33]. Además, estos hongos activan sistemas eficaces de reparación del ADN, como la fotoreactivación mediante fotoliasas y la reparación por escisión de nucleótidos. Por ejemplo, en *Botrytis cinerea* se ha demostrado que la exposición a luz blanca o azul posterior al tratamiento UV-C activa genes de reparación que restauran el ADN dañado [34]. Esto significa que, si no se controla la exposición a la luz tras el tratamiento, parte del daño ocasionado por la radiación puede ser revertido. Este comportamiento explica el hecho de que la radiación

UV-C sea un agente antimicrobiano muy efectivo frente virus y bacterias, en tanto que los mohos sean más resistentes [29].

Otro aspecto clave es la capacidad de muchos de estos hongos para desarrollarse en condiciones de refrigeración. Especies como *Botrytis*, *Penicillium*, *Cladosporium* y *Alternaria* son psicrótrofos o tolerantes al frío, y pueden crecer lentamente a temperaturas cercanas a los 0–4 °C, típicas del almacenamiento en refrigeración. Sus adaptaciones fisiológicas y enzimáticas les permiten metabolizar compuestos presentes en el tejido vegetal incluso a bajas temperaturas, lo que favorece su establecimiento en frutas mínimamente procesadas como las uvas [35]. Además, se debe tomar en cuenta los cambios de temperatura a los que puede estar sometida la fruta desde que sale de las instalaciones de la empresa y es transportada vía aérea hasta el país de destino. Estas fluctuaciones inducen condiciones que favorecerían el desarrollo fúngico. De ahí la importancia de reducir la carga microbiana inicial en la etapa de empaque para alargar la vida útil del fruto.

Aunque la radiación UV-C es una herramienta eficaz para reducir la carga microbiana superficial, en la práctica no consigue eliminar completamente los hongos. Esto se debe a múltiples factores: una superficie rugosa en las frutas genera zonas de sombra donde la radiación no penetra, las esporas pueden agruparse o quedar protegidas en grietas microscópicas y algunas especies presentan una tolerancia natural mayor [35]. Incluso con tratamientos prolongados, se ha reportado que especies como *A. alternata* sobreviven en proporciones importantes [33]. Además, si tras el tratamiento se expone la fruta a luz visible, los hongos pueden activar mecanismos de reparación que contrarrestan el daño recibido [34]. Aunque la radiación UV-C es una herramienta eficaz para reducir la carga microbiana superficial, en la práctica no consigue eliminar completamente los hongos. Esto se debe a múltiples factores: una superficie rugosa en las frutas genera zonas

de sombra donde la radiación no penetra, las esporas pueden agruparse o quedar protegidas en grietas microscópicas y algunas especies presentan una tolerancia natural mayor [35]. Incluso con tratamientos prolongados, se ha reportado que especies como *A. alternata* sobreviven en proporciones importantes [33]. Además, si tras el tratamiento se expone la fruta a luz visible, los hongos pueden activar mecanismos de reparación que contrarrestan el daño recibido [34].

En comparación con los frutos control, las uvillas irradiadas con UV-C (6.1 kJ/m^2) presentaron una menor incidencia fúngica y los mohos aislados mostraron un crecimiento más lento. Esto puede explicarse por la reducción inicial de la carga microbiana, sin embargo, los hongos sobrevivientes tienden a ser los más resistentes, como *Alternaria* o *Cladosporium*. Por el contrario, en las muestras sin irradiar también se detectan especies más sensibles como *Fusarium*, que no resisten la radiación. En este sentido, el tratamiento UV-C ejerce una presión selectiva que favorece la supervivencia de géneros más tolerantes [36].

Estos resultados concuerdan con estudios previos en frutas tropicales y andinas. En naranjilla (*Solanum quitoense*), la radiación UV-C promovió una respuesta fisiológica que retrasó el desarrollo de patógenos como *Rhizopus* [2]. De manera similar, en papaya y frutos cítricos, el tratamiento con luz UV-C redujo la incidencia de podredumbres, aunque especies como *Penicillium* o *Phytophthora* no fueron completamente eliminadas. En arándanos, tratamientos con dosis similares también disminuyeron el crecimiento de mohos durante el almacenamiento [37], lo que confirma el potencial del UV-C como tecnología de conservación. Sin embargo, su eficacia depende de factores como la dosis, la exposición, las características del fruto y la microbiota presente.

4. CONCLUSIONES

La aplicación de radiación UV-C como tratamiento poscosecha no térmico en uvillas (*Physalis peruviana* L.) mostró un efecto significativo en la conservación de la calidad fisicoquímica y microbiológica del fruto durante el almacenamiento a 4 °C por 21 días. Este tratamiento demostró ser eficaz en preservar características del fruto sin comprometer su integridad.

El tratamiento de uvillas con 6.1 KJ/m² aplicado con una distribución de lámparas según el Modelo B reduce la pérdida de peso, conserva una mayor firmeza, mayor contenido de sólidos solubles totales (°Brix) y reduce el oscurecimiento de los frutos en comparación con el control y otras dosis aplicadas y modelo de cámara estudiados. Estos resultados sugieren que esta dosis en particular logró equilibrar efectividad microbiológica con estabilidad fisicoquímica y la estructura celular del fruto de la uvilla durante la poscosecha.

La carga microbiana es reducida significativamente debido a la aplicación de 6.1 KJ/m² de radiación UV-C demostrando la efectividad del tratamiento, extendiendo la vida útil sin necesidad de conservantes químicos, siendo una alternativa de conservación que puede ser escalada a nivel industrial.

Por otro lado, sería interesante continuar los estudios sobre el efecto de la radiación UV-C sobre la estabilidad nutricional de la uvilla en relación con la cuantificación de compuestos bioactivos como vitamina C, carotenoides y polifenoles, así como la aceptación sensorial de los frutos tratados mediante pruebas con consumidores y paneles entrenados, especialmente en mercados internacionales, lo cual permitirá validar la viabilidad comercial de esta tecnología en el sector agroalimentario. Asimismo, se recomienda estudiar el uso combinado de la radiación UV-C con otras

tecnologías de conservación como atmósferas modificadas o recubrimientos comestibles, con el objetivo de generar sinergias que permitan prolongar aún más la vida útil del fruto manteniendo su frescura.

Finalmente, se sugiere implementar este tratamiento a escala piloto e industrial, evaluando variables operativas clave como el diseño del sistema de irradiación, la uniformidad de la dosis aplicada en superficies irregulares y el cumplimiento de normativas nacionales e internacionales para la comercialización de productos tratados con UV-C.

5. REFERENCIAS

- [1] Ramos Silva Evelyn Edith, “Análisis comparativo del sector exportador de uvilla entre Ecuador y Colombia,” Universidad Agraria del Ecuador, Milagro, Ecuador, 2021. doi: <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/RAMOS%20SILVA%20EVELYN.pdf>.
- [2] M. Andrade, C. Moreno, M. Zaro, A. Vicente, and A. Concellón, “Improvement of the antioxidant properties and postharvest life of three exotic Andean fruits by UV-C treatment,” *J Food Qual*, vol. 2017, p. 1, 2017, doi: 10.1155/2017/4278795.
- [3] Agencia de Regulación y Control Fito y Zoosanitario, “RESOLUCIÓN 0204 EL DIRECTOR EJECUTIVO DE LA AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL FITO Y ZOOSANITARIO,” Sep. 2024, doi: <https://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/2024/06/5-6-2024-resolucion-150-SCC-final.pdf>.
- [4] Díaz Granda José Luis, “Caracterización molecular y análisis filogenético de hongos microscópicos asociados a manchas foliares en hojas de uvilla (*Physalis peruviana* L.) en varias localidades del cantón Quito, Pichincha,” 2016. doi: <https://repositorio.puce.edu.ec/items/35e4dc39-406d-443a-a2d4-65264668c331>.
- [5] C. Moreno-Miranda, R. Moreno-Miranda, A. A. Pilamala-Rosales, J. I. Molina-Sánchez, and L. Cerda-Mejía, “sector hortofrutícola de Ecuador: Principales características socio-productivas de la red agroalimentaria de la uvilla (*Physalis peruviana*),” *Ciencia y Agricultura*, vol. 16, no. 1, pp. 31–51, Jan. 2019, doi: 10.19053/01228420.v16.n1.2019.8809.
- [6] A. Villacis, “Producción e investigación de mercados para la uvilla,” UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS, Quito, 2002. doi: <https://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/9645>.
- [7] R. I. Fernández-Xicotencatl, J. J. Loría-Mayén, I. Medina-Mata, and T. G. Makita-Balcorta, “Desperdicio de alimentos desde la perspectiva de los colaboradores del sector hotelero en Cancún, Quintana Roo,” *Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, Nov. 2023, doi: 10.24836/es.v33i62.1384.
- [8] M. Gonzáles, “Conservación de mora, uvilla y frutilla mediante la utilización del aceite esencial de canela (*Cinnamomum zeynalicum*),” 2010. doi: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/737>.
- [9] D. Millán Villarroel, Lucía Romero González, M. Brito, and Ana Yndira Ramos-Villarroel, “LUZ ULTRAVIOLETA: INACTIVACIÓN MICROBIANA EN FRUTAS ULTRAVIOLET LIGHT: MICROBIAL INACTIVATION ON FRUITS,” vol. 27, pp. 454–469, 2015.
- [10] Andrade María José, “USO DE LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA EN LA INDUSTRIA AGROALIMENTARIA,” *ECUADOR ES CALIDAD: Revista Científica Ecuatoriana*, vol. 6, pp. 12–14, 2019, Accessed: Mar. 15, 2025. [Online]. Available: <https://revistaecuadrescoalidad.agrocalidad.gob.ec/revistaecuadrescoalidad/index.php/revista/article/download/59/135/>
- [11] C. J. Pillco Cochan, D. Guzmán Loayza, and J. E. Cuéllar Bautista, “COMPOSICIÓN FÍSICO QUÍMICA Y ANÁLISIS PROXIMAL DEL FRUTO DE SOFAIQUE ‘*Geoffroea decorticans* (Hook. et Arn.)’ PROCEDENTE DE LA REGIÓN ICA-PERÚ,” *Revista de la Sociedad Química del Perú*, vol. 87, no. 1, pp. 14–25, Mar. 2021, doi: 10.37761/rsqp.v87i1.319.

- [12] Condalab, “Agar Rosa Bengala + Cloranfenicol + Dicloran (Agar DRBC) ISO,” Aug. 25, 2021. doi: https://www.condalab.com/index.php?controller=attachment&id_attachment=25301.
- [13] A. Wirth, F. Pacheco, N. Toma, V. Valiati, and L. Gomes, “Análisis sobre el crecimiento de hongos en diferentes revestimientos aplicados a sistemas ligeros,” *Revista Ingeniería de Construcción*, vol. 34, pp. 5–14, Dec. 2018, Accessed: Mar. 23, 2025. [Online]. Available: <https://www.scielo.cl/pdf/ric/v34n1/0718-5073-ric-34-01-00005.pdf>
- [14] M. Talip Al-mohana, “Atlas of Food Microbiology LAB,” Apr. 2016. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/315810393>
- [15] G. Jaramillo Sánchez, E. Contigiani, M. B. Coronel, S. Alzamora, A. García-Loredo, and A. Nieto, “Study of UV-C treatments on postharvest life of blueberries ‘O’Neal’ and correlation between structure and quality parameters,” *Heliyon*, vol. 7, no. 6, Jun. 2021, doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e07190.
- [16] U. Prajapati, R. Asrey, E. Varghese, A. K. Singh, and M. Pal Singh, “Effects of postharvest ultraviolet-C treatment on shelf-life and quality of bitter gourd fruit during storage,” *Food Packag Shelf Life*, vol. 28, Jun. 2021, doi: 10.1016/j.fpsl.2021.100665.
- [17] A. Garzón, S. Ruiz, E. Márquez, S. Dussán, J. Hleap, and H. Lobatón, “Universidad de Sonora Computational fluid dynamics as a technique for the UV-C light dose determination in horticultural products,” *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*, vol. 22, 2019, [Online]. Available: <http://biotecnia.unison.mx>
- [18] R. D. Tchoukouang, A. R. Lima, A. C. Quintino, N. L. Cristofoli, and M. C. Vieira, “UV-C Light: A Promising Preservation Technology for Vegetable-Based Nonsolid Food Products,” Sep. 01, 2023, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. doi: 10.3390/foods12173227.
- [19] A. Allende and F. Artés, “UV-C radiation as a novel technique for keeping quality of fresh processed ‘Lollo Rosso’ lettuce,” *Food Research International*, vol. 36, no. 7, pp. 739–746, 2003, doi: 10.1016/S0963-9969(03)00054-1.
- [20] L. C. Ng, J. S. Tan, and T. A. Fauziah, “EFFICACY OF ULTRAVIOLET-C IRRADIATION TO SUPPRESS FRUIT DECAY AND RETAIN THE POSTHARVEST QUALITY OF DRAGON FRUIT (*Hylocereus polyrhizus*),” *Malaysian Applied Biology*, vol. 51, no. 1, pp. 119–128, Mar. 2022, doi: 10.55230/MABJOURNAL.V51I1.2150.
- [21] Z. Razali, C. Somasundram, S. Z. Nurulain, W. Kunasekaran, and M. R. Alias, “Postharvest quality of cherry tomatoes coated with mucilage from dragon fruit and irradiated with uv-c,” *Polymers (Basel)*, vol. 13, no. 17, Sep. 2021, doi: 10.3390/polym13172919.
- [22] A. Amiri *et al.*, “Prevention of decay and maintenance of bioactive compounds in strawberry by application of UV-C and essential oils,” *Journal of Food Measurement and Characterization*, vol. 15, no. 6, pp. 5310–5317, Dec. 2021, doi: 10.1007/s11694-021-01095-2.
- [23] M. F. Ramadan, *Handbook of Goldenberry (Physalis peruviana): Cultivation, Processing, Chemistry, and Functionality*. Elsevier, 2024. doi: 10.1016/C2022-0-00016-7.

- [24] A. R. Vicente, C. Pineda, L. Lemoine, P. M. Civello, G. A. Martinez, and A. R. Chaves, "UV-C treatments reduce decay, retain quality and alleviate chilling injury in pepper," *Postharvest Biol Technol*, vol. 35, no. 1, pp. 69–78, Jan. 2005, doi: 10.1016/j.postharvbio.2004.06.001.
- [25] D. Gimeno, J. Gonzalez-Buesa, R. Oria, M. E. Venturini, and E. Arias, "Effect of Modified Atmosphere Packaging (MAP) and UV-C Irradiation on Postharvest Quality of Red Raspberries," 2021, doi: 10.3390/agriculture.
- [26] O. Lamikandra, D. Kueneman, D. Ukuku, and K. Bett-Garber, "Effect of Processing Under Ultraviolet Light on the Shelf Life of Fresh-Cut Cantaloupe Melon," 2005. [Online]. Available: www.ift.org
- [27] J. Acevedo Daza *et al.*, "Effect of UV-C on postharvest quality of citrus fruits from the northeastern region of Valle del Cauca, Colombia," *Biotechnia*, vol. 26, pp. 379–386, Jul. 2024, doi: 10.18633/biotechnia.v26.2303.
- [28] F. Nigro, A. Ippolito, V. Lattanzio, and M. Salerno, "Effect of ultraviolet-C light on postharvest decay of strawberry," 2000. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/236015355>
- [29] Rosalba. Troncoso-Rojas, M. E. . Tiznado-Hernández, and Alberto. González-León, *Recent advances in alternative postharvest technologies to control fungal diseases in fruits & vegetables*, 2007. Transworld Research Network, 2007.
- [30] L. C. Ortiz-Araque, M. Darré, P. M. Civello, and A. R. Vicente, "Short UV-C Treatments to Extend the Shelf-Life of Fresh-Cut Strawberries (*Fragaria x ananassa* Duch cv. Camarosa)," *Ingenieria e Investigacion*, vol. 42, no. 3, Feb. 2022, doi: 10.15446/ing.investig.88627.
- [31] M. A. Obande, G. A. Tucker, and G. Shama, "Effect of preharvest UV-C treatment of tomatoes (*Solanum lycopersicon* Mill.) on ripening and pathogen resistance," *Postharvest Biol Technol*, vol. 62, no. 2, pp. 188–192, Nov. 2011, doi: 10.1016/j.postharvbio.2011.06.001.
- [32] Y. Onoda *et al.*, "Accumulated melanin in molds provides wavelength-dependent UV tolerance," *Photochemical and Photobiological Sciences*, Sep. 2024, doi: 10.1007/s43630-024-00632-4.
- [33] A. Valero *et al.*, "Effect of germicidal UVC light on fungi isolated from grapes and raisins," *Lett Appl Microbiol*, vol. 45, no. 3, pp. 238–243, 2007, doi: 10.1111/j.1472-765X.2007.02175.x.
- [34] P. Zhu *et al.*, "Fungal gene mutation analysis elucidating photoselective enhancement of UV-C disinfection efficiency toward spoilage agents on fruit surface," *Front Microbiol*, vol. 9, no. JUN, Jun. 2018, doi: 10.3389/fmicb.2018.01141.
- [35] V. H. Tournas and E. Katsoudas, "Mould and yeast flora in fresh berries, grapes and citrus fruits," *Int J Food Microbiol*, vol. 105, no. 1, pp. 11–17, Nov. 2005, doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2005.05.002.
- [36] D. Millán Villarroel, L. Romero González, M. Brito, and A. Yndira Ramos-Villarroel, "LUZ ULTRAVIOLETA: INACTIVACIÓN MICROBIANA EN FRUTAS ULTRAVIOLET LIGHT: MICROBIAL INACTIVATION ON FRUITS," vol. 27, pp. 454–469, 2015.

- [37] A. Betul Bilgin and G. Gunes, "Effects of ultraviolet-C treatment on postharvest physiologies and decay of berries: A review." [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/384674259>

6. ANEXOS

6.1. Anexo A: Uvillas dentro de la cámara de UV-C.

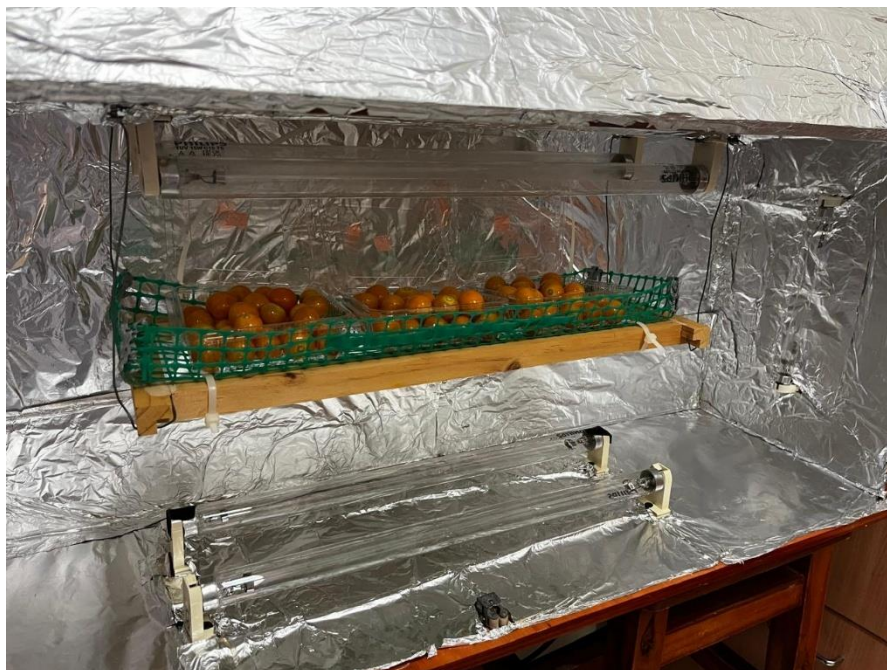


Figura 1 A. Envases de uvillas dentro del diseño de la cámara Modelo A.

6.2. Anexo B: Colocación de las uvillas dentro de la cámara UV-C.



Figura 1 B. Colocación de las uvillas dentro de la cámara del Modelo A.