



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ



FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS

Posgrado en Ciencias en Bioprocesos

**Evaluación de diferentes fuentes de emisión de UVC sobre
la inocuidad y propiedades fisicoquímicas de *Solanum
lycopersicum var. delisher* durante tratamientos
postcosecha**

Tesis que para obtener el grado de:
Maestría en Ciencias en Bioprocesos

PRESENTA:
García Monreal Estefania

Director de Tesis:
Dra. Franco Vega Avelina

SAN LUIS POTOSÍ, S. L. P.

FECHA: agosto 2025



UASLP-Sistema de Bibliotecas

Repositorio Institucional Tesis Digitales Restricciones de Uso

DERECHOS RESERVADOS

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en este Trabajo Terminal está protegido por la Ley Federal de Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos.

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde se obtuvo, mencionando el autor o autores.

Cualquier uso distinto o con fines de lucro, reproducción, edición o modificación será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



Evaluación de diferentes fuentes de emisión de UVC sobre la inocuidad y propiedades fisicoquímicas de *solanum lycopersicum var. delisher* durante tratamientos postcosecha © 2025 por García Monreal Estefania se distribuye bajo una licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International

Este proyecto se realizó en Laboratorio de Tecnologías Emergentes Alimentarias adscritos a la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, en el periodo comprendido entre septiembre del 2023 a junio del 2025, bajo la dirección de la Dra. Avelina Franco Vega y fue apoyado por el FIDEICOMISO 23871 Multas electorales del Consejo Potosino de Ciencia y Tecnología.

El programa de Maestría en Ciencias en Bioprocesos de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí pertenece al Sistema Nacional de Posgrados de Calidad (SNP) del CONAHCYT, registro 000588. Número de la beca otorgada por SECIHTI (CVU) 1316774.

Los datos del trabajo titulado Evaluación de diferentes fuentes de emisión de UVC sobre la inocuidad y propiedades fisicoquímicas de Solanum lycopersicum var. delisher durante tratamientos postcosecha se encuentra bajo resguardo de la Facultad de Ciencias Químicas y pertenece a la Universidad Autónoma de San Luis Potosí.



Solicitud de Registro de Tesis Maestría

San Luis Potosí SLP a 03/ 07 /2024

Comité Académico

En atención a: **Coordinador/a del Posgrado**

Por este conducto solicito a Usted se lleve a cabo el registro de tema de tesis de Maestría, el cual quedo definido de la siguiente manera: **“Evaluación de diferentes fuentes de emisión de UVC sobre la inocuidad y propiedades fisicoquímicas de *Solanum lycopersicum var. delisher* durante tratamientos postcosecha”**.

que desarrollará el/la estudiante: Estefania García Monreal

bajo la dirección de: Dra. Avelina Franco Vega

Asimismo, le comunico que el proyecto en el cual trabajará el alumno involucrará el manejo de animales de experimentación, estudios con seres humanos o muestras derivadas de los mismos, el manejo y/o generación de organismos genéticamente modificados y requiere de aval de Comité de Ética e investigación de la FCQ.

(Complete la opción que aplique en su caso):

() Sí debido a que: _____

() No

(x) No Aplica

Sin otro particular, quedo de Usted.

A T E N T A M E N T E

Estefania García Monreal

Nombre y firma del estudiante

Dra. Avelina Franco Vega

Nombre y firma de la Directora de Tesis



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS



Posgrado en Ciencias en Bioprocesos

**Evaluación de diferentes fuentes de emisión de UVC
sobre la inocuidad y propiedades fisicoquímicas de
Solanum lycopersicum var. *delisher* durante tratamientos
postcosecha**

Tesis que para obtener el grado de:

Maestría en Ciencias en Bioprocesos

PRESENTA:

García Monreal Estefania

SINODALES:

Presidente: Dr. Mario Moscosa Santillán

Secretario: Dra. Avelina Franco Vega

Vocal: Dra. Nelly Ramírez Corona

SAN LUIS POTOSÍ, S. L. P.

FECHA: agosto 2025

INTEGRANTES DEL COMITÉ TUTORIAL ACADÉMICO

Dra. Avelina Franco Vega: Director de tesis. Adscrito al Posgrado en Ciencias en Bioprocesos en la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Dr. Mario Moscosa Santillán: Asesor de tesis. Adscrito al Posgrado en Ciencias en Bioprocesos en la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Dra. Nelly Ramírez Corona. Asesor de tesis. Adscrita al Doctorado en Ciencias de Alimentos de la Universidad de Las Américas Puebla.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
Facultad de Ciencias Químicas
Centro de Investigación y Estudios de Posgrado
Posgrado en Ciencias en Bioprocesos
Programa de Maestría

Formato M5

Carta Cesión de Derechos

San Luis Potosí SLP
10/07/2025

En la ciudad de San Luis Potosí el día 10 del mes de junio del año 2025 El que suscribe Estefania García Monreal Alumno(a) del programa de posgrado Ciencias en Bioprocesos adscrito a la Facultad de Ciencias Químicas manifiesta que es autor(a) intelectual del presente trabajo terminal, realizado bajo la dirección de: Dra. Avelina Franco Vega, Dr. Mario Moscosa Santillán, Dra. Nelly Ramírez Corona y cede los derechos del trabajo titulado Evaluación de diferentes fuentes de emisión de UVC sobre la inocuidad y propiedades fisicoquímicas de Solanum lycopersicum var. delisher durante tratamientos postcosecha a la **Universidad Autónoma de San Luis Potosí**, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir de forma total o parcial texto, gráficas, imágenes o cualquier contenido del trabajo si el permiso expreso del o los autores. Éste, puede ser obtenido directamente con el autor o autores escribiendo a la siguiente dirección estefaniagarciamonreal1@gmail.com. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Estefania García Monreal
Nombre y firma del alumno

Carta de Análisis de Similitud

San Luis Potosí SLP a 09/07/2025

L.B. María Zita Acosta Nava
Biblioteca de Posgrado FCQ

Asunto: Reporte de porcentaje de similitud de tesis de grado

Por este medio me permito informarle el porcentaje de similitud obtenido mediante Ithenticate para la tesis titulada Evaluación de diferentes fuentes de emisión de UVC sobre la inocuidad y propiedades fisicoquímicas de Solanum lycopersicum var. delisher durante tratamientos postcosecha presentada por el autor Estefania García Monreal. La tesis es requisito para obtener el grado de Maestría en el Posgrado en Ciencias en Bioprocesos. El análisis reveló un porcentaje de similitud de 25% excluyendo referencias y metodología.

Agradezco sinceramente su valioso tiempo y dedicación para llevar a cabo una exhaustiva revisión de la tesis. Quedo a su disposición para cualquier consulta o inquietud que pueda surgir en el proceso.

Sin más por el momento, le envío un cordial saludo.

A T E N T A M E N T E

Dr. Jaime David Pérez Martínez
Coordinador Académico del Posgrado
en Bioprocesos

Agradecimientos académicos

A mi directora de tesis, la Dra. Avelina Franco Vega, que desde que cursé la licenciatura confió en mí y me dio la oportunidad de desarrollarme en su laboratorio y darme un primer acercamiento a la investigación. Además de transmitirme sus conocimientos que fueron fundamentales para mi desarrollo durante estos años trabajando con ella. Los logros que he obtenido son gracias a usted, a su paciencia y compromiso, pero sobre todo por impulsarme a avanzar, crecer y confiar en mí.

A la Dra. Nelly Ramírez Corona, por recibirme en sus laboratorios de la Universidad de las Américas Puebla, por hacerme sentir acogida y darme sus valiosas observaciones en cada presentación.

Al Dr. Mario Moscosa Santillán, por ayudarme a enriquecer este trabajo y compartirme sus conocimientos en cada avance.

Agradecimientos personales

A mis padres, Gerardo y Gladys esto no hubiera sido posible sin su apoyo incondicional en cada parte de este proyecto, ustedes me dieron alas para volar. Gracias por confiar en mí, este logro también es de ustedes.

A mis tíos, primas y abuelos que me brindaron su apoyo en todo momento, por creer en mí y por darme su cariño, aunque en el proceso mi abuela tuvo que dejarme, me recordó antes de irse que estaba orgullosa de mí.

A mis amigos de laboratorio y roomies, por ayudarme a empujar la ciencia día a día y darme ánimos siempre que lo necesité.

A mi novio Aldo Sebastian, que me ha apoyado incondicionalmente, gracias por impulsarme y darme tu cariño, en verdad eres un pilar para mí.

A mis hermanas:

LUNA Y XIMENA
GRACIAS POR EXISTIR

Resumen

El consumo de alimentos frescos ha aumentado a lo largo de los años, lo que ha impulsado la búsqueda de nuevas tecnologías postcosecha que reemplacen a los conservadores químicos. Las lámparas UVC son efectivas para la desinfección de frutas, pero es necesario explorar fuentes más sostenibles, como los LED. Este estudio comparó dos fuentes emisoras de UVC, LED (255 nm) y lámpara de mercurio (LAMP) (253.7 nm), para evaluar la inactivación de *Penicillium digitatum* y *Clavibacter michiganensis* en sistema modelo y en superficie de tomates cherry. Las cinéticas de inactivación, con poblaciones iniciales de 1×10^6 y 1×10^5 UFC/mL respectivamente, fueron ajustadas a modelos de Weibull para obtener los parámetros cinéticos de inactivación. Los tratamientos se aplicaron a una distancia de 10 cm utilizando dosis entre 0 y 2.98 J/cm^2 , y se midió el incremento de temperatura en los sistemas. Los resultados mostraron que *P. digitatum* fue más resistente que *C. michiganensis*. Los incrementos de temperatura no fueron lo suficientemente altos para provocar inactivación térmica en los sistemas. El tratamiento con LAMP Y LED logró una inactivación de los microorganismos en sistema modelos a dosis de 0 – 2.98 J/cm^2 . En tomate cherry se logró la reducción de 2.7 log para *P. digitatum* y de 1.5 log para *C. michiganensis*, ambos con una dosis de 1.04 J/cm^2 . La lámpara redujo 1.2 log de *C. michiganensis* a 1.76 J/cm^2 y 1 log a 2.98 J/cm^2 . El LED redujo las poblaciones microbianas usando dosis menores que la lámpara UVC. Además, se midieron parámetros fisicoquímicos durante el almacenamiento a 4 y 25°C de tomates tratados con dosis de LAMP (2.98 J/cm^2) y LED (1.04 J/cm^2), demostrando la conservación de las propiedades del tomate cherry.

Palabras clave:

UVC

Postcosecha

Cinéticas de inactivación

Tomate cherry

Summary

The consumption of fresh foods has increased over the years, driving the search for new postharvest technologies to replace chemical preservatives. UVC lamps are effective for fruit disinfection, but more sustainable sources, such as LEDs, need to be explored. This study compared two UVC emitting sources, LED (255 nm) and low-pressure mercury lamp (LAMP) (253.7 nm), to evaluate the inactivation of *Penicillium digitatum* and *Clavibacter michiganensis* in a model system and on the surface of cherry tomatoes. Inactivation kinetics, from initial populations of 1×10^6 and 1×10^5 CFU/mL respectively, were fitted to Weibull models to obtain the kinetic parameters. Treatments were applied at a 10 cm distance using doses between 0 and 2.98 J/cm^2 , and the temperature increase in the systems was measured. The results showed that *P. digitatum* was more resistant than *C. michiganensis*. The temperature increases were not high enough to cause thermal inactivation in the systems. LAMP and LED treatments achieved microbial inactivation in the model systems at doses ranging from 0 to 2.98 J/cm^2 . On cherry tomato surfaces, a reduction of 2.7 log for *P. digitatum* and 1.5 log for *C. michiganensis* was achieved with a dose of 1.04 J/cm^2 . The LAMP treatment reduced *C. michiganensis* by 1.2 log at 1.76 J/cm^2 and 1 log at 2.98 J/cm^2 . The LED source reduced microbial populations using lower doses than the UVC LAMP. Additionally, physicochemical parameters were measured during storage at 4 and 25°C of tomatoes treated with LAMP (2.98 J/cm^2) and LED (1.04 J/cm^2) doses, demonstrate the preservation of cherry tomato quality attributes.

Keywords:

UVC

Postharvest

Inactivation kinetics

Cherry tomato

Índice

1. Introducción	13
2. Antecedentes	14
3. Justificación	22
4. Hipótesis.....	22
5. Objetivo General	22
6. Objetivos específicos	23
7. Referencias Bibliográficas	24
8. Reporte de similitud.....	28

1. Introducción

El tomate cherry (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*), es un alimento altamente demandado tanto en mercados nacionales como internacionales, ya que es conocido por su uso en ensaladas y diversos platillos. México es uno de los principales exportadores a países como Canadá, Estados Unidos y Japón.

Para prolongar su vida útil y preservar sus propiedades fisicoquímicas y microbiológicas, es indispensable aplicar tratamientos postcosecha, los cuales tienen como objetivo mantener la calidad del fruto y reducir el riesgo de infecciones causadas por bacterias y hongos fitopatógenos. Sin embargo, debido a su alto contenido de agua, el tomate cherry es especialmente susceptible a la proliferación de microorganismos durante el almacenamiento. Entre los patógenos de mayor importancia se encuentran *Clavibacter michiganensis* y *Penicillium digitatum*.

Los métodos tradicionales para el manejo postcosecha presentan limitaciones: alto consumo energético, impacto ambiental, posibles alteraciones en la textura y sabor del producto, además de una creciente preocupación por la presencia de residuos químicos. Por lo que ha incrementado el interés en tecnologías emergentes que sean más sostenibles, seguras y efectivas.

Una de estas alternativas es el uso de luz ultravioleta del tipo C. Esta tecnología es prometedora para la desinfección superficial de frutas y hortalizas, ya que tiene la capacidad de inactivar microorganismos en superficies. Las lámparas de mercurio han sido la principal fuente emisora de UVC, sin embargo, debido a la toxicidad de sus componentes y los riesgos ambientales asociados a su disposición, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) ha promovido su eliminación progresiva hasta el año 2020, lo que ha impulsado la búsqueda de alternativas más seguras y eficientes, como los diodos emisores de luz (LED).

Por lo que, el presente estudio tuvo como objetivo comparar el efecto de dos fuentes emisoras de luz UVC, lámpara de mercurio (253.7 nm) y LED (255 nm) sobre la inactivación de *P. digitatum* y *C. michiganensis* tanto en superficies modelo como en la superficie de tomate cherry var. *delisher*. Además, se evaluó el incremento de temperatura asociado a cada tratamiento, y los cambios fisicoquímicos del fruto durante su vida de anaquel.

2. Antecedentes

2.1 Tomate cherry

El tomate representa gran impacto en la economía mexicana, debido a que constituye un 3.46% del PIB agrícola nacional. Para el año 2022 se estimaba que se produjeran 3.7 millones de toneladas métricas, cuyas exportaciones se dirigen principalmente a Estados Unidos con un superávit comercial de 2,306 millones de dólares en 2021 (SIAP., 2021).

En el mercado del tomate actualmente hay más de cientos de variedades y estas se clasifican por: forma, color y tamaño. Se cree que la primera variedad de tomate cultivada fue la variedad “Cherry” que es caracterizada por poseer un tamaño más pequeño que otras variedades como: Saladette, Bola, Racimo, Mimi y Campari.

El tomate Cherry tiene como característica principal, el color rojo intenso y un diámetro de 1-3 cm, debido a que se cree que es una variedad de la mezcla entre *Solanum pimpinellifolium* y tomates cultivados de jardín (Salcedo, 2022).

La variedad Cherry es cultivada en los estados de Sinaloa, Sonora, Baja California, Nayarit, Jalisco, Michoacán, Guerrero, Oaxaca, Morelos y en el estado de San Luis Potosí. En San Luis Potosí este fruto se cultiva en centros de producción ubicados en la Huasteca Potosina, específicamente en el municipio de Rioverde. La producción en este Estado ocupa el primer lugar como el principal exportador del país según indicó la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural al año 2022, y los principales países a los que se exporta son: Estados Unidos, Japón, Canadá, entre otros.

Debido a los altos estándares de calidad de los países a los que se exporta el tomate Cherry, es necesario contar con procesos que garanticen la calidad de estos frutos hasta que lleguen al consumidor y sean seguros al ingerirlos, procurando que las pérdidas sean mínimas, ya que a pesar de que la pérdida de alimentos se da en todas las etapas de su procesamiento, se estima que durante las actividades posteriores a la cosecha (post cosecha) se pierde hasta el 40% de la producción total (SADER, 2019).

2.2 Tratamientos postcosecha

Los tratamientos post cosecha son todos los procesos que se le realizan a un fruto después de la cosecha y abarcan actividades como: secado, limpieza, selección, clasificación, y almacenamiento. Su finalidad es preservar la calidad e inocuidad de los frutos protegiéndolos contra la infección por bacterias, o contaminación por hongos fitopatógenos, que son hongos que enferman a las plantas y finalmente al fruto. En el caso del tomate su alto contenido de agua disponible facilita la proliferación de microorganismos que dañan la calidad organoléptica del fruto y el desarrollo de reacciones de descomposición durante el almacenamiento, por lo que es considerado un producto con una vida de anaquel relativamente corta (Razali *et al.*, 2021).

Los tratamientos postcosecha tradicionales que se utilizan en la actualidad son los térmicos, como la refrigeración y el uso de vapor de agua, sin embargo, ambos procesos tienen inconvenientes energéticos o afectan la calidad nutricional y/o sensorial de los alimentos. Por otro lado, existen tratamientos químicos que normalmente son realizados con derivados del bromuro, el más popular es el bromuro de metilo, y soluciones de peróxido de hidrógeno y ácido peracético. Aunque estos tratamientos también son efectivos, cada vez son más los esfuerzos que se realizan en la eliminación de su uso dado que después de la desinfección, el bromuro de metilo pasa a capas superiores de la atmósfera, donde dañan a la capa de ozono, y adicionalmente pueden poner en riesgo la salud del consumidor (Mosqueda, 2018). Y en el caso de las soluciones de peróxido de hidrógeno y ácido peracético no logran una reducción significativa de bacterias y microorganismos coliformes presentes en el tomate en comparación con el ozono (Islam *et al.*, 2018). Además del uso de soluciones de cloro que, al reaccionar con el oxígeno de la atmósfera y la materia orgánica, es posible que se creen compuestos como: cloratos, cloritos o cloroaminas que son tóxicos para el consumidor (WHO., 2014) Uno de los mayores retos de la exportación de frutos es aplicar a estos alimentos tratamientos desinfectantes que permitan eliminar o reducir a los microorganismos, pero que a la vez no comprometan ni la calidad del producto, la salud del consumidor y/o al medio ambiente. Por lo que es importante encontrar nuevas técnicas

postcosecha que aseguren la calidad e inocuidad de los frutos del estado de San Luis Potosí.

2.3 Luz UVC como alternativa postcosecha

La luz ultravioleta forma parte del espectro electromagnético de la energía que proviene del sol, con longitudes de onda en el rango de 100-400 nanómetros (nm), y es clasificada como UVA, UVB y UVC dependiendo del rango de longitud de onda en el que se encuentre.

Dentro de los diferentes tipos de radiación ultravioleta, la radiación UVA (280-320 nm) constituye el 95 por ciento de la radiación solar que llega a la Tierra; esta ha sido probada en alimentos, demostrando un incremento en la capacidad antioxidante del tomate, es decir, ayuda a retardar el envejecimiento de esta fruta (Mariz-Ponte *et al.*, 2019). La radiación UVB (320-400 nm) constituye el cinco por ciento de la radiación solar que llega a la Tierra, esta ha sido probada en manzanas y se ha observado que aumenta un 64 por ciento el contenido de flavonoides de esta fruta, que son los encargados de la pigmentación (Assumpção *et al.*, 2018). Finalmente, la radiación UVC (200-280 nm), tiene la capacidad de inhibir microorganismos de interés alimentario, y esto fue reportado por primera vez en 1878 por Downs y Blunt, con un mayor efecto a 254 nm. El mecanismo de inactivación se da mediante la dimerización de la pirimidina en el DNA, lo que impediría la replicación y transcripción del DNA, y con ello la muerte celular (Kim *et al.*, 2018).

Adicionalmente, la UVC también se ha asociado a la generación de especies reactivas de oxígeno con capacidad de regular procesos fisiológicos para inducir producción de metabolitos secundarios.

A pesar de que el sol emite este tipo de radiación, la luz UVC es filtrada por la capa de ozono, lo que quiere decir que no llega a la tierra, así que actualmente su uso para la desinfección se realiza a partir de distintas fuentes.

Las fuentes de luz UVC que existen en el mercado son lámparas de gases nobles (xenón), mercurio, luz pulsada y diodos emisores de luz (LED, por sus siglas en inglés). Las lámparas de mercurio y xenón que producen luz UVC se usan para

desinfectar agua potable, aguas residuales, y superficies inertes en laboratorios, restaurantes, cervecerías, farmacéuticas, cosméticos, etc. (Cando *et al.*, 2020). De igual manera, la luz UVC ha sido utilizada en algunas superficies alimentarias para inhibir bacterias, levaduras y hongos filamentosos (Barut, 2021; Sonntag *et al.*, 2023)

La luz UVC aún muestra restricciones para su uso en desinfección de alimentos, como la distribución de la luz sobre la superficie y la evaluación del efecto sobre diferentes matrices alimentarias y biomoléculas de la superficie alimentaria.

Por la eficiencia germicida de la UVC, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente en 2013 en Minamata estimó que para 2020 se debería suspender el uso de lámparas de mercurio de baja presión por la repercusión de su uso al medio ambiente. Lo anterior generó la búsqueda de nuevas fuentes de emisión de UVC (Juárez-León *et al.*, 2020) con las que se pueda obtener el mismo efecto de desinfección sobre las superficies alimentarias, sin que la calidad del fruto se vea comprometida.

Una posible alternativa al uso de lámparas de mercurio es el uso de lámparas LED, que tienen la capacidad de emitir luz a 254 nm (Sonntag *et al.*, 2023). Las lámparas LED tienen un tiempo de vida útil, y ahorro de energía mayor comparado con las lámparas de UVC convencionales (Shen *et al.*, 2020). Sin embargo, esta tecnología no es usada de manera formal como tratamiento post cosecha en la industria alimentaria por lo cual es necesario comenzar a estudiar su efecto en la inactivación de los microorganismos en matrices alimentarias (Lualdi *et al.*, 2021) y evaluar si es posible lograr estos efectos con un menor gasto de energía. Los LED tienen la capacidad de emitir luz a diferentes longitudes de onda desde 200 a 400 nm (Hsu *et al.*, 2021) inclusive, se han realizado investigaciones contra bacterias para eliminar a *Escherichia coli* en agua, utilizando combinaciones de diferentes longitudes de onda (Song *et al.*, 2019). Kim *et al.*, 2013 encontró que, para superficies vegetales como la lechuga romana, se podía reducir hasta 1.7 ciclos logarítmicos de *E. coli* NCTC 9001, *S. aureus* NCTC6571, *S. Enteritidis* NCTC 6676 y *L. Innocua* NCTC 11288 utilizando UVC a 254 nm con dosis de hasta 72 kJ/m². Además, Artés-Hernández *et al.*, 2009 encontraron que en superficie de espinaca

bebé, era posible reducir hasta 5.2 ciclos logarítmicos de microorganismos mesofílicos aerobios utilizando UVC y dosis de hasta 11.35 kJ/m² utilizando dos lámparas germicidas de UVC a 254 nm.

2.4 Microorganismos que afectan la calidad del tomate

La bacteria *Clavibacter michiganensis* es la responsable de causar cáncer en el cultivo y fruto de tomate y se ha reportado que ha causado epidemias alrededor del mundo causando pérdidas de este fruto de un 80% hasta un 100%. *Clavibacter michiganensis* es una bacteria gram positiva, aerobia y en agar LB produce colonias redondas de color crema. La infección por *Clavibacter michiganensis* en tomate se puede observar en la Figura 1.



Figura 1. Daño por ataque de una bacteria del género *Clavibacter* en un tomate. Obtenido de: infoagro.com

Además de las bacterias, los hongos filamentosos son de los principales microorganismos asociados a la contaminación de frutos como el tomate durante el almacenamiento, cambiando su apariencia y aroma, y en algunos casos pueden causar alguna enfermedad por su consumo. Los principales hongos filamentosos que afectan la calidad del tomate son del género *Aspergillus*, *Penicillium* y *Botrytis* (El-Garhy *et al.*, 2020; Scott *et al.*, 2019).

La desinfección de frutos frescos con luz UVC ha sido probada contra *Botrytis cinerea* en superficies de tomate Cherry obteniendo una menor incidencia fúngica respecto al control, utilizando lámparas de mercurio (Islam *et al.*, 2015), e incluso en la actualidad se utiliza para la desinfección de superficies con presencia de hongos filamentosos y en el sistema de desinfección de aires acondicionados contra

Cladosporium halotolerans utilizando luz UVC LED, eliminando hasta un 99.99% de este hongo (Maritta *et al.*, 2022).

Se ha reportado que los hongos del género *Penicillium*, específicamente *Penicillium digitatum* causa severas pérdidas económicas debido a que deteriora la vida útil de los alimentos debido a que afecta hasta a un 30% de frutos almacenados en refrigeración sin tratamiento adecuado (Sbodio *et al.*, 2024). Las cepas del género *Penicillium* presentan colonias de colores desde blanco a verde - azul, lo que causa deterioro en el tomate, como se muestra en la Figura 2, lo cual disminuye considerablemente su vida de anaquel.



Figura 2. Daño por ataque de un hongo del género *Penicillium* en un tomate. Obtenido de: ephytia.inra.com

2.5 Respuesta de frutos a la UVC

Aunque la luz ultravioleta es peligrosa a altas dosis para los sistemas vivos, dentro de los tratamientos post cosecha se ha reportado que, a bajas dosis, tiene la capacidad de inducir resistencia en cultivos hortícolas (frutas y vegetales), disminuir la velocidad de maduración, e inducir en los frutos la producción del contenido de compuestos químicos con actividad benéfica para el consumidor conocidos como fitoquímicos. Este fenómeno donde una baja dosis de un agente físico o químico dañino estimula respuestas benéficas en un sistema biológico es conocido como hormesis (Shama & Alderson, 2005). Lo cual es importante debido a que, como mecanismo de defensa, es posible que el fruto desarrolle un aumento de

compuestos de interés como los antioxidantes presentes en la cáscara de tomate Cherry.

Los antioxidantes tienen una función protectora contra las especies reactivas de oxígeno y son responsables del color rojo del tomate. Promyou & Supapvanich al 2012 encontraron que al someter pimiento amarillo a tratamiento con UVC por 90 minutos, el contenido de capacidad antioxidante aumentó al día 6 de almacenamiento a 12 °C. Además, Wu *et al.*, al 2017 encontraron que al someter col roja a tratamiento con UVC a dosis de 1 kJ/m², 3 kJ/m² y 5 kJ/m² era posible aumentar de manera significativa el contenido total de antioxidantes, ya sea de manera inmediata después de tratamiento o en almacenamiento después de 12 días. Estos estudios sugieren que los tratamientos con UVC no solo son efectivos en diferentes tipos de vegetales, sino que también pueden influir en el contenido antioxidante durante el almacenamiento.

2.6 Modelado matemático de muerte microbiana

Además del aumento de antioxidantes, la muerte microbiana también es considerada una respuesta ante la luz UVC, por lo que con el uso de la microbiología predictiva es posible pronosticar el comportamiento de los microorganismos en productos frescos durante el almacenamiento. Dado que en los productos frescos ocurren una serie de reacciones microbiológicas, enzimáticas, químicas y físicas durante el tiempo de almacenamiento, la microbiología predictiva permite anticipar la respuesta de los microorganismos frente a diferentes factores ambientales que influyen en su crecimiento, supervivencia o inactivación. Por ejemplo, factores como la temperatura, el pH, la concentración de sal y la actividad de agua (a_w) son fundamentales en estos modelos predictivos (Meinert *et al.*, 2023). Al integrar estos conocimientos, es posible mejorar la calidad y seguridad de los alimentos, garantizando su valor nutricional y prolongando su vida útil mediante tratamientos adecuados.

Los modelos matemáticos pueden ser de primer orden, como el modelo de Gompertz y Baranyi y Roberts, o de orden superior como el modelo de Chick Watson modificado, el orden dependerá del comportamiento de los datos. Se ha demostrado

que los microorganismos no presentan curvas de muerte de manera lineal, por lo que es necesario utilizar modelos que se ajusten a la cinéticas cóncavas o convexas (Buzrul., 2022). El modelo bifásico ha sido utilizado para el modelado de muerte microbiana por Pihen *et al.*, (2023) para la muerte de *E. coli* utilizando UVC. El uso de modelos matemáticos adecuados para el modelado de las cinéticas de muerte microbiana permite realizar el cálculo de los parámetros de proceso como: constantes de inactivación, velocidad de inactivación, tasa de inactivación, dosis necesarias para reducir una n cantidad de ciclos logarítmicos de microorganismos específicos, los cuales proporcionan información de la muerte de ciertos microorganismos en determinadas condiciones, y con esto aumenta la posibilidad de escalar estos tratamientos a la industria alimentaria.

3. Justificación

Debido a las desventajas que presentan los tratamientos post cosecha tradicionales, el desperdicio de alimentos que se produce en todo el mundo, sumado a la tendencia de los consumidores a comprar alimentos mínimamente procesados, han surgido tecnologías emergentes de desinfección como una alternativa postcosecha. Los LED, han demostrado ser más sostenibles ambientalmente comparados con las lámparas de mercurio tradicionales, debido a su mayor vida útil y ausencia de material tóxico. El evaluar la capacidad de dos fuentes emisoras distintas de luz UVC para inactivar microorganismos en una superficie alimentaria inoculada con un hongo del género *Penicillium* y una bacteria del género *Clavibacter* en un cultivo agrícola (tomate Cherry var. *delisher*) de interés económico en el estado de San Luís Potosí, representa una alternativa post cosecha a los tratamientos convencionales, y a su vez la evaluación del efecto de los tratamientos sobre metabolitos secundarios como los compuestos antioxidantes presentes puede proporcionar información que permita generar valor agregado a estos frutos de exportación.

4. Hipótesis

La luz UVC LED (255 nm) tienen la capacidad de reducir la población de *Penicillium digitatum* y *Clavibacter michiganensis* en una superficie de tomate *cherry var. delisher* comparado con una lámpara de mercurio tradicional (254 nm).

5. Objetivo General

Evaluar el efecto de dos fuentes de emisión de luz UVC (lámpara de mercurio y LED) sobre la inactivación de *Penicillium digitatum* y *Clavibacter michiganensis* en superficie de tomate Cherry var. *delisher*, así como evaluar las propiedades fisicoquímicas del producto tratado durante vida de anaquel.

6. Objetivos específicos

- Evaluar las cinéticas de muerte de *Penicillium digitatum* y *Clavibacter michiganensis* en sistema modelo y sistema alimentario (tomate cherry) a 254 nm utilizando una lámpara de UVC.
- Evaluar las cinéticas de muerte de *Penicillium digitatum* y *Clavibacter michiganensis* en sistema modelo y sistema alimentario (tomate cherry) a 255 nm utilizando una fuente LED.
- Determinar el efecto de la fuente de emisión de UVC sobre los parámetros cinéticos de *Penicillium digitatum* y *Clavibacter michiganensis* en el sistema alimentario.
- Determinar los cambios fisicoquímicos en la vida de anaquel de tomate cherry sometido a los tratamientos seleccionados con lámpara y LED UVC.

7. Referencias Bibliográficas

- Artés-Hernández, F., Escalona, V. H., Robles, P. A., Martínez Hernández, G. B., & Artés, F. (2009). Effect of UV-C radiation on quality of minimally processed spinach leaves. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89(3), 414–421. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3460>
- Barut Gök, S. (2021). UV-C treatment of apple and grape juices by modified UV-C reactor based on Dean vortex technology: Microbial, physicochemical and sensorial parameters evaluation. *Food and Bioprocess Technology*, 14, 1055–1066. <https://doi.org/10.1007/s11947-021-02624-z>
- Buzrul, S. (2022). The Weibull model for microbial inactivation. *Food Engineering Reviews*, 14(1), 45–61. <https://doi.org/10.1007/s12393-021-09291-y>
- Cando, N. A. B. (2020). Luz ultravioleta para desinfección en áreas de salud, frente al COVID-19. Revisión de literatura. *Odontología Activa Revista Científica*, 5(3), 111–118. <https://doi.org/10.31984/oactiva.v5i3.501>
- El-Garhy, H. A., Abdel-Rahman, F. A., Shams, A. S., Osman, G. H., & Moustafa, M. (2020). Comparative analyses of four chemicals used to control black mold disease in tomato and its effects on defense signaling pathways, productivity and quality traits. *Plants*, 9(7), 808. <https://doi.org/10.3390/plants9070808>
- Hsu, T.-C., Teng, Y.-T., Yeh, Y.-W., Fan, X., Chu, K.-H., Lin, S.-H., Yeh, K.-K., Lee, P.-T., Lin, Y., & Chen, Z. (2021). Perspectives on UVC LED: Its progress and application. *Photonics*, 8, 196. <https://doi.org/10.3390/photonics8060196>
- Islam, M. Z., Mele, M. A., & Kang, H. M. (2014). Ultraviolet light (UV-C) irradiation reduced postharvest fungal incidence of cherry tomato. *Journal of Food Science and Technology*, 51(10), 2825–2831. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0822-3>
- Islam, M. Z., Mele, M. A., Kim, I. S., Hong, S. K., Baek, J. P., & Kang, H. M. (2015). Ultraviolet light (UVC) irradiation reduced postharvest fungal incidence of cherry tomato. *J Agri Life Environ Sci*, 27(2), 33–37. https://www.researchgate.net/publication/326675831_Ultraviolet_Light_UV-C_Irradiation_Reduced_Postharvest_Fungal_Incidence_of_Cherry_Tomato

- Kim, D. K., & Kang, D. H. (2018). UVC LED irradiation effectively inactivates aerosolized viruses, bacteria, and fungi in a chamber-type air disinfection system. *Applied and Environmental Microbiology*, 84(17), e00944-18. <https://doi.org/10.1128/AEM.00944-18>
- Mariita, R. M., Randive, R. V., Lottridge, M. M., Davis, J. H., & Bryson, B. W. (2022). UVC inactivation of black mold is wavelength-dependent, and its growth in HVAC systems is preventable using periodic dosing with commercially available UVC LEDs. *bioRxiv*, 2022-06. <https://doi.org/10.1101/2022.06.06.495021>
- Mariz-Ponte, N., Martins, S., Gonçalves, A., Correia, C., Ribeiro, C., Dias, M., & Santos, C. (2019). The potential use of the UV-A and UV-B to improve tomato quality and preference for consumers. *Scientia Horticulturae*, 256, 777–784. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.11.058>
- Mosqueda, C. G. (2018). Diseño y evaluación de tratamientos postcosecha asistidos con microondas para desinfestación del maíz. *Universidad de Guanajuato, México*.
- Nielsen, S. S. (Ed.). (2017). Food analysis. *Springer International*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-45776-5>
- Sbodio, A. O., Mesquida-Pesci, S. D., Yip, N., Alvarez-Rojo, I., Gutierrez-Baeza, E., Tay, S., ... & Blanco-Ulate, B. (2024). Non-wounding contact-based Inoculation of fruits with fungal pathogens in postharvest. *Plant Methods*, 20(1), 83. <https://doi.org/10.1186/s13007-024-01214-2>
- Scott, G., Almasrahi, A., Malekpoor Mansoorkhani, F., Rupar, M., Dickinson, M., & Shama, G. (2019). Hormetic UV-C seed treatments for the control of tomato diseases. *Plant Pathology*, 68(4), 700-707. <https://doi.org/10.1111/ppa.12987>
- Sonntag, F., Liu, H., & Neugart, S. (2023). Nutritional and physiological effects of postharvest UV radiation on vegetables: A review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 71(26), 9951-9972. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c00481?urlappend=%3Fref%3DPDF&jav=VoR&rel=cite-as>

- Pihen, C., Mani-López, E., Franco-Vega, A., Jiménez-Munguía, M. T., López-Malo, A., & Ramírez-Corona, N. (2023). Performance of UV-LED and UV-C treatments for the inactivation of *Escherichia coli* ATCC 25922 in food model solutions: Influence of optical and physical sample characteristics. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 85, 103314. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103314>
- Promyou, S., & Supapvanich, S. (2012). Effect of Ultraviolet-C (UV-C) illumination on postharvest quality and bioactive compounds in yellow bell pepper fruit (*Capsicum Annuum* L.) during storage. *African Journal of Agricultural Research*, 7(28), 4084–4096. DOI: 10.5897/AJAR12.242
- Razali, Z., Somasundram, C., Nurulain, S. Z., Kunasekaran, W., & Alias, M. R. (2021). Postharvest quality of cherry tomatoes coated with mucilage from dragon fruit and irradiated with UV-C. *Polymers*, 13(17), 2919. <https://doi.org/10.3390/polym13172919>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2019). ¿Qué es la poscosecha y por qué es importante? Gobierno de México. <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/que-es-la-poscosecha-y-por-que-es-importante>
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2017). Planeación Agrícola Nacional de Jitomate en México. <https://www.gob.mx/agricultura/acciones-y-programas/programas-de-la-secretaria-de-agricultura-y-desarrollo-rural-2025>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2024). Anuario de estadísticas por actividad económica: Agricultura. México: Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://www.gob.mx/agricultura/dgsiap>
- Shama, G., & Alderson, P. (2005). UV hormesis in fruits: a concept ripe for commercialisation. *Trends in Food Science & Technology*, 16(4), 128–136. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2004.10.001>
- Shen, L., Griffith, T. M., Nyangaresi, P. O., Qin, Y., Pang, X., Chen, G. & Zhang, B. (2020). Efficacy of UVC-LED in water disinfection on *Bacillus* species with

consideration of antibiotic resistance issue. *Journal of Hazardous Materials*, 386, 121968. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121968>

Song, K., Taghipour, F., & Mohseni, M. (2019). Microorganisms inactivation by wavelength combinations of ultraviolet light-emitting diodes (UV-LEDs). *Science of the Total Environment*, 665, 1103–1110. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.041>

World Health Organization. (2014). Water treatment and pathogen control: Process efficiency in achieving safe drinking water. *IWA Publishing*. <https://www.who.int/publications/i/item/9241562552>

Wu, J., Liu, W., Yuan, L., Guan, W. Q., Brennan, C. S., Zhang, Y. Y., Zhang, J., & Wang, Z. D. (2017). The influence of postharvest UV-C treatment on anthocyanin biosynthesis in fresh-cut red cabbage. *Scientific Reports*, 7, 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-04778-3>

8. Reporte de similitud

El presente estudio fue sometido a un análisis de similitud en la plataforma "iThenticate"([https://https://www.ithenticate.com/](https://www.ithenticate.com/)). El informe de originalidad reportó un 25% de similitud.

iThenticate Estefanía García Monreal
Evaluación de diferentes fuentes de emisión de UVC sobre la inocuidad y propiedades fisicoquímicas d

Similitud **25%** Secciones personalizadas Marcas de alerta Escritura con IA **0%**

1 UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
Posgrado en Ciencias en Bioprosos

Evaluación de diferentes fuentes de emisión de UVC sobre las propiedades fisicoquímicas de *Solanum el durante tratamientos*

Página 1 de 60 13913 palabras 135%

1 Internet
repositorioinstitucional.uaslp.mx **6%**
23 bloques de texto 754 palabras coincidentes

2 Internet
slp.gob.mx **2%**
12 bloques de texto 248 palabras coincidentes

3 Internet
www.mdpi.com **<1%**
8 bloques de texto 78 palabras coincidentes