

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano**  
**Departamento de Agroindustria Alimentaria**  
**Ingeniería en Agroindustria Alimentaria**



**Proyecto Especial de Graduación**  
**Evaluación fisicoquímica y microbiológica del uso de luz UV como método**  
**alternativo de desinfección en chile morrón (*Capsicum annum L.*)**

**Estudiantes**

**Ana Ruth Arita Deras**

**José Gerardo Montalván**

**Asesores**

**Jorge Alfredo Cardona, Ph.D.**

**Ligia Luna, MSc.**

**Honduras, octubre 2024**

**Autoridades**

**SERGIO ANDRÉS RODRÍGUEZ ROYO**

Rector

**ANA M. MAIER ACOSTA**

Vicepresidenta y Decana Académica

**ADELA M. ACOSTA MARCHETTI**

Directora del Departamento de Agroindustria Alimentaria

**JULIO NAVARRO**

Secretario General

## Contenido

Índice de Cuadros.....	5
Índice de Anexos.....	7
Resumen .....	8
Abstract.....	9
Introducción.....	10
Metodología.....	13
Ubicación .....	13
Diseño Experimental.....	13
Fase I .....	14
Fase II .....	15
Evaluación de Parámetros Físicoquímicos.....	16
Color.....	16
Firmeza.....	16
Potencial de Hidrógeno (Acidez).....	16
Grados Brix.....	16
Textura .....	17
Análisis Estadístico .....	18
Fase I .....	18
Fase II .....	18
Resultados y Discusión.....	19
Fase I .....	19
Fase II .....	21
Conclusiones .....	27
Recomendaciones.....	28
Referencias.....	29

Anexos.....32

## Índice de Cuadros

Cuadro 1 Descripción de tratamientos, tiempos de irradiación e intensidades.....	14
Cuadro 2 Resultados del conteo de Unidades Formadoras de Colonia (UFC) expresadas en logaritmo (log) a las 24 horas posteriores a los tratamientos aplicados en chile morrón inoculados con E. Coli no patogénico. ....	19
Cuadro 3 Determinación del factor más influyente en la reducción de la carga microbiológica mediante análisis factorial. ....	21
Cuadro 4 Medición de luminosidad (L) en chile morrón a los 0, 12 y 24 días posteriores a la aplicación de tratamientos de desinfección. ....	21
Cuadro 5 Medición del ángulo de matiz (h) en chile morrón a los 0, 12 y 24 días posteriores a la aplicación de tratamientos de desinfección. ....	22
Cuadro 6 Medición del porcentaje de °Brix (contenido de sólidos solubles) en chile morrón a los 0, 12 y 24 días posteriores a la aplicación de tratamientos de desinfección. ....	24
Cuadro 7 Medición en kg/fuerza de Firmeza en chile morrón a los 0, 12 y 24 días posteriores a la aplicación de tratamientos de desinfección. ....	25

## Índice de Figuras

Figura 1 Cambio de los valores de a y b en todos los tratamientos al día 24 posterior a la aplicación de los tratamientos de desinfección respecto al día 0. ....	23
---	----

## Índice de Anexos

Anexo A Resultados por día de la medición de potencial de hidrógeno (pH) para cada tratamiento a los 0, 12 y 24 días. ....	32
Anexo B Resultados de la medición de croma en chile morrón a los 0, 12 y 24 días posteriores a la aplicación de tratamientos de desinfección.....	33
Anexo C Resultados en Newtons (N) de la medición de Textura en chile morrón a los 0 y 24 días posteriores a la aplicación de tratamientos de desinfección.....	34
Anexo D Prueba preliminar día 0 – CL/LUV.....	35
Anexo E Prueba preliminar día 0 – H <sub>2</sub> O/LUV.....	36
Anexo F Comparación tratamiento convencional día 0, 12 y 24 .....	37
Anexo G Comparación tratamiento CL/LUV 60-55 día 0, 12 y 24 .....	38
Anexo H Comparación tratamiento CL/LUV 60-170 día 0, 12 y 24 .....	39
Anexo I Fórmula para calcular la radiación aplicada.....	40

## Resumen

El presente estudio evaluó la efectividad del uso de la luz ultravioleta junto con lavado como método alternativo de desinfección en chile morrón y su efecto en algunas de sus propiedades fisicoquímicas. El estudio se dividió en dos fases: en primer lugar, se midió la efectividad de los tratamientos para reducir la carga microbiana, específicamente de *E. coli* no patogénico y se comparó con el método convencional de desinfección utilizado en la Planta Poscosecha de Zamorano. Se contó con un diseño factorial (2x2x2) con tipos de lavado (agua/cloro), potencias de irradiación (55 y 170 watts) y tiempos de exposición a rayos UV (60 y 120 s). Estos ocho tratamientos fueron comparados con dos controles totalizando 30 unidades experimentales. En la segunda fase, se evaluaron los mejores tratamientos de la primera fase y su efecto en propiedades fisicoquímicas del chile (color, °Brix, firmeza y pH) durante un período de 24 días. Los resultados indicaron que los tratamientos con cloro y exposición a luz ultravioleta por 60 segundos fueron los únicos que mostraron una reducción en la carga microbiana en comparación con el método convencional. En la segunda fase, los tratamientos con irradiación no mostraron cambios en textura y grados brix y sólo el tratamiento con mayor potencia (170 Watts) redujo el ángulo de matiz afectando el color de los chiles a los 24 días. Se concluyó que el uso de luz ultravioleta es una alternativa viable para la desinfección de chile morrón y se debe continuar investigando este procesamiento alternativo.

*Palabras clave:* Carga microbiana, Conservación, *E. coli*, Irradiación, Vegetales

### Abstract

The present study evaluated the effectiveness of the use of ultraviolet light as an alternative disinfection method in bell pepper (*Capsicum annum* L.) and its effect on some physicochemical properties in this product. Different combinations of chlorine and ultraviolet light irradiation power were compared with the conventional disinfection method used in the Zamorano post-harvest plant. The study was divided into two phases: first, the effectiveness of the treatments to reduce the microbial load, specifically non-pathogenic *E. coli*, was measured. In the second phase, the effects of the treatments on the physicochemical properties of the bell pepper, such as color, Brix degrees, firmness and pH, were evaluated during a storage period of 24 days. The results indicated that the combination of chlorine and ultraviolet light, particularly Chlorine 60 seconds and 55 watts, was more effective in reducing the microbial load compared to other treatments, including the conventional method. However, the treatments did not significantly affect the physicochemical quality of the bell pepper, maintaining its properties. Finally, it was concluded that the use of ultraviolet light in combination with chlorine is a viable alternative for the disinfection of bell peppers, with the potential to reduce the use of chemicals without compromising the safety or quality of the product.

*Keywords:* Conservation, *E. coli*, Microbial load, Radiation

## Introducción

La agricultura es un rubro del que se depende en gran medida a nivel global. El valor agregado global generado por la agricultura, la silvicultura y la pesca creció en un 84% en términos reales entre 2000 y 2021, alcanzando los 3.7 billones de dólares estadounidenses (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2023). Esto representa un incremento de 1.7 billones de dólares en 20 años. La participación monetaria de las frutas y verduras en el valor total de los alimentos en 2021 fue de 19% y 17%, respectivamente, lo que refleja su importancia económica frente a otros productos agrícolas (The Organization for Economic Cooperation and Development y FAO, 2021). La agricultura puede ayudar a reducir la pobreza, aumentar los ingresos y mejorar la seguridad alimentaria del 80% de las personas en situación de pobreza, que viven en zonas rurales y se dedican principalmente a la agricultura (World Bank, 2024). La horticultura crea más puestos de trabajo y produce mayores ingresos, pero al mismo tiempo demanda más tecnología, infraestructura y manejo pre- y postcosecha, financiamiento y conocimientos (Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional, 2013). La horticultura enriquece las dietas al proporcionar nutrientes críticos a través del cultivo de frutas y verduras, lo que es esencial para mantener una dieta equilibrada. Las dietas bajas en estos alimentos contribuyen significativamente a trastornos nutricionales generalizados y debilitantes en el mundo (Gonzales et al., 2014).

En 2022 se estimó que la producción de pimientos frescos aumentó a un volumen de 38.3 millones de toneladas (Orús, 2024). En México, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (Hernández-Montiel et al., 2020), habla como él (*Capsicum annuum* L.) también llamado chile verde morrón, por su volumen de producción es considerado un cultivo de importancia económica en el rubro de la exportación agrícola. La agricultura centroamericana, especialmente en productos como el chile morrón, ha visto un aumento en las exportaciones agrícolas, que representan el 28% del comercio agrícola total en la región (Comisión Económica para América Latina y el Caribe et al., 2021). El riesgo microbiológico de estos productos comienza desde el campo, donde influyen múltiples factores, comenzando con el agua utilizada para el riego (López Camelo, 2003). La evaluación de las

condiciones es particularmente importante para que los pasos posteriores sean adecuados para eliminar la contaminación que ocurre durante la producción y en algunos casos pueden conducir a condiciones que permitan el crecimiento de patógenos microbianos (Code of hygienic practice for fresh fruits and vegetables CXC 53-2003, 2003).

La limpieza de los alimentos es fundamental para la salud humana, teniendo en cuenta que un gran porcentaje de la población se enferma por ya sea una mala sanitización o una limpieza nula. Se estima que alrededor del 70% de los casos son por causa de mala manipulación o sanitización (Fernández et al., 2021). De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (Organización Panamericana de la Salud y OMS, 2022), se estimó que el 10% de la población mundial padece cada año alguna enfermedad provocada por comer víveres contaminados. Entre 2004 y 2010 se produjeron en los EE. UU. 1,779 brotes transmitidos por alimentos, de los cuales el 9,2% (163) se atribuyeron a productos frescos (Carstens et al., 2019). En 2023, aproximadamente el 30% de los brotes de enfermedades transmitidas por alimentos en EE. UU. estuvieron vinculados a productos frescos, incluidos vegetales de hoja verde y frutas, según datos de la FDA (Food and Drug Administration [FDA], 2023). A medida que aumenta la demanda de productos frescos, así aumentarían también los casos. La presencia de contaminaciones alimenticias, ya sean intoxicaciones o infecciones bacterianas o parasitarias, o una combinación de las mismas (infecto-intoxicación), es muy frecuente (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2009).

En los últimos años se ha visto mucho la aplicación del ozono, rayos ultravioletas y otros tipos de esterilizaciones (González Salas et al., 2022). Se busca alternativas para los métodos tradicionales de limpieza por múltiples factores entre ellos el ahorro de costos, ahorro de tiempo y recursos, mayor eficiencia y facilidad. Aunque los métodos tradicionales son efectivos, se busca seguir eficientizando recursos y procesos para intentar reducir el impacto ambiental en la industria. De acuerdo con Trojan Technologies (2023), la radiación ultravioleta (UV) actúa

mediante el daño a los ácidos nucleicos de los microorganismos, reduciendo o eliminando el riesgo de contaminación.

Observando las graves consecuencias que se pueden presentar por la contaminación en los alimentos el estudio se basó en conocer la eficiencia de los procesos convencionales y el uso de la luz ultravioleta, en la reducción microbiana en chiles comerciales, así como también, la evaluación de cambios en algunas características fisicoquímicas del producto.

Con respecto a lo descrito anteriormente los objetivos de este experimento fueron:

Evaluar la efectividad del uso de luz ultravioleta y sanitización en la reducción de la carga microbiana en chile morrón, comparando este método con el proceso convencional de desinfección utilizados en la planta postcosecha.

Analizar el efecto de la luz ultravioleta en las propiedades fisicoquímicas del chile morrón.

Determinar el efecto de la luz ultravioleta sobre la vida útil del chile morrón, analizando cómo este tratamiento influye en la vida anaquel del producto.

## Metodología

### Ubicación

El estudio fue desarrollado en las instalaciones de la EAP Zamorano, km 30 carretera de Tegucigalpa a Danlí, Valle del Yeguaré, Municipio de San Antonio de Oriente., Francisco Morazán, Honduras. La Fase I que incluyó la inoculación de las cepas microbiológicas, irradiación y análisis iniciales se realizó en el Laboratorio de Microbiología (LMAZ). La irradiación y almacenamiento de chiles, tomó lugar en la Planta Hortofrutícola Poscosecha. La medición de parámetros fisicoquímicos se realizó en el Laboratorio de Análisis de Alimentos (LAAZ).

### Diseño Experimental

Se realizaron pruebas preliminares para evaluar los tratamientos que serían posteriormente seleccionados (Cuadro 1). El estudio se dividió en dos partes, siendo la primera la evaluación microbiológica de los tratamientos y la segunda el análisis de los parámetros fisicoquímicos. Para el estudio microbiológico se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con arreglo factorial 2x2x2, siendo estos: sanitización (agua o cloro), tiempo de exposición (60 y 120 segundos) y aplicación de dos niveles de potencia (55 y 170 Watts). Estos tratamientos fueron acompañados de dos controles (*E. coli* y convencional), para un total de 10 tratamientos y 30 unidades experimentales.

Se seleccionaron los tratamientos que demostraron la mayor efectividad en la reducción de la carga microbiana y se seleccionó el método de limpieza convencional de planta como control para evaluar la efectividad de los tratamientos seleccionados, para el análisis de esta fase se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA), cada uno con tres medidas repetidas en el tiempo al día 0, 12 y 24 para un total de 45 observaciones.

Cuadro 1

## Descripción de tratamientos, tiempos de irradiación e intensidades.

Tratamiento	Método de desinfección + LUV	Tiempo (s)	Intensidad UV (W)
T1		60	55
T2	Cloro	60	170
T3		120	55
T4		120	170
T5		60	55
T6	Agua	60	170
T7		120	55
T8		120	170
<i>E. coli</i>	N/A	N/A	N/A
Control 2	Manejo usual de planta		

Nota. N/A: No aplica; T: Tratamiento; Controles: (1) *E. coli* (control positivo), (2) Convencional: manejo usual de planta; Tratamientos serán expresados posteriormente de la siguiente forma: Cloro: Será mencionado como CL; Agua: Será mencionado como H<sub>2</sub>O; LUV: Expresará Luz Ultravioleta; Los tiempos serán expresados con 60 y 120; Intensidades serán expresados como 55 y 170.

**Fase I**

En la Fase I, se utilizaron chiles morrones (*Capsicum annuum L.*) en estado de Madurez 1, es decir, chiles de color verde oscuro obtenidos de la unidad de olericultura intensiva de Zamorano. Después de que las pruebas preliminares no mostraron daños significativos (Ver anexo D en adelante), se procedió a la evaluación microbiológica de los tratamientos. Se aplicaron dos tratamientos: *E. coli* y carga de campo. Los tratamientos incluyeron combinaciones de métodos de desinfección con cloro y luz ultravioleta (CL-LUV) y solo luz ultravioleta junto con agua (H<sub>2</sub>O-LUV), cubriendo todas las combinaciones posibles de métodos de desinfección, tiempos de exposición e intensidades de UV. Esto permitió evaluar la efectividad de cada tratamiento en la reducción de la carga microbiana.

La preparación de las muestras se realizó en tres días consecutivos. El primer día, se prepararon 1,200 mL de buffer fosfato y 330 mL de ACE para las placas, junto con 11 frascos de 90 mL de buffer fosfato cada uno y 22 placas con ACE. Se esperó a que las placas de ACE se solidificaran para luego invertirlas y dejarlas en la incubadora a 30 °C, evitando la humedad que podría alterar los resultados.

El segundo día, para el inóculo de *E. coli* ATCC 35218, se seleccionaron colonias aisladas tras un estriado en placa e incubación de 24 horas. Aproximadamente 12 colonias se homogeneizaron en 10 mL de buffer fosfato, se ajustó la densidad celular con la escala de McFarland y usó un espectrofotómetro para verificar que se alcanzó la concentración deseada de  $10^8$ .

Se prepararon trozos de chile con un peso de 10 gramos para los tratamientos especificados. Para su aplicación, se utilizaron dos platos Petri previamente esterilizados, colocando 5 mL del inóculo en cada uno. Cada trozo de chile se sumergió durante 30 segundos por cada lado en los platos con el inóculo, permitiendo que se secan antes de irradiarlos a las intensidades seleccionadas (55W y 170W) durante dos periodos de tiempo diferentes: 60 y 120 segundos. Se utilizaron dos controles: un control negativo, que consistió en chiles sometidos al proceso de limpieza convencional con cloro a 200 ppm sin inoculación, y un control positivo, que incluyó muestras inoculadas, pero no irradiadas (Cuadro 1).

Posteriormente, los chiles fueron procesados en el stomacher para extraer el inóculo de la superficie. Se realizaron diluciones seriadas de  $10^{-2}$  y  $10^{-3}$ , de las cuales se sembró 0.2 mL en placas utilizando la técnica de extendido. Las placas se incubaron durante 24 horas a 32 °C, y el tercer día se realizaron los conteos de unidades formadoras de colonias (UFC).

## **Fase II**

En la Fase II del estudio, se evaluaron diferentes parámetros del chile morrón posterior a la irradiación para determinar si los tratamientos influyeron en sus características fisicoquímicas. Se seleccionaron chiles variedad morrón de calibre XL, los cuales fueron desinfectados e irradiados según los tratamientos que demostraron la mayor efectividad de reducción de carga microbiana posterior a la Fase I (Cuadro 2). El procedimiento incluyó la selección aleatoria de chiles variedad morrón de calibre XL de la Planta Postcosecha, se descartaron aquellos con daños visibles y se pesaron dos libras por tratamiento, lo que representó aproximadamente seis unidades. Posteriormente, los chiles seleccionados se separaron por tratamientos: cuatro tratamientos fueron desinfectados sumergiéndolos en una solución de cloro a 200 ppm por dos minutos e irradiados posteriormente, a

excepción del tratamiento control (convencional) al que no se le aplicó ningún tipo de irradiación. El tratamiento restante fue lavado manualmente con agua durante dos minutos para eliminar impurezas y posteriormente irradiado. Seguido a la aplicación de los tratamientos, los chiles fueron empacados en mallas verdes de dos libras, etiquetados según el tratamiento correspondiente y almacenados a temperatura de aproximadamente 7-12 °C.

### **Evaluación de Parámetros Físicoquímicos**

Los diferentes parámetros físicoquímicos que se midieron se detallan a continuación:

#### ***Color***

Se midió posterior a la aplicación del tratamiento de irradiación o limpieza en cada una de las muestras, utilizando la aplicación móvil Color Assist Lite, obteniendo resultados de la medición en la escala RGB que fueron luego transformados a la escala LAB, para este proceso se tomaron tres fotografías a aproximadamente 30 centímetros de distancia de la parte superior, inferior y frontal de cada unidad de chile y haciendo un control estricto de las condiciones de iluminación adicional.

#### ***Firmeza***

Se utilizó un penetrómetro de fruta Infoagro FT 32, realizando presión en el chile entero con el instrumento hasta que el implemento penetre obteniendo un dato en kg/fuerza, se realizaron tres penetraciones en las diferentes secciones del chile por cada unidad.

#### ***Potencial de Hidrógeno (Acidez)***

Se midió para evaluar posibles cambios que el tratamiento pudiera generar en la calidad del producto, se cortó un trozo de chile que fue macerado con un pistilo, seguido de la maceración se colocó una tira reactiva Lab Supplies LRS - 4801 en cada trozo macerado y se comparó el resultado con la escala de pH en el empaque de las tiras.

#### ***Grados Brix***

Se midió con un refractómetro de mano digital ATAGO Serie PAL- $\alpha$ , para este proceso se cortó un trozo de chile que fue macerado con un pistilo para obtener jugo de chile, del cual se colocaron de

entre tres a cuatro gotas en el refractómetro para realizar la medición, obteniendo un resultado en %Brix.

### ***Textura***

Fue medida con el texturómetro de Brookfield CT3 del Laboratorio de Análisis de Alimentos de Zamorano (LAAZ) mediante corte con guillotina (sonda TA7) con una carga de activación de 0.067 N y una velocidad de test de 3.00 nm/seg, se utilizaron seis chiles por tratamiento, de los cuales se cortó un trozo de aproximadamente 20 pulgadas de largo, 15 pulgadas de ancho y tres pulgadas de profundidad de cada chile para el análisis, estos trozos fueron medidos con un pie de rey Thomas Traceable Digital.

## **Análisis Estadístico**

Se hizo uso del programa Statistical Analysis Software (SAS) para el análisis de datos, el procedimiento por fases se describe a continuación:

### **Fase I**

Se utilizó el procedimiento General Linear Model (GLM), a través del cual se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) que se utilizó para evaluar las diferencias significativas en la carga microbiana de los diferentes tratamientos y bloques con un arreglo factorial. Las fuentes de variación incluyeron el efecto del tratamiento, el tiempo y la interacción tiempo y watts. Además del ANDEVA, se aplicó una separación de medias DUNCAN para identificar diferencias significativas entre las medias de los tratamientos.

### **Fase II**

Se utilizó un Diseño Completamente al Azar con tres medidas repetidas en el tiempo para un total de 45 observaciones. El diseño se adecuó para medir las diferencias en los parámetros fisicoquímicos entre los tratamientos seleccionados, ya que no requería el control de otros factores más allá de los tratamientos aplicados. Al igual que en la fase I se aplicó un ANDEVA para determinar la significancia de las diferencias entre los tratamientos y se aplicó la separación de medias DUNCAN.

Los resultados obtenidos fueron analizados mediante una prueba de comparación pareada con una prueba-t para determinar si existían diferencias significativas entre las medias obtenidas de las distintas pruebas.

## Resultados y Discusión

### Fase I

Se realizó el conteo de placas para cada tratamiento a las 24 horas posteriores al tratamiento y siembra de las muestras, los resultados fueron como se indican en el Cuadro 2.

**Cuadro 2**

**Resultados del conteo de Unidades Formadoras de Colonia (UFC) expresadas en logaritmo (log) a las 24 horas posteriores a los tratamientos aplicados en chile morrón inoculados con *E. Coli* no patogénico.**

Tratamiento	Tiempo (s)	Potencia (W)	Media (log) ± D.E.
Cloro	60	55	3.99 ± 0.34 <sup>C</sup>
		170	4.18 ± 0.17 <sup>C</sup>
	120	55	4.52 ± 0.13 <sup>BC</sup>
		170	4.22 ± 0.26 <sup>BC</sup>
Agua	60	55	4.83 ± 0.65 <sup>BC</sup>
		170	4.71 ± 0.80 <sup>BC</sup>
	120	55	4.54 ± 0.61 <sup>BC</sup>
		170	4.33 ± 0.12 <sup>BC</sup>
<i>E. coli</i>		N/A	5.79 ± 1.19 <sup>A</sup>
Control		Manejo usual de planta	5.08 ± 0.16 <sup>B</sup>
	%CV		8.96%

*Nota.* 60 y 120: Tiempo de exposición en segundos; 55 y 170: Intensidades en Watts a la que se irradió el tratamiento; Control: Tratamiento desinfectado según protocolo de limpieza en la planta postcosecha; *E. coli*: *Escherichia Coli*; D. E.: Desviación Estándar; Medias con letras mayúsculas diferentes en cada columna indican diferencias significativas; (P < 0.05).

El tratamiento *E. coli*, que consistió en muestras de chile inoculadas con *Escherichia Coli* a una concentración de 10<sup>8</sup> UFC/g sin recibir ningún tipo de desinfección, presentó la carga microbiana más elevada. Este resultado sirvió como referencia para evaluar la efectividad de los demás tratamientos en la reducción de la contaminación por *E. coli*. Esto concuerda con estudios previos que señalan la alta resistencia que tiene ante la ausencia de un adecuado tratamiento de desinfección (Águila et al., 2006). Cabe resaltar que el secado en papel de la muestra posterior a la inoculación y la adición de 90 mL de buffer fosfato al momento del procesamiento de la muestra pudo haber afectado en la adherencia del inóculo en la muestra, por lo que no se observaron 8 logaritmos al momento del conteo.

El tratamiento control, que representa el proceso de desinfección usualmente aplicado en planta (cloro a 200 ppm), sin aplicación de luz ultravioleta mostró una elevada carga microbiana, por lo cual, al menos en concentraciones tan elevada de *E. Coli*, este tratamiento no podría ser considerado como una alternativa viable de desinfección. Lisboa et al. (2024) señalan que los métodos tradicionales no siempre son eficientes para reducir de manera efectiva la carga microbiana, especialmente frente a contaminantes en concentraciones elevadas como la inoculación en este caso con *E. coli*.

Los tratamientos Cloro 60-55 y Cloro 60-170 demostraron cambios significativos en cuanto a reducción de la carga microbiana en comparación con el control, lo cual coincide con estudios como el de (Bintsis et al., 2000), quienes afirman que la aplicación de UV-C en productos frescos permite una reducción significativa de patógenos. Aunque comparados entre sí no presentaron diferencias significativas. Aun así, Cloro 60-55 presentó el valor más bajo al momento del conteo, por lo que sería el tratamiento más efectivo en la reducción de la carga microbiana.

No se observaron diferencias significativas en los demás tratamientos, lo cual indica que la aplicación de cualquiera de esos tratamientos a excepción de Cloro 60-55 y Cloro 60-170 que presentaron diferencias significativas al tratamiento convencional tendría un efecto similar en la reducción de la carga microbiana.

En este Cuadro 3 se observan las interacciones realizadas mediante el análisis factorial, donde se observaron diferencias significativas en el método. En este caso, fue el cloro que mostró una mayor reducción.

Cuadro 3

**Determinación del factor más influyente en la reducción de la carga microbiológica mediante análisis factorial.**

Origen	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr>F
Método	1	0.85182058	0.85182058	4.93	0.0434
Tiempo	1	0.00256260	0.0025626	0.01	0.9048
Potencia	1	0.06760563	0.06760563	0.39	0.5417
Bloque	2	0.98740912	0.49370456	2.86	0.0911
Método*Tiempo	1	0.58191451	0.58191451	3.37	0.0878
Método*Potencia	1	0.01743324	0.01743324	0.1	0.7555
Tiempo*Potencia	1	0.12746167	0.12746167	0.74	0.4049
Método*Tiempo*Potencia	1	0.05791796	0.05791796	0.34	0.5718

**Fase II**

Esta fase se dedicó a evaluar el impacto de los tratamientos de desinfección en ciertos parámetros fisicoquímicos, tales como luminosidad (Cuadro 4), ángulo de matiz (Cuadro 5), se analizaron las observaciones en el color (Figura 1), grados brix (Cuadro 6) y firmeza (Cuadro 7), cuyos resultados se discuten en los Cuadros siguientes. Cabe resaltar que al no haber presentado diferencias significativas en ninguno de los días evaluados pH no está contemplado en los resultados (Ver Anexo A). Croma y textura tampoco se vieron contemplados debido a su elevado coeficiente de variación (Ver Anexos B y C respectivamente).

Cuadro 4

**Medición de luminosidad (L) en chile morrón a los 0, 12 y 24 días posteriores a la aplicación de tratamientos de desinfección.**

Método desinfectante	Tiempo (s)	Potencia (W)	L* ± D. E.		
			Tiempo (Días)		
			0	12	24
Cloro	60	55	44.56 ± 6.64 <sup>aX</sup>	41.74 ± 7.54 <sup>aXY</sup>	39.30 ± 5.43 <sup>aY</sup>
		170	33.92 ± 10.01 <sup>bX</sup>	33.04 ± 8.59 <sup>bX</sup>	42.81 ± 10.00 <sup>aY</sup>
		N/A	37.09 ± 8.87 <sup>bXY</sup>	32.31 ± 6.16 <sup>bXY</sup>	39.98 ± 6.82 <sup>aX</sup>
	%CV		21.88%	19.66%	19.07%

*Nota.* Días de evaluación: 0, 12, 24; (s): tiempo de exposición en segundos; W: Potencia en Watts a la que se irradió al tratamiento; Convencional: Desinfección con Cloro a 200ppm durante dos minutos; N/A: No aplica; %CV: Coeficiente de variación; D.E: desviación estándar; Distintas letras en minúscula (a, b) indican diferencia significativa entre los tratamientos por columna. Distintas letras mayúsculas (X, Y) indican diferencia significativa dentro los días de la misma línea (P < 0.05).

Se observó una disminución en la luminosidad del tratamiento Cloro 60-55 entre el día 0 y el día 24, al día 12 no se presentaron diferencias estadísticas en este atributo. Esto pudo deberse a la degradación de pigmentos provocados por los procesos naturales de maduración del chile, como la pérdida de clorofila y la aparición de carotenoides que alteran la apariencia del fruto. En contraste el tratamiento Cloro 60-170 mostró un aumento en la luminosidad a lo largo del tiempo y una diferencia significativa respecto a los días 0 y 12. El tratamiento Convencional se mantuvo estable durante la evaluación, sugiriendo que este método de desinfección no interfiere significativamente en el cambio de luminosidad del fruto.

Al día 24 no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos, lo cual sugiere que los tratamientos evaluados son efectivos en el mantenimiento de la luminosidad, aunque sería el tratamiento Cloro 60-170 tuvo el mayor aumento en cuanto a luminosidad, lo cual podría explicarse por una posible interacción del cloro y la luz ultravioleta con los pigmentos del chile, ocasionando un retraso en el cambio de color asociado a la maduración (Cabral, 2017).

#### Cuadro 5

#### Medición del ángulo de matiz (h) en chile morrón a los 0, 12 y 24 días posteriores a la aplicación de tratamientos de desinfección.

Método desinfectante	Tiempo (s)	Potencia (W)	h ± D. E.		
			Tiempo (Días)		
			0	12	24
Cloro	60	55	118.00 ± 5.47 <sup>aX</sup>	112.50 ± 23.84 <sup>bX</sup>	115.50 ± 20.95 <sup>aX</sup>
		170	116.94 ± 2.21 <sup>aX</sup>	122.06 ± 4.22 <sup>aX</sup>	91.00 ± 24.89 <sup>bY</sup>
	N/A	115.33 ± 3.79 <sup>aX</sup>	122.39 ± 2.77 <sup>aXY</sup>	126.61 ± 3.11 <sup>aY</sup>	
	%CV		3.43%	11.25%	17.3%

*Nota.* Días de evaluación: 0, 12, 24; (s): tiempo de exposición en segundos; W: Potencia en Watts a la que se irradió al tratamiento; Convencional: Desinfección con Cloro a 200ppm durante dos minutos; N/A: No aplica; %CV: Coeficiente de variación; D.E: desviación estándar; Distintas letras en minúscula (a, b) indican diferencia significativa entre los tratamientos por columna. Distintas letras mayúsculas (X, Y) indican diferencia significativa dentro los días de la misma línea (P < 0.05).

No se observaron diferencias significativas en el ángulo de matiz para el tratamiento Cloro 60-55 a lo largo de 24 días. Por otro lado, el tratamiento Cloro 60-170 presentó una disminución de su ángulo de matiz al día 24 obteniendo el valor más bajo, lo que refleja un cambio notable en el color

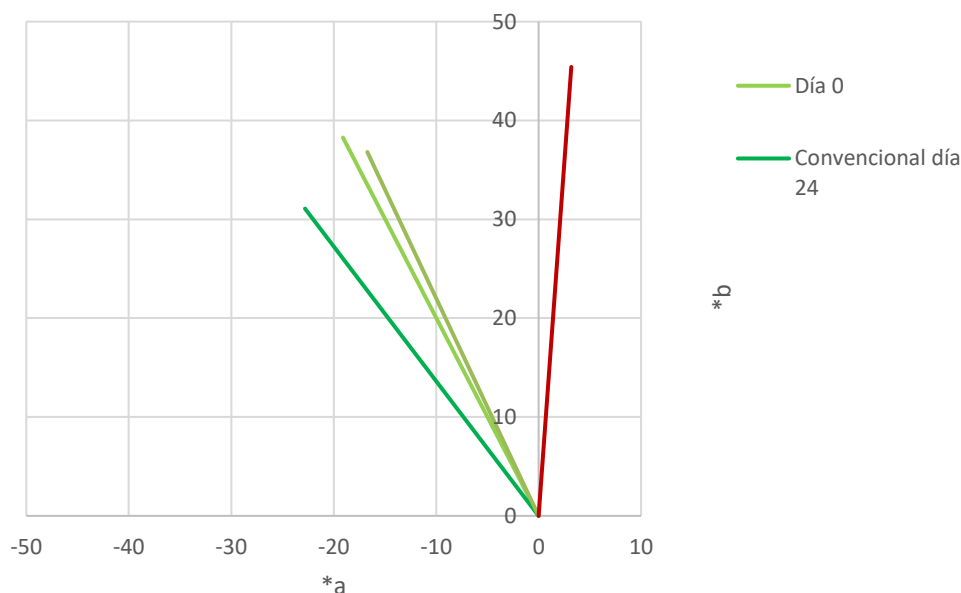
del chile, presentando tonos más amarillentos en su coloración. Valenta et al. (2020) mencionaron que, en términos generales, los tratamientos con potencias más elevadas pueden tender a provocar cambios más drásticos en el color de los productos frescos. El tratamiento Convencional mostró un aumento en su ángulo de matiz al día 24, reflejando una diferencia significativa con respecto al día 0, por ende, se oscureció.

No se observaron diferencias significativas entre los tratamientos al día 0, en el día 12 el tratamiento Cloro 60-55 mostró el menor valor de ángulo de matiz, siendo significativamente diferente a los demás tratamientos.

Para facilitar la comprensión de los cambios en este parámetro, la *Figura 1* refleja los cambios en los valores de a y b en los tratamientos al día 24 con respecto al día 0.

**Figura 1**

**Cambio de los valores de a y b en todos los tratamientos al día 24 posterior a la aplicación de los tratamientos de desinfección respecto al día 0.**



*Nota.* Convencional y Cloro: Métodos de desinfección utilizados; 60 y 170: Tiempos de exposición en segundos a irradiación; 55 y 170: Potencias de irradiación utilizadas; Día 0: Línea de referencia para la comparación; Líneas de diferente color representan a cada tratamiento evaluado; El eje X muestra los valores de a, mientras que el eje Y los de b; Valores ubicados en el eje -X (lado izquierdo) representan color verde; Valores ubicados en el eje +X (lado derecho) representan tonos amarillos.

La Figura 1 muestra los cambios en la distribución de los valores de a y b en el día 24 para los tratamientos evaluados respecto al día 0. Al día 0 la tendencia general de color fue de verde.

El tratamiento convencional mostró una mejora en su coloración, siendo la tonalidad verde un poco más intensa respecto al día 0. El tratamiento Cloro 60-55 experimentó un leve cambio de coloración tendiendo a ser de un verde menos oscuro que en el día 0.

Por otro lado, el tratamiento Cloro 60-170 fue el que mostró el cambio más drástico en su coloración, pasando a tener tonos más amarillos para el día 24, por lo que se confirma como este tratamiento fue el más agresivo con respecto al deterioro en las propiedades del color.

Según Peng et al. (2022) los tratamientos de luz ultravioleta en combinación con otros factores pueden inducir cambios en la producción de pigmentos y el metabolismo, lo que se relaciona con los cambios observados anteriormente. Específicamente, las variaciones hacia tonos amarillos pudieron estar vinculadas a los efectos de la irradiación a la estabilidad de los pigmentos.

### Cuadro 6

#### Medición del porcentaje de °Brix (contenido de sólidos solubles) en chile morrón a los 0, 12 y 24 días posteriores a la aplicación de tratamientos de desinfección.

Método desinfectante	Tiempo (s)	Potencia (W)	Brix ± D. E.		
			Tiempo (Días)		
			0	12	24
Cloro	60	55	4.39 ± 0.25 <sup>bx</sup>	4.56 ± 0.31 <sup>ax</sup>	3.91 ± 0.25 <sup>ay</sup>
		170	4.47 ± 0.28 <sup>bx</sup>	4.22 ± 0.28 <sup>bx</sup>	4.27 ± 0.28 <sup>ax</sup>
		N/A	4.85 ± 0.35 <sup>ax</sup>	4.17 ± 0.29 <sup>by</sup>	3.37 ± 0.31 <sup>bz</sup>
	%CV		12.32%	10.36%	15.17%

*Nota.* Días de evaluación: 0, 12, 24; (s): tiempo de exposición en segundos; W: Potencia en Watts a la que se irradió al tratamiento; Convencional: Desinfección con Cloro a 200ppm durante dos minutos; N/A: No aplica; %CV: Coeficiente de variación; D.E: desviación estándar; Distintas letras en minúscula (a, b) indican diferencia significativa entre los tratamientos por columna. Distintas letras mayúsculas (X, Y) indican diferencia significativa dentro los días de la misma línea (P < 0.05).

Los tratamientos Cloro 60-55 y Convencional presentaron los valores más reducidos de °brix al día 24, con diferencias significativas respecto al día 0, sugiriendo que no son muy efectivos en el mantenimiento de este parámetro en el tiempo debido a su tendencia a la disminución de su valor, por lo que estos tratamientos podrían estar acelerando la degradación de los carbohidratos simples presentes en el chile.

Cloro 60-170 se mantuvo estable durante la evaluación y no presentó diferencias significativas entre cada día evaluado, lo que refleja su capacidad para mantener el contenido de azúcares disueltos

a lo largo del almacenamiento. Esto podría deberse a una menor degradación de los azúcares debido a la elevada potencia de irradiación la cual inhibe el deterioro de los compuestos nutricionales. Dassamiour et al. (2022) observaron que la luz ultravioleta a dosis específicas puede retrasar la pérdida de azúcares en alimentos almacenados. Asimismo, Hu et al. (2019) comentaron también que la luz ultravioleta puede estimular la actividad enzimática, favoreciendo la producción de azúcares, lo cual respalda el mantenimiento de este parámetro en dicho tratamiento durante la evaluación.

### Cuadro 7

#### Medición en kg/fuerza de Firmeza en chile morrón a los 0, 12 y 24 días posteriores a la aplicación de tratamientos de desinfección.

Método desinfectante	Tiempo (s)	Potencia (W)	Firmeza $\pm$ D. E.		
			Tiempo (Días)		
			0	12	24
Cloro	60	55	4.93 $\pm$ 0.76 <sup>aX</sup>	6.13 $\pm$ 0.99 <sup>aXY</sup>	6.41 $\pm$ 0.85 <sup>aY</sup>
		170	5.61 $\pm$ 0.99 <sup>aX</sup>	6.44 $\pm$ 1.13 <sup>aX</sup>	5.73 $\pm$ 1.00 <sup>aX</sup>
		N/A	5.03 $\pm$ 0.87 <sup>aX</sup>	5.11 $\pm$ 0.94 <sup>aX</sup>	6.11 $\pm$ 0.87 <sup>aX</sup>
	%CV		33.23%	33.86%	44.12%

*Nota.* Días de evaluación: 0, 12, 24; (s): tiempo de exposición en segundos; W: Potencia en Watts a la que se irradió al tratamiento; Convencional: Desinfección con Cloro a 200ppm durante dos minutos; N/A: No aplica; %CV: Coeficiente de variación; D.E: desviación estándar; Distintas letras en minúscula (a, b) indican diferencia significativa entre los tratamientos por columna. Distintas letras mayúsculas (X, Y) indican diferencia significativa dentro los días de la misma línea (P < 0.05).

El tratamiento Cloro 60-55 en el día 24 mostró un aumento en la firmeza a lo largo de la evaluación con diferencias significativas respecto al día 12, lo que puede estar relacionado a una respuesta fisiológica de los tejidos vegetales del chile al tratamiento. Darré et al. (2022) observaron que la exposición al cloro y la combinación con otros tratamientos podría inducir una serie de mecanismo de defensa que resultan en la generación de lignina o la alteración de la estructura celular, lo que contribuye a una mayor resistencia del tejido y por ende firmeza. Los tratamientos Cloro 60-170 y convencional no mostraron diferencias significativas a lo largo de la evaluación, por lo que estos tratamientos no inducen un efecto significativo sobre la estructura de los tejidos.

No se observaron diferencias significativas entre los tratamientos en cada uno de los días evaluados. Chen et al. (2015) observó en otros productos vegetales un comportamiento donde las variaciones de la firmeza están más relacionadas con cambios en la composición de la pared celular

que con la pérdida de agua, lo cual puede explicar por qué algunos tratamientos no presentaron diferencias significativas a lo largo del tiempo.

### **Conclusiones**

La combinación de Cloro y luz ultravioleta a un menor tiempo de exposición fue más efectiva que los demás tratamientos y que el método convencional para reducir la carga microbiana del chile morrón.

Los tratamientos con Cloro y luz ultravioleta no afectaron significativamente parámetros como grados brix y firmeza del chile durante el almacenamiento.

Las mínimas variaciones en los parámetros fisicoquímicos observadas a lo largo del tiempo de evaluación demostraron que este método puede ser utilizado sin comprometer la calidad sensorial del chile.

### **Recomendaciones**

Replicar la Fase I utilizando el producto entero, evaluando la efectividad de los tratamientos propuestos en la reducción de carga microbiana en una matriz alimenticia más compleja.

Integrar análisis sensoriales a manera de comprender de mejor forma cómo los tratamientos propuestos afectan las propiedades del producto.

Realizar evaluaciones con otras combinaciones de tiempo y potencia, así como otros desinfectantes.

## Referencias

- Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional. (2013). *Promoviendo el desarrollo de la horticultura evaluación de las limitantes al desarrollo del sector hortícola en Centro America*. [https://horticulture.ucdavis.edu/sites/g/files/dgvnsk1816/files/extension\\_material\\_files/horticultura\\_centro\\_america.pdf](https://horticulture.ucdavis.edu/sites/g/files/dgvnsk1816/files/extension_material_files/horticultura_centro_america.pdf)
- Águila, A., Valdés-Dapena, M., Ramírez, M., Fernández, C. y Bravo, L. (2006). Estudio de correlación entre cepas de *Escherichia coli* y su capacidad de elaborar enterotoxinas. *Revista Cubana De Medicina Tropical*(58(1)), 10–15. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0375-07602006000100010&lng=en&nrm=iso&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0375-07602006000100010&lng=en&nrm=iso&tlng=es)
- Bintsis, T., Litopoulou-Tzanetaki, E. y Robinson, R. K. (2000). Existing and potential applications of ultraviolet light in the food industry - a critical review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(6), 637–645. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(20000501\)80:6<637::AID-JSFA603>3.0.CO;2-1](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(20000501)80:6<637::AID-JSFA603>3.0.CO;2-1)
- Cabral, A. (2017). *Efecto de la radiación ultravioleta sobre la calidad de las hortalizas deshidratadas* [Tesis]. Universidad Nacional de Cuyo. [https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos\\_digitales/8693/tesis-brom.-cabral-andrea-2017.pdf](https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/8693/tesis-brom.-cabral-andrea-2017.pdf)
- Carstens, C. K., Salazar, J. K. y Darkoh, C. (2019). Multistate Outbreaks of Foodborne Illness in the United States Associated With Fresh Produce From 2010 to 2017. *Frontiers in Microbiology*, 10, 2667. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02667>
- Chen, H., Cao, S., Fang, X., Mu, H., Yang, H., Wang, X., Xu, Q. y Gao, H. (2015). Changes in fruit firmness, cell wall composition and cell wall degrading enzymes in postharvest blueberries during storage. *Scientia Horticulturae*, 188, 44–48. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.03.018>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe, FAO y Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (2021). *The Outlook for Agriculture and Rural Development in the Americas: A Perspective on Latin America and the Caribbean 2021-2022*. ECLAC. <https://repositorio.cepal.org/entities/publication/721596b9-7491-41f3-9c5a-092e67078ae5>
- Darré, M., Vicente, A. R., Cisneros-Zevallos, L. y Artés-Hernández, F. (2022). Postharvest Ultraviolet Radiation in Fruit and Vegetables: Applications and Factors Modulating Its Efficacy on Bioactive Compounds and Microbial Growth. *Foods*, 11(5), 653. <https://doi.org/10.3390/foods11050653>
- Dassamiour, S., Boujouraf, O., Sraoui, L., Bensaad, M. S., Derardja, A. e., Alsufyani, S. J., Sami, R., Algarni, E., Aljumayi, H. y Aljahani, A. H. (2022). Effect of Postharvest UV-C Radiation on Nutritional Quality, Oxidation and Enzymatic Browning of Stored Mature Date. *Applied Sciences*, 12(10), 4947. <https://doi.org/10.3390/app12104947>
- Code of hygienic practice for fresh fruits and vegetables CXC 53-2003, Codex Alimentarius International Food Standards (2003).
- Fernandez, S., Marcía, J., Bu, J., Baca, Y., Chavez, V., Montoya, H., Varela, I., Ruiz, J., Lagos, S. y Ore, F. (2021). Enfermedades transmitidas por Alimentos (Etas); Una Alerta para el Consumidor. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(2), Artículo 433, 2284–2298. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v5i2.433](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i2.433)

- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2009). *Enfermedades transmitidas por alimentos y su impacto socioeconómico: Estudios de caso en Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras y Nicaragua*. <https://www.fao.org/4/i0480s/i0480s.pdf>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2023). *Statistical yearbook world food and agricultura 2023*. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/28cfd24e-81a9-4ebc-b2b5-4095fe5b1dab/content/cc8166en.html#chapter-1>
- Food and Drug Administration (2023). Investigations of Foodborne Illness Outbreaks. FDA. <https://www.fda.gov/food/outbreaks-foodborne-illness/investigations-foodborne-illness-outbreaks>
- Gonzales, J., Pereira, N., Soto, Z., Hernández, E. y Virrreal, J. (2014). Aislamiento microbiológico de Salmonella spp. y herramientas moleculares para su detección. *Revista Salud Uninorte*, 30(1), 73–94. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0120-55522014000100009](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0120-55522014000100009)
- González Salas, R., Vidal Río, M. y Monsalve Guamán, A. A. (2022). El ozono y su empleo en la industria para el procesamiento y conservación de alimentos. *Universidad y Sociedad*, 14(S3), 127–135. <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/2942>
- Hernández-Montiel, L. G., Murillo-Amador, B., Chiquito-Contreras, C. J., Zuñiga-Castañeda, C. E., Ruiz-Ramírez, J. y Chiquito-Contreras, R. G. (2020). *Respuesta morfo-productiva de plantas de pimiento morrón biofertilizadas con Pseudomonas putida y dosis reducida de fertilizantes sintéticos en invernadero*. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-57792020000400583](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792020000400583)
- Hu, L., Yang, C., Zhang, L., Feng, J. y Xi, W. (2019). Effect of Light-Emitting Diodes and Ultraviolet Irradiation on the Soluble Sugar, Organic Acid, and Carotenoid Content of Postharvest Sweet Oranges (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck). *Molecules*, 24(19), 3440. <https://doi.org/10.3390/molecules24193440>
- Lisboa, H. M., Pasquali, M. B., dos Anjos, A. I., Sarinho, A. M., Melo, E. D. de, Andrade, R., Batista, L., Lima, J., Diniz, Y. y Barros, A. (2024). Innovative and Sustainable Food Preservation Techniques: Enhancing Food Quality, Safety, and Environmental Sustainability. *Sustainability*, 16(18), 8223. <https://doi.org/10.3390/su16188223>
- López Camelo, A. F. (2003). *Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas: Del campo al mercado*. Boletín de servicios agrícolas de la FAO: Vol. 151. FAO.
- Organización Panamericana de la Salud y OMS. (2022). *PANAFTOSA advierte que las enfermedades transmitidas por alimentos pueden ser evitadas con acciones preventivas desde el campo a la mesa*. <https://www.paho.org/es/noticias/7-6-2022-panaftosa-advierete-que-enfermedades-transmitidas-por-alimentos-pueden-ser>
- The Organization for Economic Cooperation and Development y FAO. (2021). *1. Agricultural and food markets: Trends and prospects | OECD-FAO Agricultural Outlook 2021-2030 | OECD iLibrary*. [https://www.oecd-ilibrary.org/sites/19428846-en/1/3/1/index.html?itemId=/content/publication/19428846-en&\\_csp\\_=78a77099f3b0c6eae1de8bfe93d3b09e&itemIGO=oecd&itemContentType=book](https://www.oecd-ilibrary.org/sites/19428846-en/1/3/1/index.html?itemId=/content/publication/19428846-en&_csp_=78a77099f3b0c6eae1de8bfe93d3b09e&itemIGO=oecd&itemContentType=book)
- Orús, A. (2024, 29 de octubre). *Pimientos: producciones en el mundo en 2012-2022 | Statista*. <https://es.statista.com/estadisticas/529468/producciones-de-pimientos-frescos-en-el-mundo/>

- Peng, H., Pang, Y., Liao, Q., Wang, F. y Qian, C. (2022). The Effect of Preharvest UV Light Irradiation on Berries Quality: A Review. *Horticulturae*, 8(12), 1171. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8121171>
- Trojan Technologies. (2023). *Introducción a la desinfección por UV - TrojanUV - ES*. <https://www.trojanuv.com/es/uv-basics/>
- Valenta, K., Dimac-Stohl, K., Baines, F., Smith, T., Piotrowski, G., Hill, N., Kuppler, J. y Nevo, O. (2020). Ultraviolet radiation changes plant color. *BMC Plant Biology*, 20(1), 1–5. <https://doi.org/10.1186/s12870-020-02471-8>
- World Bank. (2024, 28 de octubre). *Agricultura y alimentos*. <https://www.bancomundial.org/es/topic/agriculture/overview>

## Anexos

### Anexo A

**Resultados por día de la medición de potencial de hidrógeno (pH) para cada tratamiento a los 0, 12 y 24 días.**

Tratamiento	pH ± D. E.		
	Tiempo (Días)		
	0	12	24
Convencional	5.00 ± 0	5.00 ± 0	5.00 ± 0
CL-LUV 60-55	5.00 ± 0	5.00 ± 0	5.00 ± 0
CL-LUV 60-170	5.00 ± 0	5.00 ± 0	5.00 ± 0
%CV	0%	0%	0%

*Nota.* pH: Potencial de Hidrógeno; Cl: Cloro, H<sub>2</sub>O: Agua; LUV: Luz Ultravioleta; Días de evaluación: 0, 12, 24; D. E.: Desviación estándar; %CV: Coeficiente de variación.

## Anexo B

*Resultados de la medición de croma en chile morrón a los 0, 12 y 24 días posteriores a la aplicación de tratamientos de desinfección.*

Método desinfectante	Tiempo (s)	Potencia (W)	Croma ± D. E. Tiempo (Días)		
			0	12	24
Cloro	60	55	49.06 ± 9.91aX	42.57 ± 9.91aY	43.69 ± 9.91abXY
		170	37.08 ± 9.91cX	32.13 ± 9.91bX	49.66 ± 9.91aY
		N/A	42.42 ± 9.91bX	34.32 ± 9.91bY	38.59 ± 9.91aXY
	%CV		14.96%	21.34%	23.46%

*Nota.* Días de evaluación: 0, 12, 24; (s): tiempo de exposición en segundos; W: Potencia a la que se irradió Watts; N/A: No aplica; %CV: Coeficiente de variación; D.E: desviación estándar. Distintas letras en minúscula (a, b) indican diferencia significativa entre los tratamientos por columna. Distintas letras mayúsculas (X, Y) indican diferencia significativa dentro los días de la misma línea (P < 0.05).

### Anexo C

*Resultados en Newtons (N) de la medición de Textura en chile morrón a los 0 y 24 días posteriores a la aplicación de tratamientos de desinfección.*

Método desinfectante	Tiempo (s)	Potencia (W)	Textura ± D. E. Tiempo (Días)	
			0	24
Cloro	60	55	13.32 ± 3.42aX	14.67 ± 18.35aX
		170	9.26 ± 1.90bX	21.58 ± 15.82aX
	N/A	6.40 ± 2.96bX	17.36 ± 5.24aX	
	%CV		30.97%	79.58%

*Nota.* Días de evaluación: 0, 24; (s): tiempo de exposición en segundos; W: Potencia a la que se irradió Watts; N/A: No aplica; %CV: Coeficiente de variación; D.E: desviación estándar. Distintas letras en minúscula (a, b) indican diferencia significativa entre los tratamientos por columna. Distintas letras mayúsculas (X, Y) indican diferencia significativa dentro los días de la misma línea (P < 0.05).

Anexo D

Prueba preliminar día 0 – CL/LUV



**Anexo E**

*Prueba preliminar día 0 – H2O/LUV*



**Anexo F**

*Comparación tratamiento convencional día 0, 12 y 24*



**Anexo G**

*Comparación tratamiento CL/LUV 60-55 día 0, 12 y 24*



**Anexo H**

*Comparación tratamiento CL/LUV 60-170 día 0, 12 y 24*



## Anexo I

## Fórmula para calcular la radiación aplicada

Tratamiento	Radiación $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
Convencional de planta	-
CL/LUV 60-55	295
CL/LUV 60-170	19
CL/LUV 120-170	15
LUV/H2O 120-170	18

$$R = 295 \frac{\mu\text{W}}{\text{cm}^2}$$

*Potencia = radiación \* area de la muestra*

$$P = 295 \frac{\mu\text{W}}{\text{cm}^2} * 4 \text{ cm}^2$$

*Energía = potencia \* tiempo de exposición*

$$E = 1,180 \frac{\mu\text{J}}{\text{s}} * 60\text{s}$$

$$E = 70,800\mu\text{J}$$

$$\text{Irradiación} = \frac{\text{energía}}{\text{peso de la muestra en kg}}$$

$$I = \frac{70,800\mu\text{J}}{0.01 \text{ kg}}$$

$$I = 7.088 \times 10^6 \frac{\mu\text{J}}{\text{kg}}$$

$$I = 7.088 \times 10^6 \frac{\mu\text{J}}{\text{kg}} * 1 \times 10^{-6} \mu$$

$$I = 7.088 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$I = 7.088 \text{ Gy}$$