Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano

Departamento de Agroindustria Alimentaria

Ingeniería en Agroindustria Alimentaria

Proyecto Especial de Graduación

Impacto de la Irradiación UV-C en las Características Físicas y Microbiológicas de la Lechuga *(Lactuca sativa* var. Versai) en Zamorano

Estudiantes

Marelyn Sthefanie Mejia Escoto

Nilsson José Toro Ferrera

Asesores

Jorge A. Cardona, Ph.D.

Ligia E. Luna, M.Sc.

Honduras, noviembre 2023

Autoridades

SERGIO ANDRÉS RODRÍGUEZ ROYO

Rector

ANA M. MAIER ACOSTA

Vicepresidenta y Decana Académica

ADELA M. ACOSTA MARCHETTI

Directora del departamento de Agroindustria Alimentaria

HUGO ZAVALA MEMBREÑO

Secretario General

Contenido

Índice de Cuadros 5

Índice de Anexos 6

Resumen 7

Abstract 8

Introducción 9

Materiales y Métodos 12

Ubicación del Estudio 12

Estrategia de Búsqueda 12

Fase 1. Elaboración de Manual 12

Estrategias de Desarrollo del Manual 12

Fase 2. Validación de Tecnología UV-C en Lechuga 13

Obtención de Lechuga 13

Diseño Experimental 13

Preparación de los Tratamientos 14

Fórmula para Calcular la Dosis 15

Descripción de Análisis de Color 16

Descripción de Análisis de Textura 16

Descripción de Análisis Microbiológicos 16

Análisis Estadístico 17

Resultados y Discusión 18

Fase 1. Túnel de UV-C de la Marca “Soluciones UV” 18

Fase 2 20

Análisis de Color 20

Análisis de Dureza y Fuerza de Corte 23

Análisis Microbiológicos 26

Bacterias Mesófilas Aerobias 26

Coliformes 28

E. coli 29

Conclusiones 32

Recomendaciones 33

Referencias 34

Anexos 40

Índice de Cuadros

Cuadro 1 Tratamientos 13

Cuadro 2 Resultado del análisis físico: valor L* (luminosidad) a los días cero y 10. 21

Cuadro 3 Resultados del análisis físico de ángulo de tono (°Hue) a los días cero y 10. 22

Cuadro 4 Resultados del análisis físico de croma a los días cero y 10. 23

Cuadro 5 Resultados físicos de dureza(N) de la lechuga al día cero y 10. 24

Cuadro 6 Resultados Físicos: deformación (mm) de la lechuga al día cero y 10 25

Cuadro 7 Recuentos de Bacterias Mesófilas Aerobias en la lechuga al día cero y día 10 de almacenamiento. 28

Cuadro 8 Recuentos de Coliformes Totales en la lechuga al día cero y día 10 de almacenamiento.... 29

Cuadro 9 Recuentos de E. coli en la lechuga al día cero y día 10 de almacenamiento. 30

Índice de Anexos

Anexo A Resultado del análisis físico: valor a 40

Anexo B Resultados del análisis físico: valor b 41

Anexo C Proceso de Pruebas Preliminares 42

Anexo D Prueba preliminar - Irradiación a 55W 44

Anexo E Prueba Preliminar-Irradiación a 445 W 45

Anexo F Prueba Preliminar- Irradiación a 220 W 46

Anexo G Prueba Preliminar-Lechuga 220 W a 4 min 47

Anexo H Prueba Preliminar-Lechuga 55 W 4 min 48

Anexo I Prueba Preliminar-Lechuga 220 W 4 min 49

Anexo J Prueba Preliminar-Lechuga 170 W 3 min 50

Anexo K Prueba Preliminar-Control Cloro 51

Anexo L Prueba Preliminar-Daños al tejido vegetal 52

Anexo M Prueba Preliminar-Daños al tejido 390 W 15 seg 53

Anexo N Prueba Preliminar-Daños al tejido 445 W 10 seg 54

Anexo O Prueba Preliminar-Daños al tejido 390 W 15 seg 55

Anexo P Prueba Preliminar-Lechuga Versai 60 cm de altura 56

Anexo Q Portada e Índice de Manual de Procedimiento 57

Resumen

La producción de alimentos desempeña un papel esencial en la sociedad, por lo que, se están desarrollando tecnologías alternativas para abordar los desafíos en seguridad alimentaria, sostenibilidad ambiental y eficiencia. Este estudio investigó el impacto de la luz ultravioleta UV-C en propiedades microbiológicas y físicas de la lechuga Versai. Inicialmente, se elaboró un manual de seguridad ocupacional para la Planta Poscosecha Zamorano con pautas sobre el uso del túnel de rayos no ionizantes UV-C y las precauciones necesarias al operar este equipo. Posteriormente se realizó un análisis de color, textura y presencia de bacterias mesófilas aerobias, coliformes y *E. coli* en la lechuga Versai irradiada a 55W durante 78 segundos, en comparación con lechuga no irradiada y escaldada. Los resultados revelaron que el proceso actual utilizado en la producción de lechuga comercializada por Zamorano sigue siendo la opción más eficaz. Además, se observó que la irradiación UV-C durante periodos cortos no afectó las propiedades físicas de la lechuga Versai almacenada a temperaturas entre 2 y 5°C durante 10 días. Sin embargo, se constató que el efecto germicida de la luz UV-C no resultó eficiente en áreas con sombra. Se recomienda realizar investigaciones adicionales para comprender mejor los mecanismos involucrados en la interacción entre la luz UV-C y las propiedades microbiológicas y físicas de la lechuga u otros alimentos. Además, se recomienda explorar alternativas de uso de irradiación no ionizante UV-C por si sola o junto a otros procesos sanitizantes para hacerlos parte de un sistema.

Palabras clave: Efecto germicida, hortalizas, manual, mínimo proceso, tecnologías alternativas.

Abstract

The production of food plays a crucial role in modern society, therefore alternative technologies are being developed to address challenges in food security, environmental sustainability, and efficiency. This study investigated the impact of ultraviolet UV-C light on the microbiological and physical properties of Versai lettuce. The study was conducted in two phases. In the first phase, a manual was developed for the Zamorano Postharvest Plant, offering guidelines on the use of non-ionizing UV-C ray tunnel and the necessary precautions when operating this equipment. In the second phase, a detailed analysis of color, texture, and the presence of aerobic mesophilic bacteria, coliforms, and E. coli in Versai lettuce irradiated at 55W for 78 seconds was carried out, compared to non-irradiated and blanched lettuce. The results revealed that the current process used in the production of lettuce marketed by Zamorano remains the most effective option. Additionally, it was observed that UV-C irradiation for short periods did not affect the physical properties of Versai lettuce stored at temperatures between 2 and 5°C for 10 days. However, it was found that the germicidal effect of UV-C light was not efficient in shaded areas. Further research is recommended to better understand the mechanisms involved in the interaction between UV-C light and the microbiological and physical properties of lettuce. Additionally, strategies should be explored to improve the effectiveness of the irradiation process and optimize the use of UV-C technology in food production and make them part of a system.

Keywords: Germicidal effect, vegetables, manual, minimum process, alternative technologies.

Introducción

Las tecnologías alternativas de conservación pueden reducir el desperdicio de alimentos en un 20-30%, según un estudio de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Estas tecnologías prolongan la vida útil de los alimentos al prevenir la contaminación y la pérdida de nutrientes (Moving forward on food loss and waste reduction, 2019). El procesamiento alternativo también aporta en la mejora de la seguridad alimentaria. Las tecnologías alternativas pueden mejorar la inocuidad al reducir el riesgo de contaminación microbiana y garantizar la calidad y la seguridad de los alimentos. Por ejemplo, la tecnología de alta presión hidrostática (HPP, por sus siglas en inglés) puede eliminar patógenos y mejorar la seguridad de los alimentos (Heredia et al., 2014). De igual forma, estas tecnologías pueden brindar un incremento del valor nutricional de los alimentos al prevenir la pérdida de nutrientes durante el procesamiento y mejorar la biodisponibilidad de estos (Vázquez Correa, 2021). Por otra parte, las tecnologías alternativas pueden ayudar a mantener las vitaminas y otros nutrientes en alimentos deshidratados (Patiño et al., 2021). La irradiación con rayos ultravioleta tipo C (UV-C) es una técnica utilizada cada vez más en la industria alimentaria debido a sus ventajas en la eliminación de microorganismos y la conservación de la calidad de los alimentos y bebidas (Cardozo Cubas y Ruiz Torres, 2019). Los rayos UV-C son una forma de radiación electromagnética con longitudes de onda entre 200 y 280 nanómetros, lo que los hace altamente efectivos en la eliminación de patógenos como bacterias, virus y hongos (Singh et al., 2021).

El uso de la tecnología de irradiación con rayos UV-C en la industria alimentaria se ha expandido a nivel mundial en los últimos años. Los estudios han demostrado la eficacia de los rayos UV-C en la eliminación de patógenos en diferentes tipos de alimentos, como frutas y verduras frescas, carnes, pescados, productos lácteos, entre otros (Dominguez L, 2011). Por ejemplo, en Europa, los tratamientos con rayos UV-C se han utilizado en la producción de alimentos frescos, incluyendo frutas y verduras, y se ha demostrado su eficacia en la eliminación de patógenos como *E. coli, Listeria monocytogenes y Salmonella* (European Food Safety Autority, 2016). En los Estados Unidos, la

Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA) ha aprobado el uso de los rayos UV-C como método para la reducción de patógenos en alimento (Food Irradiation: What You Need to Know, 2022).

La combinación de irradiación UV-C en alimentos podría ser una forma de reducir o eliminar el uso de aditivos químicos. La irradiación no ionizante en alimentos podría ayudar a matar microorganismos patógenos y los aditivos podrían ayudar a mejorar la eficacia de la irradiación de alimentos. De acuerdo a Barreto et al. (2021) la luz ultravioleta UV-C no interfiere directamente con la acidez del fruto, sin embargo, de manera indirecta, puede reducir las alteraciones en la acidez titulable, al eliminar los microorganismos responsables del deterioro de las características fisicoquímicas, incluida la acidez titulable. Así mismo Bertoncelli et al. (2014) explican que el uso de atmósfera modificada en conjunto a UV-C tuvieron un efecto positivo en la reducción de la pérdida de masa y en el índice visual de latencia en ajo (*Allium sativum*).

De acuerdo a Millán Villarroel et al. (2015), la UV-C incrementa los compuestos antioxidantes en las frutas después de ser tratadas. Esto se explica mediante las actividades de enzimas específicas implicadas en el metabolismo de los fenilpropanoides. También, la irradiación con UV-C no altera significativamente la calidad sensorial de los alimentos y bebidas, como su sabor, aroma, color y textura(Cote, 2011). A diferencia de otras prácticas de desinfección, la tecnología UV no requiere agua ni genera desechos y no genera residuos en las superficies y alimentos tratados (Gayán et al., 2014). Por otra parte, los tratamientos UV tienen la capacidad de combinarse de manera relativamente simple con otras técnicas de conservación en la búsqueda de efectos aditivos o incluso sinérgicos (Esua et al., 2020).

La aplicación de irradiación UV-C en frutas ha resultado un sistema efectivo para prolongar la vida útil de estos productos por ser letal para la mayoría de los microorganismos. Kim y Hung (2012), estudiaron el efecto de la luz ultravioleta sobre *Escherichia coli* O157:H7 en mora azul, logrando reducir la población microbiana desde 109 UFC/mL hasta 5,83 log UFC/g con una distancia corta (0,9

cm) entre el sustrato y la lámpara. También el uso de rayos UV-C se ha aplicado en la industria vitivinícola para reducir la presencia de microorganismos en el mosto y en el vino, con resultados prometedores. Se ha demostrado el aumento de compuestos fenólicos en comparación con la elaboración del vino tradicional (Hande Tahmaz y Gökhan Söylemezoğlu, 2017).

La tecnología de irradiación con rayos UV-C se presenta como una herramienta prometedora en la industria alimentaria, brindando beneficios en seguridad alimentaria como de conservación de la calidad de los productos. Al eliminar eficazmente patógenos y prolongar la vida útil de los alimentos, esta tecnología contribuye a la reducción del desperdicio de alimentos y a la mejora de la inocuidad y el valor nutricional de los productos. Sin embargo, es importante realizar una evaluación cuidadosa de los tiempos de exposición y distancias para garantizar un equilibrio adecuado entre la desinfección y la preservación de los nutrientes esenciales. A medida que se continúa explorando y aprovechando los beneficios de la tecnología UV-C, se abren nuevas oportunidades para la industria alimentaria en su búsqueda por ofrecer alimentos seguros, de alta calidad y sostenibles. Con base a lo mencionado anteriormente, los objetivos de experimento fueron:

Realizar un manual de procedimientos del equipo UV-C para los operarios de la planta de Poscosecha de Zamorano.

Analizar el impacto de la luz UV-C en las características físicas y visuales de la lechuga Versai.

Evaluar la eficacia de la irradiación con luz UV-C en la reducción de carga microbiológica en la lechuga Versai.

Comparar el tratamiento de irradiación con luz UV-C con el tratamiento químico (acondicionamiento) realizado en la Planta de Poscosecha de Zamorano.

Materiales y Métodos

Ubicación del Estudio

Este experimento se realizó en las instalaciones de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano y la Biblioteca Wilson Popenoe. Los análisis físicos y químicos se realizaron en el Laboratorio de Análisis de Alimentos de Zamorano (LAAZ) y la Planta de Poscosecha de Zamorano. Los análisis microbiológicos se realizaron en el Laboratorio de Microbiología de Alimentos de Zamorano (LMAZ).

Estrategia de Búsqueda

Para este trabajo se realizó una revisión literaria y sistemática sobre el uso de rayos UV-C en alimentos, que fueron aplicados en la Planta Poscosecha de Zamorano. Se hizo manejo de diferentes plataformas académicas como: Scielo, Springer Link, Google académico, Redalyc, Dialnet, entre otras. Se realizaron búsquedas en español e inglés con una restricción de antigüedad de 10 años, existiendo una excepción de que el articulo sea de más antigüedad si es de importancia en el estudio.

Fase 1. Elaboración de Manual

Para esta fase se elaboró un manual de instrucciones para hacer uso del equipo de rayos no ionizantes UV-C. Este manual fue realizado con el objetivo de que los usuarios de la planta cumplan con BPM, POES y POE para procurar la seguridad de ellos y acortar la depreciación del equipo.

Estrategias de Desarrollo del Manual

Para la elaboración del manual de procedimientos para el uso del equipo se siguió como referencia la norma ISO/IEC 82079-1, tomando en cuenta las secciones aplicables a la planta. El manual consta de introducción, política de seguridad alimentaria, descripción de la máquina, peligros y monitoreo. Cada parte consta de secciones que detallan el procedimiento y protección que deben ser seguidas por los empleados a fin de mantener un uso adecuado del equipo.

Fase 2. Validación de Tecnología UV-C en Lechuga

Obtención de Lechuga

La cosecha de las lechugas Versai de la familia "Asteraceae" se llevó a cabo en los lotes ubicados en la zona de oleicultura extensiva de Zamorano. La lechuga fue cultivada en un suelo franco con un rango de pH de 5.5-6.5, y se aplicó un sistema de riego por goteo para garantizar el suministro de agua necesario. Se implementó un control en la fertilización, así como en la gestión de plagas, malezas y enfermedades. El rendimiento obtenido alcanzó aproximadamente los 16,612 Kg/ha. En cuanto al clima, la temperatura media anual en El Zamorano se mantuvo en 26°, con una precipitación media anual de 1419 mm. La cosecha de la lechuga se llevó a cabo después de 59 días de crecimiento durante los meses de julio y agosto. La recolección de estas se realizó de manera delicada para minimizar daños en las hojas, además se realizó una preselección en el campo, rechazando las lechugas que presentaran daños por plagas, enfermedades, entre otros. Fueron colocadas en canastas plásticas para facilitar su traslado hacia la planta.

Diseño Experimental

Se utilizó un DCA con 6 tratamientos descritos en el Cuadro 1. Se establecieron 2 controles para evaluar los tratamientos propuestos con tres repeticiones y medidas repetidas en el tiempo al día 0 y 10 para un total de 36 unidades experimentales.

Cuadro 1

Tratamientos

Tratamiento	Descripción
TRT1	Control 1: lechuga recién cosechada, sin lavar.
TRT2	Control 2: lechuga lavada con agua, desinfectada con cloro a 100 ppm, escaldado durante 20 segundos y aplicación de antioxidantes (Ácido cítrico 1% + ácido ascórbico 0.5%.)
TRT3	Lechuga solamente lavada con agua.
TRT4	Lechuga lavada con agua e irradiada durante 78 segundos a 55 W
TRT5	Lechuga lavada con agua y escaldada durante 20 segundos
TRT6	Lechuga lavada con agua, escaldada por 20 segundos e irradiada durante 78 segundos a 55w

Nota. TRT: Tratamiento

Se llevaron a cabo pruebas preliminares con el propósito de determinar la intensidad, distancia y duración óptimas para minimizar el daño al tejido de la lechuga. En este contexto, se experimentó con tres variedades (Versai, Romana y Tropicana) a potencias desde 55W a 445W con diferentes tiempos de exposición de rayos no ionizantes UVC y distancias de la lechuga y la lampara de 10, 30 y 60 cm. Además, se llevaron a cabo controles que consistieron en lechuga sin ningún tipo de tratamiento. Estas pruebas se almacenaron de 2-5 grados Celsius durante 6 días.

Preparación de los Tratamientos

La elaboración de los tratamientos se comenzó lavando con agua la lechuga dos veces por inmersión, a excepción del control, donde se omitió este paso. Posteriormente, se llevó a cabo el deshoje, clasificación y selección de las hojas, separándolas en escurridores según el tratamiento (agua, escaldado y proceso actual en la planta). El escurridor designado para la inmersión en solución de antioxidantes (ácido cítrico 1%, ácido ascórbico 0.5% y cloruro de calcio 0.2%) fue utilizada, sumergiendo las hojas durante 30 segundos a 4 °C, seguido de un proceso de escurrido de 4 minutos.

Durante los primeros 2 minutos, se extrajo la sesta y se agitó para eliminar el agua retenida y separar la lechuga de los orificios. Luego de ese tiempo, se colocaron nuevamente durante dos minutos adicionales. Posteriormente, las hojas se regresaron a sus respectivos escurridores. Para el tratamiento térmico, los escurridores con lechuga fueron expuestos al vapor de la marmita durante 15 segundos. Luego, se enjuagó con agua fría durante 20 segundos.

Las hojas se escurrieron de la misma manera mencionada anteriormente y se colocaron nuevamente en escurridor. Finalmente, una vez preparados los pretratamientos y colocados en sus respectivos escurridores, se procedió a empacar los tratamientos sin irradiación en bolsas de tipo Ziploc (tamaño 12x15, grosor 0.508 mm - fabricadas con LLDEP o LDPE) con 20g, las cuales serían llevadas al LMAZ y LAAZ. Las hojas restantes se separaron en bandejas para proceder a irradiarlas a 55W durante 78 segundos. Una vez que los tratamientos irradiados estuvieron listos, se pesaron y

empacaron en sus respectivas bolsas para ser almacenados durante 10 días en un cuarto frío con temperatura entre 1 - 5 °C.

Fórmula para Calcular la Dosis

Para determinar la potencia y el tiempo aplicada en los tratamientos, se utilizó la siguiente formula:

Dimensiones del túnel: 1.2 metros de largo, 60 centímetros de ancho y 60 centímetros de alto.

Calcular el área de irradiación:

Área de irradiación = Largo (en metros) × Ancho (en metros)

Área de irradiación = 1.2 m × 0.6 m

Área de irradiación = 0.72 m^2

Convertir la intensidad de 5.5 kJ/m^2 a julios por metro cuadrado:

Intensidad (en julios por metro cuadrado) = 5.5 kJ/m^2 × 1000 J/1 kJ

Intensidad = 5500 J/m^2

Calcular la energía necesaria:

Energía (en julios) = Intensidad (en julios por metro cuadrado) × Área de irradiación (en metros cuadrados)

Energía = 5500 J/m^2 × 0.72 m^2

Energía = 3960 J

Calcular el Tiempo Necesario:

Tiempo (en segundos) = Energía (en julios) / Potencia (en vatios)

Tiempo = 3960 J / 55 W

Tiempo ≈ 72 segundos

Por lo tanto, con las dimensiones del túnel de 1.2 metros de largo, 60 centímetros de ancho y 60 centímetros de alto, fue necesario irradiar durante aproximadamente 72 segundos (aproximadamente 1 minuto y 12 segundos) para alcanzar una intensidad de 5.5 kJ/m^2.

Descripción de Análisis de Color

Los análisis de color se realizaron al día cero y día 10, se utilizó una mini foto estudio y la aplicación "Colorimeter App", esta aplicación proporciona la medición del color en la escala L a* b*. Una vez preparados los tratamientos se colocaron dos hojas de lechuga por tratamiento dentro del mini foto estudio donde se tomaron tres fotos por hoja haciendo un total de seis fotos. Las imágenes fueron capturadas con el mismo ángulo, distancia e iluminación, registradas en RGB y convertidas a L a b, ángulo de matiz y croma para su posterior análisis.

Descripción de Análisis de Textura

En cuanto al análisis de textura se utilizó el medidor de textura Brookfield CT3, se ensambló una base estándar TA-BT-KIT además de una guillotina de corte TA-SBA-WB-1 y una sonda de alambre de corte TA-WSP. Los cortes se realizaron siguiendo el procedimiento realizado por Vega (2013) donde utilizó porciones de las partes externas de la hoja con dimensiones de 3 cm de largo × 1 cm de ancho, a una velocidad de 2 mm/s. Se prepararon las muestras seleccionando tres hojas con características similares por tratamiento, por repetición y por cada medida repetida en el tiempo (0 y 10 días).

Descripción de Análisis Microbiológicos

Se comenzó preparando una gradilla con tubos que contenían 9 mL de diluyente (buffer de fosfatos). Se rotuló los tubos con el factor de dilución 10^{1} el tratamiento y repetición. Luego se pesaron 10 gramos de lechuga y se adicionaron 90 ml de buffer de fosfato, posteriormente se procedió a homogenizar la muestra durante 1 minuto haciendo uso del equipo "Stomacher SEWARD 400 circulator", dando como resultado la primera dilución 10^{-1}. Para preparar la segunda dilución se extrajo 1 mL de la dilución 10^{-1}, se agregó dentro de uno de los tubos con 9 mL de buffer y con ayuda del equipo Vortex® se homogenizó durante 15 segundos obteniendo la dilución 10^{-2} y finalmente se repitió el procedimiento con la dilución 10^{-2} para conseguir la dilución $10^{-3.}$ El proceso de inoculación de las diluciones se realizó usando la técnica de extendido en superficie, para coliformes totales y *E. coli* en Agar Bilis Rojo Violeta-MUG y mesófilos aerobios en Agar Cuenta Estándar, se incubaron a 35°C

durante 24 horas para coliforme totales y *E. coli* y 48 horas para bacterias mesófilas aerobias. Se contaron los UFC (Unidades Formadoras de Colonias) de cada plato Petri y se reportaron en UFC/g de la muestra original aplicando las reglas para conteo de colonias y utilizando un contador de colonias para reducir el error.

Análisis Estadístico

El análisis estadístico se realizó utilizando el programa "Statistical Analysis System" (SAS® versión 9.4), con en el cual se realizó un análisis de varianza con separación de medias (LSMeans y DUNCAN) con un nivel de significancia del 95% ($P>0.05$).

Resultados y Discusión

Fase 1. Túnel de UV-C de la Marca "Soluciones UV"

El túnel de UV-C es un equipo diseñado para la desinfección superficial de productos alimentarios sin dejar residuos que podrían afectar a la salud del consumidor. La radiación UV-C posee una importante acción germicida a los 254 nm y también se ha logrado un efecto hormético indirecto que induce respuestas metabólicas en los diversos sistemas vegetales (Andrade, 2019). Se debe notar que los rayos no ionizantes UV-C exhiben una limitada capacidad de penetración en medios sólidos y turbios de acuerdo a Chacha et al. (2021). Minguillon y Castro (2020) explicaron que la luz UV-C no es nada penetrante y se extingue al intentar atravesar unas pocas micras de cualquier material por lo que todo lo que haga sombra impide su efecto germicida. El túnel está construido de forma rectangular en acero inoxidable con agarraderas a los extremos para facilitar su movilización. Cuenta con entrada de energía a 220-110 monofásico. Internamente está compuesto por 9 lámparas de mercurio de la marca Osram.

Dimensiones: 140 cm de largo, 80 cm de ancho y 30 cm de alto.

Intensidades: 55 W, 170W & 220 W para un total de 445W.

La aplicación de luz UV-C puede lograr disminuir el uso de desinfectantes químicos que son utilizados habitualmente en la cadena de procesamiento de alimentos, además se ha considerado como un método no térmico para tratar alimentos líquidos (zumos de frutas y verduras, bebidas alcohólicas, refrescos, etc.), desinfectar leche y productos lácteos, también procesar productos cárnicos listos para el consumo, asimismo para conservar y aumentar la vida útil de los productos (Singh et al., 2021). El tratamiento con UV-C es una tecnología que ofrece varias ventajas a las industrias alimentarias, debido a que no deja residuos, no tiene restricciones legales, es fácil de usar, es letal para la mayoría de los tipos de microorganismos y no requiere de un equipo de protección personal complejo para poder utilizarlo Gutiérrez et al. (2016). Sin embargo, algunas lámparas UV-C emiten pequeñas cantidades de radiación UV-B, que al exponerse a una dosis alta o baja prolongada

puede contribuir a efectos como cataratas o cáncer de piel causado por la exposición acumulativa (Food and Drugs Administration, Wed, 2021)

Por lo tanto, es importante portar el equipo de protección que consta de guantes, gafas con protección UV, ropa protectora y calzado cerrado. Además, es esencial seguir los siguientes pasos para poder operar el equipo de manera segura:

Asegurarse que el equipo se encuentre apoyado en una superficie plana y con los interruptores de intensidad apagados.

Conectar el equipo a una fuente de electricidad de 220-110 monofásico.

Antes de encender el equipo, el operario debe contar con el EPP descrito anteriormente.

Anotar en la hoja de registro la hora en que se encenderá el equipo.

Encender el interruptor que indica 55 W de potencia.

Verificar visualmente que las luces UV-C se enciendan.

Acercar el radiómetro a la luz UV-C y verificar que se emitan ondas de luz.

Se debe tomar el tiempo de exposición con ayuda de un cronómetro

Introducir los alimentos o utensilios a desinfectar en bandejas plásticas de manera uniforme.

Para retirar las bandejas, se debe apagar el interruptor de potencia.

Al terminar de utilizar el equipo, se debe apagar el interruptor de potencia y anotar la hora en que el equipo dejo de utilizarse.

Desenchufar el equipo de la electricidad.

Por otra parte, el mantenimiento del equipo desempeña un papel fundamental que ayudará a disminuir la depreciación del equipo, por lo tanto, es importante que se sigan los siguientes requerimientos:

Una limpieza a los tubos para evitar la carga de materia orgánica.

El equipo debe encontrarse apagado al momento de limpiarlo.

La limpieza se puede realizar con un paño ligeramente humedecido con agua, o si es necesario, limpia vidrios/alcohol (en este procedimiento se debe evitar mover o girar la lámpara)

Cambiar los tubos cada 10,000 horas de uso (la luz puede seguir funcionando después de dicho uso, no obstante, no logrará una funcionalidad eficaz).

La parte exterior puede ser limpiada con agua y jabón, siempre y cuando el agua no toque las partes eléctricas.

Fase 2

Análisis de Color

A través del tiempo se pudo observar que el tratamiento de agua se oscureció. De acuerdo con Viacava et al. (2014), la lechuga demuestra una gradiente de distribución de los compuestos fenólicos, las hojas exteriores tienden a acumular más compuestos fenólicos que las hojas interiores y estas son más susceptibles a oscurecerse. Al ser un experimento totalmente al azar no se controló la selección entre hojas exteriores e internas en los tratamientos, por lo que esto pudo llegar a influir en lo ocurrido en el tratamiento de agua. En consonancia De los Ángeles y Jiménez (2020) notaron un deterioro por pardeamiento en lechugas cortadas en tiras de 8×3 cm, almacenadas a 4°C durante 14 días. Los demás tratamientos mantuvieron su luminosidad constante a través del tiempo. Esto puede deberse a que los cambios en diez días no son significativos debido a las óptimas condiciones en que se encontraban almacenadas las lechugas (2-5 °C y 90-95% HR). De acuerdo a Quintero et al. (2001), estas condiciones garantizan el mantenimiento de la calidad durante tres semanas en lechuga de cabeza y dos semanas en lechuga de hojas. En estudios de Senay y Saziye en el 2011, el valor L para la parte interior de la hoja en lechuga Versai tiene un promedio de 46.31 que concuerda con los resultados obtenidos.

Los tratamientos que recibieron rayos UV-C no presentaron diferencias entre tratamientos, esto puede deberse a que los rayos no ionizantes UV-C con periodos cortos de exposición no causan daños al tejido vegetal. Nuñez en 2021 indicó que no se observaron cambios significativos en el color

de productos como zapallos, zanahorias y espinacas al ser irradiados con dosis específicas de rayos UV-C. Esto difiere de lo expuesto por Scattino et al. en 2014 y Ortega-Hernández et al. en 2018 quienes indican que los rayos ultravioletas pueden causar cambios en el tejido celular de frutas y verduras, principalmente relacionados con la decoloración del tejido, y han sugerido que también pueden inducir efectos sinérgicos en combinación con tensiones mecánicas.

Cuadro 2

Resultado del análisis físico: valor L (luminosidad) a los días cero y 10.*

Tratamiento	L* ± D.E. Tiempo (días)	
	0	10
Lechuga de campo	48.72 ± 3.76$^{b(x)}$	51.33 ± 6.85 $^{(x)}$
Mínimo proceso	46.06 ± 4.65$^{b(x)}$	52.06 ± 5.65 $^{(x)}$
Agua	61.05 ± 6.74$^{a(x)}$	51.64 ± 6.74 $^{(y)}$
Escaldado	51.33 ± 4.61$^{b(x)}$	53.44 ± 3.31 $^{(x)}$
Agua + irradiación	51.66 ± 6.69$^{b(x)}$	47.39 ± 6.43 $^{(x)}$
Escaldado+ irradiación	51.00 ± 5.39$^{b(x)}$	51.89 ± 5.88 $^{(x)}$
%CV	9.7	9.6

Nota. a b: D.E.: desviación Estándar. CV%: coeficiente de variación. Datos con letras minúsculas diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre los tratamientos (P ≤ 0.05). (x)(y) Datos con letra diferente en la misma fila no son estadísticamente diferentes a través del tiempo (P>0.05). Datos sin letras en la misma fila y columna indican que no hay diferencias significativas.

En el Cuadro 3 y 4, en las variables de ángulo de tono (°Hue) y croma o saturación, no se muestran diferencias significativas entre los tratamientos ni a lo largo del tiempo. Esto puede estar relacionado con el análisis de las hojas ya que fue completamente al azar y el color puede variar según el estado de madurez de la hoja. De igual forma, se observó que los coeficientes de variación fueron elevados. En el cuadro 5 respecto al tono se observó un cambio de 101.1 a 114.6 en el tratamiento de mínimo proceso y de 116.6 a 105.1 en el tratamiento de escaldado más irradiación, sin embargo, este cambio no fue estadísticamente significativo. De acuerdo con la investigación realizada por Colonna et al. (2016), observaron la calidad colorimétrica de diferentes hortalizas de hoja, donde determinaron que para la lechuga verde resultaba en las siguientes coordenadas L*: 59,5 ± 2,9, a*: -11,0 ± 1,7 y b*: 40,5 ± 1,7; en comparación a los datos obtenidos se observa discrepancia, esta diferencia se puede

atribuir a las distintas características del cultivo de lechuga que influyen en la obtención de resultados variables.

En las lechugas de color verde, el compuesto fenólico principal es el ácido cafeico, mientras que en las lechugas de color rojo son los flavonoles, como mencionaron Oh et al. (2009) y Khanam et al. (2012). Desde 1993, se han observado modificaciones en los pigmentos de productos tratados con radiación UV-C, como señaló Liu et al. (1993), y cómo afectan los rayos UV-C al color. Sin embargo, la irradiación con rayos UV-C puede reducir síntomas de envejecimiento, como el color amarillento visible del brócoli y el pepino (Sonntag et al., 2023). Según estudios de Costa et al. (2006) la reducción de la senescencia poscosecha en el brócoli mediante el tratamiento UV-C se explicó por la reducción de la degradación de la clorofila en todas las dosis de UV. Además, en un estudio sobre la lechuga romana que realizaron Imaizumi et al. (2018) mencionaron que el brillo en pepinos disminuyó al aumentar la dosis de UV-C, siendo este fenómeno de dosis respuesta, mientras que los colores amarillo y verde no disminuyeron, para el color verde era una reacción esperada debido a la reducción de la degradación de la clorofila. Asimismo, Cote et al. en 2013 determinaron que la conservación de las fresas se mantuvo cuando fueron irradiadas con radiación UV-C a ciertas dosis, y además no observaron efectos significativos en los tomates, excepto en el valor L, donde se encontraron diferencias significativas. Dichos resultados se pueden atribuir a que la relación de la influencia de los tratamientos en los niveles de los diferentes pigmentos en frutas y vegetales al ser expuestos a la radiación UV-C pueden permitir la reducción de la degradación de clorofila y retrasar la acumulación de antocianinas y carotenoides (Cote, 2011).

Cuadro 3

Resultados del análisis físico de ángulo de tono (°Hue) a los días cero y 10.

Tratamiento	°Hue ± D.E. Tiempo (días)	
	0	10
Lechuga de campo	114.9 ± 14.47	112.8 ± 22.15
Mínimo proceso	101.1 ± 05.50	114.6 ± 04.37

Tratamiento	°Hue ± D.E. Tiempo (días)	
	0	10
Agua	112.8 ± 07.99	113.8 ± 07.99
Escaldado	107.7 ± 06.54	107.0 ± 02.25
Agua + irradiación	113.6 ± 06.51	111.3 ± 09.78
Escaldado+ irradiación	116.6 ± 09.55	105.1 ± 07.94
%CV	15.2	21.9

Nota. D.E.: desviación Estándar. CV%: coeficiente de variación. Datos sin letras en la misma fila y columna indican que no hay diferencias significativas.

Cuadro 4

Resultados del análisis físico de croma a los días cero y 10.

Tratamiento	Croma ± D.E. Tiempo (días)	
	0	10
Lechuga de campo	24.16 ± 06.83	26.33 ± 10.36
Mínimo proceso	28.12 ± 15.15	32.18 ± 07.67
Agua	31.57 ± 03.49	31.35 ± 03.49
Escaldado	33.97 ± 10.96	30.80 ± 12.51
Agua + irradiación	31.79 ± 12.94	34.93 ± 09.60
Escaldado+ irradiación	29.91 ± 07.84	33.31 ± 07.69
%CV	28.93	21.15

Nota. D.E.: desviación Estándar. CV%: coeficiente de variación. Datos sin letras en la misma fila y columna indican que no hay diferencias significativas.

Análisis de Dureza y Fuerza de Corte

Con respecto a los resultados consignados en los Cuadros 5 y 6, es evidente que no se registraron diferencias estadísticamente significativas entre los distintos tratamientos, ni a lo largo del transcurso del tiempo, lo que se establece mediante un nivel de significancia de ($P<0.05$). Este hallazgo impide la determinación de un tratamiento óptimo con relación a la dureza y la fuerza de corte de la lechuga. Sagong et al. (2011), evaluó la fuerza de corte en hojas de espinaca aplicando UV-C y tampoco se identificó diferencias significativas. evaluó la fuerza de corte en hojas de espinaca aplicando UV-C y tampoco se identificó diferencias significativas. Es importante destacar que los coeficientes de variación se encontraron superiores a 15%. Según lo planteado por Portillo Morales (2014), la identificación de diferencias significativas en la fuerza de corte y la dureza de la lechuga se presenta

como un desafío considerable, en virtud de la notable variabilidad presente en las hojas de esta planta. Dicha variabilidad se manifiesta en diversas dimensiones, como el tamaño, el grosor y la proximidad o lejanía respecto a la nervadura central de las muestras, y se extiende incluso a la textura de una misma hoja. No obstante, de acuerdo con las observaciones de Ortiz (2021) , se identifica un efecto protector inducido por los rayos UV-C en lo que respecta al deterioro de la textura de la lechuga, atribuyendo este fenómeno al retraso en el desmontaje de la pared celular. Asimismo, diversos estudios han corroborado este efecto de la radiación UV-C, respaldando la noción de que esta puede retrasar el proceso de ablandamiento de los frutos (Rodoni et al., 2012). La causa subyacente al ablandamiento de los frutos se encuentra en la absorción de energía por parte de los componentes de la pared y la membrana celular, en simultáneo con la generación de especies reactivas al oxígeno por parte de la radiación UV-C, lo que resulta en la inducción de un estrés oxidativo que afecta la estabilidad de dicho atributo sensorial (Michellod, 2018).

Cuadro 5

Resultados físicos de dureza(N) de la lechuga al día cero y 10.

Tratamiento	N ± D.E. Tiempo (días)	
	0	10
Lechuga de campo	1.29±0.75	3.70±1.08
Mínimo proceso	1.38±0.38	2.05±0.48
Agua	1.49±0.32	3.15±0.93
Escaldado	1.48±0.50	1.79±0.55
Agua + irradiación	1.22±1.03	2.12±0.56
Escaldado+ irradiación	1.40±0.38	2.61±1.31
%CV	16.6	25.8

Nota. D.E.: desviación Estándar. CV%: coeficiente de variación. Datos sin letras en la misma fila y columna indican que no hay diferencias significativas.

Cuadro 6

Resultados Físicos: deformación (mm) de la lechuga al día cero y 10

Tratamiento	mm ± D.E. Tiempo (días)	
	0	10
Lechuga de campo	1.73±0.60	3.44±1.03
Mínimo proceso	2.53±0.70	2.10±1.01
Agua	2.18±0.97	3.25±0.93
Escaldado	1.86±1.17	2.86±0.62
Agua + irradiación	2.36±0.92	2.86±1.11
Escaldado+ irradiación	2.13±1.02	3.15±0.88
%CV	18.7	17.85

Nota. D.E: Desviación Estándar; CV%: coeficiente de variación; mm: milímetros. Datos sin letras en la misma fila y columna indican que no hay diferencias significativas.

Una de las principales metas de las tecnologías aplicadas en postcosecha para la conservación de frutas y hortalizas es retrasar la maduración y senescencia. Los rayos UV desempeñan un papel clave en este proceso, y sus efectos van más allá de simplemente eliminar bacterias, como lo demuestran las investigaciones de Charles et al. (2008). Estos efectos abarcan respuestas fisiológicas inducidas por el propio organismo. En el sector hortícola el uso de irradiación UV puede permitir reducir las pérdidas de poscosecha, como daño por frío, susceptibilidad al ataque de fitopatógenos, daños mecánicos, pérdida de firmeza y otros (Rivera Pastrana et al., 2007).

Se ha sugerido que la respuesta a la radiación ultravioleta involucra la generación de estrés oxidativo como señal principal. Este estrés se desencadena debido a la ionización parcial del agua y un aumento en la actividad de las mitocondrias (J. Mercier et al., 2000). En términos de la producción de compuestos que refuerzan la resistencia de las frutas y hortalizas a los patógenos, se han identificado varios metabolitos con actividad antimicrobiana directa. Ejemplos de estos compuestos incluyen derivados del ácido hidroxicinámico, la 6-metoximellina, la escoparona, la escopoletina y la rishitina, como se ha documentado en investigaciones realizadas por D'hallewin et al. (1999) . Estos compuestos no solo combaten directamente a los patógenos, sino que también mejoran la estructura del huésped, fortaleciendo su resistencia en el proceso de conservación (Fina, 2017).

Los polifenoles desempeñan un papel importante en la apariencia, sabor y aroma de las frutas y hortalizas. En el caso de las lechugas, los compuestos fenólicos, como el ácido fenólico, los flavonoles, las flavonas y las antocianinas, tienen un impacto significativo en su aspecto visual, especialmente en las variedades pigmentadas, como destacó Luna (2012). Estos compuestos son relevantes en la industria debido a su participación en la oxidación enzimática, un proceso catalizado por enzimas oxidativas como la polifenol oxidasa (PPO) y la peroxidasa (POD), según lo mencionado por Silveira (2017).

Nogales et al. en 2011 explican que los antioxidantes tienen beneficios que contrarrestan el cambio en la apariencia del producto causado por el pardeamiento enzimático después de una lesión en el tejido vegetal. Por ejemplo, la lechuga Versai, con sus tonalidades rojas, acumula pigmentos antocianinas que tienen propiedades antioxidantes, como indicaron Zapata-Vahos et al. en 2020. Esto puede explicar por qué la lechuga Versai mantuvo su frescura durante los diez días del experimento. Además, Sacapuca en 2013 explicó que el ácido ascórbico, un antioxidante, puede mantener sus efectos hasta 14-17 días en la lechuga.

Análisis Microbiológicos

Bacterias Mesófilas Aerobias

Entre los patógenos bacterianos más comúnmente identificados en estos productos frescos se encuentran *Salmonella, Bacillus cereus, E. coli O157:H7, Clostridium botulinum, Shigella, Staphylococcus, Vibrio cholera, Aeromonas, Campylobacter jejuni y Listeria monocytogenes* (Buck et al., 2003). Su presencia recurrente en hortalizas plantea preocupaciones significativas para la salud pública.

El Reglamento Técnico Centroamericano RTCA 67.04.50:08 (Reglamento Técnico Centroamericano RTCA 67.04.50:08: Alimenos. Criterios microbiológicos para la inocuidad de alimentos, 2009) no incluye niveles máximos permitidos para bacterias mesófilas aerobias en hortalizas frescas o procesadas. Por otro lado, la "Norma Sanitaria que Establece los Criterios

Microbiológicos de Calidad Sanitaria e Inocuidad para los Alimentos y Bebidas de Consumo Humano" de Perú (Codex Alimentarius) presenta un enfoque más indulgente al establecer un límite máximo de 10^6 UFC/g, correspondiente a un valor logarítmico de 6 Log UFC/g, para frutas y hortalizas frescas semiprocesadas que han sido lavadas, desinfectadas, peladas, cortadas y/o precocidas, y que se encuentren refrigeradas y/o congeladas. Tomando este valor como límite máximo, los valores obtenidos por todos los tratamientos estuvieron debajo del límite durante todo el experimento a excepción de la lechuga traída de campo (control).

El análisis de bacterias mesófilas aerobias, tal como se presenta en el Cuadro 7, reveló diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos a lo largo del tiempo, particularmente en el Tratamiento 2 de mínimo proceso (proceso actual). El Tratamiento 6 (escaldado + irradiación) es el único que logró reducir la carga microbiana en comparación a la lechuga traída de campo (control). Los demás Tratamientos evaluados (TRT 3, 4 y 5) no fueron efectivos. Es importante hacer la aclaración que a pesar de que el escaldado + irradiación es efectivo, todavía el tratamiento de mínimo proceso actualmente implementado en la planta parece ser mejor con una reducción de más de 3 logs en la lechuga comercializada. Además se debe notar que los rayos no ionizantes UV-C exhiben una limitada capacidad de penetración, especialmente en medios sólidos y turbios, como se señaló en el estudio de Chacha et al. (2021). Es posible que la luz UV-C no fuera efectiva para reducir la carga microbiana inicial debido al efecto sombra que genera la lechuga. Minguillon y Castro (2020) explicaron que la luz UV-C no es nada penetrante y se extingue al intentar atravesar unas pocas micras de cualquier material por lo que todo lo que haga sombra impide su efecto germicida.

A través del tiempo no se encontró crecimiento microbiano en la lechuga de campo posiblemente por el microbiota que varía de una hoja a otra. Es importante tener en cuenta que el valor inicial de 6.47 logs UFC/g ya podría haber estado en un estado estacionario, lo que significa que la población bacteriana podría haber alcanzado su máximo nivel en ese momento debido a factores como la humedad, la acidez o la presencia de inhibidores del crecimiento bacteriano o una combinación de

todos estos factores en la lechuga (Pedrique, 2001). Sin embargo esto no se puede asegurar debido a que no se le dio seguimiento a la misma hoja durante los 10 días. A través del tiempo se observó diferencia en el tratamiento de mínimo proceso. Es importante señalar que estos cambios no se deben precisamente a un crecimiento acelerado o contaminación en dicho tratamiento. Los cambios a través del tiempo se explican debido a la variabilidad que existe entre las hojas de lechuga en cuanto a su microbiota inicial y final.

Cuadro 7

Recuentos de Bacterias Mesófilas Aerobias en la lechuga al día cero y día 10 de almacenamiento.

Tratamiento	Log UFC/g ± D.E. Tiempo (días)	
	0	10
Lechuga de campo	$6.47 \pm 0.29^{a\,(x)}$	$6.24 \pm 1.00^{a\,(x)}$
Mínimo proceso	$3.39 \pm 1.22^{c\,(x)}$	$4.61 \pm 0.63^{b\,(y)}$
Agua	$5.69 \pm 0.57^{ab\,(x)}$	$5.65 \pm 0.53^{ab\,(x)}$
Escaldado	$5.26 \pm 0.26^{ab\,(x)}$	$5.41 \pm 0.24^{ab\,(x)}$
Agua + irradiación	$5.44 \pm 0.57^{ab\,(x)}$	$5.76 \pm 0.47^{a\,(x)}$
Escaldado+ irradiación	$4.92 \pm 0.56^{b\,(x)}$	$5.58 \pm 0.52^{ab\,(x)}$
%CV	12.75	11.96

Nota: D.E.: Desviación Estándar; C.V.: Coeficiente de Variación; UFC: Unidades Formadoras de colonia; a-c letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0.05$); (x)(y) Datos con letra diferente en la misma fila son estadísticamente diferentes a través del tiempo ($P<0.05$).

Coliformes

La "Norma Sanitaria que Establece los Criterios Microbiológicos de Calidad Sanitaria e Inocuidad para los Alimentos y Bebidas de Consumo Humano" de Perú (Codex Alimentarius) establece un límite máximo para Coliformes Totales de 10^3 FC/g para comidas preparadas sin tratamiento térmico, siendo el valor el Log UFC/g de 3. Únicamente el tratamiento del proceso actual que utiliza cloro y antioxidantes se encuentra bajo los límites permitidos al día 0 y los supera por 0.03 Log al día 10.

De acuerdo con el Cuadro 8 al analizar los distintos tratamientos a lo largo del tiempo, se evidencian notables diferencias en su eficacia. El tratamiento más efectivo se basa en el proceso actual de desinfección utilizando cloro, el cual registró una carga bacteriana inicial de 2.08 Log UFC/g al día 0 y 3.04 Log UFC/g al día 10. En segundo lugar, se encuentra el tratamiento de escaldado con

irradiación, que presentó una carga bacteriana inicial de 4.03 Log UFC/g al día 0 y 4.32Log UFC/g al día 10, esto en comparación con el tratamiento de lechuga de campo.

Al comparar el tratamiento de escaldado con el tratamiento combinado de escaldado e irradiación, no se observaron diferencias sustanciales entre los tratamientos, pero sí se apreciaron variaciones significativas a lo largo del tiempo en el tratamiento de escaldado y mínimo proceso. De igual forma que lo sucedido con las bacterias mesófilas aerobias, al no controlar el inoculo inicial, no se pudo identificar el tratamiento que presentó el menor crecimiento a través del tiempo debido a que la microbiota inicial y final difiere entre una hoja y otra. La composición de la microbiota en hortalizas frescas puede variar significativamente y reflejar las condiciones de cultivo (M. Rivera et al., 2009). Sin embargo, estos resultados difieren de lo expuesto por García Quintana en su estudio del 2013, quien informó que dosis de 3.2kJ/m y 6.0 kJ/m logran una reducción de 3.1 Log UFC/g en perejil fresco y 1.3 en toronjil, ambos casos inhiben eficazmente el crecimiento de coliformes.

Cuadro 8

Recuentos de Coliformes Totales en la lechuga al día cero y día 10 de almacenamiento.

Tratamiento	Log UFC/g ± D.E. Tiempo (días)	
	0	10
Lechuga de campo	$5.82 \pm 0.85^{a\,(x)}$	$5.35 \pm 0.85^{a\,(x)}$
Mínimo proceso	$2.08 \pm 0.99^{d\,(x)}$	$3.04 \pm 0.99^{c\,(y)}$
Agua	$4.85 \pm 0.37^{b\,(x)}$	$5.06 \pm 0.16^{ab\,(x)}$
Escaldado	$4.12 \pm 0.82^{bc\,(x)}$	$4.71 \pm 0.19^{ab\,(y)}$
Agua + irradiación	$4.74 \pm 0.22^{bc\,(x)}$	$4.84 \pm 0.43^{ab\,(x)}$
Escaldado+ irradiación	$4.03 \pm 0.68^{c\,(x)}$	$4.32 \pm 0.16^{b\,(x)}$
%CV	9.82	8.71

Nota: UFC: Unidades Formadoras de colonia; D.E.: Desviación Estándar; C.V.: Coeficiente de Variación; a-d letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0.05$); (x)(y) Datos con letra diferente en la misma fila son estadísticamente diferentes a través del tiempo ($P<0.05$).

E. coli

El Reglamento Técnico Centroamericano RTCA 67.04.50:08 (Reglamento Técnico Centroamericano RTCA 67.04.50:08: Alimenos. Criterios microbiológicos para la inocuidad de alimentos, 2009) establece para frutas y hortalizas frescas un límite de 10 UFC/g que es igual a 1 Log

UFC/g, por tanto, todos los tratamientos a excepción del control de campo se encuentran por debajo del límite permitido.

Observando el Cuadro 9, únicamente se encontró *E. coli* en el Tratamiento 1 que corresponde a la lechuga recién traída de campo. Se encontró 1.96 Log UFC/g al día 0 y 3.33 Log UFC/ g al día 10. Las hortalizas, incluyendo la lechuga, son reconocidas como vehículos potenciales para patógenos transmitidos por los alimentos tales como *E. coli O157:H7*. La lechuga fresca está potencialmente en alto riesgo de causar enfermedades transmitidas por los alimentos, ya que generalmente se consume sin cocinar (O'Flaherty et al., 2019). Además, es importante tener en cuenta factores influyentes, como la higiene de los trabajadores durante el manejo y recolección de cultivos. La falta de acceso a baños o estaciones de lavado de manos puede contribuir a la contaminación cruzada en los cultivos (Luna-Guevara et al., 2019). Sin embargo, es fundamental destacar que un adecuado manejo de la poscosecha puede controlar la proliferación de microorganismos. Esto incluye prácticas de manipulación, almacenamiento, transporte y limpieza que son esenciales para garantizar la inocuidad del producto. Es crucial enfatizar el concepto de inocuidad, definido por el Ministerio de Salud y Protección Social como el conjunto de condiciones y medidas necesarias durante la producción, almacenamiento, distribución y preparación de los alimentos para asegurar que, una vez ingeridos, no representen un riesgo apreciable para la salud. Una de las prácticas comunes en la poscosecha son los tratamientos de mínimo proceso, que buscan reducir los valores microbiológicos a niveles aceptables para que los productos sean seguros para el consumo humano. Estos procedimientos son esenciales para mantener la calidad y la seguridad de los alimentos.

Cuadro 9

Recuentos de E. coli en la lechuga al día cero y día 10 de almacenamiento.

Tratamiento	Log UFC/g ± D.E. Tiempo (días)	
	0	**10**
Lechuga de campo	$1.96\pm0.85^{a\,(x)}$	$3.33\pm0.41^{a\,(y)}$
Mínimo proceso	$1.00\pm0.00^{b\,(x)}$	$1.00\pm0.00^{b\,(x)}$

Tratamiento	Log UFC/g ± D.E. Tiempo (días)	
	0	10
Agua	1.00±0.00$^{b\ (x)}$	1.00±0.00$^{b\ (x)}$
Escaldado	1.00±0.00$^{b\ (x)}$	1.00±0.00$^{b\ (x)}$
Agua + irradiación	1.00±0.00$^{b\ (x)}$	1.00±0.00$^{b\ (x)}$
Escaldado+ irradiación	1.00±0.00$^{b\ (x)}$	1.00±0.00$^{b\ (x)}$
%CV	28.93	12.56

Nota: UFC: Unidades Formadoras de colonia; D.E.: Desviación Estándar; C.V.: Coeficiente de Variación; a-b letras minúsculas diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre tratamientos (P < 0.05). (x)(y) Datos con letra diferente en la misma fila son estadísticamente diferentes a través del tiempo (P<0.05).

Un inadecuado control en la gestión de la radiación UV-C durante el proceso de tratamiento de hortalizas de hojas verdes puede ocasionar daños en los tejidos superficiales, lo que a su vez podría resultar en la liberación de nutrientes, fomentando así el desarrollo de microorganismos durante el periodo de almacenamiento (Callejas et al., 2012). En 1998 Nigro et al. mostró que la radiación UV-C podría perturbar la permeabilidad celular, provocando la filtración de electrolitos, aminoácidos y carbohidratos, los cuales podrían estimular el crecimiento de microorganismos. El aspecto crítico radica en determinar una dosis segura que inhiba significativamente el crecimiento microbiano sin causar daños al producto en sí (Julien Mercier y Ben, 2018).

La composición química y estructural de los alimentos desempeña un papel fundamental en el impacto de la luz UV-C sobre el ADN de los microorganismos. Es importante destacar que dosis similares de UV-C pueden generar efectos diversos en el crecimiento de estos microorganismos en distintos entornos. Por consiguiente, resulta esencial evaluar minuciosamente esta tecnología para cada tipo de alimento, con el objetivo de determinar las condiciones ideales de aplicación y anticipar posibles modificaciones en su calidad (D. Rivera et al., 2007).

Conclusiones

Se elaboró el manual detallando el uso, protección del usuario y el mantenimiento adecuado para el equipo.

La luz UV-C a 55W durante 72 segundos y 60 cm de altura no afectó físicamente en las propiedades de color ni textura de la lechuga (*Latuca sativa*) Versai.

La luz UV-C a 55W durante 72 segundos y 60 cm de altura no redujo la carga microbiana de coliformes totales a niveles permisibles.

Todos los tratamientos poscosecha redujeron la carga microbiológica de *E.coli* a niveles permisibles en comparación a la lechuga de campo.

Recomendaciones

Extender el estudio evaluando el efecto de la luz UV-C en otro tipo de alimentos tanto solidos como líquidos.

Disminuir la potencia a 30 W y aumentar el tiempo de exposición de la lechuga en futuros experimentos.

Considerar inocular microorganismos de interés en el alimento como otro tipo de indicadores, previo al tratamiento con el propósito de evaluar la disminución microbiológica.

Realizar un seguimiento por lo menos hasta 15 días de las características visuales de la lechuga irradiada.

Aumentar la cantidad de muestras de para análisis de textura con el fin de encontrar posibles diferencias.

Incluir el túnel de irradiación como parte del proceso para lograr el objetivo de mantener la calidad e inocuidad el mayor tiempo posible.

Referencias

Andrade, M. (2019). Uso de la radiación ultravioleta en la industria agroalimentaria. *Revista Científica Ecuatoriana*, *6*(1), 12–14. https://revistaecuadorescalidad.agrocalidad.gob.ec/revistaecuadorescalidad/index.php/revista/article/view/59

Barreto, C., Navroski, R., Duarte, L., Dos Santos, R., Barbosa, M. y Martins, C. (2021). Influencia de la radiación ultravioleta y los aditivos en la conservación del kiwi mínimamente procesado. *Brazilian Journal of Food Technology*, *24*, 1–11. https://www.scielo.br/j/bjft/a/dnbrqxrKKqXZ5NCzxHcmHKj/

Bertoncelli, D., Pazolini, K., Negri, R., Mazaro, S. y Wagner, A. (2014). Physicochermical analyzes of garlic subjected to ultraviolet light (UV-C) and to modified atmosphere. *Applied Research & Agrotechnology*, *7*(2), 63–69. https://revistas.unicentro.br/index.php/repaa/article/view/2937/2367

Buck, J. W., Walcott, R. R. y Beuchat, L. R. (2003). Recent Trends in Microbiological Safety of Fruits and Vegetables. *Plant Health Progress*, *4*(1), Artículo 25. https://doi.org/10.1094/PHP-2003-0121-01-RV

Callejas, A., Otón, M., Artés, F. y Hernández, F. (2012). Combined effect of UV-C pretreatment and high oxygen packaging for keeping the quality of fresh-cut Tatsoi baby leaves. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *14*, 115–121. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2011.11.007

Cardozo Cubas, J. L. y Ruiz Torres, D. (2019). *Evaluación físico química y microbiológica del nectar de pitahaya amarilla (Hylocereus triangularis), sometida a tratamientos por radiacion con luz ultravioleta uv-c y pasteurización [*Tesis Pregrado, Universidad Señor de Sipán; PE, Perú]. repositorio.uss.edu.pe. https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/5579

Chacha, J. S., Zhang, L., Ofoedu, C. E., Suleiman, R. A., Dotto, J. M., Roobab, U., Agunbiade, A. O., Duguma, H. T., Mkojera, B. T., Hossaini, S. M., Rasaq, W. A., Shorstkii, I., Okpala, C. O. R., Korzeniowska, M. y Guiné, R. P. F. (2021). Revisiting Non-Thermal Food Processing and Preservation Methods-Action Mechanisms, Pros and Cons: A Technological Update (2016-2021). *Foods (Basel, Switzerland)*, *10*(6), 1–26. https://doi.org/10.3390/foods10061430

Charles, M. T [Marie Thérèse], Benhamou, N. y Arul, J [Joseph] (2008). Physiological basis of UV-C induced resistance to Botrytis cinerea in tomato fruit. *Postharvest Biology and Technology*, *47*(1), 27–40. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.05.015

Codex Alimentarius. *Norma Sanitaria Que Establece Los Criterios Microbiológicos de Calidad Sanitaria e Inocuidad para los Alimentos y Bebidas de Consumo Humano*. (615). http://www.digesa.minsa.gob.pe/norma_consulta/Proy_RM615-2003.pdf

Colonna, E., Rouphael, Y., Barbieri, G. y Pascale, S. de (2016). Nutritional quality of ten leafy vegetables harvested at two light intensities. *Food Chemistry*, *199*, 702–710. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.12.068

Costa, L., Vicente, A. R., Civello, P. M., Chaves, A. R. y Martínez, G. A. (2006). UV-C treatment delays postharvest senescence in broccoli florets. *Postharvest Biology and Technology*, *39*(2), 204–210. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2005.10.012

Cote, S. (2011). *Efecto de la intensidad de la radiación UV-C sobre la calidad sensorial, microbiológica y nutricional de frutos* [Trabajo de maestría, Universidad Nacional de La Plata, Argentina]. sedici.unlp.edu.ar. http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/2727

Cote, S., Rodoni, L., Miceli, E., Concellón, A., Civello, P. M. y Vicente, A. R. (2013). Effect of radiation intensity on the outcome of postharvest UV-C treatments. *Postharvest Biology and Technology*, *83*, 83–89. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.03.009

De los Ángeles, M. y Jiménez, A. (2020). *Evaluación de técnicas de preservación de hortalizas de IV gama: lechuga (Lactuca sativa L.), tomate cherry (Solanum lycopersicum) y zanahoria (Daucus carota)* [Tesis pregrado]. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología, Ambato-Ecuador. https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/30790/1/AL%20729.pdf

D'hallewin, G., Schirra, M., Manueddu, E., Piga, A. y Ben-Yehoshua, S. (1999). Scoparone and Scopoletin Accumulation and Ultraviolet-C Induced Resistance to Postharvest Decay in Oranges as Influenced by Harvest Date. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, *124*(6), 702–707. https://doi.org/10.21273/JASHS.124.6.702

Dominguez L, P. M. (2011). *Luz ultravioleta en conservación de alimentos.* Secretaria de agricultura, ganaderia y pesca. https://alimentosargentinos.magyp.gob.ar/contenido/revista/ediciones/52/articulos/r52_13_LuzUltravioleta.pdf

Esua, O. J., Chin, N. L., Yusof, Y. A. y Sukor, R. (2020). A Review on Individual and Combination Technologies of UV-C Radiation and Ultrasound in Postharvest Handling of Fruits and Vegetables. *Processes*, *8*(11), 1433. https://doi.org/10.3390/pr8111433

European Food Safety Autority (2016). Safety of UV-treated milk as a novel food pursuant to Regulation (EC) No 258/97. *EFSA Journal*, *14*(1). https://doi.org/10.2903/j.efsa.2016.4370

Fina, J. (2017). *Estudio del efecto de la radiación UV en plantas.* Universidad Nacional de Rosario, Argentina. https://core.ac.uk/download/pdf/132564416.pdf

Moving forward on food loss and waste reduction (2019). https://www.fao.org/3/ca6030en/ca6030en.pdf

Food and Drugs Administration (Wed, 2021, 1 de diciembre). *Ultraviolet (UV) Radiation*. https://www.fda.gov/radiation-emitting-products/tanning/ultraviolet-uv-radiation

Food Irradiation: What You Need to Know (2022). https://www.fda.gov/food/buy-store-serve-safe-food/food-irradiation-what-you-need-know

García Quintana, H. D. (2013). *Efecto de la Radiación UV-C Sobre la Capacidad Antioxidante de Hojas Frescas de Toronjil (Melissa officinalis) Y PEREJIL (Petroselinum sativum) de la Zona Andina de Cotachachi* [Pregrado]. Universidad Tecnológica Equinoccial. https://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/4980/1/50545_1.pdf

Gayán, E., Condón, S. y Álvarez, I. (2014). Biological Aspects in Food Preservation by Ultraviolet Light: A Review. *Food and Bioprocess Technology*, *7*(1), 1–20. https://doi.org/10.1007/s11947-013-1168-7

Gutiérrez, D., Ruiz López, G., Sgroppo, S. y Rodríguez, S. (2016). Uso de la radiación UV-C en el proceso de elaboración de hortalizas. *Scielo Uruguay*, *20*(2). http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2301-15482016000200002#7

Hande Tahmaz y Gökhan Söylemezoğlu (2017). Effects of Vinification Techniques Combined with UV-C Irradiation on Phenolic Contents of Red Wines. *Journal of Food Science*, *82*(6), 1351–1356. https://doi.org/10.1111/1750-3841.13724

Heredia, N., Dávila, J., Solís, L. y García, S. (2014). Productos cárnicos: principales patógenos y estrategias no térmicas de control. *Nacameh*, *8*(1), 20–42. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6032880

Imaizumi, T., Yamauchi, M., Sekiya, M., Shimonishi, Y. y Tanaka, F. (2018). Responses of phytonutrients and tissue condition in persimmon and cucumber to postharvest UV-C irradiation. *Postharvest Biology and Technology*, *145*, 33–40. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.06.003

Khanam, U. K. S., Oba, S., Yanase, E. y Murakami, Y. (2012). Phenolic acids, flavonoids and total antioxidant capacity of selected leafy vegetables. *Journal of Functional Foods*, *4*(4), 979–987. https://doi.org/10.1016/j.jff.2012.07.006

Kim, C. y Hung, Y.-C. (2012). Inactivation of E. Coli O157:H7 on blueberries by electrolyzed water, ultraviolet light, and ozone. *Journal of Food Science*, *77*(4), M206-11. https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02595.x

Liu, J., Stevens, C., Kham, L., Adeyeye, O., Kabwe, M. K., Pusey, P. L., Chalutz, E., Sultana, T. y Droby, S. (1993). Application of Ultraviolet-C Light on Storage Rots and Ripening of Tomatoes. *Journal of Food Protection*, *56*(10), 868–873. https://doi.org/10.4315/0362-028X-56.10.868

Luna, M. C. (2012). *Influencia de los Factores Pre y Postcosecha en la Calidad de la Lechuga IV Gama* [Tesis Doctoral]. Universidad de Murcia, España. https://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/104604/TMCLR.pdf?sequence=

Luna-Guevara, J. J., Arenas-Hernandez, M. M. P., La Martínez de Peña, C., Silva, J. L. y Luna-Guevara, M. L. (2019). The Role of Pathogenic E. Coli in Fresh Vegetables: Behavior, Contamination Factors, and Preventive Measures. *International Journal of Microbiology*, *2019*, 2894328. https://doi.org/10.1155/2019/2894328

Mercier, J [J.], Roussel, D., Charles, M. T [M. T.] y Arul, J [J.] (2000). Systemic and Local Responses Associated with UV- and Pathogen-Induced Resistance to Botrytis cinerea in Stored Carrot. *Phytopathology*, *90*(9), 981–986. https://doi.org/10.1094/PHYTO.2000.90.9.981

Mercier, J [Julien] y Ben, Y. (2018). *UV Irradiation, Biological Agents, and Natural Compounds for Controlling Postharvest Decay in Fresh Fruits and Vegetables*. https://www.researchgate.net/publication/290136380_UV_Irradiation_Biological_Agents_and_Natural_Compounds_for_Controlling_Postharvest_Decay_in_Fresh_Fruits_and_Vegetables

Michellod, A. (2018). *Evaluación de parámetros en frutillas frescas tratadas con luz UV-C.* Universidad Nacional del Noroeste Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. https://repositorio.unne.edu.ar/bitstream/handle/123456789/48584/RIUNNE_FACENA_TE_Michellod_AM.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Millán Villarroel, D., Romero González, L., Brito, M. y Ramos-Villarroel, A. Y. (2015). Luz ultravioleta: inactivación microbiana en frutas. *Saber*, *27*(3), 454–469. https://www.redalyc.org/pdf/4277/427743080011.pdf

Reglamento Técnico Centroamericano RTCA 67.04.50:08: Alimenos. Criterios microbiológicos para la inocuidad de alimentos (2009). https://www.oirsa.org/contenido/2017/El_Salvador_INOCUIDAD/26.%20RTCA%2067%2004%2050%2008%20CRITERIOS%20MICROBIOLOGICOS%20PARA%20LA%20INOCUIDAD%20DE%20ALIMENTOS.pdf

Minguillon, A. y Castro, C. (2020). *Informe sobre utilización de la radiaicion ultravioleta (UVC) para desinfección.* Ministerio de ciencie e innovación. https://digital.csic.es/bitstream/10261/216311/1/INFORME_CSIC_utilidad_UV_v3.pdf#:~:text=Todo%20esto%20es%20debido%20a%20que%20la%20luz,lo%20que%20haga%20sombra%20impide%20su%20efecto%20germicida.

Ministerio de Salud y Protección Social (2013). Calidad e Inocuidad de Alimentos, 32–76. https://www.minsalud.gov.co/salud/Documents/general-temp-jd/LA%20INOCUIDAD%20DE%20ALIMENTOS%20Y%20SU%20IMPORTANCIA%20EN%20LA%20CADENA%20AGROALIMENTARIA.pdf

Nogales, S., Fernandez, L., Delgado, J. y Gonzales, A. (2011). *Efecto de ácido ascórbico y diferentes atmósferas modificadas (pasiva y activa) sobre lechuga tipo Batavia mínimamente procesada*. https://www.researchgate.net/publication/272506546_Efecto_de_acido_ascorbico_y_diferentes_atmosferas_modificadas_pasiva_y_activa_sobre_lechuga_tipo_Batavia_minimamente_procesada

Nuñez, Y. (2021). *Efecto de La Radiación Ultraviloeta Sobre La Calidad de Hortalizas.* Scribd. https://es.scribd.com/document/534021476/Efecto-de-La-Radiacion-Ultraviloeta-Sobre-La-Calidad-de-Hortalizas#

O'Flaherty, E., Solimini, A. G., Pantanella, F., Giusti, M. de y Cummins, E. (2019). Human exposure to antibiotic resistant-Escherichia coli through irrigated lettuce. *Environment International*, *122*, 270–280. https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.11.022

Oh, M.-M., Carey, E. E. y Rajashekar, C. B. (2009). Environmental stresses induce health-promoting phytochemicals in lettuce. *Plant Physiology and Biochemistry : PPB*, *47*(7), 578–583. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2009.02.008

Ortega-Hernández, E., Welti-Chanes, J. y Jacobo-Velázquez, D. A. (2018). Effects of UVB Light, Wounding Stress, and Storage Time on the Accumulation of Betalains, Phenolic Compounds, and Ascorbic Acid in Red Prickly Pear (Opuntia ficus-indica cv. Rojo Vigor). *Food and Bioprocess Technology*, *11*(12), 2265–2274. https://doi.org/10.1007/s11947-018-2183-5

Ortiz, L. C. (2021). *Influencia de la intensidad de radiación UV, y del fraccionamiento de los tratamientos UV-C sobre la calidad y maduración y activación de respuesta defensuva en frutos* [Tesis Doctoral]. Universidad Nacional de La Plata, Colombia. https://lipa.agro.unlp.edu.ar/wp-content/uploads/sites/29/2021/06/Tesis-Leidy-Carolina-Ortiz-09062021.pdf

Patiño, L., Cardona, D. y Ormaza, A. (2021). Aspectos Tecnológicos de La Microencapsulación de Compuestos Bioactivos en Alimentos Mediante Secado Por Aspersión | PDF | Aluminio | Petróleo. *Ciencia Y Tecnología Agropecuaria*, *22*(1), Artículo 1899.

https://www.scribd.com/document/612751832/Dialnet-AspectosTecnologicosDeLaMicroencapsulacionDeCompue-7942576#

Pedrique, M. (2001). *Reproducción y Crecimiento Microbiano.* Macmillan Publishing. http://www.ucv.ve/fileadmin/user_upload/facultad_farmacia/catedraMicro/08_Tema_6_crecimiento.pdf

Portillo Morales, E. F. (2014). *Validación de proceso poscosecha para producto mínimamente procesado a base de lechuga (Lactuca sativa)* [Tesis Pregrado]. Zamorano, Honduras. https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/34f65d35-c51d-4ac9-ab0e-a7933201f23a/content

Quintero, I., Zambrano, J., Cabrita, M. y Gil, R. (2001). Evaluación en campo y postcosecha de nueve cultivares de lechuga Lactuca sativa. *Fac. Agron*(17), 482–491. https://www.revfacagronluz.org.ve/PDF/noviembre_diciembre2000/ra6005.pdf

Rivera, D., Gardea, A., Martínez, M. y González, G. (2007). Postharvest biochemical effects of UV-C irradiation on fruits and vegetables. *Fitotec*, *30*(4), 361–372. https://revistafitotecniamexicana.org/documentos/30-4/3r.pdf

Rivera, M., Rodriguez, C. y Lopez, J. (2009). Contaminación fecal en hortalizas que se expenden en mercados de la ciudad de Cajamarca. *Revista Peruana De Medicina Experimental Y Salud Publica*, *26*(1). http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-46342009000100009#:~:text=En%20conclusi%C3%B3n%2C%20existen%20altos%20recuentos,lo%20que%20representa%20un%20riesgo

Rivera Pastrana, D., Gardea Béjar, A., Martínez Telléz, M., Rivera Domínguez, M. y González Aguilar, G. (2007). Efectos Bioquímicos Postcosecha de la Irradiación UV-C en Frutas y Hortalizas. *Fitotécnica Mexicana*, *30*(4), 361–372. https://revistafitotecniamexicana.org/documentos/30-4/3r.pdf

Rodoni, L. M., Concellón, A., Chaves, A. R. y Vicente, A. R. (2012). Use of UV-C treatments to maintain quality and extend the shelf life of green fresh-cut bell pepper (Capsicum annuum L.). *Journal of Food Science*, *77*(6), C632-9. https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2012.02746.x

Sacapuca, B. (2013). *Evaluación de la vida en anaquel de la chirimoya (annona cherimola mill) mínimamente procesada con el uso de antioxidantes envasada al vacío y almacenada a temperatura baja* [, Universidad Nacional del Altiplano, Perú]. 1library.co. https://1library.co/document/qmjemw5q-evaluacion-chirimoya-cherimola-minimamente-procesada-antioxidantes-almacenada-temperatura.html

Sagong, H.-G., Lee, S.-Y., Chang, P.-S., Heu, S., Ryu, S., Choi, Y.-J. y Kang, D.-H. (2011). Combined effect of ultrasound and organic acids to reduce Escherichia coli O157:H7, Salmonella Typhimurium, and Listeria monocytogenes on organic fresh lettuce. *International Journal of Food Microbiology*, *145*(1), 287–292. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2011.01.010

Scattino, C., Castagna, A., Neugart, S., Chan, H. M., Schreiner, M., Crisosto, C. H., Tonutti, P. y Ranieri, A. (2014). Post-harvest UV-B irradiation induces changes of phenol contents and corresponding biosynthetic gene expression in peaches and nectarines. *Food Chemistry*, *163*, 51–60. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.04.077

Senay, U. y Saziye, E. (2011). Effect of leaf position on the distribution of phytochemicals and antioxidant capacity among green and red lettuce cultivars. *Span. J. Agric. Res.*, *9*. https://www.researchgate.net/figure/Color-readings-L-a-b-of-green-and-red-lettuce-cultivars-affected-by-leaf-positions_tbl2_279650687

Silveira, A. C. (2017). Uso de aditivos y métodos físicos para mantener la calidad de los productos de IV gama o mínimamente procesados. *Agrociencia (Uruguay)*, *21*, 1–6. http://www.scielo.edu.uy/pdf/agro/v21n1/2301-1548-agro-21-01-00001.pdf

Singh, H., Bhardwaj, S. K., Khatri, M., Kim, K.-H. y Bhardwaj, N. (2021). UVC radiation for food safety: An emerging technology for the microbial disinfection of food products. *Chemical Engineering Journal*, *417*, 128084. https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.128084

Sonntag, F., Liu, H. y 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

Vázquez Correa, Á. (2021). *Innovación tecnológica en los métodos de conservación de alimentos*. México. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Xochimilco. https://repositorio.xoc.uam.mx/jspui/handle/123456789/26780

Vega O, A. X. (2013). *Efecto del ácido salicílico y estrés hídrico en la calidad de lechugas (Lactuca sativa l.) producidas en invernadero* [Tesis Pregrado, Universidad Autónoma de Querétano, México]. ri-ng.uaq.mx. https://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/7020

Viacava, G. E., Gonzalez, G. y Roura, S. I. (2014). Determination of Phytochemicals and Antioxidant Activity in Butterhead Lettuce Related to Leaf Age and Position. *Journal of Food Biochemistry*, *38*(3), 352–362. https://doi.org/10.1111/jfbc.12060

Zapata-Vahos, I. C., Rojas-Rodas, F., David, D., Gutierrez-Monsalve, J. A. y Castro-Restrepo, D. (2020). Comparison of antioxidant contents of green and red leaf lettuce cultured in hydroponic systems under greenhouse, and conventional soil culture. *Revista Facultad Nacional De Agronomía Medellín*, *73*(1), 9077–9088. https://doi.org/10.15446/rfnam.v73n1.77279

Anexos

Anexo A

Resultado del análisis físico: valor a

Tratamiento	a* ± D.E Tiempo (días)	
	0	10
Lechuga de campo	-9.22 ± 2.83 $^{ab(x)}$	-9.72 ± 6.40$^{a(x)}$
Mínimo proceso	-6.50 ± 5.89$^{b(x)}$	-13.2 ± 3.06$^{a(x)}$
Agua	-13.9 ± 2.77$^{a(x)}$	-13.3 ± 3.64$^{a(x)}$
Escaldado	-11.7 ± 3.47$^{ab(x)}$	-11.2 ± 2.46$^{a(x)}$
Agua + irradiación	-10.6 ± 5.23$^{ab(x)}$	-9.33 ± 4.77$^{a(x)}$
Escaldado+ irradiación	-13.5 ± 6.08$^{a(x)}$	-8.77 ± 5.35$^{a(x)}$
%CV	5.57	8.10

Nota. a b: Medias con letras minúsculas diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre los tratamientos (P ≤ 0.05). D.E.: desviación Estándar. CV%: coeficiente de variación. (x)(y) Datos con letra diferente en la misma fila son estadísticamente diferentes a través del tiempo (P<0.05).

Anexo B

Resultados del análisis físico: valor b

Tratamiento	b* ± D.E Tiempo (días)	
	0	10
Lechuga de campo	21.8 ± 8.37$^{a(x)}$	23.5 ± 11.4$^{a(x)}$
Mínimo proceso	27.2 ± 14.2$^{a(x)}$	29.2 ± 7.45$^{a(x)}$
Agua	31.0 ± 9.80$^{a(x)}$	6.88 ± 4.43$^{b(y)}$
Escaldado	29.3 ± 12.8$^{a(x)}$	32.6 ± 10.7$^{a(x)}$
Agua + irradiación	32.1 ± 10.2$^{a(x)}$	29.3 ± 11.6$^{a(x)}$
Escaldado+ irradiación	26.5 ± 7.22$^{a(x)}$	31.9 ± 7.23$^{a(x)}$
%CV	32.53	21.73

Nota. a b: Medias con letras minúsculas diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre los tratamientos (P ≤ 0.05). D.E.: desviación Estándar. CV%: coeficiente de variación. (x)(y) Datos con letra diferente en la misma fila son estadísticamente diferentes a través del tiempo (P<0.05).

Anexo C

Proceso de Pruebas Preliminares

Las pruebas preliminares se llevaron a cabo con el propósito de determinar las condiciones ideales para preservar la integridad del tejido celular de la lechuga. Durante esa fase experimental, se evaluaron tres variables clave: el tiempo de exposición, la distancia a la fuente de luz y la potencia en watts aplicada, con el objetivo de evitar cualquier daño a las hojas de lechuga.

Inicialmente, se realizó el experimento en un túnel con una altura estándar de 30 cm, utilizando bandejas plásticas para colocar las lechugas. Posteriormente, se exploraron diferentes alturas, acercando las hojas a la lámpara a una distancia de aproximadamente 10 cm. Se varió la potencia de irradiación utilizando las tres configuraciones disponibles en el equipo y se varió el tiempo en 6, 4 y 3 minutos. Además, se incluyó un grupo de control sin tratamiento para fines de comparación. Después de la exposición, las muestras irradiadas se mantuvieron a una temperatura de 5°C durante 6 días.

Lamentablemente, los resultados iniciales arrojaron efectos negativos, ya que la luz provocó daños en el tejido celular y aceleró la oxidación al liberar la enzima polifenol oxidasa. En respuesta a estos hallazgos, se ajustó el tiempo de exposición a valores más bajos (60, 30, 15, 10 y 7 segundos) y se redujo la potencia a 220, 170 y 55 Watts. Además, se introdujo una nueva etapa experimental en la que se sumergieron algunas muestras en soluciones antioxidantes que contenían ácido cítrico, ácido ascórbico y cloruro de calcio, con la esperanza de mitigar la oxidación acelerada observada en la lechuga.

Sin embargo, los resultados en las muestras tratadas con antioxidantes también revelaron un aumento en la oxidación. Esta vez, se atribuyó este incremento a la manipulación de las hojas de

lechuga al sumergirlas en las soluciones antioxidantes, lo que podría haber causado micro heridas que, al ser expuestas a la luz ultravioleta, aceleraron el proceso de empardeamiento.

Basándose en estos resultados, se tomó la decisión de aumentar la altura del túnel al doble para reducir los daños al tejido de la lechuga y eliminar la aplicación de antioxidantes. Posteriormente, se llevaron a cabo pruebas utilizando dos configuraciones de potencia, 170 y 55 Watts, durante períodos de 1 y 2 minutos. Además, se amplió la investigación para incluir otras variedades de lechuga, como la Kristine, Romana y Versai.

Finalmente, los resultados demostraron que la variedad Versai presentaba el menor daño en el tejido celular debido a la presencia de pigmentos oscuros en sus hojas. Con esta información, se decidió proceder con el experimento utilizando la variedad Versai. Luego, se realizaron los cálculos necesarios para alcanzar una dosis de 5.5 kJ/m2 y se procedió a iniciar la fase principal del experimento.

Anexo D

Prueba preliminar - Irradiación a 55W

Nota: Se probó la variedad “Romana” variando la potencia, donde se puede notar que no todas las lámparas están encendidas, además se varió la altura utilizando una cesta para obtener una mayor cercanía a la luz.

Anexo E

Prueba Preliminar-Irradiación a 445 W

Nota: Se probó la potencia total de 445 watts por un menor tiempo para visualizar cambios.

Anexo F

Prueba Preliminar- Irradiación a 220 W

Nota: Se probó la variedad “Kristine” a 220 watts.

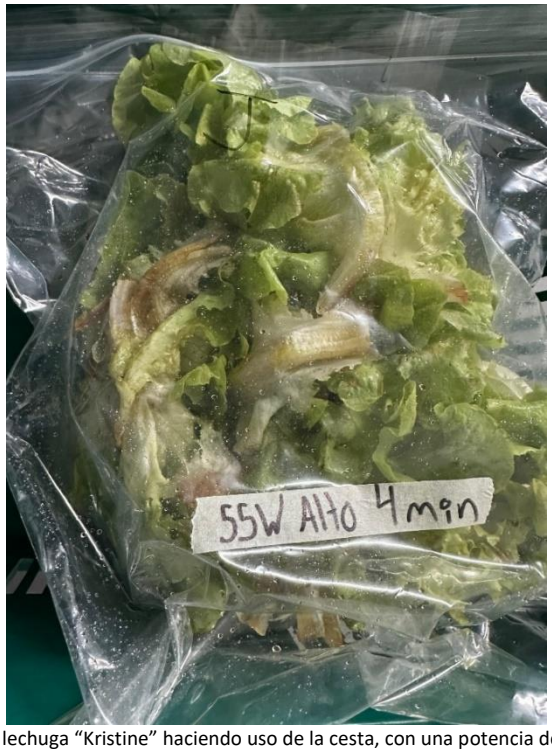
Anexo G

Prueba Preliminar-Lechuga 220 W a 4 min

Nota: Se realizó la irradiación a la lechuga “Romana” haciendo uso de la cesta, con una potencia de 220 watts durante cuatro minutos.

Anexo H

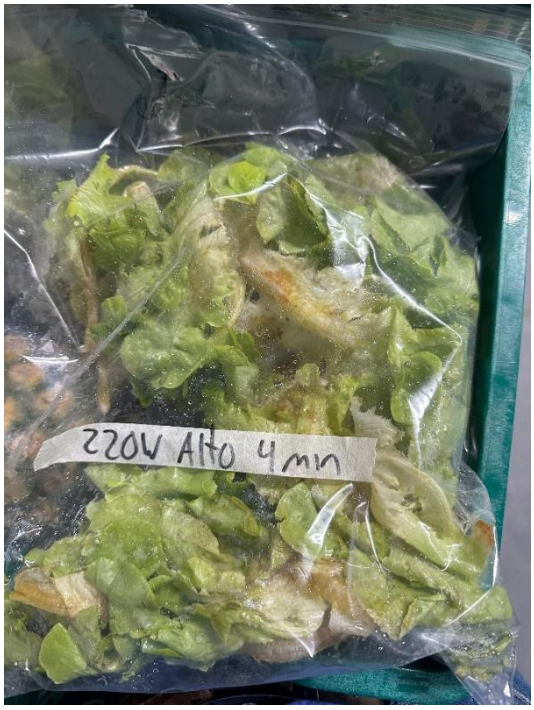
Prueba Preliminar-Lechuga 55 W 4 min



Nota: Se realizó irradiación a la lechuga “Kristine” haciendo uso de la cesta, con una potencia de 55 watts durante cuatro minutos.

Anexo I

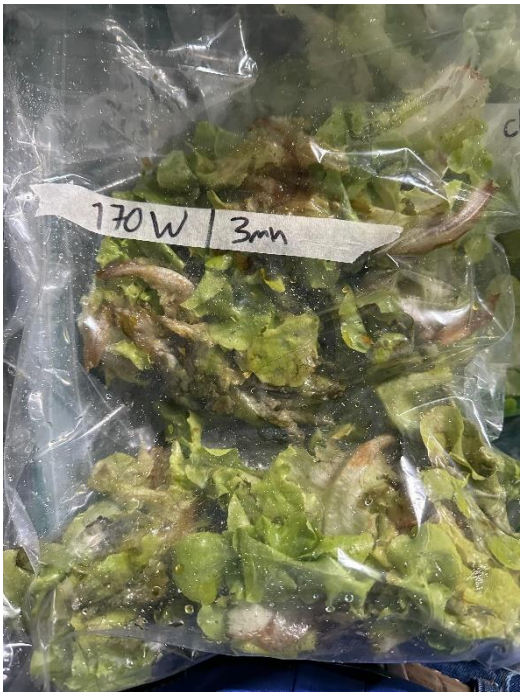
Prueba Preliminar-Lechuga 220 W 4 min



Nota: Se expuso la lechuga “Kristine” haciendo uso de la cesta, con una potencia de 220 watts durante cuatro minutos.

Anexo J

Prueba Preliminar-Lechuga 170 W 3 min



Nota: Se expuso la lechuga “Kristine” con una potencia de 170 watts durante tres minutos.

Anexo K

Prueba Preliminar-Control Cloro

Nota: Control haciendo usa de la lechuga “Romana” con cloro.

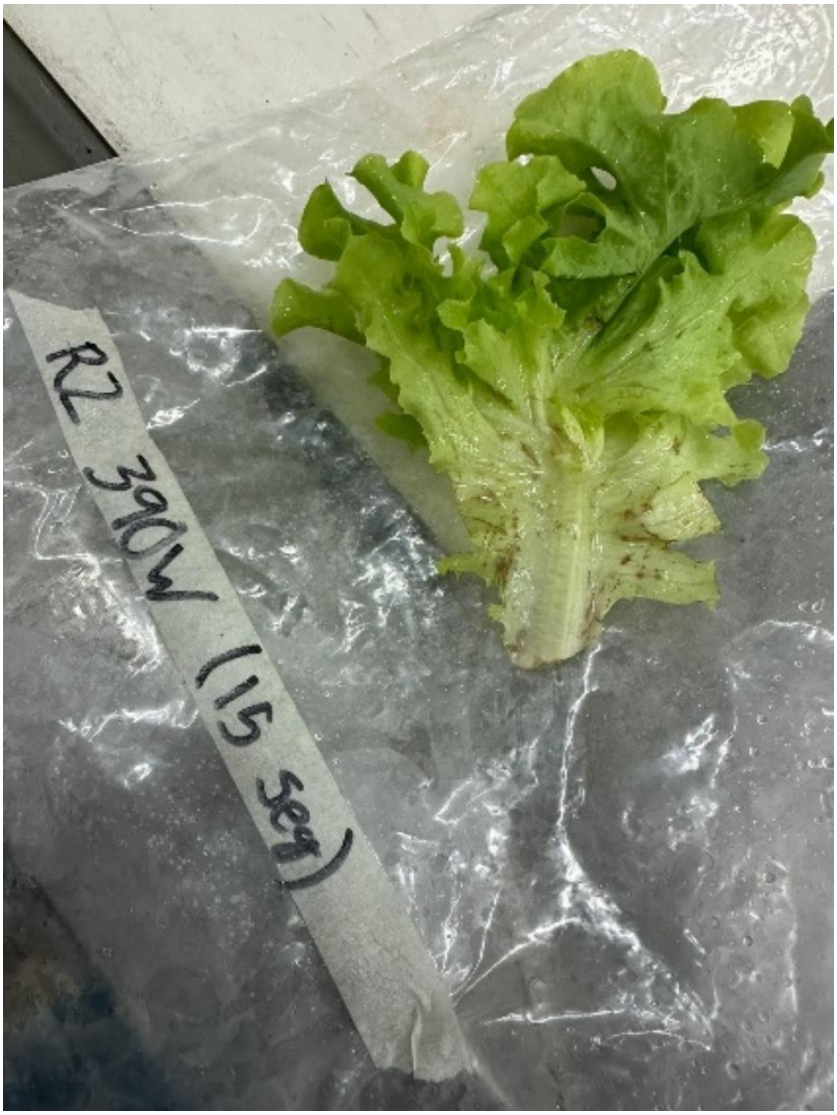
Anexo L

Prueba Preliminar-Daños al tejido vegetal

Nota: Se expuso la lechuga “Kristine” y se observó la aparición de manchas.

Anexo M

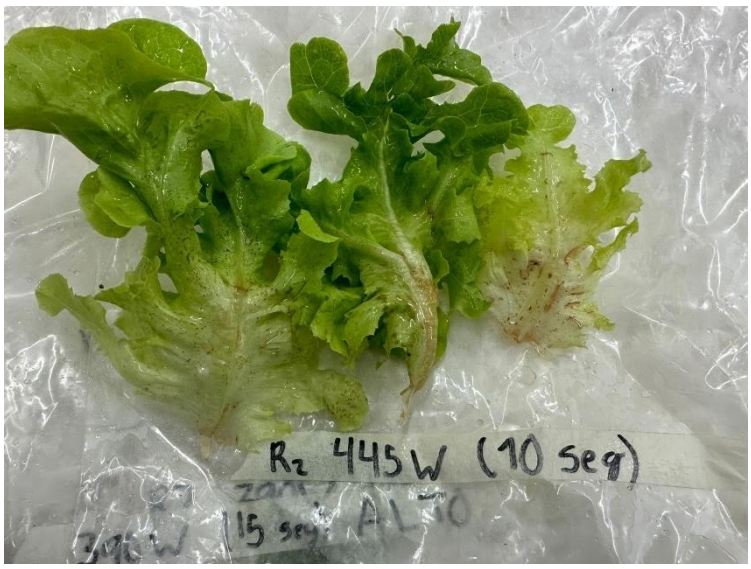
Prueba Preliminar-Daños al tejido 390 W 15 seg



Nota. Se expuso la lechuga “Kristine” a 390 W durante 15 segundos. Se observa daño al tejido vegetal.

Anexo N

Prueba Preliminar-Daños al tejido 445 W 10 seg



Nota: Se expuso la lechuga “Kristine” con una potencia de 445 watts durante 10 segundos.

Anexo O

Prueba Preliminar-Daños al tejido 390 W 15 seg

Nota: Se expuso la lechuga “Kristine” con una potencia de 390 watts durante 15 segundos.

Anexo P

Prueba Preliminar-Lechuga Versai 60 cm de altura

Nota: La lechuga “Versai” no presentó daños al tejido celular al ser expuesta a 225 W durante 15 segundos a 60 cm de altura.

Anexo Q

Portada e Índice de Manual de Procedimiento

Manual de procedimiento para utilizar el túnel de rayos UV-C

Planta de postcosecha Zamorano

Fecha de emisión: 5 de septiembre del 2023

Revisión 1

Aprobado por: