

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



Proyecto Especial de Graduación

**Evaluación de métodos de desinfección en la calidad microbiológica y física
de lechuga (*Lactuca sativa* L. var. Romana) fresca.**

Estudiante

Suyapa Fabiola Rojas Oropel

Asesores

Jorge Cardona Ph.D.

Ligia Luna MSc.

Honduras, noviembre 2023

Autoridades

SERGIO ANDRÉS RODRIGUEZ 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 | 4 |
| Índice de Figuras | 5 |
| Resumen | 6 |
| Abstract | 7 |
| Introducción | 8 |
| Materiales y Métodos | 11 |
| Ubicación de Estudio | 11 |
| Obtención de la Materia Prima | 11 |
| Diseño Experimental | 11 |
| Preparación de las Muestras | 12 |
| Análisis Microbiológicos | 13 |
| Recuento de Bacterias Mesófilas Aerobias | 14 |
| Recuento de Coliformes Totales | 14 |
| Recuento de E. coli | 14 |
| Análisis Físicos | 15 |
| Análisis de Color | 15 |
| Análisis de Textura | 15 |
| Análisis Estadístico | 15 |
| Resultados y Discusión | 16 |
| Análisis Microbiológicos | 16 |
| Textura | 21 |
| Color | 23 |
| Conclusiones | 26 |
| Recomendaciones | 27 |
| Referencias | 28 |

Índice de Cuadros

| | |
|--|----|
| Cuadro 1 Descripción de los Tratamientos | 11 |
| Cuadro 2 Descripción de los Análisis Microbiológicos | 14 |
| Cuadro 3 Resultados de los Conteos de Bacterias Mesófilas Aerobias (BMA) | 16 |
| Cuadro 4 Resultados de los Conteos de Coliformes Totales..... | 17 |
| Cuadro 5 Resultados de los Conteos de Escherichia coli (E. coli) | 19 |
| Cuadro 6 Resultados del Análisis de la Fuerza de Corte (N) | 22 |
| Cuadro 7 Resultados del Análisis de Luminosidad (L*)..... | 23 |
| Cuadro 8 Resultados del Análisis de Matiz | 24 |
| Cuadro 9 Resultados del Análisis de Croma..... | 25 |

Índice de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1 Flujo de Proceso de la Preparación de los Tratamientos | 13 |
|---|----|

Resumen

Las frutas y verduras son fuentes de nutrientes, pero, durante la fase de poscosecha, experimentan cambios que impactan su vida útil. Los procesos de desinfección son necesarios para garantizar la inocuidad de estos productos. Este estudio se centró en evaluar diferentes métodos de desinfección en la calidad microbiológica y física de la lechuga fresca (var. Romana), empleando ácido peracético, bicarbonato de sodio y combinaciones con luz UV-C. Se evaluaron seis tratamientos, con 18 unidades experimentales evaluadas a través del tiempo de almacenamiento al día 0 y 7. Se llevaron a cabo conteos de bacterias mesófilas aerobias, coliformes totales y *E. coli* además de evaluar la calidad física (textura y color) a lo largo del tiempo. Los resultados revelaron una disminución en la carga microbiana en todos los tratamientos en comparación con las lechugas sin desinfección. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas por la acción de los rayos UV-C en las muestras. Se evidenció un cambio de textura por el aumento en la fuerza de corte, relacionado con la pérdida de humedad. Además, se observó un ligero oscurecimiento de las lechugas con el tiempo, lo que afectó su color. La elección de una técnica de desinfección adecuada para reducir la carga microbiológica depende de múltiples factores, como la concentración de la contaminación inicial, la ubicación de los microorganismos, concentración y tiempo de exposición al método desinfectante. Estos hallazgos contribuyen al conocimiento sobre métodos de desinfección de lechuga, que son cruciales para garantizar su inocuidad y calidad en la cadena de suministro alimentario.

Palabras claves: ácido peracético, bacterias, bicarbonato de sodio, luz UV-C, poscosecha.

Abstract

Fruits and vegetables are sources of nutrients, but, during the postharvest phase, they undergo changes that impact their shelf life. Disinfection processes are necessary to guarantee the safety of these products. This study focused on evaluating different disinfection methods on the microbiological and physical quality of fresh lettuce (Romaine var.), using peracetic acid, sodium bicarbonate and combinations with UV-C light. Six treatments were evaluated, with 18 experimental units evaluated throughout the storage time on day 0 and 7. Counts of aerobic mesophilic bacteria, total coliforms and *E. coli* were carried out in addition to evaluating the physical quality (texture and color) at the long of the time. The results revealed a decrease in the microbial load in all treatments compared to lettuces without disinfection. However, no significant differences were found due to the action of UV-C rays in the samples. A change in texture is evident due to the increase in shear force, related to the loss of moisture. In addition, a slight darkening of the lettuce will be observed over time, which affected its color. The choice of an appropriate disinfection technique to reduce the microbiological load depends on multiple factors, such as the concentration of the initial contamination, the location of the microorganisms, the concentration, and the time of exposure to the disinfectant method. These findings contribute to knowledge about lettuce disinfection methods, which are crucial to guarantee its safety and quality in the food supply chain.

Keywords: bacteria, sodium bicarbonate, peracetic acid, postharvest, UVC-light.

Introducción

Las frutas y verduras son fuentes principales de nutrientes esenciales, como las vitaminas A y C, potasio, folato y fibra. Además, las dietas ricas en frutas y verduras están asociadas con un menor riesgo de enfermedades crónicas (Guthrie, 2004). Sin embargo, los productos hortofrutícolas durante su período poscosecha experimentan una serie de cambios, asociados a las reacciones bioquímicas que se llevan a cabo a nivel celular y la interacción con el ambiente condiciona la vida útil y la calidad de estos alimentos (Blandón, 2012). Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2020) (FAO por sus siglas en inglés), la diversa gama y características de las frutas y verduras frescas y su naturaleza intrínsecamente perecedera justifican que se preste especial atención a sus condiciones de producción, la gestión agronómica, el control de plagas y enfermedades, las técnicas de cosecha y los sistemas de manejo poscosecha.

El proceso de comercialización hortofrutícola se encuentra en continuo cambio con toda una serie de innovaciones para atender los gustos de los consumidores y las demandas de calidad e inocuidad alimentaria (Gil et al., 2010). Se ha instado a la industria alimentaria a utilizar tecnologías novedosas para producir alimentos seguros sin efectos perjudiciales para la calidad. A medida que los consumidores exigen alimentos mínimamente procesados de alta calidad, los fabricantes enfrentan nuevos desafíos para desarrollar productos seguros y nutritivos. Uno de los retos de alta prioridad es la detección rápida de patógenos en productos alimenticios (Dávila-Aviña et al., 2015). Por lo tanto, la reducción de microorganismos en frutas y vegetales durante el procesamiento posterior a la cosecha es vital para garantizar la seguridad del consumidor y prolongar la vida útil de las frutas y hortalizas.

La seguridad de los productos frescos y recién cortados es una preocupación de salud generalizada y se puede lograr mediante tratamientos de lavado y desinfección con varios agentes (Karaca et al., 2016). Por esta razón, el estudio del efecto de los agentes antimicrobianos es de vital importancia para el aseguramiento de la inocuidad de los productos frescos y la desinfección es un paso clave para obtener un producto inocuo. Por otro lado, se han desarrollado nuevas tecnologías de

preservación denominadas comúnmente tecnologías emergentes con el fin de desarrollar productos de alta calidad asegurando al mismo tiempo la inocuidad de su consumo (Schenk, 2010).

En diferentes estudios se ha observado que los tratamientos con luz ultravioleta UV-C (190-280 nm) ofrecen nuevas alternativas para el control de patógenos en poscosecha (González-Aguilar et al., 2005). Los tratamientos con irradiación UV-C inactivan los microorganismos principalmente debido a la inducción de la formación de dímeros de pirimidina que alteran las hélices de ADN y los bloques de replicación de las células microbianas, que destruyen la capacidad de reproducción y otras funciones de la célula (Márquez y Pretell, 2013). Sin embargo, los resultados obtenidos hasta el momento sugieren que el enfoque más adecuado para la aplicación industrial del tratamiento con luz UV-C es la combinación con otros tratamientos, buscando el establecimiento de interacciones sinérgicas entre ellos (Millán Villarroel et al., 2015).

Uno de los agentes químicos usado de forma común en la desinfección de frutas y verduras es el ácido peracético. Este compuesto se considera una alternativa a los procesos de desinfección que comúnmente emplean el cloro, ya que es menos tóxico y tiene mejor efecto antimicrobiano. Este ácido tiene un gran potencial bactericida ya que daña y altera la permeabilidad de la membrana y pared celular de los microorganismos (Ocampo-Rodríguez et al., 2022). Por otro lado, el bicarbonato de sodio es un desinfectante que se puede usar en el procesamiento de alimentos porque es seguro para humanos y es rentable (Kasai et al., 2011).

La lechuga (*Lactuca sativa L.*) de la familia Compositae, es una hortaliza de gran importancia a nivel nacional e internacional (Martínez y Gárces, 2010). La lechuga es única entre las hortalizas y se consume prácticamente en fresco, principalmente en ensalada. Sin embargo, la lechuga es muy perecible por su gran superficie foliar, susceptible a una deshidratación rápida (Valencia, 1995). De igual forma, las verduras de hojas verdes contaminadas con *E. coli O157:H7* son un importante problema de salud pública y fueron la fuente de 40 brotes en los Estados Unidos y Canadá de 2009 a 2018 (Irvin et al., 2021). Los alimentos de consumo crudo, como la lechuga, presentan un mayor riesgo

para la transmisión patógenos, pues no existe una etapa de procesamiento posterior que elimine las cargas microbianas iniciales (Barrantes y Achí, 2011).

Por esta razón, los objetivos de la presente investigación fueron: Evaluar métodos de desinfección en la calidad microbiológica y física de lechuga (*Lactuca sativa* var. Romana) fresca, determinar el efecto del uso del ácido peracético o bicarbonato de sodio como agente antimicrobiano en la calidad microbiológica y física de la lechuga y determinar el efecto de tratamientos de luz UV-C en combinación con ácido peracético o bicarbonato de sodio en la calidad microbiológica y física de la lechuga romana.

Materiales y Métodos

Ubicación de Estudio

El estudio se llevó a cabo en la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, en las instalaciones de la Planta Hortofrutícola Poscosecha. El recuento de microorganismos se realizó en el Laboratorio de Microbiología (LMAZ) y el análisis de color y textura se realizó en el Laboratorio de Análisis de Alimentos (LAAZ). Todas las locaciones se encuentran ubicadas en el Departamento de Francisco Morazán, Honduras.

Obtención de la Materia Prima

Las lechugas de variedad romana fueron obtenidas del módulo de Olericultura Extensiva de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. El trasplante de la lechuga se realizó 23 días después de la siembra. La cosecha fue realizada 40 días después del trasplante, en donde se aseguró que la lechuga estuviera libre de daños mecánicos, daños por plagas y enfermedades. Posteriormente a la cosecha, las lechugas fueron trasladadas a la Planta Hortofrutícola Poscosecha de Zamorano en donde se realizó el estudio para su inmediato manejo y procesamiento.

Diseño Experimental

Se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con tres repeticiones y se evaluaron con 6 tratamientos y 1 tratamiento control y con medidas repetidas en el tiempo en el día 0 y día 7 de almacenamiento (Cuadro 1).

Cuadro 1

Descripción de los Tratamientos

| Descripción | No. Tratamiento | Tratamiento |
|------------------------------------|-----------------|-------------------------------|
| Sin aplicación de tratamiento UV-C | Control | Muestra de Campo |
| | 1 | Lavado con Agua |
| | 2 | Ácido peracético (60 ppm) |
| Aplicación de tratamiento UV-C | 3 | Bicarbonato de Sodio (60 ppm) |
| | 4 | Lavado con Agua |
| | 5 | Ácido peracético (60 ppm) |
| | 6 | Bicarbonato de Sodio (60 ppm) |

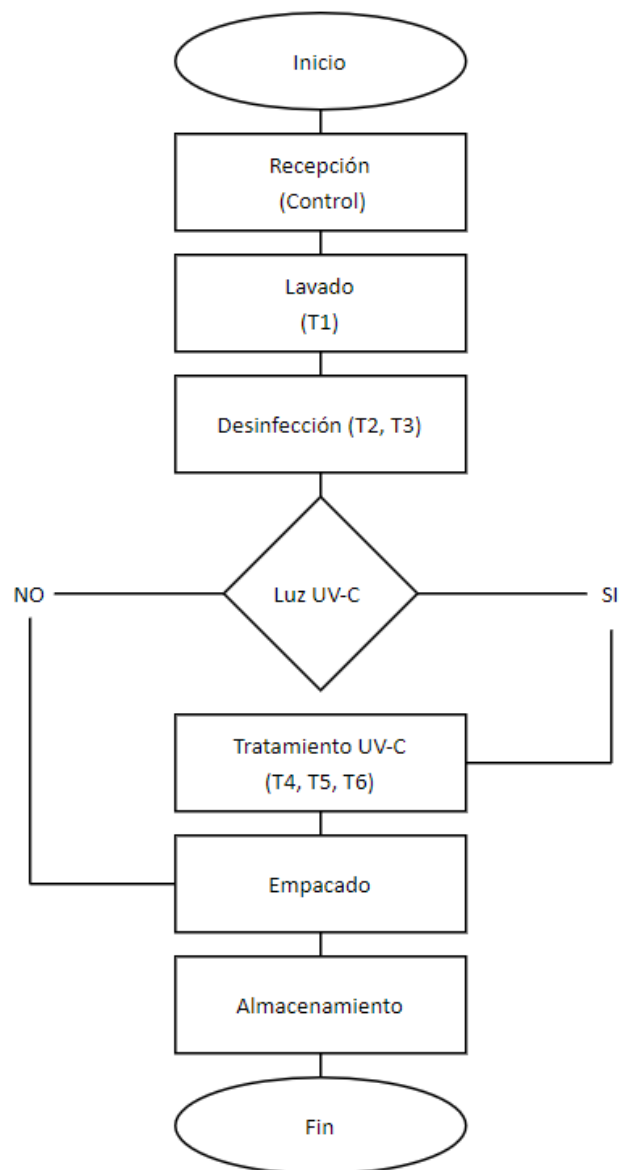
Nota. ppm: partes por millón.

Preparación de las Muestras

Para la preparación de las muestras el primer paso fue la recepción de la lechuga fresca en la Planta Poscosecha (Figura 1). Luego, se realizó la selección en donde se inspeccionó que la lechuga no tuviera ningún tipo de daño fisiológico o mecánico. De igual forma, se seleccionó la lechuga por color y tamaño con el fin de obtener muestras homogéneas. Posteriormente, las lechugas pasaron por el proceso de lavado en donde se sumergieron en una pila de agua potable. Después del lavado, las lechugas fueron sumergidas en ácido peracético (60 ppm) o bicarbonato de sodio (60 ppm) según el método de desinfección correspondiente para cada tratamiento. Posteriormente, la mitad de los tratamientos de lechugas pasaron por el tratamiento de Luz UV-C a 55 W por 60 segundos por el haz y envés de las hojas, usando el equipo Túnel Manual de Soluciones UV. Finalmente, las lechugas fueron empacadas en bolsas de polietileno con cierre tipo zip y almacenadas a 4 °C durante 7 días.

Figura 1

Flujo de Proceso de la Preparación de los Tratamientos



Nota. T1: Lavado con agua; T2: Desinfección con ácido peracético; T3: desinfección con bicarbonato de sodio; T4: Lavado con agua + Luz UV-C; T5: Desinfección con bicarbonato de sodio + Luz UV-C; T6: Desinfección con ácido peracético + Luz UV-C.

Análisis Microbiológicos

Para cada análisis de las muestras se usaron 10 g de lechuga por tratamiento y se disolvieron en una bolsa estéril con 90 ml de agua peptonada 0.1%. Luego de esto se procedió a realizar una dilución en tubos de ensayo que contenían 9 ml de buffer de fosfato, hasta alcanzar una dilución de 10^{-3} . Se inoculó usando la técnica de vaciado en placa de 1 ml para cada dilución (10^{-1} , 10^{-2} y 10^{-3}) e incubó en su respectivo agar (Cuadro 2) por el tiempo determinado para los microorganismos de

interés. Estos análisis fueron realizados según el Compendio de métodos para los análisis microbiológicos de alimentos (Salfinger y Tortorello, 2015).

Cuadro 2

Descripción de los Análisis Microbiológicos

| Microorganismo | Medio de Cultivo | Condiciones de incubación |
|------------------------------|----------------------|----------------------------|
| Bacterias mesófilas aerobias | Agar Cuenta Estándar | 35 ± 1 °C durante 48 horas |
| Coliformes totales | ABRV | 35 ± 1 °C durante 24 horas |
| <i>E. coli</i> | ABRV + MUG | 35 ± 1 °C durante 24 horas |

Nota. ABRV: Agar Bilis Rojo Violeta; MUG: 4-metilumbeliferilβ-D-glucurónico. Basado en Salfinger y Tortorello (2015).

Recuento de Bacterias Mesófilas Aerobias

Se utilizó Agar Cuenta Estándar (ACE) como medio de crecimiento. El volumen para inocular fue de 1 ml para cada dilución en un plato Petri estéril y se inculó usando la técnica de vaciado en placa con 15 ml aproximadamente de ACE y se esperó para que el agar solidificara. Se incubó por 48 horas a una temperatura de 35 °C. Luego de este tiempo se realizó el conteo de los UFC/g presentes en cada plato Petri.

Recuento de Coliformes Totales

Se utilizó agar de Bilis Rojo Violeta (ABRV) como medio de crecimiento. El volumen para inocular fue de 1 ml para cada dilución en un plato Petri estéril y después se vertieron 15 ml ABRV, luego de que este se solidificara se incubó por 24 horas a 35 °C, luego de este tiempo se procedió al conteo de las unidades formadoras de colonias (UFC/g).

Recuento de *E. coli*.

Se utilizó agar de Bilis Rojo Violeta- MUG (ABRV- MUG) como medio de crecimiento. El volumen para inocular fue de 1 ml para cada dilución en un plato Petri estéril y después se vertieron 15 ml ABRV- MUG, luego de que este se solidificara se vertió de 5-6 ml más de ABRV- MUG. Se incubó por 24 horas a 35 °C, luego de este tiempo se procedió al conteo de las unidades formadoras de colonias (UFC/g).

Análisis Físicos

Análisis de Color

La medición de color se realizó con la aplicación "Color Assistant". Para cada muestra se tomó una fotografía a una distancia de aproximadamente 5 cm. Todas las muestras se tomaron bajo las mismas condiciones para evitar diferencias de luminosidad, distancia y ángulo en las fotografías. En este caso los valores dados por la aplicación fueron R, G y B, los cuales fueron convertidos a valores L, matiz y croma.

Análisis de Textura

En el análisis de textura fuerza necesaria para romper una muestra de lechuga en las unidades de Newton, empleando el texturómetro Brookfield CT3 4500. Se utilizaron muestras con una dimensión de 25×50 mm. Los ganchos utilizados fueron los TA- WSP. Se realizó con una carga de activación de 0.5 Newton, a una velocidad de 1 mm/s y un valor meta de 30 mm.

Análisis Estadístico

Para la realización de las evaluaciones experimentales se utilizó el programa "Statistical Analysis System" (SAS versión 9.4). Se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) con una separación de medias LSMEANS. Todos los análisis se realizaron con una significancia del 95 %.

Resultados y Discusión

Análisis Microbiológicos

En el recuento de bacterias mesófilas aerobias se encontraron diferencias estadísticas entre tratamientos en el día 0 y día 7 de almacenamiento de la lechuga (Cuadro 3). En el día 0 y 7, el tratamiento que presentó un recuento menor de bacterias mesófilas fue el tratamiento de ácido peracético en combinación con luz UV-C.

Cuadro 3

Resultados de los Conteos de Bacterias Mesófilas Aerobias (BMA)

| Tratamientos | Días de Almacenamiento (Log UFC/g + D.E.) | | |
|--------------|--|----------------------------|----------------------------|
| | 0 | 7 | |
| Sin Luz UV-C | Muestra de Campo | 4.32 ± 0.08 ^{ax} | 4.27 ± 0.09 ^{ax} |
| | Lavado con agua | 3.80 ± 0.23 ^{abx} | 4.08 ± 0.03 ^{ax} |
| | Bicarbonato de Sodio | 3.89 ± 0.21 ^{abx} | 2.80 ± 1.57 ^{bcy} |
| | Ácido peracético | 2.52 ± 0.39 ^{bcx} | 2.44 ± 0.37 ^{bcx} |
| Con Luz UV-C | Lavado con agua | 3.63 ± 0.56 ^{abx} | 3.01 ± 0.11 ^{bx} |
| | Bicarbonato de Sodio | 3.13 ± 0.05 ^{bx} | 2.23 ± 0.13 ^{bcx} |
| | Ácido peracético | 2.12 ± 0.97 ^{cx} | 1.98 ± 0.85 ^{cx} |
| CV % | 11.2 | 21.0 | |

Nota. UFC: Unidades formadoras de colonias; CV: Coeficiente de Variación expresado en porcentaje. D.E.: Desviación estándar de tres repeticiones; a-b: Medias en la misma columna con distinta letra minúscula denotan diferencia significativa entre tratamiento (P<0.05). x-y: Medias en la misma fila con distinta letra minúscula denotan diferencia significativa entre días (P<0.05).

Las bacterias mesófilas aerobias son usadas como un indicador de las características higiénicas del alimento. Cuanta mayor presencia de microorganismos aerobios totales se perjudicará la calidad del alimento (González, 2018). Un estudio realizado por Shynkaryk et al. (2015) reportaron recuentos de BMA similares a los del presente estudio, reportando un total de 3.2 Log UFC/g en lechuga romana, concluyendo que los bajos recuentos se deben al proceso de lavado en poscosecha.

La luz UV-C mostró diferencias estadísticas entre el tratamiento de campo en la carga microbiana de los mesófilos aerobios. De igual forma, no se encontraron diferencias estadísticas a través del tiempo en los tratamientos. La exposición inicial de las bacterias a los rayos UV-C daña células. A medida que se reciben dosis crecientes de luz ultravioleta, surgen mutaciones en el código del ADN a medida que las bases de pirimidina vecinas comienzan a formar enlaces cruzados que impiden la replicación celular (Yaun et al., 2003). Este estrés generado en los microorganismos hace

que se retarde su fase de reproducción. Sin embargo, debido a las diferencias entre las hojas de lechuga muestreadas no se puede comprobar si la dinámica de las bacterias mesófilas aerobias a través del tiempo se debe a la aplicación de luz UV-C en dichos tratamientos.

En el análisis de coliformes totales, se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos en el día 0 y día 7. En el Cuadro 4, se observa que el tratamiento de campo presentó el mayor conteo de coliformes totales en el día 0 y 7 de almacenamiento. Debido a sus características naturales y al contacto con el suelo, el agua de riego y la intrusión animal, varios estudios han demostrado que las hortalizas de hojas verdes presentan frecuentemente contaminación por coliformes (Oyinlola et al., 2017).

Cuadro 4

Resultados de los Conteos de Coliformes Totales

| Tratamientos | Días de Almacenamiento (Log UFC/g + D.E.) | | |
|--------------|--|---------------------------|---------------------------|
| | 0 | 7 | |
| Sin Luz UV-C | Muestra de Campo | 2.96 ± 0.68 ^{ax} | 2.73 ± 0.42 ^{ax} |
| | Lavado con agua | 1.38 ± 0.66 ^{bx} | 1.45 ± 0.77 ^{bx} |
| | Bicarbonato de Sodio | <1 ± 0.00 ^{cx} | <1 ± 0.00 ^{cx} |
| | Ácido peracético | <1 ± 0.00 ^{cx} | <1 ± 0.00 ^{cx} |
| Con Luz UV-C | Lavado con agua | <1 ± 0.00 ^{cx} | <1 ± 0.00 ^{cx} |
| | Bicarbonato de Sodio | <1 ± 0.00 ^{cx} | <1 ± 0.00 ^{cx} |
| | Ácido peracético | <1 ± 0.00 ^{cx} | <1 ± 0.00 ^{cx} |
| CV % | 31.6 | 26.5 | |

Nota. UFC: Unidades formadoras de colonias; Coeficiente de Variación expresado en porcentaje. D.E.: Desviación estándar de tres repeticiones; a-b: Medias en la misma columna con distinta letra minúscula denotan diferencia significativa entre tratamiento (P<0.05). x-y: Medias en la misma fila con distinta letra minúscula denotan diferencia significativa entre días (P<0.05).

Zhang et al. (2018) reportó conteos de coliformes de <1 log UFC/g para diferentes categorías de lechuga romana. Otro estudio realizado por Mohammad et al. (2022) reportó conteos de coliformes de 2.8 ± 0.3 log UFC/g. La diferencia entre los resultados entre distintas publicaciones puede deberse al tamaño de la muestra y las diferencias entre condiciones de producción (Zhang et al., 2018). Por otra parte, la microbiota inicial de la lechuga es única y puede variar en dependencia de la hoja y del área muestreada.

De igual manera, el tratamiento de lavado con agua presentó diferencias significativas con los demás tratamientos de desinfección evaluados en este estudio, presentando conteos mayores que

los de tratamientos con desinfectantes y sus combinaciones con luz UV-C en el día 0 y 7. El objetivo principal del lavado es eliminar tierra y restos vegetales. Al mismo tiempo, mediante este proceso se logra una importante disminución de la carga microbiana que las materias primas traen superficialmente, sin embargo, no es un método de eliminación de microorganismos (Rovallo, 2020).

En cambio, los tratamientos de desinfección no presentaron diferencias estadísticas entre ellos, pero si se encontraron diferencias estadísticas con el tratamiento de campo y el tratamiento de lavado con agua. Por lo tanto, el ácido peracético y el bicarbonato de sodio, y sus combinaciones con irradiación UV-C resultaron efectivos para la reducción de la carga microbiana.

El mecanismo de acción del ácido peracético se basa en la oxidación de los componentes estructurales y funcionales de los microorganismos. De igual forma, atraviesa la membrana plasmática de los microorganismos y oxida los componentes, destruyendo el sistema enzimático. Una de las principales ventajas de este desinfectante es que no pierde su efecto biocida aun en presencia de cierta contaminación con materia orgánica (Aguayo et al., 2017). Por lo tanto, en combinación con luz UV-C resultó efectivo para la disminución de coliformes totales. De igual forma, el bicarbonato de sodio es usado como un desinfectante usado comúnmente en los hogares. Sin embargo, no demuestran una disminución sustancial en el recuento microbiano (Kaushik et al., 2020).

Con respecto a los tratamientos a través del tiempo, ninguno presentó diferencias significativas en el almacenamiento en el recuento de coliformes. Esto se debe a que los microorganismos, en su mayoría mesófilos, no muestran crecimiento apreciable a temperaturas de refrigeración correctas (Cantos y Pincay, 2014).

La aplicación de los diferentes tratamientos de lavado y desinfección tuvieron diferencias significativas en el día 0 y 7 en el recuento de *Escherichia coli*. De igual forma, estadísticamente se encontró interacción entre el tratamiento y la reducción de *E. coli*. El tratamiento de campo presentó un mayor conteo de *E. coli* con respecto a los demás tratamientos. Por lo tanto, el uso de bicarbonato de sodio y ácido peracético, más la combinación de estos con luz UV-C tuvieron un impacto en la reducción de la carga microbiana de las bacterias (Cuadro 5). Sin embargo, el tratamiento de lavado

con agua también presentó un efecto en la disminución de dicha carga, lo que dificulta la comprobación del poder desinfectante de los demás tratamientos.

Cuadro 5

Resultados de los Conteos de *Escherichia coli* (*E. coli*)

| Tratamientos | Días de Almacenamiento (Log UFC/g + D.E.) | | |
|--------------|--|---------------------------|---------------------------|
| | 0 | 7 | |
| | Muestra de Campo | 1.25 ± 0.42 ^{ax} | 1.18 ± 0.32 ^{ay} |
| Sin Luz UV-C | Lavado con agua | <1 ± 0.00 ^{bx} | <1 ± 0.00 ^{bx} |
| | Bicarbonato de Sodio | <1 ± 0.00 ^{bx} | <1 ± 0.00 ^{bx} |
| | Ácido peracético | <1 ± 0.00 ^{bx} | <1 ± 0.00 ^{bx} |
| | Lavado con agua | <1 ± 0.00 ^{bx} | <1 ± 0.00 ^{bx} |
| Con Luz UV-C | Bicarbonato de Sodio | <1 ± 0.00 ^{bx} | <1 ± 0.00 ^{bx} |
| | Ácido peracético | <1 ± 0.00 ^{bx} | <1 ± 0.00 ^{bx} |
| CV % | 15.6 | 11.9 | |

Nota. UFC: Unidades formadoras de colonias; CV: Coeficiente de Variación expresado en porcentaje. D.E.: Desviación estándar de tres repeticiones; a-b: Medias en la misma columna con distinta letra minúscula denotan diferencia significativa entre tratamiento (P<0.05). x-y: Medias en la misma fila con distinta letra minúscula denotan diferencia significativa entre días (P<0.05).

Sin embargo, es de suma importancia el uso de agentes desinfectantes en el agua de lavado de las frutas y hortalizas ya que además de conseguir una reducción de la carga superficial, logra evitar la contaminación cruzada. Los agentes desinfectantes mencionados anteriormente tienen gran efectividad en reducir la carga microbiana en suspensión en agua. De esta forma la flora removida de los productos por acción mecánica es destruida en contacto con el desinfectante, evitando que otro producto se contamine (Garmendia y Vero, 2006).

El lavado es un proceso que consiste en la reducción superficial de los microorganismos presentes en la superficie producto y todo material extraño (tierra, restos de hojas, insectos, etc.) (Van de Velde et al., 2019). Sin embargo, un proceso de lavado no asegura la eliminación de microorganismos patógenos por lo que son necesarios tratamientos posteriores para el aseguramiento de la calidad microbiológica de los alimentos.

Una investigación realizada por Bhullar et al. (2021) reportó una concentración inicial de 2.28 log UFC/cm² en el día 0 y 1.64 log UFC/cm² después de siete días en almacenamiento en lechuga romana. Así mismo, resalta la importancia de la ubicación específica del muestro del producto para la

detección de *E. coli* debido de que las concentraciones de microorganismos varían según el área de la hoja muestreada.

La radiación UV-C brinda una respuesta satisfactoria como medio de conservación, ofreciendo productos microbiológicamente seguros y con atributos sensoriales muy parecidos al alimento fresco (González-Aguilar et al., 2005; Haro y Guerrero, 2013). No obstante, debido a su bajo poder de penetración, su eficacia es muy limitada ya que está muy influenciada por la carga de materia orgánica presente en la superficie del producto (Gil et al., 2009). Por lo tanto, el tratamiento que incluye una fase de lavado antes de la irradiación UV-C contribuye a la eliminación de la materia orgánica para mejorar la eficiencia de la luz UV-C sobre la lechuga.

Por otro lado, los tratamientos de lavado y desinfección no tuvieron diferencias significativas a través del tiempo, por lo que todos contribuyen al mantenimiento de la calidad microbiológica durante el almacenamiento. Por el contrario, el tratamiento control presentó diferencias a través del tiempo, siendo la concentración en el día 7 menor a la del día 0. Durante el almacenamiento en refrigeración las bacterias tienen a retardar su fase de crecimiento y reproducción debido a la temperatura de almacenamiento. Según Caycedo Lozano et al. (2021), a temperaturas bajas, el metabolismo celular de las bacterias se retarda y las células paran de crecer, sin embargo, no mueren.

El Reglamento Técnico Centroamericano de Criterios Microbiológicos (67.04.50:17, 2018) no establece un límite crítico para *E. coli* en frutas y verduras. No obstante, la presencia de coliformes totales y *E. coli* en los alimentos puede ser un indicador de la presencia de otros patógenos que pueden causar enfermedades transmitidas por alimentos en los seres humanos, causando alteraciones gastrointestinales como diarrea, náuseas, vómito y fiebre. Por lo tanto, la evaluación y control de los niveles de *E. coli* y en los alimentos es esencial para prevenir la contaminación y reducir el riesgo de enfermedades transmitidas por alimentos en los seres humanos (Salgado et al., 2014). Es importante destacar que la lechuga puede contaminarse con *E. coli* en cualquier momento desde campo hasta la poscosecha. Esta bacteria es capaz de sobrevivir en muchas condiciones ambientales debido a una variedad de mecanismos, como la adhesión a las superficies (Luna, 2012).

Los métodos de desinfección analizados en este estudio presentaron diferencias en la carga microbiana de bacterias mesófilas aerobias, coliformes y *E. coli* con respecto al tratamiento de campo. Sin embargo, para el caso de la luz UV-C, el FDA ha regulado la aplicación de luz UV-C para alimentos en los que se deben reducir al menos cinco ciclos logarítmicos de patógenos (Castro-Díaz y Guerrero-Beltrán, 2021). En este estudio, no se logró demostrar que la luz UV-C es efectiva para el control de microorganismos, ni que es capaz de reducir la carga establecida por el FDA, debido a los diferentes factores de variabilidad en el estudio.

La selección de una técnica adecuada de desinfección para reducir la carga microbiológica de frutas y hortalizas depende de muchos factores tales como la carga microbiana inicial en la superficie de los productos, la superficie a tratar, el tipo de desinfectante, ubicación de microorganismos contaminantes, concentración, tiempo y temperatura de exposición al desinfectante (García-Robles et al., 2017).

Textura

La fuerza de corte de la lechuga no presentó diferencias estadísticas en el día 0 y 7 de almacenamiento como se presenta en el Cuadro 6. Sin embargo, se observaron diferencias significativas entre los tratamientos a través del tiempo. (Martín-Diana et al., 2006) explica que la firmeza está directamente relacionada con la pérdida de agua que experimentan las hortalizas como consecuencia de la transpiración. De igual forma, Portillo (2014) menciona que existen dificultades para determinar las diferencias de textura entre los tratamientos debido a que existe una variabilidad en el experimento por la diferencia en el tamaño y grosor de la hoja.

Cuadro 6*Resultados del Análisis de la Fuerza de Corte (N)*

| Tratamientos | | Días de Almacenamiento (N + D.E.) | |
|--------------|----------------------|--------------------------------------|----------------------------|
| | | 0 | 7 |
| Sin Luz UV-C | Lavado con agua | 21.16 ± 5.58 ^{abx} | 37.76 ± 4.97 ^{ay} |
| | Bicarbonato de Sodio | 19.22 ± 2.97 ^{abx} | 35.98 ± 3.23 ^{ay} |
| | Ácido peracético | 22.84 ± 1.57 ^{ax} | 32.23 ± 5.80 ^{ay} |
| Con Luz UV-C | Lavado con agua | 19.02 ± 3.58 ^{bx} | 33.57 ± 4.23 ^{ay} |
| | Bicarbonato de Sodio | 21.16 ± 4.12 ^{abx} | 36.11 ± 3.91 ^{ay} |
| | Ácido peracético | 21.60 ± 6.85 ^{abx} | 33.18 ± 3.84 ^{ay} |
| CV % | | 19.4 | 12.0 |

Nota. N: Newton; CV: Coeficiente de Variación expresado en porcentaje. D.E.: Desviación estándar de tres repeticiones; a-b: Medias en la misma columna con distinta letra minúscula denotan diferencia significativa entre tratamiento ($P < 0.05$). x-y: Medias en la misma fila con distinta letra minúscula denotan diferencia significativa entre días ($P < 0.05$).

Así mismo, la lechuga romana presenta hojas largas y rígidas con una nervadura central prominente (Shi et al., 2022). Esta nervadura hace que la lechuga tenga una característica de firmeza y fresca. De igual forma, la presencia de calcio (Ca) en la lechuga aumenta en la textura, debido a una mayor fortaleza de la pared celular (Luna, 2012). Por otro lado, el tiempo de almacenamiento introduce cierta degradación en la lechuga, caracterizada principalmente por la pérdida de textura (Agüero et al., 2010). De igual forma, los cambios en textura causados por la pérdida de humedad cambian la turgencia de las células causando que las hojas de la lechuga se vuelvan blandas y pierdan su frescura (Prakash et al., 2000).

El uso de la luz UV-C no presentó diferencias significativas entre los diferentes tratamientos en el día 0 y 7 por lo que uso de esta tecnología no afecta la textura de la lechuga. Sin embargo, se encontraron diferencias estadísticas a través del tiempo. Allende y Artés (2003) realizaron experimentos de UV-C con lechuga reportando un aumento en la textura de la lechuga que se atribuyó a posibles procesos similares a la lignificación inducidos por la tejido de lechuga para protegerse contra el estrés UV-C. Por otra parte, se supone que la exposición a luz UV promueve la modificación de la estructura celular de la fruta, lo cual conduce a la ruptura de las membranas de las células y favorece la deshidratación progresiva de la muestra (Millán Villarroel et al., 2015).

Color

El color y la apariencia son importantes atributos de calidad para los consumidores cuando seleccionan frutos y vegetales frescos (Esparza-Rivera et al., 2013). Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados en el día 0 y 7 en luminosidad (Cuadro 7). La luminosidad representa la claridad de los colores, esta diferencia observada entre tratamientos es parte de la variabilidad entre colores que se presenta de una muestra otra.

Cuadro 7

Resultados del Análisis de Luminosidad (L^*)

| Tratamientos | Días de Almacenamiento ($L^* \pm D.E.$) | | |
|--------------|--|---------------------------------|---------------------------------|
| | 0 | 7 | |
| Sin Luz UV-C | Lavado con agua | 47.25 \pm 6.59 ^{ax} | 40.73 \pm 3.71 ^{by} |
| | Bicarbonato de Sodio | 43.82 \pm 5.79 ^{abx} | 41.55 \pm 3.67 ^{bx} |
| | Ácido peracético | 42.24 \pm 3.62 ^{bx} | 42.98 \pm 2.36 ^{bx} |
| Con Luz UV-C | Lavado con agua | 41.10 \pm 3.25 ^{bx} | 46.71 \pm 4.74 ^{aby} |
| | Bicarbonato de Sodio | 42.36 \pm 5.59 ^{bx} | 45.84 \pm 8.11 ^{bx} |
| | Ácido peracético | 43.49 \pm 4.73 ^{abx} | 49.10 \pm 8.21 ^{ay} |
| CV % | 11.8 | 12.0 | |

Nota. L^* : Luminosidad; CV: Coeficiente de Variación expresado en porcentaje. D.E.: Desviación estándar de tres repeticiones; a-b: Medias en la misma columna con distinta letra minúscula denotan diferencia significativa entre tratamiento ($P < 0.05$). x-y: Medias en la misma fila con distinta letra minúscula denotan diferencia significativa entre días ($P < 0.05$).

El tratamiento de lavado con agua y control fueron los únicos que presentaron diferencias a través del tiempo en luminosidad. Un estudio realizado por Manolopoulou et al. (2010) reportó valores de luminosidad en lechuga romana de 46.59 ± 2 y cambios mínimos durante el almacenamiento, similares a los valores encontrados en esta investigación. Según el autor, la tendencia general es una ligera disminución en la luminosidad. Por otro lado, la senescencia y proliferación bacteriana provocan un oscurecimiento del tejido de la lechuga, lo que explica la reducción de luminosidad después de cierto tiempo en almacenamiento. Otra de las reacciones que causa el oscurecimiento de las hojas a través del tiempo es oxidación fenólica causada por la enzima polifenol oxidasa (Prakash et al., 2000). El uso de la luz UV-C en combinación con el ácido peracético y el bicarbonato de sodio, no presentaron diferencias significativas entre los demás tratamientos desinfectantes. Sin embargo, presentaron una luminosidad mayor al tratamiento de lavado con agua.

En el análisis de Matiz no se encontraron diferencias estadísticas entre los tratamientos en el día 0 (Cuadro 8). Sin embargo, se observó una diferencia significativa entre los tratamientos en el día 7. Es importante destacar que, las hojas exteriores de la lechuga romana son de color verde medio, mientras que las hojas interiores son de color blanco verdoso en el centro. Por lo tanto, la variabilidad de las hojas junto con otros factores como el estado de madurez se vuelven una limitante en el análisis homogéneo del color. A través del tiempo en el tratamiento de lavado con agua y bicarbonato de sodio presentaron diferencias estadísticas a través del tiempo.

Cuadro 8

Resultados del Análisis de Matiz

| Tratamientos | | Días de Almacenamiento (Matiz + D.E.) | |
|--------------|----------------------|--|------------------------------|
| | | 0 | 7 |
| Sin Luz UV-C | Lavado con agua | 118.11 ± 1.76 ^{ax} | 119.44 ± 0.72 ^{aby} |
| | Bicarbonato de Sodio | 119.11 ± 1.05 ^{ax} | 118.44 ± 1.23 ^{by} |
| | Ácido peracético | 119.00 ± 0.86 ^{ax} | 119.22 ± 1.30 ^{abx} |
| Con Luz UV-C | Lavado con agua | 118.67 ± 1.87 ^{ax} | 118.22 ± 0.97 ^{bx} |
| | Bicarbonato de Sodio | 118.89 ± 1.05 ^{ax} | 119.78 ± 1.48 ^{ax} |
| | Ácido peracético | 119.22 ± 1.09 ^{ax} | 119.33 ± 1.50 ^{abx} |
| CV % | | 1.14 | 1.05 |

Nota. CV: Coeficiente de Variación; D.E.: Desviación estándar de tres repeticiones; a-c: Medias en la misma columna con distinta letra minúscula denotan diferencia significativa entre tratamiento ($P < 0.05$). x-y: Medias en la misma fila con distinta letra minúscula denotan diferencia significativa entre días ($P < 0.05$).

Los resultados de este estudio concuerdan con los de Manolopoulou et al. (2010) quienes indican que el valor de matiz es 118.65 ± 2.5 . De igual forma, estos autores identificaron un ligero cambio a través de los días de almacenamiento y que este cambio se debe al oscurecimiento de tejidos. La aplicación de la luz UV-C no mostró diferencias significativas entre los tratamientos en el día 0. Sin embargo, en el día 7, el tratamiento de bicarbonato de sodio en combinación con luz UV-C presentó el valor más alto de matiz.

El análisis de croma indicó que no existen diferencias estadísticas entre los valores de croma entre los tratamientos en el día 0 como se muestra en el Cuadro 9.

Cuadro 9*Resultados del Análisis de Croma*

| Tratamientos | | Días de Almacenamiento (C + D.E.) | |
|--------------|----------------------|--------------------------------------|-----------------------------|
| | | 0 | 7 |
| Sin Luz UV-C | Lavado con agua | 53.11 ± 3.56 ^{ax} | 50.63 ± 3.00 ^{bcx} |
| | Bicarbonato de Sodio | 52.89 ± 4.17 ^{ax} | 51.59 ± 3.50 ^{bcx} |
| | Ácido peracético | 50.38 ± 2.92 ^{ax} | 51.52 ± 2.47 ^{bcx} |
| Con Luz UV-C | Lavado con agua | 51.20 ± 2.47 ^{ax} | 53.30 ± 4.85 ^{bx} |
| | Bicarbonato de Sodio | 52.93 ± 4.40 ^{ax} | 49.07 ± 3.36 ^{cy} |
| | Ácido peracético | 52.76 ± 2.92 ^{ax} | 58.44 ± 3.71 ^{ay} |
| CV % | | 6.77 | 8.89 |

Nota. C: Croma; CV: Coeficiente de Variación expresado en porcentaje. D.E.: Desviación estándar de tres repeticiones; a-b: Medias en la misma columna con distinta letra minúscula denotan diferencia significativa entre tratamiento (P<0.05). x-y: Medias en la misma fila con distinta letra minúscula denotan diferencia significativa entre días (P<0.05).

Sin embargo, existen diferencias estadísticas significativas en los tratamientos evaluados en el día 7. De igual forma, en el Cuadro 8 se observa que el tratamiento de inmersión en ácido peracético y bicarbonato de sodio en combinación con luz UV-C mostraron diferencias significativas a través del tiempo.

Conclusiones

Se evaluó la aplicación del lavado con agua, ácido peracético, bicarbonato de sodio y su combinación con la luz UV-C en la calidad microbiológica y física de la lechuga. Se determinó que todos estos tratamientos presentaron diferencias en los recuentos bacterias mesófilas aerobias, coliformes totales de *E. coli* con respecto al tratamiento de campo. De igual forma, los tratamientos mostraron cambios en textura y color a través del tiempo.

El uso de ácido peracético o bicarbonato de sodio tuvo efecto en la disminución de la carga microbiana de bacterias mesófilas aerobias, coliformes totales y *E. coli*, manteniendo su calidad microbiológica a través del tiempo. Estos tratamientos no presentaron diferencias en textura entre los demás tratamientos, pero si a través del tiempo. Sin embargo, el color se vio afectado a través de los días de almacenamiento.

La combinación de la luz UV-C con el ácido peracético y bicarbonato de sodio mostró diferencias significativas con respecto al tratamiento de campo, sin embargo, no presentó diferencias entre los tratamientos sin luz UV-C. De igual forma, no presentaron diferencias en textura entre los tratamientos, pero si un aumento en la fuerza de corte a través del tiempo. El color se vio afectado en el parámetro de color con respecto a los días de almacenamiento.

Recomendaciones

Realizar una inoculación inicial de microorganismos indicadores para conocer la reducción a partir de la concentración inicial de cada tratamiento.

Realizar un análisis de consumo energético con el objetivo de comparar el gasto energético de cada tratamiento para determinar su eficiencia.

Realizar una evaluación del efecto del ácido peracético y el bicarbonato de sodio en combinación con luz UV-C en los componentes fitoquímicos de la lechuga.

Replicar el experimento considerando otras variedades de frutas y verduras para evaluar su comportamiento ante los tratamientos.

Referencias

- Aguayo, E., Gómez, P. y Artés, F. (2017). Tratamientos químicos desinfectantes de hortalizas de IV gama: ozono, agua electrolizada y ácido peracético. *Agrociencia Uruguay*, 21(1), 7–14. <http://www.scielo.edu.uy/pdf/agro/v21n1/2301-1548-agro-21-01-00007.pdf>
- Allende, A. y Artés, F. (2003). Tratamientos combinados de envasado con ultravioleta-C y atmósfera modificada para reducir el crecimiento microbiano de lechuga fresca procesada. *LWT - Food Science and Technology*, 36(8), 779–786. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(03\)00100-2](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(03)00100-2)
- Barrantes, K. y Achí, R. (2011). Calidad microbiológica y análisis de patógenos (*Shigella* y *Salmonella*) en lechuga: Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología, 31(1), 31–36. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-25562011000100007&lng=es&nrm=iso
- Bhullar, M., Perry, B., Monge, A., Nabwiire, L. y Shaw, A. (2021). Supervivencia de *Escherichia coli* en fresas y lechuga romana sin envasar lavadas con agua contaminada. *Foods (Basel, Switzerland)*, 10(6). <https://doi.org/10.3390/foods10061390>
- Blandón, S. (2012). *Fisiología Postcosecha*. Universidad Nacional del Nordeste. <https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Fisiologiaposcosecha.pdf>
- Cantos, C. y Pincay, J. (2014). *Efecto del cilantro (Coriandrum sativum) en polvo como agente de control microbiano en pasta de maní (Arachis hypogaea L.) a diferentes temperaturas de almacenamiento* ([https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/425/1/tesis%20pasta%20de%20mani%20con%20Ocilantro%20en%20polvo%20almacenada%20a%20diferentes%20temperaturas.pdf](https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/425/1/tesis%20pasta%20de%20mani%20con%20cilantro%20en%20polvo%20almacenada%20a%20diferentes%20temperaturas.pdf)) [Tesis de Pregrado]. La Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí "Manuel Félix López", Ecuador.
- Castro-Díaz, A. S. y Guerrero-Beltrán, J. Á. (2021). Efecto de luz ultravioleta-C y ultrafiltración sobre las características fisicoquímicas, antioxidantes y sensoriales de savia de Agave salmiana almacenada. *Información Tecnológica*, 32(4), 65–76. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642021000400065>
- Caycedo Lozano, L., Corrales Ramírez, L. C. y Trujillo Suárez, D. M. (2021). Las bacterias, su nutrición y crecimiento: una mirada desde la química. *Nova*, 19(36), 49–94. <https://doi.org/10.22490/24629448.5293>
- Dávila-Aviña, J. E., Solís-Soto, L. Y., Rojas-Verde, G. y Salas, N. A. (2015). Sostenibilidad y desafíos de los alimentos mínimamente procesados. En M. W. Siddiqui y M. S. Rahman (Eds.), *Food Engineering Series. Sostenibilidad y desafíos de los alimentos mínimamente procesados* (Vol. 43, pp. 279–295). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-10677-9_12
- Esparza-Rivera, J. R., Navarro Bravo, A., Kendall, P., Fortis Hernández, M., Preciado Rangel, P. y Meza Velázquez, J. A. (2013). Aceptabilidad de lechuga de hoja fresca troceada, tratada con ácido ascórbico mediante hidrogenfrío. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 4(5), 767–778. <https://doi.org/10.29312/remexca.v4i5.1174>
- García-Robles, J. M., Medina-Rodríguez, L. J. y Mercado-Ruiz, J. (2017). Evaluación de desinfectantes para el control de microorganismos en frutas y verduras. *Revista Iberoamericana De Tecnología Postcosecha*, 18(1), 9–22.
- Garmendia, G. y Vero, S. (2006). *Métodos para la desinfección de frutas y hortalizas*. https://www.horticom.com/revistasonline/horticultura/rh197/18_27.pdf

Gil, E., Gómez Espín, J. M., Martínez Medina y Ramón (2010). Una visión de los Mercados de Frutas y Hortalizas en la Unión Europea: el caso de las empresas de la Región de Murcia (España). *Redes De Revista De Desenvolvimento Regional*, 187–207. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=552056845001>

Gil, M., Allende, A., López, F. y Selma, M. (2009). ¿Hay alternativas al cloro como higienizante para productos de IV Gama? *Horticultura Internacional*, Artículo 69, 38–45. https://www.horticom.com/revistasonline/extras/extra09/38_45.pdf

González, C. (2018). *Análisis de la calidad microbiológica de los alimentos procedentes de cadenas de comida rápida* [Tesis de Pregrado]. Universidad de Coruña, España. <http://hdl.handle.net/2183/21542>

González-Aguilar, G., Ayala-Zavala, J., Rivera-López, J., Zavaleta-Gatica, R., VillegasOchoa, M. y Tejedor-Espinoza, W. (2005). Reducción en el deterioro en frutos de Mango, durazno y nectarina utilizando irradiación ultravioleta (UV-C). *Ciencia En La Frontera: Revista De Ciencia Y Tecnología De La UACJ*, 3(1), 49–57.

Guthrie, J. (2004). *Comprendiendo las opciones de frutas y verduras Influencias económicas y de comportamiento.: Boletín de información agrícola*. United States Department of Agriculture (USDA). https://www.ers.usda.gov/webdocs/publications/42564/19255_aib792-1.pdf?v=0

Haro, J.F. y Guerrero, J.A. (2013). Efecto de la radiación UV-C en frutas y verduras. *Temas Selectos De Ingeniería De Alimentos*, 7(1), 68–77. https://handbook.usfx.bo/nueva/vicerrectorado/citas/TECNOLOGICAS_20/Ingenieria%20de%20Alimentos/TSIA-71-Haro-Maza-et-al-2013.pdf

Irvin, K., Viazis, S., Fields, A., Seelman, S., Blickenstaff, K., Gee, E., Wise, M. E., Marshall, K. E., Gieraltowski, L. y Harris, S. (2021). Una descripción general de las investigaciones de rastreo y tres estudios de caso de brotes recientes de infecciones por *Escherichia coli* O157:H7 relacionadas con la lechuga romana. *Journal of Food Protection*, 84(8), 1340–1356. <https://doi.org/10.4315/JFP-21-112>

Karaca, H., Sevilgen, O., Konar, N. y Velioglu, Y. (2016). Reducciones de clorofila en acelgas recién cortadas (*Beta vulgaris var. cicla*) con diversos agentes desinfectantes. *Journal of Agricultural Sciences*, 22(1), 9–19. https://doi.org/10.1501/Tarimbil_0000001363

Kasai, H., Kawana, K., Labaiden, M., Namba, K. y Yoshimizu, M. (2011). Elimination of *Escherichia coli* from oysters using electrolyzed seawater. *Aquaculture*, 319(3-4), 315–318. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.07.025>

Kaushik, V., Murdkar, S., Ghatkar, S., Gode, V. y Mhaskar, S. (2020). Revisión sobre tecnologías de descontaminación doméstica para Frutas vegetales. *International Journal of Food Science and Nutrition Engineering*, 12–36. <http://dx.doi.org/10.5923/j.food.20201001.02>

Luna, M. (2012). *Influencia de los Factores Pre y Postcosecha en la Calidad de la Lechuga IV Gama* [Tesis de Pregrado]. Universidad de Murcia, España. <http://hdl.handle.net/10201/29648>

Manolopoulou, H., Lambrinos, G. R., Aravantinos, E., Chatzis, E. y Xanthopoulos, G. (2010). Efecto de la temperatura y envasado con atmósfera modificada en la calidad de almacenamiento de lechuga romana fresca cortada. *Journal of Food Quality*, 33(s1), 317–336. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2010.00321.x>

Márquez, L. y Pretell, C. (2013). Irradiación UV-C en frutas tropicales mínimamente procesadas. *Scientia Agropecuaria*, 4(3), 147–161. <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop/article/view/328/306>

Martín-Diana, A. B., Rico, D., Frías, J., Henehan, G.T.M., Mulcahy, J., Barat, J. M. y Barry-Ryan, C. (2006). Efecto del lactato de calcio y choque térmico sobre la textura de lechuga recién cortada durante el almacenamiento. *Journal of Food Engineering*, 77(4), 1069–1077. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.08.037>

Martínez, F. y Gárces, G. (2010). Crecimiento y producción de lechuga (*Lactuca sativa* L. var. romana) bajo diferentes niveles de potasio. *Revista Colombiana De Ciencias Hort"Col*, 4(2), 185–198. <https://doi.org/10.17584/rcch.2010v4i2.1239>

Millán Villarroel, D., Romero González, L., Brito, M. y Ramos-Villarroel (2015). Luz ultravioleta: inactivación microbiana en frutas. *SABER. Revista Multidisciplinaria Del Consejo De Investigación De La Universidad De Oriente*, 27(3), 454–469. <https://ve.scielo.org/pdf/saber/v27n3/art11.pdf>

Alimentos. Criterios Microbiológicos para la inocuidad de alimentos. (2018). <http://infotrade.minec.gov.sv/ca/wp-content/uploads/sites/7/2019/03/ANEXO-RES-402-2018-RTCA-67045017-Criterios-Microbiologicos.pdf>

Mohammad, Z. H., Prado, I. d. y Sirsat, S. A. (2022). Análisis microbianos comparativos de lechuga romana hidropónica versus cultivada en el suelo obtenida al por menor. *Heliyon*, 8(10), e11050. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11050>

Ocampo-Rodríguez, D. B., Vázquez-Rodríguez, G. A., Martínez-Hernández, S., Iturbe-Acosta, U. y Coronel-Olivares, C. (2022). Desinfección del agua: una revisión a los tratamientos convencionales y avanzados con cloro y ácido peracético. *Ingeniería Del Agua*, 26(3), 185–204. <https://doi.org/10.4995/la.2022.17651>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2020). *Frutas y verduras: Esenciales en tu dieta: año Internacional de las frutas y verduras, 2021: Documento de antecedentes*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).

Oyinlola, L. A., Obadina, A. O., Omemu, A. M. y Oyewole, O. B. (2017). Prevención del peligro microbiano en la lechuga recién cortada mediante la adopción de prácticas higiénicas y de seguridad alimentaria por parte de los productores de lechuga. *Food Science & Nutrition*, 5(1), 67–75. <https://doi.org/10.1002/fsn3.365>

Portillo, F. (2014). *Validación de proceso poscosecha para producto mínimamente procesado a base de lechuga (Lactuca sativa)* [Proyecto Especial de Graduación]. Escuela Agrícola Panamericana, Honduras. <https://bdigital.zamorano.edu/items/9e71c4f9-f82c-453b-aded-9e6b9fb1711b>

Prakash, A., Guner, A. R., Caporaso, F. y Foley, D. M. (2000). Efectos de la irradiación gamma en dosis bajas sobre la vida útil y las características de calidad de la lechuga romana cortada envasada en atmósfera modificada. *Journal of Food Science*, 65(3), 549–553. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2000.tb16046.x>

Rovallo, C. (2020). *Elaboración de frutas en conserva* [Tesis de Pregrado]. Universidad Nacional San Luis Gonzaga, Perú. <https://repositorio.unica.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13028/3985/Elaboraci%C3%B3n%20de%20frutas%20en%20conservas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Salfinger, Y. y Tortorello, M. L. (Eds.). (2015). *Compendio de métodos para el examen microbiológico de alimentos*. (Quinta edición). APHA American Public Health Association. <https://doi.org/10.2105/MBEF.0222>

Salgado, S. P., Pearlstein, A. J., Luo, Y. y Feng, H. (2014). Calidad de las lechugas iceberg (*Lactuca sativa* L.) y romana (*L. sativa* L. var. *longifolia*) tratadas mediante combinaciones de

desinfectante, tensioactivo y ultrasonido. *LWT - Food Science and Technology*, 56(2), 261–268. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.11.038>

Schenk, M. L. (2010). *Preservación de productos frutales mínimamente procesados mediante la aplicación de luz UV y su combinación con otras tecnologías emergentes* [Tesis Doctoral]. Universidad de Buenos Aires., Argentina. https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis_n4717_Schenk.pdf

Shi, M., Gu, J., Wu, H., Rauf, A., Emran, T. B., Khan, Z., Mitra, S., Aljohani, A. S. M., Alhumaydhi, F. A., Al-Awthan, Y. S., Bahattab, O., Thiruvengadam, M. y Suleria, H. A. R. (2022). Fitoquímicos, nutrición, metabolismo, biodisponibilidad y beneficios para la salud en la lechuga. *Antioxidants (Basel, Switzerland)*, 11(6). <https://doi.org/10.3390/antiox11061158>

Shynkaryk, M. V., Pyatkovskyy, T., Mohamed, H. M., Yousef, A. E. y Sastry, S. K. (2015). Física de la seguridad de los productos frescos: Papel de la difusión y la reacción tisular en la desinfección de hortalizas de hojas verdes con desinfectantes líquidos y gaseosos a base de ozono. *Journal of Food Protection*, 78(12), 2108–2116. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-15-290>

Valencia, A. (1995). *Cultivo de Hortalizas y hojas: col y lechuga*. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/985/1/Valencia-Cultivo_hortalizas_hojas_col_y_lechuga.pdf

Van de Velde, F., Galarraga, M., Piagentini, A. y Pirovani, M. (Eds.). (2019). *Desarrollo Sostenible en la Producción Agroalimentaria: Técnicas amigables con el medio ambiente para la descontaminación de frutas finas*. Asociación de Universidades Grupo Montevideo. <http://hdl.handle.net/11336/131785>

Yaun, B. R., Sumner, S. S., Eifert, J. D. y Marcy, J. E. (2003). Respuesta de *Salmonella* y *Escherichia coli* O157:H7 a la energía UV. *Journal of Food Protection*, 66(6), 1071–1073. <https://doi.org/10.4315/0362-028x-66.6.1071>.

Zhang, G., Chen, Y., Hu, L., Melka, D., Wang, H., Laasri, A., Brown, E. W., Strain, E., Allard, M., Bunning, V. K., Parish, M., Musser, S. M. y Hammack, T. S. (2018). Encuesta sobre patógenos transmitidos por alimentos, recuentos de aeróbicos en placa, recuentos de coliformes totales y recuentos de *Escherichia coli* en verduras de hoja verde, brotes y melones comercializados en los Estados Unidos. *Journal of Food Protection*, 81(3), 400–411. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-17-253>