

Efecto antibacteriano y cambios de calidad en piña (*Ananas comosus*) fresca cortada tratada con luz ultravioleta

Antibacterial effect and quality changes in fresh cut pineapple (*Ananas comosus*) treated with ultraviolet light

Ramos-Villarroel, Ana^{1,2*}; Maftai, Nicoleta-Maricica³

¹Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), Caracas, Venezuela.

²Universidad de Oriente, Nucleo de Monagas, Venezuela.

³Departamento de Ciencias Farmacéuticas, Universidad de Galati "Dunarea de Jos", Galati, Romanía.

*ay2170@gmail.com

Resumen

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto antibacteriano y cambios de calidad en piña fresca cortada tratada con luz ultravioleta. Para ello, la piña fue seleccionada, lavada, cortada en triángulos y envasada para someterse al análisis microbiológico, donde se inocularon 100 μL (10^7 y 10^9 UFC/mL) de un cultivo de *Escherichia coli* y *Listeria innocua* por separado, en la superficie de los trozos de piña. Posteriormente fueron tratados durante 5 min con luz UV a distancias de 15 y 8 cm con dosis de 1,479 y 2,064 kJ/cm^2 , respectivamente. Para el análisis fisicoquímico (pH, color y firmeza) las muestras se procesaron y trataron de la misma manera, pero sin inocular. Finalmente se sellaron las bandejas y se almacenaron a 5 °C. Los análisis microbiológicos y fisicoquímicos fueron realizados cada 3 días durante 15 días de almacenamiento. En los resultados de los análisis microbiológicos se registraron reducciones de 4,50 y 3,51 log UFC/g para *E. coli* y *L. innocua* respectivamente. Mostrándose *E. coli* más sensible a la luz UV. En cuanto a los parámetros fisicoquímicos el pH aumentó gradualmente (2,39 - 3,66). El color de la coordenada a* aumentó en función del tiempo dirigiéndose hacia las tonalidades rojas (pardeamiento). El parámetro b* no resultó afectado por el tratamiento con luz ultravioleta, pero si lo afectó el tiempo de almacenamiento, con un valor inicial y final de 23,81 y 14,64, respectivamente. La firmeza disminuyó a lo largo de todo el estudio (12,77 – 9,11 N). La luz ultravioleta como método alternativo es efectivo para la inactivación de *E. coli* y *L. innocua* además mejoró la calidad fisicoquímica de la piña fresca cortada.

Palabras clave: piña, luz ultravioleta, inactivación bacteriana, fruta fresca cortada.

Abstract

The objective of this research was to evaluate the antibacterial effect and quality changes in fresh cut pineapple treated with ultraviolet light. For this, the pineapple was selected, washed, cut into triangles and packaged to undergo microbiological analysis, where 100 μL (107 and 109 CFU/mL) of a culture of *Escherichia coli* and *Listeria innocua* were inoculated separately, on the surface of the pineapple pieces. Subsequently, they were treated for 5 min with UV light at distances of 15 and 8 cm with doses of 1,479 and 2,064 kJ/cm^2 , respectively. For the physicochemical analysis (pH, color and firmness) the samples were processed and treated in the same way, but without inoculation. Finally, the trays were sealed and stored at 5 °C. Microbiological and physicochemical analyzes were carried out every 3 days during 15 days of storage. In the results of the microbiological analyses, reductions of 4.50 and 3.51 log CFU/g were recorded for *E. coli* and *L. innocua* respectively. *E. coli* showing itself to be more sensitive to UV light. Regarding the physicochemical parameters, the pH gradually increased (2.39 - 3.66). The color in the a* coordination increased as a function of time, moving towards red tones (browning). The b* parameter was not affected by the treatment with ultraviolet light but was affected by the storage time, with an initial and final value of 23.81 and 14.64, respectively. Firmness decreased throughout the study (12.77 – 9.11 N). Ultraviolet light as an alternative method was effective for the inactivation of *E. coli* and *L. innocua* and improved the physicochemical quality of fresh cut pineapple.

Keywords: pineapple, ultraviolet light, bacterial inactivation, fresh-cut fruits.

1 Introducción

El ser humano reconoce la importancia de incorporar frutas y hortalizas frescas en la dieta diaria por su alto contenido de vitaminas, antioxidantes, minerales, fibra, carbohidratos y agua, así como de sustancias fitoquímicas que mejoran el bienestar humano y reducen el riesgo de varias enfermedades (Montero, 2010).

Dentro de las frutas tropicales más consumidas en Venezuela se encuentra la piña (*Ananas comosus*) que, además de ser una fruta sabrosa y refrescante, trae consigo múltiples propiedades medicinales que brindan beneficios para la salud: estimula la digestión y la actividad del intestino delgado por su alto contenido en agua y bromelina, es diurética, desintoxicante, normaliza la flora microbiana del colon, desinflama las hemorroides, tiene acción expectorante, previene y corrige el estreñimiento, además ejerce una acción normalizadora sobre la secreción y superficie alterada de las mucosas inflamadas (Morales, 2011). Estos son algunos de los beneficios que aporta, por ello su consumo se ha incrementado en las últimas décadas en todo el mundo.

El actual ritmo de vida, con escaso tiempo para preparar comidas equilibradas, ha provocado la demanda de productos vegetales naturales, frescos, saludables y dispuestos para consumir, como son los mínimamente procesados en fresco (MPF), denominados comercialmente "Cuarta gama" (Artés y col., 2009), que corresponden a frutas y hortalizas frescas, limpias, trozadas y envasadas para su consumo, las cuales mantienen gran parte de sus propiedades naturales (Aranceta y Pérez, 2006).

Los productos mínimamente procesados no son sometidos a ningún tratamiento térmico para la destrucción de microorganismos, sino que sus tejidos mantienen sus funciones metabólicas activas hasta que llegan al consumidor final (Montero, 2010). Estos productos frescos cortados, al tener una mayor superficie expuesta, son mucho más sensibles al ataque microbiano.

En vista de lo anterior, la industria alimentaria al tratar de satisfacer las exigencias de inocuidad ha impulsado el desarrollo y diseño de nuevas tecnologías, equipos, procesos y metodologías que permitan obtener productos con características semejantes a los alimentos frescos y con una vida útil equiparable a los productos procesados. Según López-Malo y Palou (2005), figuran como tecnologías no térmicas la aplicación de atmósferas modificadas, ozono, recubrimientos comestibles, radiación gamma, pulsos de luz intensa y luz ultravioleta (UV), entre otros.

La luz UV como tecnología emergente ha demostrado

reducir el número de microorganismos en la superficie de las frutas frescas cortadas, sin un impacto significativo sobre sus propiedades fisicoquímicas y sensoriales (Rivera-Pastrana y col., 2007; Gómez y col., 2010).

La luz ultravioleta es una radiación no ionizante (tratamiento físico que no deja residuos) que daña el ADN microbiano, llegando a causar la muerte celular, sin alterar la estructura de las células vegetales (Artés-Hernández y col., 2009). La luz UV se utiliza ampliamente como una alternativa a la esterilización química y en la reducción microbiana de productos alimenticios. Su uso ha sido aprobado como desinfectante en el tratamiento superficial de alimentos (USFDA, 2002).

El uso de la luz UV con fines de desinfección involucra a la región ultravioleta del espectro electromagnético, con un rango de longitud de onda entre 100 y 400 nm. La radiación UV produce cambios fotoquímicos, cuyos efectos pueden variar según la especie de microorganismo que se trate. El mecanismo de acción letal depende de su absorción por el ADN, pudiendo detener el crecimiento celular y provocar la muerte (Domínguez y Parzanese, 2011).

Se han realizado estudios utilizando este método de conservación en una gran variedad de sustratos de origen vegetal, dentro de los que se pueden mencionar frutos de fresa (*Fragaria vesca* Coville), manzana (*Pyrus malus* Borkh), mango (*Mangifera indica* L.), durazno (*Prunus persica* L.), limón (*Citrus limon* L.), uva de mesa (*Vitis vinifera* L.), tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) y otros (Rivera-Pastrana, 2007). El crecimiento de bacterias tales como *Salmonella* spp., *Escherichia coli*, y *Listeria monocytogenes* en frutas frescas cortadas, ha sido reportado en investigaciones sobre inocuidad alimentaria (López-Malo y Palou, 2005). Estos microorganismos son comúnmente estudiados porque usualmente están involucrados en toxiinfecciones alimentarias que afectan la salud del consumidor (Salgado 2024).

Por otro lado, los atributos sensoriales están dados por el aroma, sabor, color y textura, por lo que éstos, deben examinarse cuidadosamente cuando se determina la vida útil de las frutas (Inicente-Quiroz y col., 2021). El procesamiento mínimo de frutas y hortalizas presenta un gran reto que es el poder combinar adecuadamente distintos factores de preservación a fin de generar productos inocuos, pero que al mismo tiempo garanticen las características sensoriales de frescura que desea el consumidor (Trujillo y col., 2001). Sin embargo, hay poca información disponible sobre la eficacia de este tratamiento sobre la calidad de la piña fresca cortada. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto antibacteriano y cambios de calidad en piña fresca cortada tratada con luz ultravioleta.

2 Materiales y Métodos

2.1 Preparación de la muestra

Se utilizó piña de la variedad Cayena Lisa, con un estado de madurez 3 según García y col. (2011) (ver Figura 1), obtenida de un Supermercado del municipio Maturín, estado Monagas. El proceso se realizó bajo condiciones asépticas donde la fruta entera, los materiales (cuchillos, tablas) y área de trabajo se desinfectaron con 200 $\mu\text{L/L}$ de Hipoclorito de Sodio (pH 7) siguiendo la metodología reportada por Ramos-Villarroel y col. (2012). Posteriormente se cortó la fruta con un cuchillo afilado de acero inoxidable con el fin de retirar la corteza de la piña y obtener de la pulpa con un molde triangular trozos de 2 cm de cada lado y 1,5 cm de espesor, los cuales tuvieron un peso de aproximadamente 10 g cada uno (ver Figura 2).

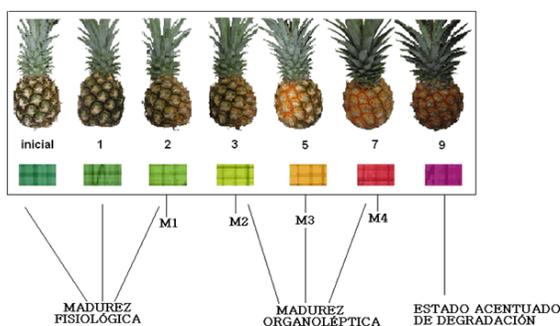


Fig 1. Escala de madurez y carta de colores de la variedad en estudio (García y col., 2011).

2.2 Análisis microbiológico

2.2.1 Preparación del inóculo

La cepa de *Escherichia coli* se obtuvo del Laboratorio de Microbiología del Departamento de Biología y Sanidad Animal de la Escuela de Zootecnia de la Universidad de Oriente, Campus Los Guaritos, Municipio Maturín Monagas, Venezuela, la cual será utilizada como sustituta de la cepa patógena *E. coli* 0157:H7. La cepa de *Listeria innocua* CVCM 448 se obtuvo del Laboratorio de Microbiología del Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos (ICTA) de la Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela, y será empleada como sustituta de la cepa patógena *Listeria monocytogenes* en este estudio.

Las cepas originales de *E. coli* y *L. innocua* se mantuvieron en tubos con Agar Tripticasa de Soya (HIMEDIA) inclinado a una temperatura de 5 °C hasta su uso. Los inóculos se obtuvieron reactivando las cepas. *L.*

innocua se cultivó en Caldo Tripticasa de Soya + 0,6 % de extracto de levadura (HIMEDIA) a 35 °C durante 15 horas (Ramos-Villarroel y col., 2012), para obtener cepas cercanas a la fase estacionaria de crecimiento al momento de llevar a cabo la inoculación. El cultivo de *E. coli* se realizó en caldo nutritivo (HIMEDIA) a 37°C durante 24 horas (fase estacionaria).

2.2.2 Inoculación de la muestra

Dos (2) trozos de piña con un peso de aproximadamente 10 g cada uno, se colocaron en las bandejas plásticas y posteriormente fueron inoculados con 100 μL de una población cercana a 10^8 UFC/mL de *E. coli* o *L. innocua* para cada estudio. El inóculo se dispersó en la superficie de los trozos utilizando una micropipeta estéril. Luego de dos horas aproximadamente, las muestras se trataron con luz ultravioleta.



Fig 2. Preparación de la muestra y trozos de piña triangular.

2.3 Tratamiento con luz UV

El tratamiento con luz ultravioleta se llevó a cabo con una lámpara Modelo N° BGN18 de 115 V- 60 ciclo Philips, Holanda (ver Figura 3a). El espectro emitido fue desde 200 a 400 nm con una duración de 5 minutos a una distancia de 8 y 15 cm, las cuales son las variables del estudio. La lámpara estuvo ubicada en la parte superior del soporte de la muestra.

2.3.1 Dosis

Para determinar la intensidad de la luz UV (mW/cm^2) se utilizó un radiómetro digital marca LUTRON modelo UV 340, Taiwan (ver Figura 3b). La intensidad aplicada se midió como la media de cuatro (4) repeticiones a cada lado de la lámpara y en el centro de la misma. Se comprobó que todos los puntos recibieran la misma intensidad que permitió calcular la dosis de aplicación de 1,479 y 2,064 kJ/cm^2 correspondiente a las distancias de 15 y 8 cm respectivamente. La ecuación (López-Rubira, 2007) utilizada fue la siguiente:

$$D = \frac{I \cdot t}{1000^2}$$

D: dosis de irradiación aplicada (kJ/m^2)

I: intensidad de irradiación bajo el área de emisión de luz UV-C (W/m^2)

t: tiempo de exposición (s)

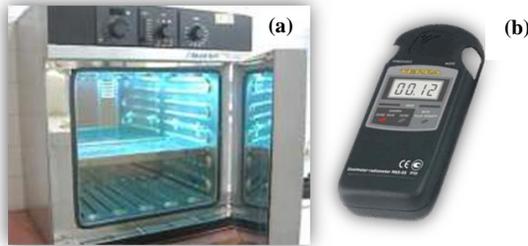


Fig 3. Lámpara UV Modelo N° BGN18 e 115 V- 60 ciclo (a) y radiómetro digital marca LUTRON modelo UV 340 (b).

2.4 Empacado y condiciones de almacenamiento

Una vez inoculados e irradiados los dos (2) trozos de piña, inmediatamente fueron selladas las bandejas de Tereftalato de polietileno (PET) de 750 cc (Plásticos Guayana, Venezuela). Las muestras fueron almacenadas a 5 °C, para su posterior análisis cada 3 días durante 15 días, iniciando desde el día 0.

2.5 Recuento microbiano

Un (1) trozo de piña se retiró asépticamente de la bandeja y se transfirió a una bolsa plástica estéril (Ziploc®). Se colocaron 90 mL de agua peptonada (0,1 % de peptona + 0,85% cloruro de sodio, marca HIMEDIA) para frotar la muestra durante 5 minutos para posteriormente realizar las diluciones seriadas desde 10^{-1} hasta 10^{-6} . La siembra se realizó en superficie a razón de 0,1 mL distribuyéndola con una espátula de Drigalsky en placas por duplicado con agar EMB-eosina-azul de metileno- (HIMEDIA) y agar Palcam (Merck) para determinar *E. coli* y *L. innocua*, respectivamente. Las placas se incubaron durante 24 horas a 37°C. Las colonias características de los microorganismos *E. coli* (verde tornasol) y *L. innocua* (negro brillante con halo) se contaron y reportaron en \log_{10} UFC/g. El análisis se realizó por duplicado cada 3 días durante los 15 días de almacenamiento (Ramos-Villaruel y col. 2012).

2.6 Determinación de parámetros físicos y químicos

Las muestras utilizadas para los análisis fisicoquímicos se trataron con luz UV sin inocular.

2.6.1 Determinación de pH

La determinación de pH se realizó con un potenciómetro modelo 420 marca ORION bajo la metodología de la norma COVENIN (1317-79). Se pesaron 10 g de la muestra, se colocaron con 90 mL de agua destilada, luego se homogeneizó y filtró la mezcla en un beaker para determinar el pH. Se evaluaron un total de seis trozos de piña por duplicado para cada tratamiento.

2.6.2 Medición del color

El color de las muestras se determinó utilizando un colorímetro COLOR TEC PCM/PSM midiendo las coordenadas L^* , a^* , b^* . Se evaluaron un total de seis trozos por duplicado para cada tratamiento de acuerdo a la metodología empleada por Ramos-Villaruel y col. (2012).

2.6.3 Evaluación de firmeza

La firmeza se midió con un texturómetro Modelo Lloyd 500 con una capacidad de 50 N. Se utilizó una sonda de 6,2 mm de diámetro para penetrar los trozos de piña en forma triangular, a una tasa de velocidad de 5mm/s y un trigger de 0,05 kgf. Los resultados se expresaron en Newton (kg.m/s), que fue el esfuerzo realizado por el equipo para penetrar la muestra en cada tratamiento de acuerdo a la metodología empleada por Ramos-Villaruel y col. (2012).

2.7 Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial 3 x 6, donde el factor A: son los tratamientos con luz ultravioleta (sin luz UV, luz UV a 8 cm y luz UV a 15 cm) y el factor B: es el tiempo de medición (0, 3, 6, 9, 12 y 15). Para estudiar las variables microbiológicas, los análisis se realizaron por duplicado para cada tratamiento con dos (2) réplicas, haciendo un total de 72 observaciones. Por otra parte, para el estudio de las variables fisicoquímicas (pH, color y textura), los análisis se realizaron por duplicado con seis (6) réplicas para un total de 216 observaciones.

2.8 Análisis estadístico

Los resultados de las mediciones instrumentales de las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas se analizaron por separado mediante un ANAVA de dos factores (factores: irradiación con luz ultravioleta y tiempo de medición). En todos los casos, las diferencias significativas entre medias se establecieron aplicando el test de Duncan con un nivel de confianza del 95%. Los resultados serán expresados como la media \pm la desviación estándar de los promedios.

3 Resultados y Discusión

Determinación de la efectividad del tratamiento por luz ultravioleta sobre la inactivación bacteriana

Para determinar la efectividad de la luz ultravioleta sobre microorganismos como *Escherichia coli* y *Listeria innocua* inoculados a un nivel de 10^9 y 10^7 UFC/100g, respectivamente en la piña fresca cortada, las piezas fueron tratadas con luz ultravioleta durante 5 min a una distancia de 15 y 8 cm (dosis de 1.479 y 2.064 kJ/m² para cada tratamiento).

La Figura 4 muestra la inactivación de *E. coli* en trozos de piña fresca cortada tratada con luz ultravioleta y almacenados a 5 °C durante 15 días. En dicha figura se evidenció que a medida que transcurrió el tiempo de almacenamiento los recuentos del microorganismo disminuyeron notablemente. Las pruebas de media indicaron que hubo diferencias significativas ($p < 0,05$) entre todos los tratamientos justo el primer día del análisis. Por otra parte, las muestras tratadas con luz ultravioleta a una distancia de 8 y 15 cm no presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre ellas durante los días 6 y 12 de su almacenamiento.

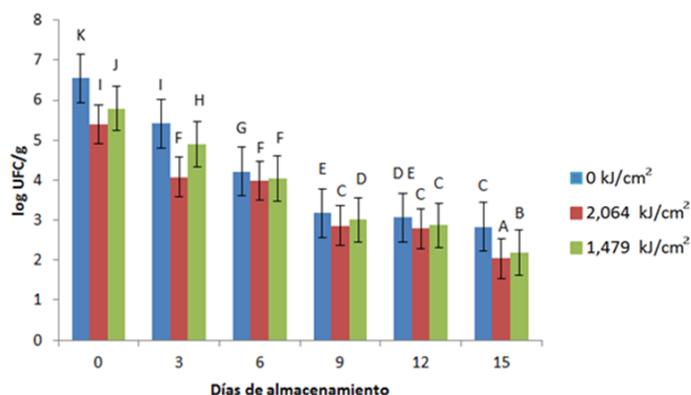


Fig 4 Inactivación de *Escherichia coli* en trozos de piña fresca cortada tratada con luz ultravioleta a dosis de exposición de 0; 2,064 y 1,479 kJ/m² almacenadas a 5 °C durante 15 días.

El recuento inicial de *E. coli* para las muestras control fue superior a los registrados por los trozos tratados con luz UV, se observó la acción bactericida de este tratamiento físico, donde el recuento disminuyó con el incremento de la dosis de irradiación. Al inicio del estudio la muestra control presentó un recuento de 6,54 log UFC/g que fue mucho mayor, en comparación con las muestras irradiadas que mostraron recuentos de 5,79 y 5,40 log UFC/g para distancias de 15 cm (1,479 kJ/cm²) y 8 cm (2,064 kJ/cm²), respectivamente. En el caso de los recuentos al final del almacenamiento, la muestra sin tratar presentó el mayor

conteo (2,83 log UFC/g), a diferencia de las muestras irradiadas que mostraron valores de 2,18 y 2,04 log UFC/g a distancias de 15 y 8 cm respectivamente.

Durante todo el almacenamiento se observó una disminución de los recuentos bacterianos por efecto del tratamiento con luz UV, notándose que las muestras tratadas siempre fueron menores en comparación a las muestras sin tratar. Al inicio del almacenamiento se logró una reducción en las muestras irradiadas de 0,75 y 1,148 log UFC/g (a distancias de 15 y 8 cm, respectivamente), siendo esta última la mayor inactivación que se obtuvo al inicio del estudio. Por otro lado, al final del almacenamiento en las muestras tratadas a dosis de 1,479 y 2,064 kJ/cm² se alcanzó una reducción logarítmica de 4,36 y 4,50 log UFC/g, respectivamente.

Los niveles de inactivación ocasionados por la luz UV pueden ser explicados por el mecanismo de acción de este tratamiento. Según Márquez y col. (2013) esta tecnología inactiva 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.

En este sentido, los distintos microorganismos requieren de una dosis específica para ser inactivados, esta variación dependerá de la estructura de la pared celular, del espesor y composición de la misma, de proteínas que absorban la luz UV o de las diferencias en la estructura de los ácidos nucleicos (Chang y col., 1985). Con respecto a la pared celular, las bacterias Gram-negativas a pesar de ser multilaminares poseen una pequeña capa de peptidoglicano que va de 1 a 2 nm, esta delgada capa posiblemente permitió que la luz UV ocasionara más daño a nivel celular. Ahora bien, otro factor que quizá influyó en la inactivación bacteriana fue el hábitat natural de este microorganismo, el cual se encuentra confinado en el tracto intestinal tanto del hombre como de los animales haciendo que *E. coli* sea más sensible a la luz ultravioleta (Rowan y col., 1999).

Cabe destacar que, al final del tiempo de almacenamiento la disminución en el recuento bacteriano en las muestras sin tratar pudo deberse además al agotamiento de nutrientes y desechos tóxicos presentes como consecuencia del metabolismo microbiano (producción de CO₂ y otros compuestos).

Los resultados concuerdan con lo reportado por Calderón-Gabaldón y col. (2012), donde evaluaron el efecto de diferentes dosis de luz UV-C y ácido málico sobre *Rhodotorula glutinis* (flora deteriorativa predominante) en trozos de papaya frescas cortadas, inoculadas sobre su superficie con un cultivo puro de *R. glutinis* (10^7 UFC/mL) y después tratadas con luz UV-C (0; 0,96; 2,88; 5,76 y 8,64

kJ/m^2). Estos autores observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los recuentos de *R. glutinis* en los trozos de papaya, encontrándose que dosis de luz UV-C de $8,64 \text{ kJ/m}^2$ ejercieron la mayor inactivación de la población ($6,3 \text{ log UFC/g}$).

Listeria innocua

La Figura 5 muestra la influencia de *L. innocua* sobre los trozos de piña fresca cortada tratada con luz ultravioleta almacenada a 5°C durante 15 días. En dicha figura se evidenció claramente como disminuyeron los recuentos de *L. innocua* desde el día inicial del análisis hasta el día final del almacenamiento. Las pruebas de medias indicaron que no hubo diferencias significativas ($p < 0,05$) el primer día del análisis entre la muestra control y la muestra tratada a 15 cm de distancia. Por otra parte, las muestras irradiadas a 8 cm presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) con respecto a las no tratadas y a las irradiadas a 15 cm.

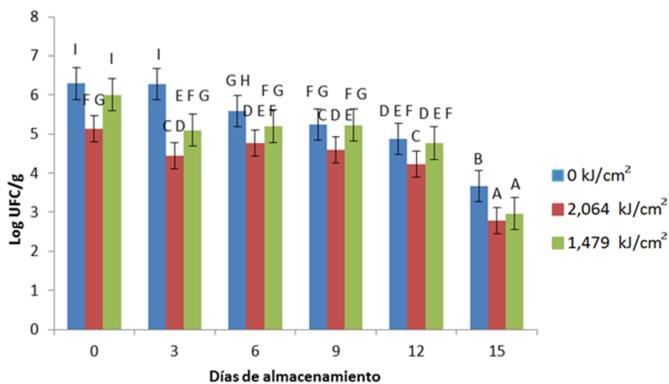


Fig 5. Inactivación de *Listeria innocua* en trozos de piña fresca cortada tratada con luz ultravioleta a dosis de exposición de 0; 2,064 y $1,479 \text{ kJ/m}^2$ almacenadas a 5°C durante 15 días.

La muestra control al inicio del estudio presentó un recuento de $6,29 \text{ log UFC/g}$ que fue mucho mayor, en comparación con las muestras irradiadas que mostraron recuentos de $6,01$ y $5,14 \text{ log UFC/g}$ para dosis de $1,479$ y $2,064 \text{ kJ/cm}^2$, respectivamente. El día 6 y 9 del análisis se observó un incremento en el recuento de las muestras irradiadas, esto se puede atribuir al tejido fibroso de la fruta, donde el inóculo pudo no ser alcanzado por la luz UV y por lo tanto esa población sobreviviente o lesionada se multiplicó. Al final de la investigación la muestra sin tratar presentó un valor de $3,66 \text{ log UFC/g}$, en comparación con las muestras tratadas que mostraron recuentos de $2,96$ y $2,78 \text{ log UFC/g}$ para 15 y 8 cm, respectivamente.

Al inicio del almacenamiento en las muestras irradiadas a 15 y 8 cm de distancia, se logró una reducción de $0,28$ y $1,15 \text{ log UFC/g}$. Por otro lado, al final del almacenamiento en las muestras tratadas a dosis de $1,479$ y $2,064 \text{ kJ/cm}^2$ se

alcanzó una reducción logarítmica de $3,33$ y $3,51 \text{ log UFC/g}$, respectivamente.

Estos niveles de inactivación pueden ser causados principalmente por el mecanismo de inactivación de la luz ultravioleta, el cual ocurre directamente sobre el ADN microbiano. Por otro lado, *L. innocua* al encontrarse ampliamente distribuida en el medio ambiente (suelo, agua, vegetales, entre otras) y estar expuesta a la luz solar mostró más resistencia a la luz UV que *E. coli*. En este caso *E. coli* como se mencionó anteriormente, está confinada al tracto intestinal de seres humanos y animales siendo más sensible a la luz solar y por consiguiente a la luz UV. Otro factor importante es el grosor de la pared celular de *Listeria* que es una bacteria Gram-positiva y tiene una capa más gruesa de peptidoglicano (estructura rígida de 20 a 80 nm) lo cual fue quizás una de las causas en la resistencia en comparación con *E. coli*.

Los resultados son comparables a lo reportado por Birmpa y col. (2013), quienes estudiaron la eficacia de la luz UV inoculando *L. innocua* en fresas frescas cortadas. Ellos lograron una reducción de $1 - 1,7 \text{ log UFC/g}$ utilizando un tiempo de 10 min y una dosis de exposición $7,2 \text{ J/cm}^2$. Schenk y col. (2008), mostraron la respuesta de *L. innocua* y *L. monocytogenes*, a la luz UV en rebanadas de pera fresca mínimamente procesada, utilizando una dosis de exposición de 87 kJ/m^2 y un tiempo de 20 min, dando como resultado reducciones logarítmicas de $2,6$ y $3,4$ respectivamente, para los microorganismos inoculados en el sustrato. Estos resultados son similares a los obtenidos en la presente investigación, siendo el tratamiento con luz UV eficiente para inactivar este tipo de bacteria.

Determinación del efecto del tratamiento por luz ultravioleta sobre los parámetros físicoquímicos

pH

En la Figura 6 se muestra el pH de los trozos de piña fresca cortada tratada con luz ultravioleta. Las pruebas de medias no arrojaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre la muestra irradiada a 15 cm y la muestra control el día inicial del análisis, pero sí al final del período de almacenamiento

El pH de la muestra sin tratar, al inicio del estudio, presentó un valor de $2,39$, aumentando a lo largo del almacenamiento hasta alcanzar un valor de $3,43$ el día final del mismo. Por otro lado, los valores de las muestras irradiadas a dosis de $2,064$ y $1,479 \text{ kJ/cm}^2$ presentaron la misma tendencia que las muestras sin irradiar, obteniendo valores iniciales de $2,50$ y $2,42$ respectivamente, para cada tratamiento. Al final del almacenamiento, el valor de ambas muestras tratadas fue de $3,66$.

El pH de las frutas aumenta según el grado de maduración que éstas presenten, en el caso de la piña, los frutos con la

base ligeramente amarilla a mitad amarilla (grado 3), tienen mejor vida de mostrador que aquellas con la superficie más coloreada, puesto que los frutos que no muestran nada de amarillo pueden no estar lo suficientemente maduros para dar una calidad óptima (González, 1999).

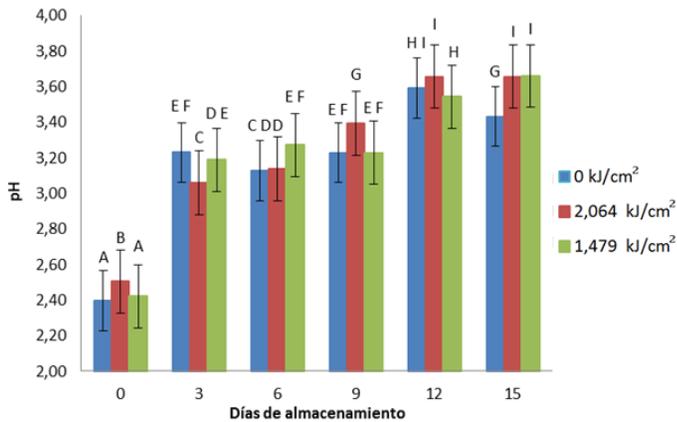


Fig 6. pH de trozos de piña fresca cortada tratada con luz ultravioleta a dosis de exposición de 0; 2,064 y 1,479 kJ/m² almacenadas a 5 °C durante 15 días.

Quizás el grado de maduración 3 que se escogió, influyó en el aumento del pH a lo largo del almacenamiento. Según Wills y col. (1984) durante la maduración, los ácidos orgánicos son oxidados en el metabolismo respiratorio y convertidos en carbohidratos, dichos ácidos pueden ser considerados como una reserva más de la fruta, debido a que durante el curso de la maduración su contenido desciende en el período de máxima actividad metabólica y el valor de pH aumenta. Este valor representa la presencia de grupos acídicos incluyendo ácidos orgánicos, fenoles y aminoácidos. Sin embargo, en las frutas, normalmente se considera que los ácidos orgánicos proporcionan la mayor parte de los iones hidrógeno y generalmente durante la maduración, a medida que desciende la acidez, el pH aumenta (Hulme, 1971).

El grado de maduración escogido corresponde a un color de la base ligeramente amarilla (ver Figura 4), lo cual según los autores mencionados anteriormente se traduce en una gran cantidad de ácidos que aún no se degradan para formar los compuestos responsables del ablandamiento y posteriores cambios químicos y físicos que ocurren en la fruta después del procesado y durante el tiempo de almacenamiento. Es por esa cantidad de ácidos que el pH fue bajo en el primer día y luego aumentó los siguientes días del análisis.

Según Alférez y col. (2003), es el resultado de los cambios bioquímicos que sufre la piña durante el período de maduración luego de su cosecha, planteándose conceptualmente que a medida que la piña se madura, el pH

aumenta, tiende a básico, por ello en los primeros días se encuentra dentro de los rangos de acidez, debido a que la maduración se ha provocado en primera instancia por el estrés de la recolección, y a partir de los días sucesivos tiende a acelerarse el proceso de maduración y la futura senescencia del fruto como proceso natural.

Este incremento del pH en la mayoría de los casos en comparación con las muestras sin tratar, puede ser debido a lo señalado por Manzocco y col. (2011), quienes indicaron que la exposición a la luz UV promueve la modificación de la estructura celular de la fruta, lo cual dependiendo de la dosis de exposición conduce a la ruptura de las membranas de las células y favorece la deshidratación progresiva de la muestra. La salida de ácidos y compuestos intracelulares pudieron producir un incremento del pH en los trozos de piña fresca cortada, aunado al proceso natural de maduración del fruto.

Color

La evaluación del color se realizó a través de los parámetros L* que representa la luminosidad, a* que indica el color rojo-verde y b* que es el responsable de la cromaticidad amarillo-azul.

Coordenada L*

En el caso del parámetro L*, existió diferencia significativa ($p < 0,05$) por efecto del tiempo de almacenamiento y la irradiación sobre los trozos de piña fresca cortada almacenados durante 15 días a 5 °C.

La Figura 7 muestra el efecto del tiempo sobre la luminosidad (L*) de los trozos de piña fresca cortada almacenada durante 15 días a 5 °C. En dicha figura se puede evidenciar que los trozos de piña con un valor promedio inicial de 68,99 presentó diferencia significativa ($p < 0,05$) con respecto a los demás días según las pruebas de medias, disminuyendo levemente su tendencia para los días 3 y 6. En el caso de los últimos días (9, 12 y 15) del almacenamiento no hubo diferencias significativas ($p < 0,05$) entre ellos, registrándose un valor de 59,25; 57,86, y 58,11 respectivamente.

La Figura 8 muestra el efecto de los tratamientos (con luz UV y sin luz UV) sobre el parámetro L* en piña fresca cortada almacenada durante 15 días a 5 °C. Las pruebas de medias arrojaron que hubo diferencias significativas ($p < 0,05$) entre todos los tratamientos, las muestras irradiadas con luz UV presentaron un valor promedio de 60,12 y 62,32 para distancias de 8 y 15 cm respectivamente, la muestra sin tratar por otra parte mostró un valor de 63,90.

La disminución de la coordenada L* es producto del proceso de maduración de la fruta donde va perdiendo

luminosidad a medida que se sintetizan muchos compuestos y posteriormente se da el proceso degradativo.

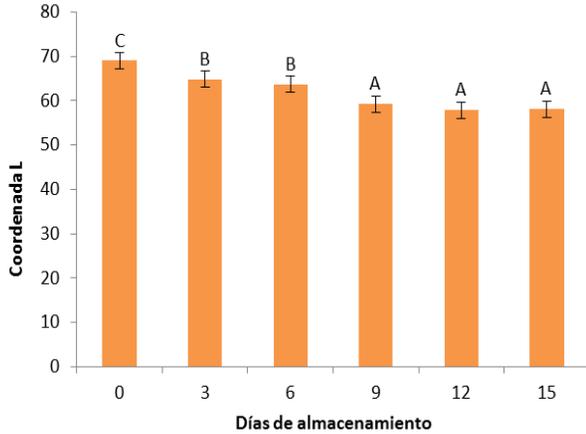


Fig 7. Efecto del tiempo sobre las muestras tratadas con luz UV y aquellas sin tratar sobre el parámetro L* en piña fresca cortada almacenada durante 15 días a 5 °C.

La pérdida de luminosidad es usada como indicador de pardeamiento (González-Aguilar y col., 2008; Djoua y col., 2010). El cual ocurre durante el procesamiento de las frutas donde las células se rompen y provoca que las enzimas se descompartamentalicen y entren en contacto con sus sustratos (Manzocco y col., 2011).

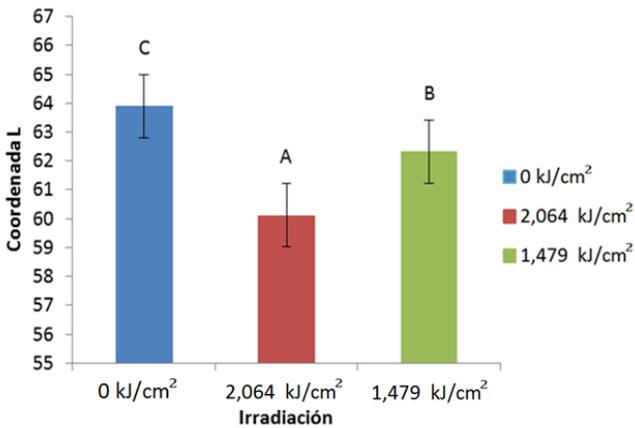


Fig 8. Cambios en los valores del parámetro L* en trozos de piña fresca cortada tratada con luz ultravioleta a dosis de 0; 2,064 y 1,479 kJ/m² almacenadas a 5 °C durante 15 días.

Al igual que la luz UV (UV-A, UV-B y UV-C) afecta al tejido de la fruta, también ocurre con el color de la misma, puesto que se ve reflejado que las muestras irradiadas presentaron valores de L* menores que los de las muestras control, lo que difiere de lo reportado por Márquez y Pretell (2013) que aplicaron dosis de 7 y 14 kJ/m² y obtuvieron valores de L* mayores que las muestras control sobre el color de las rebanadas de piña, esto puede

atribuirse a que las dosis aplicadas eran mucho mayores que las del presente estudio, ocasionando tal vez que la luminosidad de la piña fuera mayor en las muestras irradiadas.

La incidencia de la luz UV puede repercutir de otra manera en los sustratos. Manzocco y col. (2011) utilizaron dos irradiaciones UV-C (1,2–24,0 kJ/m²) y un tiempo de almacenamiento de 15 días a 6 °C para posteriormente evaluar el parámetro L* en rodajas de manzana mínimamente procesada, las cuales al final del almacenamiento presentaron claramente un mayor pardeamiento superficial incrementado con el aumento de la dosis de radiación UV-C. Estos resultados concuerdan con los del presente estudio, donde el parámetro L* también se vio afectado.

Coordenada a*

La Figura 9 muestra el efecto del tiempo de almacenamiento sobre el parámetro a* de las muestras de piña fresca cortada, donde esta coordenada varió conforme avanzaron los días de almacenamiento. Las pruebas de medias indicaron que hubo diferencia significativa (p < 0,05) entre el día inicial del análisis con respecto al resto de los días de almacenamiento, que no presentaron diferencias entre ellos hasta el día 12.

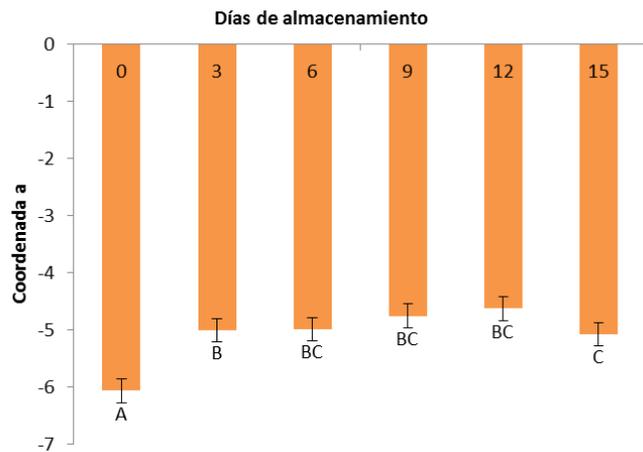


Fig 9. Efecto del tiempo sobre el parámetro a* en trozos de piña fresca cortada tratada con luz ultravioleta en función del almacenamiento a 5 °C durante 15 días.

La coordenada a* el primer día presentó en los trozos de piña un valor negativo de -6,07 que fue en aumento hasta el día 12 del análisis con un valor de -4,63. Esto se debe a que el color se dirige hacia las tonalidades rojas, es decir, hacia el lado positivo de la coordenada. Dicha tendencia corresponde al oscurecimiento de la fruta, lo cual, se puede relacionar con la formación de compuestos poliméricos coloreados y el avance del pardeamiento en la fruta después

del procesamiento (Bhat y col., 2011).

El pardeamiento enzimático resulta de la acción de un grupo de enzimas denominadas polifenoloxidasas (PPO), las cuales se encuentran en todas las plantas. Estas enzimas catalizan la reacción de oxidación de los compuestos fenólicos a quininas. La posterior oxidación y polimerización de las quininas dan lugar a la formación de compuestos pardos (García y Barrett, 2002).

Numerosos autores han reportado que un decrecimiento en el valor de L^* y un incremento en el valor de a^* son indicativos de pardeamiento (Monsalve-González y col., 1993; Goupy y col., 1995; Rocha y Morais, 2003), tal como se evidenció en este estudio, donde los valores de L^* disminuyeron y los de a^* aumentaron.

La luz UV afecta tanto al tejido de las frutas como al color de las mismas, viéndose el parámetro a^* influenciado por la incidencia de ésta. En la figura 10 se observa que las muestras irradiadas a 15 y 8 cm presentaron mayores valores (-4,95 y -4,86, respectivamente) que los de la muestra control (-5,46) encontrándose diferencias significativas ($p < 0,05$) en las pruebas de medias. Así, Márquez y Pretell (2013) obtuvieron la misma tendencia que en el presente estudio aplicando dosis de 7 y 14 kJ/m^2 , donde la coordenada a^* se dirigía hacia el lado positivo, sin embargo, registraron valores menores en las muestras irradiadas comparadas con las muestras control sobre este parámetro de color en rebanadas de piña.

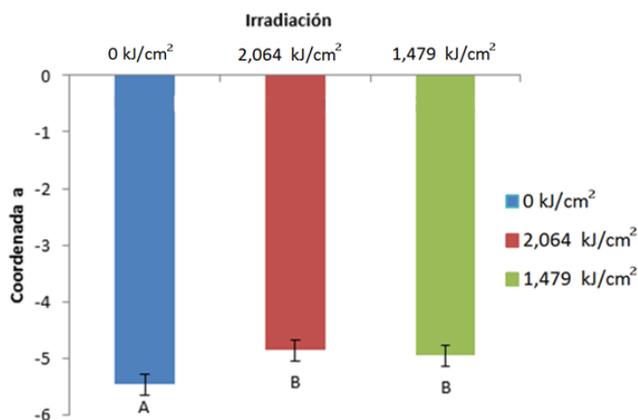


Fig 10. Cambios en los valores del parámetro a^* en trozos de piña fresca cortada tratada con luz ultravioleta a dosis de exposición de 0; 2,064 y 1,479 kJ/m^2 almacenadas a 5 °C durante 15 días.

Manzocco y col. (2016), estudiaron el efecto de la luz UV-C en palitos de piña fresca cortada empacados en bandejas (PET, EVOH y PE) y almacenados a 6 °C. Estos investigadores emplearon una dosis de irradiación de 200 J/m^2 y obtuvieron resultados similares presente estudio en cuanto al parámetro a^* (-4,3) de color. Concluyeron que los

cambios en la apariencia de la piña fresca cortada se atribuyen a la variabilidad intrínseca de los frutos en lugar de la aplicación de luz UV-C.

Por lo tanto, los tratamientos de luz UV pueden afectar el parámetro a^* en la piña cortada según lo observado en comparación con las muestras sin tratar.

Coordenada b^*

En la Figura 11 se aprecia el efecto del tiempo sobre el parámetro b^* en trozos de piña fresca cortada almacenada a 5 °C durante 15 días. Se observó que al inicio del análisis la coordenada b^* tuvo un valor de 23,81 y a medida que transcurrió el almacenamiento fue disminuyendo gradualmente hasta llegar al día 15 con un valor de 14,64, lo cual concordó con la tendencia a la pérdida de tonalidades amarillentas iniciales en la pulpa de esta fruta hacia su oscurecimiento. La prueba de Duncan indicó que no hubo diferencia significativa entre los días 3, 6, y 9 del almacenamiento, más sí entre estos días y los días 0, 12 y 15.

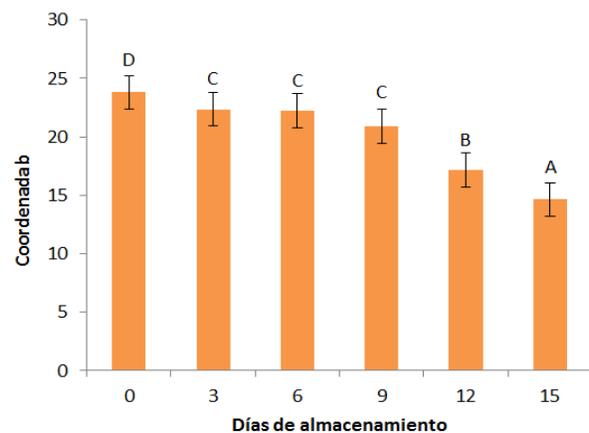


Fig 11. Efecto del tiempo sobre el parámetro b^* en trozos de piña fresca cortada tratada con luz ultravioleta en función del almacenamiento a 5 °C durante 15 días.

Márquez y Pretell (2013) aplicaron dosis de 7 y 14 kJ/m^2 a rebanadas de piña y obtuvieron valores de b^* mayores que las muestras control, no fue así el caso del presente estudio donde las dosis aplicadas fueron diferentes y los resultados también. Según Jay (1997), la disminución de los parámetros de a^* y b^* por efecto de la luz UV indica que el tratamiento induce a una disminución de las concentraciones de carotenoides afectando la concentración de algunos compuestos y además cataliza cambios oxidativos, lo que lleva a la decoloración.

El color de las frutas se debe fundamentalmente a la presencia de tres familias de pigmentos: clorofilas, carotenoides y antocianinas. En algunas variedades el color verde disminuye en el curso de la maduración pues los cloroplastos, organelos que contienen la clorofila y donde se

realiza la fotosíntesis, son reemplazados progresivamente por pequeños organelos con pigmentos naranjas y amarillos (carotenos y xantofilas). Los cambios de color pueden utilizarse como indicadores del avance del proceso de maduración (Báez y Bringas, 1995).

La estructura de estos pigmentos puede verse afectada en cierto grado durante el desarrollo, la maduración y los tratamientos poscosecha. Factores tales como la luz, el pH, la humedad relativa, la composición de gas y sistemas enzimáticos estarían involucrados en el deterioro del color (Artés y col., 2002). Los otros aspectos de la apariencia que reducen la calidad son la pérdida de frescura, como el marchitamiento, la pérdida de brillo en la superficie o arrugamiento de la piel, y el desarrollo de defectos externos e internos, causados por la senescencia natural, desórdenes fisiológicos y el desarrollo de organismos causantes de enfermedades (Aked, 2002).

Por otro lado, cabe destacar el trabajo de Manzocco y col. (2011), quienes utilizaron dos irradiaciones UV-C (1,2–24,0 kJ/m²) y un tiempo de almacenamiento de 15 días a 6 °C para posteriormente evaluar los parámetros de color b* en rodajas de manzana mínimamente procesada, las cuales al final del almacenamiento presentaron claramente un mayor pardeamiento superficial incrementado con el aumento de la dosis de radiación UV-C. Los valores de b* coincidieron con los reportados por estos autores, donde la luz UV incidió de manera diferente en el color superficial de la fruta.

Firmeza

La Figura 12 muestra el efecto del tiempo sobre la firmeza de los trozos de piña fresca cortada almacenada a 5 °C durante 15 días. La firmeza, medida como la fuerza de penetración, disminuyó a medida que transcurrió el tiempo de almacenamiento. Según la prueba de medias, existió diferencia significativa ($p < 0,05$) entre todos los días del análisis, mientras que entre el día 3 y 9; el día 6 y 9; y los días 6 y 12 del almacenamiento, no se presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$).

Al inicio del almacenamiento los trozos de fruta presentaron un valor de 12,77 N, que fue la fuerza requerida por el equipo para penetrar el tejido. Para los últimos días del estudio, la piña disminuyó los niveles de firmeza donde la fuerza que necesitó el equipo fue en promedio de 9,11 N.

Esta disminución gradual coincidió con el proceso de maduración descrito por la fruta y el comienzo de la senescencia en la cual su dermis se encuentra envejecida, lo que provoca una menor resistencia a la penetración de la sonda del texturómetro, puesto que durante la maduración, la velocidad de degradación de las sustancias pépticas está relacionada con el ablandamiento de la fruta

(Aguilera y Stanley, 1999), lo que explica que durante dicho proceso las sustancias pépticas se despolimerizan y solubilizan, perdiendo humedad las células por causa de la transpiración, disminuyendo con ello la presión de turgencia y debilitando la estructura y consistencia de la fruta (Rao y Steffe, 1992).

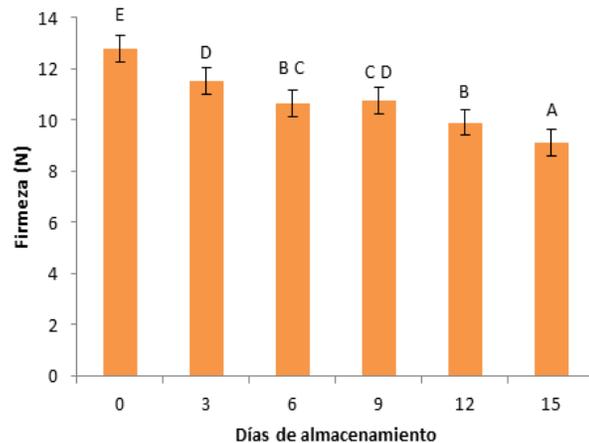


Fig 12. Efecto del tiempo sobre la firmeza en trozos de piña fresca cortada almacenada a 5 °C durante 15 días.

La firmeza es una cualidad sensorial, con un rol muy relevante en la aceptabilidad por parte de los consumidores, en las frutas, este parámetro de calidad está influenciado por factores estructurales químicos: los constituyentes bioquímicos de los organelos celulares, el contenido de agua y la composición de la pared celular. Por lo tanto, cualquier agente externo que afecte a uno o varios de estos factores puede modificar la firmeza e inducir cambios que modifiquen la calidad final del producto (Martínez-Romero y col., 2007).

La pared y membrana celular son organelos blanco de la irradiación UV, debido a que los componentes de la membrana (fosfolípidos y glicolípidos) y de la pared (proteína y ligninas), absorben energía en el rango ultravioleta; al mismo tiempo la luz UV genera especies reactivas de oxígeno que causan estrés oxidativo afectando la estabilidad de la pared y de la membrana celular (Foyer y col., 1994).

En este sentido, los trozos de piña fueron sometidos a bajas dosis pero expuestos a todo el rango de luz UV (UV-A, UV-B y UV-C), por lo tanto, las muestras irradiadas presentaron una menor resistencia que la muestra control al análisis de firmeza como se muestra en la Figura 13. Se atribuye que este comportamiento es resultado del cambio ocurrido por efecto de la luz UV en el tejido de las muestras irradiadas, aunado además al proceso de maduración y posterior senescencia luego del procesado y tiempo de almacenamiento de la fruta.

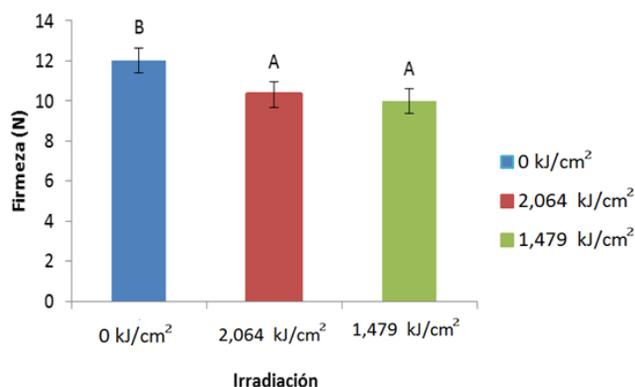


Figura 13. Valores de firmeza en trozos de piña fresca cortada tratada con luz ultravioleta a dosis de 0; 2,064 y 1,479 kJ/m² almacenadas a 5 °C durante 15 días.

Pan y Zu (2012) reportaron que las rebanadas de piña tratadas durante 90 s con dosis de irradiación UV-C a 4,5 kJ/m² durante su almacenamiento por 12 días a 10 °C retuvieron mejor la firmeza, en comparación con la muestra control y Márquez y col. (2013) encontraron una mayor retención de la firmeza en rebanadas de carambola tratadas con 7 y 14 kJ/m² de irradiación UV-C, almacenadas a 5 °C durante 16 días, en comparación con la muestra control.

Estos investigadores utilizaron dosis más altas y emplearon la luz UV-C en el pico más alto de la acción germicida (254 nm), lo cual no concuerda con los resultados obtenidos en este estudio debido principalmente a las dosis aplicadas, siendo en este caso la muestra control la que presentó una mayor resistencia en sus tejidos que las muestras irradiadas.

3 Conclusiones

La luz ultravioleta logró reducir el primer día del procesado 3,61 y 3,36 ciclos logarítmicos de una población de *E. coli* tratada a dosis de 1,479 y 2,064 kJ/cm² respectivamente, en la piña cortada. La luz UV redujo una población de *L. innocua* hasta 2,96 y 2,78 ciclos logarítmicos utilizando dosis de 2,064 y 1,479 kJ/cm², respectivamente al inicio del estudio. A mayores dosis de energía en los tratamientos con luz ultravioleta, mayor será la inactivación bacteriana en el sustrato. Por otro lado, el pH aumentó gradualmente en todos los tratamientos en función del tiempo. El pH de las muestras tratadas (3,66) fue mayor que en las muestras sin tratar (3,43) al final del estudio. La luminosidad disminuyó a lo largo del almacenamiento en todos los tratamientos. A mayor dosis de luz UV menor luminosidad en el sustrato. La coordenada a* aumentó hasta el valor más alto (-4,86) registrado, a la dosis más alta de irradiación (2,064 kJ/cm²). El parámetro b* de color no resultó afectado por el tratamiento con luz ultravioleta pero si lo afectó el tiempo de almacenamiento, con un valor inicial de 23,81 y final de

14,64. La firmeza disminuyó a lo largo del almacenamiento, los trozos de piña tratados presentaron menor resistencia que las muestras no tratadas. Finalmente se puede decir que la luz ultravioleta como método alternativo de conservación resultó ser un tratamiento efectivo para la inactivación de *E. coli* y *L. innocua* en piña fresca cortada.

Referencia

- Aguilera, J., Stanley, D., (1999). *Microestructural principles of food processing and engineering*. (Second edition). Maryland: ASPEN publication.
- Aked, J., (2002). Maintaining the postharvest quality of fruits and vegetables. En: Jongen, W. (Ed.), *Fruit and vegetable processing. Improving quality*, Woodhead Publishing Limited and CRC Press, England.
- Alferez, F., Agusti, M., Zacarías, L., (2003). Postharvest rind staining in Navel oranges is aggravated by changes in storage relative humidity: effect on respiration, ethylene production and water potential. *Postharvest Biology and Technology*. 28: 143-152. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925521402001205>
- Alvis, A., Pérez, L., Arrazola, G., (2011). Estudio de Propiedades Físicas y Viscoelásticas de Panes Elaborados con Mezclas de Harinas de Trigo y de Arroz Integral. *Inf. Tecnológica*. 22(4): 107-116. https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642011000400012&script=sci_abstract
- Alzamora, S., Guerrero, S., Lopez-Malo, A., Palou, E., Char, C., Raffelini, S., (2010). "Models for microorganism inactivation: application in food preservation design". En: *Processing effects on safety and quality of foods*. Ortega-Rivas, E. CRC Press. Londres, Inglaterra.
- Aranceta, J., Pérez, C., (2006). *Frutas, verduras y salud*. Barcelona: Elsevier Masson.
- Artés, F., Mínguez, M. I., Hornero, D., (2002). Analysing changes in fruits pigments. En: Mac Dougall, D.B. (Ed.), *Colour in food. Improving quality*, Woodhead Publishing Limited and CRC Press, England. Cap. 10.
- Artés-Hernández, F., Aguayo, E., Gómez, P., (2009). Innovaciones tecnológicas para preservar la calidad de los productos vegetales mínimamente procesados o de la "cuarta gama". *Horticultura Internacional*. 69:52-57. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/11903/1/CD-6580.pdf>
- Báez, S., Bringas, E., (1995). Elaboración de la norma mexicana de calidad para el mango fresco y su aplicación. *Proc. Interamerican Soc. Trop. Hort.* 39:127-141. <https://www.redalyc.org/pdf/610/61025405.pdf>
- Barahona, M., Sancho, E., (1991). *Fruticultura especial*

- Fascículo II. Piña y Papaya*. Universidad Estatal a Distancia. San José, Costa Rica.
- Bhat, R., Ameran, S., Voon, H., Karim, A., Tze, L., (2011). Quality attributes of star fruit (*Averrhoa carambola* L.) juice treated with ultraviolet radiation. *Food Chemistry*. 127:641-644.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23140712/>
- Birmpa, A., Sfika, V., Vantarakis, A., (2013). Ultraviolet light and ultrasound as non-thermal treatments for the inactivation of microorganisms in fresh ready-to-eat foods. *International Journal of Food Microbiology*. 167:96-102
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23827815/>
- Borja, E., (2010). Estudio de la conservación de fresas (*Fragaria vesca*) mediante tratamientos térmicos. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.
- Brennan, M., Le Port, G., Gormley, R., (2000). Post-harvest treatment with citric acid or hydrogen peroxide to extend the shelf life of fresh sliced mushrooms. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*. 33(4):283-289.
https://www.researchgate.net/publication/222351166_Postharvest_Treatment_with_Citric_Acid_or_Hydrogen_Peroxide_to_Extend_the_Shelf_Life_of_Fresh_Sliced_Mushrooms
- Calderón-Gabaldón, M., Raybaudi-massilia, R., Mosqueda-Melgar, J. y Tapia, M., (2012). Efecto de la luz UV-C y ácido málico sobre poblaciones de *Rhodotorula glutinis* y vida útil de rebanadas de papaya 'maradol'. *Bioagro*. 24(2):103-114.
<https://www.redalyc.org/pdf/857/85723473004.pdf>
- Cerrato, I., (2013). Manual de producción de piña. Programa Nacional de Desarrollo Agroalimentario (PRONAGRO). Honduras.
- CFSPH (Center for Food Security & Public Health), (2009). *E. coli* enterohemorrhagic. Iowa State University. Iowa, USA.
- Chang, J., Ossoff, S., Lobe, D., Dorfman, M., Dumais, C., Qualls, R., Johnson, J. (1985). UV inactivation of pathogenic and indicator microorganisms. *Applied and Environmental Microbiology*. 49(6):1361-1365.
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC241729/>
- COVENIN (Comisión Venezolana de Normas Industriales). 1979. Alimentos. Determinación del pH (acidez iónica) (1315).
- Chuchuca, G., Dick, A., Peñafiel, J., (2012). Implementación y validación de una metodología económica para la medición de color aplicada en alimentos. Tesis de grado. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador.
- Djioua, T., Charles, F., Freire, M., Filgueira, H., Ducamp-Collin, M., Sallanon, H., (2010). Combined effects of postharvest heat treatment and chitosan coating on quality of fresh-cut mangoes (*Mangifera indica* L.) *International Journal of Food Science and Technology*. 45: 849-855.
<https://ifst.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2621.2010.02209.x>
- Domínguez, L., Parzanese, M. (2011). Luz ultravioleta en la conservación de alimentos. *Alimentos Argentinos*, 52:70-76.
https://alimentosargentinos.magyp.gob.ar/contenido/rvista/ediciones/52/articulos/r52_13_LuzUltravioleta.pdf
- Ewing, W., (1985). *Edwards and Ewing's Identification of Enterobacteriaceae*. 4th Edition. Elsevier Science Publishing. New York. EE.UU.
- FAOSTAT, (2013). *Índices nacionales de producción* (Dataset). Disponible en: <http://data.fao.org/ref/e130bfe5-289a-4072-9a5b-1df9d42176f.html?version=1.0>
- Foyer, C., Descourvières, P. y Kunert, K., (1994). Protection against oxygen radicals: an important defense mechanism studied in transgenic plant. *Plant Cell Env*. 17:507-523.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-3040.1994.tb00146.x>
- García, E. y Barrett, D., (2002). Preservative treatments for fresh-cut fruits and vegetables. En: O. Lamikanra (Ed.), *Fresh-cut Fruits and Vegetables*. Science, Technology and Market. Boca Raton, Florida: CRC Press LLC.
- Gómez, P., Alzamora, S., Castro, M. y Salvatori, D., (2010). Effect of ultraviolet-C light dose and storage on color changes of fresh-cut apple. *Journal of Food Engineering*. 98 (1): 60-70.
https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/collection/paper/document/paper_02608774_v98_n1_p60_Gomez
- González-Aguilar, G., Celis, J., Sotelo-Mundo, R., De La Rosa, L., Rodrigo-García, J., Álvarez-Parrilla, E. (2008). Physiological and biochemical changes of different fresh-cut mango cultivars stored at 5 °C. *International Journal of Food Science and Technology*. 43: 91-101.
<https://ifst.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2621.2006.01394.x>
- González, I., (2010). Caracterización química del color de diferentes variedades de guayaba (*Psidium guajava* L.) colombiana. Tesis de Magister. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Química. Bogotá, Colombia.
- González, G., (1999). Viabilidad de la piña colombiana variedad Cayena lisa para su industrialización combinando las operaciones de deshidratación osmótica, impregnación a vacío y secado por aire caliente. Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Tecnología de Alimentos. Valencia, España.
- Goupy, P., Amiot, M., Richard-Forget, F., Duprat, F.,

- Aubert, S., Nicolas, J., (1995). Enzymatic browning of model solutions and apple phenolic substrates by apple polyphenoloxidase. *Journal of Food Science*. 60(3): 497.
<https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2621.1995.tb09811.x>
- Hulme, A., (1971). *The mango. In the biochemistry of fruit and their products*. London y New York: Ed. Hulme, A. C. Academic Press.
- Jay, J., (1997). Radiation preservation of foods and nature of microbial radiation and resistance. In: (Ed). *Modern Food Microbiology* Chapman and Hall. New York. pp. 304-323.
<https://ouci.dntb.gov.ua/en/works/9Z6Vdow9/>
- Kraemer, M., Eliana, L., (2011). Evaluación de distintas técnicas de postcosecha para prolongar la vida útil de peras mínimamente procesadas. Trabajo para optar al grado de Magister en Ciencias Agropecuarias. Universidad de Chile, Chile.
- Kulkarni, S., Karadbhajne, S., (2015). Influence of uv light exposure on shelf life extension of fresh-cut fruits. *International Journal of Advanced Research*. 3(5): 1296-1306.
<https://www.journalijar.com/article/4792/influence-of-uv-light-exposure-on-shelf-life-extension-of-fresh-cut-fruits/>
- López-Malo, A., Palou, E., (2005). Ultraviolet Light and Food Preservation. En: *Novel Food Processing Technologies*. Barbosa-Cánovas, G., Tapia, M. y Cano, M. (eds). Marcel Dekker Inc, New York. EE. UU.
- López-Rubira, V., Artés-Hernández, F., Artés, F., (2007). Evaluación de la calidad de granadas tratadas con UV-C y almacenadas en atmósfera controlada. V Congreso Iberoamericano de Tecnología Postcosecha y Agroexportaciones.
<https://repositorio.upct.es/entities/publication/09fe1555-ca6e-42d7-ab81-0e5737beacec>
- Manzocco, L., Da pieve, S., Bartolomeoli, I. y Maifreni M., (2011). Shelf life extension of fresh-cut fruit by UV-light exposure. In: 11th International Congress on Engineering and Food. Atenas, Grecia.
<https://es.scribd.com/document/365316868/Food-proces-engineering-vol-3-pdf>
- Manzocco, L., Plazzotta, S., Maifreni, M., Calligaris, S., Anese, M. y Nicoli, M., (2016). Impact of UV-C light on storage quality of fresh cut pineapple in two different packages. *Food Science and Technology*. 65:1138-1143
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643815302255>
- Martín-Belloso, O., (2010). Tecnologías emergentes en la conservación de alimentos. Institució Catalana de Recerca i Estudis Avançats (ICREA). Universidad de Lleida, España.
https://www.benasque.org/2010fronterastalim/talks_contr/061Olga_Martin_Belloso.pdf
- Martínez-Romero, D., Guillén, F., Valverde, J., Serrano, M., Zapata, P., Bailen, G., Valero, D., Castillo, S., (2007). *Aloe vera* gel como recubrimiento comestible en frutas y hortalizas. Universidad Miguel Hernández, España.
https://www.horticom.com/revistasonline/horticultura/rh195/42_45.pdf
- Márquez, L., PretelL C., (2013). Irradiación UV-C en frutas tropicales mínimamente procesadas. *Sci. Agropecu*. 4(3):147-161.
<https://www.redalyc.org/pdf/3576/357633706001.pdf>
- Márquez, L., PretelL C. y Minchón, C., (2013). Efecto de la dosis de irradiación UV-C y tiempo de almacenamiento sobre las características fisicoquímicas, microbiológicas, y antioxidantes en rebanadas de carambola (*Averrhoa carambola* L.) variedad Golden Star mínimamente procesada. *Pueblo Cont*. 23(2):353-369.
<https://www.semanticscholar.org/paper/EFFECTO-DE-LA-DOSIS-DE-IRRADIACION-C3%93N-UV-C-Y-TIEMPO-DE-Villacorta-V%3%A1squez/3dada79e00d164683d08d93471c9bbec71dab9f>
- Monsalve-González, A., Barbosa-Canovas, G., Cavalieri, R., Mcevely, A., y Iyengar, R., (1993). Control of browning during storage of apple slices preserved by combined methods, 4-hexyl resorcinol as antibrowning agent. *Journal of Food Science*. 58: 797-800.
<https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2621.1993.tb09361.x>
- Montero, M., (2010). Internal quality profile and influence of packaging conditions on fresh-cut pineapple. Tesis Doctoral. Universidad de Lleida. Lleida, España.
- Montilla de Bravo, I., Fernández, S., Alcalá de Marcano, D., Gallardo, M., (1997). El cultivo de la piña en Venezuela. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Centro de Investigaciones Agropecuarias del Estado Lara, Venezuela.
<https://repositorio.ica.int/items/1256ca4d-2684-4167-b68e-ebc801c22680>
- Morales, A., (2011). Frutoterapia: La fruta, el oro de mil colores. EDAF.
<https://www.ecoediciones.com/wp-content/uploads/2015/07/Las-frutas-oro-de-mil-colores-Vista-preliminar-del-libro.pdf?srsltid=AfmBOoq3AoPJsMsCZfZx6uR5Aa7OdhX5au6n3B28x5HexqPDPZOoEvI>
- Neidhardt, F., (1999). *Escherichia coli* and *Salmonella*: cellular and molecular Biology. 2nd edition. Washington:ASM Press.
https://www.researchgate.net/publication/313647867_Escherichia_coli_and_Salmonella_Cellular_and_m

- [olecular biology 2nd edition](#)
- Pan, Y., Zu, H., (2012). Effect of UV-C radiation on the quality of fresh-cut pineapples. *Procedia Engineering* 37:113-119.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705812018619>
- Parzanese, M., (2012). Vegetales mínimamente procesados. *Revista Alimentos Argentinos*, 55:30-39.
https://alimentosargentinos.magyp.gob.ar/contenido/revista/ediciones/55/productos/R55_vegetales.pdf
- Paula, A., Conti-Silva, A., (2014). Texture profile and correlation between sensory and instrumental analyses on extruded snacks. *Journal of Food Engineering*. 121: 9-14.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877413004111>
- Pérez, M., Laskowski, L., Zambrano, J., Piña, H., (1997). Comportamiento postcosecha de frutos de piña (*Ananas comosus*) tratados con retardantes de la maduración almacenados a diferentes temperaturas. Universidad del Zulia, Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía*. 14(4):393-398.
https://www.revfacagronluz.org.ve/v14_4/v144z002.html
- Pérez, L., (2003). Aplicación de métodos combinados para el control del desarrollo del pardeamiento enzimático en pera (variedad Blanquilla) mínimamente procesada. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Tecnología de Alimentos. Valencia, España.
https://www.academia.edu/47614779/Aplicaci%C3%B3n_de_m%C3%A9todos_combinados_para_el_control_del_desarrollo_del_pardeamiento_enzim%C3%A1tico_en_pera_variedad_Blanquilla_m%C3%ADnimamente_procesada
- Pisabarro, A., (2009). Microbiología clínica. En: 1er curso de Diplomatura en Enfermería. Tema 2: Crecimiento y muerte de microorganismos. Universidad Pública de Navarra. Departamento de Producción Agraria. Navarra, España.
- Pizzocaro, F., Torreggiani, D. y Gilardi, G., (1993). Inhibition of apple polyphenoloxidase (PPO) by ascorbic acid, citric acid and sodium chloride. *Journal of Food Processing and Preservation*. 17:21-30.
https://www.researchgate.net/publication/229448660_Inhibition_of_apple_polyphenoloxidase_PPO_by_a_scorbic_acid_citric_acid_and_sodium_chloride
- Purizaga, Z., (2008). Control predictivo no lineal basado en modelos Hammerstein y Wiener para pH. Tesis de Grado. Universidad de Piura. Perú.
- Ramos-Villarroel, A., Aron-Maftei, N., Martín-Belloso, O., Soliva-Fortuny, R., (2012). Influencia de la distribución espectral de inactivación y de calidad cambios bacterianos de sandía fresca cortada tratados con pulsos de luz intensa. *Postharvest Biology and Technology*. 69:32–39.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925521412000518>
- Rao, M., Steffe, J., (1992). *Viscoelastic properties of foods*. Elsevier Applied Science. New York, USA.
- Rivera-Pastrana, D., Gardea-Béjar, A., Martínez-Téllez, M., Rivera-Domínguez, M., González-Aguilar, G., (2007). Efectos bioquímicos postcosecha de la irradiación UV-C en frutas y hortalizas. *Revista Fitotécnica de Mexicana*. 30(4):361-372.
<https://www.redalyc.org/pdf/610/61030403.pdf>
- Rocha, A., Morais, A., (2003). Shelf life of minimally processed apple (cv. Jonagored) determined by colour changes. *Food Control*. 14:13-20.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956713502000464>
- Rowan, N., Macgregor, S., Anderson, J.M., Fouracre, R., Cllvaney, L., Farish, O., (1999). Pulsed-light inactivation of food-related microorganisms. *Applied and Environmental Microbiology*. 65:1312-1315.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10049899/>
- Soloman, D., Razali, Z., Santhirasegaram, V., Somasundram, C., (2015). Effects of ultraviolet light (UV-C) and heat treatment on the quality of fresh-cut ‘Chokanan’ mango and ‘Josephine’ pineapple. *Journal of Food Science*. 80(2): S426-S434.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25586772/>
- Schenk, M., Guerrero, S., Alzamora, S., (2008). Response of some microorganisms to ultraviolet treatment on fresh-cut pear. *Food and Bioprocess Technology*. 1(4):384–392.
https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/collection/paper/document/paper_19355130_v1_n4_p384_Schenk
- Siddiq, M., Ahmed, J., Lobo, M., Ozadali, F., (2012). *Tropical and Subtropical Fruits. Postharvest Physiology, Processing and Packaging*. New Delhi: Wiley-Blackwell.
- SIOVM, [Mayo, 2011]. *Sistema de Información de Organismos Vivos Modificados*. Proyecto GEF - CI-BIOGEM/CONABIO. México, D.F. Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/bioseguidad/doctos/consutaSIOVM.html>
- Thompson, A., (1998). *Tecnología post-cosecha de frutas y hortalizas*. Convenio SENA-Reino Unido. Colombia: Editorial Kinesis.
- Trepas, M., (2002). Incidencia y comportamiento de *Salmonella* y *Listeria* en pechugas de pavo curadas. Tesis Doctoral. Facultad de Veterinaria, Universidad Autónoma de Barcelona. España.
- Torres, K., Sierra, S., Poutou, R., Carrascal, A., Mercado, M., (2005). Patogénesis de *Listeria monocytogenes*, microorganismo zoonótico emergente. Universidad de Córdoba, Colombia. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia*. 10(1): 511-543
<https://revistamvz.unicordoba.edu.co/article/view/47>

[5/543](#)

Trujillo, F., López, S., Tavera, V., Tapia, M., Cava, R., (2001). Estudio de la estabilidad microbiológica de melón mínimamente procesado por impregnación a vacío. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. 51:173-179.

https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222001000200009

USFDA (United States Food and Drug Administration), (2002). Ultraviolet radiation for the processing and treatment of food. Code of Federal Regulations (CFR) Volumen 3. Título 21. Sección 179.39.

<https://www.ecfr.gov/current/title-21/chapter-I/subchapter-B/part-179/subpart-B/section-179.39>

USDA (United States Department of Agriculture). Agricultural Research Service, (2014). USDA National Nutrient Database for Standard Reference. Release 27.

Wills, R., Lee, T., Gram, D., Mcglason, W., Hall, E., (1984). *Fisiología y manipulación de frutas y hortalizas poscosecha*. Zaragoza: Editorial Acribia.

Received: January 12th, 2025

Accepted: May 22th, 2025

Ana Ramos, PhD en Ciencias y Tecnología Agraria y Alimentaria por la Universidad de Lleida, Lleida, España. Investigador del Centro de Oceanología y Estudios Antárticos. Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas.

<https://orcid.org/0000-0003-4587-7327>

Nicoleta Maftai, PhD en Ingeniería Industrial. Profesor titulado en Farmacia. Universidad de Galati "Dunarea de Jos", Galati, Romanía. Correo electrónico: nicoleta.aron@ugal.ro

<https://orcid.org/0000-0003-0918-5534>

