



Efecto de la radiación UV-C sobre la calidad y la flora fúngica contaminante natural de arándanos (*Vaccinium corymbosum* L., variedad O'Neal)

Effect of UV-C radiation on the quality and contaminating fungal flora of blueberries (*Vaccinium corymbosum* L., variety O'Neal)

Efeito da radiação UV-C na qualidade e contaminação da flora fúngica de mirtilos (*Vaccinium corymbosum* L., variedade O'Neal)

Laura Noemí Frisón¹, * <https://orcid.org/0000-0002-5274-7224>

María Zoé Rivas^{1,2} <https://orcid.org/0000-0002-6817-9866>

Carolina Andrea Chiericatti¹ <https://orcid.org/0000-0002-2967-8515>

Andrea Marcela Piagentini² <https://orcid.org/0000-0002-0717-5503>

*Autor de contacto: lfrison@fiq.unl.edu.ar

¹Cátedra de Microbiología, Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe, Argentina.

²Instituto de Tecnología de Alimentos, Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe, Argentina.

Recepción: 3 Diciembre 2020 **Aprobación:** 16 Abril 2021

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0 Internacional.

Resumen: Se estudió el efecto de la radiación ultravioleta (UV-C, 4 W m^{-2}) sobre la calidad y los mohos aislados de arándanos. Se modeló el efecto de la radiación UV-C (ensayos *in vitro*: 4 W m^{-2} , durante 20 minutos) sobre los conidios de cuatro de los mohos más frecuentes y abundantes aislados de arándanos (*Aspergillus niger*, *Arthrimum phaeospermum*, *Penicillium decumbens* y *Eurotium repens*). La reducción en los recuentos de los mohos se produjo hasta los 10 minutos de tratamiento. Se aplicó el tratamiento seleccionado sobre las muestras de arándanos inoculadas con los conidios de los dos mohos más resistentes (*Aspergillus niger* y *Arthrimum phaeospermum*). La radiación UV-C (dosis = $2,4 \text{ kJ m}^{-2}$, 10 minutos) incrementó ligeramente el valor de pH sin modificar significativamente el contenido de los sólidos solubles, la firmeza y el color de los arándanos. El tratamiento con UV-C incrementó el contenido de fenoles totales (13%) y la capacidad antioxidante (8%) con respecto a los arándanos sin tratar. Es fundamental identificar la microflora contaminante para aplicar correctamente el tratamiento. La dosis de UV-C seleccionada mantuvo los atributos relacionados con la calidad sensorial, aumentando el contenido de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante de los arándanos.

Palabras clave: mohos, antifúngico, ultravioleta.

Abstract: The effect of UV-C radiation (in vitro tests: 4 W m^{-2} , for 20 min) on the conidia of the four more frequent and abundant molds isolated from blueberry (*Aspergillus niger*, *Arthrimum phaeospermum*, *Penicillium decumbens*, and *Eurotium repens*) was modeled. The reduction in mold counts occurred up to 10 minutes of treatment. The selected treatment was applied to the blueberry samples inoculated with the conidia of the two most resistant molds (in vivo tests: *Aspergillus niger* and *Arthrimum phaeospermum*). UV-C radiation ($2,4 \text{ kJ m}^{-2}$, 10 minutes) slightly increased the pH value without significantly modifying the soluble solids content, firmness, and color of blueberries. Treatment with UV-C increased the concentration of total phenols (13%) and the antioxidant capacity of blueberries (8%) compared to the untreated sample. It is essential to identify the contaminating microflora to correctly apply the treatment. The UV-C selected dose maintained the attributes related to sensory quality, increasing the content of phenolic compounds, and the antioxidant capacity of blueberries.

Keywords: molds, antifungal, ultraviolet.

Resumo: O efeito da radiação UV-C (testes *in vitro*: 4 W m^{-2} , por 20 minutos) sobre os conidios dos quatro fungos mais frequentes e abundantes isolados de mirtilo (*Aspergillus niger*, *Arthrimum phaeospermum*, *Penicillium decumbens* e *Eurotium repens*) foi modelado. A redução na contagem de fungos ocorreu até 10 minutos depois do tratamento. O tratamento selecionado foi aplicado às amostras de mirtilo inoculadas com os conídios dos dois fungos mais resistentes (testes *in vivo*: *Aspergillus niger* e *Arthrimum phaeospermum*). A radiação UV-C ($2,4 \text{ kJ m}^{-2}$, 10 minutos) aumentou ligeiramente o valor do pH sem modificar significativamente o conteúdo de sólidos

solúveis, firmeza e cor dos mirtilos. O tratamento com UV-C aumentou a concentración de fenóis totais (13%) e a capacidade antioxidante dos mirtilos (8%) en comparación com a amostra non tratada. É fundamental identificar a microbiota contaminante para aplicar correctamente o tratamento. A dose de UV-C seleccionada manteve os atributos relacionados con a calidade sensorial, aumentando o teor de compostos fenólicos, e a capacidade antioxidante dos mirtilos.

Palabras-chave: bolores, antifúngico, ultravioleta.

INTRODUCCIÓN

Hay un notable cambio en las pautas de consumo hacia productos naturales con componentes benéficos para la salud. En este sentido, el consumo de frutas y hortalizas frescas es parte importante de una dieta saludable. Aporta vitaminas, minerales, fibras y compuestos biológicamente activos, responsables de su potencial saludable (Cano, et al., 2005; Rodríguez-Arzuaga y Piagentini, 2018). Los arándanos (*Vaccinium corymbosum*), en particular, tienen un impacto altamente positivo sobre la salud debido a su concentración de compuestos fenólicos con gran capacidad antioxidante, responsables también del color rojo-azulado característico de su piel. Dietas ricas en antioxidantes están asociadas con un menor riesgo de padecer patologías cardiovasculares, neurodegenerativas, cáncer e incluso el envejecimiento, todas ellas vinculadas al estrés oxidativo (López Alarcón y Denicola, 2013). Esto ha causado un aumento generalizado en el consumo de arándanos, por ser reconocido como un alimento saludable debido a su elevado valor nutricional y terapéutico (Azevedo, et al., 2010; Rivadeneira y Kirschbaum, 2011).

El arándano es una fruta muy perecedera, en general su vida útil no supera las dos o tres semanas dependiendo de la variedad, cultivo, cosecha y el posterior proceso hasta su consumo (Rivadeneira y Kirschbaum, 2011). Las enfermedades fúngicas junto a la mosca de la fruta son las principales causas de pérdidas de calidad (Munitz, et al., 2013; Rivas, et al., 2019). La mayoría de los propágulos fúngicos pueden dispersarse rápidamente por el agua y por el aire, y sobrevivir en condiciones extremas (Snyder y Worobo, 2018), pero muestran una resistencia limitada a los tratamientos térmicos. Sin embargo, los mohos resistentes al calor (que presentan ascosporas) pueden sobrevivir a procesos térmicos, causando deterioro a productos elaborados a base de frutas (Slongo y Aragão, 2006; Frisón, et al., 2012).

Se ha estudiado la aplicación de nuevas tecnologías de procesamientos no térmicos de alimentos, teniendo en cuenta que la utilización de técnicas tradicionales puede afectar las características sensoriales y el valor nutricional de las frutas. Se plantea entonces mejorar las técnicas de descontaminación tradicionales y/o encontrar nuevas tecnologías que las superen en eficiencia (Rodríguez-Arzuaga y Piagentini 2018; Van de Velde, et al., 2013). Estas tecnologías utilizan diferentes métodos químicos y/o

físicos, y procesos no térmicos como el uso de la radiación ultravioleta (radiación UV-C), con el objetivo de asegurar la inocuidad, minimizar pérdidas de compuestos bioactivos, añadir valor, y producir cambios mínimos en la calidad sensorial (Cano, et al., 2005; Gutiérrez, et al., 2016).

El efecto germicida de la radiación UV-C ha sido probado en distintos alimentos como un método superficial de descontaminación, que tiene la ventaja de no dejar residuos ni incrementar la temperatura. Por esta razón, se considera una buena alternativa en el manejo postcosecha de frutas y hortalizas frescas ya que es una tecnología de fácil aplicación y bajo costo, que reduce la carga microbiana inicial en la superficie del producto e induce la resistencia del huésped a los microorganismos. (Gallardo Sandoval, 2013, Guerrero-Beltrán y Barbosa-Cánovas, 2004). Además de su empleo para detener el deterioro ocasionado por el crecimiento de microorganismos, la radiación UV-C ha sido evaluada como tratamiento para retardar el avance de los procesos de senescencia (ablandamiento, cambios de color, etcétera) en productos como tomate, hojas de lechuga y espinaca, cítricos, duraznos, zanahorias, manzanas, uvas y frutillas (Tardón, et al., 2011).

Por otro lado, las dosis bajas de la radiación UV-C pueden desencadenar algunas reacciones favorables en frutas y hortalizas, que pueden conducir al incremento de los componentes beneficiosos para la salud (Ribeiro, et al., 2012).

Existen diversas variables que afectan el tratamiento con radiación UV-C, entre las cuales se pueden considerar el tiempo de exposición, la intensidad de la fuente, la composición del alimento y el diseño del equipo, entre otras. Por ello resulta relevante la evaluación de esta tecnología en cada producto en particular, y así poder definir las condiciones óptimas de aplicación y los posibles cambios en calidad (Kowalski, 2009).

Por lo anteriormente expuesto, el objetivo de este trabajo fue estudiar y modelar la acción de diferentes dosis de radiación UV-C para la reducción y/o eliminación de los mohos aislados de arándanos frescos (*Vaccinium corymbosum* L. O'Neal) y tratados térmicamente (mohos termorresistentes), así como también determinar el efecto de la aplicación de este tratamiento sobre la calidad y el potencial saludable de los arándanos frescos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestras de arándanos y equipo de radiación UV-C

Se estudiaron arándanos azules frescos (*Vaccinium corymbosum* L., variedad O'Neal), sin daño fisiológico aparente, con un diámetro de $1,32 \pm 0,14$ cm y un peso individual de $1,35 \pm 0,39$ g. El estudio se realizó con arándanos provenientes de una plantación comercial de la zona de Concordia, provincia de Entre Ríos, Argentina. Los mismos

fueron cosechados manualmente y transportados inmediatamente hasta el laboratorio a 1,5 °C. Se utilizó un equipo de radiación UV-C diseñado por el Laboratorio de Microbiología de la Facultad de Ingeniería Química (U.N.L.), construido en acrílico, y que posee dos lámparas de luz ultravioleta (Philips G30 T8, 15 W, λ : 254 nm) cada una ubicada en forma paralela y separadas a una distancia de 5 cm entre ambas, como se observa en la Figura 1.



Figura 1. Equipo de radiación UV-C utilizado

Efecto de la radiación UV-C sobre mohos aislados de arándanos (ensayo *in vitro*)

Se estudió el efecto del tratamiento con radiación UV-C sobre los conidios de mohos aislados, identificados, y conservados de arándanos frescos (STT) y tratados térmicamente 10 min a 80°C (CTT), que presentaron mayor frecuencia (Fr) y abundancia (Ab) de aparición en un estudio realizado sobre los mismos lotes de frutas (Rivas, et al., 2019). Los mohos aislados e identificados de arándanos STT utilizados fueron *Aspergillus niger* (31% Ab y 70% Fr) y *Penicillium decumbens* (11% Ab y 21% Fr). Los mohos aislados e identificados de arándanos CTT utilizados fueron *Arthrinium phaeospermum* (36% Ab y 30% Fr) y *Eurotium repens* (21% Ab y 13% Fr). Las cepas puras de cada moho conservadas en crioviales con Agar – Agua al 0.2% ($m v^{-1}$) se reactivaron a través de repiques sobre placas con medio Agar Extracto de malta (MEA) simple concentración con agregado de cloranfenicol. Las placas se incubaron por 7 días a 28°C

para tener cultivos en fase exponencial de crecimiento y con suficientes conidios para realizar los tratamientos con radiación UV-C.

Se cosecharon los propágulos fúngicos (conidios y restos de hifas) de cada una de las especies por raspado de la superficie de las placas de reactivación y se resuspendieron en una solución de Tween[®]20 (polysorbate) (0,1% vv⁻¹). Las concentraciones iniciales de las suspensiones se determinaron por recuento en cámara de Neubauer y se ajustó la concentración a un valor de 10⁵ - 10⁶ propágulos mL⁻¹. Las concentraciones iniciales (N₀) se corroboraron por recuento microbiológico, cultivando en placas en medio MEA e incubando por 7 días a 28°C (Sobrero, et al., 2013). De manera similar, se obtuvieron los recuentos (N) luego de realizado cada tratamiento con radiación UV-C.

Para evaluar la acción de diferentes dosis de radiación UV-C sobre los propágulos fúngicos, se realizaron ensayos a una intensidad constante (I= 4 W m⁻²) y diferentes tiempos de exposición (0; 5; 10 y 20 min) o dosis (D= 0; 1,2; 2,4; y 4,8 kJ m⁻²). Se colocó 1 mL de suspensión de concentración conocida de cada propágulo fúngico sobre una placa de vidrio estéril y se sometió a la acción de la radiación UV-C a diferentes tiempos de exposición. Cada ensayo se realizó por triplicado y para cada especie estudiada.

Se determinaron las reducciones decimales entre los recuentos iniciales (N₀) y finales (N) después de cada tratamiento, la sensibilidad al tratamiento de los diferentes mohos estudiados y el rango efectivo de tiempo para realizar las experiencias sobre arándanos frescos inoculados.

Modelado de la inactivación de los mohos aislados

Los datos cinéticos de inactivación de los ensayos con radiación UV-C se ajustaron a un modelo bifásico de inactivación (Cerf, 1977) con el programa GinaFIT (Geeraerd, et al., 2005). La relación entre la supervivencia y el tiempo de exposición está dada por la Ecuación 1:

$$\frac{N}{N_0} = f \cdot e^{-k_1 \cdot t} + (1-f) e^{-k_2 \cdot t} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde N es el número de sobrevivientes (células mL⁻¹), N_0 es la población inicial (células mL⁻¹), f es una constante que indica la transición de la primera fase a la segunda, k_1 y k_2 son las constantes de inactivación para las dos fases (min⁻¹) y t es el tiempo de exposición (min).

Los valores del tiempo de reducción decimal (D_i), que expresan el tiempo de exposición requerido para una reducción de los recuentos de células en un 90% del valor inicial, son estimados para la primera y la segunda fase por $D_1 = \ln 10 \ k_1^{-1}$ y $D_2 =$

$\ln 10 k_2^{-1}$, respectivamente. La supervivencia a la transición de la primera a la segunda fase de inactivación se estimó por $N_{Tr} N_0^{-1} = 1 - f$.

Aplicación de radiación UV-C a arándanos frescos (ensayos *in vivo*)

Bajo las condiciones determinadas en los ensayos *in vitro*, se estudió el efecto de la radiación UV-C sobre los arándanos frescos inoculados (con los mohos que resultaron más resistentes de acuerdo con los resultados obtenidos en los ensayos *in vitro*) y sin inocular. Se hicieron los recuentos microbiológicos en los arándanos inoculados antes y después de la realización de cada experiencia y se determinaron los atributos de calidad sobre los arándanos sin inocular. Se colocaron 0,5 mL de suspensión de propágulos fúngicos de concentración conocida sobre arándanos frescos (Sobrero, et al., 2013), se dejaron secar durante 3 h sobre placa de vidrio estéril en corriente de aire estéril provisto por un flujo laminar. Luego, se sometieron a la acción de la radiación UV-C en la dosis determinada en el ensayo *in vitro*. Los arándanos se sumergieron en 90 mL de agua de peptona al 0,1 % mv^{-1} contenida en bolsas estériles, se homogeneizaron manualmente y se realizó el recuento microbiológico realizando diluciones sucesivas en agua de peptona 0,1% mv^{-1} y sembrando 1 mL de la suspensión en medio MEA e incubando por 7 días a 28°C. Los resultados se expresaron como UFC mL^{-1} .

Atributos de calidad de arándanos frescos

Antes y después del tratamiento con radiación UV-C se determinaron los siguientes atributos de calidad: pH, contenido de sólidos solubles, firmeza, parámetros instrumentales de color, fenoles totales, antocianinas totales, y capacidad antioxidante.

Determinación de pH y del contenido de sólidos solubles

La determinación de pH se realizó por triplicado para cada muestra, utilizando un pHmetro compacto Twin pH Horiba B-213 (Horiba Ltd, Kyoto, Japón). Para la determinación del contenido de sólidos solubles se utilizó un refractómetro portátil digital Pocket ATAGO PAL-ALFA (ATAGO CO., LTD, Tokyo, Japón). Las determinaciones se realizaron por triplicado y los resultados se expresaron en °Brix.

Determinación de la firmeza

Se determinó la firmeza mediante ensayos de penetración con un analizador de textura TA XT Plus Stable Micro Systems (Godalming, Surrey, Reino Unido), equipado con una celda de carga de 50 N y con una punta cilíndrica de acero inoxidable de 4 mm de diámetro, con una distancia y velocidad de penetración de 10 mm y de 1 mms^{-1} , respectivamente. La fuerza máxima determinada (F_m) corresponde al punto de ruptura del epicarpio (límite de elasticidad) y representa la firmeza, [N]. Se realizaron

15-20 determinaciones por muestra.

Determinación de parámetros instrumentales de color

La evaluación instrumental del color se realizó utilizando un espectrofotómetro Minolta CM 508-d (Konica Minolta Inc., Ramsey, NJ, EEUU), con iluminante D65, ángulo del observador 10°, y componente especular excluido. Se evaluaron los parámetros CIELab y sus índices derivados: ángulo de tono (h_{ab}) y croma (C_{ab}^*) de acuerdo con Piagentini y Pirovani (2017). Se realizaron 15-20 medidas por cada muestra.

Determinación de fenoles totales, antocianinas totales y capacidad antioxidante

Preparación del extracto

Se pesaron 5 g de cada muestra de arándanos, previamente triturados y homogeneizados. Se agregaron 75 mL de una solución extractante de acetona/agua (80/20), y se sonicaron durante 15 min (baño con ultrasonido marca TESTLAB modelo TB04TDCCD, Buenos Aires). Posteriormente, se centrifugó a 12000 g a 4°C durante 15 min en centrífuga marca Heal Force modelo Neofuge 18R (Hong Kong, China). Se separó el sobrenadante y se lo utilizó para la determinación de fenoles totales, antocianinas totales y capacidad antioxidante de las muestras de arándano.

Contenido de fenoles totales

La determinación del contenido de fenoles totales se llevó a cabo a través del método de Folin-Ciocalteu, de acuerdo con Rodríguez-Arzuaga y otros (2016). Se determinó su concentración midiendo la absorbancia a 760 nm (espectrofotómetro Thermo Scientific modelo Genesys 10S UV-Vis). Los resultados fueron expresados en miligramos de ácido gálico equivalente (AGE) por 100 g (mg AGE/100 g).

Antocianinas totales

1. La determinación de la concentración de antocianinas monoméricas totales se llevó a cabo a través del método de pH - diferencial (Giusti y Wrolstad, 2001). Se midió la absorbancia de los extractos a 510 y 700 nm a pH 1 y 4,5. Las absorbancias se convirtieron a mg de cianidina-3-glucósido/100 g (mg C3G/100 g arándanos), con un coeficiente de extinción molar de 26900 L/(mol cm), un camino óptico de 1 cm y una absorbancia (A), de acuerdo con la Ecuación 2:

$$A = [(A_{510} - A_{700})_{pH=1} - (A_{510} - A_{700})_{pH=4,5}] \quad (\text{Ecuación 2})$$

Capacidad antioxidante

Se cuantificó por la disminución de la absorbancia de una solución metanólica de DPPH* (30 mg/L) a 517 nm en presencia del extracto, después de 120 min de reacción. Se expresó como capacidad antioxidante equivalente al ácido ascórbico (AEAC), de acuerdo con Rodríguez-Arzuaga y Piagentini (2018). Ecuación 3:

$$AEAC \left(\frac{mgAA}{100g} \right) = \frac{IC_{50}(AA)}{IC_{50} (muestra)} \cdot 10^5 \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde IC_{50} de AA e IC_{50} (muestra) son la cantidad de AA (Ácido Ascórbico) o peso fresco de la muestra, respectivamente, en 1 ml de reacción, necesaria para reducir al 50% la concentración inicial de DPPH*, obtenida de la gráfica de DPPH* remanente (%) vs concentración ($mg mL^{-1}$).

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de la varianza (ANOVA) y el test de diferencias de medias de Duncan para evaluar el efecto del tratamiento sobre todos los parámetros evaluados. Se utilizó el programa estadístico Statgraphics Centurion XV (Statpoint Technologies, Inc., Warrenton, Virginia, EEUU). El ajuste de los datos experimentales de recuentos de mohos a los modelos cinéticos propuestos se realizó con el programa GInaFiT (Geeraerd, et al., 2005).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cinética de inactivación de los mohos aislados de arándanos por aplicación de radiación UV-C (ensayo *in vitro*)

Se obtuvieron reducciones en el rango de 1,2 a 3,6 log, dependiendo de la especie de moho estudiada y del tiempo de aplicación de la radiación UV-C (Tabla 1). Para el caso de *Aspergillus niger*, *Arthrinium phaeospermum* y *Penicillium decumbens*, la reducción no presenta diferencias significativas para tiempos mayores a 10 minutos (dosis $\geq 2,4 \text{ kJ m}^{-2}$); mientras que para *Eurotium repens*, las reducciones se mantuvieron constantes a partir de los 5 minutos de tratamiento (dosis $\geq 1,2 \text{ kJ m}^{-2}$).

Tabla 1. Efecto del tratamiento con radiación UV-C sobre los mohos aislados de arándanos.

Tiempo (min)	Reducción ($\log N_0/N$)			
	<i>Arthriniun phaeospermun</i>	<i>Aspergillus niger</i>	<i>Eurotium repens</i>	<i>Penicillium decumbens</i>
0	(0,00 ± 0,33) a	(0,00 ± 0,18) a	(0,00 ± 0,34) a	(0,00 ± 0,07) a
5	(1,27 ± 0,19) b	(1,57 ± 0,10) b	(1,91 ± 0,20) b	(2,11 ± 0,04) b
10	(1,92 ± 0,19) c	(2,31 ± 0,10) c	(2,30 ± 0,20) b	(3,63 ± 0,07) c
20	(1,77 ± 0,30) c	(2,71 ± 0,16) c	(2,65 ± 0,31) b	(3,63 ± 0,07) c
Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas por el test de Duncan ($p < 0,05$)				

Los datos experimentales obtenidos se ajustaron al modelo bifásico de inactivación. Los valores de la raíz del error cuadrado medio (RMSE) se encontraron en los rangos adecuados, indicando que el modelo bifásico era el adecuado para representar los datos experimentales (Geeraerd, et al., 2005). Este modelo permitió la estimación de los valores de tiempo de reducción decimal D_1 (para la primera fase de inactivación) y D_2 (para la segunda fase) (Tabla 2).

Tabla 2. Parámetros del modelo bifásico para la cinética de inactivación con radiación UV-C.

Parámetros	Mohos			
	<i>Arthriniun phaeospermun</i>	<i>Aspergillus niger</i>	<i>Eurotium repens</i>	<i>Penicillium decumbens</i>
f	0,9865 ± 0,032	0,9948 ± 0,00229	0,9888 ± 0,00112	0,9998 ± 0,00002
k_1 (min ⁻¹)	0,66 ± 0,30	0,73 ± 0,07	1,07 ± 0,04	1,48 ± 0,03
k_2 (min ⁻¹)	0,00 ± 0,09	0,04 ± 0,02	0,08 ± 0,01	0,00 ± 0,01
Log(N_0)	5,16 ± 0,26	5,88 ± 0,10	6,65 ± 0,12	5,61 ± 0,05
D_1 (min)	3,489	3,15	2,15	1,56
D_2 (min)	-	57,56	28,78	-
RMSE	0,2319	0,1153	0,0434	0,0614
R ²	0,9182	0,9890	0,9984	0,9985
N_0 : población inicial (células mL ⁻¹), f: constante que indica la transición de la primera fase a la segunda, k_1 y k_2 : constantes de inactivación para las dos fases, RMSE: error cuadrado medio, D_i : Tiempo de reducción decimal (min). R ² : Coeficiente de determinación.				

Se pudo observar que el tratamiento con radiación UV-C permitió reducir en 2 o más órdenes logarítmicos los recuentos de los mohos aislados de arándanos para una dosis máxima de $4,8 \text{ kJ m}^{-2}$. *Penicillium decumbens* fue el más sensible a este tratamiento entre los mohos ensayados, presentando la mayor reducción luego de 20 min (3,63 log) y el menor tiempo de reducción decimal (D_1 : 1,56 min). Por otra parte, *Arthrimum phaeospermum* fue el menos sensible al tratamiento realizado con radiación UV-C, presentando la menor reducción luego de 20 min (1,77 min), y el mayor tiempo de reducción decimal (D_1 : 3,49 min) (Tablas 1 y 2). Estos resultados coinciden con lo informado por Millán Villarroel y otros (2015), que indican que la efectividad germicida de la radiación UV-C puede variar entre especies de microorganismos. Se ha demostrado, además, que puede mejorar la actividad de algunas enzimas, inhibir el crecimiento microbiológico e inducir la expresión genética de resistencia a enfermedades, retrasando así la senescencia de las frutas y hortalizas frescas. Se ha reportado que cuando los microorganismos fitopatógenos invaden el tejido vegetal, la actividad de la enzima PAL del metabolismo secundario, la síntesis de lignina y la resistencia a la oxidación se regulan para resistir a los fitopatógenos (Xu, et al., 2016).

Otros autores reportaron que el tratamiento con radiación UV-C a dosis entre $0,2$ y $4,2 \text{ kJ m}^{-2}$, como las usadas en este trabajo, reduce el deterioro microbiológico en frutas, afectando el metabolismo fúngico. Mendoza Alván (2014) obtuvo reducciones del 15 y del 20% en los recuentos iniciales de mohos totales en arándanos luego de tratarlos con radiación UV-C usando intensidades de 2 y 4 kJ m^{-2} , respectivamente. Ortiz Araque y otros (2018) informaron que dosis de 4 kJ m^{-2} de radiación UV-C redujeron la velocidad de germinación de los conidios de *Botrytis* y *Rhizopus* en frutillas.

Efecto de la radiación UV-C sobre los mohos inoculados en arándanos (ensayo *in vivo*)

Para analizar el efecto del tratamiento sobre los mohos inoculados en arándanos frescos, se seleccionaron dos de los mohos más resistentes al tratamiento con UV-C de los cuatro estudiados: *Arthrimum phaeospermum* (moho termo-resistente, aislado de arándanos tratados térmicamente) y *Aspergillus niger* (aislado de arándanos frescos). Ambos mohos son los que presentaron las menores constantes de velocidad de inactivación (k_1), y por lo tanto los mayores tiempos de reducción decimal (D_1) (Tabla 2).

Las condiciones para la realización del tratamiento se seleccionaron a partir de los resultados obtenidos en los ensayos *in vitro*, aplicando una dosis de $2,4 \text{ kJ m}^{-2}$ (I: 4 W m^{-2} , t: 10 min), debido a que a dosis (o tiempos) superiores no se obtuvieron mayores reducciones (Tabla 1).

Se pudo observar que el tratamiento aplicado sobre *Aspergillus niger* y *Arthrimum pheospermum* (ensayo *in vivo*) presentó una mayor reducción (1,9 log y 2,3 log, respectivamente) con relación al tratamiento aplicado sobre arándanos inoculados (ensayo *in vivo*) (1,3 log y 1 log, respectivamente).

Perkins-Veazie y otros (2008) estudiaron el efecto de la radiación UV-C en arándanos frescos entre 1, 2 y 4 kJ m⁻², determinando que la dosis con mayor efectividad fue la de 2 kJ m⁻² puesto que logra reducir eficazmente el *Colletotrichum acutatum*, syn. *C. gloeosporioides*, causante de antracnosis. Sin embargo, en otros productos se necesitaron dosis superiores. Es así, que una dosis entre 10 kJ m⁻² y 12,5 kJ m⁻² de radiación UV-C redujo los recuentos de mohos, levaduras y bacterias en carambolas frescas cortadas, y produjo una ligera reducción sobre pimiento fresco cortado (Moreno, et al., 2017; Rodoni, et al., 2015). Por su parte, De La Cruz Rea (2011) determinó que la aplicación de la radiación UV-C en dosis de 8; 12,5 y 16 kJ m⁻² retrasó el desarrollo del crecimiento de mohos, levaduras y aerobios mesófilos totales, considerando a la radiación UV-C como una alternativa para controlar los microorganismos en mortiño (*Vaccinium floribundum*).

La reducción de la efectividad de la radiación UV-C sobre los mohos inoculados en arándano (ensayo *in vivo*), podría deberse a la forma y al tipo de cubierta del fruto, y a la superficie que es irradiada. La composición del producto irradiado también influye de forma muy importante en la eficacia del tratamiento (Syamaladevi, et al., 2012).

La inactivación de mohos por la radiación UV-C es dependiente de la matriz en la que se encuentran. Las frutas que presentan una superficie plana y lisa están generalmente asociadas a una mayor eficiencia de inactivación al ser tratadas con radiación UV-C. En cambio, para aquellas frutas con intensa rugosidad en su superficie, como es el caso de la piña, se espera que por el efecto sombra no se logren inactivar ciertas células microbianas, afectando así el efecto germicida (Yaun, et al., 2004). El tratamiento resulta inefectivo sobre superficies con poca área superficial expuesta y/o porosas (Guerrero-Beltrán y Barbosa-Cánovas, 2004). Este tipo de tratamiento requiere que toda la superficie del objeto quede expuesta a la radiación UV-C durante un tiempo suficiente para que cualquier microorganismo presente pueda acumular la dosis letal, ya que la eficacia de la radiación UV-C depende de la estructura de la superficie o topografía, presentando su limitación debido al efecto sombra (Kowalski, 2009).

El tiempo de exposición a la radiación UV-C dependerá no solo de la dosis que se desea alcanzar, sino de la capacidad del fruto para resistir a este tratamiento. Se debe tener en cuenta el tipo de tejido vegetal expuesto (si posee una cutícula gruesa, una capa de cera protectora, una superficie lisa o rugosa, entre otras) (Kowalski, 2009).

Efecto de la radiación UV-C sobre los atributos de calidad de arándanos

La respuesta de las frutas y hortalizas a la radiación UV-C depende en gran medida de la dosis, la forma de aplicación y del producto. La aplicación de tratamientos postcosecha para el control de mohos en arándanos puede afectar tanto los atributos de calidad como su potencial saludable. Por ello resulta relevante la evaluación de esta tecnología en cada producto en particular, y así poder definir las condiciones óptimas de aplicación.

Las muestras de arándanos tratadas con radiación UV-C (I: 4 W m⁻²; D: 2,4 kJ m⁻²; 10 min) presentaron valores de pH ligeramente más altos que la materia prima (MP), mientras que el contenido de sólidos solubles no se modificó significativamente ($p < 0,05$) por efecto del tratamiento aplicado (Tabla 3).

Tabla 3. Efecto del tratamiento con radiación UV-C sobre pH, contenido de sólidos solubles, firmeza (Fm) y parámetros de color de arándanos.

Muestra	pH	Sólidos Solubles (°Brix)	Fm (N)	L*	b*	C*ab
MP	2,91 a	12,03 a	4,12 a	30,91 a	-3,23 a	3,41 a
UV-C	3,09 b	11,97 a	4,23 a	31,58 a	-3,19 a	3,42 a

Letras minúsculas diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos

Mendoza Alván (2014) determinó que los arándanos tratados con radiación UV-C a 2 kJ m⁻² redujeron el contenido de sólidos solubles con relación a la materia prima, a diferencia de lo determinado en este trabajo.

Las muestras tratadas con radiación UV-C presentaron un color similar a la materia prima (MP) (Tabla 3). Inmediatamente después de la aplicación del tratamiento, tanto la luminosidad (L*) como el parámetro b* ($b^* < 0$, representa el tono azul) y la cromaticidad (C*ab) de los arándanos tratados presentaron valores similares a la materia prima, al igual que los parámetros a* y h_{ab} (no informados). Rodoni y otros (2015) no encontraron diferencias en la luminosidad y el tono (L* y h_{ab}) de pimientos frescos cortados por efecto de la radiación UV-C. Ortiz Araque y otros (2018) tampoco encontraron diferencias en el tono de las frutillas antes y después del tratamiento con radiación UV-C, pero sí una reducción en L*.

Con respecto al efecto sobre la firmeza, se determinó que no existen diferencias significativas con respecto a la materia prima (Tabla 3). Resultados similares se informaron para pimiento fresco cortado y frutilla (Rodoni, et al., 2015; Ortiz Araque,

et al., 2018). Sin embargo, Mendoza Alván (2014) reportó que arándanos tratados con radiación UV-C en dosis de 2 kJ m⁻² presentaron una mayor firmeza que el control. Existen estudios que informan que frutas como el durazno, el tomate y la frutilla, tratadas con radiación UV-C, mejoran la retención de firmeza. El retraso del ablandamiento por acción de la radiación UV-C ha sido ampliamente relacionado con la inhibición de enzimas involucradas en el desmontaje de la pared celular (Andrade-Cuvi, et al., 2017).

El arándano MP presentó una concentración de compuestos fenólicos de 280,6 mg 100g⁻¹ (Tabla 4), que se encuentra en el rango determinado por Vázquez Castilla y otros (2012) para la misma fruta (158 a 459 mg 100g⁻¹). En cuanto al efecto de la radiación UV-C, se determinó que la concentración de fenoles totales aumentó un 15,26% en relación con la materia prima (MP) (Tabla 4).

Tabla 4. Contenido de fenoles totales, antocianinas totales y capacidad antioxidante (AEAC) de arándanos.

<i>Muestra</i>	<i>Fenoles Totales (mg AGE/100 g)</i>	<i>Antocianinas Totales (mg C3G/100 g)</i>	<i>AEAC (mg AA/100 g)</i>
MP	280,57 a	92,52 b	321,12 a
UV-C	323,39 b	84,73 a	349,64 ab

Letras minúsculas diferentes en la misma columna indican diferencias significativas (p<0,05) entre tratamientos, determinado por el Test de Duncan.

Estos resultados coinciden con el incremento reportado en el contenido de compuestos fenólicos luego de la aplicación de radiación UV-C de uvilla y mortiño, y el aumento en el contenido de flavonoides y fenoles totales en carambola (Andrade-Cuvi, et al., 2010, 2017).

Sin embargo, la radiación UV-C no produjo cambios en el contenido de fenoles totales en pimiento fresco cortado (Rodoni, et al., 2015). Algunos estudios han demostrado que los tratamientos con radiación UV-C pueden favorecer la acumulación de polifenoles con actividad antimicrobiana en las superficies de las frutas. Este incremento se explica a través de la inducción de la enzima fenilalanina amonio liasa (PAL) (Ortiz Araque, et al., 2018). Las antocianinas son metabolitos secundarios de las plantas que otorgan color violeta y/o rojo, y su consumo tiene propiedades benéficas para el sistema inmune, es antiinflamatoria, y actúa como antioxidante y protector del sistema cardiovascular. Los arándanos contienen cinco de las seis antocianidinas que se encuentran en la naturaleza (cianidina, delfinidina, peonidina, petunidina y malvidina) (Manganaris, et al., 2014).

En la Tabla 4 se puede observar que el tratamiento con radiación UV-C disminuyó en un 8,42% el contenido de antocianinas totales de los arándanos tratados con relación a MP.

Cote y otros (2013) informaron que luego del almacenamiento, las frutillas tratadas con radiación UV-C (D: 4 KJ m⁻², I: 3 W m⁻²) presentaron un 25% más en el contenido de antocianinas que la muestra control.

Se ha observado que los arándanos, comparados con otras frutas, tienen una alta capacidad antioxidante debido a sus altas concentraciones de antocianinas y compuestos fenólicos (Jin, et al., 2011; Manganaris, et al., 2014). La actividad antioxidante de los distintos grupos de compuestos fenólicos presentes en el arándano es diferente. Sin embargo, se ha puesto de manifiesto que la actividad antioxidante se correlaciona mejor con el contenido fenólico total que con los distintos grupos de fenoles. No obstante, los efectos beneficiosos derivados de la actividad antioxidante de los distintos fenoles del arándano pueden ser distintos en función de la estructura química de cada compuesto (Kahkonen y Heinonen, 2003; Vázquez Castilla, et al., 2012).

En la Tabla 4 se puede observar que las muestras tratadas con irradiación UV-C aumentaron su capacidad antioxidante en un 8,88% con respecto a la muestra sin tratar (MP). Andrade-Cuvi y otros (2017) determinaron que la uvilla tratada con radiación UV-C (12,5 kJ m⁻²) presentó mayor capacidad antioxidante que el control, inmediatamente después del tratamiento. La naturaleza de la respuesta sugiere que la radiación UV-C provocó la acumulación de antioxidantes. Estos resultados coinciden además con Erkan y otros (2008), quienes determinaron que el uso de tratamientos con radiación UV-C en frutilla mejoró los mecanismos antioxidantes del fruto mediante el aumento de su actividad enzimática, contenido fenólico y disminución del deterioro en frutos tratados. Nuestros resultados coinciden además con Gallardo Sandoval (2013), quien observó que la aplicación de radiación UV-C en arándanos generaba un aumento en el contenido fenólico y en su poder antioxidante.

CONCLUSIONES

En los ensayos de inactivación realizados sobre los cuatro mohos más frecuentes y abundantes aislados de arándanos frescos (*Aspergillus niger* y *Penicillium decumbens*) y tratados térmicamente (*Arthrinium phaeospermum* y *Eurotium repens*), se determinó que el tiempo de aplicación de la radiación UV-C (4 W m⁻²) afecta significativamente la reducción de los mohos, y que cada moho ensayado presenta una sensibilidad diferente al tratamiento. Se obtuvieron reducciones superiores al 99%, las cuales no se incrementaron significativamente para tiempos de tratamientos superiores a los diez minutos.

La cinética de inactivación de los mohos aislados de arándanos siguió el modelo bifásico en todos los casos. Se determinó que el moho más resistente a la radiación UV-C, de los cuatro estudiados, fue *Arthrimum phaeospermum*, presentando el mayor tiempo de reducción decimal (3,49 min).

En cuanto a los atributos fisicoquímicos relacionados con la calidad sensorial, el tratamiento aplicado con radiación UV-C (dosis = 2,4 kJ m⁻²) incrementó ligeramente el valor de pH sin modificar significativamente el contenido de sólidos solubles, la firmeza y el color de los arándanos.

En cuanto al contenido de compuestos bioactivos, el tratamiento con radiación UV-C incrementó el contenido de fenoles totales en 13%, y la capacidad antioxidante en 8% con respecto a los arándanos sin tratar.

Se puede concluir que es esencial identificar la flora contaminante para realizar la correcta selección de las condiciones de aplicación del tratamiento con radiación UV-C. La dosis aplicada (2,4 kJ m⁻²) mantuvo los atributos relacionados con la calidad sensorial, incrementando el contenido de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante de los arándanos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el financiamiento de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica, a través del Proyecto PICT 2017-406.

REFERENCIAS

- Andrade-Cuvi, M., Moreno, C., Henríquez, A., Gómez, A. y Concellón, A., 2010. Influencia de la radiación UV-C como tratamiento postcosecha sobre carambola (*Averrhoa carambola* L.) mínimamente procesada almacenada en refrigeración. En: *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 11 (1), pp.18-27. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81315093004>
- Andrade-Cuvi, M., Moreno, C., Zaro, M. y Concellón, A., 2017. Improvement of the Antioxidant Properties and Postharvest Life of Three Exotic Andean Fruits by UV-C Treatment. En: *Journal of Food Quality*, 2017 (Article 4278795), pp.10. DOI: <https://doi.org/10.1155/2017/4278795>
- Azevedo, J., Fernandes, I., Faria, A., Oliveira, J., Fernandes, A., Freitas, V. y Mateus, N., 2010. Antioxidant properties of anthocyanidins, anthocyanidin-3-glucosides and respective portisins. En: *Food Chemistry*, 119(2), pp.518-523. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.06.050>

- Cano, M., Sánchez-Moreno, C., de Pascual-Teresa, S. y de Ancos, B., 2005. Procesado mínimo y valor nutricional [En línea]. En: González-Aguilar, G.A., Gardea, A.A. y Cuamea-Navarro, F., eds. *Nuevas tecnologías de conservación de productos vegetales frescos cortados*. Capítulo 7. México. pp.155-176. [Consulta: 10 de setiembre de 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/292813456_Procesado_minimo_y_valor_nutricional
- Cerf, O., 1977. Tailing of survival curves of bacterial spores. En: *Journal of Applied Bacteriology*, 42, pp.1-19. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.1977.tb00665.x>
- Cote, S., Rodoni, L., Miceli, E., Concellón, A., Civello, P. y Vicente, A., 2013. Effect of radiation intensity on the outcome of postharvest UV-C treatments. En: *Postharvest Biology and Technology*, 83, pp.83-89. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.03.009>
- De La Cruz Rea, A., 2011. *Uso combinado de la radiación UV-C y almacenamiento refrigerado sobre el tiempo de vida útil del mortiño (Vaccinium floribundum)*. Quito: Facultad de Ciencias de la Ingeniería. Universidad Tecnológica Equinoccial. (Tesis de Grado). Disponible en: http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/4937/1/47753_1.pdf
- Erkan, M., Wang, S. y Wang, C., 2008. Effect of UV treatment on antioxidant capacity, antioxidant enzyme activity and decay in strawberry. En: *Postharvest Biology and Technology*, 48(2), pp.163-171. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.09.028>
- Frisón, L., Sobrero, S., De Jesús, J., Basílico, M. y Basílico, J., 2012. Identificación y caracterización de especies de *Neosartorya* aisladas de frutillas (*Fragarias* pp.) frescas y tratadas térmicamente [En línea]. En: *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 3(2), pp.319-329. [Consulta: 20 de agosto de 2020]. Disponible en: <https://sites.google.com/site/1rvcta/v3-n2-2012/r10>
- Gallardo Sandoval, A., 2013. *Uso de luz UV-C en la calidad del arándano azul (Vaccinium ashei Reade)* [En línea]. México: Instituto de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas, Montecillo, México. (Tesis de Maestría). [Consulta: 2 de setiembre de 2020]. Disponible en: <http://biblio.colpos.mx:8080/jspui/handle/10521/1911>

- Geeraerd, A., Valdramidis, V. y Van Impe, J., 2005. GIInaFiT, a freeware tool to assess non-log-linear microbial survivor curves. En: *International Journal of Food Microbiology*, 102, pp.95-105. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2004.11.038>
- Giusti, M. y Wrolstad, R., 2001. Anthocyanins: characterization and measurement with uv-visible spectroscopy. (F1.2:1-13). En: *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. DOI: <https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0102s00>
- Guerrero-Beltrán, J. y Barbosa-Cánovas, G., 2004. Advantages and limitations on processing foods by UV light. En: *Food Science and Technology International*, 10(3), pp.137-147. DOI: <https://doi.org/10.1177/1082013204044359>
- Gutiérrez, D., Ruiz Lopez, G., Sgroppo, S. y Rodríguez, S., 2016. Uso de la radiación UV-C en el proceso de elaboración de hortalizas de IV gama [En línea]. En: *Agrociencia*, 20(2), pp.7-13. [Consulta: 20 de agosto de 2020]. Disponible en: http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?pid=S2301-15482016000200002&script=sci_abstract
- Jin, P., Wang, S., Wang, C. y Zheng, Y., 2011. Effect of cultural system and storage temperature on antioxidant capacity and phenolic compounds in strawberries. En: *Food Chemistry*, 124(1), pp.262-270. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.06.029>
- Kahkonen, M. y Heinonen, I., 2003. Antioxidant activity of anthocyanins and their aglycones. En: *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(3), pp.628-633. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf025551i>
- Kowalski, W., 2009. *Ultraviolet germicidal irradiation handbook*. Berlín: Springer-Verlag.
- López Alarcón, C. y Denicola, A., 2013. Evaluating the antioxidant capacity of natural products: a review on chemical and celular-based assay. En: *Analytica Chimica Acta*, 763(6), pp.1-10. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aca.2012.11.051>
- Manganaris, G., Goulas, V., Vicente, A. y Terry, L., 2014. Berry antioxidants: small fruits providing large benefits. En: *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(5), pp.825-833. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.6432>

- Mendoza Alván, C., 2014. *Efecto de la dosis de irradiación UV-C y tiempo de almacenamiento a 1°C sobre las características fisicoquímicas, recuento de mohos y levaduras y aceptabilidad general de arándanos (Vaccinium corymbosum L.) cv. Biloxi* [En línea]. Trujillo: Universidad Privada Antenor Orrego. Facultad De Ciencias Agrarias. Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias. (Tesis de Grado). [Consulta: 27 de agosto de 2020]. Disponible en: <https://cdn.blueberriesconsulting.com/2016/07/efectodeladosis.pdf>
- Millán Villarroel, D., Romero González, L., Brito, M. y Ramos-Villarroel, A., 2015. Luz ultravioleta: inactivación microbiana en frutas [En línea]. En: *SABER. Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente*, Cumaná, Venezuela, 27(3), pp.454-469. [Consulta: 18 de setiembre de 2020]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=427743080011>
- Moreno, C., Cuvi, M., Zaro, M., Darré, M. y Concellón, A., 2017. Short UV-C treatment prevents browning and extends the shelf-life of fresh-cut varambola. En: *Journal of Food Quality*, pp.1-9. DOI: <https://doi.org/10.1155/2017/2548791>
- Munitz, M., Garrido, C., Gonzalez, H., Resnik, S., Medina Salas, P. y Montti, M., 2013. Mycoflora and potential mycotoxin production of freshly harvested blueberry in Concordia, Entre Ríos Province, Argentina. En: *International Journal of Fruit Science*, 13(3), pp.312-325. DOI: <https://doi.org/10.1080/15538362.2013.748374>
- Ortiz Araque, L., Rodoni, L., Darré, M., Ortiz, C., Civello, P. y Vicente, A., 2018. Cyclic low dose UV-C treatments retain strawberry fruit quality more effectively than conventional pre-storage single high fluence applications. En: *Food Science and Technology*, 92, pp.304-311. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.02.050>
- Perkins-Veazie, P., Collins, J. y Howard, L., 2008. Blueberry fruit response to postharvest application of ultraviolet radiation. En: *Postharvest Biology and Technology*, 47(3), pp.280-285. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.08.002>
- Piagentini, A. y Pirovani, M., 2017. Total phenolic content, antioxidant capacity, physicochemical attributes and browning susceptibility of different apple cultivars for minimal processing. En: *International Journal of Fruit Science*, 1(17), pp.102-116. DOI: <https://doi.org/10.1080/15538362.2016.1262304>
- Ribeiro, C., Canada, J. y Alvarenga, B., 2012. Prospects of UV radiation for application in postharvest technology. En: *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 24(6), pp.586-597. DOI: <https://doi.org/10.9755/ejfa.v24i6.14677>

- Rivadeneira, M. y Kirschbaum, D., 2011. *INTA - Programa Nacional Frutales - Cadena arándano*. [s.l.]: INTA. [Consulta: 20 de febrero de 2018]. Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-cadena_arandano.pdf
- Rivas, M., Piagentini, A. y Frisón, L., 2019. Flora fúngica contaminante natural de arándanos (*Vaccinium corymbosum* L. O'Neal) de arándanos frescos y tratados térmicamente. En: *Revista FAVE - Ciencias Agrarias*, 18(2). DOI: <https://doi.org/10.14409/fa.v19i2.8787>
- Rodoni, L., Zaro, M., Hasperué, J., Concellón, A. y Vicente, A., 2015. UV-C treatments extend the shelf life of fresh-cut peppers by delaying pectin solubilization and inducing local accumulation of phenolics. En: *Food Science and Technology*, 63(1), pp.408-414. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.042>
- Rodríguez-Azuaga, M. y Piagentini, A., 2018. New antioxidant treatment with yerba mate (*Ilex paraguariensis*) infusion for fresh-cut apples: modeling, optimization and acceptability. En: *Food Science and Technology International*, 24(3), pp.223-231. DOI: <https://doi.org/10.1177/1082013217744424>
- Rodríguez-Azuaga, M., Salsi, M. y Piagentini, A., 2016. Efecto del mínimo procesamiento y tratamiento con yerba mate sobre el potencial saludable y los atributos de calidad de manzanas Granny Smith [En línea]. En: *INNOTEC*, 12, pp.7-14. [Consulta: 20 de agosto de 2020]. Disponible en: <https://ojs.latu.org.uy/index.php/INNOTEC/article/view/300> DOI: <https://doi.org/10.26461/12.01>
- Slongo, A. y Aragão, G., 2006. Factors affecting the thermal activation of *Neosartorya fischeri* in pineapple and papaya nectars. En: *Brazilian Journal of Microbiology*, 37, pp.266-270. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1517-83822006000300021>
- Snyder, A. y Worobo, R., 2018. Fungal spoilage in food processing. Mini-review. En: *Journal of Food Protection*, 81(6), pp.1035-1040. DOI: <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-18-031>
- Sobrero, S., Frison, L., Chiericatti, C., Aríngoli, E., Basílico, J. y Basílico, M., 2013. Parámetros cinéticos como herramienta para la caracterización de aislados de *Aspergillus* sección *Nigri* [En línea]. En: *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 4(2), pp.146-156. [Consulta: 20 de agosto de 2020]. Disponible en: https://www.academia.edu/20349751/Par%C3%A1metros_cin%C3%A9ticos_como_herramienta_para_la_caracterizaci%C3%B3n_de_aislados_de_Asp%C3%A9rgillus_secci%C3%B3n_Nigri

- Syamaladevi, R., Lu, X., Sablani, S., Insan, K., Adhikari, A., Killinger, K., Rasco, B., Dhingra, A., Bandyopadhyay, A. y Annapure, U., 2012. Inactivation of *Escherichia coli* Population on Fruit Surfaces Using Ultraviolet-C Light: Influence of Fruit Surface Characteristics. En: *Food and Bioprocess Technology*, 6 (11), pp.2959-2973. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0989-0>
- Tardón, A., Obando, R., Hinojosa, A., Luchsinger, L. y Escalona, V., 2011. Efecto de la aplicación de radiación UV-C sobre la calidad de brotes de alfalfa mínimamente procesados en fresco [En línea]. En: *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 12(1), pp.87-93. [Consulta: 27 de agosto de 2020]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81318808014>
- Van De Velde, F., Piagentini, A., Güemes, D. y Pirovani, M., 2013. Modelling changes in anthocyanins, total vitamin C, and colour as a consequence of peracetic acid washing disinfection of two cultivars of strawberries for fresh-cut processing. En: *International Journal of Food Science and Technology*, 48(5), pp.954-961. DOI: <https://doi.org/10.1111/ijfs.12047>
- Vázquez Castilla, S., Guillén Bejarano, R., Jaramillo Carmona, S., Jiménez Araujo, A. y Rodríguez Arcos, R., 2012. *Funcionalidad de distintas variedades de arándanos* [En línea]. [s.l.]: [s.n.]. [Consulta: 18 de setiembre de 2020]. Disponible en: https://cdn.blueberriesconsulting.com/2015/07/pdf_000121.pdf
- Xu, F., Shenghou Wang, JieXu, ShiyangLiu y Guode, Li., 2016. Effects of combined aqueous chlorine dioxide and UV-C on shelf-life quality of blueberries. En: *Postharvest Biology and Technology*, 117, pp.125-131. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.01.012>
- Yaun, B., Summer, S., Eifert, J. y Marcy, J., 2004. Inhibition of pathogens on fresh produce by ultraviolet energy. En: *International Journal of Food Microbiology*, 90(1), pp.1-8. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(03\)00158-2](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(03)00158-2)