

Potencial de la radiación ultravioleta para el control de podredumbres en postcosecha de frutas y hortalizas

Isabel Alegre, Pilar Colás-Medà, Iolanda Nicolau-Lapeña, Inmaculada Viñas

Centro AGROTECNIO-CERCA, Departamento de Tecnología de Alimentos, Universidad de Lleida

Se estima que más de un 20% de las frutas y hortalizas se desperdician antes de su consumo, siendo las podredumbres fúngicas una de las principales causas. El uso de la radiación ultravioleta puede ser una alternativa a los fungicidas químicos que está mostrando resultados prometedores, ya sea actuando directamente sobre el moho o incrementado la resistencia de los vegetales a las podredumbres. A continuación, se revisarán los avances más recientes sobre el uso de la radiación ultravioleta en frutas y hortalizas.

Según las estimaciones de la FAO (Ghramrawy, 2019), una tercera parte de los alimentos producidos a nivel mundial se pierden o desperdician cada año antes de llegar a nuestros platos. En el caso de las frutas y hortalizas se observan pérdidas superiores al 20% debido a su naturaleza altamente perecedera (FAO, 2019). Asimismo, se estima que entre el 5 y el 10% de las pérdidas totales de alimentos se deben al crecimiento fúngico (Pitt y Hocking, 2009). En las frutas y hortalizas estas pérdidas se han controlado tradicionalmente mediante el uso de fungicidas sintéticos ya que estos son relativamente baratos, fáciles de aplicar y tienen tanto efecto curativo como preventivo. Sin embargo, la contaminación de estos productos con pesticidas está en el punto de mira de consumidores y autoridades. Por este motivo, en las últimas décadas ha incrementado la presión por parte de grupos de consumidores, cadenas de supermercados, autoridades y organizaciones no gubernamentales (ONG) para la eliminación de los fungicidas y, consecuentemente, ha incrementado la investigación sobre tecnologías y enfoques innovadores para el control de enfermedades postcosecha en productos frescos.

Parte del interés científico se ha centrado en el uso de tratamientos físicos como la radiación ultravioleta (UV) ya que los resultados obtenidos son prometedores, es fácil de utilizar, letal a la mayoría de microorganismos y no deja residuos. La efectividad de la radiación UV se debe a su actividad directa en los microorganismos y a la inducción de la resistencia a enfermedades por la aplicación de dosis subletales de radiación, resultado de un fenómeno llamado “hormesis”.

La actividad directa en los microorganismos está relacionada con los daños producidos en el material genético a través de la producción de dímeros entre las moléculas de nucleótidos de pirimidina. Estas moléculas interfieren en la transcripción del ARN y la replicación del ADN, produciendo mutaciones y muerte celular. Las longitudes de onda entre 200 y 280 nm, correspondientes a la radiación ultravioleta C (UV-C) son consideradas las más letales, ya que son las que se absorben de forma más intensa por los ácidos nucleicos, siendo la radiación UV-C a 254 nm la óptima para la máxima acción germicida. Numerosos estudios demuestran la efectividad de la radiación UV-C en la reducción de enfermedades postcosecha en diferentes productos. Recientemente, Terao y col. (2021) observaron una menor severidad de la podredumbre causada por *Fusarium pallidoroseum* en melones ‘Galia’ tratados con radiación UV-C a lo largo del período de conservación (15 días a $10 \pm 2^\circ\text{C}$ seguido de 5 días a temperatura ambiente). En otro caso, una dosis de 0.64 kJ/m^2 de radiación UV-C redujo en un 26% la progresión de la podredumbre causada por *Botrytis cinerea* en lechuga de la variedad ‘Temira’, mientras que ninguna de las dosis estudiadas fue efectiva en lechuga ‘Amica’ (Scott y col., 2021). En la **Tabla 1** se muestra un resumen de los trabajos científicos llevados a cabo en la última década.

Tabla 1. Resumen de estudios relacionados con el tratamiento UV-C de frutas y hortalizas.

Producto	Tratamiento UV-C	Resultados	Referencia
Melón 'Galia' (<i>Cucumis melo</i> L. var. <i>reticulatus</i>)	1-5 kJ/m ²	<ul style="list-style-type: none"> • Todas las dosis redujeron la severidad de la podredumbre causada por <i>Fusarium pallidoroseum</i>, siendo 2 kJ/m² la dosis óptima • Disminución de la actividad polifenoloxidasa y peroxidasa, de la ratio de respiración y de la emisión de etileno 	Terao y col., 2021
Lechuga (<i>Lactuca sativa</i>)	Tratamiento pre cosecha con 0.32; 0.64; 0.98; 1.28 o 1.92 kJ/m ²	<ul style="list-style-type: none"> • En la variedad Temira, los tratamientos de 0.64 y 1.92 kJ/m² redujeron la progresión de <i>Botrytis cinerea</i> en un 27 y un 45%, respectivamente. • En la variedad Amica ningún tratamiento redujo la progresión de la enfermedad • Se observó fitotoxicidad a partir de 0.98 kJ/m² 	Scott y col., 2021
Manzana 'Starking Delicious' (<i>Malus domestica</i> Borkh.)	0-15 min en cabina de flujo laminar	<ul style="list-style-type: none"> • La exposición de 15 min redujo un 65.04% las podredumbres causadas por <i>Alternaria alternata</i>, <i>Trichothecium roseum</i>, <i>Monilinia fructigena</i>, <i>Apergillus niger</i>, <i>Penicillium expansum</i>, observándose el menor efecto sobre <i>M. fructigena</i> 	Kumari y col., 2019
Mandarina 'Satsuma' (<i>Citrus unshiu</i> Marc.)	3.6; 6.0; 9.6; 15.6 kJ/m ²	<ul style="list-style-type: none"> • La dosis de 6 kJ/m² 24 horas antes de la inoculación de <i>Penicillium italicum</i> fue el tratamiento más efectivo • La concentración de escoparona incrementó en el flavedo debido al tratamiento UV-C 	Yamaga y Nakamura, 2019
Arándano (<i>Vaccinium</i> sp. cv. Brightwell)	2.76 kJ/m ²	<ul style="list-style-type: none"> • El tratamiento UV-C inhibió el crecimiento de mohos durante la vida útil del producto • Disminuyó la degradación de ácido ascórbico, mientras que la concentración de antocianinas y de enzimas antioxidantes aumentó 	Zhou y col., 2019
Papaya (<i>Carica papaya</i> L. var Maradol)	Recubrimiento basado en quitosano + UV-C (0.97 kJ/m ² , 2	<ul style="list-style-type: none"> • El recubrimiento con aceite esencial de clavo y tomillo + UV-C (2.88 kJ/m²) disminuyó la incidencia de podredumbre causada por 	Vázquez-Ovando y col., 2018

	kJ/m ² y 2.88 kJ/m ²)	<i>Colletrotrichum gloeosporioides</i> y <i>Rhizopus stolonifer</i> a menos del 25% tras 9 días a 28 ± 3°C y 80% de HR	
Zanahoria	0.88 kJ/m ²	<ul style="list-style-type: none"> • Disminución de la severidad de la podredumbre causada por <i>Sclerotinia sclerotiorum</i> tras 15 días a 10°C • Incremento de polifenoloxidasa (PPO) y fenilalanina amonio liasa (PAL) en zanahorias tratadas 	Ojaghian y col., 2017
Fresa	12.36 J/m ² , 18.54 J/m ² y 24.76 J/m ² + 4 horas de oscuridad	<ul style="list-style-type: none"> • El tratamiento con 12.36 J/m² redujo significativamente la podredumbre causada por <i>Botrytis cinerea</i>. Dosis más elevadas la eliminaron completamente 	Janisiewicz y col., 2016
Mandarina 'Satsuma' (<i>Citrus unshiu</i> Marc. cv. 'Silverhill Owari'), 'Kiyomi' tangor (<i>C. unshiu</i> x <i>Citrus sinensis</i>), Hyuganatsu (<i>Citrus tamurana</i> Hort. ex Tanaka), limón 'Eureka' (<i>Citrus limon</i> Burm. Forma 'Eureka')	3.5 kJ/m ²	<ul style="list-style-type: none"> • Disminución de la incidencia y el radio de la podredumbre causada por <i>Botrytis cinerea</i>, excepto en limón • La cantidad de escoparona acumulada en el flavedo varió entre especies. No se observó acumulación en limón 	Uniga y col., 2015)
Fresa (<i>Fragaria ananassa</i> Duch. cv. Benihoppe)	2 kJ/m ²	<ul style="list-style-type: none"> • Inhibición de la podredumbre causada por <i>Botrytis cinerea</i>, reduciendo el diámetro de la lesión en un 24.2% tras 12 días a 5°C • Incremento de las actividades: quitinasa, β-1,3-glucanasa, fenilalaninaamonioliasa, peroxidasa y polifenoloxidasa • Aumento de la actividad de enzimas antioxidantes • Inducción de la expresión de genes de defensa 	Jin y col., 2017
Naranja (<i>Citrus sinensis</i> L. Osbeck cv Washington Navel)	0.26-15.84 kJ/m ²	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción entre 2-3 logaritmos en función de patógeno (<i>P. digitatum</i> o <i>P. italicum</i>) y la dosis • <i>P. italicum</i> fue más resistente a la radiación UV-C que <i>P. digitatum</i> 	Gündüz y col., 2015
Mango	0.5; 1.0; 2.5; 5.0; 7.5 y 10 kJ/m ²	<ul style="list-style-type: none"> • Control satisfactorio de la enfermedad causada por <i>Botryosphaeria dothidea</i> a dosis bajas (0.5-2.5 kJ/m²) 	Terao y col., 2015

Melón (<i>Cucumis melo</i> L. cv. Culiv)	2; 4 y 6 kJ/m ²	<ul style="list-style-type: none"> Las dosis de 4 y 6 kJ/m² redujeron la incidencia y el diámetro de la lesión de <i>Fusarium oxysporum</i> y <i>Alternaria alternata</i> 	Huang y col., 2015
Manzana, cereza, fresa y frambuesa	0.13-3.3 kJ/m ²	<ul style="list-style-type: none"> Reducción significativa de la población de <i>Penicillium expansum</i> Se observan los mejores resultados en manzana y cereza debido a las diferencias en la rugosidad de la superficie 	Syamaladevi y col., 2015
Lechuga 'Romana' (<i>Lactuca sativa</i> L.)	0.85 kJ/m ²	<ul style="list-style-type: none"> Menor susceptibilidad a la podredumbre causada por <i>Botrytis cinerea</i> y <i>Sclerotinia minor</i> Incremento del contenido en clorofila y carotenoides y bajos valores de indicadores de estrés oxidativo 	Ouhibi y col., 2015
Naranja (<i>Citrus sinensis</i> var. Washinnton navel)	7.92 kJ/m ²	<ul style="list-style-type: none"> Reducción mínima de 3 veces el porcentaje de incidencia de la podredumbre causada por <i>P. digitatum</i> y <i>P. italicum</i> 	Gündüz y Pazir, 2013
Caqui (<i>Diospyros kaki</i> Thunb. cv. Karaj)	1.5-3 kJ/m ²	<ul style="list-style-type: none"> Reducción de la incidencia de podredumbres poscosecha No se observa ningún efecto en los atributos del fruto (firmeza, producción de etileno y color de la piel) 	Khademi y col., 2013

De los resultados obtenidos en los diferentes estudios se puede observar que el efecto germicida de la radiación UV-C depende tanto de la resistencia natural de cada microorganismo, como de la superficie en la que los microorganismos están adheridos, observándose mejor efectividad en superficies lisas que en superficies rugosas (Gardner y Shama, 2000; Syamaladevi y col., 2015).

Como se ha comentado anteriormente, la radiación UV puede incrementar la resistencia de los vegetales a las enfermedades. Este efecto es debido a su capacidad de penetrar en los tejidos vegetales e inducir cambios metabólicos y anatómicos relacionados con su resistencia frente a patógenos (Papoutsis y col., 2019). Por ejemplo, el tratamiento de fresas con 2.0 kJ/m² de radiación UV-C redujo el diámetro de la lesión producida por *Botrytis cinerea* a la vez que incrementó la actividad de enzimas de defensa y antioxidantes y aumentó la expresión de genes relacionados con la defensa (Jin y col., 2017). Las fitoalexinas también han demostrado actividad en la prevención de la invasión fúngica. En el caso de Yamaga y col. (2019) se observó un incremento de escoparona en el flavedo de mandarinas 'Satsuma' tras su exposición a radiación UV-C.

Tal y como se ha demostrado, a nivel de laboratorio (Figura 1) la radiación UV-C tiene un gran potencial para controlar las podredumbres poscosecha. Los resultados obtenidos por nuestro grupo de investigación sobre el control de los microorganismos causantes de podredumbres poscosecha se alinean con los resultados de los trabajos reportados en esta revisión. Sin embargo, para poder utilizarse en la práctica es necesario llevar a cabo ensayos a nivel

comercial. Asimismo, para cada producto se debe establecer las dosis óptimas para controlar los patógenos sin afectar a la calidad del producto.

Bibliografía

- FAO. (2019). *The state of Food and Agriculture 2019. Moving forward on food loss and waste reduction*. Rome.
- Gardner, D.W.M. y Shama, G. (2000). Modeling UV-induced inactivation of microorganisms on surfaces. *Journal of Food Protection* 63,pp. 63-70.
- Ghramrawy, M. (2019). *Food loss and waste and value chains - Learning guide*. FAO, Cairo.
- Gündüz, G.T., Juneja, V.K., y Pazir, F. (2015). Application of ultraviolet-C light on oranges for the inactivation of postharvest wound pathogens. *Food Control* 57,pp. 9-13.
- Gündüz, G.T. y Pazir, F. (2013). Inactivation of *Penicillium digitatum* and *Penicillium italicum* under *in vitro* and *in vivo* conditions by using UV-C light. *Journal of Food Protection* 76,pp. 1761-1766.
- Huang, K., Zou, Y., Luo, J., y Liu, Y. (2015). Combining UV-C treatment with biocontrol yeast to control postharvest decay of melon. *Environmental Science and Pollution Research* 22,pp. 14307-14313.
- Janisiewicz, W.J., Takeda, F., Glenn, D.M., Camp, M.J., y Jurick, W.M. (2016). Dark period following UV-C treatment enhances killing of *Botrytis cinerea* conidia and controls gray mold of strawberries. *Phytopathology* 106,pp. 386-394.
- Jin, P., Wang, H., Zhang, Y., Huang, Y., Wang, L., y Zheng, Y. (2017). UV-C enhances resistance against gray mold decay caused by *Botrytis cinerea* in strawberry fruit. *Scientia Horticulturae* 225,pp. 106-111.
- Khademi, O., Zamani, Z., Poor Ahmadi, E., y Kalantari, S. (2013). Effect of UV-C radiation on postharvest physiology of persimmon fruit (*Diospyros kaki* Thunb.) cv. «Karajr» during storage at cold temperature. *International Food Research Journal* 20,pp. 247-253.
- Kumari, N., Sharma, J.N., y Singh, D. (2019). Hot water dipping and UV irradiation of apples to control fruit rots. *International Journal of Economic Plants* 6,pp. 014-017.
- Ojaghian, M.R., Zhang, J.Z., Xie, G.L., Wang, Q., Li, X.L., y Guo, D.P. (2017). Efficacy of UV-C radiation in inducing systemic acquired resistance against storage carrot rot caused by *Sclerotinia sclerotiorum*. *Postharvest Biology and Technology* 130,pp. 94-102.
- Ouhibi, C., Attia, H., Nicot, P., Urban, L., Lachaâl, M., y Aarouf, J. (2015). Effect of UV-C radiation on resistance of romaine lettuce (*Lactuca sativa* L.) against *Botrytis cinerea* and *Sclerotinia minor*. *Journal of Phytopathology* 163,pp. 578-582.
- Papoutsis, K., Mathioudakis, M.M., Hasperué, J.H., y Ziogas, V. (2019). Non-chemical treatments for preventing the postharvest fungal rotting of citrus caused by *Penicillium digitatum* (green mold) and *Penicillium italicum* (blue mold). *Trends in Food Science and Technology* 86,pp. 479-491.
- Pitt, J.I. y Hocking, A.D. (2009). *Fungi and food spoilage* Hocking, A. D. (Ailsa D. (ed.),).
- Scott, G., Dickinson, M., y Shama, G. (2021). Preharvest high-intensity, pulsed polychromatic

- light and low-intensity UV-C treatments control *Botrytis cinerea* on lettuce (*Lactuca sativa*). *European Journal of Plant Pathology* 159,pp. 449-454.
- Syamaladevi, R.M., Adhikari, A., Lupien, S.L., Dugan, F., Bhunia, K., Dhingra, A., y Sablani, S.S. (2015). Ultraviolet-C light inactivation of *Penicillium expansum* on fruit surfaces. *Food Control* 50,pp. 297-303.
- Terao, D., de Carvalho Campos, J.S., Benato, E.A., y Hashimoto, J.M. (2015). Alternative strategy on control of postharvest diseases of mango (*Mangifera indica* L.) by use of low dose of ultraviolet-C irradiation. *Food Engineering Reviews* 7,pp. 171-175.
- Terao, D., Nechet, K.L., Frighetto, R.T.S., Anjos, V.D.A., Maia, A.H.N., y Halfeld-Vieira, B.A. (2021). Control of *Fusarium* rot in Galia melon and preservation of fruit quality with UV-C radiation and hot water treatments. *Tropical Plant Pathology* 46,pp. 350-359.
- Uniga, T.K., Akajima, N.N., Esumi, H.N., y Akishita, F.T. (2015). UV-C irradiation reduces gray mold decay and enhances the accumulation of scoparone in some citrus species. *Tropical Agriculture and Development* 59,pp. 41-49.
- Vázquez-Ovando, A., López-Hilerio, H., Salvador-Figueroa, M., Adriano-Anaya, L., Rosas-Quijano, R., y Gálvez-López, D. (2018). Uso combinado de radiación UV-C y biorecubrimiento de quitosán con aceites esenciales para el control de hongos en papaya Maradol. *Revista Brasileira de Fruticultura* 40,.
- Yamaga, I. y Nakamura, S. (2019). Changes in fungal development, scoparone accumulation, and natural disease infection after ultraviolet-C irradiation in satsuma mandarin 'Aoshima Unshu' Fruit. *Tropical agriculture and development* 63,pp. 204-209.
- Zhou, D., Wang, Z., Tu, S., Chen, S., Peng, J., y Tu, K. (2019). Effects of cold plasma, UV-C or aqueous ozone treatment on *Botrytis cinerea* and their potential application in preserving blueberry. *Journal of Applied Microbiology* 127,pp. 175-185.