

POS COSE CHA



Recubrimientos comestibles antifúngicos

UNA ESTRATEGIA SOSTENIBLE PARA REDUCIR LAS PÉRDIDAS DE CALIDAD DE FRUTAS Y HORTALIZAS

La vida útil de las frutas y verduras es relativamente corta, ya que, tras la recolección, los tejidos vivos continúan sus procesos fisiológicos y bioquímicos, lo cual se traduce en notables pérdidas de peso y efectos negativos sobre características de calidad como la firmeza, el color, el sabor y la presencia de compuestos nutricionales y bioactivos. Además, en el proceso de maduración y senescencia, las frutas son más susceptibles de desarrollar enfermedades de poscosecha causadas por hongos patógenos.

Tanto el deterioro fisiológico como el producido por el desarrollo de enfermedades de poscosecha, no solo producen grandes pérdidas económicas al sector, sino que también generan una gran cantidad de desperdicio alimentario, con el consiguiente impacto medioambiental y social. Se estima que las pérdidas derivadas de condiciones de manipulación en poscosecha y almacenamiento inadecuadas suponen más del 25 por ciento de la producción total en los países industrializados y más de la mitad en los países en desarrollo (**Food Waste Index Report, 2024**).

CONSERVACIÓN Y SEGURIDAD

Las restricciones legales en el uso de agroquímicos y la creciente demanda de alimentos frescos, saludables y sostenibles han intensificado la búsqueda de alternativas de conservación seguras, no contaminantes y coste-efectivas.

Entre las distintas tecnologías de poscosecha, la aplicación de ceras comerciales formuladas a base de resinas como la goma laca y ceras como la cera de polietileno o carnauba, con fungicidas químicos de síntesis, como el imazalil o el tiabendazol, se han utilizado durante muchos años para controlar las podredumbres de poscosecha y prolongar la vida útil de frutas como los cítricos o la fruta de pepita, puesto que reducen las pérdidas de peso y firmeza, la respiración y los daños por frío, entre otras funcionalidades. Sin embargo, la progresiva concienciación medioambiental, las restricciones legales cada vez más estrictas en el uso de agroquímicos y la creciente demanda de alimentos frescos y saludables por parte de los consumidores, ha intensificado la búsqueda de nuevas alternativas de conservación seguras, no contaminantes y coste-efectivas. En esta línea, los recubrimientos comestibles (RC) han surgido en los últimos años como una alternativa eficaz, económica, fácil de aplicar y respetuosa con el medio ambiente.



FIGURA 1. EFECTO DE LOS RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES EN LA CALIDAD DE LA FRUTA



Cítricos tratados con un recubrimiento comestible antifúngico.

Los RC se formulan a partir de compuestos naturales o sustancias GRAS —del inglés, *generally recognized as safe*— que se pueden ingerir con el alimento al formar una fina capa a su alrededor. Estos RC crean una barrera semipermeable a gases (O_2 y CO_2) y al vapor de agua que reduce la respiración y la pérdida de peso y contribuye a mantener la firmeza, a retener compuestos bioactivos y a reducir los daños por frío en las frutas más sensibles. Además, pueden actuar de soporte de diversas sustancias activas, como, por ejemplo, agentes antimicrobianos o antioxidantes, que van a mejorar su funcionalidad (Valencia-Chamorro et al., 2011a) (Figura 1).

En general, los RC para frutas y hortalizas frescas corresponden a formulaciones compuestas por uno o varios biopolímeros —polisacáridos, como los derivados de celulosa, almidón, pectinas, alginatos y quitosanos, o proteínas como zeína, suero lácteo, caseína y otros— y por lípidos —cera carnauba, cera de abeja, cera candelilla, monoglicéridos y diglicéridos de ácidos grasos, etc.—. Con estos RC compuestos a base de biopolímero-lípido, se combina el carácter filmógeno y de barrera frente a gases de las proteínas y polisacáridos con la propiedad de barrera al vapor de agua característica de los lípidos. De esta manera, el éxito del RC va a depender de la capacidad para reducir la pérdida de peso y mantener una atmósfera interna baja en oxígeno sin causar una respiración anaerobia que altere el sabor y/o cause daños fisiológicos en el fruto.

LOS INGREDIENTES Y SU EFICACIA

Para el desarrollo de RC antifúngicos, excepto en casos como el del quitosano o los geles de *Aloe spp.*, que presentan por sí mismos cierta capacidad antimicrobiana, el control de enfermedades de poscosecha se consigue mediante la incorporación de ingredientes con capacidad antifúngica. Entre ellos, destacan aditivos alimentarios y sustancias GRAS como los ácidos orgánicos y sus sales, polipéptidos, extractos naturales, aceites esenciales, compuestos volátiles puros y agentes de control biológico. La efectividad de estos RC antifúngicos depende de las complejas interacciones que ocurren durante el desarrollo de la enfermedad entre el fruto huésped, el patógeno y el medio ambiente.

Pionero en el control integrado no contaminante de enfermedades de poscosecha, el Centro de Tecnología Poscosecha del IVIA lleva más de veinte años desarrollando recubrimientos comestibles para fruta fresca.

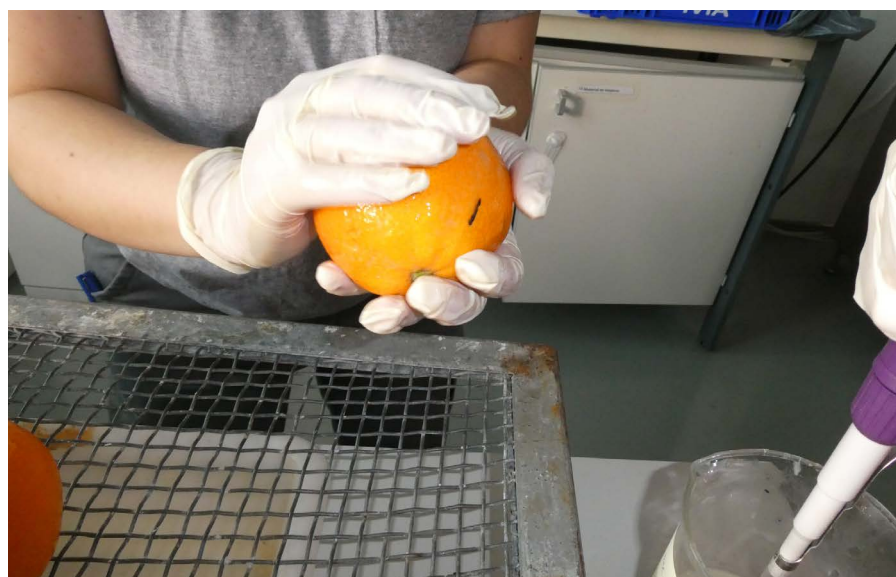


Sobre estas líneas, una ciruela y una granada afectadas respectivamente por la podredumbre marrón y la podredumbre azul durante el almacenamiento. A la derecha, momento de la aplicación de un RC en una naranja.

Además, cuando el agente activo se incorpora como ingrediente del RC, varios factores, como las propiedades de la emulsión y las posibles interacciones del compuesto antifúngico con el resto de los componentes del RC, pueden desempeñar un papel importante en la capacidad antifúngica del mismo. Esto hace necesario realizar estudios específicos *in vivo* para cada patosistema concreto —combinación de fruto huésped y hongo patógeno de poscosecha— que permitan una adecuada selección de los ingredientes que forman la matriz del RC y de las sustancias activas antifúngicas para un control efectivo de la enfermedad.

En este sentido, el Centro de Tecnología Poscosecha (CTP) del IVIA cuenta con una experiencia de más de 20 años en el desarrollo de RC para fruta fresca y mínimamente procesada y es pionero en el desarrollo de nuevos RC antifúngicos para el control integrado no contaminante de enfermedades de poscosecha de fruta fresca como cítricos, fruta de hueso, granada y caqui.

En los primeros trabajos del CTP-IVIA, se desarrollaron RC antifúngicos a base de hidroxipropil metilcelulosa (HPMC)-lípidos con la incorporación de aditivos alimentarios antifúngicos de baja toxicidad —principalmente sales minerales, sales de ácidos orgánicos y sales de parabenos— para cítricos. Los RC antifúngicos se evaluaron primero *in vitro* contra *Penicillium digitatum* y *P. italicum* y posteriormente *in vivo* en especies y cultivares de cítricos comercialmente importantes, determinando su actividad antifúngica curativa contra las podredumbres verde y azul durante el almacenamiento a 20 °C y durante frigoconservación. Entre distintas sales GRAS, el sorbato potásico (PS), el benzoato sódico (SB) y algunas mezclas fueron las más efectivas inhibiendo los dos hongos en naranjas Valencia (**Valencia-Chamorro et al., 2009**) y mandarinas Clemenules (**Valencia-Chamorro et al., 2011b**) y Ortanique (**Valencia-Chamorro et al., 2010**). De igual manera, la optimización de nuevos RC antifúngicos basados en una matriz de almidón de patata pregelatinizado (PPS) y monoestearato de glicerilo (GMS) y la adición de SB como ingrediente antifúngico redujo la incidencia y severidad de las podredumbres verde y azul en mandarinas Orri, naranjas Valencia y limones Fino inoculados artificialmente con los hongos y almacenados tanto a temperatura ambiente como en conservación frigorífica (Soto-Muñoz et al., **2021a; 2021b; 2023**).



En otros trabajos, RC formulados con sales GRAS también mostraron ser efectivos frente a otras podredumbres de poscosecha de los cítricos. Así, distintos trabajos se han enfocado en la búsqueda de soluciones para el control de la podredumbre ácida o amarga, causada por el hongo *Geotrichum citri-aurantii*, que es, después de las podredumbres verde y azul, la enfermedad de poscosecha de cítricos más importante en zonas de clima mediterráneo, especialmente en campañas lluviosas. Tras la retirada definitiva en la UE de la guazatina en 2011 y del propiconazol en 2019, no se dispone de fungicidas de poscosecha eficaces para el control de esta enfermedad, lo que supone un problema grave para los exportadores de cítricos españoles. En este sentido, un RC optimizado a base de PPS-GMS con 2% SB redujo la incidencia de la podredumbre ácida, además de mantener la calidad de mandarinas Orri durante frigoconservación (Soto-Muñoz et al., 2023). Por otra parte, RC a base de HPMC-lípidos con sales GRAS también redujeron la incidencia y la severidad de la podredumbre peduncular por diplodia causada por *Lasiodiplodia theobromae* en naranjas Barnfield (Guimaraes et al., 2019) y la antracnosis causada por *Colletotrichum gloeosporioides* en mandarina Nadorcott y en naranjas Valencia (Martínez-Blay et al., 2020).

En otros frutos, RC similares a base de HPMC y lípidos formulados con distintas sales GRAS mostraron efectividad reduciendo la podredumbre marrón causada por *Monilinia fructicola* en ciruelas (Karaca et al., 2014), y la podredumbre gris y la mancha negra causadas por *Botrytis cinerea* y *Alternaria alternata*, respectivamente, en tomate cherry (Fagundes et al., 2014; 2015), la mancha negra en caqui Rojo Brillante (Fernández-Catalán et al., 2021), y podredumbres de la granada Mollar de Elche (Di Millo et al., 2021). Además, los RC más efectivos también redujeron la pérdida de peso y de firmeza y los daños por frío en frutos como ciruela, granada y caqui, sin afectar negativamente a la calidad fisicoquímica y sensorial de la fruta.

De izquierda a derecha y de arriba abajo: Secuencia en el desarrollo y evaluación de recubrimientos comestibles antifúngicos: Ensayos *in vitro* de actividad antifúngica de las sustancias activas, desarrollo de recubrimientos comestibles antifúngicos y ensayos *in vivo* de capacidad de control en fruta inoculada.



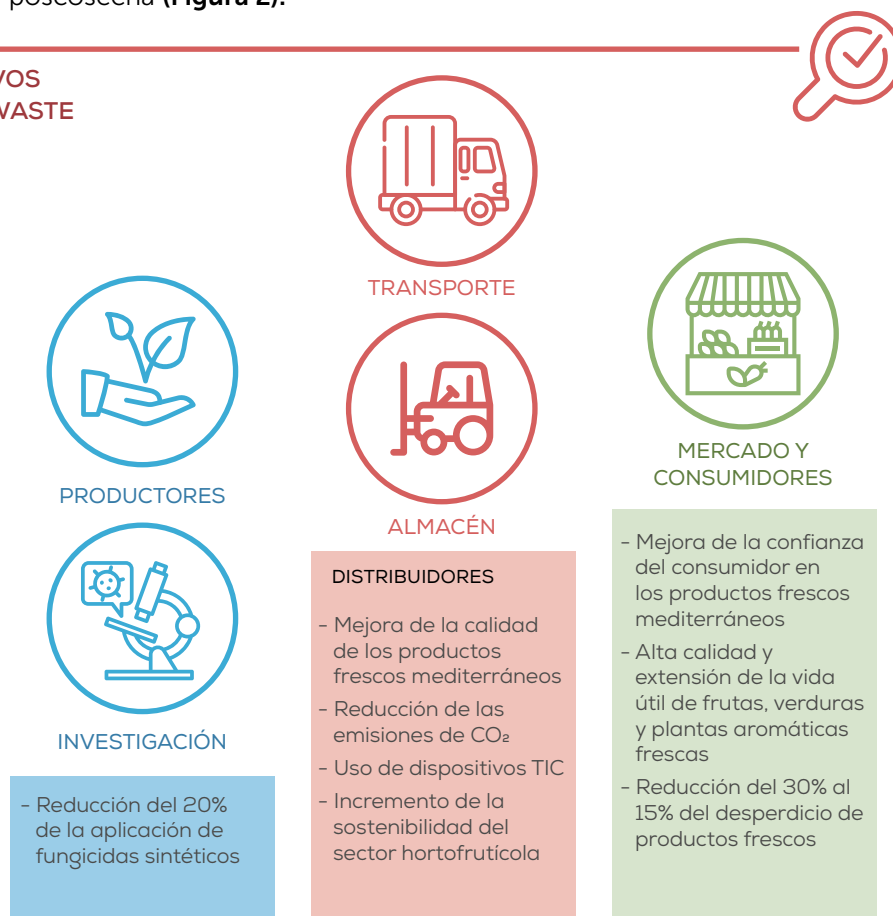
EL PROYECTO STOPMEDWASTE

Utilizando medios físicos, compuestos naturales y agentes de biocontrol, el proyecto europeo StopMedWaste pretende aumentar la vida útil de frutas, hortalizas y plantas aromáticas, y, con ello, reducir el desperdicio alimentario y garantizar la seguridad del consumidor.

Debido al carácter científico-técnico y la importancia socioeconómica de esta línea de investigación, hay que destacar la colaboración del CTP-IVIA con otros grupos nacionales e internacionales en proyectos de I+D, así como con empresas del sector en contratos de investigación. Entre ellos, cabe destacar la participación en el proyecto europeo **StopMedWaste - Tecnologías innovadoras y sostenibles para extender la vida útil de las frutas, verduras y plantas aromáticas frescas mediterráneas y reducir el desperdicio alimentario**, enmarcado en el Programa PRIMA y financiado en la parte española por la Agencia Estatal de Investigación en el Programa de Colaboración Internacional (PCI2020-112095) y NextGenerationEU/PRTR.

Este proyecto tiene como objetivo extender la vida útil de frutas, hortalizas y plantas aromáticas frescas de importancia económica para España y otros países mediterráneos, mediante estrategias innovadoras que incluyen medios físicos (i.e., ozono gaseoso, agua ozonizada, agua electrolizada), compuestos naturales (quitosano, aceites esenciales, RC antifúngicos) y agentes de biocontrol para reducir el desperdicio alimentario y garantizar la seguridad del consumidor con una disminución del uso de pesticidas químicos de síntesis. En el consorcio han participado nueve socios —siete universidades y centros de investigación y dos empresas— de cinco países de la cuenca mediterránea —Italia, Chipre, Túnez, Turquía y España— con experiencia en áreas complementarias como patología y fisiología poscosecha (**Figura 2**).

FIGURA 2. ESQUEMA DE LOS OBJETIVOS DEL PROYECTO EUROPEO STOPMEDWASTE



Los resultados del proyecto sientan las bases para futuras investigaciones que permitan optimizar formulaciones, comercializar nuevos RC antifúngicos y contribuir a la competitividad del sector.



Arriba, naranjas con síntomas de las podredumbres verde y azul. Debajo, nectarina con síntomas de la podredumbre marrón.

PROYECTO STOPMEDWASTE



Aplicación de recubrimientos comestibles antifúngicos en líneas de confección de fruta en centrales empacadoras.

Dentro del consorcio del proyecto **StopMedWaste**, el CTP-IVIA ha sido responsable del desarrollo de RC antifúngicos para cítricos, fruta de hueso y granada. El trabajo ha incluido ensayos *in vitro* para seleccionar, entre distintos aceites esenciales y extractos de plantas, los agentes antifúngicos más efectivos contra las principales enfermedades de poscosecha de los frutos. Posteriormente, se han desarrollado nuevos RC a partir de pectina de cítricos (PEC), HPMC o goma arábica (GA), incorporando los ingredientes antifúngicos más efectivos, y evaluando su actividad curativa *in vivo* en fruta inoculada artificialmente e incubada a 20 °C y, posteriormente, a temperaturas comerciales de conservación frigorífica más un periodo de simulación de la comercialización a 20 °C, evaluando también la calidad fisicoquímica y sensorial de la fruta. Como resultados relevantes, hay que destacar que, en cítricos, los RC más efectivos formulados a partir de PEC con eugenol (EU) o geraniol (GN) redujeron la incidencia de la podredumbre verde y de la podredumbre amarga en naranjas Valencia Late inoculadas artificialmente tras almacenamiento en frío y a 20 °C, manteniendo también la calidad fisicoquímica y sensorial (Álvarez et al., **2022; 2023**). Trabajos similares también han demostrado la efectividad de RC de HPMC o GA con GN como ingrediente antifúngico reduciendo la incidencia y severidad de la podredumbre marrón en ciruelas Angeleno tras frigoconservación (Asgarian et al., **2023**).

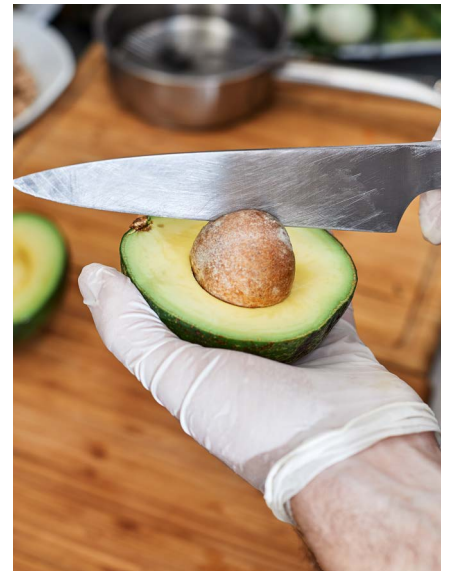
En la etapa final del proyecto StopMedWaste, la empresa Decco Ibérica realizó el escalado en sus instalaciones industriales de Paterna (València) de las formulaciones de RC antifúngicos que resultaron más efectivos en condiciones de laboratorio para, posteriormente, aplicarlas a escala comercial en líneas de confección de fruta en centrales empacadoras de la zona hortofrutícola de València y evaluar su efectividad en ensayos en condiciones comerciales. En general, los resultados obtenidos son de especial relevancia para el sector, ya que sientan las bases para futuras investigaciones en colaboración con la industria para optimizar nuevas formulaciones que permitan comercializar RC antifúngicos efectivos que ayuden a aumentar la competitividad del sector.

EL VALOR DE LOS RESIDUOS

En los últimos años, también estamos trabajando en la revalorización de residuos de la industria agroalimentaria valenciana como fuente de ingredientes con carácter antifúngico para el control de enfermedades de poscosecha. Para ello, estamos obteniendo extractos de residuos como la piel de granada, la piel de almendra, el hueso de aguacate, entre otros, mediante tecnologías verdes como la extracción asistida por microondas o por ultrasonidos. Estos extractos, ricos en compuestos bioactivos con actividad antioxidante y antifúngica, están siendo caracterizados, evaluados en ensayos *in vitro* e *in vivo* frente a los principales hongos patógenos de fruta y, en una última etapa, se estudiará la incorporación de los más efectivos como ingredientes activos de nuevos RC para controlar las enfermedades de poscosecha y mejorar la calidad de cítricos, fruta de hueso, granada u otros productos hortofrutícolas de interés en la Comunitat Valenciana.

UNA ESTRATEGIA SOSTENIBLE

Todo el trabajo realizado en el desarrollo de RC en el CTP-IVIA muestra su potencial como estrategia sostenible para reducir las pérdidas de calidad de frutas y hortalizas en poscosecha. Sin embargo, a pesar de que todos los ingredientes de las formulaciones —biopolímeros, lípidos y agentes activos en el caso de RC antifúngicos— son sustancias naturales o de grado alimentario autorizadas por la normativa de aditivos alimentarios de la Unión Europea y Estados Unidos, el uso de RC como tratamientos de superficie en poscosecha de fruta fresca en la UE requiere actualmente de un registro específico que puede ser difícil, largo y costoso, y solo posible con la implicación de la industria poscosecha. En este sentido, estos estudios intentan ser una herramienta que ofrezca a la industria y el sector datos científicos y facilite la futura implementación comercial de nuevos RC coste-efectivos tanto para producción convencional como ecológica.



Nuevas investigaciones tratan de revalorizar residuos agroalimentarios, como el hueso del aguacate, como fuente de ingredientes con capacidad antifúngica.

Grupo del CTP del IVIA que trabaja en el desarrollo de recubrimientos comestibles antifúngicos.

>Autores del artículo:

Laura Settler-Ramírez, Lluís Palou y María Bernardita Pérez-Gago.
Institut Valencià d'Investigacions Agràries (IVIA). Centre de Tecnologia Postcollita.
perez_mbe@gva.es

