POST COLLI TA

Recobriments comestibles antifúngics

UNA ESTRATÈGIA SOSTENIBLE PER A REDUIR LES PÈRDUES DE QUALITAT DE FRUITES I HORTALISSES

La vida útil de les fruites i verdures és relativament curta, ja que, després de la recol·lecció, els teixits vius continuen els seus processos fisiològics i bioquímics, la qual cosa es traduïx en notables pèrdues de pes i efectes negatius sobre característiques de qualitat com la fermesa, el color, el sabor i la presència de compostos nutricionals i bioactius. A més, en el procés de maduració i senescència, les fruites són més susceptibles de desenvolupar malalties de postcollita causades per fongs patògens.

Tant la deterioració fisiològica com la produïda pel desenvolupament de malalties de postcollita, no sols produïxen grans pèrdues econòmiques al sector, sinó que també generen una gran quantitat de desaprofitament alimentari, amb el conseqüent impacte mediambiental i social. S'estima que les pèrdues derivades de condicions de manipulació en postcollita i emmagatzematge inadequades suposen més del 25 per cent de la producció total als països industrialitzats i més de la meitat als països en desenvolupament **(Food Waste Index Report, 2024).**

CONSERVACIÓ I SEGURETAT

Les restriccions legals en l'ús d'agroquímics i la creixent demanda d'aliments frescos, saludables i sostenibles han intensificat la cerca d'alternatives de conservació segures, no contaminants i cost-efectives.

Entre les diferents tecnologies de postcollita, l'aplicació de ceres comercials formulades a base de resines com la goma laca i ceres com la cera de polietilè o carnauba, amb fungicides químics de síntesi, com l'imazalil o el tiabendazol, s'han utilitzat durant molts anys per a controlar les podridures de postcollita i prolongar la vida útil de fruites com els cítrics o la fruita de llavor, ja que reduïxen les pèrdues de pes i fermesa, la respiració i els danys per fred, entre altres funcionalitats. No obstant això, la progressiva conscienciació mediambiental, les restriccions legals cada vegada més estrictes en l'ús d'agroquímics i la creixent demanda d'aliments frescos i saludables per part dels consumidors, ha intensificat la cerca de noves alternatives de conservació segures, no contaminants i cost-efectives. En esta línia, els recobriments comestibles (RC) han sorgit en els darrers anys com una alternativa eficaç, econòmica, fàcil d'aplicar i respectuosa amb el medi ambient.

FIGURA 1. EFECTE DELS RECOBRIMENTS COMESTIBLES EN LA QUALITAT DE LA FRUITA

Cítrics tractats amb un recobriment comestible antifúngic.

Els RC es formulen a partir de compostos naturals o substàncies GRAS —de l'anglès, *generally recognized as safe*— que es poden ingerir amb l'aliment en formar una fina capa al seu voltant. Estos RC creen una barrera semipermeable a gasos (O_2 i CO_2) i al vapor d'aigua que reduïx la respiració i la pèrdua de pes i contribuïx a mantindre la fermesa, a retindre compostos bioactius i a reduir els danys per fred en les fruites més sensibles. A més, poden actuar de suport de diverses substàncies actives, com, per exemple, agents antimicrobians o antioxidants, que milloraran la seua funcionalitat **(Valencia-Chamorro et al., 2011a) (Figura 1).**

En general, els RC per a fruites i hortalisses fresques corresponen a formulacions compostes per un o diversos biopolímers —polisacàrids, com els derivats de cel·lulosa, midó, pectines, alginats i quitosans, o proteïnes com zeïna, sèrum lacti, caseïna i altres— i per lípids —cera carnauba, cera d'abella, cera candelilla, monoglicèrids i diglicèrids d'àcids grassos, etc.—. Amb estos RC compostos a base de biopolímer-lípids, es combina el caràcter filmogen i de barrera enfront de gasos de les proteïnes i polisacàrids amb la propietat de barrera al vapor d'aigua característica dels lípids. D'esta manera, l'èxit del RC dependrà de la capacitat per a reduir la pèrdua de pes i mantindre una atmosfera interna baixa en oxigen sense causar una respiració anaeròbia que altere el sabor i/o cause danys fisiològics en el fruit.

ELS INGREDIENTS I LA SEUA EFICÀCIA

Per al desenvolupament de RC antifúngics, excepte en casos com el del quitosan o els gels d'*Aloe* spp., que presenten per si mateixos una certa capacitat antimicrobiana, el control de malalties de postcollita s'aconseguix mitjançant la incorporació d'ingredients amb capacitat antifúngica. Entre ells, destaquen additius alimentaris i substàncies GRAS com els àcids orgànics i les seues sals, polipèptids, extractes naturals, olis essencials, compostos volàtils purs i agents de control biològic. L'efectivitat d'estos RC antifúngics depén de les complexes interaccions que ocorren durant el desenvolupament de la malaltia entre el fruit hoste, el patogen i el medi ambient.

Pioner en el control integrat no contaminant de malalties de postcollita, el Centre de Tecnologia Postcollita de l'IVIA porta més de vint anys desenvolupant recobriments comestibles per a fruita fresca.

A més, quan l'agent actiu s'incorpora com a ingredient de l'RC, diversos factors, com les propietats de l'emulsió i les possibles interaccions del compost antifúngic amb la resta dels components de l'RC, poden exercir un paper important en la capacitat antifúngica d'este. Això fa necessari realitzar estudis específics *in vivo* per a cada patosistema concret —combinació de fruit hoste i fong patogen de postcollita— que permeten una adequada selecció dels ingredients que formen la matriu del RC i de les substàncies actives antifúngiques per a un control efectiu de la malaltia.

En este sentit, el Centre de Tecnologia Postcollita (CTP) de l'IVIA compta amb una experiència de més de 20 anys en el desenvolupament de RC per a fruita fresca i mínimament processada i és pioner en el desenvolupament de nous RC antifúngics per al control integrat no contaminant de malalties de postcollita de fruita fresca com cítrics, fruita d'os, magrana i caqui.

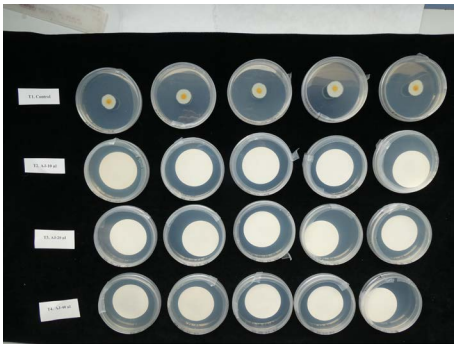
En els primers treballs del CTP-IVIA, es van desenvolupar RC antifúngics a base d'hidroxipropil metilcelulosa (HPMC)-lípids amb la incorporació d'additius alimentaris antifúngics de baixa toxicitat —principalment sals minerals, sals d'àcids orgànics i sals de parabens— per a cítrics. Els RC antifúngics es van avaluar primer *in vitro* contra *Penicillium digitatum* i *P. italicum* i posteriorment *in vivo* en espècies i cultivars de cítrics comercialment importants, determinant la seua activitat antifúngica curativa contra les podridures verda i blava durant l'emmagatzematge a 20 °C i durant frigoconservació. Entre diferents sals GRAS, el sorbat potàssic (PS), el benzoat sòdic (SB) i algunes mescles van ser les més efectives inhibint els dos fongs en taronges València **(Valencia-Chamorro et al., 2009)** i mandarines Clemenules **(Valencia-Chamorro et al., 2011b)** i Ortanique **(Valencia-Chamorro et al., 2010)**. D'igual manera, l'optimització de nous RC antifúngics basats en una matriu de midó de creïlla pregelatinitzat (PPS) i monoestearat de gliceril (GMS) i l'addició de SB com a ingredient antifúngic va reduir la incidència i severitat de les podridures verda i blava en mandarines Orri, taronges València i llimes Fino inoculades artificialment amb els fongs i emmagatzemats tant a temperatura ambient com en conservació frigorífica (Soto-Muñoz et al., **2021a**; **2021b**; **2023**).

Sobre estes línies, una pruna i una magrana afectades respectivament per la podridura marró i la podridura blava durant l'emmagatzematge. A la dreta, moment de l'aplicació d'un RC en una taronja.

En altres treballs, RC formulats amb sals GRAS també van mostrar ser efectius enfront d'altres podridures de postcollita dels cítrics. Així, diferents treballs s'han enfocat en la cerca de solucions per al control de la podridura àcida o amarga, causada pel fong *Geotrichum citri-aurantii,* que és, després de les podridures verda i blava, la malaltia de postcollita de cítrics més important en zones de clima mediterrani, especialment en campanyes plujoses. Després de la retirada definitiva a la UE de la guazatina en 2011 i del propiconazol en 2019, no es disposa de fungicides de postcollita eficaces per al control d'esta malaltia, la qual cosa suposa un problema greu per als exportadors de cítrics espanyols. En este sentit, un RC optimitzat a base de PPS-GMS amb 2% SB va reduir la incidència de la podridura àcida, a més de mantindre la qualitat de mandarines Orri durant frigoconservació **(Soto-Muñoz et al., 2023)**. D'altra banda, RC a base d'HPMC-lípids amb sals GRAS també van reduir la incidència i la severitat de la podridura peduncular per diplòdia causada per *Lasiodiplodia theobromae* en taronges Barnfield (Guimaraes et al., 2019) i l'antracnosi causada per *Colletotrichum gloeosporioides* en mandarina Nadorcott i en taronges València **(Martínez-Blay et al., 2020).**

En altres fruits, RC similars a base d'HPMC i lípids formulats amb diferents sals GRAS van mostrar efectivitat reduint la podridura marró causada per *Monilinia fructicola* en prunes **(Karaca et al., 2014),** i la podridura grisa i la taca negra causades per *Botrytis cinerea* i *Alternaria alternata*, respectivament, en tomata cherry (Fagundes et al., **2014**; **2015**), la taca negra en caqui Rojo Brillante **(Fernández-Catalán et al., 2021)**, i podridures de la magrana Mollar d'Elx **(Di Mill et al., 2021)**. A més, els RC més efectius també van reduir la pèrdua de pes i de fermesa i els danys per fred en fruits com pruna, magrana i caqui, sense afectar negativament la qualitat fisicoquímica i sensorial de la fruita.

D'esquerra a dreta i de dalt a baix: Seqüència en el desenvolupament i avaluació de recobriments comestibles antifúngics: Assajos *in vitro* d'activitat antifúngica de les substàncies actives, desenvolupament de recobriments comestibles antifúngics i assajos *in vivo* de capacitat de control en fruita inoculada.



EL PROJECTE STOPMEDWASTE

Utilitzant medis físics, compostos naturals i agents de biocontrol, el projecte europeu StopMedWaste pretén augmentar la vida útil de fruites, hortalisses i plantes aromàtiques, i, amb això, reduir el desaprofitament alimentari i garantir la seguretat del consumidor.

A causa del caràcter cientificotècnic i la importància socioeconòmica d'esta línia d'investigació, cal destacar la col·laboració del CTP-IVIA amb altres grups nacionals i internacionals en projectes d'I+D, així com amb empreses del sector en contractes d'investigació. Entre ells, cal destacar la participació en el projecte europeu **StopMedWaste - Tecnologies innovadores i sostenibles per a estendre la vida útil de les fruites, verdures i plantes aromàtiques fresques mediterrànies i reduir el desaprofitament alimentari**, emmarcat en el Programa PRIMA i finançat en la part espanyola per l'Agència Estatal d'Investigació en el Programa de Col·laboració Internacional (PCI2020-112095) i NextGenerationEU/PRTR.

Este projecte té com a objectiu estendre la vida útil de fruites, hortalisses i plantes aromàtiques fresques d'importància econòmica per a Espanya i altres països mediterranis, mitjançant estratègies innovadores que inclouen medis físics (i.e., ozó gasós, aigua ozonitzada, aigua electrolitzada), compostos naturals (quitosan, olis essencials, RC antifúngics) i agents de biocontrol per a reduir el desaprofitament alimentari i garantir la seguretat del consumidor amb una disminució de l'ús de pesticides químics de síntesi. En el consorci han participat nou socis —set universitats i centres d'investigació i dues empreses— de cinc països de la conca mediterrània —Itàlia, Xipre, Tunísia, Turquia i Espanya— amb experiència en àrees complementàries com patologia i fisiologia postcollita **(Figura 2).**

FIGURA 2. ESQUEMA DELS OBJECTIUS DEL PROJECTE EUROPEU STOPMEDWASTE

Financiado por la Unión Europea NextGenerationEU

Els resultats del projecte establixen les bases per a futures investigacions que permeten optimitzar formulacions, comercialitzar nous RC antifúngics i contribuir a la competitivitat del sector.

Aplicació de recobriments comestibles antifúngics en línies de confecció de fruita en centrals empacadores.

Dalt, taronges amb símptomes de les podridures verda i blava. Davall, nectarina amb símptomes de la podridura marró.

Dins del consorci del projecte **StopMedWaste,** el CTP-IVIA ha sigut responsable del desenvolupament de RC antifúngics per a cítrics, fruita d'os i magrana. El treball ha inclòs assajos *in vitro* per a seleccionar, entre diferents olis essencials i extractes de plantes, els agents antifúngics més efectius contra les principals malalties de postcollita dels fruits. Posteriorment, s'han desenvolupat nous RC a partir de pectina de cítrics (PAC), HPMC o goma aràbiga (GA), incorporant els ingredients antifúngics més efectius, i avaluant-ne la activitat curativa *in vivo* en fruita inoculada artificialment i incubada a 20 °C i, posteriorment, a temperatures comercials de conservació frigorífica més un període de simulació de la comercialització a 20 °C, avaluant també la qualitat fisicoquímica i sensorial de la fruita. Com a resultats rellevants, cal destacar que, en cítrics, els RC més efectius formulats a partir de PAC amb eugenol (EU) o geraniol (GN) van reduir la incidència de la podridura verda i de la podridura amarga en taronges València Late inoculades artificialment després d'emmagatzematge en fred i a 20 °C, mantenint també la qualitat fisicoquímica i sensorial (Álvarez et al., **2022**; **2023**). Treballs similars també han demostrat l'efectivitat de RC d'HPMC o GA amb GN com a ingredient antifúngic reduint la incidència i severitat de la podridura marró en prunes Angeleno després de frigoconservació **(Asgarian et al., 2023)**.

PROJECTE STOPMEDWASTE

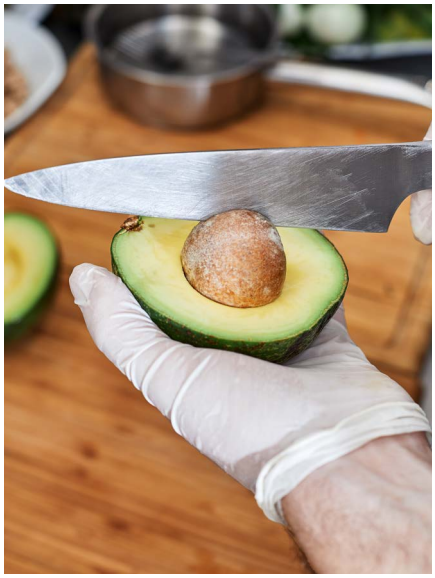
En l'etapa final del projecte StopMedWaste, l'empresa Decco Ibérica va realitzar l'escalat en les seues instal·lacions industrials de Paterna (València) de les formulacions de RC antifúngics que van resultar més efectius en condicions de laboratori per a, posteriorment, aplicar-les a escala comercial en línies de confecció de fruita en centrals empacadores de la zona hortofructícola de València i avaluar-ne l'efectivitat en assajos amb fruita en condicions comercials. En general, els resultats obtinguts són d'especial rellevància per al sector, ja que establixen les bases per a futures investigacions en col·laboració amb la indústria per a optimitzar noves formulacions que permeten comercialitzar RC antifúngics efectius que ajuden a augmentar la competitivitat del sector.

EL VALOR DELS RESIDUS

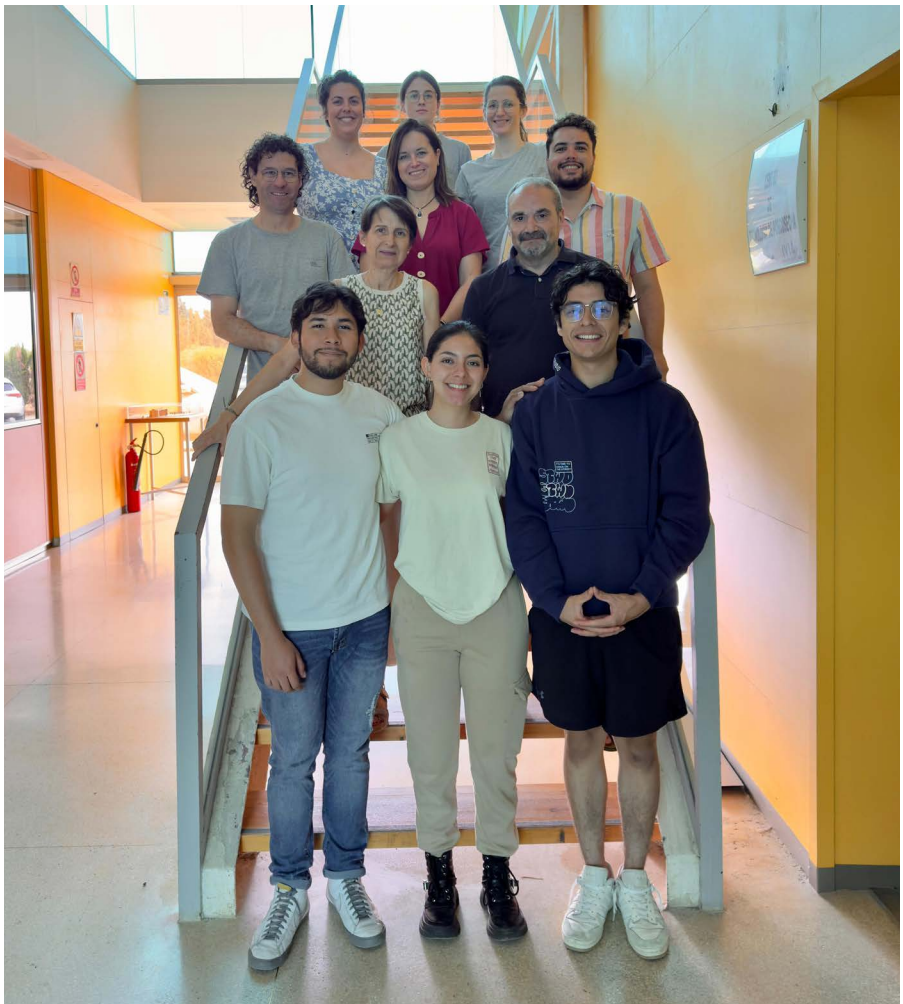
En els darrers anys, també estem treballant en la revaloració de residus de la indústria agroalimentària valenciana com a font d'ingredients amb caràcter antifúngic per al control de malalties de postcollita. Per a això, estem obtenint extractes de residus com la pell de magrana, la pell d'ametla, l'os d'alvocat, entre altres, mitjançant tecnologies verdes com l'extracció assistida per microones o per ultrasons. Estos extractes, rics en compostos bioactius amb activitat antioxidant i antifúngica, estan sent caracteritzats, avaluats en assajos *in vitro* i *in vivo* enfront dels principals fongs patògens de fruita i, en una última etapa, s'estudiarà la incorporació dels més efectius com a ingredients actius de nous RC per a controlar les malalties de postcollita i millorar la qualitat de cítrics, fruita d'os, magrana o altres productes hortofructícoles d'interés a la Comunitat Valenciana.

UNA ESTRATÈGIA SOSTENIBLE

Tot el treball realitzat en el desenvolupament de RC en el CTP-IVIA mostra el seu potencial com a estratègia sostenible per a reduir les pèrdues de qualitat de fruites i hortalisses en postcollita. No obstant això, a pesar que tots els ingredients de les formulacions —biopolímers, lípids i agents actius en el cas de RC antifúngics— són substàncies naturals o de grau alimentari autoritzades per la normativa d'additius alimentaris de la Unió Europea i els Estats Units, l'ús de RC com a tractaments de superfície en postcollita de fruita fresca a la UE requerix actualment d'un registre específic que pot ser difícil, llarg i costós, i només possible amb la implicació de la indústria postcollita. En este sentit, estos estudis intenten ser una eina que oferisca a la indústria i el sector dades científiques i facilite la futura implementació comercial de nous RC cost-efectius, tant per a producció convencional com ecològica.



Noves investigacions tracten de revaloritzar residus agroalimentaris, com l'os de l'alvocat, com a font d'ingredients amb capacitat antifúngica.



Grup del CTP de l'IVIA que treballa en el desenvolupament de recobriments comestibles antifúngics.

>Autors de l'article:
Laura Settier-Ramírez, Lluís Palou i María Bernardita Pérez-Gago.
Institut Valencià d'Investigacions Agràries (IVIA). Centre de Tecnologia Postcollita..
perez_mbe@gva.es