



Utilización de agentes de biocontrol para prevenir el deterioro de la fruta en poscosecha

Carina Martín Bonilla. Trabajo de Fin de Máster 2019 | Tutorizado por Ana María Rodríguez Pérez. Máster en Seguridad y Calidad de los Alimentos. Universidad de La Laguna.

Índice

| | |
|--|-----------|
| Resumen | 1 |
| Abstract | 1 |
| 1. Introducción | 2 |
| 2. Objetivos | 3 |
| 3. Patógenos responsables de enfermedades en poscosecha | 3 |
| 4. Control biológico | 5 |
| 4.1 Principios básicos del control biológico | 5 |
| 4.2 Mecanismos de acción | 6 |
| 4.2.1 Competencia por espacio y nutrientes | 7 |
| 4.2.2 Inducción de resistencia | 7 |
| 4.2.3 Parasitismo | 7 |
| 4.2.4 Antibiosis | 8 |
| 4.2.5 Otros mecanismos de acción | 8 |
| 4.3 Aislamiento e identificación de antagonistas | 9 |
| 5. Desarrollo comercial de productos de biocontrol | 11 |
| 6. Situación actual | 11 |
| 7. Conclusiones | 13 |
| 8. Bibliografía | 14 |

Resumen

La poscosecha se considera una de las etapas más vulnerables en cuanto al deterioro causado por patógenos en frutas, lo que provoca el desecho de grandes cantidades de producto al final de la cadena de suministro. Entre los tratamientos físicos y químicos utilizados para evitar esta pérdida, uno de los más destacados es la aplicación de fungicidas. Sin embargo, en los últimos años se ha incrementado la preocupación social sobre la seguridad de estos productos. Como método alternativo, entre otros, surge la utilización de agentes de biocontrol, que se basa en el uso de microorganismos, tales como bacterias, hongos filamentosos y levaduras, los cuales emplean varios mecanismos de acción para combatir los fitopatógenos. A pesar de su potencial, la comercialización de productos de biocontrol es todavía limitado, debido a que, en ocasiones, presentan resultados poco consistentes y sus costes de comercialización son elevados.

Palabras claves: biocontrol, fitopatógenos, frutas, poscosecha.

Abstract

Postharvest is one of the most vulnerable stages in terms of deterioration caused by pathogens in fruits, which causes a huge dispose of products at the end of the supply chain. Among the physical and chemical methods used to prevent this waste, one of the most used are fungicide treatments. However, the social concern about the safety of these products has increased in recent years. The use of biocontrol agents are arising as an alternative method, which is based on the use of microorganisms, such as bacteria, filamentous fungi and yeasts that employ several mechanisms of action against phytopathogens. In spite of it having a great potential, the commercialization of biocontrol products is still limited. This is because, this method sometimes has inconsistent and unreliable results as well as a high marketing cost.

Key words: biocontrol, phytopathogens, fruits, postharvest.

1. Introducción

Las frutas son parte importante de una dieta equilibrada y variada, puesto que presentan un alto valor nutritivo, aportando vitaminas, antioxidantes, fibras solubles y minerales, así como un suplemento de agua. Para obtener productos de calidad, a la hora de seleccionar la fruta se tienen en cuenta parámetros tales como su apariencia externa, valor nutritivo, condiciones higiénico-sanitarias y ausencia de residuos tóxicos, asegurando que su consumo no suponga un riesgo para la salud humana. Por lo tanto, no solo deben presentar un aspecto fresco, también han de estar libres de sustancias perjudiciales y de microorganismos patógenos que puedan suponer un peligro para el consumidor **(1)**.

Según estudios realizados por la FAO, el desperdicio de frutas al final de la cadena de suministro y distribución de alimentos es elevado, estimándose que el 15-30% de la fruta es desechada por los consumidores **(2)**. Para evitar las pérdidas relacionadas con el deterioro causado por patógenos, principalmente hongos, se aplican fungicidas tanto durante el cultivo como en la poscosecha, para el control de las poblaciones microbianas existentes en la superficie de la fruta **(3)**. Durante la fase de poscosecha, una de las más vulnerables en cuanto a pérdidas, se ha de controlar la temperatura y la humedad relativa durante el almacenamiento, puesto que la fruta continúa con procesos tales como la respiración y la producción de etileno, factores que afectan a la maduración. Adicionalmente, se utilizan otros tratamientos en poscosecha, tales como desinfección con ozono, lavado con agua clorada, peróxido de hidrógeno acidificado, cambios en el pH con bicarbonato sódico, desinfección de la superficie utilizando tratamientos térmicos y revestimientos con agentes conservantes **(4)**.

La utilización de fungicidas ha ido disminuyendo a lo largo del tiempo debido a la aparición de resistencias frente a muchos de ellos y a la ausencia de nuevas materias activas que puedan reemplazarlos, así como la creciente preocupación social sobre la seguridad de estos productos **(5)**. Estos hechos justifican la necesidad de búsqueda de métodos alternativos, siendo la

utilización de agentes de biocontrol una de las estrategias más estudiada **(6)**. A pesar de las ventajas que puede aportar este método, su uso sigue siendo muy limitado, debido a la variabilidad que presentan los productos de biocontrol en su eficacia. Para conseguir avances en este campo es necesario indagar en la ecología de los microorganismos utilizados en el control biológico para combatir las enfermedades de poscosecha **(7)**.

2. Objetivos

En esta revisión bibliográfica se pretende conseguir los siguientes objetivos:

- ✓ Conocer los principios básicos del biocontrol para prevenir el deterioro de frutas en poscosecha.
- ✓ Entender los procedimientos que se llevan a cabo durante el desarrollo y la comercialización de estos productos
- ✓ Determinar la situación actual del control biológico en poscosecha como método alternativo a la utilización de fungicidas.

3. Patógenos responsables de enfermedades en poscosecha

El deterioro de las frutas está causado mayoritariamente por hongos **(Tabla 1)**, ya que, entre otros factores, estos alimentos presentan valores bajos de pH, lo que inhibe el crecimiento de la mayoría de las bacterias. Dichas infecciones no solo suponen una elevada pérdida económica, también ponen en riesgo la salud de los consumidores, puesto que algunos de estos hongos son productores de micotoxinas **(8)**.

Tabla 1. Enfermedades y patógenos más comunes en poscosecha (8).

| TIPO DE FRUTA | ENFERMEDAD | PATÓGENO |
|--------------------------|----------------------------------|---|
| Frutas de pepita | Pudrición amarga | <i>Colletotrichium gloesporioides</i> |
| | Corazón mohoso | <i>Aternaria spp.</i> |
| | Otros mohos | <i>Penicillium spp. (moho azul)</i> <i>Botrytis cinerea (moho gris)</i> |
| Frutas de hueso | Pudrición parda | <i>Monilinia spp.</i> |
| | Pudrición por Rhizopus | <i>Rhizopus spp. (R. stolonifer)</i> |
| | Otros mohos | <i>Penicillium spp. (moho azul)</i> <i>Botrytis cinerea (moho gris)</i> |
| Frutos del bosque | Pudrición por Cladosporium | <i>Cladosporium spp.</i> |
| | Pudrición por Rhizopus | <i>Rhizopus spp.</i> |
| | Otros mohos | <i>Penicillium spp. (moho azul)</i> <i>Botrytis cinerea (moho gris)</i> |
| Cítricos | Melanosis | <i>Diaporthe citri</i> |
| | Aguado | <i>Phytophthora citrophthora</i> |
| | Pudrición del pedúnculo | <i>Phomopsis citri</i> |
| | Otros mohos | <i>Penicillium italicum (moho azul)</i> <i>Penicillium digitatum (moho verde)</i> |
| Uva | Pudrición por Rhizopus | <i>Rhizopus spp.</i> |
| | Otros mohos | <i>Penicillium spp. (moho azul)</i> <i>Botrytis cinerea (moho gris)</i> |
| Plátano | Antracnosis | <i>Colletotrichium musae</i> |
| | Pudrición de corona | <i>Fusarium spp.</i> <i>Verticillium spp.</i> <i>Acrenomyium spp.</i> <i>Colletotrichium musae</i> |
| | Antracnosis | <i>Colletotrichium gloesporioides</i> <i>Colletotrichium acutatum</i> |
| Aguacate | Pudrición blanda bacteriana | <i>Erwinia carotova</i> |
| | Antracnosis | <i>Colletotrichium gloesporioides</i> <i>Colletotrichium acutatum</i> |
| Piña | Ampolla de agua | <i>Thielaviopsis paradoxa</i> |
| | Fermentación por levaduras | <i>Saccharomyces spp.</i> |
| | Pudrición bacteriana del cogollo | <i>Erwinia herbicola var. ananas</i> |

El deterioro en poscosecha está sujeto a varios factores, tales como el tipo de producto, los tratamientos de control aplicados durante el cultivo, las condiciones en las que se mantiene la fruta y la higiene durante el almacenamiento. La llegada del patógeno a la superficie del producto puede darse durante el cultivo, quedando en estado latente o de *quiescencia* hasta que la fruta madura, momento en el que los tejidos vegetales sufren importantes cambios fisiológicos. Del mismo modo, la infección puede iniciarse durante la recolección, transporte y almacenamiento de la fruta, a través de heridas provocadas por insectos o daños mecánicos, que constituyen una vía de entrada para los patógenos **(8)**.

4. Control biológico

4.1 Principios básicos del control biológico

El control biológico se basa en la utilización de microorganismos como antagonistas para combatir fitopatógenos que causan enfermedades en el cultivo o en la poscosecha. En la superficie de las frutas, estos antagonistas se encuentran de manera natural, por lo que productos a los que se aplican tratamientos de lavado pueden ser más susceptibles a los patógenos en poscosecha **(9)**. Los antagonistas naturales pueden clasificarse en función de las estrategias de crecimiento poblacional r-K. Muchas levaduras, por ejemplo, presentan una estrategia r, lo que supone una rápida colonización del nicho, mientras puedan satisfacer sus requerimientos. La efectividad de microorganismos con este tipo de crecimiento puede compararse con algunos tipos de fungicidas de acción protectora, que se aplican previamente a la aparición de los patógenos **(8)**. Una vez que los patógenos se establecen, se requieren especies más competitivas y tolerantes a factores abióticos específicos, es decir, que sigan una estrategia k **(10)**.

Los primeros estudios relevantes sobre la introducción artificial de antagonistas aparecen en la década de los 80, con la publicación de un artículo sobre el biocontrol de la podredumbre parda del melocotón y otras frutas de hueso, causada por *Monilinia fructicola*, mediante el uso de *Bacillus subtilis* **(11)**. Cabe señalar que la aplicación de productos de biocontrol en la

poscosecha tiene ventajas frente a su utilización durante el cultivo ya que, durante la poscosecha, las condiciones de temperatura y humedad relativa se mantienen constantes, hecho que favorece el establecimiento y la actividad de los antagonistas (7). En una primera aproximación, para determinar qué microorganismos presentan mayor potencial como antagonistas, estos deben cumplir ciertos requisitos (**Tabla 2**).

Tabla 2. Características ideales de un antagonista para su desarrollo comercial como producto de control de enfermedades de poscosecha (7).

-
- ✓ Genéticamente estable
 - ✓ Efectivo a bajas concentraciones
 - ✓ Poco exigente en sus requerimientos nutritivos
 - ✓ Resistente frente a condiciones ambientales adversas
 - ✓ Efectivo frente a un amplio rango de patógenos en distintos productos
 - ✓ Susceptible a producción en medios de crecimiento baratos
 - ✓ Tiempo de vida largo
 - ✓ Facilidad para la dispersión
 - ✓ Resistente a productos químicos utilizados en poscosecha
 - ✓ Inocuo para la salud del consumidor
 - ✓ Compatible con otros procedimientos comerciales
-

4.2 Mecanismos de acción

Los antagonistas, al ser organismos vivos, presentan diferentes mecanismos de acción en función de la interacción que establecen con el patógeno, el hospedante (la fruta en este caso) y su población microbiana asociada. Esta interrelación está determinada por factores tales como la temperatura, el pH, el estrés oxidativo y la actividad del agua. En algunos casos, varios mecanismos actúan simultáneamente, por lo que es difícil determinar cuál de ellos está relacionado con una acción específica. El estudio de estas estrategias antagonistas es de gran importancia ya que determinan la eficacia del biocontrol (12,13).

4.2.1 Competencia por espacio y nutrientes

Se basa en la competencia de dos o más microorganismos por los mismos macro y micronutrientes como azúcares, vitaminas y minerales, o bien por espacio. Es efectivo cuando el antagonista está presente en cantidades suficientes, en el momento y lugar adecuado, y es capaz de utilizar los recursos de manera más efectiva que el patógeno, lo que implica que debe colonizar el nicho y aumentar su población rápidamente **(12)**. Una desventaja de este modo de acción es que, como resultado de la competición, se inhibe la germinación de las esporas de los hongos patógenos, pero estas permanecen viables (en estado latente) y pueden germinar posteriormente **(14)**.

Un caso particular dentro de este mecanismo es la competencia por el hierro (Fe^{+3}). En condiciones de escasez de hierro, los antagonistas sintetizan sideróforos que compiten por este micronutriente con los patógenos, impidiendo su crecimiento, germinación y patogénesis **(15)**

4.2.2 Inducción de resistencia

La aplicación de antagonistas puede inducir los mecanismos de defensa del vegetal frente a los patógenos, tales como el refuerzo de sus paredes celulares y generación de estructuras que actúan como barreras físicas, o bien mediante la síntesis de elicitores. Estas sustancias inducen varias respuestas de defensa vegetal, como por ejemplo, la síntesis de proteínas PR, como gluconasas y quitinasas, capaces de degradar las paredes celulares fúngicas, y la síntesis de fitoalexinas, compuestos antimicrobianos que los vegetales producen en respuesta a la infección por patógenos **(6)**.

4.2.3 Parasitismo

El parasitismo directo, micoparasitismo o hiperparasitismo consiste en la habilidad del antagonista para adherirse a las hifas del hongo patógeno y causar una destrucción total de los propágulos fúngicos o bien la destrucción de sus estructuras **(15)**. Cuando el antagonista entra en contacto directo con el patógeno, se secretan enzimas hidrolíticas, tales como quitinasas, quitosanasas, glucanasas, celulasas y/o proteasas, capaces de degradar la pared celular fúngica **(12)**. No obstante, en ocasiones, no queda claro si dicha

actividad se debe al agente de biocontrol o al vegetal, por lo que es necesaria la utilización de chips de ADN y tecnologías de secuenciación de alto rendimiento que puedan aportar información sobre el origen y la regulación de estas enzimas **(13)**.

4.2.4 Antibiosis

Se considera un proceso biológico en el que los antagonistas producen sustancias con potencial para eliminar a los patógenos, ya sean bacterias u hongos, o para inhibir su crecimiento **(13)**. Entre los antibióticos producidos por los agentes de biocontrol más comunes, cabe señalar la iturina producida por *Bacillus* spp. **(16, 17, 18)**, pirrolnitrina por *Pseudomonas* spp. **(19)** y siringomicina por *Pseudomonas syringae* **(20)**. A pesar de que este mecanismo de acción se ha descrito en poscosecha, la relevancia de la antibiosis en el control de patógenos en esta etapa no está claramente establecida **(21)**. En cualquier caso, la ingesta de productos tratados con agentes de biocontrol que producen antibióticos, puede suponer que los patógenos presentes en humanos desarrollen resistencias, por lo que actualmente se priorizan otros mecanismos de acción **(22)**.

4.2.5 Otros mecanismos de acción

Los microorganismos capaces de producir **compuestos orgánicos volátiles antifúngicos** presentan potencial como biofumigantes en poscosecha. Puesto que se trata de compuestos volátiles, no se requiere un contacto directo entre el antagonista y la fruta, lo que facilita la aplicación del producto. Sin embargo, la seguridad de estos antagonistas debe ser estrictamente evaluada **(12)**.

Por último, la formación de **biopelículas** potencia la capacidad del antagonista para adherirse y colonizar la superficie de la fruta, así como las hifas de los hongos patógenos, por lo que se considera un aspecto relevante en el biocontrol **(12)**.

4.3 Aislamiento e identificación de antagonistas

En la búsqueda de un nuevo agente de biocontrol y como punto de partida, se plantea el diseño conceptual, definiendo los patógenos y los hospedantes (tipo de fruta) con los que se trabajará. A continuación se procede al aislamiento de microorganismos que se encuentran de manera natural, principalmente, en la superficie de la fruta, aunque pueden obtenerse de otras fuentes, como las hojas o el suelo. Mediante bioensayos, y con la ayuda de la metagenómica y herramientas bioinformáticas, se determina el potencial de estos microorganismos como agentes de biocontrol. Tras su identificación, se llevan a cabo ensayos *in vivo*, aplicando estos posibles antagonistas en la fruta, en condiciones controladas. De este modo se determina su capacidad para evitar el deterioro en el producto, así como sus mecanismos de acción. Posteriormente, son necesarias pruebas a pequeña escala y ensayos piloto que confirmen la efectividad del antagonista en condiciones comerciales **(23)**. Con este procedimiento, se han aislado bacterias, levaduras y hongos filamentosos que actúan como antagonistas para el control en poscosecha **(Tabla 3)**.

Tabla 3. Antagonistas utilizados con éxito para el control del deterioro de frutas en poscosecha (15,22).

| ANTAGONISTA | PATÓGENO | FRUTA HOSPEDANTE |
|-----------------------------------|---|--|
| Bacterias | | |
| <i>Bacillus subtilis</i> | <i>Botrytis cinerea</i> <i>Penicillium digitatum</i> <i>Colletotrichum gloesporioides</i> | Fresa Cítricos Manzana |
| <i>Enterobacter aerogenes</i> | <i>Alternaria alternata</i> | Cereza |
| <i>Enterobacter cloacae</i> | <i>Rhizopus stolonifer</i> | Melocotón |
| <i>Pantoea agglomerans</i> | <i>Penicillium digitatum</i> <i>P. italicum</i> <i>P. expansum</i> | Manzana Manzana Manzana |
| <i>Pseudomonas fluorescens</i> | <i>Botrytis mali</i> | Manzana |
| <i>Pseudomonas syringae</i> | <i>Fusarium pallidoroseum</i> <i>F. proliferatum</i> | Plátano Plátano |
| Levaduras | | |
| <i>Candida oleophila</i> | <i>Colletotrichum musae</i> <i>Botrytis cinerea</i> <i>Penicillium expansum</i> | Plátano Manzana Manzana |
| <i>Candida sake</i> | <i>B. cinerea</i> <i>P. expansum</i> | Uva Uva |
| <i>Cryptococcus laurentii</i> | <i>Botrytis cinerea</i> | Fresa |
| <i>Kloeckera apiculata</i> | <i>Botrytis cinerea</i> <i>Penicillium spp.</i> <i>P. digitatum</i> <i>P. italicum</i> | Cereza Cítricos Cítricos Cítricos |
| <i>Metschnikowia fructicola</i> | <i>Botrytis cinerea</i> <i>Penicillium expansum</i> <i>P. digitatum</i> | Uva Manzana Uva |
| <i>Metschnikowia pulcherrima</i> | <i>B. cinerea</i> <i>P. expansum</i> | Manzana Manzana |
| <i>Pichia anomala</i> | <i>Penicillium spp.</i> | Cítricos |
| <i>Pichia guilliermondii</i> | <i>Botrytis cinerea</i> | Manzana y kiwi |
| <i>Rhodotorula mucilaginosa</i> | <i>Penicillium expansum</i> | Pera |
| Hongos filamentosos | | |
| <i>Aureobasidium pullulans</i> | <i>Monilinia laxa</i> <i>Penicillium spp.</i> <i>Botrytis cinerea</i> | Plátano Cítricos Uva |
| <i>Penicillium sp. (atenuado)</i> | <i>Penicillium sp.</i> | Piña |
| <i>Penicillium frequentans</i> | <i>Monilinia sp.</i> | Melocotón |
| <i>Trichoderma harzianum</i> | <i>Colletotrichum musae</i> <i>Botrytis cinerea</i> | Manzana Uva |
| <i>Trichoderma viride</i> | <i>Botryodiplodia theobromae</i> | Mango |

5. Desarrollo comercial de productos de biocontrol

Una vez seleccionado e identificado un microorganismo con potencial para ser utilizado como agente de biocontrol, el siguiente paso es desarrollar el producto comercial. Para la producción masiva del antagonista, se requiere de un medio de cultivo económico que aporte todos los nutrientes necesarios para el crecimiento y estabilidad de la población microbiana. Una vez que esto se consigue, se desarrolla el producto formulado, que consiste en el antagonista (ingrediente activo), un material inerte que sirva como soporte y una serie de nutrientes y aditivos que protejan el producto frente a factores ambientales. El producto final debe asegurar un biocontrol efectivo durante su comercialización, lo que implica mantener la viabilidad del agente de biocontrol, alargar en lo máximo posible su vida útil y que sea compatible con otros métodos. Puede presentarse deshidratado, lo que aumenta su tiempo de almacenaje y facilita su manejo, aunque se produce mayor muerte celular; o bien en estado líquido, lo que permite estabilizar la viabilidad celular, añadiendo protectores y aditivos, con un almacenaje a bajas temperaturas. Una vez se dispone de la formulación más adecuada, se ha de evaluar su eficacia mediante ensayos a gran escala. Finalmente, para poder obtener la licencia y aprobación de las agencias reguladoras, se debe asegurar que el producto es seguro mediante pruebas toxicológicas y evaluaciones del posible riesgo medioambiental **(15,23)**

6. Situación actual

A pesar de los esfuerzos realizados durante estos últimos años en el desarrollo de agentes de biocontrol en poscosecha, el número de productos comercializados es limitado (**Tabla 4**). Esto se debe, entre otros motivos, a la dificultad para llevar a cabo una producción a gran escala sin comprometer la viabilidad del antagonista, al objeto de conseguir un producto estandarizado, con lotes homogéneos y una vida útil razonable. Como consecuencia, los resultados que se obtienen son, en ocasiones, poco consistentes. Otro factor de gran importancia es el elevado coste que supone el desarrollo, registro y marketing **(24)**. En EEUU, el organismo encargado del registro y autorización de este tipo de productos es la EPA (Environmental Protection Agency) y el

procedimiento es más sencillo que el que siguen los pesticidas (7). Sin embargo, en otros países esto resulta más complejo. En Europa, por ejemplo, el coste es de aproximadamente 1,5 millones de euros y los procedimientos para autorizar la materia activa (antagonistas) son los mismos que para los productos químicos, a pesar de las diferencias que estos presentan (24).

Tabla 4. Productos de biocontrol comercializados para el control del deterioro de frutas en poscosecha (15).

| Producto | Ingrediente activo | Fruta | Patógeno |
|---|---------------------------------|---|---|
| Productos basados en bacterias | | | |
| Biosave | <i>Pseudomonas syringae</i> | Frutas de pepita, cítricos, fresa | <i>Penicillium</i> , <i>Botrytis</i> , <i>Mucor</i> |
| Avogreen | <i>Bacillus subtilis</i> | Aguacate | <i>Cercospora</i> , <i>Colletotrichum</i> |
| Pantovital | <i>Pantoea agglomerans</i> | Frutas de pepita, cítricos | <i>Penicillium</i> , <i>Botrytis</i> , <i>Monilinia</i> |
| Productos basados en levaduras | | | |
| Candifruit | <i>Candida sake</i> | Frutas de pepita | <i>Penicillium</i> , <i>Botrytis</i> , <i>Rhizopus</i> |
| Aspire | <i>Candida oleophila</i> | Frutas de pepita, cítricos, frutas de hueso y fresas. | <i>Botrytis</i> , <i>Penicillium</i> , <i>Monilinia</i> |
| Nexy | <i>Candida oleophila</i> | Frutas de pepita | <i>Botrytis</i> , <i>Penicillium</i> |
| Yield Plus | <i>Cryptococcus albidus</i> | Frutas de pepita, cítricos | <i>Botrytis</i> , <i>Penicillium</i> , <i>Mucor</i> |
| Shemer | <i>Metschnikowia fructicola</i> | Frutas de pepita, fresas, frutas de hueso, uva | <i>Botrytis</i> , <i>Penicillium</i> , <i>Rhizopus</i> , <i>Aspergillus</i> |
| Productos basados en hongos filamentosos | | | |
| BoniProtect | <i>Aureobasidium pullulans</i> | Frutas de pepita | <i>Penicillium</i> , <i>Botrytis</i> , <i>Monilinia</i> |

Generalmente, el uso exclusivo de agentes de biocontrol no es suficiente para garantizar un control eficiente de los patógenos (>95%). Para superar esta limitación se propone la utilización un control integrado, combinando el uso de antagonistas con métodos físicos y químicos no convencionales (15). Los tratamientos físicos, tales como la utilización de microondas, altas temperaturas, agua caliente, calentamiento óhmico, irradiación UV y ultrasonidos, aunque no previenen de las infecciones secundarias, suprimen la actividad del patógeno y mejoran la efectividad del antagonista (25). Como compuestos químicos, se pueden combinar elicitores, fitohormonas y aditivos

alimentarios con los antagonistas, para mejorar su actividad. En los últimos años, la preferencia de los consumidores por el uso de aceites esenciales como biopesticidas ha aumentado, debido a que aportan efectos beneficiosos a la salud (26).

7. Conclusiones

El control biológico es un método alternativo para prevenir el deterioro de la fruta en poscosecha, que supone una mejora en cuanto a la cantidad de residuos químicos que contienen estos alimentos, y además, se considera una opción más respetuosa con el medioambiente. A pesar del potencial de estos productos, su comercialización presenta ciertas dificultades. Se requiere de la inversión de grandes empresas, que dispongan del capital y la experiencia necesaria para obtener un producto eficaz, evitando que estos queden inacabados o bien que las empresas los retiren del mercado debido a su escasa rentabilidad. Otra limitación es la normativa aplicable para el registro de productos de biocontrol, especialmente en Europa, donde se aplican los mismos protocolos que para los pesticidas sintéticos, lo que dificulta y encarece su comercialización.

8. Bibliografía

1. López Camelo, A.F. (2003). Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas. Del campo al mercado. *Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO 151*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma.
2. Gustavsson, J., Cederberg, C., Sonesson, U., Van Otterdijk, R. y Meybeck, A. (2012). *Pérdidas y desperdicio de alimentos en el mundo. Alcance, causas y prevención*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma.
3. Krupinsky, J.M., Bailey, K.L., McMullen, M.P., Gossen, B.D. y Turkington, T.K. (2002) Managing plant disease risk in diversified cropping systems. *Agronomy Journal*, 94(2), 198-209.
4. Verma, L.R. y Joshi, V.K.Dr (2000) *Postharvest Technology of Fruits and Vegetables: General concepts and principles* (Vol.1). Indus Publishing Company, New Delhi.
5. Janisiewicz, W.J. y Korsten, L. (2002). Biological control of postharvest diseases of fruits. *Annual review of phytopathology*, 40(1), 411-441.
6. Liu, J., Sui, Y., Wisniewski, M., Droby, S. y Liu, Y. (2013). Utilization of antagonistic yeast to manage postharvest fungal diseases of fruit *International journal of food microbiology*, 167(2), 153-160.
7. Droby, S., Wisniewski, M., Macarisin, D. y Wilson, C. (2009). Twenty years of postharvest biocontrol research: is it time for a new paradigm?. *Postharvest biology and technology*, 52(2), 137-145.
8. Coates, L. y Johnson, G. (1997) Postharvest diseases of fruit and vegetables. En: J. Brown, H. Ogle (Eds.), *Plant Pathogens and Plant Diseases*, Rockvale Publications, Cambridge, UK, pp. 533-547.
9. Chalutz, E. y Wilson, C.L. (1990). Postharvest biocontrol of green and blue mold and sour rot of citrus fruit by *Debaryomyces hansenii*. *Plant Disease*, 74(2), 134-137.
10. Janisiewicz, W.J. y Korsten, L. (2002). Biological control of postharvest diseases of fruits. *Annual review of phytopathology*, 40(1), 411-441.
11. Wilson, C.L. y Pusey, P.L. (1985) Potencial for biological control of postharvest plant diseases. *Plant disease*, 69(5), 375-378.
12. Spadaro, D. y Droby, S. (2016). Development of biocontrol products for postharvest diseases of fruit: The importance of elucidating the mechanisms of action of yeast antagonists. *Trends in Food Science & Technology*, 47, 38-49.
13. Di Francesco, A., Martini, C. y Mari, M. (2016) Biological control of postharvest diseases by microbial antagonist: how many mechanisms of action? *European Journal of Plant Pathology*, 145(4), 711-717.
14. Janisiewicz, W.J., Tworowski, T.J. y Sharer, C. (2000). Characterizing the mechanism of biological control of postharvest diseases on fruit with

- a simple method to study competition for nutrients. *Phytopathology*, 90(1), 1196-1200.
15. Dukare, A.S., Paul, S., Nambi, V.E., Gupta, R.K., Singh, R., Sharma, K. y Vishwakarma, R.K. (2019). Exploitation of microbial antagonists for the control of postharvest diseases of fruits: a review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 59(9), 1498-1513.
 16. Dimkic, I., Zikvokic, S., Beric, T., Ivanovic, Z., Gavrilovic, V., Stankovic, S. y Fira, D. (2013). Characterization and evaluation of two *Bacillus* strains, SS-12.6 and SS-13.1, as potential agents for the control of phytopathogenic bacteria and fungi. *Biological Control*, 65(3), 312-321.
 17. Pretorius, D., van Rooyen, J. y Clarke, K.G. (2015). Enhanced production of antifungal lipopeptides by *Bacillus amyloliquefaciens* for biocontrol of postharvest disease. *New Biotechnology*, 32(2), 243-252.
 18. Waewthongrak, W., Pisuchpen, S. y Leelasuphakul, W. (2015). Effect of *Bacillus subtilis* and chitosan applications on Green mold (*Penicillium digitum* Sacc.) decay in citrus fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 99, 44-49.
 19. Weller, D.M. (2007) *Pseudomonas* biocontrol agents of soilborne pathogens: looking back over 30 years. *Phytopathology*, 97(2), 250-256.
 20. Grgurina, I., Mariotti, F., Fogliano, V., Gallo, M., Scaloni, A., Iavobellis, N.S., Lo Cantore, P., Mannina, L., van Axel Castelli, A., Greco, M.L. y Graniti, A. (2002). A new syringopeptin produced by beans strains of *Pseudomonas syringae* pv. *syringae*. *Biochimica et Biophysica Acta* 1597(1), 81-89.
 21. Nunes, C.A. (2012) Biological control of postharvest diseases of fruit. *European Journal of Plant Pathology*, 133(1), 181-196.
 22. Sharma, R.R., Singh, D. y Singh, R. (2009). Biological control of postharvest diseases of fruits and vegetables by microbial antagonists: A review. *Biological Control*, 50(3), 205-221.
 23. Droby, S., Wisniewski, M., Teixidó, N., Spadaro, D. y Jijakli, M.H. (2016). The science, development, and commercialization of postharvest biocontrol products. *Postharvest Biology and Technology*, 122, 22-29.
 24. Usall, J., Torres, R. y Teixido, N. (2016). Biological control of postharvest diseases on fruit: a suitable alternative?. *Current Opinion in Food Science*, 11, 51-55.
 25. Zhang, H., Mahunu, G.K., Castoria, R., Apaliya, M.T., y Yang, Q. (2017). Augmentation of biocontrol agents with physical methods against postharvest diseases of fruits and vegetables. *Trends in food science & technology*, 69, 36-45.
 26. Zhang, H., Mahunu, G.K., Castoria, R., Yang, Q., y Apaliya, M.T. (2018). Recent developments in the enhancement of some postharvest biocontrol agents with unconventional chemicals compounds. *Trends in food science & technology*, 78, 180-187.