

Estrategias de Control de *Rhizopus stolonifer* Ehrenb. (Ex Fr.) Lind, Agente Causal de Pudriciones Postcosecha en Productos Agrícolas

Miguel Gerardo Velázquez-del Valle, Silvia Bautista-Baños, Ana Niurka Hernández-Lauzardo, Instituto Politécnico Nacional, Centro de Desarrollo de Productos Bióticos, Departamento de Interacciones Planta-Insecto, km 8.5 Carr. Yautepec-Joxtla, San Isidro, Yautepec, Morelos, México CP 62730; **María Guadalupe Guerra-Sánchez y Enriqueta Amora-Lazcano,** Instituto Politécnico Nacional, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Departamento de Microbiología, Prolongación Carpio s/n Esquina Plan de Ayala Colonia Plutarco Elías Calles, Delegación Miguel Hidalgo, México, D.F. CP 11340. Correspondencia: aniurka10@hotmail.com

(Recibido: Abril 3, 2007 Aceptado: Julio 13, 2007)

Velázquez-del Valle, M.G., Bautista-Baños, S., Hernández-Lauzardo, A.N., Guerra-Sánchez, M.G. y Amora-Lazcano, E. 2008. Estrategias de Control de *Rhizopus stolonifer* Ehrenb. (Ex Fr.) Lind, Agente Causal de Pudriciones Postcosecha en Productos Agrícolas. Revista Mexicana de Fitopatología 26:49-55.

Resumen. *Rhizopus stolonifer* es un hongo fitopatógeno versátil que puede crecer y desarrollarse en una amplia gama de temperaturas y humedades relativas. Su rápida velocidad de crecimiento le permite colonizar la superficie de los productos agrícolas y causar la enfermedad conocida como pudrición blanda que ocasiona importantes pérdidas económicas. Este proceso se desarrolla mediante la excreción de enzimas pectínicas del hongo que degradan y disuelven las pectinas de la lámina media de las células vegetales. Durante varios años se han empleado fungicidas sintéticos para controlar a este microorganismo; sin embargo, en diversos estudios se ha demostrado que estos compuestos han causado resistencia en las cepas y además representan un riesgo potencial para la seguridad del medio ambiente y la salud humana. En la búsqueda de alternativas naturales para el control de las pudriciones postcosecha, se han valorado opciones como el empleo de extractos vegetales, antagonismo microbiano y quitosano. En esos estudios, los autores han señalado la necesidad de profundizar en el conocimiento de sus componentes activos (extractos vegetales), sus mecanismos de acción (microorganismos antagonistas) y su potencial antimicrobiano (quitosano). Las investigaciones que se realicen al respecto contribuirán a potenciar el empleo de mejores estrategias de control de forma individual o combinada.

Palabras clave adicionales: Microorganismos antagonistas, extractos vegetales, quitosano, fungicidas.

Abstract. *Rhizopus stolonifer* is a versatile phytopathogen fungus which can grow and develop in a wide range of temperature and relative humidity. Its fast growth rate allows it to colonize the surface of agricultural products, causing a disease known as soft rot, which can cause important economic losses. This process is developed by excretion of fungal peptic enzymes that degrade and dissolve the pectin contained in the middle lamella of plant cells. For several years synthetic fungicides have been used to control this microorganism; however, several studies have shown that these compounds have caused resistance of fungal strains and represent a potential risk for the environment and the human health. In the search of natural alternatives for control of posharvest rots, options such as plant extracts, microbial antagonists and chitosan have been evaluated. In those studies, authors have pointed out the need to deepen the knowledge of the active compounds (plant extracts), action mechanisms (antagonist microorganisms), and the antimicrobial potential (chitosan). Future research will contribute to improve the use of better control strategies individually or in combined forms.

Additional keywords: Antagonist microorganisms, vegetable extracts, chitosan, fungicides.

INTRODUCCIÓN

Los productos agrícolas son susceptibles al ataque de microorganismos, destacándose los hongos como agentes etiológicos de diversas enfermedades. *Rhizopus stolonifer* Ehrenb. (Ex Fr.) Lind, es considerado uno de los principales fitopatógenos que provocan enfermedades postcosecha, es el agente causal de la pudrición blanda de frutas y hortalizas ocasionando importantes pérdidas económicas. Se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza sobreviviendo de

manera saprófita en el suelo y en residuos orgánicos con el potencial de invadir tejidos vegetales. Entre sus características particulares, se encuentran la formación de micelio aéreo carente de septos y la producción de esporangiíforos que presentan en sus puntas esporangios esféricos donde se alojan las esporangiosporas, las cuales muestran diferentes formas: globosas, elipsoidales y angulares con superficies lisas o estrías distintivas (Hernández-Lauzardo *et al.*, 2006; Schipper, 1984). Las esporas de *R. stolonifer* pueden sobrevivir largos períodos sin agua y soportar temperaturas elevadas, germinando sobre tejidos vegetales dañados y generando rápidamente la maceración de los tejidos y la pudrición de los frutos (Adaskaveg *et al.*, 2002). El control de las pudriciones postcosecha ocasionadas por *R. stolonifer* ha sido objeto de estudio durante varios años, empleándose desde compuestos químicos hasta métodos alternativos naturales que incluyen el uso de compuestos inocuos. Las tendencias actuales involucran el empleo de productos vegetales, antagonistas microbianos y quitosano, solas o combinadas entre sí para potenciar su efecto (Bautista-Baños *et al.*, 2006). Por otra parte, se ha considerado la producción y el registro de fungicidas químicos de bajo riesgo que no causen afectaciones ambientales o de salud pública; diversos estudios se han enfocado hacia productos químicos que se hidrolizan rápidamente y que tengan una alta velocidad de absorción, ya que éstos son buenos candidatos para ser usados en el control de enfermedades agrícolas. En la agricultura, el uso de pesticidas ha contribuido a mantener el suministro de alimentos de alta calidad con un bajo costo. En años recientes, diversos individuos y grupos han sugerido que el efecto negativo de los pesticidas sobre el medio ambiente tiene más peso que su beneficio social. Es importante que en lo sucesivo los químicos empleados en la agricultura reduzcan su efecto sobre el medio ambiente, en particular la Agencia de Protección al Medio Ambiente (EPA, por sus siglas en inglés) recomienda que se realicen estudios encaminados a abordar la seguridad de los mismos. Preservar la integridad y seguridad de los seres humanos y del medio ambiente deben ser los criterios que sirvan de base para seleccionar nuevos compuestos que se desarrollen comercialmente y que tengan un efecto eficaz (James *et al.*, 1993).

Interacción *Rhizopus stolonifer*-productos agrícolas. *R. stolonifer* puede sobrevivir durante meses en los suelos, sus esporas se diseminan en el aire y al encontrar las condiciones favorables germinan y se desarrollan. Los frutos maduros y dañados son más susceptibles a la infección; se ha observado una alta correlación entre el número de esporas y la incidencia de la enfermedad (Lisker *et al.*, 1996). Holmes y Stange (2002) evaluaron la influencia del tipo de herida (raspadura, perforación, magulladura y quebradura) y la resistencia genética en el desarrollo de la enfermedad, y demostraron que el método de infección por magulladuras fue el que causó una mayor incidencia en la misma, dependiendo del cultivar empleado. Generalmente, las heridas son causadas durante

la cosecha y transporte de los productos hortofrutícolas, por consiguiente, las mayores pérdidas por pudriciones causadas por *R. stolonifer* se presentan después de la cosecha y empacado de los productos. Una vez que se inicia la lesión, este hongo fitopatógeno puede invadir el resto del fruto y los adyacentes, creando redes sobre los productos que en pocos días pueden llegar a afectar la totalidad de los mismos. *R. stolonifer* posee una rápida velocidad de crecimiento y se desarrolla en una amplia variedad de temperaturas y humedades relativas, características que le permiten colonizar rápidamente a su hospedero, en solamente cuatro días este hongo puede pudrir totalmente los frutos, provocando pérdidas considerables en un corto período de tiempo (Northover y Zhou, 2002). Son escasos los estudios que reportan el proceso de interacción en el sistema *R. stolonifer*-productos agrícolas.

Maceración celular. Este proceso se lleva a cabo mediante la excreción de enzimas pécticas del hongo que degradan y disuelven las pectinas de la lámina media de las células vegetales (Barkai-Golan, 2001). La naturaleza constitutiva de las enzimas poligalacturonasa (PG) y pectin metil esterasas (PME) en cepas de *R. stolonifer* ha sido demostrada, ya que sus concentraciones se incrementaron en presencia de pectina (Blandino *et al.*, 2001). La fisiología de esta enfermedad es poco conocida (Stange *et al.*, 2001). Estudios realizados en melón infectado con *R. stolonifer* evidenciaron la presencia de niveles elevados de actividad de 2 isoenzimas poligalacturonasas, pero no se observó actividad en los tejidos sanos (Bruton *et al.*, 1998). La inoculación de *R. stolonifer* en frutos de jitomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) causó el desarrollo de la pudrición blanda en los mismos a partir de las 24 h de inoculación, observándose la maceración total y la excreción de líquidos celulares a las 96 h. Los mayores valores de actividad poligalacturonasa ($6.86 \mu\text{mol de ácido galacturónico min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$ proteínas) se obtuvieron en frutos inoculados con micelio comparados con el tratamiento con esporas (1×10^5 esporas mL $^{-1}$), confirmándose que el micelio es la forma más infectiva y de acción más rápida en los frutos inoculados al contener las enzimas causantes de la maceración celular. De igual forma se cuantificó la producción de pectin metil esterasas a las 24 h ($1.49 \mu\text{mol de ácido galacturónico min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$ proteínas) en frutos inoculados con esporas de *R. stolonifer* en jitomate (Velázquez-del Valle *et al.*, 2005a, b).

Control de *Rhizopus stolonifer*. Durante varios años se han empleado compuestos químicos para controlar las pudriciones postcosecha causadas por este fitopatógeno. Adicionalmente, se han valorado otras opciones como los cambios físicos en el medio ambiente (bajas temperaturas o tratamientos de calor) empleo de atmósferas controladas y las radiaciones [gamma (γ) y luz ultravioleta (UV)]. Recientemente, se ha incursionado en la búsqueda de alternativas naturales para controlar las pudriciones ocasionadas por *R. stolonifer*, como el control biológico, empleo de productos vegetales y la aplicación de quitosano.

Además, se ha recomendado el uso de cultivares resistentes y el manejo de prácticas que minimicen las magulladuras en los frutos (Holmes y Stange, 2002).

Control químico. Entre los principales fungicidas sintéticos que se han utilizado para controlar la pudrición blanda causada por *R. stolonifer* se encuentran el Dicloran, Iprodione, Fludioxonil y Tebuconazole (Adaskaveg *et al.*, 2002). El dicloran en estudios *in situ* realizados en durazno (*Prunus persica* Batsch) causó una reducción de la pudrición del 87 al 100% dependiendo de la variedad (Northover y Zhou, 2002). El Iprodione demostró una reducción del 59% de la pudrición en jitomate (Abdel-Mallek *et al.*, 1995); sin embargo, en 1996 fue cancelada la producción del mismo de manera voluntaria por sus fabricantes. Al respecto algunos investigadores han desarrollado estudios encaminados a reemplazar su utilización por fungicidas de riesgo reducido (Fludioxonil y tebuconazole). Por ejemplo, se ha encontrado que el fludioxonil redujo en un 90, 95.2 y 75% la incidencia de *R. stolonifer* en duraznos, nectarinas (*Prunus persica* L. var. nectarina) y ciruelas (*Spondias purpurea* L.), respectivamente, y el tebuconazole controló la pudrición en estos frutos en un 81, 69 y 79.2%, comparativamente (Förster *et al.*, 2007). Otros estudios realizados empleando estos fungicidas demostraron que la pudrición blanda en durazno se logró controlar en un 90%, mientras que el empleo de otros fungicidas (benomil, miclobutanol, *etc.*) ha generado resistencia del patógeno que se trata de controlar (Northover y Zhou, 2002). Por otra parte, es importante mencionar que se han empleado algunas soluciones químicas con el objetivo de explorar su potencial antifúngico. Con soluciones etanólicas (20.6%) combinadas con una temperatura de 40°C se obtuvo el 50% de inhibición de la germinación de las esporas de *R. stolonifer* (Gabler *et al.*, 2004) y con soluciones de molibdato de amonio (15 mM) se redujo en un 100% el diámetro de la lesión en manzana [*Malus sylvestris* (L) Mill. var. *domestica* (Borkh.) Mansf.] almacenadas (20°C) e inoculadas con *R. stolonifer* (Nunes *et al.*, 2001a). Asimismo, la reducción total de la pudrición blanda se ha logrado empleando tratamientos con ácido paracético (250 mg L⁻¹ durante 2 min) en frutos de nectarina (Mari *et al.*, 2004). Adicionalmente, se ha demostrado la eficacia de algunos gases con actividad antifúngica como el dióxido de cloro (100 mg mL⁻¹ durante 30 min) para controlar la germinación de las esporas de *R. stolonifer*, encontrándose una inhibición de la pudrición en más del 90% (Zoffoli *et al.*, 2005). En el control de las pudriciones en fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) se empleó óxido nitroso (80%) durante 2 días en frutos antes de almacenar y se observó un retraso de 7 días en la aparición de la enfermedad (Qadir y Hashinaga, 2001). En otras investigaciones, la aplicación de 0.1 mg de ozono por cada gramo de uvas (*Vitis vinifera* L.) tratadas durante 40 min (Sarig *et al.*, 1996) logró el control total de la enfermedad.

Cambios físicos en el medio ambiente. Un método común para preservar productos a nivel de postcosecha es el uso de temperaturas moderadamente bajas. Se ha tratado de

almacenar los frutos a temperaturas bajas para afectar a los patógenos; sin embargo, se ha observado que éstos presentan mejor tolerancia que sus hospederos, esta práctica no es muy recomendada (Adaskaveg *et al.*, 2002). En frutos de jitomate se ha demostrado que reduce las pudriciones pero causa daños en los mismos (Morris, 1982). Los tratamientos de calor también han sido recomendados para reducir las infecciones causadas por *R. stolonifer* (Barkai-Golan y Phillips, 1991). No obstante, presentan serias limitaciones y pueden dañar al producto ocasionándole pérdida de color y acortamiento de su vida de anaquel (Adaskaveg *et al.*, 2002).

Atmósferas controladas. Las atmósferas hipobáricas han sido utilizadas para extender la vida de almacenamiento de los productos a través del control de las pudriciones. El estudio de diferentes tratamientos hipobáricos para controlar las pudriciones causadas por *R. stolonifer* en fresas, demostró que a valores de 0.5 atm durante 4 h, los frutos presentaron la mayor reducción de la enfermedad (Romanazzi *et al.*, 2001). Estudios similares fueron realizados en cerezas dulces (*Prunus avium* L.) pero adicionalmente se combinó el tratamiento hipobárico con la aplicación de quitosano (1%) y se obtuvieron efectos sinérgicos en la reducción de la pudrición (Romanazzi *et al.*, 2003).

Radiaciones gamma y luz UV. El empleo de radiación gamma inhibió totalmente el desarrollo de *R. stolonifer* en frutos de jitomate inoculados (Bazza Zeinab *et al.*, 2001). Para estos frutos, también se encontró que el tratamiento combinado de radiación gamma (1 KGy) y agua caliente (50°C) durante 2 min, inhibió (90%) la infección de *R. stolonifer* (Barkai-Golan *et al.*, 1993). Por otra parte, la aplicación de bajas dosis de luz UV redujo las pudriciones en camote (*Ipomea batatas* L.) y tomate, aunque de manera menos eficiente que el dicloran. Sin embargo, al combinarse el uso de luz UV con la adición de antagonistas microbianos, su eficiencia se incrementó (Stevens *et al.*, 1997). Las bajas dosis de luz ultravioleta tienen la capacidad de “encender” una resistencia interna en productos cosechados y los hace más resistentes al decaimiento postcosecha. Cuando esta tecnología la aplicaron a jitomates, los autores observaron que los frutos tratados fueron más firmes y resistentes a la infección por *R. stolonifer*. Adicionalmente, en estos frutos observaron que existía una menor actividad de la enzima poligalacturonasa y *R. stolonifer* generó lesiones menores (Stevens *et al.*, 2004). Esta tecnología puede representar una alternativa segura y efectiva para controlar el decaimiento postcosecha de los frutos y reducir la necesidad de aplicación de fungicidas sintéticos. Adicionalmente, se ha estudiado el efecto de la combinación de luz UV y aire caliente (45°C) durante 3 h, sobre parámetros de calidad y vida postcosecha de fresas, obteniéndose un control positivo de las pudriciones ocasionadas por *R. stolonifer* y en el mantenimiento de la calidad de los frutos (Pan *et al.*, 2004).

Alternativas naturales. Estas prácticas han cobrado auge debido a los efectos nocivos que han causado los métodos

tradicionales en el control de las enfermedades postcosecha (Tripathi y Dubey, 2004). Entre las más importantes se encuentran el uso de antagonistas microbianos, empleo de productos vegetales y aplicación de quitosano.

Antagonistas microbianos. Las levaduras que están presentes de manera natural en la superficie de los frutos, han sido preferidas para controlar enfermedades postcosecha porque colonizan rápidamente y sobreviven en la superficie de los frutos compitiendo por nutrientes con los patógenos potenciales y generalmente no son afectadas por los fungicidas usados comercialmente (Smilanick *et al.*, 1993). Adicionalmente, algunas bacterias aisladas de la superficie de frutos y hojas de manzana y pera (*Pyrus communis* L.) se han evaluado para conocer su actividad antagonista. En pera, se seleccionó la bacteria *Pantoea agglomerans* (Beijerinck) Gavini, Mergaert, Beji, Mielcarek, Izard, Kersters y De Ley (CPA-2) considerando su efectividad para controlar las pudriciones causadas por *R. stolonifer* y no se observó lesiones en los frutos tratados (Nunes *et al.*, 2001b); sin embargo, otros autores han reportado que el empleo de dos cepas de *P. agglomerans* no fue efectivo en controlar la incidencia de *R. stolonifer* en fruto de manzana, pera, nectarina, fresa y naranja (*Citrus aurantium* L.) observando una fuerte agresividad del patógeno y un bajo control del antagonista (Francés *et al.*, 2006). En otros estudios se ha encontrado que las levaduras *Trichosporon pullulans* (Linder) Diddens y Lodder, *Cryptococcus laurentii* (Kufferath) Skinner, *Rhodotorula glutinis* (Fres.) Harrison y *Pichia membranefaciens* Hansen, son efectivas para controlar a *R. stolonifer* en cereza dulce almacenada a 25°C, pero a bajas temperaturas y en condiciones de atmósfera controlada se suprimió el crecimiento de *T. pullulans* y *P. membranefaciens* (Qin *et al.*, 2004). Experimentos realizados en pequeña escala demostraron que *Aureobasidium pullulans* de Bary posee una significativa actividad antagonista contra *R. stolonifer* en uvas (Castoria *et al.*, 2001), de igual forma se conoce que la incidencia de la pudrición en durazno almacenado a 25°C durante 5 días, fue reducida en un 80% mediante el empleo de *C. laurentii* (Zhang *et al.*, 2007).

Productos vegetales. Las investigaciones realizadas para evaluar el efecto de productos vegetales en el control de *R. stolonifer* son escasas e incipientes, a pesar de que se han desarrollado estudios en condiciones *in vitro* y en algunos casos se ha evaluado el potencial de diferentes productos vegetales para controlar la pudrición blanda en los frutos. En condiciones *in vitro*, extractos de semillas de paraíso blanco (*Moringa oleifera* Lam.) presentaron un efecto fungicida sobre el crecimiento micelial de *R. stolonifer* y afectaron la formación de sus esporas (Velázquez-Gurrola *et al.*, 2005). Por otra parte, aceites esenciales de tomillo (*Thymus glandulosus* Lag. ex H. del Villar) y orégano (*Origanum compactum* Bentham) tuvieron un efecto fungicida sobre el crecimiento micelial y la germinación de *R. stolonifer* en condiciones *in vitro* (Plotto *et al.*, 2003). Otros resultados

interesantes se han obtenido con vapores de aceites esenciales de menta (*Mentha x piperita* L.) y albahaca (*Ocimum basilicum* L.) y sus principales constituyentes (mentol y linalol), los cuales inhibieron el crecimiento de *R. stolonifer* y de otros hongos fitopatógenos evaluados (Edris y Farrag, 2003). Polvo de raíces de Kava (*Piper methysticum* G. Forst.) inhibieron significativamente el crecimiento de diferentes hongos postcosecha, el más afectado fue *R. stolonifer* (Xuan *et al.*, 2003); por el contrario *R. stolonifer* mostró menor susceptibilidad ante el ácido cafético presente en el tejido peridérmico de camote, que causó la inhibición del crecimiento de diversos hongos fitopatógenos (Harrison *et al.*, 2003). En los estudios realizados en condiciones *in situ* se conoce que la actividad fungistática es diferente entre los extractos acuosos o polvos y entre las especies probadas, evidenciándose un efecto fungistático selectivo dependiendo de la especie de planta y patógeno utilizado (Bautista-Baños *et al.*, 2000a). Estudios realizados utilizando extractos de semilla de guamúchil [*Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth.], no controlaron en forma significativa la pudrición de *R. stolonifer* en jitomate (Bautista-Baños *et al.*, 2002). Sin embargo, los extractos de hojas de chirimoya (*Anona cherimola* Mill.), timbiriche (*Bromelia hemisphaerica*) y papaya (*Carica papaya* L.) inhibieron el desarrollo de la pudrición en ciruela amarilla mientras que el extracto de zapote blanco (*Casimiroa edulis* La Llave y Lex.) redujo la pudrición en la ciruela roja (25 y el 100%) en la superficie del fruto dependiendo del extracto y de la variedad estudiada (Bautista-Baños *et al.*, 2000b). Por otra parte, se evaluó el potencial del extracto acuoso de semillas de *Moringa* spp. para controlar las pudriciones de cacahuate (*Arachis hypogaea* L.), y se observó una reducción significativa en la incidencia de hongos postcosecha, siendo *R. stolonifer* medianamente susceptible (Donli y Dauda, 2003).

Quitosano. La quitina desacetilada se conoce como quitosano, polímero constituido fundamentalmente por unidades de glucosamina (2-amino-2-desoxi-D-glucosa) con uniones β(1-4) (Sandford, 1989). Este biopolímero presenta propiedades polícticas que le confieren características únicas de funcionalidad, además de ser biodegradable y no tóxico, aspectos que le facilitan un gran potencial de aplicación. Se ha demostrado su actividad antifúngica y su capacidad de inducción de resistencia en los productos agrícolas mediante diversos estudios (Terry y Joyce, 2004; Tripathi y Dubey, 2004). El empleo de este polímero como película comestible para conservar los frutos, es una alternativa viable a los métodos de conservación de los productos agrícolas durante la fase postcosecha (Hernández-Muñoz *et al.*, 2006). Sin embargo, aún cuando el quitosano y sus derivados han sido considerados como biopolímeros versátiles en aplicaciones agrícolas, su potencial como compuesto antimicrobiano y su modo de acción necesitan ser estudiados a profundidad (Rabea *et al.*, 2003). El efecto del quitosano en la inhibición del crecimiento micelial de *R. stolonifer* ha sido analizado en varias investigaciones (El Ghaouth *et al.*, 1992a). En algunos

estudios, se ha evidenciado que presenta efecto fungicida asociado al grado de desacetilación de la molécula (El Ghaouth *et al.*, 1992b). Por otra parte, se ha analizado su efecto en el control de la pudrición blanda y se observó que el quitosano retrasó el desarrollo de *R. stolonifer* en jitomate almacenado a 14°C durante 48, 72 y 96 h (Bautista-Baños y Bravo-Luna, 2004). Asimismo, el recubrimiento con quitosano en fresas y frambuesa roja (*Rubus idaeus L.*) durante su almacenamiento, mostró no sólo reducción en la enfermedad, sino que provocó un incremento en la actividad de algunas enzimas relacionadas con la inducción de resistencia vegetal (quitinasas y β 1-3 glucanasas) (Zhang y Quantick, 1998).

Consideraciones finales. Las pudriciones causadas por *R. stolonifer* en diversos productos agrícolas han sido objeto de estudio durante varios años. En el proceso de interacción intervienen diversos factores, pero un aspecto fundamental es la forma en que este patógeno puede penetrar a los frutos y causar la infección. Esta primera fase podría evitarse si se adoptan adecuadas prácticas de manejo postcosecha que permitan disminuir las magulladuras y heridas que propician la infección y el desarrollo de la enfermedad. Por otra parte, con relación al control de las pudriciones se ha estado empleando durante muchos años los fungicidas químicos sintéticos que si bien han resultado eficaces, también aumentan la posibilidad de contaminar el medio ambiente y representan un riesgo para la salud humana, además de considerar la propia resistencia que se ha presentado en el fitopatógeno estudiado hacia el empleo de productos químicos. Con la revisión de las diferentes prácticas de control que hemos realizado a través de la literatura disponible, exhortamos a que se realicen mayores estudios con las alternativas naturales que se muestran viables para el control de esta enfermedad. En cada una de ellas diversos autores han señalado la necesidad de profundizar en el conocimiento de sus componentes activos (extractos vegetales), sus mecanismos de acción (antagonistas microbianos) y potencial antimicrobiano (quitosano).

Agradecimientos. A la Secretaría de Investigación y Posgrado y a la Biblioteca Nacional de Ciencia y Tecnología del Instituto Politécnico Nacional. Los autores son becarios COFAA-IPN.

LITERATURACITADA

- Abdel-Mallek, A., Hemida, S.K., and Bagy, M.M. 1995. Studies on fungi associated with tomato fruits and effectiveness of some commercial fungicides against three pathogens. *Mycopathologia* 130:109-116.
- Adaskaveg, J.E., Förster, H., and Sommer, N.F. 2002. Principles of postharvest pathology and management of decays of edible horticultural crops. pp. 163-195. In: A. Kader (ed.) *Postharvest Technology of Horticultural Crops*. University of California. Oakland, California, USA. 535 p.
- Barkai-Golan, R. 2001. Attack mechanisms of the pathogen. pp. 54-58. In: R. Barkai-Golan (ed.). *Postharvest Diseases of Fruits and Vegetables: Development and Control*. Elsevier Science B.V. New York, USA. 418 p.
- Barkai-Golan, R., and Phillips, D. 1991. Postharvest heat treatment of fresh fruits and vegetables for decay control. *Plant Disease* 75:1085-1089.
- Barkai-Golan, R., Padova, R., Ross, I., Lapidot, M., Davidson, H., and Copel, A. 1993. Combined hot water and radiation treatments to control decay of tomato fruits. *Scientia Horticulturae* 56:101-105.
- Bautista-Baños, S., Barrera-Necha, L., Hernández-López, M., Bravo-Luna, L. y Bermúdez-Torres, K. 2002. Evaluación de extractos de guamúchil en el control de *Rhizopus stolonifer* en tomate cosechado en dos estados de madurez y su efecto en la calidad durante el almacenamiento. *Revista Iberoamericana de Tecnología de Postcosecha* 4:161-168.
- Bautista-Baños, S., Hernández-Lauzardo, A.N., Velázquez-del Valle, M.G., Hernández-López, M., Ait Barka, E., Bósquez-Molina, E., and Wilson, C.L. 2006. Chitosan as a potential natural compound to control pre and postharvest diseases of horticultural commodities. *Crop Protection* 25:108-118.
- Bautista-Baños, S., Hernández-López, M., and Barrera-Necha, L. 2000a. Antifungal screening of plants of the State of Morelos, México against four fungal postharvest pathogens of fruits and vegetables. *Revista Mexicana de Fitopatología* 18:36-41.
- Bautista-Baños, S., Hernández-López, M., Díaz-Pérez, J.C. y Cano-Ochoa, C.F. 2000b. Evaluation of the fungicidal properties of plant extracts to reduce *Rhizopus stolonifer* of ciruela fruti (*Spondias purpurea L.*) during storage. *Postharvest Biology and Technology* 20:99-106.
- Bautista-Baños, S. y Bravo-Luna, L. 2004. Evaluación del quitosano en el desarrollo de la pudrición blanda del tomate durante el almacenamiento. *Revista Iberoamericana de Tecnología Poscosecha* 6:63-67.
- Bazza Zeinab, E.M., EL., Farrag-Hala, A., Fouly Mohie, E.D.Z.EL., and Tablawy Seham, Y.M.EL. 2001. Inhibitory effect of gamma radiation and *Nigella sativa* seeds oil on growth, spore germination and toxin production of fungi. *Radiation Physics and Chemistry* 60:181-189.
- Blandino, A., Dravillas, K., Cantero, D., Pandiella, S.S., and Webb, C. 2001. Utilisaton of whole wheat flour for the production of extracellular pectinases by some fungal strains. *Process Biochemistry* 37:497-503.
- Bruton, B.D., Conway, W.S., Gross, K.C., Zhang, J.X., Biles, C.L., and Sams, C.E. 1998. Polygalacturonases of a latent and wound postharvest fungal pathogen of muskmelon fruit. *Postharvest Biology and Technology* 13:205-214.
- Castoria, R., De Curtis, F., Lima, G., Pacifico, S., and De Cicco, V. 2001. *Aureobasidium pullulans* (LS-30) an antagonist of postharvest pathogens of fruits: Study on its modes of action. *Postharvest Biology and Technology* 22:7-17.
- Donli, P., and Dauda, H. 2003. Evaluation of aqueous *Moringa* seed extract as a seed treatment biofungicide for groundnuts. *Pest Managment Science* 59:1060-1062.
- Edris, A.E., and Farrag, E.S. 2003. Antifungal activity of peppermint and sweet basil essential oils and their major

- aroma constituents on some plant pathogenic from the vapor phase. *Nahrung/Food* 2:117-121.
- El Ghaouth, A., Arul, J., Asselin, A., and Benhamou, N. 1992b. Antifungal activity of chitosan on post-harvest pathogens: induction of morphological and cytological alterations in *Rhizopus stolonifer*. *Mycological Research* 96:769-779.
- El Ghaouth, A., Arul, J., Grenier, J., and Asselin, A. 1992a. Antifungal activity of chitosan on two postharvest pathogens of strawberry fruits. *Phytopathology* 82:398-402.
- Förster, H., Driever, G.F., Thompson, D.C., and Adaskaveg, J.E. 2007. Postharvest decay management for stone fruit crops in California using the "reduced-risk" fungicides fludioxonil and fenhexamid. *Plant Disease* 91:209-215.
- Francés, J., Bonaterra, A., Moreno, M.C., Cabrefiga, J., Badosa, E., and Montesinos, E. 2006. Pathogen aggressiveness and postharvest biocontrol efficiency in *Pantoea agglomerans*. *Postharvest Biology and Technology* 39:299-307.
- Gabler, F.M., Mansour, M.F., Smilanick, J.L., and Mackey, B.E. 2004. Survival of spores of *Rhizopus stolonifer*, *Aspergillus niger*, *Botrytis cinerea* and *Alternaria alternata* after exposure to ethanol solutions at various temperatures. *Journal of Applied Microbiology* 96:1354-1360.
- Harrison, H.F., Peterson, J.K., Snook, M.E., Bohac, J.R., and Jackson, D.M. 2003. Quantity and potential biological activity of caffeic acid in sweet potato [*Ipomea batatas* (L.) Lam.] storage root periderm. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51:2943-2948.
- Hernández-Lauzardo A.N., Bautista-Baños S., Velázquez-del Valle M.G., and Trejo-Espino J.L. 2006. Identification of *Rhizobium stolonifer* Ehrenb. (Ex Fr.) Lind, causal agent of *Rhizopus* rot disease of fruits and vegetables. *Revista Mexicana de Fitopatología* 24:65-69.
- Hernández-Muñoz, P., Amenar, E., Ocio, M.J., and Gavara, R. 2006. Effects of calcium dips and chitosan coatings on postharvest life of strawberries (*Fragaria x ananassa*). *Postharvest Biology and Technology* 39:247-253.
- Holmes, G., and Stange, R. 2002. Influence of wound type and storage duration on susceptibility of sweetpotatoes to *Rhizopus* soft rot. *Plant Disease* 86:345-348.
- James, J.R., Tweedy, B., and Newby, L.C. 1993. Efforts by Industry to Improve the Environmental safety of Pesticides. *Annual Review of Phytopathology* 31:423-439.
- Lisker, N., Keren-Shacham, Z., Sarig, P., Zutkhi, Y., and Ben-Arie, R. 1996. The biology and pathology of the fungus *Rhizopus stolonifer* cause of black mould disease of table grapes in Israel. *Plant Pathology* 45:1099-1109.
- Mari, M., Gregori, R., and Donati, I. 2004. Postharvest control of *Monilia laxa* and *Rhizopus stolonifer* in stone fruit by peracetic acid. *Postharvest Biology and Technology* 33:319-325.
- Morris, L.L. 1982. Chilling injury of horticultural crops: An overview. *HortScience* 17:161-162.
- Northover, J., and Zhou, T. 2002. Control of *Rhizopus* rot of peaches with postharvest treatments of tebuconazole, fludioxonil, and *Pseudomonas syringae*. *Canadian Journal of Plant Pathology* 24:144-153.
- Nunes, C., Usall, J., Teixidó, N., Ochoa de Eribe, X., and Viñas, I. 2001a. Control of post-harvest decay of apples by pre-harvest and post-harvest application of ammonium molybdate. *Pest Management Science* 57:1093-1099.
- Nunes, C., Usall, J., Teixidó, N., and Viñas, I. 2001b. Biological control of postharvest pear diseases using a bacterium, *Pantoea agglomerans* CPA-2. *International Journal of Food Microbiology* 70:53-61.
- Pan, J., Vicente, A.R., Martínez, G.A., Chaves, A.R., and Civello, P.M. 2004. Combined use of UV-C irradiation and heat treatment to improve postharvest life of strawberry fruit. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 84:1831-1838.
- Plotto, A., Roberts, D.D., and Roberts, R.G. 2003. Evaluation of plant essential oils as natural postharvest disease control of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). *ISHS Acta Horticulture* 628:737-745.
- Qadir, A., and Hashinaga, F. 2001. Inhibition of postharvest decay of fruits by nitrous oxide. *Postharvest Biology and Technology* 22:279-283.
- Qin, G., Shiping, T., and Xu, Y. 2004. Biocontrol of postharvest diseases on sweet cherries by four antagonistic yeasts in different storage conditions. *Postharvest Biology and Technology* 31:51-58.
- Rabea, E., Badawy, M., Stevens, C., Smagghe, G., and Steurbaut, W. 2003. Chitosan as antimicrobial agent: Applications and mode of action. *Biomacromolecules* 4:1457-1465.
- Romanazzi, G., Nigro, F., and Ippolito, A. 2003. Short hypobaric treatments potentiate the effect of chitosan in reducing storage decay of sweet cherries. *Postharvest Biology and Technology* 29:73-80.
- Romanazzi, G., Nigro, F., Ippolito, A., and Salesmo, M. 2001. Effect of short hypobaric treatments on postharvest rots of sweet cherries, strawberries and table grape. *Postharvest Biology and Technology* 22:1-6.
- Sandford, P. 1989. Chitosan: Commercial uses and potential applications. pp. 51-69. In: G. Skjak-Braek, T. Anthosen, and P. Standford (eds.). *Chitin and Chitosan. Sources, Chemistry, Biochemistry. Physical Properties and Applications*. Elsevier Applied Science, New York, USA. 835 p.
- Sarig, P., Zahavit, T., Zutkhi, Y., Yannai, S., Lisker, N., and Ben-Arie, R. 1996. Ozone for control of postharvest decay of table grapes caused by *Rhizopus stolonifer*. *Physiological and Molecular Plant Pathology* 48:403-415.
- Schipper, M.A. 1984. A Revision of the Genus *Rhizopus*. *Studies in Mycology*. Serie No. 25. Centraalbureau voor Schimmelcultures, Baarn, The Netherlands. 34 p.
- Smilanick, J.L., Denis-Arrue, R., Bosch J.R., Gonzales, A.R., Henson D.J., and Janisiewics, W.J. 1993. Biocontrol of postharvest brown rot of nectarines and peaches by

- Pseudomonas* species. Crop Protection 2:513-520.
- Stange, R., Midland, S. Holmes, G., Sims, J., and Mayer, R. 2001. Constituents from the periderm and outer cortex of *Ipomea batatas* L. with antifungal activity against *Rhizopus stolonifer*. Postharvest Biology and Technology 23:85-92.
- Stevens, C., Khan, A., Lu, J.Y., Wilson, C.L., Pusey, P.L., Igwegbe, C.K.I., Kabwe, K., Mafolo, Y., Liu, J., Chalutz, E., and Drobys, S. 1997. Integration of ultraviolet (UV-C) light with yeast treatment for control of postharvest storage rots of fruits and vegetables. Biological Control 10:98-103.
- Stevens, C., Liu, J., Khan, V., Lu, J., Kabwe, M., Wilson, C., Igwegbe, E., Chalutz, E., and Drobys, S. 2004. The effects of low-dose ultraviolet light-C treatment on polygalacturonase activity, delay ripening and *Rhizopus* soft rot development of tomatoes. Crop Protection 23:551-554.
- Terry, L.A., and Joyce, D.C. 2004. Elicitors of induced disease resistance in postharvest horticultural crops: a brief review. Postharvest Biology and Technology 32:1-13.
- Tripathi, P., and Dubey, N.K. 2004. Exploitation of natural products as an alternative strategy to control postharvest fungal rotting of fruit and vegetables. Postharvest Biology and Technology 32:235-245.
- Velázquez-del Valle, M.G., Hernández-Lauzardo, A.N., Bautista-Baños, S. y Rodríguez-Ambríz, S.L. 2005b. Estudio de las pectin metil esterasas fúngicas causantes de la pudrición blanda en jitomate. Memorias del VII Congreso Internacional de Fitopatología. Chihuahua, Chihuahua, México. Resumen L-20.
- Velázquez-del Valle, M.G., Hernández-Lauzardo, A.N., Bautista-Baños, S. y Rodríguez-Ambríz, S.L. 2005a. Determinación de la actividad poligalacturonasa en el proceso de maceración causado por *Rhizopus stolonifer*. Memorias del VII Congreso Internacional de Fitopatología. Chihuahua, Chihuahua, México. Resumen L-33.
- Velázquez-Gurrola, A., Angulo-Escalante, M.A., García-Estrada, R.S., Carrillo-Fasio, J.A. y Guerrero-Ontiveros, C. 2005. Actividad antifúngica de extractos con metabolitos secundarios de semillas de *Moringa oleifera* para el control de *Rhizopus stolonifer*. Memorias del VII Congreso Internacional de Fitopatología. Chihuahua, Chihuahua, México. Resumen L-40.
- Xuan, T.D., Yuichi, O., Yunko, C., Eiji, T., Hiroyuki, T., Mitsuhiro, M., Khanh, T.D., and Huu Hong, N. 2003. Kava root (*Piper methysticum* L.) as a potential natural herbicide and fungicide. Crop Protection 22:873-881.
- Zhang, D., and Quantick, P. 1998. Antifungal effects of chitosan coating on fresh strawberries and raspberries during storage. Journal of Horticultural Science and Biotechnology 73:763-767.
- Zhang, H., Zheng, X., and Yu, T. 2007. Biological control of postharvest diseases of peach with *Cryptococcus laurentii*. Food Control 18:287-291.
- Zoffoli, J.P., Latorre, B.A., Daire, N., and Viertel, S. 2005. Effectiveness of chlorine dioxide as influenced by concentration, pH, and exposure time on spore germination of *Botritis cinerea*, *Penicillium expansum* and *Rhizopus stolonifer*. Latinoamerican Journal of Agricultural and Environmental Sciences 32:127-196.