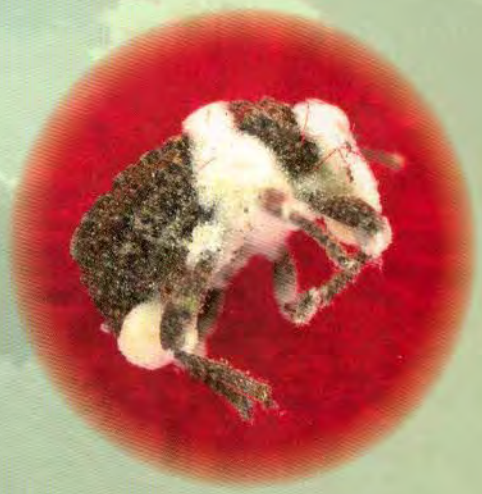
Colección Nuevo Conocimiento Agropecuari



# Control biológico
## de fitopatógenos, insectos y ácaros

### Volumen 1. Agentes de control biológico

Alba Marina Cotes
Editora

AGROSAVIA
Corporación colombiana de investigación agropecuaria

Control biológico de fitopatógenos, insectos y ácaros / Alba Marina Cotes (Editora) -- Mosquera, (Colombia) : AGROSAVIA, 2018.

2 v. (Volumen 1: Agentes de control biológico - 568 páginas) -- (Colección Nuevo Conocimiento Agropecuario)
Incluye referencias bibliográficas, ilustraciones y datos numéricos

ISBN Obra completa: 978-958-740-255-1
ISBN Volumen 1: 978-958-740-256-8

1. Control biológico 2. Métodos de control 3. Enfermedades de las plantas 4. Fitopatología 5. Control de insectos 6. Enemigos naturales I. Cotes, Alba Marina (Editora).

**Palabras clave normalizadas según Tesauro Multilingüe de Agricultura Agrovoc**
Catalogación en la publicación – Biblioteca Agropecuaria de Colombia

Centro de Investigación Tibaitatá. Kilómetro 14 vía Mosquera-Bogotá. Código postal 250047, Colombia

Centro de Investigación Palmira. Diagonal a la intersección de la carrera 36A con calle 23 Palmira, Valle del Cauca. Código postal 763533, Colombia

Centro de Investigación La Libertad. Kilómetro 91, vía Puerto López-Puerto Gaitán, Meta. Código postal 502007, Colombia

Centro de Investigación Caribia. 65 km al sur de la capital de Santa Marta, Sevilla, Zona Bananera, Magdalena. Código postal 478020, Colombia

Centro de Investigación El Mira. Kilómetro 38, vía Tumaco-Pasto, Nariño. Código postal 528501, Colombia

Colección: Nuevo Conocimiento Agropecuario

Fecha de recepción: 07 de noviembre de 2017
Fecha de evaluación: 27 de noviembre de 2017
Fecha de aceptación: 23 de abril de 2018

Publicado octubre de 2018
Preparación editorial
Editorial AGROSAVIA
editorial@agrosavia.co
Editora científica: Alba Marina Cotes
Editora de contenidos: Liliana Gaona García
Asistentes editoriales: Víctor Camilo Pulido Blanco y Christian David Vargas Baquero
Corrección de estilo: Luz Ángela Uscátegui Cuellar, Jorge Enrique Beltrán Vargas, Edwin Daniel Algarra Suárez y Luisa Fernanda Espina Rodríguez
Realización gráfica: María Cristina Rueda Traslaviña, Wilson Martínez Montoya y Claudia Patricia Castiblanco
Impresión: Fundación Cultural Javeriana de Artes Gráficas (JAVEGRAF)

Citación sugerida: Cotes A. M. (Ed.). (2018). *Control biológico de fitopatógenos, insectos y ácaros* (Vol. 1). Mosquera, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Cláusula de responsabilidad: AGROSAVIA no es responsable de las opiniones e información recogidas en el presente texto. Los autores asumen de manera exclusiva y plena toda responsabilidad sobre su contenido, ya sea este propio o de terceros, declarando en este último supuesto que cuentan con la debida autorización de terceros para su publicación; igualmente, declaran que no existe conflicto de interés alguno en relación con los resultados de la investigación propiedad de tales terceros. En consecuencia, los autores serán responsables civil, administrativa o penalmente, frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros relativa a los derechos de autor u otros derechos que se hubieran vulnerado como resultado de su contribución.

Nota aclaratoria: A partir de mayo de 2018, la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria cambió su acrónimo Corpoica por AGROSAVIA

Línea de atención al cliente: 018000121515
atencionalcliente@agrosavia.co
www.corpoica.org.co

https://co.creativecommons.org/?page_id=13

# Tabla de contenido

Los autores ..... 25
Agradecimientos ..... 33
Prólogo ..... 35
Prefacio ..... 36

## Volumen 1
## Agentes de control biológico

Introducción
El concepto de control biológico y sus premisas fundamentales
*The concept of biological control and its fundamental premises* ..... 40

Sección I
Control biológico de enfermedades vegetales

Capítulo 1
Control biológico de patógenos foliares
*Biological control of foliar pathogens* ..... 58

Capítulo 2
Control biológico de fitopatógenos del suelo
*Biological control of soil-borne phytopathogens* ..... 144

Capítulo 3
Control biológico de patógenos en poscosecha
*Biological control of postharvest pathogens* ..... 222

Capítulo 4
Estudios del microbioma y su aplicación en el control biológico de fitopatógenos
*Microbiome studies in the biological control of plant pathogens* ..... 256

## Sección II

## Control biológico de insectos plagas

Capítulo 5
Bacterias entomopatógenas en el control biológico de insectos
*Entomopathogenic bacteria in insect biological control* ..... 296

Capítulo 6
Hongos entomopatógenos en el control biológico de insectos plaga
*Entomopathogenic fungi in insect pests biological controls* ..... 334

Capítulo 7
Virus entomopatógenos en el control biológico de insectos
*Entomopathogenic viruses in the biological control of insects* ..... 368

Capítulo 8
Las feromonas en el control de insectos
*Pheromones in insect control* ..... 410

Capítulo 9
Uso de depredadores como agentes de control biológico para insectos plaga
*Use of predators as biological control agents of insect pests* ..... 454

Capítulo 10
Uso de parasitoides en el control biológico de insectos plaga en Colombia
*Use of parasitoids in insect biological control in Colombia* ..... 486

Índice temático ..... 544

## Volumen 2

## Aplicaciones y perspectivas

### Sección III

### Implementación del control biológico


**Capítulo 11**

**Diseño conceptual, selección y prueba de concepto de microorganismos biocontroladores**

*Conceptual design, selection and proof of concept of biological control microorganisms* ..... 594

**Capítulo 12**

**Desarrollo y escalamiento de bioplaguicidas**

*Development and scaling of biopesticides* ..... 628

**Capítulo 13**

**Marco regulatorio para el registro de bioplaguicidas**

*Regulatory framework for the registration of biopesticides* ..... 692

**Capítulo 14**

**Investigación, desarrollo y registro de enemigos naturales para control biológico. Caso: *Phytoseiulus persimilis***

*Research, development and registry of natural enemies for biological control. Case: Phytoseiulus persimilis* ..... 716

**Capítulo 15**

**Investigación, desarrollo y escalamiento de feromonas de insectos**

*Research, development and scaling of insect pheromones* ..... 742

**Capítulo 16**

**Comercialización de agentes de control biológico**

*Commercialization of biological control agents* ..... 762

**Capítulo 17**

**El control biológico en un contexto de manejo integrado de enfermedades**

*Biological control in the context of integrated plant diseases management* ..... 794

**Capítulo 18**

**El control biológico en el contexto de un manejo integrado estratégico de insectos plaga**

*Biological control in the context of strategic integrated insect pest management* ..... 822

## Sección IV

## El futuro del control biológico

Capítulo 19
Los hongos endófitos en el control biológico de fitopatógenos e insectos plaga
*Endophytic fungi in biological control of phytopathogens and insect pests* ..... 850

Capítulo 20
Nuevas estrategias para el control biológico de fitopatógenos
*Novel strategies for plant pathogens biological control* ..... 878

Capítulo 21
Nuevas estrategias para el control biológico de insectos
*Novel strategies for insect biological control* ..... 922

Capítulo 22
Las ómicas en el control biológico
*Omics in biological control* ..... 950

Capítulo 23
Los volátiles microbianos y su potencial en el control biológico de fitopatógenos e insectos
*Microbial volatiles and their potential in the biological control of plant pathogens and insects* ..... 988

Capítulo 24
Cambio climático, epidemiología vegetal y control biológico de fitopatógenos
*Climate change, plant epidemiology and biological control of plant pathogens* ..... 1014

Capítulo 25
Cambio climático y control biológico de insectos: visión y perspectiva de la situación
*Climate change and biological control of insects: current situation and perspectives* ..... 1034

Índice temático ..... 1056

# Lista de figuras

## Volumen I

**Figura 1.** Control biológico de fitopatógenos, insectos y ácaros ..... 38

### Introducción

**El concepto de control biológico y sus premisas fundamentales**

**Figura 1.** Uso exagerado e indiscriminado de plaguicidas químicos ..... 46

**Figura 2.** Diferentes formas de control biológico ..... 48

### Sección I

**Control biológico de enfermedades vegetales**

### Capítulo 1

**Control biológico de patógenos foliares**

**Figura 1.1.** Moho gris producido por *B. cinerea* en uvas ..... 63

**Figura 1.2.** Conidióforo de *B. cinerea* ..... 64

**Figura 1.3.** Mangos afectados en campo por *Colletotrichum gloeosporioides* ..... 65

**Figura 1.4.** Antracnosis del tomate de árbol (*Solanum betaceum*) producido por *C. gloeosporioides* ..... 66

**Figura 1.5.** Mildeo polvoso del pepino producido por *Podosphaera xanthii* ..... 67

**Figura 1.6.** Aspecto microscópico del Mildeo polvoso del pepino ..... 67

**Figura 1.7.** Mildeo polvoso de la mora, expresado como encrespamiento de hojas y desarrollo del patógeno en el envés, producido por *Sphaerotheca macularis* ..... 68

**Figura 1.8.** Aspecto macro y microscópico de varias especies de *Trichoderma* aisladas de suelo colombiano ..... 80

**Figura 1.9.** Aspecto macro y microscópico de varias cepas de levaduras aisladas de la filósfera de mora ..... 83

**Figura 1.10.** Virus del mosaico del pepino (CMV) ..... 87

**Figura 1.11.** Virus del mosaico del tabaco (TMV) ... 88
**Figura 1.12.** Síntomas típicos del virus de la vena ancha de la lechuga ... 89
**Figura 1.13.** Conidios del mildeo polvoso colapasados por una levadura ... 96
**Figura 1.14.** Adhesión de conidios de *Trichoderma harzianum* T39 sobre hifa de *Botrytis cinerea* ... 97
**Figura 1.15.** Modos de acción utilizados por *T. harzianum* T39 en el control de patógenos foliares ... 102
**Figura 1.16.** Resistencia sistémica inducida contra *Botrytis* sp. en el dosel ... 103
**Figura 1.17.** Moho gris producido por *B. cinerea* en mora ... 107
**Figura 1.18.** Efecto promotor de crecimiento del biofungicida Tricotec® en vitroplántulas de mora durante su endurecimiento (35 días) ... 108
**Figura 1.19.** Caracterización ecofisiológica de las levaduras ... 109
**Figura 1.20.** Prototipo de bioplaguicida a base de *R. glutinis* Lv316 ... 111

## Capítulo 2
## Control biológico de fitopatógenos del suelo

**Figura 2.1.** Rizosfera de dos solanáceas ... 153
**Figura 2.2.** Colonización de rizobacterias ... 157
**Figura 2.3.** Efecto de la población microbiana sobre la salud de la planta ... 158
**Figura 2.4.** Principales grupos de microorganismos antagonistas aislados de la rizosfera que son el principio activo de la mayoría de los bioproductos registrados para el control de enfermedades ... 159
**Figura 2.5.** Micoparasitismo y antibiosis ... 160
**Figura 2.6.** Modos de acción utilizados por agentes de control biológico contra fitopatógenos del suelo ... 161
**Figura 2.7.** Estructuras químicas de compuestos representativos y diversidad de compuestos homólogos de las tres principales familias de lipopéptidos cíclicos sintetizados por *Bacillus subtilis* y *B. amyloliquefaciens* ... 166
**Figura 2.8.** Efecto de la mezcla de compuestos homólogos de fengicinas (Fng), iturinas (Itu) y surfactinas (Srf ) sobre el desarrollo de *F. oxysporum* Map5, 24 h después de incubación (oscuridad, 30 °C, 125 rpm) ... 167
**Figura 2.9.** Efecto biocontrolador de *B. amyloliquefaciens* contra *F. oxysporum* en uchuva, expresado como competencia y producción de lipopéptidos ... 170
**Figura 2.10.** Micoparasitismo de *Trichoderma* spp. en la comunidad del suelo ... 172
**Figura 2.11.** Descripción de los modos de acción utilizados por *P. fluorescens* y especies de *Pseudomonas fluorescentes* estrechamente relacionadas con la protección de plantas ... 177
**Figura 2.12.** Síntomas y signos de la enfermedad conocida como rizoctoniasis de la papa causada por *R. solani* ... 185

**Figura 2.13.** Efecto biocontrolador de *Trichoderma* spp. sobre *R. solani* en tubérculos de papa ... 187

**Figura 2.14.** Curvas de progreso de la incidencia de la enfermedad del moho blanco de la lechuga en cultivos comerciales del municipio de Madrid, Cundinamarca ... 192

**Figura 2.15.** *S. sclerotiorum* y *S. minor* como patógenos de lechuga y soya ... 194

**Figura 2.16.** *Fusarium oxysporum* como patógeno de solanáceas ... 196

**Figura 2.17.** Efecto promotor de crecimiento vegetal por *T. koningiopsis* Th003 en tomate ... 198

**Figura 2.18.** Modos de acción de *Trichoderma koningiopsis* Th003 definidos para la interacción fríjol-*Pythium splendens* ... 199

**Figura 2.19.** Patógenos objetivos para los cuales se encuentra registrado Tricotec® hasta marzo de 2018 ... 201

## Capítulo 3

### Control biológico de patógenos en poscosecha

**Figura 3.1.** Efecto de diversos patógenos sobre frutas y ornamentales en poscosecha ... 227

**Figura 3.2.** Aspecto microscópico (izquierda) y macroscópico (derecha) de levaduras utilizadas como agentes de control en poscosecha, correspondientes a los géneros: a. *Pichia*; b. *Rhodotorula*; c. *Candida* ... 235

**Figura 3.3.** Actividad biocontroladora de levaduras ... 236

**Figura 3.4.** Modos de acción atribuidos a biocontroladores de patógenos en poscosecha ... 237

**Figura 3.5.** Aspecto microscópico de la interacción entre la levadura *Rhodotorula glutinis* y *B. cinerea* en pétalos de rosa luego de 24 y 96 horas, respectivamente ... 239

**Figura 3.6.** Interacciones entre Patógeno–Fruta–Biocontrolador ... 242

## Capítulo 4

### Estudios del microbioma y su aplicación en el control biológico de fitopatógenos

**Figura 4.1.** Interacciones del fitobioma con los factores fisicoquímicos del entorno ... 269

**Figura 4.2.** Estudios de caso de microbiomas como herramienta para el diseño de nuevas estrategias de biocontrol ... 272

**Figura 4.3.** Vegetales y humanos: microbiomas compartidos ... 275

**Figura 4.4.** Síntomas de marchitamiento en plantas de tomate, 14 días después de ser infectadas con el patógeno ... 280

**Figura 4.5.** CLSM de la raíz de la planta del tomate infectada con *Ralstonia solanacearum* ... 281

## Sección II

## Control biológico de insectos plagas

### Capítulo 5

### Bacterias entomopatógenas en el control biológico de insectos

**Figura 5.1.** Modo de acción de las toxinas Cry de *Bacillus thuringiensiss* ..... 303
**Figura 5.2.** Microfotografía electrónica de transmisión de un esporangio de *Bacillus thuringiensis* var. Kurstaki ..... 304
**Figura 5.3.** Ciclo de *Bacillus thuringiensis* ..... 304
**Figura 5.4.** Microfotografía de contraste de fases de esporangios maduros concatenados de *Bacillus thuringiensis* var. Kurstaki ..... 305
**Figura 5.5.** Larva de primer instar del gusano de cuerno del tabaco, *Manduca sexta*, atacado por las toxinas de *Bacillus thuringiensis* var. Kurstaki HD-1 ..... 305
**Figura 5.6.** Relación filogenética entre cepas tipo de *Bacillus thuringiensis*, obtenida a partir de las secuencias del gen *flaA* ..... 312
**Figura 5.7.** Patrón de plásmidos de cepas tipo de *Bacillus thuringiensis* ..... 313
**Figura 5.8.** Enfermedad láctea en larvas del escarabajo, *Popillia japonica*, causada por *Paenibacillus popilliae* ..... 314
**Figura 5.9.** Micrografía de microscopía electrónica de transmisión de *Lysinibacillus sphaericus* ..... 315
**Figura 5.10.** Vista macroscópica de colonias de *Serratia marcescens*, mostrando su típico pigmento de prodigiosina ..... 316
**Figura 5.11.** Larvas del escarabajo *Costelytra givenii* ..... 317

### Capítulo 6

### Hongos entomopatógenos en el control biológico de insectos plaga

**Figura 6.1.** Facsímil de la portada del libro *Mémoires pour servir à l'histoire des insectes* ..... 338
**Figura 6.2.** Reproducción de una lámina de la obra de José Torrubia, *Aparato para la historia natural española*, publicada en 1754 ..... 339
**Figura 6.3.** Facsímil de la carátula del libro *Del mal del segno, calcinaccio o moscardino, malattia che affligge i bachide seta* ..... 340
**Figura 6.4.** Esquema del proceso de infección de un hongo entomopatógeno ..... 342
**Figura 6.5.** Infecciones características de hongos entomopatógenos ..... 344
**Figura 6.6.** Control biológico de la broca del café ..... 346
**Figura 6.7.** Bioplaguicida Lecabiol® para el manejo de poblaciones de *B. tabaci* y *T. vaporariorum* ..... 349

### Capítulo 7

### Virus entomopatógenos en el control biológico de insectos

**Figura 7.1.** Extracto de Vida (1527), De Bombyce, libre ii ..... 372

**Figura 7.2.** Micrografías y representación esquemática de la morfología de los cuerpos de inclusión de los géneros de la familia Baculoviridae: a. Cuerpos de inclusión de nucleopoliedrovirus; b. Cuerpos de inclusión de granulovirus ..... 378
**Figura 7.3.** Ciclo de infección de los baculovirus ..... 379
**Figura 7.4.** Larvas muertas por infección con baculovirus en campo ..... 380
**Figura 7.5.** Daño causado, larvas sanas y larvas con infección viral de *T. solanivora, S. frugiperda* y *T. absoluta* ..... 384

## Capítulo 8

### Las feromonas en el control de insectos

**Figura 8.1.** Línea de tiempo del desarrollo y uso de las feromonas ..... 416
**Figura 8.2.** Esquema del sistema olfativo de los insectos ..... 419
**Figura 8.3.** Esquema que explica la interrupción de cópula mediante el uso de feromonas ..... 422
**Figura 8.4.** Trampas para la captura masiva de *R. palmarum* ..... 432
**Figura 8.5.** Trampas de agua con feromonas (tapón naranja) para la captura masiva de *Tuta absoluta* ..... 433
**Figura 8.6.** Experimentos de interrupción de cópula de *Tecia solanivora* en papa llevados a cabo por Agrosavia ..... 439

## Capítulo 9

### Uso de depredadores como agentes de control biológico para insectos plaga

**Figura 9.1.** Control biológico ..... 459
**Figura 9.2.** Coccinélidos en cultivos de cítricos ..... 462
**Figura 9.3.** *A. punica*, depredador principal de *C. multicicatrices* ..... 467
**Figura 9.4.** Control biológico en condiciones de invernadero ..... 472

## Capítulo 10

### Uso de parasitoides en el control biológico de insectos plaga en Colombia

**Figura 10.1.** Microhimenópteros parasitarios de huevos de *Erinnyis ello* ..... 508
**Figura 10.2.** Adultos de *Compsus viridivittatus* ..... 509
**Figura 10.3.** *Fidiobia* sp. (Hymenoptera: Platygastridae) ..... 511
**Figura 10.4.** Adultos de moscas taquínidas parasitoides de larvas de *Diatraea saccharalis* ..... 513
**Figura 10.5.** Adulto de la mosca taquinida nativa *Genea jaynesi* (Rondani) ..... 514
**Figura 10.6.** *Cotesia flavipes* Cameron (Hymenoptera: Braconidae) ..... 517
**Figura 10.7.** Adulto de *Tamarixia radiata*, detectando ninfas de *Diaphorina citri* ..... 518
**Figura 10.8.** Adulto del parasitoide de la broca, *Cephalonomia stephanoderis* ..... 521
**Figura 10.9.** Larva de II instar de *Hypothenemus hampei*, parasitada por una larva del ectoparasitoide, *Prorops nasuta* ..... 522

**Figura 10.10.** Brocas perforando fruto de café ..... 523

**Figura 10.11.** Adulto de *Phymastichus coffea*, parasitando una broca del café, al momento de penetrar en un fruto ..... 524

**Figura 10.12.** Larva de *Phymastichus coffea* dentro del tórax de un adulto de la broca ..... 525

**Figura 10.13.** Bandejas con café pergamino seco de agua, utilizado para la cría masiva de broca del café y de sus parasitoides ..... 526

## Volumen II

### Sección III

### Implementación del control biológico

#### Capítulo 11

#### Diseño conceptual, selección y prueba de concepto de microorganismos biocontroladores

**Figura 11.1.** Fases para el desarrollo de un bioplaguicida microbiano ..... 599

**Figura 11.2.** Ejemplo de bioensayo para seleccionar biocontroladores de patógenos del suelo ..... 604

**Figura 11.3.** Ejemplo de bioensayo para seleccionar biocontroladores de patógenos foliares ..... 605

**Figura 11.4.** Ejemplo de bioensayo para seleccionar biocontroladores de patógenos en poscosecha ..... 605

**Figura 11.5.** Ejemplo de bioensayo para seleccionar hongos entomopatógenos para el control de insectos plaga ..... 606

**Figura 11.6.** Ejemplo de bioensayo para seleccionar virus entomopatógenos para el control de insectos plaga ..... 607

**Figura 11.7.** Del aislamiento a la selección de biocontroladores con potencial para el desarrollo de bioplaguicidas ..... 610

**Figura 11.8.** Diferentes especies de levaduras utilizadas para el control biológico del moho gris producido por *B. cinerea* ..... 614

**Figura 11.9.** *Trichoderma koningiopsis* seleccionada para el control biológico de patógenos foliares y del suelo ..... 615

**Figura 11.10.** Selección de un entomopatógeno para el control de las moscas blancas ..... 616

**Figura 11.11.** Control biológico de la polilla guatemalteca de la papa con baculovirus ..... 616

**Figura 11.12.** Síntomas del mildeo polvoso de las gramíneas, causado por *B. graminis* en trigo ..... 617

**Figura 11.13.** Del aislamiento a la selección de potenciales biocontroladores para el control del mildeo polvoso de las gramíneas *B. graminis* ..... 618

## Capítulo 12

### Desarrollo y escalamiento de bioplaguicidas

**Figura 12.1.** Etapas para el desarrollo de un bioplaguicida microbiano y duración típica de las etapas de acuerdo con la experiencia de AGROSAVIA en Colombia ... 633
**Figura 12.2.** Prototipos de formulación ... 642
**Figura 12.3.** Modelo de negocio Canvas ... 663
**Figura 12.4.** Esquema de estrategias usadas en la optimización de medios de cultivo ... 666
**Figura 12.5.** Biorreactores de tanque agitado (str) usados para la producción de bioplaguicidas ... 669
**Figura 12.6.** Estrategia de escalamiento basada en la capacidad de control del sistema ... 675
**Figura 12.7.** Etapas típicas para la obtención de un bioplaguicida granulado en piloto ... 676
**Figura 12.8.** Productos bioplaguicidas registrados por AGROSAVIA ... 678

## Capítulo 13

### Marco regulatorio para el registro de bioplaguicidas

**Figura 13.1.** Requerimientos generales para el registro de bioplaguicidas a nivel mundial ... 696
**Figura 13.2.** Número de bioplaguicidas registrados a nivel mundial ... 697
**Figura 13.3.** Lecabiol® es un granulado dispersable para el control de mosca blanca ... 703
**Figura 13.4.** Presentación del bioinsecticida Lecabiol® ... 704

## Capítulo 14

### Investigación, desarrollo y registro de enemigos naturales para control biológico. Caso: *Phytoseiulus persimilis*

**Figura 14.1.** Ácaros depredadores ... 722
**Figura 14.2.** Fases de producción masiva de ácaros depredadores en plantas de fríjol ... 724
**Figura 14.3.** Producción masiva de ácaros plaga ... 725
**Figura 14.4.** Producción masiva de ácaros plaga ... 726
**Figura 14.5.** Proceso de limpieza y empaque del producto ... 728
**Figura 14.6.** Producto final AcariRaptor®, producido y distribuido por Bichopolis, en envases de 60 cc y 100 cc ... 729
**Figura 14.7.** Efecto de los ácaros depredadores *P. persimilis* sobre el porcentaje de incidencia del ácaro *T. urticae* en un cultivo de rosa durante el periodo 2010-2017 en la empresa Ságaro Flowers S. A ... 732
**Figura 14.8.** Consumo de ingrediente activo en kg/ha al año en la finca de rosas Ságaro Flowers S. A. de la sabana de Bogotá donde se ha implementado el control biológico de ácaros mediante liberaciones periódicas de los depredadores *P. persimilis* ... 733

**Figura 14.9.** Porcentaje de costos asociados a las diferentes estrategias de manejo de insectos plagas y de enfermedades en cultivo de rosas en el periodo 2009-2017 ..... 733

## Capítulo 15

### Investigación, desarrollo y escalamiento de feromonas de insectos

**Figura 15.1.** Esquema simplificado del proceso de investigación y desarrollo de feromonas ..... 746

**Figura 15.2.** Ejemplos de bioensayos utilizados en el estudio de feromonas ..... 748

**Figura 15.3.** Métodos de extracción o aislamiento de feromonas ..... 749

**Figura 15.4.** Cromatografía de gases acoplada a electroantenografía ..... 753

**Figura 15.5.** Ejemplos de feromonas formuladas ..... 755

## Capítulo 16

### Comercialización de agentes de control biológico

**Figura 16.1.** Matriz de oportunidades en el sector de agronegocios ..... 788

**Figura 16.2.** Marco para analizar el ritmo de la sustitución tecnológica ..... 789

## Capítulo 17

### El control biológico en un contexto de manejo integrado de enfermedades

**Figura 17.1.** Principales componentes del manejo integrado de enfermedades ..... 799

**Figura 17.2.** Suelo saludable con capacidad continua para funcionar como un ecosistema vital que sustenta plantas, animales y humanos ..... 800

**Figura 17.3.** Interacciones microbianas y su relación con el control biológico de fitopatógenos ..... 803

**Figura 17.4.** Factores que pueden afectar la actividad de los biocontroladores ..... 810

## Capítulo 18

### El control biológico en el contexto de un manejo integrado estratégico de insectos plaga

**Figura 18.1.** Comparación entre el crecimiento en el rendimiento global en cultivos de cereales, frutas y hortalizas y el uso de plaguicidas químicos ..... 827

**Figura 18.2.** Dinámica de una plaga en la que se muestra la relación entre el umbral de daño económico (UDE) y el umbral económico (UE) ..... 828

**Figura 18.3.** Relación teórica entre daño y rendimiento de un cultivo ..... 829

**Figura 18.4.** Ejemplos hipotéticos de planes de muestreo secuencial ..... 831

**Figura 18.5.** Ejemplo hipotético de un plan de muestreo de intensidad variable ..... 833

**Figura 18.6.** Ciclo adaptativo de sistemas complejos aplicado al control de plagas en sistemas agrícolas a escala regional ..... 834

## Sección IV

## El futuro del control biológico

### Capítulo 19

### Los hongos endófitos en control biológico de fitopatógenos e insectos plaga

**Figura 19.1.** Efectos de la inoculación de plantas con hongos endófitos ..... 856

**Figura 19.2.** La emisión de compuestos orgánicos volátiles (VOC) de una planta puede ser modificada por la colonización con hongos endófitos que producen cambios en la comunicación química entre la planta y los demás organismos que interactúan con ella ..... 860

**Figura 19.3.** Plantas de tomate *Solanum lycopersicum* inoculadas con el endófito *Beauveria bassiana* EABb 04/01-Tip que modificaron la composición de los compuestos orgánicos volátiles emitidos, lo cual aumentó directamente el comportamiento de oviposición de *Helicoverpa armigera* en comparación con plantas no inoculadas o inoculadas con otros endófitos ..... 861

**Figura 19.4.** Microorganismos endófitos aislados de diferentes órganos de la planta de cacao ..... 864

### Capítulo 20

### Nuevas estrategias para el control biológico de fitopatógenos

**Figura 20.1.** Consorcios microbianos y salud vegetal ..... 883

**Figura 20.2.** Múltiples efectos de los microorganismos biocontroladores ..... 886

**Figura 20.3.** Equipos comúnmente utilizados en screening de alta eficiencia ..... 888

**Figura 20.4.** Control biológico de bacterias fitopatógenas con fagos. Ciclo de vida ..... 892

**Figura 20.5.** Mecanismo general de ARN interferente ..... 907

### Capítulo 21

### Nuevas estrategias para el control biológico de insectos

**Figura 21.1.** Microesclerocios de *Beauveria pseudobassiana* ..... 928

**Figura 21.2.** Esquema de la estrategia de control de insectos plaga mediante ARNi ..... 931

**Figura 21.3.** Efecto de la combinación de un nucleopoliedrovirus y un granulovirus sobre *Spodoptera frugiperda* ..... 940

### Capítulo 22

### Las ómicas en el control biológico

**Figura 22.1.** Flujo de trabajo para secuenciación de ADN y ARN ..... 956

**Figura 22.2.** Flujo de trabajo para hibridación en microarreglos ..... 958

**Figura 22.3.** Flujo de trabajo para estudios proteómicos ..... 960

**Figura 22.4.** Esquema del procesamiento de datos obtenidos mediante secuenciación masiva ..... 962

**Figura 22.5.** Enfoques holísticos en biología ..... 979

## Capítulo 23

### Los volátiles microbianos y su potencial en el control biológico de fitopatógenos e insectos

**Figura 23.1.** Esquema general de la función de los mVOC en el control de patógenos e insectos ..... 993

**Figura 23.2.** Tipo de bioensayo utilizado para determinar el efecto de los volátiles producidos por el hongo *Fusarium culmorum* sobre el crecimiento de la cebada ..... 995

**Figura 23.3.** Bioensayo en caja de Petri subdividida para observar el efecto de mVOC sobre el crecimiento de *Cochliobolus sativus* ..... 996

## Capítulo 24

### Cambio climático, epidemiología vegetal y control biológico de fitopatógenos

**Figura 24.1.** Sistema agrícola de producción de semilla de papa en los Andes colombianos ..... 1018

**Figura 24.2.** Sistema de producción de papa completamente cubierto por ceniza volcánica en Tungurahua, Ecuador ..... 1019

**Figura 24.3.** Vientos fuertes generando una tormenta de arena sobre el Suroeste de los Estados Unidos en agosto del 2015. ..... 1021

**Figura 24.4.** Síntomas típicos de la fusariosis de la espiga del trigo o FHB ..... 1022

**Figura 24.5.** Campo de trigo con los síntomas típicos de la fusariosis de la espiga del trigo o FHB, durante la epidemia ocurrida en el estado de Nebraska, EE. UU., entre el 2007 y el 2010 ..... 1023

**Figura 24.6.** Cultivo de papa en los Andes ecuatorianos con síntomas de virus ..... 1024

## Capítulo 25

### Cambio climático y control biológico de insectos: visión y perspectiva de la situación

**Figura 25.1.** Adulto de la langosta llanera *Rhammatocerus schistocercoides* Rehn ..... 1042

**Figura 25.2.** Pastos nativos de los llanos orientales invadidos por brotes poblacionales de la langosta llanera *R. schistocercoides* ..... 1044

**Figura 25.3.** Ninfa de *R. schistocercoides* afectada por el entomopatógeno *M. anisopliae* ..... 1045

**Figura 25.4.** Ubicación del área de estudio ..... 1046

**Figura 25.5.** Relación de áreas climáticamente adecuadas de *Hypothenemus hampei* en la Sierra Nevada de Santa Marta. ..... 1048

**Figura 25.6.** Relación de áreas climáticamente adecuadas de *Hypothenemus hampei* en la región central de la zona cafetera ..... 1049

# Lista de tablas

## Volumen I

### Sección I

### Control biológico de enfermedades vegetales

#### Capítulo 1

#### Control biológico de patógenos foliares


**Tabla 1.1.** Hábitats microbianos filosféricos asociados a las plantas ..... 73

**Tabla 1.2.** Principales virus atenuados usados para la protección cruzada en plantas ..... 91

**Tabla 1.3.** Microorganismos utilizados como principios activos de bioplaguicidas, recomendados para el control de patógenos foliares que presentan registro en la Unión Europea (UE) y en Estados Unidos (EE. UU.) ..... 115


#### Capítulo 2

#### Control biológico de fitopatógenos del suelo


**Tabla 2.1.** Compuestos orgánicos y enzimas liberadas por las plantas en los exudados de la raíz y su función en la rizosfera ..... 154

**Tabla 2.2.** Microorganismos como ingredientes activos de bioplaguicidas para el control de patógenos del suelo que presentan registro en Europa (UE) y en Estados Unidos de América (EE. UU.) ..... 178

**Tabla 2.3.** Microorganismos biocontroladores registrados en Colombia como bioplaguicidas para el control de patógenos del suelo ..... 183

**Tabla 2.4.** Bioplaguicidas registrados en Brasil en junio de 2017 y biofungicidas recomendados para el control de *Sclerotinia sclerotiorum* ..... 189


#### Capítulo 3

#### Control biológico de patógenos en poscosecha


**Tabla 3.1.** Microorganismos antagonistas utilizados para el control de enfermedades poscosecha en hortalizas, raíces y tubérculos ..... 232

**Tabla 3.2.** Ejemplo de biofungicidas registrados para el control de patógenos poscosecha ..... 243

## Sección II
## Control biológico de insectos plagas

### Capítulo 5

Bacterias entomopatógenas en el control biológico de insectos

**Tabla 5.1.** Efecto de las familias de toxinas Cry sobre órdenes de insectos ..... 306

**Tabla 5.2.** Serovariedades de *Bacillus thuringiensis* conocidas hasta la fecha ..... 309

**Tabla 5.3.** Limitaciones de la serotipificación de cepas de *B. thuringiensis* conocidas hasta la fecha ..... 310

**Tabla 5.4.** Productos a base de *Bacillus thuringiensis* registrados en Colombia ..... 323

### Capítulo 6

Hongos entomopatógenos en el control biológico de insectos plaga

**Tabla 6 .1.** Bioplaguicidas a base de hongos entomopatógenos para el control de insectos plaga registrados en diversos países ..... 345

**Tabla 6.2.** Frecuencias de aplicación de *L. lecanii* en cultivos de algodón y berenjena en la costa atlántica y en el interior de Colombia ..... 351

**Tabla 6.3.** Evaluación de parcelas MIC y convencionales en cultivos de algodón y berenjena en la costa atlántica y en el interior del país ..... 352

**Tabla 6.4.** Bioplaguicidas producidos en Colombia para el control de insectos ..... 354

**Tabla 6.5.** Vida útil y recomendaciones de almacenamiento de algunos bioplaguicidas comerciales a base de hongos entomopatógenos ..... 358

### Capítulo 7

Virus entomopatógenos en el control biológico de insectos

**Tabla 7.1.** Características de las principales familias y géneros de los virus entomopatógenos ..... 374

**Tabla 7.2.** Ejemplo de productos a base de baculovirus registrados y comercializados a nivel mundial ..... 389

**Tabla 7.3.** Principales factores ambientales que afectan la persistencia viral ..... 393

**Tabla 7.4.** Persistencia de algunas especies de baculovirus expuestos a la radiación solar ..... 395

**Tabla 7.5.** Etapas en el proceso de producción masiva de virus entomopatógenos ..... 396

## Capítulo 8

### Las feromonas en el control de insectos

**Tabla 8.1.** Ejemplos de las feromonas estudiadas a nivel mundial como atracticidas de insectos ..... 424

**Tabla 8.2.** Ejemplo de feromonas estudiadas a nivel mundial para captura masiva de insectos ..... 426

**Tabla 8.3.** Ejemplo de feromonas estudiadas a nivel mundial para interrupción de la cópula de insectos ..... 428

**Tabla 8.4.** Ejemplos de productos a base de feromonas disponibles en el mercado internacional y sus aplicaciones ..... 440

**Tabla 8.5.** Listado de feromonas sintéticas registradas en Colombia para su uso en agricultura convencional y ecológica ..... 441

## Capítulo 9

### Uso de depredadores como agentes de control biológico para insectos plaga

**Tabla 9.1.** Características de las introducciones a África de las especies de fitoseídos provenientes de Colombia entre 1983 y 1990 ..... 470

## Capítulo 10

### Uso de parasitoides en el control biológico de insectos plaga en Colombia

**Tabla 10.1.** Artículos publicados en la Revista Colombiana de Entomología sobre agentes de control biológico entre 1975 y 2016 ..... 489

**Tabla 10.2.** Producción comercial de parasitoides en Colombia ..... 490

**Tabla 10.3.** Especies de parasitoides (Hymenoptera) de moscas blancas reportadas en Colombia ..... 496

**Tabla 10.4.** Listado de parasitoides de moscas de las frutas en Colombia ..... 500

**Tabla 10.5.** Especies de parasitoides de moscas de la fruta y frutales asociados en Colombia ..... 502

**Tabla 10.6.** Parasitoides exóticos de las moscas de las frutas (Diptera: Tephritidae) liberados en las plantaciones guayaberas de las fincas El Recuerdo, Las Lechuzas y Monterrey (Guavatá, Santander), durante 1984-1985 ..... 506

# Volumen II

## Sección III

## Implementación del control biológico

### Capítulo 12

**Desarrollo y escalamiento de bioplaguicidas**

**Tabla 12.1.** Función de los excipientes utilizados en la elaboración de bioplaguicidas ..... 644

**Tabla 12.2.** Estudios de preformulación y formulación en el desarrollo de bioplaguicidas a base de entomopatógenos ..... 646

**Tabla 12.3.** Bioplaguicidas desarrollados por Corpoica ..... 648

**Tabla 12.4.** Trabajos registrados en la literatura en los que se evalúa la compatibilidad de un microorganismo biocontrolador con agroquímicos ..... 652

**Tabla 12.5.** Resumen de diseños de experimentos y técnicas de optimización utilizadas en el desarrollo de medios de cultivo para ingredientes activos de bioplaguicidas ..... 668

### Capítulo 13

**Marco regulatorio para el registro de bioplaguicidas**

**Tabla 13.1.** Diferencias entre Estados Unidos y la Unión Europea en el marco regulatorio para el registro de bioplaguicidas ..... 699

**Tabla 13.2.** Número de bioproductos registrados y disponibles en varios países de Asia ..... 702

**Tabla 13.3.** Marco regulatorio para el registro de bioplaguicidas en Colombia ..... 703

### Capítulo 14

**Investigación, desarrollo y registro de enemigos naturales para control biológico. Caso: *Phytoseiulus persimilis***

**Tabla 14.1.** Comparación de ciclos de vida en días de *T. urticae* y *P. persimilis* a 20 °C ..... 723

**Tabla 14.2.** Escala para la determinación de la incidencia de *T. urticae* en cultivos de ornamentales ..... 729

**Tabla 14.3.** Comparativo de métodos de producción masiva de ácaros depredadores en la sabana de Bogotá ..... 730

**Tabla 14.4.** Empresas dedicadas a la producción o la importación de enemigos naturales en Colombia registradas ante el Instituto Colombiano Agropecuario ..... 737

### Capítulo 16

### Comercialización de agentes de control biológico

**Tabla 16.1.** Adquisiciones, alianzas y fusiones de empresas externas en Brasil ..... 771

**Tabla 16.2.** Empresas líderes en el mercado de bioplaguicidas y sus ofertas ..... 774

## Sección IV

## El futuro del control biológico

### Capítulo 19

### Los hongos endófitos en control biológico de fitopatógenos e insectos plaga

**Tabla 19.1.** Factores que se deben tener en cuenta para que un microorganismo endófito sea comercialmente exitoso ..... 865

### Capítulo 20

### Nuevas estrategias para el control biológico de fitopatógenos

**Tabla 20.1.** Ejemplos de fagos usados para el control biológico de bacterias fitopatógenas ..... 894

**Tabla 20.2.** Ejemplo de elicitores bióticos de uso común ..... 903

### Capítulo 22

### Las ómicas en el control biológico

**Tabla 22.1.** Tecnologías de secuenciación de segunda y tercera generación ..... 961

**Tabla 22.2.** Bases de datos de genómica, transcriptómica, proteómica y metabolómica ..... 963