

**EL CONTROL BIOLÓGICO Y NATURAL COMO TECNOLOGÍA QUE
PROPENDE AL DESARROLLO SOSTENIBLE DE LOS ECOSISTEMAS
URBANOS Y FORESTALES EN COLOMBIA**

Autor:

Rodrigo Renán Rivera Riascos

Trabajo de grado

Presentado como requisito para optar al título de ingeniero ambiental

Director del trabajo de grado

Juan Sebastián Chiriví Salomón

**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA
ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS Y DEL MEDIO
AMBIENTE
INGENIERIA AMBIENTAL
BOGOTA, 2019**

TABLA DE CONTENIDO

1. RESUMEN.....	6
2. ABSTRACT.....	7
3. OBJETIVOS.....	8
3.1. Objetivo	
general.....	8
3.2. Objetivo	
específicos.....	8
4. JUSTIFICACIÓN.....	9
5. ECOSISTEMAS URBANOS Y FORESTALES CON MAYOR AFECTACION AMBIENTAL POR EL USO INDISCRIMINADO DE INSECTICIDAS PARA EL CONTROL DE PLAGAS EN COLOMBIA.....	10
5.1. Insectos plagas más importantes en ecosistemas urbanos y forestales	10
5.1.1. Orden	
hemiptera.....	10
5.1.2. Orden	
Hymenoptera.....	18
5.1.3. Orden	
Diptera.....	21
5.1.4. Orden	
Isoptera.....	26
5.2. Insecticidas y su afectación en ecosistemas urbanos y forestales.....	27
5.2.1. Toxicología ambiental de los químicos mas importantes en Colombia.....	29
5.2.2. Afectación urbana.....	30
5.2.3. Afectación forestal.....	30

6. ESTUDIOS TEORICOS Y APLICADOS SOBRE CONTROL BIOLOGICO Y NATURAL CON MICROORGANISMOS EN ECOSISTEMAS URBANOS Y FORESTALES EN COLOMBIA	33
6.1. Introducción	33
6.2. Microorganismos patógenos de insectos	34
6.2.1. Bacterias entomopatógenas.....	34
6.2.2. Hongos entomopatógenos.....	37
6.2.3. Virus entomopatógenos.....	44
6.2.4. Nematodos entomopatógenos.....	48
6.3. El control natural.....	49
6.4. El control natural en Colombia.....	49
6.5. El Control biológico.....	50
6.6. El control biológico en Colombia.....	51
7. PRINCIPALES RETOS DE LOS INGENIEROS AMBIENTALES Y LOS TECNOLOGOS EN SANEAMIENTO AMBIENTAL SOBRE EL CONTROL POBLACIONAL DE INSECTOS PLAGAS Y EL DESARROLLO DE TECNOLOGIAS QUE IMPLEMENTEN EL CONTROL BIOLOGICO CON MICROORGANISMOS.....	54
7.1. Introducción.....	54
7.2. Retos de los ingenieros ambientales sobre el control poblacional de insectos plagas y el desarrollo de tecnologías que implementen el control biológico con microorganismos.....	55
7.3. Políticas y educación.....	56
8. CONCLUSIONES.....	58
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS ...	59

LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1. <i>Rhodnius prolixus</i>	11
Imagen 2. La <i>Ceroplastes cundinamarcensis</i> y <i>Ceroplastes bicolor</i> en Falso pimiento.....	12
Imagen 3. Coccinélidos depredadores de <i>Crypticerya multicolor</i> (Hemiptera: monophlebidae) en San Andrés isla, Colombia.....	13
Imagen 4. <i>Icerya montserratensis</i> en Jazmín del cabo.....	14
Imagen 5. <i>Maconellicoccus hirsutus</i>	14
Imagen 6. <i>Protortonia ecuadorensis</i> Foldi.....	15
Imagen 7. <i>Pseudococcus</i> spp. en Caucho sabanero.....	16
Imagen 8. <i>Pulvinaria caballeroramosae</i> en Caucho sabanero.....	17
Imagen 9. <i>Pulvinaria psidii</i> en Caucho sabanero.....	17
Imagen 10. <i>Saissetia coffeae</i> en Falso pimiento.....	18
Imagen 11. <i>Sirex noctilio</i> Fabricius.....	19
Imagen 12. <i>Atta</i> sp. (Formicidae).....	20
Imagen 13. <i>Musca domestica</i> L. (Muscidae).....	22
Imagen 14. <i>Aedes aegypti</i> (Culicidae).....	23
Imagen 15. <i>Culex quinquefasciatus</i> Say (Diptera: Culicidae).....	24
Imagen 16. <i>Anopheles calderoni</i> (Diptera: Culicidae).....	26
Imagen 17. <i>Coptotermes curvignathus</i> (Termitidae).....	27
Imagen 18. Morfología macroscópica y microscópica de <i>Bacillus thuringiensis</i>	35
Imagen 19. Morfología macroscópica y microscópica de <i>Lysinibacillus sphaericus</i>	36
Imagen 20. Enfermedad láctea en larvas del escarabajo <i>Popillia japonica</i> , causada por <i>Paenibacillus popilliae</i>	36
Imagen 21. Mecanismo de infección de hongos entomopatógenos.....	38
Imagen 22. Hongo entomopatógeno <i>Cordyceps militaris</i>	40
Imagen 23. Morfología macroscópica y microscópica y desarrollo del hongo entomopatógeno <i>Akanthomyces lecanii</i> en plagas del pulgón huéspe.....	41
Imagen 24. Morfología macroscópica y microscópica y el Chinche (<i>Lygus hesperus</i>) invadido por el hongo entomopatógeno <i>Beauveria bassiana</i>	42

Imagen 25. Morfología macroscópica y microscópica y muscardina verde causada por *Metarhizium anisopliae*43

Imagen 26. *Entomophthora muscae* (Cohn) Fresen43

Imagen 27. Micrografías y representación esquemática de la morfología de los cuerpos de inclusión de los géneros de la familia Baculoviridae45

Imagen 28. Nemátodos entomopatógenos49

1. RESUMEN

En Colombia, el uso de agroquímicos ha aumentado de forma abrumante para el control de plagas y patógenos en las plantaciones agrícolas, lo cual ha generado consecuencias negativas a nivel de la salud pública, medio ambiental y económica para los productores. Para contribuir a este problema se está implementando el control biológico con diferentes microorganismos como bacterias, hongos y virus, a manera de estrategias para el control de plagas y enfermedades, siendo una de las alternativas más prometedoras para reducir los efectos nocivos generados por el uso de insecticidas sintéticos. El objetivo de esta monografía es desarrollar un recurso educativo que brinde información estructurada de los estudios teóricos sobre las alternativas de control biológico con microorganismos existentes y que han sido utilizadas para disminuir los daños generados por los insectos plagas en los ecosistemas urbanos y forestales en Colombia. Este recurso educativo es de vital importancia porque ayuda a concientizar a las personas en regular el uso indiscriminado de insecticidas sintéticos que han generado problemas sociales y ambientales y sustituirlo por alternativas sostenibles como el control biológico con microorganismos.

2. ABSTRACT

In Colombia, the application of agrochemicals has sharply increased to control pests and pathogens in agricultural plantations, which has generated negative consequences in terms of public health, environment, and economically for producers. To contribute to this problem, biological control is being implemented with different microorganisms such as bacteria, fungi, and viruses, as strategies for the control of pests and diseases, being one of the most promising alternatives to reduce the harmful effects generated by the use of synthetic insecticides. The objective of this monograph is to develop an educational resource that provides structured information of the theoretical studies on the alternatives of biological control with existing microorganisms and that have been used to reduce the damages generated by insect pests in urban and forest ecosystems in Colombia. This educational resource is of vital importance because it helps to sensitize people to regulate the indiscriminate use of synthetic insecticides that have generated social and environmental problems and replace them with sustainable alternatives such as biological control with microorganisms.

3. OBJETIVOS

Objetivo general

Diseñar un recurso educativo de base metodológica en indagación-investigación sobre alternativas de control biológico con microorganismos como una tecnología que propende al desarrollo sostenible y la mitigación de la contaminación ambiental en los ecosistemas urbanos y forestales en Colombia.

Objetivos específicos

- Identificar los ecosistemas urbanos y forestales con mayor afectación ambiental por el uso indiscriminado de insecticidas sintéticos para el control de plagas y enfermedades en Colombia.
- Analizar los estudios teóricos y aplicados sobre control biológico con microorganismos en ecosistemas urbanos y forestales con desequilibrio poblacional de especies en Colombia.
- Identificar los retos de los ingenieros ambientales y los tecnólogos en saneamiento ambiental y afines, en la problemática del control poblacional de insectos plagas y el desarrollo de tecnologías que implementen el control biológico con microorganismos como eje central fundamental.

4. JUSTIFICACIÓN

La utilización de insecticidas sintéticos durante décadas para el control de enfermedades, insectos plagas y nematodos han conllevado a generar problemas de resistencia a estos productos químicos, reducción de poblaciones de enemigos naturales, contaminación ambiental y el desequilibrio en los ecosistemas urbanos y forestales. Este deterioro ha conllevado al hombre a buscar alternativas amigables con el medio ambiente que contribuyen a minimizar el impacto negativo sobre el medio ambiente y a la prevención de los efectos negativos a corto y a mediano plazo de estos compuestos frente al daño ambiental. Entre las alternativas tenemos la aplicación exitosa de programas de control biológico como parte del manejo integrado de plagas por su control eficaz, sostenible y bajo costo. Sin embargo, poco se ha aplicado en los ecosistemas forestales y urbanos, cogiendo mayor fuerza en este último tipo debido a las diferentes variables que se introducen, como la contaminación y condiciones microclimáticas de las ciudades.

A pesar de existir una gran cantidad de investigaciones relacionadas en el campo ambiental y la microbiología, especialmente en alternativas sostenibles de control biológico con diferentes microorganismos como bacterias, hongos y virus para el manejo de plagas y enfermedades, actualmente no existe un compendio actualizado y en español que permita que las nuevas generaciones de ingenieros ambientales, tecnólogos en saneamiento ambiental y afines tengan un aprendizaje facilitado y atractivo para incluir esta herramienta dentro de los planes de sostenibilidad ambiental de manera eficiente y acertada. Es por lo cual, esta investigación es un recurso educativo accesible, entorno al control biológico con microorganismos como tecnología que propende la protección y el desarrollo de los ecosistemas urbanos y forestales en Colombia, además contribuye a mitigar el problema de deterioro y/o contaminación ambiental.

**ECOSISTEMAS URBANOS Y FORESTALES CON MAYOR AFECTACIÓN
AMBIENTAL POR EL USO INDISCRIMINADO DE INSECTICIDAS PARA EL
CONTROL DE PLAGAS EN COLOMBIA**

5.1. Insectos plaga más importantes en ecosistemas urbanos y forestales

Colombia, al ser un país megadiverso, cuenta con una gran diversidad de órdenes y familias de insectos, que son fundamentales para nuestros ecosistemas; sin embargo, muchos de ellos logran tener un impacto importante tanto en salud pública como en el aspecto fitosanitario, debido a los efectos ocasionados por el cambio climático y diferentes causas antropogénicas, entre otros posibles orígenes (Ocampo, 2011). A continuación, se describen los órdenes de insectos más importantes en los ecosistemas urbanos y forestales:

5.1.1. Orden Hemiptera

Es un grupo que comprende un gran número y diverso de insectos de gran importancia, los cuales varían de tamaño, alas, antenas, ciclos de vida y hábitos alimentarios. En la actualidad este orden está conformado por tres subórdenes: *Auchenorrhyncha* (cigarras, cigarrillos o los fulgoromorfofos), *Sternorrhyncha* (cochinillas, escamas, psílicos, pulgones, moscas blancas, entre otros) y *Heteróptera* (Los integrantes de este grupo, presentan las alas anteriores parcialmente endurecidas y tiene muchas especies acuáticas o semiacuáticas) (Mier-durante et al., 2004). De estos insectos, existen dos casos de gran importancia en salud pública y fitosanidad:

En el primer caso, se trata del grupo de insectos que es considerado como un problema de salud pública. **Los Triatominos (Triatominae)**, son una subfamilia de insectos que pertenece a la familia Reduviidae y se caracterizan por poseer aparato bucal tipo succionador. Estos insectos están representados por 137 especies, encontrándose la mayoría en la región neotropical. De estas especies, existen 7 insectos que son considerados como vectores biológicos de Changas (*Tripanosoma cruzi*): *Triatoma infestans*, *T. dimidiata*, *T. sordida*, *T. brasiliensis*, *T. pseudomaculata*, *Panstrongylus megistus* y *Rhodnius prolixus*. El último de estos vectores, se reportó como la especie de mayor incidencia en Colombia, con debido a la frecuencia en la que coloniza el domicilio humano y al alto grado de éxito de infección por *T. cruzi* cuando el insecto pica. En el país se encuentra con un alto rango de distribución en los departamentos de La Guajira, Cesar, Norte de Santander, Santander, Boyacá, Arauca, Casanare, Cundinamarca, Tolima, Meta, Huila, Caquetá, Bolívar, Antioquia y Caldas (Castillo & Wolff , 2000; Argolo et al., 2008).

Imagen 1. *Rhodnius prolixus* (ninfas y adultos).

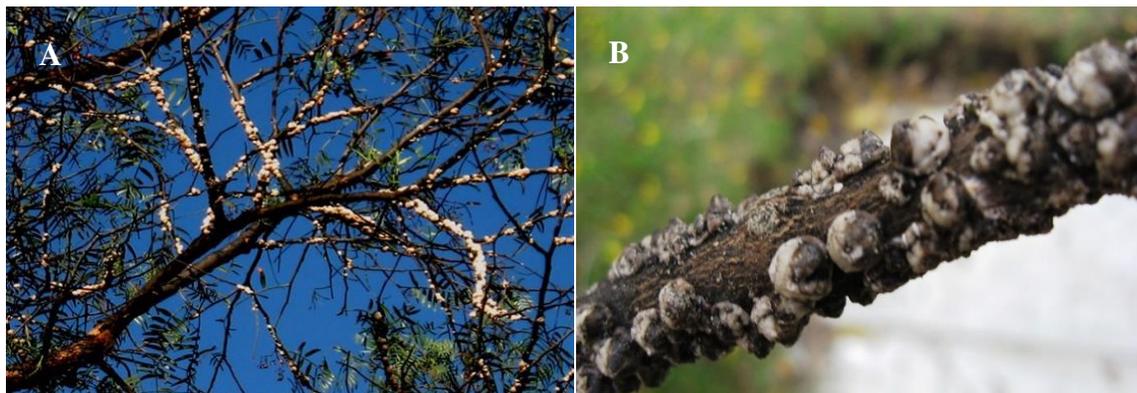


A) Diferentes etapas de ninfa hasta llegar a adulto.
Fuente: Thierry Heger (2006)

En el segundo caso, se trata de los cocoideos o insectos escamas (Coccoidea), son una superfamilia de insectos pequeños que pertenecen al suborden Sternorrhyncha. A continuación, se relacionan lo mas importantes:

- ***Ceroplastes spp.* (Coccidae)**, son conocidos como insectos escamas o escamas cerosas, taxonómicamente pertenecen a la súper familia Coccoidea, son muy pequeños y los daños que este insecto ocasiona a la planta va desde el marchitamiento hasta la muerte del ejemplar (Hidalgo F. 2011; Lincango et al. 2014). En la ciudad de Bogotá se evidenció la presencia de las siguientes escamas cerosas; La *Ceroplastes cundinamarcensis* se reportó atacando al caucho sabanero (*Ficus soatensis*), chicalá (*Tecoma Stans*), Guayacán de Manizales (*Lafoensia acuminata*) y falso pimiento (*Shinus molle*), la *Ceroplastes bicolor* solo a ejemplares de falso pimiento y la escama *Ceroplastes spp.* a árboles de jazmín del cabo (*Pittosporum undulatum*) (Mahecha Vega et al., 2010; Castro, A. 2007).

Imagen 2. La *Ceroplastes cundinamarcensis* y *Ceroplastes bicolor* en Falso pimiento (*Shinus molle*), Bogotá, Colombia.



A) Alta infestación de escama cerosa *Ceroplastes cundinamarcensis* en rama de árbol adulto. B) Alta infestación de escama cerosa *Ceroplastes bicolor* en la rama de un árbol adulto

Fuente: Castro, A. (2007)

- ***Crypticerya multicastrices* (Monophlebidae)**, es un insecto invasor conocido como la cochinilla acanalada de Colombia y desde el año 2010, se reportaron brotes poblacionales en la Ciudad de Cali y San Andrés. Es una especie altamente polífaga, causa daño a las hojas, ramas y frutos de algunos hospederos. Se reportó atacando al jazmín del Cabo, todo tipo de palmas, especies leguminosas (samán, chiminango, acacia amarilla y lluvia de oro) y especies frutales (la guayaba, el mango, cítricos y pomarrosa) (Kondo y Unruh, 2009; Kondo *et al.*, 2012, 2014).

Imagen 3. Coccinélidos depredadores de *Crypticerya multicastrices* (Hemiptera: monophlebidae) en San Andrés isla, Colombia



A) Cochinilla acanalada (*C. multicastrices*) en Palma abanico (*Pritchardia pacifica*). B) Matarratón (*Gliricidia sepium*).

Fuente: Silva-Gómez. (2017)

- ***Icerya montserratensis* (Margarodidae)**, conocida como la escama algodonosa o acanalada, se reportó en el arbolado urbano de la Ciudad de Bogotá atacando principalmente al árbol de Jazmín del Cabo (*Pittosporum undulatum*) y ocasionalmente al Caucho Sabanero (*Ficus soatensis*) (Castro, A. 2007).

Imagen 4. *Icerya montserratensis* en Jazmín del cabo (*Pittosporum undulatum*), Bogotá, Colombia.



A) Alta infestación de *Icerya montserratensis* en rama de árbol adulto. B) Primer plano de la hembra.
Fuente: Castro, A. (2007)

- ***Maconellicoccus hirsutus* (Pseudococcidae)**, conocida en Colombia como la cochinilla rosada del hibisco (CRH), se ha reportado en los departamentos de Atlántico, Cesar, Guajira y Magdalena. Se considera como una de las plagas urbanas de la Costa Caribe, en donde se reportó atacando una gran cantidad de plantas leñosas y ornamentales, tales como el mango y árboles leguminosos (Kondo, 2015; Kondo *et al.*, 2008, 2012).

Imagen 5. *Maconellicoccus hirsutus* (Pseudococcidae)

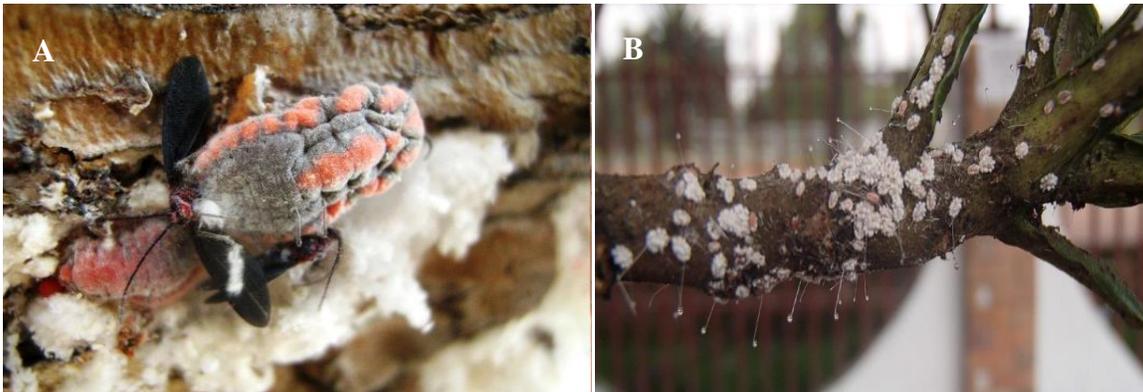


A) Colonia y ovisaco de huevos de cochinilla rosada del hibisco (*M. hirsutus*). B) Macho adulto de *M. hirsutus*

Fuente: Lotz, 2007; SENASICA S/f.

- ***Protortonia ecuadorensis* Foldi (Monophlebidae)**, esta plaga es conocida como la cochinilla gigante de Ecuador. En Colombia, se reportó un brote poblacional causando amarillamiento de las hojas, pudrición de los tallos y depreciación por mal aspecto al árbol de Sauce *Salix humboldtiana* Willd. (Salicaceae) y a otros árboles ubicados cerca a la sede central de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, en el departamento de Boyacá (Kondo, 2015; Comm. pers. J.L. Cómbita-Chivatá).

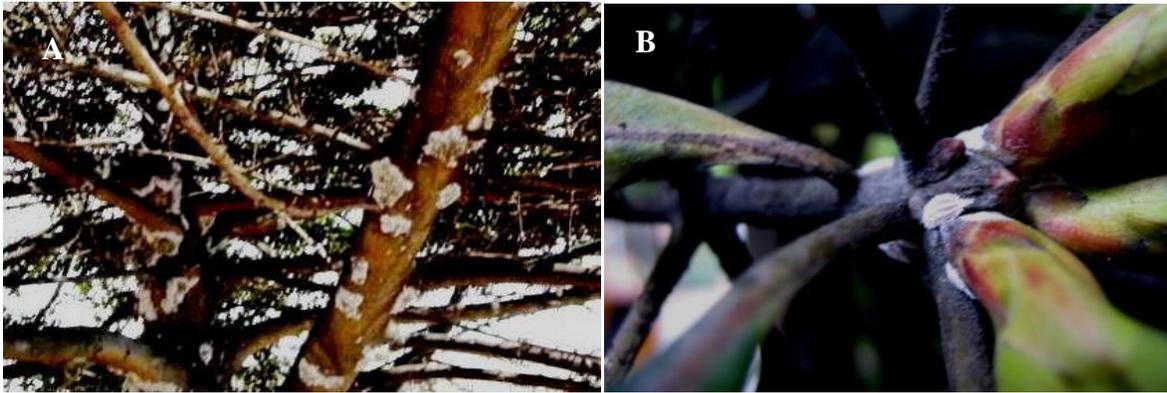
Imagen 6. *Protortonia ecuadorensis* Foldi (Monophlebidae)



A) *Protortonia ecuadorensis* en estado adulto B) Alta infestación de *P. ecuadorensis*
Fuente: Comm. pers. J.L. Cómbita-Chivatá

- ***Pseudococcus* spp. (Coccidae)**, estos insectos plagas son altamente polífagos y son conocidos como cochinillas algodonosas o harinosas. En el arbolado urbano de la ciudad de Bogotá, se reportaron atacando al caucho sabanero (*Ficus soatensis*), eugenia (*Eugenia myrtifolia*), sauco (*Sambucus nigra*), jazmín del cabo (*Pittosporum undulatum*) y liquidámbar. (Castro, A. 2007; Posada & Forigua Acosta, 2008).

Imagen 7. *Pseudococcus* spp. en Caucho sabanero sabanero (*Ficus soatensis*), Bogotá, Colombia.



A) Alta infestación de *Pseudococcus calceolariae* (Maskell) en rama de árbol adulto. B) Coloración negra como consecuencia de fumagina en las ramas de un árbol adulto

Fuente: Castro A. (2007)

- ***Pulvinaria* spp. (Coccidae)**, este género de insectos plaga tienen una gran incidencia en el caucho sabanero, el cual es un árbol con alta tolerancia a la contaminación ambiental y es ampliamente utilizado para aforestar la ciudad de Bogotá. *Pulvinaria caballerosae* y *P. psidii*, conocidos respectivamente como la escama blanda del caucho sabanero y la escama verde, han sido reportados atacando a los troncos, ramas y ramitas de su hospedero (Tanaka & Kondo, 2015; Mahecha Vega et al., 2010; Castro, A. 2007). *Pulvinaria psidii* ha sido observado ocasionalmente en el árbol de chicalá (*Tecoma* sp. Stans) (Castro, A. 2007; Mahecha Vega et al., 2010).

Imagen 8. *Pulvinaria caballeroramosae* en Caucho sabanero sabanero (*Ficus soatensis*), Bogotá, Colombia.



A) Alta infestación en rama de un árbol adulto. B) Hembras adultas, puparía masculina y un macho adulto al lado (en la superficie inferior de la ramita). C) Ovisacos largos y evidentes en el tronco de un árbol joven
Fuente: Castro, A. (2007); Tanaka & Kondo (2015)

Imagen 9. *Pulvinaria psidii* en Caucho sabanero sabanero (*Ficus soatensis*), Bogotá, Colombia.



A) Ovisacos de escama verde *Pulvinaria psidii* recubriendo parcialmente una rama de un árbol. B) Escama verde *Pulvinaria psidii* situada en el envés a lo largo de la nervadura central de la hoja.
Fuente: Castro, A. (2007)

- ***Saissetia* spp. (Coccidae)**, se caracteriza por ser una de las escamas más comunes en el mundo. *Saissetia coffeae* se ha reportado atacando varias especies arbóreas en todas las localidades de la ciudad de Bogotá, afectando principalmente al falso pimiento (*Shinus molle*), la eugenia (*Eugenia myrtifolia*) y el chicalá (*Tecoma Stans*) (Mahecha Vega et al., 2010; Avila Olesen, 2007; Castro, A. 2007). *Saissetia neglecta* es una especie polífaga, conocida como la escama

negra del Caribe y se ha reportado en la ciudad de Medellín atacando el árbol de coral (*Erythrina* sp) (T. Kondo, observación personal).

Imagen 10. *Saissetia coffeae* en Falso pimiento (*Shinus molle*), Bogotá, Colombia.



A) y B) Alta infestación de *Saissetia coffeae* en ramas de un árbol adulto.
Fuente: Castro, A. (2007)

5.1.2. Orden Hymenoptera

Los himenópteros son el grupo de insectos considerados como los más desarrollados gracias a su comportamiento social y son la especie más importante de polinizadores de las angiospermas (plantas con flores). La mayoría de estos insectos son benéficos y se utilizan para control biológico; sin embargo, existen otras especies que causan severos y masivos daños a las plantas. Se clasifican en dos subgrupos o subórdenes: los Symphyta, con adultos sin cintura y larvas parecidas a las orugas de las mariposas, y los Apocrita, que agrupa a las hormigas, avispas y abejas, cuyos adultos presentan cintura y la gran mayoría poseen un aguijón y sus larvas no tienen patas (Zumbado, M. A et al., 2018). A continuación, se relacionan los insectos más importantes de este grupo:

- ***Sirex noctilio* Fabricius (Siricidae)**, es una avispa que pertenece al suborden Apocrita, la cual ha desarrollado una simbiosis asociada con hongos basidiomicetos; estos son inoculados en los hospederos para la alimentación de sus larvas. Los hongos cumplen la función de infestar al

ejemplar, causándole un grave daño en los tejidos vegetales que ocasionan la muerte de los árboles (ICA, 2011). Síntomas corresponden a la progresiva e irreversible clorosis en la corona, la cual se torna a un color rojizo, marchitamiento repentino y caída de hojas, ocasionando al final la muerte del árbol. Algunas veces se encuentran pequeños flujos de resina sobre las cortezas de los tallos, resultado de las perforaciones realizadas por esta plaga durante la ovoposición; cuando se presentan infestaciones demasiado altas, originan bandas angostas como manchas de color café, que pertenecen a los a los signos del ataque del hongo *Amylostereum areolatum* (Cabi, 2006).

Actualmente en Suramérica, *S. noctilio* fue introducida inadvertidamente y convirtiéndose en una plaga de gran importancia que han ocasionado hasta el 80% de mortalidad en árboles de plantaciones de pino en países como Argentina, Brasil, Chile y Uruguay (Haugen and Hoebeke, 2005; Cabi, 2006). Por tal razón, en Colombia se efectúa un monitoreo para prevenir la llegada de esta plaga, mediante árboles trampa en plantaciones de *Pinus* sp. a través del Programa Fitosanitario Forestal de la Dirección Técnica de Epidemiología y Vigilancia Fitosanitaria en los departamentos de Quindío, Caldas, Cauca, Meta, Norte de Santander y Antioquia (ICA, 2014).

Imagen 11. *Sirex noctilio* Fabricius



A) Hembra tendida en el tronco de un *Pinus halepensis* recién cortado

Fuente: H. Dumas, (2008)

- ***Atta* sp. (Formicidae)**, comúnmente conocidas como las hormigas arrieras, pertenecen al suborden Apocrita, son consideradas como muy sociables y cada una de ellas realizan una función diferente dentro del hormiguero. Se caracterizan por alimentarse de un hongo que cultivan dentro del hormiguero, el cual les proporciona alimento contenido de carbohidratos, aminoácidos y gran variedad de nutrientes. El ataque corresponde al corte semicircular de la hoja y las yemas, cuando el ataque es severo causan la defoliación completa de las plantas (ICA, 2012). Se han reportado ataques severos por una gran población de hormigas obreras, causando defoliación en plantaciones de caucho (*Hevea brasiliensis*) en el Caquetá (Amazonia colombiana), en la Orinoquia y el cinturón cauchero de Córdoba. También se ha registrado como una fuerte plaga en plantaciones de eucalipto en los departamentos de Antioquia, Casanare, Cauca, Cundinamarca, Huila, la Costa Atlántica, Nariño, Quindío, Risaralda y Valle del Cauca y a nivel de América es considerada como una plaga de importancia agroeconómica (ICA, 2012).

Imagen 12. *Atta* sp. (Formicidae)



A) *Atta* sp. alimentándose de una hoja
Fuente: Kozánek, M. 2009

5.1.3. Orden Díptera

Este grupo incluye a los mosquitos o zancudos, purrejas, moscas de la fruta y tábanos; se diferencian por tener alas funcionales y un aparato bucal adecuado para ingerir líquidos. Se caracterizan por presentar roles ecológicos e impacto económico, tales como vectores de enfermedades y plagas agrícolas; también cumplen la función de ser descomponedores de materia orgánica, polinizadores, depredadores y parasitoides (Zumbado, M. A et al., 2018). A continuación, se relacionan los casos de insectos más importantes en salud pública y en los problemas fitosanitarios:

- ***Musca domestica L. (Muscidae) o mosca común***, es atraída por diferentes sustratos, tales como alimentos, desperdicios, secreciones y excretas para alimentarse. Se caracteriza por ser un vector eficiente de patógenos y tiene la capacidad de ser portador de enfermedades o microorganismos a nivel externo, por la morfología que presenta su cuerpo, el cual está cubierto por setas o internamente, en su tubo digestivo (Moissant et al. 2004). Este insecto tiene diferentes formas de transmitir los patógenos, entre ellas tenemos las siguientes: por medio de su superficie corporal, por regurgitación de comida contaminada y por defecación de patógenos. Las causas de las infecciones microbianas se presentan por niveles bajos de higienes, sanidad y la contaminación de la comida (Ugbogu et al. 2006; Sasaki et al. 2000).

Imagen 13. *Musca domestica L.* (Muscidae)



A) *Musca doméstica* en estado adulto
Fuente: Mahdi, M. 2009.

- *Aedes aegypti* (Culicidae), este mosquito se conoce como el vector de los virus del dengue, fiebre amarilla, entre otros; es originario del cinturón tropical de África donde existen la mayoría de especies del subgénero *Stegomyia*. Esta especie de mosquito es caracterizado por ser antropofágico asociado a conglomerados y por su buena adaptación a climas cálidos con temperaturas comprendidas entre 15 a 40 °C, niveles de precipitación pluvial moderados y altos, en donde las condiciones ambientales favorecen su reproducción (De Benedictis et al 2003; Caballero et al., 2006; Mora-Covarrubias et al., 2010).

Los sitios de reproducción de este vector son depósitos de agua para uso doméstico y de acuerdo a los reportes más recientes en Colombia, se encuentran en todos los departamentos hasta los 2.302 msnm (Ruiz-López et al 2016; McCall PJ. et al 2006). Es considerado como un problema de salud pública a nivel nacional. En la semana epidemiológica número 52 del año 2015 se notificaron 94.916 casos, en donde el 98.6% correspondieron a dengue y el 1.4% a dengue grave (Padilla JC. et al 2012; Instituto Nacional de Salud, 2015).

Imagen 14. *Aedes aegypty* (Culicidae)



A). *Aedes aegypty* en estado adulto
Fuente: Mahdi, M. 2009.

- ***Culex quinquefasciatus* Say (Díptera: Culicidae)**, es un mosquito que tiene una gran distribución en la Tierra y hace parte del complejo de los Cx pipiens; las poblaciones de estos individuos difieren entre si debido a su distribución geográfica, comportamiento, morfología de la genitalita de los machos, fisiología, preferencia alimentaria y competencia vectorial (Zittra et al., 2016). Las hembras poseen un comportamiento hematófago. Estos mosquitos son de importancia tanto médica como veterinaria, debido a que se conocen como vectores de enfermedades infecciosas a nivel mundial, siendo potenciales vectores biológicos de varios tipos de virus y parásitos (Bhattacharya S, 2016), los cuales han causado grandes índices de morbilidad y mortalidad en regiones tropicales y subtropicales (Farajollahi et al., 2011). Las picaduras de estos mosquitos en algunas personas pueden ocasionar alérgicas, las cuales se presentan como lesiones cutáneas pruriginosas en donde se presentó la picadura. Las altas densidades de mosquitos en las poblaciones humanas se consideran como un problema de salud pública (Sarmiento et al., 1999; (Carvajal et., 2009).

A nivel mundial, *Cx. quinquefasciatus* se considera como un vector de varios arbovirus y parásitos que ocasionan graves enfermedades que afectan tanto a humanos como a animales

(Bhattacharya S, 2016. Entre los virus que puede ser potenciales vectores biológicos, tenemos el Virus del Nilo Occidental (WNV) (Kent et al., 2010), Encefalitis de San Louis Virus (SLEV) (Mondini, Cardeal, et al., 2007), protozoarios como Plasmodium relictum causante más común de malaria aviar (Atkinson et al., 2008), algunos nematodos tales como Dirofilaria immitis (Cardoso, L. et al., 2012) y el Virus de la Encefalitis Equina Venezolana (Mesa et al., 2005).

En Colombia, se tienen reportes de afectación en el municipio de Sibaté, Cundinamarca y en la zona urbana de Bogotá, en donde se evidencian altas poblaciones de estos mosquitos, debido al problema del estancamiento de aguas contaminadas que se presentan en estos sectores. Sin embargo, se conoce muy poco sobre la dinámica poblacional de este vector, particularmente en la ciudad de Bogotá (DAMA, 2006). A nivel altitudinal se tienen registros de estos mosquitos en ciudades que tienen altitudes menores de 100 msnm, tales como Barranquilla y Leticia (Carvajal et., 2009), hasta alturas mayores a los 2500 msnm, como el municipio de Mosquera (Cundinamarca) a 2600 msnm (5,6) o en el embalse del Muña, el cual se encuentra localizado a 3000 msnm (Sarmiento et al., 1999).

Imagen 15. *Culex quinquefasciatus* Say (Diptera: Culicidae)



A). *Culex quinquefasciatus* mordiendo un dedo humano
Fuente: Gathany, J. 2003.

- *Anopheles calderoni* (Diptera: Culicidae), es una Especie del subgénero *Anopheles*, muestra caracteres morfológicos similares a otras especies de la serie Arribalzagia, tales como *A. punctimacula*, *A. malefactor* *A. guarao*. En Colombia, *A. calderoni* solo fue registrada en el 2010 debido, en parte, a su errónea identificación taxonómica, ya que anteriormente había sido confundida y reportada como *A. punctimacula*, considerada como un vector de malaria a nivel local (Olano et al., 2001; González et al.,2010). De estas especies, *A. guarao* aún no se ha registrado en Colombia (Montoya et al.,2011). La serie se encuentra en constante revisión debido a los problemas taxonómicos que presenta y al desconocimiento diversos aspectos importantes de su bionomía y distribución geográfica (Loaiza et al.,2013).

En Colombia, los primeros reportes de *A. calderoni*, se hicieron en el Valle del Cauca, en el año 2010 (González et al.,2010). Estos nuevos registros fueron útiles para realizar una revisión de especímenes de museo, procedentes de varias regiones de Colombia, identificados originalmente como *A. punctimacula* y *A. malefactor*, en donde se evidenció que algunos de ellos correspondían a *A. calderoni*. Posteriormente, *A. calderoni* fue reportada en el departamento de Nariño presentando infección natural por *Plasmodium falciparum*, pero su importancia epidemiológica aún debe ser confirmada (Naranjo-Díaz et al., 2014).

En el año 2009, en Puerto Carreño se presentó una ocurrencia anual parasitaria en donde tenemos un 8,4 por 1.000 habitantes y prevalencias de 6,1 para *Plasmodium vivax*, de 1,5 para *P. falciparum* y de 0,5 para malaria. La Secretaria de Salud Departamental de acuerdo con la información epidemiológica reportada, determino que el 39 % de los casos del municipio provienen del área urbana (Instituto Nacional de Salud, 2009).

Imagen 16. *Anopheles calderoni* (Diptera: Culicidae)



A) *Anopheles calderoni* mordiendo un dedo humano
Fuente: Gathany, J. 2003.

5.1.4. Orden Isoptera

Estos insectos son conocidos como termitas, se caracterizan por tener un comportamiento social y viven en termiteros, los cuales son nidos compuestos por diversas morfologías. Estos insectos pueden llegar a ser enormes, logran llegar a tener un lapso de vida muy larga y sus colonias están compuestas por diferentes castas, las cuales tienen un rey y una reina con la función de producir nuevas ninfas; las otras castas tales como obreros, soldados de ambos sexos, a diferencia de los himenópteros que solo tienen hembras (Zumbado et al., 2018). A continuación, se relacionan las termitas de la familia Termitidae que pertenecen a este grupo:

- *Coptotermes curvignathus* (**Termitidae**), conocidos como termitas o comején, viven ocultos en colonias como las hormigas y se caracterizan por tener hábitos sociales. Se catalogan como plagas porque atacan a las plantas de caucho muertas o enfermas causando un grave daño en sus tejidos tanto sanos como verdes, aprovechando los puntos de entrada los sitios que son afectados por enfermedades criptogámicas. Las colonias de este insecto las encontramos causando grave daño el centro de la región media del tronco y penetran en la raíz por las heridas o rajaduras que ha sufrido el hospedero, en algunos casos causando secamiento (ICA, 2012). Según Abadía y Arcila (2009), en un trabajo realizado en cultivos de limón en los

departamentos de Atlántico y Magdalena, reportaron la incidencia de termitas o comején mayores al 40%. Por otro lado, CORPOICA (2010), formuló un proyecto de manejo integrado de comején en plantas de caucho (*Hevea brasiliensis*) para determinar la importancia, las épocas de mayor incidencia y generar recomendaciones de manejo integrado en la Orinoquia y el cinturón cauchero de Córdoba.

Imagen 17. *Coptotermes curvignathus* (Termitidae)



A). *Coptotermes curvignathus* - Termitas trabajadores y soldados.
Fuente: Huat, C. 2012.

5.2. Insecticidas y su afectación en ecosistemas urbanos y forestales

El control químico está basado en la utilización de compuestos o complejos químicos para mitigar el impacto causado por insectos plaga con base en la disminución de su población. Sin embargo, varios de los compuestos que se utilizan presentan un alto grado de toxicidad y longevidad que llegan no sólo a controlar los insectos plaga, sino que contaminan el ambiente y afectan la salud de las personas y la fauna. A pesar de esto, se ha aumentado exageradamente su uso en los últimos años por los buenos resultados en el control de plagas (Pan-Uk, 2009).

Al presentar un alto grado de eficiencia con bajas cantidades suele interrumpirse su aplicación lo que conlleva a la adquisición de resistencia por parte de los insectos plaga, y por ende a un cambio en el producto utilizado; esto conlleva a un desequilibrio en las poblaciones y a una acumulación

de químicos dañinos en el ambiente. Estos insecticidas han provocado alteraciones en los ecosistemas, dando como resultado la aparición de nuevas plagas y además de este problema se presenta la contaminación del suelo, agua y el aire, que afectan directamente a la fauna y flora (Rivera *et al.*, 2002; Elizondo, 2006).

Los plaguicidas, metales pesados y otras impurezas, de acuerdo a la Agencia de Protección al Ambiente (EPA), son considerados como principales contaminantes de acuíferos por poseer una alta toxicidad, persistencia y movilidad, también por su afectación a importantes cargas hidráulicas tales como lagunas y canales de irrigación y por sus propiedades fisicoquímicas, las cuales son resistentes a la degradación biológica (García-Gutiérrez *et al.* 2012).

Los insecticidas se clasifican de acuerdo a sus características principales, entre ellas tenemos la toxicidad aguda, la vida media, la estructura química y su uso. Su estructura química, está clasificada en diversas familias, entre ellas tenemos los compuestos organoclorados, organofosforados y una serie de compuestos inorgánicos. Algunas de estas familias de insecticidas tienen una gran demanda por su uso y son muy relevantes por el grave daño que causa a la salud humana (Ramírez y Lacasaña, 2001).

Los insecticidas hacen contacto con el ser humano por medio de la vía respiratoria, digestiva y dérmica y se pueden hallar en función a sus características en el aire por inhalación, en el agua y los alimentos al ingerir o por contacto, entre otros medios ambientales. Estos insecticidas presentan efectos agudos y crónicos en la salud; los agudos son los que se presentan por intoxicaciones vinculadas a exposiciones de corto tiempo con efectos sistémicos o localizados y los crónicos se presentan por las patologías vinculadas a la exposición a bajas dosis por largo tiempo (Del Puerto *et al.*, 2014).

5.2.1. Toxicología ambiental de los químicos más importantes en Colombia

- El glifosato:** es un herbicida más utilizado en Colombia, el cual se encuentra patentado por la casa Monsanto con la marca comercial Roundup, está compuesto por 480 g/L de la sal isopropilamina de N-fosfonometilglicina, registrado en la categoría toxicológica IV, ligeramente toxico, basado en la dosis letal 50 (DL50), ingrediente activo para ratas, considerada mayor de 5.000 mg/kg y por inhalación mayor de 3.400 mg/kg. Es un herbicida no selectivo, sistémico de acción foliar, es decir ingresa a la planta a través de las hojas para después distribuirse a otras partes del tejido vegetal donde será metabolizado. Su uso incluye el manejo agrícola, industrial, jardinería ornamental, malezas en resistencia y también es utilizado en el programa de erradicación de cultivos ilícitos; El uso del glifosato en aspersiones de coca y amapola representan una fracción muy pequeña del total de su uso en el país. (COFEPRIS, 2009; Eslava et al., 2007). Bernal HH, et al., 2001; Solomon K, et al., 2005).

- Permetrina**

Es un plaguicida sintético considerado de amplio espectro, el cual pertenece al grupo químico de los piretroides y se utiliza para matar insectos, arañas y orugas y repeler a una diversa gama de insectos. Produce reacciones de hipersensibilidad en mamíferos, incluyendo a los seres humanos. En cultivos de invernadero se usa para controlar insectos masticadores (lepidópteros y coleópteros) y también para combatir insectos que afectan directamente a la salud pública. En la medicina humana se utiliza la permetrina para matar parásitos dérmicos tales como los piojos y los causantes de la escabiosis (sarna), y para el control del dengue en combinación con otros plaguicidas. Cuando hay exposición directamente por inhalación y/o ingestión, este plaguicida afecta el sistema nervioso central, provocando convulsiones, temblores, ansiedad, alergias, malestares gástricos, alteraciones de la conciencia y pérdida del conocimiento. En algunos productos a base de

permetrina se ha establecido una dosis diaria admisible para los seres humanos de 0,05 mg/kg/día. No hay antidotos específicos. El resultado de diversas investigaciones afirman que la permetrina es peligrosa para el medio ambiente, para los peces y abejas y otros insectos beneficios. (Ecured, 2015)

5.2.2. *Afectación urbana*

La afectación que presenta la naturaleza de volatilidad o semi-volatilidad de los compuestos pesticidas constituyen un riesgo importante de contaminación atmosférica en las grandes ciudades (Trajkovska et al., 2009). En California y Washington (EE. UU) se identificaron los pesticidas organofosforados (OP) a partir de diferentes muestras de aire y superficie de las aplicaciones de rociado agrícola (Armstrong et al., 2013). En los bosques de Italia se reportaron que el uso indiscriminado de pesticidas provocó la contaminación de aire y de cuerpos de aguas, afectando la fauna y flora acuática y aves de biota acuática (Trevisan et al., 1993). En Colombia existe muy poca información estadística sobre intoxicaciones, tanto agudas como crónicas, debido a que su vigilancia rutinaria no está bien definida (Sivigila, 2010).

5.2.3. *Afectación forestal*

Colombia tiene una extensión de territorio de 1'141.748 km², los cuales son distribuidos en diferentes pisos térmicos comprendidos desde los cero metros hasta los 5.000 msnm, donde encontramos las nieves perpetuas. De acuerdo a su ubicación geográfica lo definen a nivel mundial como uno de los países más ricos en recursos hídricos, ecosistemas y especies con menos del 1% de la superficie del planeta, en donde habitan aproximadamente el 10% de sus especies de fauna y flora terrestre (Garcés et al., 2001). Estos pisos térmicos por sus características son aptos para la siembra de diferentes cultivos ilícitos, entre los más destacados es el cultivo de coca que se implementa en un área territorial aproximada de 352.517 km², en donde esta actividad económica

está asociada al negocio del narcotráfico, el cual se extiende más allá de las fronteras del territorio nacional (DAMA, 2009).

En Colombia, unos de los principales problemas ambientales que existe son los cultivos ilícitos tales como son la hoja de coca y la amapola y para su implementación se deforestan por cada hectárea sembrada entre dos y tres hectáreas de bosques, afectando el ecosistema alto andino y la región amazónica, en donde encontramos ecosistemas exterminados y la biodiversidad afectada por este flagelo (DNP, 1994).

Para la mayor producción de los cultivos de coca y amapola y teniendo en cuenta la escasa capacidad de los suelos que presentan las zonas selváticas, hace que sea necesario que se utilicen plaguicidas sintéticos, fertilizantes químicos y otras sustancias que han sido restringidas en nuestro país, tales como el parathion y compuestos órgano-clorados, los cuales se han aplicado indiscriminadamente sin ningún tipo de control. Los efectos ambientales más considerables que han provocado esta actividad se concentran en la alteración de las condiciones fisicoquímicas del suelo, en el deterioro de la calidad de los cuerpos de agua y de los alimentos y además de esto generan persistencia acumulativa y nociva en las cadenas tróficas, con efectos negativos en la calidad de la vida de la población. Las altas concentraciones de estos compuestos son arrastradas por las corrientes de agua, generando la intoxicación de diferentes especies de flora y fauna nativa (Department of State, 2001; DNE, 2008; Plan Nacional Sobre Drogas, 2009).

En Colombia, de acuerdo a la información suministrada por el Sistema Nacional de Vigilancia en Salud Pública (Sivigila), en el año 2008, se reportaron 6.650 intoxicaciones por plaguicidas; en el 2009 hubieron 7.405 casos y en 2010 se presentaron 8.016; se reportaron también informes sobre brotes de cierta magnitud, como el de Chiquinquirá, en 1967, donde se reportaron 500 personas intoxicadas y de estas murieron 63; en 1970, en Puerto López, se hallaron alrededor de 190

personas intoxicadas con un organofosforado no determinado, el cual ocasiono 7 muertes; en Pasto, en 1977, se intoxicaron 300 personas de las cuales murieron 15; 106 personas se intoxicaron en 2000; 390 trabajadores de una empresa de flores de Sopó se intoxicaron en el 2003 y 42 estudiantes que residían en la vereda “El Páramo” del municipio de Tutazá, Boyacá, en el 2010, entre otros. El problema de la contaminación por plaguicidas es muy grave por la cantidad, diversidad y uso de compuestos más agresivos o más tóxicos (Sivigila, 2010).

De acuerdo con el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), en el año 2008 se obtuvo una producción de 22.061.830 kg de fungicidas, 21.063.283 litros de herbicidas, y 5.620.455 litros de insecticidas, de los cuales fueron distribuidos en el ámbito local y exportados; a esta cantidad se le suma los plaguicidas importados.

6. ESTUDIOS TEÓRICOS Y APLICADOS SOBRE CONTROL BIOLÓGICO Y NATURAL CON MICROORGANISMOS EN ECOSISTEMAS URBANOS Y FORESTALES EN COLOMBIA

6.1. Introducción

Los enemigos naturales, de acuerdo a su naturaleza, se clasifican en parasitoides, depredadores y patógenos. Para el caso de invertebrados plaga, los dos primeros grupos se denominan como entomófagos y el tercer grupo entomopatógenos, en donde se incluyen hongos, bacterias, virus, nematodos y protozoarios (Bahena, 2008). Para el caso de los microorganismos, se clasifican en parásitos y patógenos, siendo diferentes en relación si permiten que el hospedero viva con cierto grado de bienestar o causando enfermedad en el mismo, llevándolo en ocasiones a la muerte, respectivamente. También se consideran como enemigos naturales para el control de microorganismos, aquellos que son fuertemente competidores debido a la secreción de metabolitos o uso de espacio (Pierre-Olivier Méthot, 2014).

Existen muchos reportes sobre la implementación de microorganismos entomopatógenos que tienen la capacidad de producir enfermedad y muerte a insectos plaga y son utilizados comercialmente como agentes de control biológico. De los diversos microorganismos utilizados, los hongos son los más usados por que poseen un mecanismo de invasión únicos que les permiten atravesar de forma directa la cutícula o la pared del tracto digestivo de los insectos, lo que los hace excelentes agentes de control biológico actuando como insecticidas de contacto (Charnley y Collins, 2007). Los nematodos, las bacterias y los virus son también de uso frecuente, sin embargo, suelen ser de mayor aplicación agrícola, que de uso urbano o forestal (A, Sáenz, 2005).

6.2. Microorganismos patógenos de insectos

6.2.1. Bacterias entomopatógenas

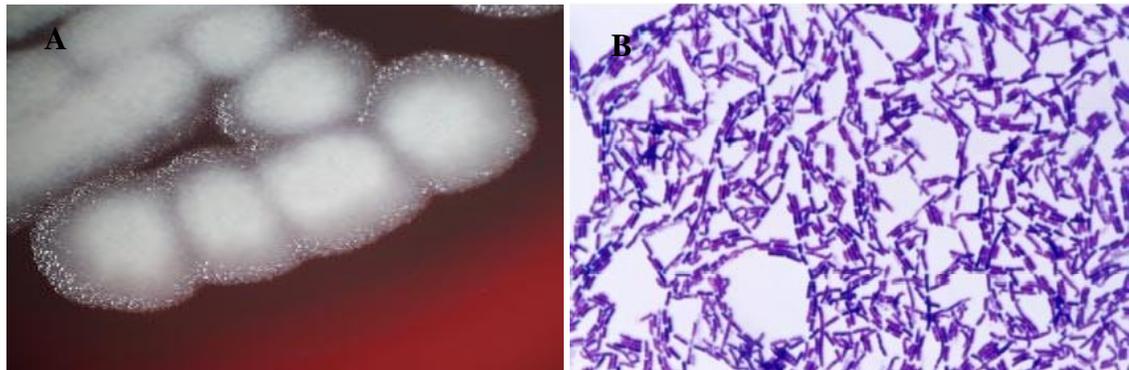
Las bacterias son organismos unicelulares, poseen diferente tamaño y forma. La gran mayoría de las bacterias entomopatógenas se hallan en las familias Bacillaceae, Pseudobacillaceae, Enterobacteriaceae, Streptococcaceae y Micrococcaceae; sin embargo, muchos de ellos consisten en patógenos débiles y sólo algunos son altamente virulentos. Dentro de los patógenos más representativos, que incluso hay productos biotecnológicos con base a ellos, se encuentran los del género *Bacillus* (Kalha et al., 2014).

Según Cohn (1872), el género *Bacillus* son bacterias productoras de endosporas resistentes al calor (Maughan et al., 2011). Las especies que conforman este género, y de géneros hermanos como *Lysinibacillus* y *Paenibacillus*, tienen una amplia distribución a nivel mundial y se caracterizan por la formación de endosporas, las cuales permiten que tengan capacidad de resistencia y de potenciar su aislamiento en diferentes hábitats, tanto acuáticos como terrestres o ambientes bajo condiciones extremas. Entre las principales características del género *Bacillus*, se resalta la capacidad que tienen de crecer en ambientes aerobios o en ocasiones en anaerobios facultativos, son Gram positivas, morfología bacilar, movilidad y tienen un tamaño que comprende entre 0.5 a 10 μm ; el ambiente óptimo de crecimiento se presenta con un pH neutro y presentan un amplio rango de temperaturas de crecimiento que van de 30 y 45 $^{\circ}\text{C}$, son mesófilas y su diversidad metabólica se asocia al crecimiento vegetal y el control de patógenos (Tejera-Hernández et al., 2011).

Según Raaijmakers et al., 2012, la capacidad antagónica que presenta el género *Bacillus* fue objeto de estudio por el cual se descubrió la actividad insecticida que presentan las proteínas Cry producidas por *Bacillus thuringiensis*. En la actualidad, sólo se conocen 3 especies de bacterias que

tienen la capacidad de ejercer control sobre insectos: *B. thuringiensis*, *Paenibacillus popilliae* y *Lysinibacillus sphaericus* (González et al., 2012). El modo de acción de estas bacterias entomopatógenas se concentra en la elaboración de proteínas tóxicas para el insecto cuando son ingeridas y se clasifican en: proteínas que tienen la capacidad de formar cristales con efecto tóxico sobre un insecto (Cry) y proteínas con actividad hemolíticas (Cyt); las primeras proteínas anteriormente mencionadas son las más estudiadas (Soberon & Bravo, 2009). El género *Bacillus* demostró el potencial antagónico que presenta como agente de control biológico en contra de diferentes tipos de microorganismos fitopatógenos de cultivos agrícolas (maíz, arroz, frutales, etc), forestales, entre otros (Wang et al., 2014; Li et al., 2015).

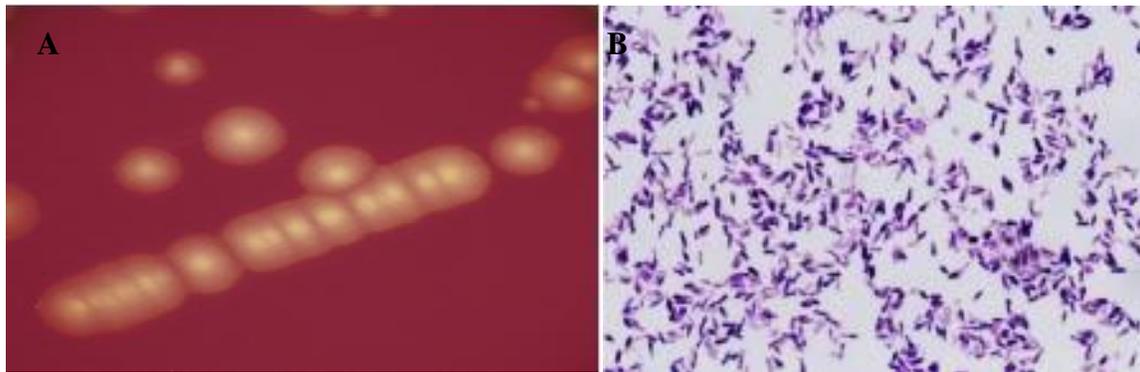
Imagen 18. Morfología macroscópica y microscópica de *Bacillus thuringiensis*



A). Colonias de 3 a 8 mm de diámetro β -hemolíticas con hemólisis completa, de color de gris a verde, con aspecto de vidrio esmerilado y bordes regulares. (B) Gram 24 horas: bacilos Gram positivos, de 1,2 μ m de diámetro por 3 a 5 μ m de largo, con borde redondeados y que forman cadenas cortas.

Fuente: Realpe, M. E., et al., 2002

Imagen 19. Morfología macroscópica y microscópica de *Lysinibacillus sphaericus*



A). Colonias de 2 a 4 mm de diámetro, β -hemolíticas con hemólisis completa, de aspecto liso, color blanco crema translúcido y bordes regulares. (B) Gram 24 horas: bacilos Gram positivos de 1 μ m de diámetro por 1,5 a 5 μ m de largo, con bordes redondeados.

Fuente: Realpe, M. E., et al., 2002

Imagen 20. Enfermedad láctea en larvas del escarabajo *Popillia japónica*, causada por *Paenibacillus popilliae*



A) Larva sana con hemolinfa clara. B). Larva infectada de color blanco y hemolinfa blanquecina. C). Esporas típicas Tipo A1 con espora y paraespora (Tipo huella). D). B1. E). B2 sin paraespora

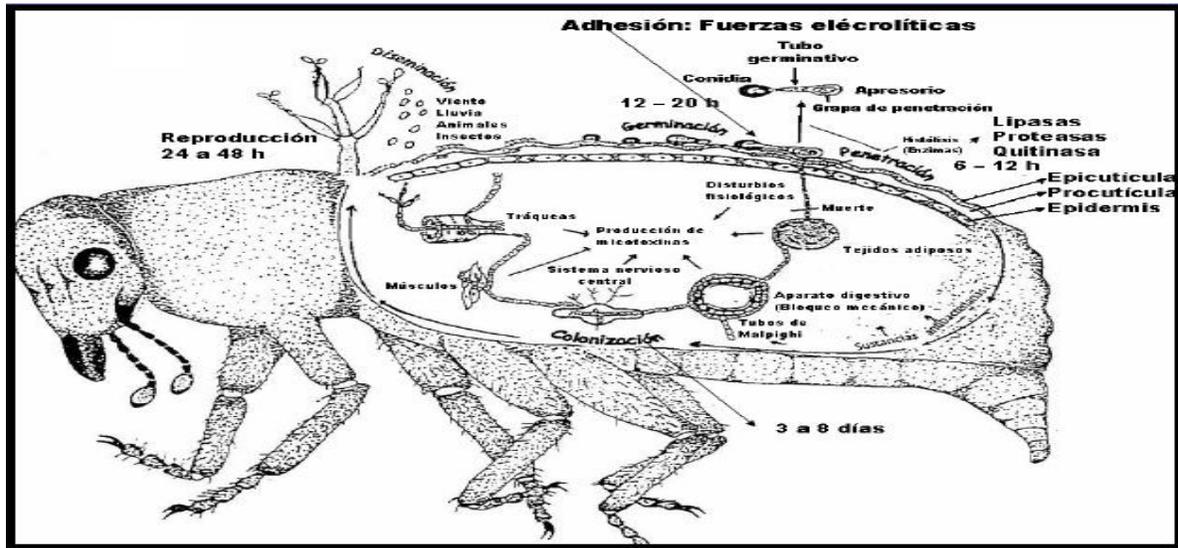
Fuente: Adaptada de Klein y Jackson (1992)

6.2.2. Hongos entomopatógenos

Es un grupo de microorganismos que se caracteriza por su gran potencial como agentes controladores (Sung et al., 2007). Pertenece a un grupo que está conformado por más de 750 especies, que se encuentran esparcidas en el medio ambiente, causando infecciones fungosas a diversas poblaciones de artrópodos (Pucheta Diaz et al., 2006). Los géneros de gran importancia son *Akanthomyces*, *Beuveria*, *Cordyceps* y *Metarhizium* (Delgado et al., 2011).

El mecanismo de infección de los hongos comienza con la adhesión de las esporas a la cutícula del insecto, penetra a su interior por las partes blandas o via oral y dentro del cuerpo del hospedero las esporas germinan y el micelio produce toxinas que provocan la muerte del huésped en un término de 3 o 4 días. Los síntomas de la enfermedad que presenta el insecto corresponden a la pérdida de sensibilidad, movimientos descoordinados y parálisis total; cuando se presenta la muerte del insecto queda momificado y bajo ciertas condiciones de humedad se cubre posteriormente por el micelio, se generan nuevas esporas y son esparcidas por el viento y la lluvia y finalmente terminan atacando otro insecto (Productos Biológicos Perkins 2016; Zhanga et al. 2008; Ecured.cu, 2015).

Imagen 21. Mecanismo de infección de hongos entomopatógenos



Fuente: Yuri Calle, 2011

A continuación, se relacionan los hongos de mayor importancia en el control biológico de insectos plagas:

- **Género *Cordyceps sensu lato (s.l.)***

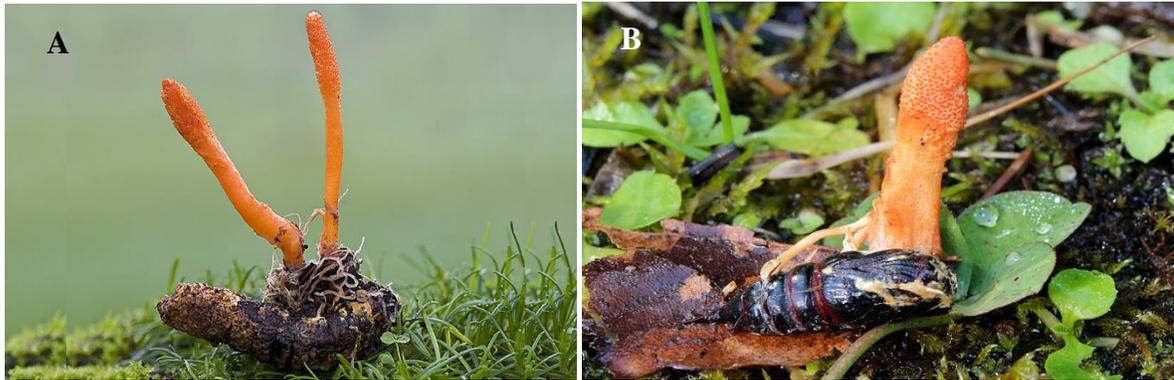
Los hongos patógenos del género *Cordyceps s.l.* son cosmopolitas y ubicuos, pero la mayoría de las especies habitan en los bosques tropicales debido a su alta diversidad de entomofauna que se encuentra en estos lugares (Vega et al., 2012; Sanjuan, 2014; Sanjuan et al., 2015; Shrestha et al., 2016; Hajek y Meyling, 2018). El proceso de infección comienza con la adhesión de la espora a la cutícula, seguida por la germinación, penetración del integumento y la diseminación interna de todo el cuerpo para manipular el comportamiento del insecto y colapsar su sistema inmune hasta causar su muerte. Al final, las hifas del hongo emergen al exterior del cadáver del insecto dando lugar a los cuerpos fructíferos y la esporulación (Vega et al., 2012; Ortiz-Urquiza y Keyhani, 2013; Boomsma et al., 2014; Butt et al., 2016; Hajek y Meyling, 2018).

Cordyceps s.l. está compuesto por más de 500 especies descritas dentro de varios géneros y clasificadas en las familias *Clavicipitaceae*, *Ophiocordycipitaceae* y *Cordycipitaceae* y se encuentran distribuidas en regiones tropicales de Asia y América (Index Fungorum, 2015; Sung et al., 2007; Shrestha et al., 2014, 2016, 2017). La familia *Cordycipitaceae* posee al género *Cordyceps* teniendo cerca de 70 especies y haciendo referencia a las especies consideradas como *Cordyceps sensu stricto* (s. s.) (Sung et al., 2007; Shrestha et al., 2014, 2017; Hajek y Meyling, 2018). De este género, resalta la especie tipo de *Cordyceps militaris*, la cual es patógena de larvas de lepidópteros y presenta cuerpos fructíferos rojizos. Esta especie es importante en la industria medicinal porque tiende a reemplazar a la especie *Ophiocordyceps sinensis*, la cual se encuentra en peligro de extinción.

El desarrollo comercial de los hongos entomopatógenos para ser utilizados en control biológico de insectos plagas está dirigido principalmente, en su orden, a los géneros *Beauveria*, *Metarhizium* e *Isaria*, todos ellos estados anamórficos de *Cordyceps s.l.* Del género *Isaria* sobresalen las especies *I. fumosorosea* e *I. farinosa* (Luangsa-ard et al., 2005; Shrestha et al., 2006; Sung et al., 2007; Hesketh et al., 2010; Humber, 2012; Vega et al., 2012; Jaronski, 2014; Hajek y Meyling, 2018).

Las especies de *Cordyceps s. l.* se han utilizado en la medicina tradicional en China, Japón y Corea por varios años (Wen, Li, Kang y He, 2012) y de acuerdo a las investigaciones científicas se ha podido comprobar que estas poseen componentes bioactivos los cuales son benéficos para la salud humana, tales como la cordicepina, un metabolito secundario con propiedades anticancerígenas, antioxidantes y antiinflamatorias (Tuli, Sandhu y Sharma, 2014).

Imagen 22 Hongo entomopatógeno *Cordyceps militaris*



(A y B). Control biológico de la procesionaria del pino (*Thaumetopoea pityocampa*) con el hongo *Cordyceps militaris*

Fuente: J.R.Pato, (2008); H. Krisp, (2014)

- **Complejo *Akanthomyces lecanii* (comercialmente llamado *Verticillium lecanii*, syn. *Lecanicillium lecanii*)**

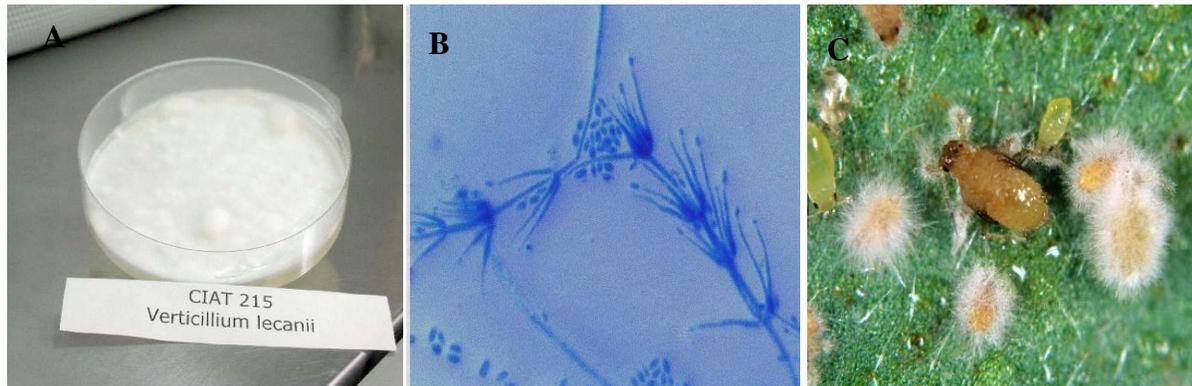
*Akanthomyces lecanii*¹ es un hongo ascomicete que se reproduce principalmente de forma asexual, pertenece al orden Hypocreales y se utiliza para el control biológico de insectos que causan graves daños a las plantas; tienen un amplio rango de hospederos: insectos de los órdenes Homóptera, Coleóptera, Díptera y Lepidóptera y ácaros de la familia Tetranychidae. *Akanthomyces lecanii*, al igual que otros hongos entomopatógenos, no necesitan ser ingeridos por el insecto, la infección se puede producir por contacto y adhesión de las esporas en la cutícula; estas penetran a su interior, donde el tejido fino se ve afectado en un término de 48 horas después de la infección (Avalos & Kugg, 2015).

Cuando el insecto muere produce una gran cantidad de hifas y queda momificado; las esporas de *A. lecanii* tienen la capacidad de sobrevivir por un largo tiempo en el suelo. Este hongo es muy

¹ Nombre propuesto por Kepler et al (2017), con el propósito de unificar nombres científicos entre holomorfos, anamorfos y telomorfos. (1F=1N).

fectivo para el control biológico de todos los estadios que presenta la Mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum* y *Bermisia tabaci*) y con una acción secundaria sobre trips (Ecured.cu, 2015).

Imagen 23. Morfología macroscópica y microscópica y desarrollo del hongo entomopatógeno *Akanthomyces lecanii* en plagas del pulgón huésped.



Morfología macroscópica (A) y microscópica (B) de *Akanthomyces lecanii*. C) Desarrollo del hongo entomopatógeno *Akanthomyces lecanii* en plagas del pulgón huésped.

Fuente: Cattlin, N. (2011); Alean, Carreño I. (2003)

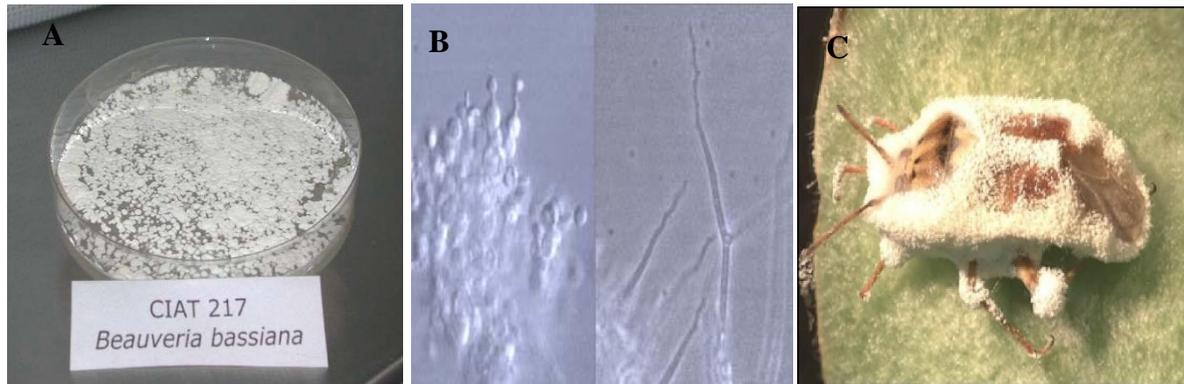
- **Género *Beauveria***

Es un hongo ascomiceto, encontrado principalmente en su forma asexual, crece de forma natural en el suelo, es utilizado para el control biológico y su actividad entomopatógena tiene la capacidad de parasitar insectos de diversas especies en el mundo, causando la enfermedad blanca de la muscardina. Comercialmente es utilizado como agente controlador biológico y está catalogado como uno de los más utilizados en el mundo, para controlar un gran número de plagas que pertenecen a los órdenes coleóptera, lepidóptera, díptera y muchos otros órdenes y familias de insectos (Ecured 2015).

El micelio de la fase asexual de las especies que pertenecen al género *Beauveria* son de color blanco, posee conidióforos sencillos de 1-2 μ de diámetro, se encuentran agrupados, algunas de

estas especies presentan hinchazón en la base y adelgazados en la región apical de la conidia (Cañedo y Ames, 2004; Alean Carreño I. 2003; Castillo et al., 2011).

Imagen 24. Morfología macroscópica y microscópica y el Chinche (*Lygus hesperus*) invadido por el hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana*.



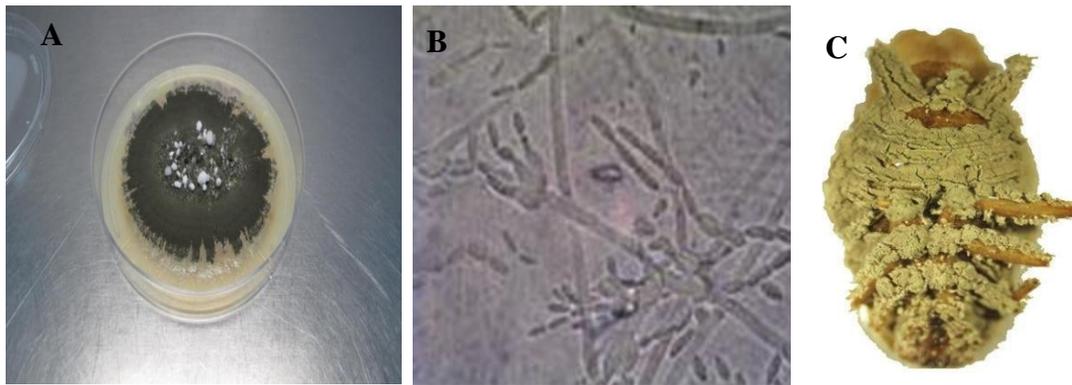
Morfología macroscópica (A) y microscópica (B) de *Beauveria bassiana*. C) Chinche (*Lygus hesperus*) invadido por el hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana*.

Fuente: Alean, Carreño I. (2003); Surendra Dara, (2014)

- **Género *Metarhizium***

Metarhizium anisopliae, es un hongo ascomiceto el cual se caracteriza por poseer un color verde oliva, pertenece a la familia *Clavicipitaceae* y su reproducción es principalmente asexual, en conidióforos que nacen a partir de hifas ramificadas y es usado ampliamente como entomopatógenos para el control biológico debido a que tiene la capacidad de parasitar y eliminar un amplio rango de hospederos. Este hongo ataca a más de 300 especies de insectos plagas de diferentes órdenes y familias de diversas plantas de importancia agrícola y forestal (Rocha et al., 2013). Este hongo se caracteriza por la formación de micelio septado con fabricación de conidias de aproximadamente 0,5 a 0,8 micras de diámetro o formas de reproducción asexual, en conidióforos que nacen a partir de hifas ramificadas (Ecured.cu, 2015).

Imagen 25. Morfología macroscópica y microscópica y muscardina verde causada por *Metarhizium anisopliae*.



Morfología macroscópica (A) y microscópica (B) de *Metarhizium anisopliae*. C) Muscardina Verde causada por *Metarhizium anisopliae*.

Fuente: (Cañedo & Ames (2004); Parsa, S. (2012); Wang, C. et al., 2011).

- ***Entomophthora muscae* y otros excigomicetes**

Los hongos entomofitoroides corresponden a un grupo bien definido de géneros y especies que se caracterizan por ser parásitos obligados de diferentes organismos y que se distribuyen en diferentes hábitats alrededor del mundo (Gryganskyi et al. 2012). Dentro de estas especies, resalta *Entomophthora muscae* que tiene complicaciones para el cultivo continuo en laboratorio (Kramer & Steinkraus, 1981), lo cual no permite que sea utilizado como agente controlador biológico; sin embargo, es de gran importancia para el control natural de dípteros en ecosistemas forestales.

Imagen 26. *Entomophthora muscae* (Cohn) Fresen



A). Los conidióforos y conidios del hongo *Entomophthora muscae* invaden la mosca, matándola dejándola fuertemente fijada al sustrato y con las alas extendidas.

Fuente: Rubio, E. (2013).

6.2.3. *Virus entomopatógenos*

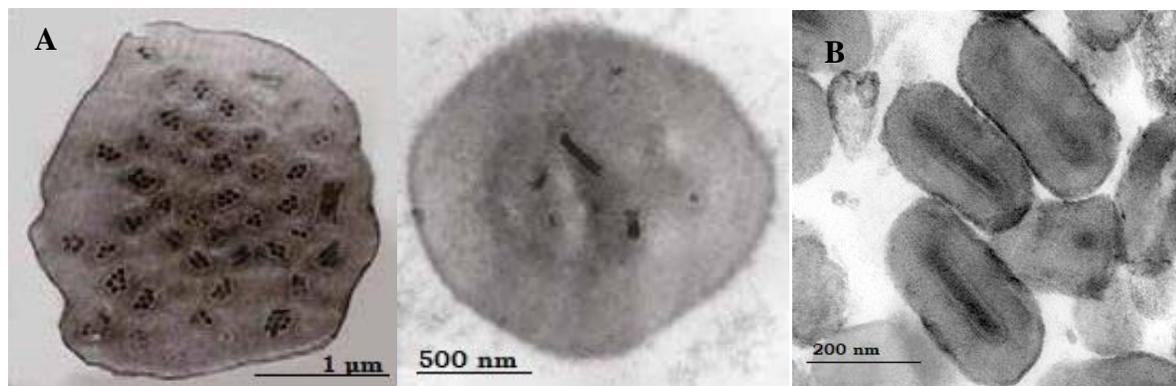
Los virus entomopatógenos son una entidad microbiológica, no celular y posee un genoma que se replica y se adapta fácilmente a diferentes cambios ambientales. Está compuesto por un ácido nucleico que puede ser ADN o ARN ambos en cadena doble o sencilla. Las familias de virus más importantes utilizadas como controladores biológicos son: *Baculoviridae*, virus de la *poliedrosis* nuclear, esto infectan a los insectos que pertenecen a los ordenes Lepidópteros e himenópteros; *Reoviridae*, virus de la *poliedrosis* citoplasmática infecta a los ordenes Lepidópteros y Dípteros; y *Poxviridae*, virus *entomopox* infecta a los ordenes Lepidópteros y Coleópteros. De todas estas familias de virus entomopatógenos anteriormente mencionadas, los *baculovirus* son comercialmente más utilizados para control biológico, debido a su capacidad antagónica y a que poseen un rango de hospedantes limitado a algunas especies de Lepidópteros, Hymenópteros, Dípteros, Coleópteros y Tricópteros (Badii y col, 2006; Van Regenmortel et al., 2000). A continuación, se relacionan los virus entomopatógenos anteriormente mencionados:

- ***Baculovirus*, virus de la poliedrosis nuclear**, es una familia con gran diversidad de virus ocluidos que poseen ADN de doble cadena y tienen una gran capacidad patogenicidad y virulencia para diversas especies de insectos. Su genoma se halla empacado en viriones que tienen forma de bastón y ocluidos dentro de una matriz proteica, que cumple la función de protegerlos de todas las condiciones ambientales y se conoce como cuerpo de inclusión (CI) (Rohrman 2011). Esta familia la conforman cuatro géneros, de los cuales se destacan dos grupos: los nucleopoliedrovirus (NPV) y los granulovirus (Gv) (Thiem y Cheng 2009).

El mecanismo de infección de los baculovirus comienza cuando la larva hospedera ingiere los cuerpos de inclusión virales (CI) de su fuente alimento. Los CIs se disuelven por el pH alcalino del

intestino medio y liberan los virones que atraviesan la membrana peritrófica; estos virones liberan las nucleocápsides (NC) que se fusionan con la membrana de las células epiteliales del intestino y las infectan (infección primaria). Las NC se replican en el núcleo y salen de las células epiteliales en forma de viriones brotados para infectar otras células (infección secundaria) y al final presentarse la infección secundaria se forman nuevos CI los cuales son liberados al ambiente cuando la larva muere y el tegumento se rompe (Volkman 2007; Caballero y Williams 2008). Los baculovirus infectan a los insectos de los órdenes Lepidoptera, Diptera e Hymenoptera y se determinan por poseer rasgos que se identifican cuando infectan a un insecto o célula hospedero, tales como el rango de hospederos, el tropismo y su patología (Harrison 2009; ICTV 2009; Moscardi *et al.* 2011).

Imagen 27. 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.
(B) Fuente: Barrera, G.P. (2013)

- **Poxviridae, virus entomopox**, esta familia la conforman virus ADN de doble cadena que comprenden dos subfamilias: la Entomopoxvirinae y la Chordopoxvirinae. La primera subfamilia comprende a los entomopoxvirus patógenos de insectos, que se determinan por formar cuerpos ovoidales, conocidos como esferoides, los cuales contienen viriones de tipo esférico

que se replican en el citoplasma de las células infectadas y utilizan los hemocitos para dispersarse por todos los tejidos de la larva (Del Rincón, 2010).

Estos ci les suministran protección de ciertas condiciones ambientales, tales como la luz UV, el calor y la desecación, entre otros. Los ci se desintegran por el pH alcalino que presenta el intestino medio y por la acción de proteasas, las cuales liberan partículas infectivas, que penetran a las células intestinales por fusión y se replican en el citoplasma de las mismas. Al finalizar este proceso de infección se generan nuevas partículas virales que causan la infección a otros tejidos susceptibles y se convierten en la fuente de nuevas infecciones (Perera, Li, Pavlik, & Arif, 2010).

Las larvas de insectos del orden lepidópteros con infección viral se hinchan y toman un color blancuzco o lechoso. La muerte de la larva puede suceder entre 10 y 70 días después de iniciar la infección, dependiendo de muchos factores que inciden en este proceso tales como, el tipo de virus, la dosis, el tamaño, la edad de la larva, y la temperatura, entre otros. En coleópteros, la infección se puede presentar mucho más lenta que en otros ordenes de insectos. Los epv aislados de algunas especies de insectos plaga para los que no se han encontrado baculovirus patógenos poseen alto potencial para el desarrollo de bioplaguicidas, y su formulación sería importante para mejorar la virulencia y reducir el tiempo letal (Caballero et al., 2008).

- **Reoviridae, virus de la poliedrosis citoplasmática**, esta familia está conformada por virus ARN de doble cadena y se caracteriza por poseer viriones con forma icosaédrica contenidos dentro de cuerpos de inclusión poliedrales (Renault et al, 2005). Esta morfogénesis se presenta en el citoplasma y no en el núcleo de las células infectadas (Caballero et al., 2008; Mori et al, 2010).

Los reovirus de insectos están clasificados dentro de las subfamilias: Sedoreovirinae y Spinareovirinae. En la subfamilia Spinareovirinae se hallan los géneros *Cypovirus* e *Idnoreovirus*, entre otros; en la actualidad los primeros de estos son los más estudiados y de gran interés. Los *Cypovirus*, infectan únicamente lepidópteros y se caracterizan por sus partículas infecciosas, las cuales se encuentran incluidas dentro de un ci que tiene forma poliedral similar a la de los npv, pero se diferencian de estos, debido a que su morfogénesis sucede en el citoplasma y no en el núcleo de las células infectadas, por lo cual se denomina como virus de la poliedrosis citoplasmática (Caballero et al., 2008; ICTV 2009; Mori et al, 2010).

Las partículas virales penetran por vía oral ocasionando la infección de las células epiteliales del intestino medio de los insectos, es aquí donde se producen nuevos viriones y cuerpos de inclusión que se excretan en las heces (Renault et al., 2005). La progresión de la enfermedad puede ser lenta, aunque normalmente es fatal. Además de dispersarse por las heces, se presenta contaminación de huevos o transmisión transovárica (Caballero et al., 2008).

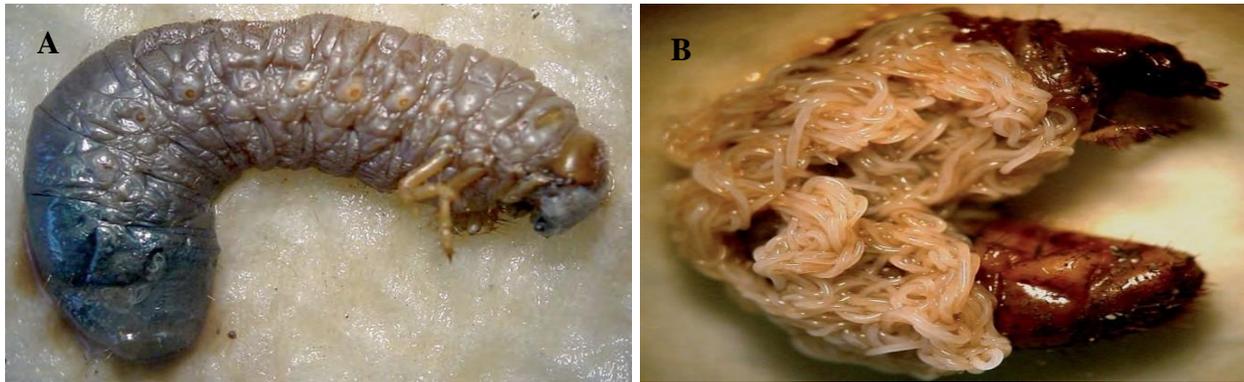
Entre los años 1956 y 1960 se utilizó un virus de poliedrosis citoplasmática (*Cypovirus*, *Reovirus*), obteniendo como resultado un control exitoso de la procesionaria del pino *Thaumetopoea pityocampa* en el Mont Ventoux (Francia); estos ensayos se realizaron gracias a una producción del virus en larvas sobre pinos. Después de estos trabajos de investigación no se encontraron más referencias hasta la publicación del trabajo de Ince, Demir, Demirbag y Nalcacioglu (2007), quienes reportaron un virus de poliedrosis citoplasmática en bosques de Turquía.

6.2.4. *Nematodos entomopatógenos*

Los (NEP's) son organismos microscópicos considerados como parásitos obligados de insectos y portador de enfermedades a una gran diversidad de insectos que residen en el suelo. Estos organismos son efectivos como agentes de control biológico, por que matan al hospedero rápidamente, son específicos contra numerosos insectos plagas, tienen alto potencial reproductivo, tienen la capacidad de detectar a su huésped rápidamente, son fáciles de aplicar en zonas donde los químicos no lo son, no contaminan el medio ambiente y tienen buena adaptabilidad a la implementación de un buen control integrado de plagas (Griffin et al., 2005; Koppenhöfer, 2007; Lewis and Clarke, 2012).

Los NEP's de las familias Steinernematidae y Heterorhabditidae, actualmente son los más estudiados y utilizados en control biológico de insectos plagas, porque poseen la capacidad de provocar altos índices de mortalidad a sus hospedantes en un tiempo de (24-48 h). La familia Steinernematidae posee dos géneros, *Steinernema* y *Neosteinernema*, con mas de 60 especies reportadas para el primero y una para el segundo, tienen la capacidad de parasitar a la gran mayoría de insectos plagas y están asociados a las bacterias del género *Xenorhabdus*, que matan a su huésped en un término de 24 – 48 horas por septicemia y la familia Heterorhabditidae es monogénica, de la cual se han reportado hasta el momento 21 especies del género Heterorhabditis, son parásitos obligados que matan a su huésped, desarrollan dos generaciones en el insecto, en la primera son hermafroditas y en la segunda anfimicticas (participación de machos y hembras) y también poseen la capacidad de parasitar a la gran mayoría de insectos plagas (Koppenhofer, et al., 2006; Alatorre-Rosas, 2007; Morton Juaneda, 2009; Karthik-Raja et al., 2011).

Imagen 28. Nemátodos entomopatógenos



A) Larva de gusano blanco parasitada por nemátodos entomopatógenos (*Steinernema* sp.). B) Masiva emergencia de estadios juveniles de Nemátodos desde una larva de gusano blanco parasitada por NEP.

Fuente: France, A. (2017)

6.3. El control natural

Es un fenómeno indispensable para el control racional y rentable de plagas y enfermedades, el cual se entiende como el control espontáneo en la naturaleza sin la intervención antrópica, y constituye un rasgo ecológico en el cual se hace uso del término “enemigos naturales” (o agentes bióticos de mortalidad), manteniendo a todas las especies vivientes en un estado de equilibrio con el entorno. Consiste en la acción colectiva de factores ambientales físico-químicos y bióticos que mantienen la plaga o la enfermedad en un nivel oscilante de equilibrio por algún período de tiempo (Jiménez M., 2009).

6.4. El control natural en Colombia

Distintos ejemplos de control natural de insectos plagas son registrados anualmente en Colombia a través de la descripción de nuevas especies y reportes. Algunas de estos ejemplos se relacionan a continuación:

- ✓ Anamorfos y cepas con el nombre de hongo entomopatógeno *Cordyceps* sp. En hormigas de la selva tropical del piedemonte putumayense" (Sanjuan, et al., 2001).

- ✓ Cinco nuevas especies de hongos entomopatógenos del Amazonas y evolución de *Ophiocordyceps neotropical* (Sanjuan, et al., 2015).
- ✓ Los entomopatógenos de los insectos palo y las langostas amazónicas son miembros del complejo de especies de *Beauveria* (*Cordyceps* sensu stricto) (Sanjuan, et al., 2014).
- ✓ Patrones de distribución espacial de *Cordyceps* sp. y su impacto sobre la mirmecofauna en selvas del piedemonte amazónico de Colombia (Henao, L.G, et al., 2001).
- ✓ Propuestas nomenclaturales de base filogenética para Ophiocordycipitaceae (Hypocreales) con nuevas combinaciones en *Tolypocladium*. (Sanjuan, et al., 2014).
- ✓ Perfil metabólico y composición de nucleósidos de *Cordyceps nidus* sp. Nov. (Cordycipitaceae): una nueva fuente de compuestos activos (Sanjuan, et al., 2017).

Sin embargo, son muy pocos los reportes de control natural con microorganismos que llegan a controlar insectos de forma crítica. Se relacionan algunos ejemplos a continuación:

- ✓ Describieron una nueva especie de hongo que controló de forma natural insectos escama en la ciudad de Bogotá, un ecosistema urbano y altamente contaminado. El registro evidenció epizootias de hongo sobre insectos plaga del caucho sabanero (*Ficus soatensis*), en zonas donde el PM era más bajo (Chiriví-Salomón, et al., 2015).

6.5. El control biológico

Es el uso de enemigos naturales para reducir una o más poblaciones de plagas convirtiendo está en menos dañina de forma temporal o permanente; se diferencia del término anterior porque en este tipo de control hay una intervención antrópica, es decir, que aun cuando los enemigos son naturales, estos son aplicados por alguna técnica estandarizada por el ser humano. Para estos métodos de control sean eficaces se incluyen grupos de organismos con buena capacidad de mantener y regular

densidades poblacionales de organismos dañinos a un nivel bajo y estén en la categoría de enemigo natural (Van Driesche *et al.*, 2007).

6.6. El control biológico en Colombia

El uso de microorganismos beneficios para el control biológico de insectos plagas en ecosistemas forestales y urbanos, cada día son más utilizados en Colombia, a continuación, se relacionan algunos ejemplos:

- ✓ Efecto de microorganismos entomopatógenos y antagonicos como potenciales agentes de control biológico de hormiga arriera *Atta cephalotes* (Hymenoptera: Myrmicinae): En esta investigación se hizo la la evaluación de la capacidad antagonica que poseen nueve hongos y la misma cantidad de bacterias, tales como (*Mucor sp.*, *Trichoderma sp.*, *Aspergillus ochraceus*, *A. flavus*, *Penicillium sp.* dos morfo especies de *Fusarium*, y dos del género *Bacillus*) sobre simbioses de la hormiga *L. gongylophorus* y *Serratia marcescens*. El reporte de estas colonias de *A. cephalotes* se realizo en la zona urbana de la ciudad de Cali, Departamento del Valle del Cauca, en donde se encontró generando problemas de inestabilidad en terrenos y hundimiento del suelo donde existen construcciones y viviendas. (Valencia, S. 2014).
- ✓ Evaluación de la capacidad antagonista *in vivo* de aislamientos de *Trichoderma spp.* frente al hongo fitopatógeno *Rhizoctonia solani*: En esta investigación se hizo la evaluación de la capacidad antagonica de seis especies de *Trichoderma* frente a *Rhizoctonia. Solani*. Este patógeno de plantas fue seleccionó por que se ha evidenciado la capacidad que tiene para infectar esquejes de clavel de la variedad Everest. Este proyecto se realizo en el laboratorio de microbiología y de suelos de la Universidad Javeriana y en la estación experimental San Francisco Javier, en el departamento de Cundinamarca (Tovar, C. 2008).
- ✓ Hongos asociados con termitas y termiteros en plantaciones de eucalipto: Para esta

investigación se consiguieron 252 aislamientos de hongos los cuales corresponden a 31 géneros y 29 especies, en donde se resaltan los reconocidos como entomopatógenos de los géneros de termitas *Microcerotermes silvestri*, *Amitermes silvestri* (Termitidae) y *Coptotermes* Wasmann (Rhinotermitidae). El presente estudio fue realizado en el municipio de San Sebastián de Buenavista, Departamento de Magdalena, en la finca los Álamos. (Gutiérrez G, Ana Isabel et al., 2004).

- ✓ *Paecilomyces* sp. como alternativa de control de la Cochinilla Acanalada (*Crypticerya multicastrices* Cockerell) en San Andrés, Colombia: Para esta investigación se utilizó el método de aspersión con *Paecilomyces* sp., en donde se obtuvo un porcentaje de infección del 88.1% de *Paecilomyces* sp. sobre la plaga denominada como la cochinilla acanalada. En la isla de San Andrés se reportó una amplia distribución de la cochinilla acanalada con una alta severidad, con más de 20 hospederos de plantas (Quiroga, Ivonne et al., 2011).
- ✓ La evaluación del triflumurón y la mezcla bacteriana de *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* y *Lysinibacillus sphaericus* en el control de las formas inmaduras de *Aedes aegypti* y *Culex quinquefasciatus* en sumideros en Cali: Esta investigación tiene como objeto la evaluación de la eficiencia del Starycide® (triflumurón) y VectoMax® (mezcla bacteriana de *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* y *Bacillus sphaericus*) sobre los mosquitos de las especies *Aedes aegypti* y *Culex quinquefasciatus* presentes en los sumideros de aguas lluvia de la ciudad de Cali, Departamento del Valle del Cauca. La cría de estos mosquitos es considerado como un problema de salud pública por que son los responsables de la transmisión del virus del dengue y el virus del Nilo occidental (Gloria I. Giraldo-Calderón, 2008).

Desde la gestión del Jardín Botánico José Celestino Mutis en la ciudad de Bogotá D.C, el Ingeniero Agrónomo José Arnulfo Castro Alvarado, especialista de área de sanidad vegetal de esta entidad, ha realizado algunas investigaciones utilizando microorganismos tales como hongos y bacterias, para el control biológico de plagas en el área urbana de esta ciudad. A continuación, se relacionan estas investigaciones realizadas en campo:

- ✓ En el ámbito del control biológico de plagas en el arbolado urbano de la ciudad de Bogotá, se menciona que desde el año 2003 por parte del Jardín Botánico José Celestino Mutis de esta ciudad y en el contexto del Manejo Integrado de Plagas (MIPE), se realizaron aspersiones foliares con la bacteria insecticida *Bacillus thuringiensis*, variedad Kurstasky para el manejo de la polilla del Sangregado (*Sangalopsis veliterna*). Los resultados que se obtuvieron de la aplicación de este microorganismo controlador, fue la afectación de los estados larvales de los lepidópteros en mención; lo cual implica que se debe hacer aspersiones foliares con una frecuencia semanal durante al menos cuatro semanas (Comm. pers. Castro, A. 2019).
- ✓ En el año 2007, se realizaron investigaciones en condiciones de laboratorio para la evaluación de cinco cepas de *Beauveria bassiana* y *Akanthomyces lecanii* para el manejo de la escama verde *Pulvinaria psidii* (Hemiptera: Coccidae). De los cinco productos comerciales, solamente la cepa GH3 de *Beauveria basiana*, en dichas condiciones se obtuvo el 98% de mortalidad y en condiciones de campo, el porcentaje de mortalidad se localizó hasta en un 50% (comm. pers. Castro, A. 2019).

7. PRINCIPALES RETOS DE LOS INGENIEROS AMBIENTALES Y LOS TECNÓLOGOS EN SANEAMIENTO AMBIENTAL, SOBRE EL CONTROL POBLACIONAL DE INSECTOS PLAGAS Y EL DESARROLLO DE TECNOLOGÍAS QUE IMPLEMENTEN EL CONTROL BIOLÓGICO CON MICROORGANISMOS

7.1. Introducción

En Colombia, se evidencia un claro problema sobre el aumento de insectos plagas y la utilización de plaguicidas para el control de estos, llegando hasta el punto de que dependan exclusivamente del control químico, lo cual deja a un lado otras alternativas ecológicas como el control biológico. Se deriva de esta dependencia el desconocimiento sobre las ventajas que tiene el control biológico en el beneficio de la agricultura sana y la conservación de los ecosistemas forestales y urbanos. Actualmente, se ha incrementado el interés de implementar tecnologías ecológicas de control biológico mediante la utilización de microorganismos benéficos para el control de insectos plagas, como una alternativa de bajo costo comercialmente, baja toxicidad y que sea amigable con el medio ambiente.

De acuerdo con estos factores, el principal reto de los ingenieros ambientales y los tecnólogos de saneamiento ambiental es la implementación de tecnologías sostenibles de control biológico mediante la aplicación de microorganismos entomopatógenos como bacterias, hongos y virus, para disminuir y anular el impacto generado por las plagas y enfermedades en las plantas y suelos, lo que implica usar tres veces menos los plaguicidas con el mismo rendimiento y a un menor costo. Estas alternativas son claves para garantizar la sustentabilidad de los sistemas ecológicos y generar conciencia ambiental hacia la sociedad y sus consumidores para exigir una mayor sustentabilidad en los procesos y la preocupación por el cuidado del medio ambiente, los recursos naturales y la salud humana.

7.2. Retos de los ingenieros ambientales sobre el control poblacional de insectos plagas y el desarrollo de tecnologías que implementen el control biológico con microorganismos

Esta Monografía se basa en la utilización de microorganismos benéficos para el control biológico de plagas y enfermedades presentes en los ecosistemas urbanos y forestales, en donde se establecen unos retos ambientales con el fin de aprovechar estas alternativas ecológicas para minimizar y controlar los impactos ambientales causados por el mal manejo de los agroquímicos sobre el medio ambiente y la salud pública. Estos retos ambientales como parte del manejo integrado de plagas y enfermedades corresponden a las exigencias de los mercados tales como, la concientización sobre la protección ambiental en la población y al cuidado de la salud humana, ambos temas son de gran importancia y están presentes en las agendas de desarrollo sostenible a nivel mundial (Naranjo et al., 2015). A continuación, se relacionan los siguientes retos ambientales que los ingenieros ambientales y los tecnólogos de saneamiento ambiental deben implementar para la protección, conservación y recuperación de los recursos naturales:

1. Implementación de programas de manejo integrado de plagas (MIPE) enfermedades, mediante la utilización de alternativas como el control biológico con el fin de minimizar y controlar los impactos causados por el uso y el manejo de plaguicidas sobre el medio ambiente y la salud pública, que afectan directamente a los ecosistemas urbanos y forestales.
2. Investigación y desarrollo de nuevos controladores biológicos con microorganismos (bacterias, hongos, virus y nematodos) enfocados a mitigar la contaminación ambiental causada por residuos de plaguicidas. De acuerdo con su naturaleza biológica estos microorganismos promueven el desarrollo sostenible en la actividad forestal y agrícola.
3. Realización de campañas de educación ambiental en donde se desarrollen temas de sensibilización y concientización sobre la contaminación ambiental de los cuerpos de agua,

suelo y el aire causados por el mal manejo y uso de los plaguicidas.

4. Implementación de programas de educación ambiental como estrategia sostenible en la consolidación de las instituciones, en la innovación tecnológica, en la preservación de enfermedades y en la conservación y el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales.
5. Implementación de programas sobre producción más limpia y la consolidación de acuerdos ambientales, mediante la utilización de tecnologías limpias en las actividades agrícolas y forestales.
6. Establecimiento y ejecución de acciones conjuntas con las autoridades ambientales de cada departamento sobre la implementación de programas de evaluación y manejo de impacto ambiental y planes de contingencia sobre la contaminación ambiental causada por el mal manejo y uso de los plaguicidas, enfocados en la recuperación y conservación de los recursos suelo y agua.

7.3. Políticas y educación

Resolución 1427 de 2017 - Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. Por la cual se establece el proyecto sobre la: “Implementación de estrategias basadas en la conformación y evaluación de un banco de extractos de origen bacteriano como alternativa ecológica para manejo de plagas de importancia agrícola.

Resolución ICA 4174 de 2009, las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) son “el conjunto de prácticas para el mejoramiento de los métodos convencionales de producción agrícola”. El objeto es “enfaticar en la inocuidad del producto, producir el menor impacto de las prácticas de producción sobre el ambiente y la salud de los trabajadores”.

La Política de Producción más Limpia: fue presentada ante el Consejo Nacional Ambiental, por el Ministerio de Ambiente en agosto de 1997, y su objeto es promover una producción más limpia, en donde se implementen tecnologías limpias, la investigación y se genere un sistema de información sobre los riesgos que presenta el mal manejo de los plaguicidas de uso agrícola y su afectación en el ambiente.

El CONPES 3514 del 2008 sobre Política Nacional Fitosanitaria y de Inocuidad para las Cadenas de Frutas y de otros vegetales para el sector ambiental: El objeto es mejorar el estatus fitosanitario y la inocuidad de las frutas y otros vegetales, con el fin de proteger la salud y la vida de las personas, de las frutas y otros vegetales y preservar la calidad del ambiente.

8. CONCLUSIONES

- La información recopilada en este recurso educativo sobre alternativas de control biológico con la utilización de microorganismos es de gran importancia ya que en Colombia no existe mucha información sobre estas tecnologías sostenibles, las cuales son alternativas que ayudan a controlar y minimizar las plagas y enfermedades en los ecosistemas urbanos y forestales, sin contaminar el medio ambiente y sin poner en riesgo la salud de las personas.
- Las razones principales que han conllevado a la implementación de alternativas ecológicas de control biológico son los efectos ambientales y sociales que han provocado el mal manejo y uso de plaguicidas. Entre los efectos negativos se tiene, la contaminación de los cuerpos de agua, la degradación química y la pérdida de la integridad física de las partículas del suelo por actividades agrícolas, la eliminación de las poblaciones de organismos benéficos, la aparición de especies de diferentes con mayor potencial patogénico, parasítico o resistentes a los insumos químicos.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Abadía, J. C.; Arcila, A. M. 2009. Termitas en cultivos de limón en los departamentos del Atlántico y Magdalena, Colombia. Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle 10 (2): 36-46.
- A, Sáenz. (2005). Importancia de los nematodos entomopatógenos para el control biológico de plagas en palma de aceite. Recuperado de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1131>
- Alatorre-Rosas, R. 2007. Nematodos parásitos de insectos en Microbiología Agrícola. R. Ferrera-Cerrato y A. Alarcón (eds.) Editorial Trillas, S. A. de C. V., México, D.F. 416-421.
- Alean Carreño I. 2003. Evaluación de la patogenicidad de diferentes hongos entomopatógenos para el control de la mosca blanca de la yuca *Aleurotrachelus Socialis* Bondar (Homoptera: Aleyrodidae) bajo condiciones de invernadero. Tesis de Licenciatura en Microbiología Agrícola y Veterinaria. Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ciencias Básicas. Microbiología Agrícola y Veterinaria. Bogotá, D. C. Colombia. pp 116.
- Argolo et al., 2008. La enfermedad de Chagas y sus principales vectores en Brasil.
- Atkinson CT, Thomas NJ, Hunter DB. Parasitic diseases of wild birds. Oxford: Wiley-Blackwell; 2008.
- Armstrong JL, Fenske RA, Yost MG, Galvin K, Tchong-French M, Yu J. Presence of organophosphorus pesticide oxygen analogs in air samples. Atmospheric Environment 2013;66:145-150.
- Avalos, K Kugg, J. (2015). Efecto de *Lecanicillium lecanii* y *Beauveria bassiana* sobre *Planococcus citri* en condiciones de laboratorio. Trujillo: REBIOLEST.
- Avila-Olesen, G. A. (2007). Evaluación física y espacial de los principales problemas sanitarios del arbolado del parque metropolitano de Santiago - Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias forestales. Recuperado de: http://www.cybertesis.cl/tesis/uchile/2007/avila_g/sources/avila_g.pdf
- Badii, M. H., Abreu. J. L. 2006. Biological control a sustainable way of pest control. International Journal of Good Conscience. 1(1): 82-89.
- Bahena JF. Enemigos naturales de las plagas agrícolas del maíz y otros cultivos. Texcoco Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), 2008: 21-27.
- Barrera, G.P.(2013). *Spodoptera frugiperda nucleopolyhedrovirus*: the basis for a biopesticide product in Colombia (tesis doctoral) . Universidad Pública de Navarra, Pamplona, España. Recuperado de http://academica-e.navarra.es/xmlui/bitstream/handle/2454/16983/Tesis_Barrera.pdf?sequence=4.
- Bhattacharya S, B. P. 2016; 4:73-81. (2016). The southern house mosquito, *Culex quinquefasciatus*: profile of a smart vector. Journal of Entomology and Zoology Studies, 4, 73–81.
- Boomsma, J. J.; A. B. Jensen; N. V. Meyling & J. Eilenberg. 2014. Evolutionary Interaction Networks of Insect Pathogenic Fungi. Annu. Rev. Entomol., 59: 467-85.

- Butt, T. M.; C. J. Coates; I. M. Dubovskiy & N. A. Ratcliffe. 2016. Entomopathogenic Fungi: New Insights into Host-Pathogen Interactions. *Adv. Genet.*, 94: 01-58.
- Caballero R, Torres T, Chong F, Pineda A, Altuzar M, López B. Concepciones culturales sobre el dengue en contextos urbanos de México. *Rev Saude Publica* 2006; 40:126-133.
- Caballero P, Williams T. 2008. Capítulo 8: Virus entomopatogenos. En: *Control Biologico de Plagas Agricolas*. Ed. Phytoma. 121-135.
- Cabi. 2006. *Crop protection compendium*. Commonwealth Agricultural Bureau International (CABI). Wallingford, United Kingdom.CD.
- Cañedo V., Ames T. 2004. *Manual de Laboratorio para el Manejo de Hongos Entomopatógenos*. Centro Internacional de la Papa (CIP), Lima, Perú. pp 62.
- Charnley, A.K., S.A. Collins, 2007. Entomopathogenic fungi and their role in pest control. In: Kubicek, C.P., I.S. Druzhinina (eds.), *Environmental and Microbial Relationship. The Mycota IV*. Springer-Verlag Belin Heidelberg. pp. 159-187.
- Cardoso L, Mendão C, Madeira de Carvalho L. 2012. Prevalence of *Dirofilaria immitis*, *Ehrlichia canis*, *Borrelia burgdorferi* sensu lato, *Anaplasma* spp. and *Leishmania infantum* in apparently healthy and CVBD-suspect dogs in Portugal – a national serological study. *Parasites & Vectors*, 5, 1-9.
- Carvajal JJ, Moncada LI, Rodríguez H, Pérez LP, Olano VA. Caracterización preliminar de los sitios de cría de larvas de *Aedes (Stegomyia) albopictus* (Skuse, 1984) (Díptera: Culicidae) en el municipio de Leticia, Amazonas, Colombia. *Biomédica*. 2009;29:413-123.
- CORPOICA. (2010). *Manejo de termitas en caucho mediante el uso de buenas prácticas*. Colombia. 20 p.
- Castillo & Wolff (2000). Aspectos del comportamiento de los triatominos (Hemiptera: Reduviidae), vectores de la enfermedad de Chagas.
- Castillo, CA; Cañizalez, LM; Valera, R; Godoy, JC; Guedez, C; Olivar, R. y Morillo, S. 2011. Caracterización morfológica de *Beauveria bassiana*, aislada de diferentes insectos en Trujillo - Venezuela. p. 275-281.
- Castro A., 2007. Principales plagas y enfermedades urbano en la localidad de Chapinero Bogotá D.C que afectan al arbolado: Jardín Botánico de Bogotá.
- Cattlin, N. (2011). Series que muestran el desarrollo de hongos entomopatógenos *Verticillium lecanii* sobre áfidos plagas host. Recuperado de <https://www.alamy.es/foto-series-que-muestran-el-desarrollo-de-hongos-entomopatogenos-verticillium-lecanii-sobre-afidos-plagas-host-49318981.html>.
- Chiriví-Salomón, J.S., Danies, G., Restrepo, S. & Sanjuan, T. (2015) *Lecanicillium sabanense* sp. nov. (Cordycipitaceae) a new fungal entomopathogen of coccids. *Phytotaxa* 234: 63-74. <http://dx.doi.org/10.11646/phytotaxa.234.1.4>
- Cohn F. 1872. *Untersuchungen Über Bakterien*. Beitrage zur Biologie Pflanz. 1:127-1224.
- Comisión Clínica de la Delegación del Gobierno para el Plan Nacional Sobre Drogas. Heroína. © Ministerio de Sanidad y Política Social Centro de Publicaciones Paseo del Prado, 18. 28014 Madrid. ISBN: 978-84-920522-7-1 (2009).
- DAMA. Territorio Río Tunjuelillo. 2006. Disponible

- en: http://observatorio.dama.gov.co/anexos/fichas/terr_tunjuelo.pdf. Consultado: 19/11/2009.
- De Benedictis J, Chow-Shaffer E, Costero A, Clark GG, Edman JD, Scott TW. Identification of the people from whom engorged *Aedes aegypti* took blood meals in Florida, Puerto Rico, using polymerase chain reaction-based DNA profiling. *Am J Trop Med Hyg.* 2003; 68:437-46.
- Delgado, P. A. M.; Murcia-Ordoñez, B. Hongos entomopatógenos como alternativa para el control biológico de plagas. *Ambi-Agua*, Taubaté, v. 6, n. 2, p. 77-90, 2011. (doi:10.4136/ambi-agua.187).
- Department of State, Risco Ricardo (2001) *Los Andes en peligro, Consecuencias ambientales del narcotráfico*, Washington, D.C. Banco Central de Reserva.
- Departamento Administrativo del medio Ambiente DAMA, Corporación Suna – Hisca (2009). *Componente biofísico, Geología, del parque Distrital Entrenubes, Bogotá Cundinamarca. Tomo 1.*
- Del Puerto Rodriguez, Asela M; Suarez Tamayo, Susana y Palacio Estrada, Daniel E. Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud. *Rev Cubana Hig Epidemiol*[online]. 2014, vol.52, n.3, pp.372-387. ISSN 1561-3003.
- Del Rincón, M. (2010). Los virus entomopatógenos: una alternativa viable en el control de plagas. En: Sociedad Mexicana de Control Biológico, *Memorias xxi Curso Nacional de Control Biológico* (pp. 111-120). Uruapan, México: Impresos Gutiérrez.
- Departamento Nacional de Planeación - DNP. (1994). *Programa de desarrollo alternativo. Documento Conpes 2734 Dnp-Uda-Ujs- MinJusticia y del Derecho, MinAgricultura y Desarrollo Rural, PNR, Dirección Nacional de Estupefacientes, Consejería Presidencial para la Política Social.* Santafé de Bogotá D.C. 23 p.
- Dirección Nacional de Estupefacientes. *Análisis de Recuperación de Cobertura Vegetal en Áreas Asperjadas Mediante Imágenes de Satélite.* En: <http://www.dne.gov.co/?idcategoria=1217> (8 febrero 2008) 34.
- Ecured. (2015). *Beauveria Bassiana* - *EcuRed*. Recuperado de: http://www.ecured.cu/index.php/Beauveria_Bassiana.
- Ecured. (2015). *Metarhizium Anisopliae* - *EcuRed*. Recuperado de: http://www.ecured.cu/Metarhizium_anisopliae
- Ecured. (2015). *Verticillium Lecanii* - *EcuRed*. Recuperado de: www.ecured.cu/Verticillium_Lecanii
- El CONPES, 2008. *Política Nacional Fitosanitaria y de Inocuidad para las Cadenas de Frutas y de otros vegetales.* Recuperado de http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/conpes/2008/Conpes_3514_2008.pdf
- Elizondo, E. C. 2006. *Insecticidas, Fungicidas y Nematicidas Naturales.* San José, Costa Rica.
- Farajollahi, A., Fonseca, D., Kramer, L. D., & Marm Kilpatrick, A. (2011). "Bird biting" mosquitoes and human disease: A review of the role of *Culex pipiens* complex mosquitoes in epidemiology. *Infection, Genetics and Evolution*, 11(7), 1577-1585. <https://doi.org/10.1016/j.meegid.2011.08.013>.
- France, A. (2017). *Fermentación y formulaciones de nemátodos entomopatógenos nativos para*

el control biológico de plagas de importancia agrícola. Recuperado de <https://docplayer.es/76365493-Uso-de-nematodos-entomopatogenos-para-el-control-de-insectos.html>

- Garcés Diego y De la Zerda Susana (2001), Gran Libro de los Parque Naturales de Colombia, Intermedio Editores, Bogotá, Colombia.
- García-Gutiérrez, Cipriano; Rodríguez-Meza, Guadalupe Durga. Problemática y riesgo ambiental por el uso de plaguicidas en Sinaloa. Ra Ximhai, vol. 8, núm. 3b, septiembre-diciembre, 2012, pp. 1-10. Universidad Autónoma Indígena de México El Fuerte, México.
- Gathan, J. 2003. Anopheles calderoni mosquito. Recuperado de <https://www.alamy.es/imagenes/culex-quinquefasciatus-mosquito.html>
- Gathan, J. 2003. Culex quinquefasciatus mosquito. Recuperado de <https://www.alamy.es/imagenes/culex-quinquefasciatus-mosquito.html>
- Gloria I. Giraldo-Calderón, 2008. Evaluación del triflumurón y la mezcla de Bacillus thuringiensis más Bacillus sphaericus para el control de las formas inmaduras de Aedes aegypti y Culex quinquefasciatus en sumideros en Cali, Colombia. Recuperado de <https://www.revistabiomedica.org/index.php/biomedica/article/view/93>
- González, R., Carrejo, N., Wilkerson, R. C., Alarcon, J., Alarcon-Ormasa, J., Ruiz, F., et al., (2010). Confirmation of Anopheles (Anopheles) calderoni Wilkerson, 1991 (Diptera: Culicidae) in Colombia and Ecuador through molecular and morphological correlation with topotypic material. Memórias do Instituto Oswaldo Cruz Cruz, 105, 1001 – 1009.
- Gonzalez JE, Hobbs EC & Losick R (2012) Cannibalism by sporulating bacteria. Science 301: 510–513.
- Griffin, C., N. Boemare and E. Lewis. 2005. Biology and behaviour. pp. 47-59 In: P. Grewal, R.-U. Ehlers and D. Shapiro-Ilan (Eds.). Nematode as Biocontrol Agents. CABI Publishing. Wallingford, U.K.
- Grygansky, A. P., Humber, R. A., Smith, M. E., Miadlikovska, J., Wu, S., Voigt, K., Walther, G., Anishchenko, I. M., & Vilgalys, R. 2012. Molecular phylogeny of the Entomophthoromycota. Molecular Phylogenetics and Evolution, 65(2), 682-694. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2012.07.026>
- Gutierrez G, Ana Isabel; Saldarriaga O, Yamille; Uribe S, Sandra and Pineda G, Fabio. Hongos asociados con termitas y termiteros en plantaciones de eucalipto. *Rev. Colomb. Entomol.* [online]. 2004, vol.30, n.1, pp.7-13. ISSN 0120-0488.
- Hajek, A. E. & N. V. Meyling. 2018. Fungi. En: Hajek, A. E. & D. I. Shapiro-Ilan (Eds.). Ecology of Invertebrate Diseases; First Edition. John Wiley & Sons Ltd. Oxford, UK. 671 pp
- Harrison, R. 2009. Structural divergence among genomes of closely related baculoviruses and its implications for baculovirus evolution. Journal of Invertebrate Pathology. 101 : 181 – 186.
- Haugen D. A y E. R. Hoebeke. 2005. Pest alert. Sirex woodwasp—Sirex noctilio F. (Hymenoptera: Siricidae). United States, Department of Agriculture, Forest Service,

Northeastern Area, State and Private Forestry. www.na.fs.fed.us.

- H. Dumas, (2008). Hembra tendida en el tronco de un *Pinus halepensis* recién cortado. Recuperado de [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sirex_noctilio_F_\(prof.\).JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sirex_noctilio_F_(prof.).JPG)
- Hidalgo, E. 2001. Uso de microorganismos para el control de *Phyllophaga* sp. Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica) no. 60: i-iv.
- H. Krisp, (2014). Control biológico de la procesionaria del pino (*Thaumetopoea pityocampa*) con el hongo *Cordyceps militaris*. Recuperado de https://commons.wikimedia.org/wiki/Cordyceps_militaris#/media/File:2008-12-14_Cordyceps_militaris_3107128906.jpg
- Huat, C. 2012. *Coptotermes curvignathus*. Recuperado de <https://www.biolib.cz/en/image/id197758/>
- Ince, I. A., Demir, I., Demirbag, Z., & Nalcacioglu, R. (2007). A cytoplasmic polyhedrosis virus isolated from the pine processionary caterpillar, *Thaumetopoea pityocampa*. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 17(4), 632-637.
- Index Fungorum (2015). Authors of fungal names [consultado 10 Feb 2015]. Disponible en: <http://www.indexfungorum.org/names/names.asp>.
- Instituto Colombiano Agropecuario, ICA. Boletín de estadísticas de comercialización de plaguicidas 2008. [Consultado el 11 de febrero de 2011]. Disponible en: <http://www.ica.gov.co/Areas/Agricola/Servicios/Regulacion-y-Control-de-Plaguicidas-Quimicos/Estadisticas-%281%29/2008-%281%29/Comerplag2008.aspx>
- Instituto Colombiano Agropecuario, ICA. 2010. Boletín epidemiológico: Situación actual de la cochinilla rosada del hibisco Pink Mealybug (*Maconellicoccus hirsutus*) (Homoptera: Coccoidea: Pseudococcidae) en Colombia. 10 p.
- Instituto Colombiano Agropecuario, ICA. (2010). Plan para el manejo y mitigación del riesgo ocasionado por la cochinilla rosada (*Maconellicoccus hirsutus*) y la chinche acanalada (*Crypticerya multicastrices*) en las islas de San Andrés y Providencia. Subgerencia de protección vegetal dirección técnica de epidemiología y vigilancia fitosanitaria; gerencia seccional San Andrés y Providencia. Julio 2010. 15 p.
- Instituto Colombiano Agropecuario, ICA. (2011). *Sirex noctilio*, Un riesgo para las plantaciones forestales. 10 p.
- Instituto Colombiano Agropecuario, ICA. (2012). Manejo integrado de plagas enfermedades en el cultivo del caucho (*Hevea brasiliensis*) – Medidas para la temporada invernal. 28 p.
- Instituto Colombiano Agropecuario, ICA. (2014). Trabaja para prevenir la introducción de plagas exóticas en Plantaciones Forestales del género “*Pinus*”. Recuperado de [https://www.ica.gov.co/noticias/agricola/2013-\(1\)/el-ica-trabaja-para-prevenir-la-introduccion-de-pl](https://www.ica.gov.co/noticias/agricola/2013-(1)/el-ica-trabaja-para-prevenir-la-introduccion-de-pl)
- ICTV. 2009. International Committee on Taxonomy of Viruses. Virus taxonomy. En: <http://www.ictvonline.org>. Consulta: 26/03/11.
- Instituto Nacional de Salud. Sistema Nacional de Vigilancia en Salud Pública- SIVIGILA. Instituto Nacional de Salud; Bogotá D.C.: 2009.

- Instituto Nacional de Salud. Boletín Epidemiológico Semanal número 52. Bogotá, D.C.: Instituto Nacional de Salud; 2015.
- Jaronski, S. T. 2014. Mass Production of Entomopathogenic Fungi: State of the Art. En: Morales-Ramos, J.; G. Rojas & D. I. Shapiro-Ilan. Mass Production of Beneficial Organisms: Invertebrates y Entomopathogens. Academic Press (Elsevier Inc.). London, UK. 765 pp.
- Jimenez M. 2009. Métodos de Control de Plagas. Managua, Nicaragua. universidad Nacional Agraria. 17 p.
- J.R.Pato, (2008). Control biológico de la procesionaria del pino (*Thaumetopoea pityocampa*) con el hongo *Cordyceps militaris*. Recuperado de https://commons.wikimedia.org/wiki/Cordyceps_militaris#/media/File:Puppenkernkeule_Cordyceps_militaris.JPG
- Karthik-Raja, R., Padmanaban, K. and S. Sivaramakrishnan. 2011. Entomopathogenic Nematodes: A Best Bio-control Agent for Insect Pest. LAP Lambert Academic Publishing, U.S.A. 128 p.
- Kalha, C.S. & Singh, P.P. & Kang, S.S. & Hunjan, M.S. & Gupta, V & Sharma, Rishu. (2014). Entomopathogenic Viruses and Bacteria for Insect-Pest Control.
- Kent RJ, Crabtree MB, Miller BR. Transmission of West Nile Virus By *Culex quinquefasciatus* infected with *Culex flavivirus* Izabal. Plos Neg Dis. 2010;4,4:e671.
- Kepler, R. M.; J. J. Luangsa-ard; N. L. Hywel-Jones; C. A. Quandt; G.-H. Sung; S. A. Rehner; M. C. Aime; T. W. Henkel; T. Sanjuan; R. Zare; M. Chen; Z. Li; A. Y. Rossman; J. W. Spatafora & B. Shrestha. 2017. A Phylogenetically-Based Nomenclature for Cordycipitaceae (Hypocreales). IMA Fungus, 8(2): 335-353.
- Klein, M.G., & Jackson, T.A. (1992). Bacterial diseases of scarabs. En J. Trevor & G. Travis (Eds.), Use of pathogens in scarab pest management (pp.43-61). Andover, EE. UU.: Intercept.
- Kondo, T., Ramos-Portilla, A. A., Vergara-Navarro, E. V. 2008. Updated list of mealybugs and putoids from Colombia (Hemiptera: Pseudococcidae and Putoidae). Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle 9 (1): 29-53.
- Kondo T., C. Unruh 2009. A New Species of *Crypticerya* Cockerell (Hemiptera: Monophlebidae) from Colombia, with a Key to Species of the Tribe Iceryini Found in South America. – Neotropical Entomology, 38 (1): 92-100.
- Kondo, T., Muñoz, J. A., López, R., Reyes, J., Monsalve, J., Mesa, N. C. 2011. Insectos escama y ácaros comunes del aguacate en el Eje Cafetero y el Valle del Cauca, Colombia. Corpoica. Produmedios, Bogotá, Colombia. 20 p.
- Kondo, T., Gullan, P., Ramos Portilla, A. A. 2012. Report of new invasive scale insects (Hemiptera: Coccoidea), *Crypticerya multicatrices* Kondo & Unruh (Monophlebidae) and *Maconellicoccus hirsutus* (Green) (Pseudococcidae), on the islands of San Andres and Providencia, Colombia, with an updated taxonomic key to iceryine scale insects of South America. Insecta Mundi 0265: 1-17.
- Kondo, T., Simbaqueba Cortés, R. 2014. *Sarucallis kahawaluokalani* (Kirkaldy) (Hemiptera: Aphididae), a new invasive aphid on San Andres island and mainland Colombia, with

notes on other recent invasive species. *Insecta Mundi* 0362: 1-10.

- Kondo, 2015. Insectos plaga del árbol urbano con énfasis en los insectos escama (hemiptera: coccoidea) en Colombia. Memorias congreso colombiano de entomología, 42° Congreso SOCOLEN. Recuperado de https://kipdf.com/insectos-plaga-del-arbol-urbano-con-énfasis-en-los-insectos-escama-hemiptera-coc_5ae972ea7f8b9a710e8b4641.html.
- Koppenhofer M.A. and Fuzy E.M. 2006. Effect of soil type on infectivity and persistence of the entomopathogenic nematodes *Steinernema scarabai*, *Steinernema glaseri*, *Heterorhabditis zealandica* and *Heterorhabditis bacteriophora* *Journal of invertebrate Pathology* 92:11- 22.
- Koppenhöfer, A., H. Kaya. 2007. Ecological characterization of *Steinernema rarum*. *J. Invertebr. Pathol.* 73(1): 120-128.
- Kozánek, M. 2009. *Atta cephalotes*, Ecuador. Recuperado de <https://www.kozanek.com/en/insects/5261/>
- Kramer, J. P., & Steinkraus, D. C. 1981. Culture of *Entomophthora muscae* in vivo and its infectivity for six species of muscoid flies. *Mycopathologia*, 76(3), 139-143. <https://doi.org/10.1007/BF00437194>
- Lewis, E. and D. Clarke, 2012. Nematode Parasites and Entomopathogens. Pp. 395-426, in: F.Vega and H. Kaya. *Insect Pathology*, 2nd ed. Academic Press, CA, USA. 508 p.
- Li Y, Gu Y, Li J, Xu M, Wei Q and Wang Y. 2015. Biocontrol agent *Bacillus amyloliquefaciens* LJ02 induces systemic resistance against cucurbits powdery mildew.
- Loaiza, J. R., Scott, M. E., Bermingham, E., Sanjur, O. I., Rovira, J. R., Dutari, L. C., et al. (2013). Novel genetic diversity within *Anopheles punctimacula* s.l.: phylogenetic discrepancy between the barcode cytochrome c oxidase I (COI) gene and the rDNA second internal transcribed spacer (ITS2). *Acta Tropica*, 128, 61–69.
- Luis Guillermo Henao, German Amat, Tatiana Ibeth Sanjuan Giraldo, "Patrones de distribución espacial de *Cordyceps* spp. y su impacto sobre la mirmecofauna en selvas del piedemonte amazónico de Colombia" . En: Costa Rica Revista de Biología Tropical ISSN: 0034-7744 ed: Universidad De Costa Rica v.49 fasc.3-4 p.945 - 955,2001, DOI.
- Luangsa-ard, J. J.; N. L. Hywel-Jones; L. Manoch & R. A. Samson. 2005. On the Relationships of *Paecilomyces* Sect. *Isarioidea* Species. *Mycol. Res.*, 109 (5): 581-589.
- Mahecha Vega, G. E., Sánchez Hurtado, F., Chaparro Guerra, J. A., Cadena Carreño, H. G., Tovar Corzo, G., Villota Ojeda, L. A., ... Quintero, M. A. (2010). Arbolado urbano de Bogotá. Identificación, descripción y bases para su manejo. (Primera ed.). Bogotá - Colombia: Alcaldía Mayor de Bogotá, D.C., Secretaría Distrital de Ambiente, SDA - Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis. Recuperado de: http://www.secretariadeambiente.gov.co/sda/libreria/pdf/Arbolado_Urbano_Bogota/Arbolado1.pdf
- Mahdi, M. 2009. *Aedes aegypti* en Dar es Salaam, Tanzania. Recuperado de https://en.wikipedia.org/wiki/File:Aedes_aegypti.jpg
- Maughan H and van der Auwera G. 2011. *Bacillus* taxonomy in the genomic era finds phenotypes to be essential though often misleading. *Infection, Genetics and Evolution*.

11:789- 797. <http://dx.doi.org/10.1016/j.meegid.2011.02.001>

- McCall PJ, Kittayapong P. Working paper 6.2. Control of dengue vectors: Tools and strategies. En: Scientific Working Group. Report on Dengue. Geneva: WHO; 2006. p. 110-9.
- Mesa, F., Cárdenas, J., & Villamil, L. (2005). Las encefalitis equinas en la salud pública.
- Mier-Durante, M.P. & N. Pérez Hidalgo 2004. Capítulo 40. Hemípteros. Subórdenes Sternorrhyncha, Clypeorrhyncha y Archaeorrhyncha. En: Barrientos, J.A. (Ed.) Curso Práctico de Entomología. En: Manuals de la Universitat Autònoma de Barcelona 41. 625-644.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 1997. La Política Nacional de Producción más Limpia. Recuperado de http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/Normativa/Políticas/polit_produccion_mas_limpia.pdf
- Montoya, J., Solarte, A. Y., Giraldo-Calderon, G. I., Quinones, ~ L. M., Ruiz, L. F., Wilkerson, R. C., et al. (2011). Malaria vector species in Colombia - a review. Memórias do Instituto Oswaldo Cruz, 106, 223–238.
- Mora-Covarrubias, A.; Jimenez-Vega, F.; Trevino-Aguilar, S. M. 2010. Distribución geoespacial y detección del virus del dengue en mosquitos *Aedes (Stegomyia) aegypti* de Ciudad Juárez, Chihuahua, México. Salud pública Méx [online]. 2010, vol.52, n.2, pp. 127-133. ISSN 0036-3634.
- Mori, H., & Metcalf, P. (2010). Cypoviruses. En S. Asgari, & K. N. Johnson (Eds.), Insect virology (pp. 307-323). Haverhill, Reino Unido: Caister Academic Press.
- Morton Juaneda (2009) Barcelona; Tesis doctoral: Los nematodos entomopatógenos (*Rhabditida: Steinernematidae y Heterorhabditidae*) para el control del gusano cabezudo *Capnodis tenebrionis* (coleóptera: *Buprestidae*; Universidad Autónoma de Barcelona – UAB, Unidad de Zoología; Dirigida por Fernando García del Pino, Disponible en: <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/3705/amj1de1.pdf?sequence=1>
- Mondini, A., Cardeal, I. L. S., Lázaro, E., Nunes, S. H., Moreira, C. C., Rahal, P., ... Nogueira, M. L. (2007). Saint Louis Encephalitis Virus, Brazil. Emerging Infectious Diseases, 13(1), 176–178. <https://doi.org/10.3201/eid1301.060905>
- Moscardi F, Lobo M, Batista M, Lara M, Szewczyk B. 2011. Chapter 16: Baculovirus Pesticides: Present state and future perspectives. Agricultural and Environmental Applications. 1-31.
- Naranjo-Díaz, N., Altamiranda, M., Luckhart, S., Conn, J.E. y Correa, M. (2014). Malaria vectors in ecologicall y heterogeneous localities of the Colombian Pacific region. PLoS One, 9. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0103769>.
- Ocampo, O. 2011. El cambio climático y su impacto en el agro. Revista de Ingeniería, (22), 115-123. Disponible en: <redalyc.org/pdf/1210/121022658012.pdf>
- Olano, V., Brochero, H., Sáenz, R., Quiñones y M. Molina, J. (2001). Mapas preliminares de la distribución de especies de *Anopheles* vectores de malaria en Colombia. *Revista Biomedica*, 21, 402- 408.

- Ortiz-Urquiza, A. & N. O. Keyhani. 2013. Action on the Surface: Entomopathogenic Fungi versus the Insect Cuticle. *Insects*, 4, 357-374.
- Padilla JC, Rojas DP, Gómez RS. Dengue en Colombia: epidemiología de la reemergencia a la hiperendemia. Bogotá, D.C.: Guías de Impresión Ltda.; 2012.
- PAN-UK. 2009. La Lista de Listas. Documento Informativo. Londres: Red de Acción en Plaguicidas del Reino Unido. Disponible en: <http://www.pan-uk.org> Consultado el 6 septiembre del 2010.
- Parsa, S. 2012. Inoculación y establecimiento endofítico de cepas de los hongos entomopatógenos *Beauveria bassiana*, *metarhizium anisopliae* y *lecanicillium lecanii* en plantas de fríjol (*phaseolus vulgaris*). Recuperado de <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/9532/1/CB-0463666.pdf>
- Perera, S., Li, Z., Pavlik, L., & Arif, B. (2010). Entomopoxviruses. Ascoviruses. En S. Asgari & K. Johnson (Eds.), *Insect virology* (pp. 83-102). Norfolk, Reino Unido: Caister Academic Press.
- Pierre-Olivier Méthot & Samuel Alizon (2014) What is a pathogen? Toward a process view of host-parasite interactions, *Virulence*, 5:8, 775-785, DOI: [10.4161/21505594.2014.960726](https://doi.org/10.4161/21505594.2014.960726)
- Posada, R. H. & Forigua Acosta, L. (2008). Eficacia de dos hongos entomopatógenos para el control de *Pseudococcus* spp. *Perez Arbelaezia*, 19, 139-149.
- Productos Biológicos Perkins. 2016. METABIOL: *Metarhizium anisopliae*. (en línea). Palmira Valle, Colombia. Consultado el 20 nov. 2016. Disponible en: <http://perkinsltda.com.co/metabiol/>
- Pucheta Diaz, M.; Flores Macias, A.; Rodriguez Navarro, S.; De La Torre, M. Mecanismo de acción de los hongos entomopatógenos. *INCI*, v. 31, n. 12, p. 856-860, 2006.
- Quiroga, Ivonne et al., 2011. *Paecilomyces* sp. como alternativa de control de la cochinilla Acanalada (*Crypticeria multicatrics* Cockerell) en San Andres, Colombia. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/281274315_Paecilomyces_sp_como_alternativa_de_control_de_la_cochinilla_acanalada_crypticeria_multicatrics_cockerell_en_San_Andres_Colombia.
- Raaijmakers JM and Mazzola M. 2012. Diversity and Natural Functions of Antibiotics Produced by Beneficial and Plant Pathogenic Bacteria. *Annual Reviews of Phytopathology*. 50:403-424. <http://dx.doi.org/10.1146/annurevphyto-081211-172908>.
- Ramírez JA, Lacasaña M. 2001. Plaguicidas: clasificación, usos, toxicología y medición de la exposición. *Arch. Prev. Riesgos Labor*. 4(2):67-75.
- Realpe, M. E., Hernández, C. A., & Agudelo, C. I. (2002). Especies del género *Bacillus*: morfología macroscópica y microscópica. *Biomédica*, 22(2), 106-9. <https://doi.org/10.7705/biomedica.v22i2.1148>
- Renault, S., Stasiak, K., Federici, B., & Bigot, Y. (2005). Commensal and mutualistic relationships of reoviruses with their parasitoid wasp hosts. *Journal of Insect Physiology*, 51(2), 137-148.
- Resolución 4174 de 2009. Instituto Colombiano Agropecuario. Recuperado de <https://www.ica.gov.co/normatividad/normas-ica/resoluciones-oficinas->

nacionales/resoluciones-derogadas/res-4174-de-2009.aspx

- Resolución 1427 de 2017. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Recuperado de <http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/11-res%201427%20de%202017.pdf>
- Rivera Amita, María M. y R. A. Orama. 2002. Informe de tema. Principales plagas reportadas en la E. E. P. M." Dr. Juan T. Roig". Inédito.42. Rosenthal, Erika. 2002. Free Trade and Pesticides in Central America. *Global Pesticide Campaigner*. 12 (3): 9-11.
- Rocha, L.F., Inglis, P.W., Humber, R.A., Kipnis, A., y Luz C. 2013. Occurrence of *Metarhizium* spp. in Central Brazilian soils. *Journal Basic Microbiol*. 53(3): 251-259.
- Rohrmann, G. 2011. *Baculovirus molecular biology* Second edition. Ed. Bethesda (MD): National Library of Medicine (US), NCBI. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK49500/>.
- Rubio, E. (2013). *Entomophthora muscae* (Cohn) Fresen. Recuperado de <https://www.asturnatura.com/fotografia/setas-hongos/entomophthora-muscae-cohn-fresen-1/15903.html>
- Ruiz-López F, González-Mazo A, Vélez-Mira A, Gómez GF, Zuleta L, Uribe S, et al. Presencia de *Aedes* (*Stegomyia*) *aegypti* (Linnaeus, 1762) y su infección natural con el virus dengue en alturas no registradas para Colombia. *Biomédica*. 2016;36:303-8. <https://doi.org/10.7705/biomedica.v36i2.3301>.
- Sanjuan T, Tabima J, Restrepo S, Læssøe T, Spatafora JW, Franco AE, 2014. Entomopathogens of Amazonian stick insects and locusts are members of the *Beauveria* species complex (*Cordyceps* sensu stricto). *Mycologia* 106: 260-275.
- Sanjuan, T. 2014. Estudio Filogenético de la Interacción *Cordyceps*-Insectos en el Noroeste Amazónico: Un Análisis Morfológico, Molecular y Ecológico. Tesis de Doctorado, Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. 100 ppt.
- Shrestha, B.; W.-H. Lee; S.-K. Han & J.-M. Sung. 2006. Observations on Some of the Mycelial Growth and Pigmentation Characteristics of *Cordyceps militaris* Isolates. *Mycobiology*, 34(2): 83-91.
- Shrestha, B; E. Tanaka; J.-G. Han; J. Oh; S.-K. Han; K.-H. Lee & G.-H. Sung. 2014. A Brief Chronicle of the Genus *Cordyceps* Fr., the Oldest Valid Genus in *Cordycipitaceae* (*Hypocreales*, *Ascomycota*). *Mycobiology*, 42(2): 93-99.
- Shrestha, B.; E. Tanaka; M. W. Hyun; J.-G. Han; C. S. Kim; J. W. Jo; S.-K. Han; J. Oh & G.-H. Sung. 2016. Coleopteran and Lepidopteran Hosts of the Entomopathogenic Genus *Cordyceps* sensu lato. *J. Mycol.*, 2016: 01-14.
- Shrestha, B; G.-H. Sung & J.-M. Sung. 2017. Current Nomenclatural Changes in *Cordyceps* sensu lato and its Multidisciplinary Impacts. *Mycology*, 8(4): 293-302.
- Sasaki, T.; Kobayashi, M.; Agui, N. 2000. Epidemiologi- Epidemiological potential of excretion and regurgitation by *Musca domestica* (Diptera: Muscidae) in the dissemination of *Escherichia coli* 0157: H7. *Food. J. Med. Entomol*. 37(6):945-949.
- SILVA-GÓMEZ, M., QUIROZ-GAMBOA, J.A., HOYOS-CARVAJAL, L.M., YEPES-R., F.C., MAYA-A., M.F. & SANTOS-M., A., 2017.- Coccinélidos depredadores de

Crypticerya multicatrides (Hemiptera: Monophlebidae) en San Andrés Isla, Colombia. Bol. Cient. Mus. Hist. Nat. Univ. Caldas, 21 (1): 165-173. DOI: 10.17151/bccm.2017.21.1.13

- Silvia Restrepo Restrepo, Tatiana Ibeth Sanjuan Giraldo, Ana Esperanza Franco Molano, Javier Tabima, Joseph Spatafora, "Los entomopatógenos de los insectos y las langostas amazónicas son miembros del complejo de especies de *Beauveria* (*Cordyceps* sensu stricto)". En: Estados Unidos Mycologia ISSN: 0027-5514 ed: Jardín Botánico de Nueva York v.106 fasc.2 p.260 - 275, 2014, DOI: 10.3852 / 106.2.260.
- Sivigila. Informe de intoxicaciones por plaguicidas. Grupo Factores de Riesgo Ambiental-Subdirección Vigilancia y Control en Salud Pública; 2010.
- Soberon M & Bravo A (2009) *Bacillus thuringiensis* y sus toxinas insecticidas. Microbios en línea. UNAM México. Disponible en BioTecnología, Año 2014, Vol. 18 No. 1 49 <http://www.biblioweb.dgsc.unam.mx/libros/microbios/Cap12>.
- Sung, G. H., Hywel-Jones, N. L., Sung, J. M., Luangsa-Ard, J. J., Shrestha, B. y Spatafora, J. W. (2007). Phylogenetic classification of *Cordyceps* and the clavicipitaceous fungi. *Studies in Mycology*, 57, 5–59.
- Surendra Dara, (2014). Chinche (*Lygus hesperus*) invadida por el hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana*. Recuperado de <https://www.intagri.com/articulos/fitosanidad/beauveria-bassiana-en-el-control-biologico-de-patogenos>
- Tanaka, H., Kondo, T. 2015. Description of a new soft scale insect of the genus *Pulvinaria* Targioni.
- Tatiana, Sanjuán; Henao, Luis Guillermo y Amat, Germán. Distribución espacial de *Cordyceps* spp. (Ascomycotina: Clavicipitaceae) y su impacto sobre las hormigas en selvas del piedemonte amazónico de Colombia. *Rev. biol. trop* [online]. 2001, vol.49, n.3-4, pp.945-955. ISSN 0034-7744.
- Tatiana Ibeth Sanjuan Giraldo, Joseph Spatafora, "Propuestas nomenclaturales basadas en filogenética para *Ophiocordycipitaceae* (Hypocreales) con nuevas combinaciones en *Tolypocladium*". En: Países Bajos IMA Fungus ISSN: 2210-6340 ed: Asociación Internacional de Micología v.5 fasc.1 p.121 - 134, 2014, DOI: doi: 10.5598 / imafungus.2014.05.01.12.
- Tatiana Ibeth Sanjuan Giraldo, Ana Esperanza Franco Molano, Javier Tabima, Joseph Spatafora, Silvia Restrepo Restrepo, "Cinco nuevas especies de hongos entomopatógenos del Amazonas y la evolución de los *Ophiocordyceps* neotropicales". En: Inglaterra *Biología Fúngica* ISSN: 1878-6146 ed: Elsevier Bv v.119 fasc.10 p.901 - 916, 2015, DOI: <http://www.journals.elsevier.com/fungal-biology/>.
- Tatiana Ibeth Sanjuan Giraldo, Giovanna Danies Turano, Juan Sebastián Chirivi Salomon, Silvia Restrepo Restrepo, Roció Sierra Ramirez, "Perfil metabólico y composición de nucleósidos de *Cordyceps nidus* sp. Nov. (*Cordycipitaceae* activo). En: Colombia PLoS ONE ISSN: 1932-6203 ed: Public Library of Science v.N / A fasc. p.1-27, 2017, DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0179428>.
- Tejera-Hernández B, Rojas-Badía MM y Heydrich-Pérez M. 2011. Potencialidades del género

- Bacillus en la promoción del crecimiento vegetal y el control de hongos fitopatógenos. Revista CENIC Ciencias Biológicas. 42:131-138. Disponible en línea: <http://www.redalyc.org/pdf/1812/181222321004.pdf>.
- Thiem, S., Cheng, X. 2009. Baculovirus Host Range. Virologica Sinica. 24 (5) : 436-457.
- Trajkovska S, Mbaye M, Seye MG, Aaron JJ, Chevreuil M, Blanchoud H. Toxicological study of pesticides in air and precipitations of Paris by means of a bioluminescence method. Analytical and Bioanalytical Chemistry 2009;394:1099-1106.
- Trevisan M, Montepiani C, Ragozza L, Bartoletti C, Loannilli E, Del Re AAM. Pesticides in rainfall and air in Italy. Environmental Pollution 1993;80:31-39.
- Tovar, C. 2008. Evaluación de la capacidad antagonista “in vivo” de aislamientos de Trichoderma spp. frente al hongo fitopatógeno Rhizoctonia solani. Recuperado de <https://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis98.pdf>.
- Tuli, H. S., Sandhu, S. S. y Sharma, A. K. (2014). Pharmacological and therapeutic potential of Cordyceps with special reference to Cordycepin. Biotech, 4, 1–12.
- Ugbogu, O.; Nwachukwu, N.; Ogbuagu, V. 2006. Isolation of Salmonella and Shigella species from house flies (Musca domestica) in Uturu, Nigeri. Afr. J. Biotech. 5(11):1090-1091.
- Valencia, S. 2014. Efecto de microorganismos entomopatógenos y antagonicos como potenciales agentes de control biológico de hormiga arriera Atta cephalotes (Hymenoptera: Myrmicinae). Recuperado de <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/8080/1/CB-0505894.pdf>.
- Van Driesche RG, Hoddle MS, Center TD, Ruiz CE, Coronada BJ, Manuel AJ. Control de plagas y malezas por enemigos naturales. Washington. U. S. D. A, 2007: 3-46.
- Van Regenmortel, M.H.V.; C.M. Fauquet, D.H.L. Bishop, E.B. Carstens, M.K. Estes, S.M. Lemon, J. Maniloff, M.A. Mayo, D.J. McGeoch, C.R. Pringle Y R.B. Wickner. 2000. Virus taxonomy, seventh report of the International Committee on Taxonomy of Viruses. Academic Press, San Diego, USA.
- Vega, F. E.; N. V. Meyling; J. J. Luangsa-ard & M. Blackwell. 2012. Fungal Entomopathogens. En: Vega, F. E. & H. K. Kaya (Eds.). Insect Pathology; Second Edition. Academic Press (Elsevier Ltd.). London, UK. 497 pp.
- Volkman, L. 2007. Baculovirus infectivity and the actin cytoskeleton. Current Drug Targets 8: 1075-1083.
- Wang, C. and Xia, Y. (2011). Muscardina Verde causada por *Metarhizium anisopliae*. Recuperado de <https://www.lifeder.com/metarhizium-anisopliae/>
- Wang X, Wang L, Wang J, Jin P, Liu H and Zheng Y. 2014. Bacillus cereus AR156-Induced Resistance to Colletotrichum acutatum Is Associated with Priming of Defense Responses in Loquat Fruit. PLoS ONE. 9(11):e112494. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0112494>.
- Wen, T. C., Li, M. F., Kang, J. C. y He, J. (2012). A molecular genetic study on fruiting-body formation of Cordyceps militaris. African Journal of Microbiology Research, 6, 5215–5221.
- Yuri Calle, 2011. Mecanismo de infección de hongos entomopatógenos. Recuperado de <http://natzone.org/index.php/component/content/article/17-diversidad-biologica/401->

que-son-los-hongos-entomopatogenos

- Zhanga, YJ; Fengb, MG; Fana, YH; Luoa, ZB; Yanga, XY. y Wua, De. 2008. A cuticledegrading protease (CDEP-1) of Beauveria bassiana enhances virulence. *Biocontrol Science and Technology*. 18(6). p. 543-555.
- Zittra, C., E. Flechl, M. Kothmayer, S. Vitecek, H. Rossiter, T. Zechmeister, and H.P. Fuehrer. 2016. Ecological characterization and molecular differentiation of Culex pipiens complex taxa and Culex torrentium in eastern Austria. *Parasit. Vectors* 9: 197.
- Zumbado, M. A. y Azofeifa, D. 2018. Insectos de Importancia Agrícola. Guía Básica de Entomología. Heredia, Costa Rica. Programa Nacional de Agricultura Orgánica (PNAO). 204 pp.