

Universidad de La Salle
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Maestría en Agrociencias



Desarrollo de una estrategia para el manejo integrado de enfermedades del cultivo de mora
(*Rubus glaucus*, Benth) en función de su sostenibilidad

Yimmy Alexander Zapata Narvéez

Trabajo de grado como requisito para optar el título de:
Magister en Agrociencias

Bogotá, Colombia

2018

Universidad de La Salle
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Maestría en Agrociencias



Desarrollo de una estrategia para el manejo integrado de enfermedades del cultivo de mora
(*Rubus glaucus*, Benth) en función de su sostenibilidad

Trabajo de grado

Yimmy Alexander Zapata Narváz

MA161200

Director

Manuel Santiago Sáenz Torres, PhD.

Co director

Camilo Rubén Beltrán Acosta, MSc.

Bogotá, Colombia

2018

Aprobación

DIRECTOR

Manuel Santiago Sáenz Torres. PhD.

CODIRECTOR

Camilo Rubén Beltrán Acosta. MSc.

JURADO

Lucía Cristina Lozano Ardila. PhD.

JURADO

María Clemencia Forero de la Rotta. MSc.

JURADO

John Cristhian Fernández Lizarazo. MSc.

Directivas de La Universidad de La Salle

| | |
|---|--------------------------------------|
| RECTOR | Hno. Alerto Prada Sanmiguel |
| VICERRECTORA ACADÉMICA | Dra. Carmen Amalia Camacho |
| VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA | Hno. Luis Fernando Ramírez Hernández |
| VICERRECTOR DE PROMOCIÓN Y DESARROLLO HUMANO | Hno. Diego Andrés Mora Arenas |
| VICERRECTOR ADMINISTRATIVO | Dr. Carlos Eduardo Navarrete |
| DECANO FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS | Hno. Ariosto Ardila Silva |
| DIRECTORA MAESTRÍA EN AGROCIENCIAS | Dra. Liliana Chacón Jaramillo |

Compromiso

Los trabajos de grado no contienen ideas que sean contrarias a la doctrina católica en asuntos de dogma y moral.

Ni la Universidad, ni el director, ni el jurado calificador son responsables de las ideas expuestas por el graduando.

Agradecimientos

Este trabajo ha representado un reto profesional, académico y personal, constituye un proceso de investigación forjado a lo largo de mi experiencia como investigador, en el que de un modo u otro, personas importantes de mi vida personal y profesional han contribuido con su enriquecimiento, demostrando su interés y apoyo.

Por ello quiero expresar mi más profundo agradecimiento a:

Mis directores, el doctor Manuel Santiago Sáenz Torres y al investigador MSc, Camilo Rubén Beltrán Acosta, por su orientación, consejo y dedicación.

La Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, por confiar en mí, por haberme concedido el tiempo para formarme y brindarme la oportunidad de crecer como profesional.

A Jenny, por compartir conmigo este camino y con su alegría hacerlo más sencillo, por su apoyo incondicional y su consejo constante.

A mis amigos Andrés y Camilo, por su apoyo y aliento constante.

A mis profesores y evaluadores, por su guía y consejo.

A mis compañeros, por sus aportes y por todos los buenos momentos.

Resumen

La producción de la mora en Colombia es fuente de ingreso y empleo rural en 18 departamentos, sin embargo la planta es afectada por enfermedades como el moho gris, la antracnosis y el mildew veloso que pueden ocasionar pérdidas superiores al 70%. Su control se realiza principalmente con fungicidas de síntesis química como Benomil, Carbendazim o Mancozeb, aplicados cada 7 o 15 días. No obstante, al ser una planta de fructificación continua de cosecha semanal, la proximidad temporal entre la aplicación de plaguicidas, la cosecha y su consumo representa un riesgo para la salud dada la residualidad de estas moléculas, condición que afecta su inocuidad y sostenibilidad. En este sentido, este trabajo tuvo como objetivo desarrollar una estrategia de manejo integrado de estas enfermedades, para lo cual de acuerdo con la reducción de la incidencia de éstas, se evaluaron y seleccionaron en cultivos comerciales alternativas de manejo correspondientes a dos bioplaguicidas a base de *Trichoderma* spp., dos extractos vegetales comerciales y fungicidas con registro del Instituto Colombiano Agropecuario para su uso en el cultivo. Dada la eficacia en el control, se seleccionaron los extractos Kendal[®] y EcoSwing[®], el bioplaguicida Tricotec[®] y los fungicidas Amistar Top[®], Botrylex[®] y Trivia[®]. Se plantearon dos estrategias integrando labores agronómicas con aplicaciones de Tricotec[®]-Kendal[®] o Tricotec[®]-EcoSwing[®] y los fungicidas según la incidencia de cada enfermedad, comparándolas con el manejo del productor. Durante un período de 77 días, se determinó su eficacia sobre la reducción de la incidencia, la producción de fruta, su impacto ambiental mediante el cálculo del Coeficiente de Impacto Ambiental en campo (CIAc) y sobre la reducción de residuos de plaguicidas en la fruta. De acuerdo con los resultados obtenidos se estableció que la estrategia Tricotec[®]-Kendal[®] con aplicaciones de Amistar Top[®], presentó la menor incidencia para cada enfermedad promediando 3% para la presencia de moho gris, 11% para antracnosis y 21% para mildew veloso y la mayor cantidad de fruta cosechada

promediando 5.668 g. Adicionalmente presentó el CIAc más bajo con 5,3 comparado con el 81,50 del modelo productor, así como la menor cantidad de trazas de plaguicidas correspondiente a Azoxystrobin (0,10 mg/Kg) y Difeconazole (0,046 mg/Kg) (principios activos de Amistar Top[®]), encontrándose dentro de los Límites Máximos de Residuos de plaguicidas autorizados por la Unión Europea para moras.

Palabras clave: Agroecosistema, control, eficacia, inocuidad, impacto ambiental.

Abstract

The blackberry crops in Colombia is a source of income and rural employment in 18 departments. However, it is affected by diseases such gray mold, anthracnose and downy mildew, that can cause losses up to 70%. The control of these diseases is mainly carried out with chemical synthesis fungicides such as Benomyl, Carbendazim and Mancozeb, applied every 7 or 15 days. Nevertheless, being a plant of continuous fructification of weekly harvest, the temporal proximity between the pesticides application, the harvest and its consumption, represents a health risk by the residually of these molecules, condition that affects it's innocuousness and sustainability. Agree with this, this work aimed to develop an integrated diseases management strategy, for which, according to the incidence reduction of each disease, in commercial crops were evaluated and selected different management alternatives corresponding to two biopesticides based on *Trichoderma* spp., two commercial plant extracts and fungicides with registration of the Colombian Agricultural Institute for use in this crop. According to the control efficacy, the plant extracts Kendal[®] and EcoSwing[®], the biopesticide Tricotec[®] and the fungicides Amistar Top[®], Botrylex[®] and Trivia[®] were selected. Two strategies were proposed integrating agricultural labor practice with applications of Tricotec[®]-Kendal[®] or Tricotec[®]-EcoSwing[®] and the fungicides according to the incidence of each disease, comparing them with the farmer model. In a period of 77 days, was determined the effectiveness of the strategies on the reduction of the diseases incidence, on the fruit production, on the environmental impact determining the field Environmental Impact Coefficient (EIQf) and on the reduction of pesticides residues in the fruit. According with the obtained results, the strategy Tricotec[®]-Kendal[®] with applications of Amistar Top[®] showed the lowest incidence for each disease, averaging 3% for gray mold, 11% for anthracnose and 21% for downy mildew, additionally showed the highest amount of fruit harvested averaging 5.668 g.

Additionally, this strategy showed the lowest EIQf with 5.3 compared with the 81.50 of the farmer model, as well as the least amount of pesticides residues, corresponding to Azoxystrobin (0.10 mg/Kg) and Difeconazole (0.046 mg/Kg) (active ingredients of Amistar Top[®]), values included within the Maximum Residue Limits of pesticides by the European Union for blackberry.

Keywords: Agroecosystem, control, efficacy, safety, environmental impact.

Tabla de contenido

| | |
|--|----|
| 1. Introducción..... | 1 |
| 1.1 Planteamiento del problema y justificación..... | 4 |
| 1.2 Objetivo general y específicos | 10 |
| 1.3 Hipótesis general del proyecto..... | 10 |
| 2. Marco teórico..... | 11 |
| 2.1 Actualidad del cultivo de mora en Colombia | 11 |
| 2.2 Enfermedades limitantes asociadas al cultivo de mora..... | 12 |
| 2.2.1 Manejo del moho gris, la antracnosis y el mildew veloso..... | 17 |
| 2.3 Alternativas para un manejo sustentable del agroecosistema de la mora | 17 |
| 2.3.1 Control biológico mediante el uso de bioplaguicidas..... | 18 |
| 2.3.2 Control mediante el uso extractos vegetales..... | 20 |
| 2.4 Manejo integrado del cultivo | 21 |
| 2.4.1 Evaluación del impacto ambiental del manejo integrado en el agroecosistema..... | 22 |
| 3. Metodología..... | 25 |
| 3.1 Determinación del estado fitosanitario y selección de cultivos..... | 25 |
| 3.1.1 Área de estudio y método de trabajo..... | 25 |
| 3.2 Eficacia de alternativas en el control de las principales enfermedades del cultivo | 26 |
| 3.3 Desarrollo de una estrategia de manejo integrado de las principales enfermedades del cultivo | 31 |
| 3.4 Evaluación del impacto ambiental..... | 34 |
| 3.4.1 Determinación del Coeficiente de Impacto Ambiental en campo | 34 |

| | |
|---|-----|
| 3.4.2 Efecto sobre la de reducción de residuos de plaguicidas | 34 |
| 4. Resultados | 36 |
| 4.1 Determinación del estado fitosanitario y selección de cultivos | 36 |
| 4.2 Eficacia de alternativas en el control de las principales enfermedades del cultivo..... | 40 |
| 4.3 Desarrollo de una estrategia de manejo integrado de las principales enfermedades del cultivo | 45 |
| 4.3.1 Estrategia propuesta para el manejo integrado de las principales enfermedades del cultivo | 55 |
| 4.4 Evaluación del impacto ambiental | 58 |
| 4.4.1 Determinación del Coeficiente de Impacto Ambiental en campo..... | 58 |
| 4.4.2 Efecto sobre la de reducción de residuos de plaguicidas | 62 |
| 5. Discusión | 65 |
| 6. Conclusiones | 83 |
| 7. Recomendaciones..... | 86 |
| 8. Lista de referencias..... | 87 |
| 9. Anexos..... | 104 |

Lista de tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Variables y valoración para calcular el coeficiente de impacto ambiental de los plaguicidas | 24 |
| Tabla 2. Principios activos evaluados en el control de enfermedades en mora y posterior desarrollo de una estrategia de manejo integrado..... | 27 |
| Tabla 3. Niveles de severidad para antracnosis en tallos de mora | 30 |
| Tabla 4. Niveles de severidad para mildew veloso en folíolos de mora..... | 31 |
| Tabla 5. Fungicidas utilizados por el productor para el manejo de enfermedades en el municipio de Pasca..... | 36 |
| Tabla 6. Fungicidas utilizados por el productor para el manejo de enfermedades en el municipio de El Colegio..... | 37 |
| Tabla 7. Promedio del nivel de severidad en el tiempo para mildew veloso según el tratamiento evaluado para el cultivo del municipio de El Colegio..... | 41 |
| Tabla 8. Promedio del nivel de severidad en el tiempo para mildew veloso según el tratamiento evaluado para el cultivo del municipio de Pasca | 44 |
| Tabla 9. Promedio del nivel de severidad en el tiempo para antracnosis según el tratamiento evaluado para el cultivo del municipio de Pasca | 45 |
| Tabla 10. Coeficiente de impacto ambiental campo de la estrategia Tricotec [®] -Kendal [®] | 59 |
| Tabla 11. Coeficiente de impacto ambiental campo de la estrategia Tricotec [®] -EcoSwing [®] | 60 |
| Tabla 12. Coeficiente de impacto ambiental campo para el manejo productor en el municipio de El Colegio..... | 60 |
| Tabla 13. Coeficiente de impacto ambiental campo para el manejo productor en el municipio de Pasca..... | 61 |

| | |
|--|----|
| Tabla 14. Residuos de plaguicidas obtenidos en la fruta cosechada para cada tratamiento. | 63 |
| Tabla 15. Límite máximo de residuos de plaguicidas autorizados por la Comisión Europea en moras | 64 |
| Tabla 16. Proyección de la producción de fruta para cada tratamiento | 72 |
| Tabla 17. Períodos de carencia de los plaguicidas utilizados y encontrados en los análisis de residualidad | 80 |

Lista de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1. Síntomas producidos por el moho gris en frutos de mora | 14 |
| Figura 2. Síntomas de antracnosis en diferentes estructuras de la planta de mora | 15 |
| Figura 3. Síntomas de mildew veloso en diferentes estructuras de la planta de mora | 16 |
| Figura 4. Ecuación para calcular el el Coeficiente de Impacto Ambiental..... | 23 |
| Figura 5. Ecuación para calcular el Coeficiente de Impacto Ambiental en campo | 24 |
| Figura 6. Diagrama del diseño experimental y distribución de los tratamientos..... | 28 |
| Figura 7. Signos y síntomas del moho gris en frutos de mora para determinar su incidencia.. | 29 |
| Figura 8. Niveles de severidad para antracnosis..... | 30 |
| Figura 9. Niveles de severidad para mildew veloso | 31 |
| Figura 10. Diagrama del diseño experimental y distribución de los tratamientos..... | 33 |
| Figura 11. Tutor de un solo alambre utilizado en el municipio de El Colegio | 38 |
| Figura 12. Daño en las plantas en el cultivo del municipio de El Colegio | 39 |
| Figura 13. Tutor en cama establecido en el cultivo del municipio del Colegio..... | 39 |
| Figura 14. Incidencia del mildew veloso por tratamiento en el municipio de El Colegio ... | 40 |
| Figura 15. Incidencia del moho gris por tratamiento en el municipio de Pasca | 42 |
| Figura 16. Incidencia del mildew veloso por tratamiento en el municipio de Pasca..... | 43 |
| Figura 17. Incidencia de la antracnosis por tratamiento en el municipio de Pasca | 44 |
| Figura 18. Incidencia del moho gris por tratamiento después de 77 días de evaluación | 47 |
| Figura 19. Incidencia de la antracnosis en cada tratamiento después de 77 días de evaluación | 48 |

| | |
|---|----|
| Figura 20. Nivel de severidad para antracnosis por tratamiento después de 77 días de evaluación | 49 |
| Figura 21. Incidencia del mildew veloso por tratamiento después de 77 días de evaluación | 51 |
| Figura 22. Nivel de severidad para mildew veloso por tratamiento después de 77 días de evaluación | 52 |
| Figura 23. Registro de la temperatura y la humedad relativa..... | 53 |
| Figura 24. Fruta cosecha por tratamientos durante el período de evaluación | 54 |
| Figura 25. Tutor en cama establecido en el cultivo del municipio del Colegio | 57 |
| Figura 26. Frutas con signos de polinización deficiente | 75 |

Lista de siglas

| | |
|----------|--|
| ANLA | Autoridad Nacional de Licencias Ambientales |
| BOTMAN | Botrytis manager |
| BPA | Buenas Prácticas Agrícolas |
| CIA | Coefficiente de Impacto Ambiental |
| CIAc | Coefficiente de Impacto Ambiental campo |
| CORPOICA | Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria |
| CTA | Corredor Tecnológico Agroindustrial |
| EIQ | Environmental Impact Quotient |
| EPA | Environmental Protection Agency |
| ETU | Etilenotiourea |
| FAO | Food and Agriculture Organization |
| FRAC | Fungicide Resistance Action Committee |
| GUS | Groundwater Ubiquity Score |
| HR | Humedad Relativa |
| ICA | Instituto Colombiano Agropecuario. |
| IDEAM | Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales |
| ISO | International Organization for Standardization |
| LC-MS | Cromatografía Líquida y Espectrofotometría de Masas |
| LMR | Límites Máximos de Residuos |
| MADS | Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible |
| MADR | Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural |
| MIC | Manejo Integrado del Cultivo |
| MIPE | Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades |
| msnm | Metros sobre el nivel del mar |
| ONAC | Organismo Nacional de Acreditación |
| PIPA | Parcelas de Investigación Participativa con Agricultores |
| RSA | Resistencia Sistémica Adquirida |
| UE | Unidad Experimental |
| U.E | Unión Europea |

Lista de anexos

| | |
|--|-----|
| Anexo 1. Residuos de plaguicidas obtenidos en cada uno de los tratamientos..... | 104 |
| Anexo 2. Insectos polinizadores observados durante el desarrollo de la propuesta de manejo integrado | 106 |
| Anexo 3. Insectos observados durante el desarrollo de la propuesta de manejo integrado | 107 |
| Anexo 4. Insectos observados durante el desarrollo de la propuesta de manejo integrado | 108 |
| Anexo 5. Enlaces para la consulta de las fichas técnicas de los plaguicidas utilizados y descritos en el trabajo | 109 |

1. Introducción

En un mundo globalizado, los entornos rurales son observados como reservorio de oportunidades para contribuir con el crecimiento económico del país, sin aparentemente más territorios que ocupar en las ciudades. La agroindustria igualmente globalizada ha puesto sus ojos este entorno como fuente de adquisición de alimentos y materias primas. Sin embargo, para decantar y materializar estas oportunidades es prioritario incrementar la eficiencia en el uso de los recursos naturales presentes en los agroecosistemas, para lo cual es imponderable mejorar la forma en que se realiza la producción agrícola y de manera particular aquella relacionada con los pequeños productores, permitiendo de esta forma maximizar la agricultura familiar y los sistemas de producción locales sin extender la frontera agrícola.

De acuerdo con lo anterior, es muy importante considerar el manejo, aprovechamiento y la conservación de los recursos naturales ya que son la fuente de una gran diversidad de servicios ecosistémicos, que aunque muchas veces son ignorados, dinamizan silenciosamente la economía de los entornos rurales, particularmente aquellos relacionados con la conservación del suelo, el agua, la flora y fauna (Ruiz, Cardona, & Duque, 2012).

Sin embargo para alcanzar una producción en equilibrio con el ambiente, los modelos productivos agrícolas predominantes con una alta dependencia a una gran variedad de productos de síntesis química, deben migrar a modelos productivos sostenibles con una visión de largo plazo; para esta migración es necesario conocer y determinar las características y las dinámicas que se presentan en los agroecosistemas, para lo cual se debe establecer indicadores de impacto, que permitan valorar los riesgos de la actividad agrícola sobre el ambiente, los productores, su comunidad y los consumidores, y de esta forma construir estrategias que permitan prevenir y mitigar los impactos que puedan ser generados (Gallopín, 2006).

En este sentido, para el desarrollo de modelos productivos sostenibles, es necesario desarrollar y adoptar programas de manejo integrado de plagas y enfermedades (MIPE), el cual integra el uso de diferentes alternativas de control, ya sean biológicas, químicas o culturales, y que implican en cierta medida que el productor conozca aspectos básicos de la biología y el comportamiento de los patógenos o las plagas para su correcta identificación y determinan la toma de decisiones más acertadas para su manejo (Leake, 2000). Este cambio técnico impactará el agroecosistema en la medida en el que cambian las prácticas de control, presentando alternativas viables al uso inadecuado de plaguicidas.

Adicionalmente el desarrollo e implementación de las estrategias MIPE generaría beneficios directos al productor dado que puede optimizar la rentabilidad de los cultivos y generar valor agregado en torno a la inocuidad como elemento diferenciador, lo cual redefine la cadena de valor en su producción primaria, y concede oportunidades de ingresar a diferentes segmentos del mercado o fortalecer los eslabones de la cadena agrícola con el sector agroindustrial (Briz & de Felipe, 2011; Boletín del Observatorio de Redes Empresariales de Barrabés América, 2011).

En el mismo sentido, desde el contexto de las Agrocencias la adopción de estrategias MIPE y la aplicación de indicadores de impacto ambiental, aportan a la búsqueda de soluciones a problemas concretos del mundo rural a través de iniciativas que incorporen elementos sociales, culturales y económicos, priorizando el papel estratégico del recurso natural en la transformación de la producción agrícola, su vinculación con el mercado y los consumidores, dirigidas al desarrollo humano integral (Romero & Villamil, 2011).

Los cambios paulatinos que puedan ser integrados en los sistemas productivos con miras a su sostenibilidad, eventualmente aportarán al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible para 2030, relacionados particularmente al segundo y al decimoquinto objetivos:

“Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible”, cuya meta es erradicar el hambre en la población vulnerable y lograr la seguridad alimentaria, promoviendo la agricultura sustentable aplicando prácticas agrícolas resilientes que aumenten la productividad, contribuyan al mantenimiento de los ecosistemas y mejoren progresivamente la calidad de la tierra y el suelo y **“Proteger, restablecer y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, gestionar los bosques de forma sostenible, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y poner freno a la pérdida de la diversidad biológica”** donde es importante integrar los valores de los ecosistemas y la biodiversidad en la planificación de los procesos de desarrollo territorial y las estrategias de reducción de la pobreza (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD, 2017).

1.1 Planteamiento del problema y justificación

La mora (*Rubus glaucus*, Benth) en Colombia es una de las frutas más importantes con alta proyección comercial para su consumo tanto en fresco como procesada en la agroindustria, es cultivada en 19 de los 32 departamentos del país por pequeños y medianos productores en áreas de siembra que promedian 0,5 ha, asociando la mano de obra familiar para sustentar su rentabilidad (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural - MADR, 2015).

Si bien el área de cultivo de mora ha crecido en la última década pasando de 8.423 ha en 2001 a 14.000 ha en 2015, con una producción que para el mismo período paso de 67.269 ton/año a 116.000 t/año, su rendimiento promedio con 7,2 t/año es considerado bajo (MADR, 2015).

Una de las principales causas para el bajo rendimiento en la producción de la fruta es la incidencia de enfermedades como la ocasionada por el hongo conocido como moho gris *Botrytis cinerea* Pers.:Fr., la antracnosis producida por el hongo *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. y Sacc., y el oomycete biótrofo *Peronospora sparsa* Berkeley, los cuales pueden causar pérdidas de entre el 50% al 100% (Tamayo, 2003; Marulanda et al., 2007; Boyzo et al., 2015) potenciadas por la escasa oferta de alternativas para su manejo.

El principal método de control empleado son las aplicaciones de fungicidas de síntesis química, particularmente de Captan, Benomil, Carbendazim, Clorotalonil, Oxiclورو de cobre, Hidróxido cúprico, Mancozeb, Metalaxil entre otros, los cuales suelen ser aplicados en dosis superiores a las recomendadas con una frecuencia de 7 o 15 días, sin esquemas de rotación (Naranjo-Marín, 2011).

Dado que la mora es una planta de fructificación continúa, cuya fruta puede ser cosechada dos veces por semana, la residualidad de plaguicidas tiende a ser un aspecto común a su producción, principalmente por que no se pueden cumplir con los períodos de carencia establecidos

para los plaguicidas posterior a su aplicación, debido a que como mínimo se debe contar con un tiempo de entre 7 y 21 días entre aplicaciones para realizar la cosecha, adicionalmente debido a su corta vida de poscosecha, la mora es rápidamente comercializada en fresco en los diferentes canales de mercado principalmente en las centrales de abastos, plazas de mercado, grandes superficies y mercados de barrio, mientras que otra parte es transformada de forma industrial o artesanal, por lo cual no se cuenta con el tiempo suficiente para que las moléculas de los plaguicidas se degraden antes de llegar al consumidor final (Vásquez-Gallo,2010; Naranjo-Marín, 2011).

En consecuencia, esta condición también es una de las causas de los bajos volúmenes de exportación, debido a que compromete su inocuidad por utilizar plaguicidas que no están permitidos en los países de destino y es común encontrar trazas de estos productos en la fruta comercializada (MADR, 2015).

En este sentido, es preciso destacar que la exposición prolongada o repetitiva a fungicidas como Benomil, Carbendazim, Clorotalonil y Mancozeb, ha sido relacionada como causa de diferentes tipos de cáncer, problemas en la reproducción y el desarrollo embrionario, así como con mutaciones hereditarias ya que han sido categorizados como tóxicos para la reproducción y disruptores endocrinos (Karam et al, 2004, Pimentel, 2005). Razones por las cuales su uso está prohibido y restringido en Europa y Estados Unidos, en este sentido la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) (Environmental Protection Agency – EPA) en 2002 revocó todas las tolerancias para los residuos de Benomil restringiendo su uso (EPA, 2002; Dirección General de Agricultura del Ministerio de Agricultura Pesca, Alimentación y Medio Ambiente de España, 2008; UTZ Certified, 2015).

Adicionalmente, el uso prolongado e inadecuado de los plaguicidas también representa un riesgo de contaminación para el agroecosistema, debido principalmente a que algunos de los

plaguicidas utilizados en el cultivo son sistémicos, presentando una vida media que puede llegar hasta las cinco semanas (University of Hertfordshire, 2017a).

Su presencia y persistencia en el suelo puede tener efectos negativos que no se observan a corto plazo, muchos fungicidas tienen un efecto supresor de la micro y macrobiota del suelo, afectando procesos como la degradación de la materia orgánica, la cual facilita el ciclaje de nutrientes a través de los ciclos biogeoquímicos (C, N, H₂O) alterando así la estabilidad y la productividad del agroecosistema a largo plazo (Henaó & Corey, 1986; Wightwick et al, 2010).

Un ejemplo de esto es el efecto negativo que Benomil tiene sobre la germinación de las esporas y el crecimiento del micelio de los hongos formadores de micorrizas arbusculares, particularmente del género *Glomus*, que se encuentran comúnmente en la rizósfera y que forman una relación simbiótica con las raíces de una gran diversidad de plantas, con la cual se favorece la absorción de nutrientes, particularmente el fósforo, así como también la ampliación del sistema radicular de la planta más allá de la zona de agotamiento de nutrientes (Wan, Rahe & Watts, 1998; Chiocchio et al., 2000).

Frecuentemente los cultivos de mora se sitúan cerca a fuentes de agua las cuales pueden contaminarse afectando la biodiversidad en estos ecosistemas, dado que algunos de los plaguicidas utilizados en el cultivo presentan una acción de moderada a altamente peligrosa para algunas especies de peces, invertebrados y crustáceos (University of Hertfordshire, 2017a).

Por ejemplo Mancozeb presenta baja toxicidad y movilidad debido a que es insoluble en agua y se adsorbe fuertemente a las partículas del suelo, sin embargo su principal producto de degradación, la etilenotiourea (ETU) es muy estable y soluble en agua, pudiendo ser fuente de contaminación de aguas superficiales y subterráneas, este compuesto está clasificado como carcinógeno animal y probable carcinógeno humano (grupo B2) en base a pruebas de

carcinogenicidad en animales (EPA, 1992), considerándose extremadamente tóxico para anfibios, ligeramente tóxico para peces y medianamente tóxico para crustáceos (Roede & Miller, 2014).

Con respecto al efecto sobre los artrópodos, principalmente las abejas pueden estar expuestas a los fungicidas como consecuencia de sus actividades de búsqueda de alimento y aunque algunos fungicidas pueden no tener un efecto tóxico para su salud, pueden provocar en estos insectos la repelencia hacia el sustrato (flores), su desorientación o cambios de comportamiento, reduciendo su presencia en las áreas tratadas y por ende reduciendo la polinización de las flores repercutiendo en la producción de frutos. Además es importante considerar que los procedimientos para determinar la toxicidad de los plaguicidas normalmente solo se aplican para las abejas domésticas sin tener en cuenta otros agentes polinizadores (vanEngelsdorp & Meixner, 2010; Brittain et al, 2010).

En este contexto, es claro que la condición actual de producción del cultivo de mora afecta la sostenibilidad del agroecosistema, repercutiendo en la inocuidad de la fruta y en la posibilidad de generar valor agregado, de acuerdo con esto es prioritario desarrollar estrategias de manejo de enfermedades que contemplen el uso de diferentes alternativas que integradas reduzcan la dependencia a los fungicidas.

En este sentido, en Colombia se han realizado diferentes estudios enfocados al control de estas enfermedades mediante el uso de bioplaguicidas o de extractos vegetales, sin embargo han sido dirigidos al control de un patógeno en particular pero no han sido evaluados en esquemas de manejo integrado, por ejemplo en el caso particular del moho gris, en cultivos comerciales del municipio de Sylvania (Cundinamarca) con el uso de bioplaguicidas a base de *Trichoderma koningiopsis* cepa Th003 y *Rhodotorula glutinis* cepa Lv316 (sinónimo LvCo7) se obtuvo un control de la enfermedad superior al 60%, comparado con el 58 % y 27% obtenido con los fungicidas Prochloraz y Carbendazim respectivamente (Zapata & Cotes, 2013), en tanto que, en

condiciones de estación experimental con aplicaciones del extracto vegetal EcoSwing® (*Swinglea glutinosa*) y fungicidas de síntesis para el control de antracnosis y mildew veloso, se redujeron las pérdidas de frutos en aproximadamente en un 70% (Hincapié, Saldarriaga, & Díaz 2017).

De otra parte en México se han realizado diferentes estudios enfocados principalmente al control de mildew veloso, en los cuales se han evaluado programas de aspersión de diferentes fungicidas, así como el uso de extractos vegetales y bioplaguicidas a base de *B. subtilis* y *Trichoderma harzianum*, obteniendo niveles de control superiores al 70% (Rebollar-Alviter et al, 2012; Boyzo et al., 2015).

Sin embargo para contribuir con la inocuidad de la fruta y la sostenibilidad del agroecosistema es preciso desarrollar estrategias de manejo que integren el uso de alternativas biológicas que permitan reducir el número de moléculas utilizadas así como el número de sus aplicaciones, para lo cual es necesario evaluar y seleccionar de acuerdo a su eficiencia en el control bioplaguicidas, extractos vegetales, fungicidas que cuenten con registro del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) para su uso en el cultivo de mora, que asociadas con adecuadas labores agronómicas, permitan desarrollar una estrategia de manejo integrado. De esta forma se contribuiría con una producción con inocuidad como atributo de calidad y valor agregado, repercutiendo en la sostenibilidad del agroecosistema.

La implementación de modelos de producción sostenibles bajo la perspectiva de esquemas de manejo integrado del cultivo, ofrece ventajas con respecto a los modelos tradicionales, como el optar por registros de producción de sellos verdes o etiquetas ecológicas, como por ejemplo el Sello Ambiental Colombiano, otorgadas por organismos de certificación acreditadas por el Organismo Nacional de Acreditación (ONAC) y autorizado por la Autoridad de Nacional Licencias Ambientales (ANLA) o el Sello Nacional de Alimento Ecológico del MADR, considerados como una estrategia comercial y una ventaja competitiva; y por los consumidores

como un valor agregado frente a otros bienes que no cuentan con este atributo de calidad (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - MADS, 2016; MADR, 2017).

Adicionalmente hay que tener en cuenta que diferentes nichos del mercado ponderan el uso de modelos de producción sostenibles y que la garantía de contar con una certificación verde ofrece adecuados parámetros de calidad, en este sentido el sector agroindustrial transformador que se enfrenta a procesos de elaboración responsables cumpliendo normativas como la ISO 9000 ó ISO 14000, puede verse respaldado al contar de origen con materias primas de excelente calidad (Briz y de Felipe, 2011).

1.2 Objetivos

Objetivo general

Desarrollar una estrategia de manejo integrado de enfermedades del cultivo de la mora que contribuya a la sostenibilidad del agroecosistema.

Objetivos específicos

Evaluar la eficacia de alternativas de control del moho gris, la antracnosis y el mildew veloso que contribuyan al desarrollo de una estrategia de manejo integrado del cultivo de mora.

Plantear una estrategia de manejo integrado de las principales enfermedades del cultivo de la mora que reduzca su incidencia, aumente la producción de fruta y reduzca los residuos de plaguicidas en la fruta cosechada.

Estimar el impacto ambiental producido con la estrategia de manejo integrado de enfermedades desarrollada frente al manejo convencional en el cultivo de mora en función de su sostenibilidad.

1.3 Hipótesis

La implementación de una estrategia de manejo integrado de enfermedades en el cultivo de mora reducirá el uso de fungicidas, contribuyendo a la sostenibilidad del agroecosistema de la mora.

2. Marco teórico

2.1 Actualidad del cultivo de mora en Colombia

La mora es cultivada principalmente en la zona andina y es considerado como un cultivo de montaña, ya que se siembra desde los 1200 hasta los 3500 msnm; siendo el rango óptimo entre los 1.800 a los 2.500 metros sobre el nivel del mar (msnm), en clima frío moderado con temperaturas entre 12 °C y 18 °C, una humedad relativa (HR) de entre el 80% y el 90%, con mayor rendimiento en zonas con precipitaciones entre 1.500 y 2.500 mm al año, bien distribuidas a lo largo del año, motivo por el cual no requiere de riego (Sora, Fischer & Flórez, 2006).

Muchos cultivos están establecidos cerca a nacederos y quebradas que alimentan acueductos rurales o a personas que toman el agua directamente de estas fuentes para sus actividades diarias (Sandoval & Ospina, 2011).

La mora, es una de las frutas con mayor proyección comercial tanto como fruta fresca como procesada, es cultivada por pequeños y medianos productores en áreas promedio de 0,5 ha/lote; asociando la mano de obra familiar para sustentar su rentabilidad (Lopera et al., 2009).

En las últimas décadas su producción en Colombia creció de 67.269 ton/año en 2001 a 105.285 ton/año en 2013, pasando de 8.423 ha a 14.135 ha con un rendimiento promedio de 7,13 ton/año, siendo los principales productores los departamentos de Cundinamarca, Santander y Antioquia con un área calculada de 3.583, 2.060, 1.437 ha respectivamente (MADR, 2015).

De otra parte, es fuente de economía rural y estabilidad laboral, ya que dadas las características propias de la planta como la fructificación continua, se requiere mayor demanda de mano de obra para las labores de mantenimiento y cosecha; este cultivo genera 2,6 empleos directos y 0,8 empleos indirectos para 3,4 empleos por hectárea, comparados con los 0,64 empleos

directos y 2,3 indirectos promedio por hectárea que el cultivo de diferentes frutales genera en el país (MADR, 2015).

En cuanto a su mercado, aproximadamente el 85% de la producción se ofrece en fresco en supermercados y plazas de mercado, en tanto que cerca del 10% se vende a la agroindustria para su transformación en jugos, pulpas, mermeladas, conservas, dulces y colorantes (Programa MIDAS, 2009). En contraste, es muy poca la mora que se exporta, ya sea en fresco, congelados y fruta procesada, principalmente a Estados Unidos, Reino Unido, Australia y Panamá. En 2015 la exportación, sin discriminar su forma fue de 45 Ton con un valor de US\$ 113.382 (MADR, 2015).

2.2 Enfermedades limitantes asociadas al cultivo de mora

Diferentes factores limitan la producción del agroecosistema, desde la ausencia de variedades o ecotipos idóneos para cada agroambiente, la baja asistencia técnica y la presencia de enfermedades y pocas alternativas de control (Siembra, 2016).

En Cundinamarca el cultivo de mora se ubica en zonas que pueden superar los 2.200 msnm, con una topografía quebrada en sistemas montañosos que favorecen la captación de agua, con una precipitación que supera los 2.000 mm al año, predominando una HR superior al 80%, así como temperaturas que fluctúan entre los 10°C y 18°C (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, 2015). Estas condiciones no solo favorecen el crecimiento de las plantas, sino también condicionan el desarrollo de hongos fitopatógenos causantes de diferentes enfermedades, limitan su producción y rendimiento, siendo las más importantes el moho gris, la antracnosis y el mildew veloso (Forero & Muñoz, 2001; ICA, 2011).

El moho gris es el nombre común del hongo necrótrofo *B. cinerea*, el cual afecta a más de 200 especies vegetales de interés agrícola entre las que se encuentran frutales, hortalizas y ornamentales, tanto en campo como durante su poscosecha provocando pérdidas económicas

considerables, esto es debido en parte a su plasticidad genética la cual le otorga la capacidad para adaptarse a diferentes condiciones ambientales y a desarrollar tolerancia a un amplio rango de fungicidas (Benito et al., 2000; Carisse, 2016).

B. cinerea sobrevive como saprófito en restos de material vegetal como micelio o esclerocios (estructuras de resistencia) hasta que se presentan las condiciones propicias para su desarrollo e infección, una HR superior al 90% y una temperatura entre los 10°C y los 22°C (Carisse, 2016), en este momento produce conidióforos con abundantes conidios que se desprenden fácilmente del conidióforo y son transportadas rápidamente por el viento, el agua, los insectos o el hombre, a las diferentes estructuras vegetales donde causa la infección y posterior desarrollo de la enfermedad (Jarvis, 1962).

En mora el hongo afecta cualquier etapa de desarrollo del fruto, infectando estructuras florales como los estambres, los pistilos y el receptáculo floral, permaneciendo en un estado quiescente si las condiciones no favorecen su desarrollo (Jarvis, 1962; 1969; Molina et al, 2004) el cual se produce posteriormente y de forma agresiva una vez el fruto está maduro, produciendo nuevamente abundantes conidios, los cuales, a su vez, infectarán otras flores o frutos, ocasionando su pérdida tanto en campo y/o poscosecha.

La mayoría de los frutos, aunque pueden estar infectados, son asintomáticos en el momento de su recolección, y puede pasar menos de 24 horas entre el proceso de infección, la aparición de los síntomas y el deterioro de la fruta (Mason & Dennis, 1978; Molina et al., 2004), lo que provoca pérdidas durante la poscosecha, pudiendo oscilar entre el 50% y el 76% (Figura 1) (Marulanda et al., 2007; Tamayo et al., 2003).



Figura 1. Síntomas producidos por el moho gris en frutos de mora. Fuente autor.

La antracnosis es producida por los hongos hemibiotrofos *C. gloeosporioides* y *Colletotrichum acutatum* que afecta principalmente los tallos y ramas, se presenta en todas las zonas donde se cultiva la mora en el país (Arenas et al, 2007; Weir et al., 2012). Las condiciones que favorecen el desarrollo de la enfermedad, particularmente la germinación de los conidios, la formación de apresorios y su penetración, son temperaturas de entre los 10°C y los 25°C y una HR superior al 90%, sin embargo, es necesario que una película de agua permanezca sobre el tejido vegetal por lo menos durante cuatro horas, para que se inicie el proceso infectivo (ICA, 2011).

Los síntomas característicos de la enfermedad que se observan en las ramas o tallos cortados durante las labores al cultivo, sitios por donde el hongo puede penetrar, son manchas ovaladas de color púrpura con bordes definidos, las cuales también se presentan en la base de las espigas (sitio que también son infectados por el patógeno), posteriormente estas lesiones se tornan negras y se secan, presentándose necrosis al interior de los tejidos del tallo y su muerte progresiva, en el primer caso, muerte descendente de la rama y en el segundo, muerte desde la base del tallo hacia las ramas superiores (dadas estas características es comúnmente conocida con el nombre de palo negro), en tanto que en brotes tiernos se manifiestan por ennegrecimiento y marchitamiento de hojas jóvenes pudiendo presentar una incidencia de entre el 50 y el 70% y en ataques severos,

y puede provocar la muerte rápida las de ramas productivas y de la planta (Figura 2) (Forero de La-Rotta, 2001; Hernández et al., 2013; Rueda et al, 2013; Leiva, 2011; Tamayo, 2003).



Figura 2. Síntomas de antracnosis en diferentes estructuras de la planta de mora. Necrosis de botones florales (derecha), lesiones y manchas en tallos (centro) muerte de la planta (izquierda). Fuente autor.

La enfermedad ocasionada por el hongo conocido como mildew veloso, cuyo nombre científico corresponde al oomycete biótrofo *P. sparsa*, ocasiona una enfermedad que afecta principalmente a las hojas, tallos y frutos también, siendo muy limitante especialmente sobre los tallos, en las cuales sobre su haz se presentan manchas irregulares con un halo clorótico en tanto que en el envés se producen los signos característicos, correspondientes a un micelio de color marrón claro con abundante producción de esporangióforos y esporangios, lo cual genera la apariencia vellosa (Boyzo et al., 2015; Tamayo, 2003).

En los tallos, cáliz y pedúnculos, la enfermedad se manifiesta como manchas púrpuras a negras que varían en tamaño e incluso pueden presentar coalescencia induciendo la muerte de las ramas y la momificación de los botones florales (Figura 3). En los frutos se presenta una maduración heterogénea, pérdida de turgencia y brillo, agrietamientos y deformaciones; ocasiona enrojecimiento prematuro en los frutos inmaduros infectados, deteriorando su calidad, llegando a producir pérdidas de entre el 20% al 70% de la fruta (Boyzo et al., 2015; Tamayo, 2003).

La enfermedad se ve favorecida por la presencia de lluvias continuas, una HR superior al 80% y una temperatura de entre 10°C y 20°C (Forero de la Rotta, 2001).



Figura 3. Síntomas de mildew veloso en diferentes estructuras de la planta de mora. Frutos momificados con llenado incompleto (Izq.), daños en las ramas (Centro), micelio, esporangióforos y esporangios (Der.). Fuente autor.

Otras enfermedades que pueden presentarse en el cultivo pero que no revisten una importancia tan significativa como las anteriores son la roya producida por el hongo biótrofo *Gerwasia lagerheimii*, cuyos signos característicos son pústulas de color naranja en el haz de las hojas y pequeños tumores en el envés, en los tallos también se pueden presentar las pústulas y el agrietamientos de los mismos (ICA, 2011).

Por otro lado, el hongo biótrofo conocido como mildew polvoso o cenicilla cuyo nombre científico corresponde al hongo biótrofo *Sphaerotheca macularis*, produce una enfermedad que se presenta en condiciones más secas afectando principalmente a las hojas cuyo signo característico es un crecimiento pulverulento de color blanquecino, del cual deriva su nombre; que corresponde a la producción de las esporas del hongo (Tamayo, 2003). (Forero de la Rotta, M. C. 2001).

2.2.1 Manejo del moho gris, la antracnosis y el mildew veloso

El manejo de estas enfermedades se realiza principalmente mediante la aplicación de fungicidas de síntesis química, empleando moléculas como azoxystrobin, benomil, carbendazim, difenoconazol, iprodión, mancozeb, metalaxil y plocloz (Álvarez et al., 2009; Forero & Muñoz, 2001; ICA, 2011), con una frecuencia de aplicación cada 7 o 15 días, de acuerdo con la incidencia de cada enfermedad, siendo frecuente el uso de dosis superiores a las recomendadas por la ficha técnica de cada producto, adicionalmente no se presentan esquemas de rotación de fungicidas o si se rotan, muchas veces se hace con productos de distinta marca pero con el mismo principio activo; también es común la mezcla de diferentes fungicidas ya sea para el control del mismo fitopatógeno o fitopatógenos diferentes, en lo que los productores denominan “bombas” (Naranjo-Marín, 2011).

Debido en parte al mal uso y a la sobreexposición de algunos de estos fungicidas ciertos fitopatógenos, particularmente *B. cinerea*, han desarrollado resistencia a moléculas como benomil, carbendazim, convirtiéndose en un problema de manejo e inocuidad (Moyano, Gómez & Melgarejo, 2004; Deising, Reimann & Pascholati, 2008; Leroy et al., 2011).

Al respecto, en un estudio desarrollado por Uribe, Zapata & Cotes (2013) al evaluar la sensibilidad de 25 aislamientos de *B. cinerea* obtenidos a partir de frutos colectados en cultivos comerciales de mora en los municipios de La Ceja (Antioquia) y Silvania (Cundinamarca) a siete fungicidas comúnmente empleados para su control, se encontró baja sensibilidad de los aislamientos a Benomil, Carbendazim, Captan y Mancozeb, en tanto que a Difenoconazol y Procloraz la sensibilidad fue alta.

2.3 Alternativas para un manejo sustentable del agroecosistema de la mora

El desarrollo sustentable en la producción agrícola se refiere a la necesidad de minimizar la degradación del agroecosistema, maximizando a su vez la producción. Es un proceso de

mejoramiento sostenido y equitativo de la calidad de vida, basado en la conservación y protección del ambiente, minimizando los costos sociales y económicos de manera que las expectativas de calidad de vida de las generaciones futuras no se vean comprometidas (Acevedo & Angarita, 2013; Martínez, 2009; Sarandón, 2002).

En este sentido la sustentabilidad plantea un gran reto, el cual es mejorar la calidad de vida de una mayor proporción de la población, pero manteniendo el equilibrio ecológico (Sarandón, 2002). Bajo el esquema de producción agrícola convencional, los ecosistemas reciben gran parte de los agroquímicos utilizados en prácticas de fertilización o el control de plagas y enfermedades de los cultivos, y aunque el ambiente pueda absorber y degradar parte de estos compuestos, ciertos residuos pueden permanecer en los ecosistemas por años pudiéndose encontrar posteriormente en plantas y animales, algunos de los cuales nos proporcionan alimento (Paleologos & Flores, 2014).

El desafío que tiene el desarrollo sostenible es reducir el uso de agroquímicos mediante la adopción de alternativas que no afecten o minimicen su impacto sobre el agroecosistema, prácticas como el uso de agentes de control biológico y de extractos vegetales pueden reducir el uso de fungicidas e insecticidas reduciendo el impacto sobre el ambiente y la comunidad, planteando la posibilidad de generar valor agregado durante el proceso (Paleologos & Flores, 2014).

2.3.1 Control biológico mediante el uso de bioplaguicidas

El control biológico mediante el uso de microorganismos antagonistas como bacterias, levaduras y hongos filamentosos es una alternativa para suprimir el crecimiento y desarrollo de un fitopatógeno o una plaga, mediante diferentes modos de acción como el parasitismo, la competencia por espacio y nutrientes, la producción de metabolitos como sustancias antibióticas o antifúngicas, la acción de enzimas líticas, la inducción de resistencia en las plantas por su capacidad de responder a una gran variedad de estímulos químicos producidos por los microorganismos, y

que conduce a la activación de genes responsable de la síntesis de proteínas relacionadas con la patogénesis, las cuales incluyen enzimas como peroxidases, quitinasas, proteasas (β -1,3-glucanasas), las cuales pueden actuar directamente para lisar las células del patógeno, reforzar los límites de la pared celular para resistir la infección, o inducir muerte celular localizada (Pal & Mc Spadden, 2006), pudiendo presentar la acción combinada de varios de estos mecanismos, haciendo eficientes sus aplicaciones (Elad & Stewart, 2004; Fungicide Resistance Action Committee - FRAC, 2017) además su eficacia ha sido comparable a la de muchos fungicidas de síntesis (Copping & Menn, 2000; Guetsky et al., 2002; Zapata & Cotes, 2013; Narayanasamy, 2013; Woo et al, 2014).

Para considerar a un microorganismo como un adecuado agente de control biológico, debe presentar características como una rápida adaptación a diferentes condiciones ambientales (temperatura, HR y pH), rápido crecimiento, no tener exigentes requerimientos nutricionales para que pueda ser producidos masivamente en sustratos económicos, formulados y desarrollar así bioplaguicidas comerciales utilizados en el control fitopatógenos (Narayanasamy, 2013).

En este sentido, los bioplaguicidas constituyen una alternativa al uso de fungicidas de síntesis, pudiéndose emplear como parte de programas de manejo integrado de enfermedades debido a que son altamente específicos, no dejan residuos y no afectan a los enemigos naturales de las plagas, y no representan ningún riesgo para la salud humana o ambiental (Van Lenteren, 2000; Hubbard et al., 2014; EPA, 2016).

Sin embargo, los bioplaguicidas no tienen acción erradicante, por lo cual, para obtener los mejores resultados en su utilización, éstos deben ser aplicados de forma preventiva, aplicados para disminuir y evitar la germinación, penetración, infección y reproducción de los propágulos de los fitopatógenos (EPA, 2016).

En el cultivo de mora, se evaluó el efecto de las aplicaciones de dos prototipos de bioplaguicidas desarrollados por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica) uno a base de *T. koningiopsis* cepa Th003 y otro a base de la levadura *R. glutinis* cepa Lv316, para el control de *B. cinerea* en dos cultivos establecidos en el municipio de Silvania, encontrando que con aplicaciones quincenales se obtuvo menor incidencia del moho gris con respecto a los fungicidas utilizados como testigos, con una eficacia superior al 60%, mientras que con los fungicidas esta fue de 58% para Procloraz y 27% para Carbendazim. Igualmente el mayor rendimiento de fruta cosechada se obtuvo con los bioplaguicidas, siendo de 4,3 kg para el tratamiento con la levadura y de 5,6 kg para el tratamiento con *T. koningiopsis*, en tanto que con el testigo comercial este fue de 3,6 kg (Zapata et al., 2013; Zapata & Cotes, 2013).

2.3.2 Control mediante el uso extractos vegetales

Las plantas tienen la habilidad de sintetizar compuestos de estructura aromática como fenoles, ácidos fenólicos, quinonas, flavonas, flavonoides, taninos y cumarinas, que presentan actividad antimicrobiana y sirven como mecanismos de defensa contra diferentes fitopatógenos (Gurjar et al, 2012).

En este sentido, se han caracterizado algunas especies vegetales obteniendo a partir de estas extractos con propiedades antifúngicas con los que se han desarrollado fungicidas botánicos, los cuales se han convertido en una alternativa efectiva frente a los fungicidas de síntesis, pues se ha observado su efectividad contra el desarrollo de los hongos fitopatógenos. Son productos eficaces, biodegradables y de bajo costo, lo que implica baja probabilidad de desarrollo de resistencia y un bajo riesgo de efectos deletéreos para la salud y el ambiente (Gatto et al., 2011; Nava *et al.*, 2012; Tripathi & Dubey, 2004).

2.4 Manejo integrado del cultivo

El Manejo Integrado del cultivo (MIC) es un método para el control de plagas y enfermedades, que combina el uso de prácticas agronómicas o culturales, plaguicidas de síntesis química, bioplaguicidas u organismos beneficiosos y si se dispone, de variedades de plantas resistentes a diferentes plagas o enfermedades (Leake, 2000).

El MIC se sustenta bajo la premisa de la prevención (minimizar el impacto que las enfermedades pueden causar al cultivo), la observación o monitoreo y en base a los resultados obtenidos de éste, la selección de la alternativa más adecuada para el control eficiente de la plaga o enfermedad.

La implementación de un esquema de MIC ofrece una serie de ventajas, entre las que se destacan la reducción del riesgo de contaminación por plaguicidas para el aplicador, el consumidor y el ambiente, así como también el riesgo de desarrollo de resistencia a plaguicidas por parte de plagas y microorganismos patógenos (FAO 2008; Pradel et al, 2009; Ortiz & Pradel, 2010).

En este sentido, el uso de fungicidas, extractos vegetales y bioplaguicidas puede ser integrado en un esquema de manejo integrado de enfermedades, un ejemplo de esto es el denominado sistema BOTMAN (BOTrytis MANager) en el que se integra el control químico y el biológico en cultivos de tomate y pepino bajo invernadero (Shtienberg & Elad, 1997). En este sistema, a partir de la incidencia (umbral de acción) y el seguimiento meteorológico, se toma la decisión de tratar el cultivo con medidas biológicas o químicas. Si las condiciones favorecen el desarrollo de *B. cinerea* (alta humedad y temperatura) se aplica un fungicida; en caso de que las condiciones ambientales no sean favorables, se aplica un bioplaguicida (en este caso uno a base de *Trichoderma harzianum* cepa T39).

En el cultivo de mora, en el control de mildew veloso, se ha evaluado la aplicación del extracto vegetal Kendal[®] (extracto vegetal bioestimulante que contiene oligosacarinas y glutatión),

un fungicida (fosfonato de potasio, Supactiv[®]) y los bioplaguicidas Serenade[®] (*Bacillus subtilis*) y *T. harzianum* obteniendo incidencias de la enfermedad de entre 0,66% y el 13%, respecto al 27% del control químico (Boyzo et al., 2015).

En el mismo sentido, para el control de antracnosis y mildew veloso, en estudios desarrollados por Hincapié et al (2017), se evaluó el uso del extracto de *Swinglea glutinosa* EcoSwing[®], de accesiones de *Trichoderma* spp., y los fungicidas Mancozeb y Propamocarb en una parcela experimental establecida en el Centro de Investigación La Selva de Corpoica, en Rionegro (Antioquia), estableciendo que con la rotación de los bioproductos con los fungicidas se logró reducir las pérdidas de frutos a causa de estas enfermedades en aproximadamente un 70%.

En este sentido, el uso integrado de estas alternativas más las adecuadas prácticas agronómicas en una estrategia de manejo integrado del cultivo, permitirá reducir las aplicaciones de fungicidas, teniendo un impacto relevante en la baja exposición a estos productos por parte del productor, reducir las trazas de plaguicidas en la fruta, repercutiendo en su inocuidad y calidad, contribuyendo así a la sostenibilidad del agroecosistema.

2.4.1 Evaluación del impacto ambiental del manejo integrado en el agroecosistema

El impacto ambiental de cualquier alternativa de control de plagas puede y debería ser cuantificado, determinando así sus efectos sobre el ambiente, en este aspecto particularmente el uso de plaguicidas, cuyo riesgo se relaciona con el peligro que su ingrediente activo representa. Por lo tanto, evaluar el riesgo que el uso de estos productos reviste, es de gran importancia y más cuando en América Latina no existen regulaciones al respecto, lo que eventualmente aumenta los riesgos para los productores, los consumidores y el ambiente, con todo lo que éste último involucra (Ortiz, & Pradel, 2010).

En este aspecto, el impacto del uso de plaguicidas resulta de la combinación de su exposición, su concentración y su toxicidad, para lo cual existen diferentes formas de cuantificarlo, mediante la aplicación de diferentes indicadores, destacando entre estos el Groundwater Ubiquity Score (GUS), con el cual se puede estimar la contaminación de aguas subterráneas (Gustafson, 1989); el Environmental Impact Quotient (EIQ) o Coeficiente de Impacto Ambiental en español (CIA).

El CIA fue desarrollado por Kovach et al, (1992) en la Universidad de Cornell, como método para determinar el impacto de los plaguicidas sobre el ambiente, organizando la información toxicológica y reduciendo el impacto a un único valor (cuantitativo) por medio de una ecuación basada en los tres principales componentes de los sistemas de producción agrícola: el productor, el consumidor y el ambiental (Figura 4). Para identificar su potencial de causar daño, a cada variable se le da una valoración de 1, 3 o 5, seis de estas clasificaciones se basan en propiedades medidas o conocidas y otros cinco dependiendo de su impacto en criterios de bajo, moderado o severo (Tabla 1).

$$\text{CIA} = \frac{[C[(DT*5)+(DT*P)] + [(C*((S+P)/2)*SY)+(L)] + [(F*R)+(D*((S+P)/2)*3)+(Z*P*3)+(B*P*5)]}{3}$$

Efecto en el productor Efecto en el consumidor Efecto en el ambiente

Figura 4. Ecuación para calcular el Coeficiente de Impacto Ambiental de un plaguicida (Kovach et al., 1992).

El CIA permite establecer el impacto ambiental del principio activo de cada plaguicida utilizado y a su vez es la base para determinar el CIA en campo (CIAc), en este se incorpora en otra fórmula variables como dosificación (kg o L. ha) concentración del principio activo en la formulación y número de aplicaciones de cada plaguicida realizadas en un espacio de tiempo determinado (Figura 5) (Ortiz & Pradel, 2010).

Tabla 1

Variables y valoración para calcular el Coeficiente de Impacto Ambiental de los plaguicidas (Kovach et al., 1992).

| Variable | Símbolo | Valoración de la variable | | |
|--|-----------|---------------------------|----------------------|------------------|
| | | 1 | 3 | 5 |
| Toxicidad crónica | C | Poco o nada | Posible | Definido |
| Toxicidad dermal aguda (mg/Kg) | DT | >2000 | 200 - 2000 | 0 - 200 |
| Toxicidad en aves (ppm) | D | >1000 | 100 - 1000 | 1 - 100 |
| Toxicidad en abejas | Z | No tóxico | Moderadamente tóxico | Altamente tóxico |
| Toxicidad en artrópodos benéficos | B | Bajo impacto | Impacto moderado | Impacto severo |
| Toxicidad en peces (ppm) | F | >10 | 2 a 4 | <1 |
| Persistencia en el suelo (días) | S | <30 | 30 a 100 | >100 |
| Persistencia en la superficie de las plantas (semanas) | P | 1 a 2 | 2 a 4 | >4 |
| Modo de acción | SY | No sistémico | Sistémico | |
| Potencial de filtración | L | Poco | Mediano | Alto |
| Potencial de pérdida del suelo | R | Poco | Mediano | Alto |

$$\text{CIAC} = \text{CIA} * \text{Ingrediente activo} * \text{Dosis} * \text{No. de aplicaciones}$$

Figura 5. Ecuación para calcular el Coeficiente de Impacto Ambiental en campo (Kovach et al., 1992).

Los valores para cada plaguicida son sumados dando como resultado la tasa de impacto ambiental de un determinado sistema de manejo, de esta forma a mayor valor del CIAC, mayor potencial de impacto ambiental negativo (Ortiz & Pradel, 2010), con esta información es posible comparar el impacto entre diferentes modelos de manejo, constituyendo una herramienta importante en la toma de decisiones tendientes a mejorar la sostenibilidad agrícola particularmente al incorporar esquemas de manejo integrado del cultivo.

3. Metodología

3.1 Determinación del estado fitosanitario y selección de cultivos

3.1.1 Área de estudio y método de trabajo

Este trabajo se realizó en el marco del proyecto “Investigación, desarrollo y transferencia tecnológica en los sistemas de producción de frutas (fresa y mora) en zonas productoras representativas de Cundinamarca” del Corredor Tecnológico Agroindustrial (CTA2), desarrollado por Corpoica y la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, y cuyo componente mora fue ejecutado por Corpoica, siguiendo la metodología de Parcelas de Investigación Participativa con Agricultores (PIPA) en la cual junto con productores de dos asociaciones de moricultores se establecieron y evaluaron los bioensayos y se determinó su impacto en la producción y sostenibilidad del agroecosistema.

Previamente mediante encuestas realizadas a los productores de mora por los profesionales residentes en cada municipio, se establecieron como las principales enfermedades que limitan la producción en sus cultivos el moho gris, la antracnosis y el mildew veloso, así como que plaguicidas utilizan para el control de plagas y enfermedades, sus dosis y frecuencias de aplicación, y las prácticas agronómicas empleadas.

En este sentido, los bioensayos tendientes a desarrollar una estrategia integrada de manejo de estas enfermedades se realizó en dos cultivos, uno ubicado en la vereda El Carmelo, Inspección La Victoria vereda El Carmelo, municipio del Colegio provincia del Tequendama con la asociación de productores Asofruvic, a una altura de 1.983 msnm, una temperatura entre 12°C a 18°C, una precipitación anual superior a los 2.000 mm y con coordenadas Norte 04° 32' 29.9" y Oeste 74° 24' 08,1" (IDEAM, 2015). El otro en la vereda El Carmen, municipio de Pasca, provincia del

Sumapaz con la asociación Promocar, a una altura de 2200 msnm, una temperatura de entre 11°C a 20°C, una precipitación media anual aproximada de 1046 mm y con coordenadas Norte 04° 14' 37.98" y Oeste 74° 19' 28.08" (IDEAM, 2015). Seleccionados por presentar distancias de siembra mínimas de 2 m entre plantas y 2.5 m entre calles.

En los cultivos se estableció su estado fitosanitario de acuerdo con el daño que presentaban los tallos y las ramas, así como el número de tallos en cada planta (tanto los productivos como los no productivos o tallos macho), información con la cual se basó la decisión de realizar podas sanitarias y de formación, aplicando pasta cicatrizante en los cortes, realizando adicionalmente aplicaciones de Amistar Top® y Trivia® con el fin de reducir nuevas infecciones de *C. gloeosporioides* y *P. sparsa*. En el mismo sentido se ajustó el sistema de tutor, con el fin de optimizar la evaluación de los tratamientos planteados.

Posteriormente se realizó la fertilización correctiva del cultivo de acuerdo con los requerimientos nutricionales de acuerdo con su estado fisiológico y al análisis del suelo (Cardona, 2017).

3.2 Eficacia de alternativas en el control de las principales enfermedades del cultivo

En los cultivos seleccionados previa adecuación de acuerdo con el diagnóstico para cada predio (corrección de tutores, podas y fertilización) se determinó la eficacia en el control del moho gris, la antracnosis y el mildew veloso de diferentes alternativas de manejo, dos bioplaguicidas, uno Tricotec® a base de *T. koningiopsis* cepa Th003 desarrollado por Corpoica y otro, Fitotripen® (Natural Control, <https://naturalcontrol.com.co/>) a base de la mezcla de *Trichoderma harzianum*, *Trichoderma koningii* y *Trichoderma viride*, dos extractos vegetales, uno Kendal® (Valagro, <https://www.valagro.com/es/farm/productos/>) que se comercializa como un bioestimulante dado que contiene glutatión, oligosacarinas y saponinas y el otro EcoSwing® (Ecoflora Agro,

<http://www.ecofloragro.com/ecoswing/>) elaborado principalmente a partir de los extractos de plantas de la familia *Rutaceae*, así como 5 principios activos que cuentan con registro del ICA para su uso en el cultivo de mora (ICA, 2017) (Tabla 2).

Tabla 2.

Principios activos evaluados en el control de enfermedades en mora y posterior desarrollo de una estrategia de manejo integrado.

| Principio activo | Blanco | Modo de acción | Categoría Tóxica |
|---|---|--|------------------|
| Thiram + Pirimetanol (Botrilex) | <i>Botrytis cinerea</i> | Fungicida de contacto, inhibe la secreción de enzimas hidrolíticas, impidiendo la degradación de tejidos de la planta. Inhibe la germinación de conidios y crecimiento micelial. | III |
| Fluoxastrobin (Disarm) | <i>Botrytis cinerea</i> - <i>Colletotrichum</i> spp. | Fungicida sistémico con acción antiesporulante. | III |
| Azoxystrobin + Difeconazole (Amistar Top) | <i>Colletotrichum</i> spp. | Fungicida sistémico y de contacto, de acción antiesporulante e inhibitoria de la respiración mitocondrial. | II |
| Sulfato de Cobre Pentahidratado (Mastercop) | <i>Botrytis cinerea</i> | Fungicida sistémico con acción antiesporulante. | IV |
| Ditiocarbamato + Benzamida (Trivia) | <i>Peronospora sparsa</i> | Fungicida preventivo, inhibe proteínas específicas en interacciones de la membrana celular. | III |

Cada producto fue aplicado siguiendo las recomendaciones del fabricante para el cultivo de mora con una frecuencia de cada 15 días, utilizando diferentes fumigadoras de espalda de 20 L, para evitar la contaminación entre productos.

Dado que en el cultivo del municipio de El Colegio fue necesario realizar la siembra de las plantas, no fue posible evaluar la eficacia de los tratamientos en el control del moho gris por no presentar frutos en desarrollo al momento de la evaluación, sin embargo se realizó la valoración para mildew veloso y antracnosis, la cual empezó a registrarse cuatro meses después de la siembra.

Con respecto al tratamiento fungicidas, para el cultivo del municipio de El Colegio se realizaron aplicaciones de Trivia[®] y Amistar Top[®], en tanto que en el tratamiento rotación de fungicidas y biológicos, aplicaciones de Trivia[®] y Kendal[®].

En el cultivo de Pasca el tratamiento fungicidas consistió en aplicaciones de Trivia[®], Amistar Top[®] y Botrylex[®], mientras que para el tratamiento de rotación de fungicidas y biológicos se realizaron aplicaciones de Amistar Top[®], Trivia[®], Tricotec[®] y Kendal[®].

Los bioensayos se establecieron bajo un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones, donde la unidad experimental (UE) consistió de dos surcos de 5 plantas cada uno para un total de 10 plantas por UE y un total de 30 plantas por tratamiento (Figura 6). Las variables evaluadas por tratamiento fueron la incidencia y severidad de cada enfermedad, para lo cual, para cada una se seleccionaron tres plantas por UE a las cuales se les realizó el registro de datos de forma semanal durante 77 días.

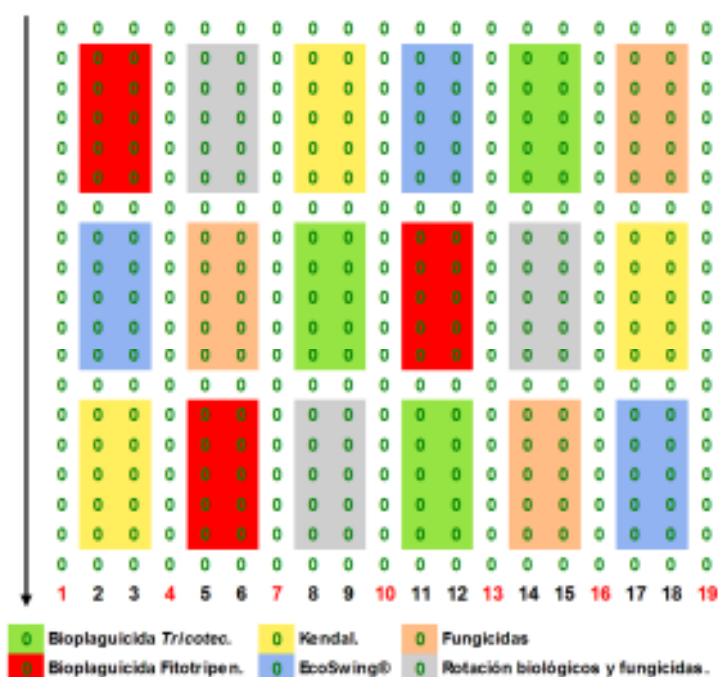


Figura 6. Diagrama del diseño experimental y distribución de los tratamientos. Fuente autor.

Como control, se contó con un tratamiento productor, evaluando el mismo número de plantas las cuales se encontraban en un área diferente a las plantas del bioensayo, pero dentro del cultivo para mantener las condiciones ambiente, esto con el fin de evitar la contaminación cruzada de plaguicidas, ya que el manejo fue a criterio del productor de acuerdo con las prácticas y fungicidas utilizados convencionalmente. Estas plantas también fueron tratadas de acuerdo con el manejo establecido para el cultivo posterior al diagnóstico fitosanitario.

Para el moho gris se determinó la incidencia, para lo cual a cada a planta se le cuantificó el número de frutos sanos aptos para cosecha y los frutos que presentaron signos de la enfermedad, comprobando que la infección inicial fuese provocada por *B. cinerea* (Figura 7). En cada registro de datos se totalizaron los frutos sanos y enfermos y se determinó el porcentaje de incidencia utilizando la siguiente fórmula (Zapata & Cotes, 2013):

$$(\%)\text{Incidencia} = \frac{\text{Frutos con moho gris}}{\text{Frutos totales}} \times 100$$



Figura 7. Signos del moho gris en frutos de mora para determinar su incidencia. Fuente autor.

Para la antracnosis, la incidencia se determinó como el número de tallos con síntomas de la enfermedad sobre el total de tallos de la planta, en tanto que la severidad se estableció una escala para determinar el porcentaje de área (tejido vegetal) afectada por la enfermedad modificando la escala propuesta por López-Vásquez, et al (2013), (Figura 8, Tabla 3).



Figura 8. Niveles de severidad para antracnosis de acuerdo al tamaño de las lesiones en tallos de mora.
Fuente autor.

Tabla 3

Niveles de severidad para antracnosis en tallos de mora.

| Nivel de severidad | Porcentaje de tejido afectado |
|--------------------|-------------------------------|
| 1 | Sano |
| 2 | 1 – 20 |
| 3 | 21 – 40 |
| 4 | 41 – 60 |
| 5 | 61 – 80 |
| 6 | 81 – 100 |

En el caso de mildew veloso, de cada planta se seleccionaron tres tallos en los cuales se determinó la incidencia de la enfermedad en las hojas como el número de folíolos con signos de la enfermedad sobre el total de folíolos en el tallo, en tanto que para la severidad se estableció una escala para estimar el porcentaje de área (tejido vegetal) afectada por la enfermedad, la cual solo fue determinada para el foliolo apical, en virtud de la densidad foliar de la planta, modificando la escala propuesta por Rebollar-Alviter et al (2012) (Figura 9, Tabla 4).

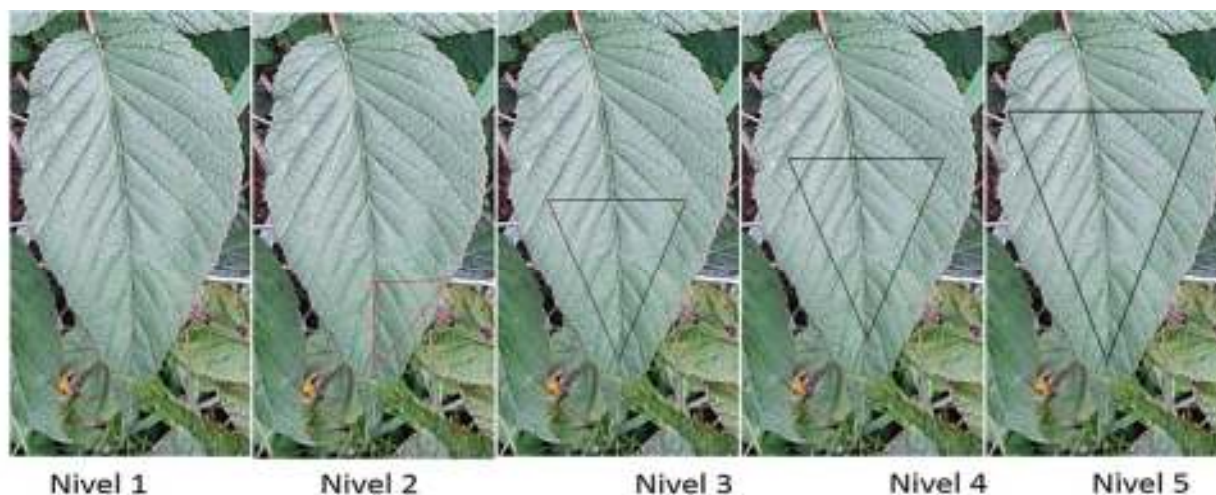


Figura 9. Niveles de severidad para mildew veloso de acuerdo al tamaño de las lesiones en folíolos de mora. Fuente autor.

Tabla 4

Niveles de severidad para mildew veloso en folíolos de mora.

| Nivel de severidad | Porcentaje de tejido afectado |
|--------------------|-------------------------------|
| 1 | Sano |
| 2 | 1 – 25 |
| 3 | 26 – 50 |
| 4 | 51 – 75 |
| 5 | 76 – 100 |

Los resultados tanto para incidencia como para severidad se presentaron como la media obtenida durante el periodo de evaluación.

3.3 Desarrollo de una estrategia de manejo integrado de las principales enfermedades del cultivo

Se seleccionaron los extractos Kendal[®] y EcoSwing[®] así como el bioplaguicida Tricotec[®], y los fungicidas Botrilex[®], Trivia[®] y Amistar top[®] para desarrollar una estrategia de manejo, con estos productos se establecieron dos tratamientos, uno en el que se integraron las aplicaciones de

Kendal[®] y Tricotec[®] y otro en el que se integraron las aplicaciones de EcoSwing[®] y Tricotec[®], los fungicidas fueron aplicados a necesidad de acuerdo a la incidencia de las enfermedades y las variables climatológicas (temperatura y HR), partiendo de la base del manejo preventivo, comparado su eficacia con el manejo convencional utilizado por el productor, los tratamientos fueron aplicados con una frecuencia de cada quince días, en un periodo de evaluación de 77 días.

El registro de los datos de la temperatura y HR se realizó mediante la instalación en el cultivo de un Data Logger (Omega[™] OM-62), con esta información se estableció su efecto sobre la incidencia de las enfermedades, siendo a su vez insumo para determinar la rotación de productos.

Dado que el lote donde se estableció el cultivo presenta un área homogénea en la cual no se encontró algún factor físico del terreno como una pendiente o zona inundable, se decidió establecer un diseño de parcelas divididas con 48 plantas, donde cada una de ellas fue una unidad de muestreo. Las parcelas se separaron entre sí por dos surcos de plantas, las cuales también fueron tratadas, pero no se tuvieron en cuenta para el registro de información (Figura 10), para mitigar la contaminación entre tratamientos particularmente por derivas causadas por el viento, en virtud a que durante el día, el calor del sol calienta el aire y hace que este se mueva más rápido (Rodríguez, Benito & Portela, 2004), las aplicaciones de los productos se realizaron en horas de la mañana (entre 7:30 y 9:00 am).

Como parte de la estrategia de manejo integrado, durante el período de evaluación se realizó una poda sanitaria antes de iniciar las aplicaciones de los tratamientos y tres podas de mantenimiento, las cuales consistieron en retirar de la planta aquellos tallos y ramas no productivas que aumentan significativamente la densidad de follaje y no permite el paso del viento o la penetración de los rayos del sol, incidiendo negativamente en el aumento de la humedad, en el mismo sentido con estas podas se retiraron ramas quebradas y aquellas que mostraban síntomas de alguna patología, retirando del cultivo los restos del material de poda.

Análisis estadístico

Los resultados obtenidos fueron analizados mediante una prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis y un test comparativo de pares de Dunn con $\alpha: 0,05$, empleando el paquete estadístico Statistix 10.0, Analytical Software.

3.4 Evaluación del impacto ambiental

3.4.1 Determinación del Coeficiente de Impacto Ambiental en campo

El impacto ambiental de la(s) estrategia(s) planteada(s) así como del manejo convencional empleado por el productor en este estudio, se estableció mediante el CIAc y su posterior comparación con el fin de determinar su impacto sobre el agroecosistema.

Inicialmente se calcularon los valores de CIA para aquellos principios activos no registrados en la lista de Ingredientes activos de plaguicidas EIQ del New York State Integrated Pest Management of Cornell University (Cornell University, 2017), y para cada uno de los productos utilizados (bioplaguicidas y plaguicidas) en cada estrategia de manejo aplicando la ecuación descrita en la Figura 4, posteriormente se determinó el CIAc, aplicando la ecuación correspondiente a la Figura 5.

3.4.2 Efecto sobre la reducción de residuos de plaguicidas

Para determinar el efecto sobre la reducción de residuos de plaguicidas para las estrategias planteadas con respecto al manejo convencional, una semana antes del último registro de datos y sin modificar los tiempos de aplicación de los productos en cada tratamiento con respecto al día en que habitualmente se realiza la cosecha de la fruta, se tomó para cada tratamiento un kilo de frutos a

punto de cosecha, colectando de cada surco aproximadamente 250 g de fruta asegurándose de formar una muestra compuesta representativa de acuerdo con el protocolo de selección de muestra establecido por el Laboratorio Primoris (<http://www.primoris-lab.com/media/1536/protocolo-de-env%C3%ADo.pdf>). Estas se llevaron de forma inmediata para su análisis en el Laboratorio y determinar así la presencia de residuos de plaguicidas mediante Cromatografía Líquida y Espectrofotometría de Masas (LC-MS). Una vez se contó con los resultados se estableció la diferencia entre la(s) estrategia(s) planteada(s) y el manejo convencional del productor y su relación con respecto a los Límites Máximos de Residuos (LMR) establecidos para esta fruta según el *Codex Alimentarius* y la Comisión Europea (Unión Europea (UE), (European Union, 2017).

4. Resultados

4.1 Determinación del estado fitosanitario y selección de cultivos

El manejo de las enfermedades del cultivo de mora en Colombia se realiza principalmente mediante el uso de fungicidas de síntesis química, situación que no cambia para los cultivos en los municipios de El Colegio y Pasca.

En las Tablas 5 y 6 se describen los principios activos empleados por los productores en el manejo del cultivo para cada municipio donde se desarrolló el trabajo. Dentro de los fungicidas mencionados, se destaca el uso de Benomil y Carbendazim, moléculas que presentan algún tipo de restricción de uso o de prohibición del mismo en países de la Unión Europea y Estados Unidos, debido a que se ha reportado resistencia por parte de los patógenos blanco o porque sus aplicaciones continuas y su residualidad son consideradas como un riesgo para la salud y el ambiente (Rosslensbroich y Stuebler, 2000; Moyano et al., 2004; Deising et al., 2008).

Tabla 5

Fungicidas utilizados por el productor para el manejo de enfermedades en el municipio de Pasca.

| Principio activo | Blanco | Modo de acción | Categoría Tóxica |
|------------------|--|---|------------------|
| Carbendazim | <i>Botrytis cinerea</i> , <i>Colletotrichum</i> sp. | Fungicida sistémico, actúa sobre la división celular. | III |
| Hexaconazol | Mildeo polvoso - royas. | Fungicida sistémico con acción antiesporulante. | III |
| Iprodion | <i>Botrytis cinerea</i> . | Fungicida preventivo de acción antiesporulante. | III |
| Propiconazol | Roya (<i>Hemileia vastatrix</i>). | Fungicida sistémico con acción antiesporulante. | III |

| | | | |
|------------------------------|--|---|-----|
| Dimetomorf + Clorotalonil | <i>Peronospora destructor</i> , <i>Plasmopara viticola</i> , <i>Phytophthora infestans</i> . | Fungicida sistémico traslaminar, afecta la síntesis de fosfolípidos. | III |
|------------------------------|--|---|-----|

Tabla 6

Fungicidas utilizados por el productor para el manejo de enfermedades en el municipio de El Colegio.

| Principio activo | Blanco | Modo de acción | Categoría Tóxica |
|-------------------------------------|--|--|------------------|
| Benomil | <i>Botrytis cinerea</i> , <i>Colletotrichum</i> sp. | Fungicida sistémico, actúa sobre la división celular. | III |
| Carbendazim | <i>Botrytis cinerea</i> , <i>Colletotrichum</i> sp. | Fungicida sistémico, actúa sobre la división celular. | III |
| Dithiocarbamato + Cianoacetamida | <i>Peronospora pisi</i> , <i>Phytophthora infestans</i> . | Fungicida protectante y curativo, tiene actividad de contacto y sistémico local e inhibe la esporulación. | III |
| Mancozeb | <i>Botrytis cinerea</i> , <i>Colletotrichum</i> sp. | Fungicida de contacto, inhibe la esporulación. | III |

El cultivo que se seleccionó en el municipio de Pasca presentó una extensión de 0,35 ha con una densidad de siembra de 630 plantas/ha y una edad de 4 años, con algunas de las características requeridas como las distancias de siembra y un sistema de tutor en este caso uno de espalda en T, sin embargo fue necesario realizar ajustes en el tutorado debido a que en algunas secciones presentaban deterioro de los postes y poca tensión de los alambres.

De otra parte, al evaluar el estado sanitario de las plantas se encontró que en aproximadamente el 60% presentaban tallos, ramas y hojas con lesiones causadas por antracnosis, mildew veloso o daño mecánico por una inadecuada manipulación, adicionalmente más del 80% de las plantas presentaban más de doce tallos y entre estos un promedio de 4 tallos no productivos o tallos macho, situación que limitaba su manejo, de acuerdo con esto fue necesario realizar podas sanitarias en las que se retiró aproximadamente el 40% de la biomasa de cada planta (tallos no

productivos y ramas afectadas por enfermedades) permitiendo ajustar el número de tallos productivos entre 6 y 8.

De otra parte para el municipio de El Colegio se encontró que los cultivos visitados presentaban una característica en común, un sistema de tutor poco eficiente el cual consta de un solo alambre (Figura 10), lo cual obliga a que todos los tallos converjan en un solo punto de soporte, lo que conlleva a que la planta se cierre, repercutiendo en una menor producción de fruta y una mayor incidencia de enfermedades debido a un mayor volumen de biomasa agrupada (las ramas, las hojas, las flores y los frutos) que permanecen con una alta HR debido a que no hay un espacio eficiente para que circule el viento y la reduzca, además de dificultar la cosecha (Figura 11).



Figura 11. Tutor de un solo alambre utilizado por tradición en el municipio de El Colegio. Al coincidir todos los tallos en el alambre no queda espacio para la ventilación de las diferentes estructuras de la planta, la incidencia de enfermedades suele ser mayor, las labores agronómicas son más dispendiosas e ineficaces. Fuente autor.

El cultivo que fue seleccionado en este municipio contó con una extensión de 0,26 h y una densidad de siembra de 610 plantas/ha, se planteó el ajuste del sistema de tutorado por uno más eficiente como el tutor de espalda en T o el tutor de cama, sin embargo al realizar su análisis

sanitario se encontró que las plantas presentaban un deterioro físico debido a un daño acumulado de prácticas inadecuadas de podas en la cepa o corona de la raíz (Figura 12) que no permitía el desarrollo de nuevos tallos, sumado al daño por antracnosis en los tallos existentes que eventualmente limitaba su recuperación después de realizar una drástica poda sanitaria.



Figura 12. Daño por pudrición en la cepa de las plantas en el cultivo del municipio de El Colegio, se observa además poca cantidad de tallos por planta. Fuente autor.

De acuerdo con este diagnóstico, se tomó la decisión de establecer un nuevo cultivo, partiendo de una adecuada fertilización de acuerdo con el análisis de suelo, empleando distancias de siembra de 2,5 x 2,5 m y un sistema de tutor en cama que permita la apertura de las plantas (Figura 13) todo esto con el fin de contar con un cultivo apto para desarrollar las evaluaciones.



Figura 13. Tutor en cama establecido en el cultivo del municipio del Colegio. Las plantas se sembraron a una distancia de 2 x 2,5 m, nótese la apertura de la planta mediante el amarre de los tallos al alambre del tutor. Fuente autor.

4.2 Eficacia de alternativas en el control de las principales enfermedades del cultivo

Dado que en el cultivo del municipio de El Colegio fue necesario realizar la siembra de las plantas, no fue posible evaluar la eficacia de los tratamientos en el control del moho gris por no presentar frutos en desarrollo al momento de la evaluación, sin embargo se realizó la valoración para mildew veloso y antracnosis, la cual empezó a registrarse cuatro meses después de la siembra.

Previo a la aplicación de los tratamientos se determinó un 37% de incidencia de mildew veloso en el cultivo, la cual descendió a medida que se realizaban las aplicaciones de los diferentes productos.

En este sentido, para el control de esta enfermedad al analizar los resultados se encontró que con las aplicaciones de Kendal[®] y los fungicidas Trivia[®] y Amistar[®] Top se obtuvo mayor eficacia en el control presentando una incidencia del 16% en los dos tratamientos y una severidad de la enfermedad de nivel 2, mostrando diferencias significativas con respecto a los bioplaguicidas y al tratamiento productor (Figura 14) el cual presentó una severidad de nivel 3 (Tabla 7).

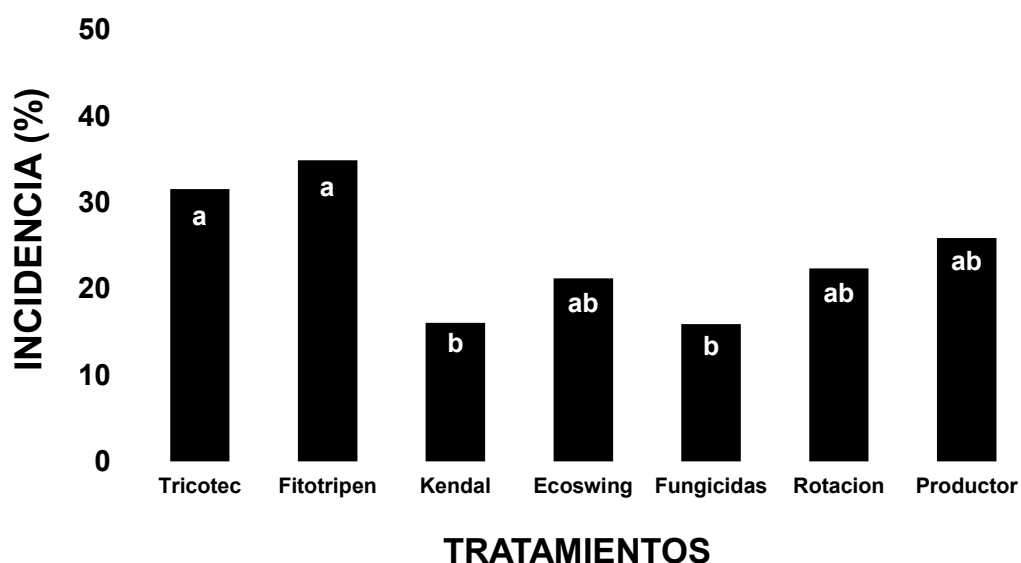


Figura 14. Incidencia del mildew veloso por tratamiento en el cultivo del municipio de El Colegio. Las letras muestran las diferencias significativas entre tratamientos de acuerdo con la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis y un test comparativo de pares de Dunn con α : 0,05.

De otra parte, con los tratamientos correspondientes a las aplicaciones de EcoSwing® y la rotación entre Dithiocarbamato + Benzamida y Kendal® también se obtuvo un control eficiente de la enfermedad con una incidencia inferior al 22%, sin presentar diferencias significativas con respecto a los demás tratamientos, además los folíolos en estos tratamientos presentaron una severidad de nivel 2 (Tabla 7).

Con respecto a la antracnosis, posterior a las primeras podas sanitarias y de formación en las plantas, en todos los tratamientos no se presentó incidencia de la enfermedad durante el período de evaluación, sin embargo es necesario aclarar que previo a la siembra en campo y posterior a esta, se realizaron aplicaciones de Azoxystrobin + Difeconazole, con el fin de evitar la muerte de las plantas por antracnosis, situación que pudo tener un efecto inhibitorio sobre la infección de los propágulos de *C. gloeosporioides* en el material vegetal o influir en el escaso desarrollo de las infecciones quiescentes del patógeno.

Tabla 7

Promedio para el nivel de severidad en el tiempo para mildew veloso según el tratamiento evaluado para el cultivo del municipio de El Colegio.

| Tratamiento | Nivel de severidad |
|-------------|--------------------|
| Tricotec® | 2 |
| Fitotripen® | 3 |
| Kendal® | 2 |
| EcoSwing® | 2 |
| Fungicidas | 2 |
| Rotación | 2 |

En cuanto, al cultivo del municipio de Pasca, se presentó la incidencia de las tres enfermedades de forma simultánea, permitiendo evaluar la eficacia de las alternativas propuestas.

Con respecto a la eficacia de las alternativas evaluadas para el control del moho gris, todas presentaron diferencias significativas con respecto al tratamiento productor, siendo más efectivas en el control de la enfermedad, sin embargo entre estas solo se presentaron diferencias numéricas, las cuales permitieron determinar su eficacia. En este sentido con las aplicaciones de Kendal[®], Tricotec[®], EcoSwing[®] y Thiram + Pyrimetanol (Botrylex[®]) con una incidencia menor al 14% se obtuvo el mayor control de la enfermedad (Figura 15).

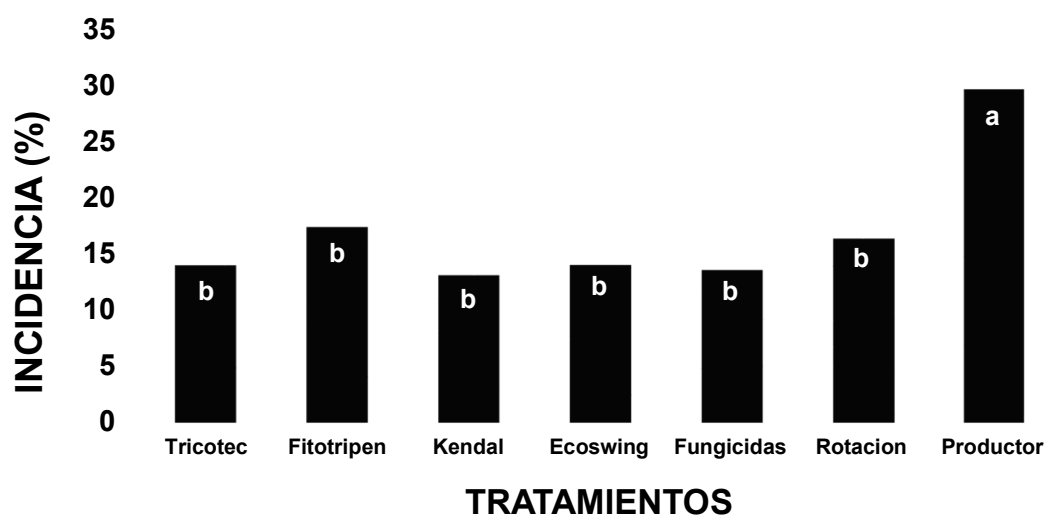


Figura 15. Incidencia del moho gris por tratamiento en el cultivo del municipio de Pasca. Las letras muestran las diferencias significativas entre tratamientos de acuerdo con la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis y un test comparativo de pares de Dunn con $\alpha: 0,05$.

De otra parte, para mildeo veloso a diferencia del cultivo del municipio de El Colegio, se presentó una alta incidencia de la enfermedad en todos los tratamientos a pesar de realizar las podas

sanitarias y aplicaciones posteriores con Trivia[®]. En este sentido, vale la pena analizar la posibilidad de que en este cultivo se presentaran plantas con cierta susceptibilidad a la enfermedad, aunque no se conocen ecotipos que presenten tolerancia a la enfermedad, se ha observado en campo que algunos son más susceptibles que otros.

A pesar de esto, destacan las aplicaciones de Kendal[®] y EcoSwing[®] donde se obtuvieron los valores más bajos para la incidencia del mildew veloso con un 88% y 87% respectivamente, presentando diferencias significativas con respecto al resto de los tratamientos (Figura 16), adicionalmente los folíolos en estos tratamientos presentaron un nivel de severidad promedio de 2 (Tabla 8).

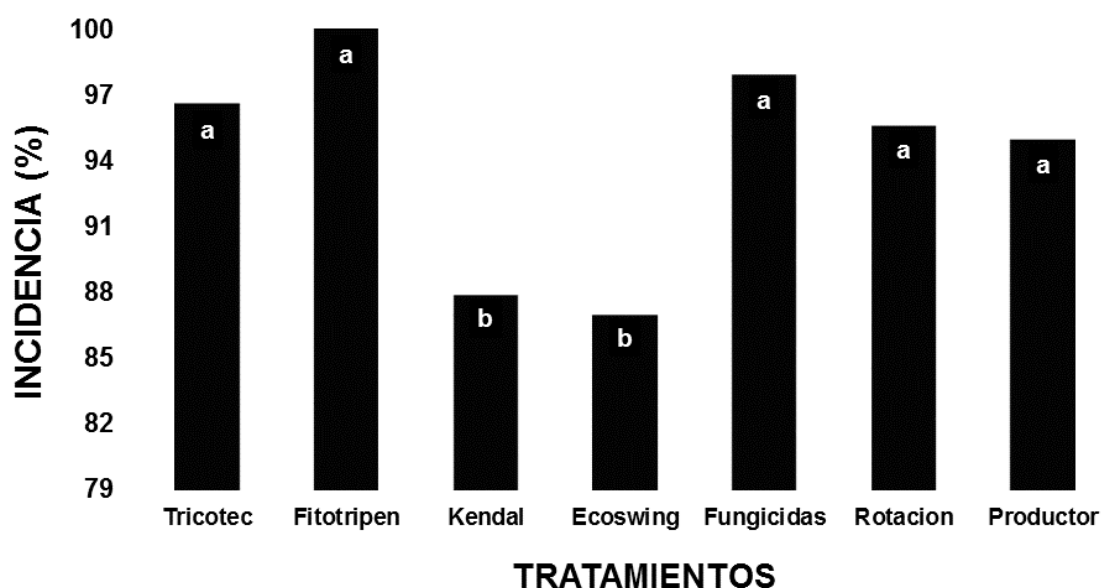


Figura 16. Incidencia del mildew veloso por tratamiento para el cultivo del municipio de Pasca. Las letras muestran las diferencias significativas entre tratamientos de acuerdo con la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis y un test comparativo de pares de Dunn con $\alpha: 0,05$.

Tabla 8

Promedio para el nivel de severidad en el tiempo para mildew veloso según el tratamiento evaluado para el cultivo del municipio de Pasca.

| Tratamiento | Nivel de severidad |
|-------------------------|--------------------|
| Tricotec [®] | 3 |
| Fitotripen [®] | 3 |
| Kendal [®] | 2 |
| EcoSwing [®] | 2 |
| Fungicidas | 3 |
| Rotación | 3 |
| Productor | 3 |

Respecto al control de la antracnosis, se observó que los tratamientos no presentaron diferencias significativas entre sí, sin embargo Kendal[®] con una incidencia del 34% fue el tratamiento que presentó mayor eficacia en el control de la enfermedad, seguido de Fitotripen[®] con 39% y las aplicaciones de Amistar Top[®] con un 40% (Figura 17) presentando un nivel 2 de severidad (Tabla 9).

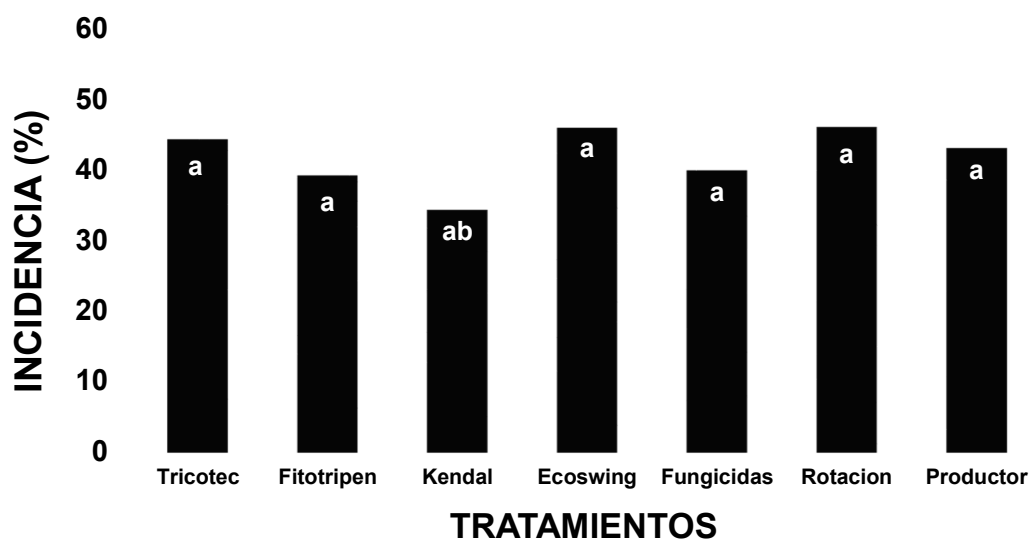


Figura 17. Incidencia del antracnosis por tratamiento en el cultivo del municipio de Pasca. Las letras muestran las diferencias significativas entre tratamientos de acuerdo con la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis y un test comparativo de pares de Dunn con α : 0,05.

Tabla 9

Promedio para el nivel de severidad en el tiempo para antracnosis según el tratamiento evaluado para el cultivo del municipio de Pasca.

| Tratamiento | Nivel de severidad |
|-------------------------|--------------------|
| Tricotec [®] | 2 |
| Fitotripen [®] | 2 |
| Kendal [®] | 1 |
| EcoSwing [®] | 1 |
| Fungicidas | 2 |
| Rotación | 2 |
| Productor | 3 |

De acuerdo con los resultados se seleccionaron por su eficiencia en el control de las enfermedades los extractos Kendal[®] y EcoSwing[®] y el bioplaguicida Tricotec[®], el cual presentó un comportamiento relativamente superior a Fitotripen[®], adicionalmente se consideró que en diferentes estudios se ha demostrado su eficiencia en el control de *B. cinerea* en el cultivo de mora (Zapata & Cotes, 2013; Hincapié et al, 2017). Igualmente se incluyeron los fungicidas Trivia[®] y Amistar Top[®], y de ser necesario uno para el manejo de *B. cinerea* se consideró el uso de Botrilex[®].

4.3 Desarrollo de una estrategia de manejo integrado de las principales enfermedades del cultivo

Un aspecto fundamental del manejo integrado es la planificación y adecuado establecimiento del cultivo ya que esto influirá posteriormente en la incidencia de las enfermedades y su manejo, en este sentido de acuerdo con las condiciones que presentaban los cultivos de mora en estos municipios y a pesar de haber realizado labores correctivas para optimizar el uso de las diferentes alternativas evaluadas en el municipio de Pasca, no se logró obtener resultados eficientes en el control de las enfermedades, al menos para la parcela de Pasca, comparados con los resultados

obtenidos en otros estudios por otros autores (Zapata & Cotes, 2013; Hincapié et al, 2017), en parte por el estado fitosanitario de las plantas que predisponía una mayor incidencia de enfermedades, particularmente aquellas provocadas por infecciones quiescentes.

En consecuencia, se planteó desarrollar el diseño de una estrategia de manejo integrado de enfermedades para el cultivo de mora en el municipio de El Colegio, dado que el cultivo que se estableció contó con un adecuado sistema de tutor, un esquema de fertilización determinado previamente por el análisis de suelo y el estado sanitario de las plantas no predispuso la acción de los diferentes tratamientos.

A diferencia del primer bioensayo, para el desarrollo de la estrategia de manejo las plantas ya contaban con un año de edad y ya se encontraban en estado productivo, lo que permitió evaluar el control sobre el moho gris.

Integrando las labores agronómicas descritas previamente se plantearon dos estrategias para el manejo de las principales enfermedades del cultivo de mora, la primera denominada Tricotec[®]-Kendal[®] y la segunda Tricotec[®]-EcoSwing[®], que consistió en la aplicación combinada de cada producto cada quince días, en cada estrategia como se mencionará más adelante de acuerdo a la incidencia de las enfermedades se integró el uso de los fungicidas Amistar Top[®] y Trivia[®] en el control de antracnosis y mildew veloso respectivamente, en el caso particular del moho gris su incidencia no supero el 20% razón por la cual se decidió no realizar aplicaciones de los fungicidas seleccionados para su control.

Durante el período de evaluación se presentó la incidencia de las tres enfermedades lo que permitió evaluar la eficacia en su control de las alternativas propuestas.

Para el moho gris se observó que durante el período de evaluación la incidencia de la enfermedad presentó fases de ascenso y descenso marcadas, favorecida por una HR superior al 90% y temperaturas entre 12°C a 18°C. Con respecto a su control, al analizar los resultados se

encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, siendo la combinación Tricotec®-Kendal® la que presentó la menor incidencia de la enfermedad con una media del 3%, presentando dos picos de mayor incidencia en la primera y octava semana de evaluación con un 5%; seguido por Tricotec®-EcoSwing® con una incidencia promedio de 6%, con mayor incidencia en la quinta y octava semana con 19% y 10% respectivamente, en tanto que con el tratamiento productor que consistió en el uso de Benomil® se obtuvo una incidencia promedio de 13%, con picos máximos de 26% en la cuarta y quinta semana y puntos medios de 13%, 14% y 16% en la primera, sexta, octava y novena semana de evaluación (Figura 18).

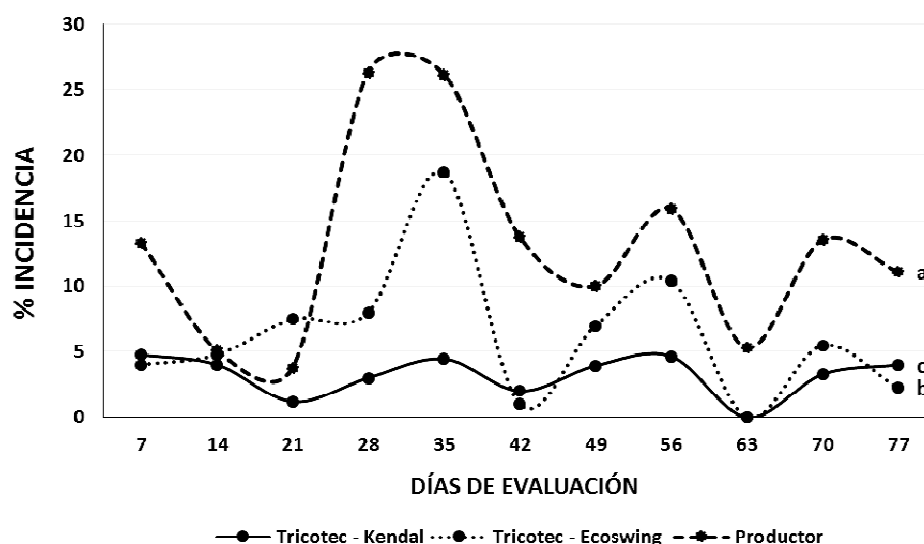


Figura 18. Incidencia del moho gris en cada tratamiento durante el período de evaluación. Las letras muestran las diferencias significativas entre tratamientos a los 77 días de evaluación de acuerdo con la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis y un test comparativo de pares de Dunn con α : 0,05.

En relación con la antracnosis se observó que la incidencia fue aumentando con el tiempo, es decir que el número de tallos con síntomas de la enfermedad en las plantas evaluadas aumentó entre el inicio y el fin del período de evaluación. Con respecto a su control se presentaron

diferencias significativas entre los tratamientos, siendo Tricotec[®]-Kendal[®] con una incidencia final del 22% el tratamiento que presentó la menor presencia de la enfermedad, desde el inicio de las evaluaciones hasta la quinta semana, la incidencia de la enfermedad no sufrió cambios manteniendo un comportamiento estable con valores del 4% al 7%, y aunque posterior a este período la enfermedad aumentó, mostró un comportamiento continuo hasta alcanzar un 22% (Figura 19).

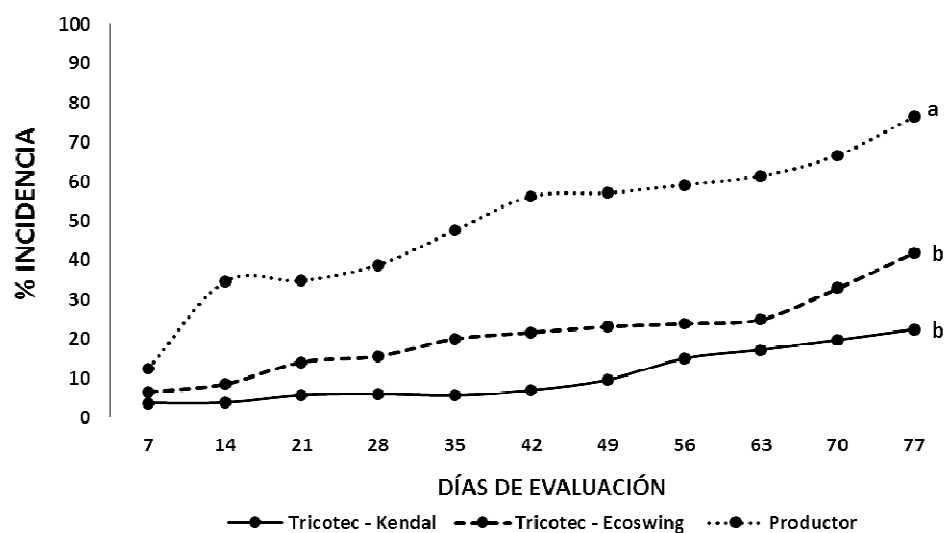


Figura 19. Incidencia de la antracnosis en cada tratamiento durante el período de evaluación. Las letras muestran las diferencias significativas entre tratamientos a los 77 días de evaluación de acuerdo con la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis y un test comparativo de pares de Dunn con α : 0,05.

En este tratamiento se realizaron dos aplicaciones de Amistar Top[®] una en la cuarta semana y la otra en la novena, como medida para evitar el aumento de la incidencia, así como el tamaño de las lesiones en los tallos afectados. En cuanto a la severidad de la enfermedad en este tratamiento, durante el período de evaluación se mantuvo constante en el nivel 2 (Figura 20).

De otra parte con Tricotec[®]-EcoSwing[®] se obtuvo una incidencia final de 42%, presentando un crecimiento continuo, sin un período de estacionalidad a diferencia del tratamiento anterior, (Figura 19). Al igual que con Tricotec[®]-Kendal[®], se realizaron dos aplicaciones de Amistar Top[®] en las mismas semanas que el anterior tratamiento. Aunque en este tratamiento la incidencia fue mayor el nivel de severidad que presentaron los tallos afectados fue de 2, manteniéndose constante hasta finalizar la evaluación (Figura 20).

Con respecto al tratamiento productor, con aplicaciones de los fungicidas Carbendazim[®] y Mancozeb[®], fue el que presentó la mayor incidencia de la enfermedad al finalizar el bioensayo con un 76%, presentando un crecimiento continuo (Figura 19). En cuanto a la severidad durante las primeras semanas se presentó un nivel de dos el cual aumentó a 3 a partir de la semana ocho de evaluación, manteniéndose así hasta finalizar el bioensayo (Figura 20).

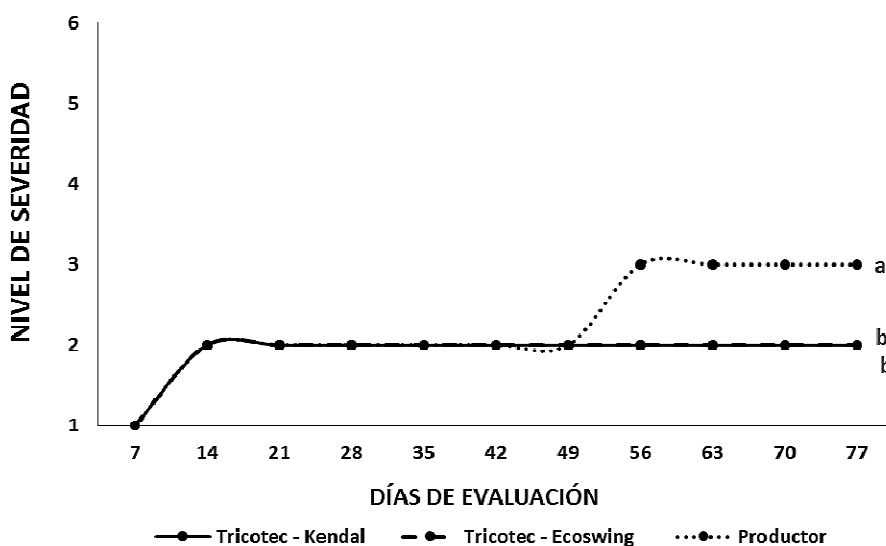


Figura 20. Nivel de severidad para la antracnosis en cada tratamiento durante el período de evaluación. Las letras muestran las diferencias significativas entre tratamientos a los 77 días de evaluación de acuerdo con la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis y un test comparativo de pares de Dunn con α : 0,05.

Con respecto al mildew veloso, al igual que para el moho gris se presentaron fases de ascenso y descenso marcadas a favor de esta por una HR superior al 90% y temperaturas entre 12°C a 18°C, así como por la presencia de agua sobre la superficie de los tejidos, la cual disminuyó con la práctica de las podas particularmente para los tratamientos Tricotec®-Kendal® y Tricotec®-EcoSwing®.

Al analizar los resultados, se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, siendo Tricotec®-Kendal® el que presentó la menor incidencia de la enfermedad con una media de 21%, presentando picos de mayor incidencia en las semanas cuatro, seis, ocho con valores iguales o superiores al 30% (Figura 21). Con respecto a la severidad, se observó que los folíolos afectados por la enfermedad presentaba una constante de nivel dos de área afectada, sin embargo con el aumento de la HR se observó un daño de nivel tres, particularmente para la sexta semana de evaluación (Figura 22).

Conforme con la incidencia y severidad de la enfermedad para este tratamiento y de acuerdo con la programación de las podas sanitarias y de formación, se tomó la decisión de no realizar aplicaciones del fungicida sugerido para el control de esta enfermedad.

De otra parte, con las aplicaciones de Tricotec®-EcoSwing® se obtuvo una incidencia media de 43%, con picos de mayor incidencia en las semanas cuatro, ocho y nueve con valores iguales o superiores a 54% (Figura 21). Debido a que la incidencia de la enfermedad superó en las primeras evaluaciones el 30% se realizaron tres aplicaciones de Trivia® en la cuarta, séptima y novena semanas de evaluación, como medida para evitar la infección de nuevos folíolos y reducir la presencia de la enfermedad, particularmente después de realizar las podas sanitarias o de mantenimiento. Respecto a la severidad de la enfermedad, se observó que los folíolos afectados presentaban un constante nivel dos del área afectada, sin embargo con el aumento de la HR se

observó una progresión del daño al nivel tres, particularmente en la semana cuatro de evaluación (Figura 22) siendo una de las determinantes para la aplicación del fungicida.

En contraste, el tratamiento productor, que para el control de esta enfermedad se realizaron aplicaciones de Fitoraz[®], fue el que presentó la mayor incidencia de la enfermedad con una media de 71%. A diferencia de los demás tratamientos el comportamiento de la enfermedad fue constante, permaneciendo entre la tercera y la novena semana con una incidencia superior al 78% (Figura 21). En cuanto a la severidad, se observó que los folíolos afectados presentaban una constante de nivel tres (Figura 22), sin embargo con el aumento de la HR se observó un daño de nivel cuatro particularmente para las semanas seis, siete y nueve de evaluación, adicional a esto, debido a que para este tratamiento no fue posible realizar de manera oportuna podas sanitarias, la densidad de follaje pudo favorecer aún más las condiciones para el desarrollo de la enfermedad (ICA, 2011).

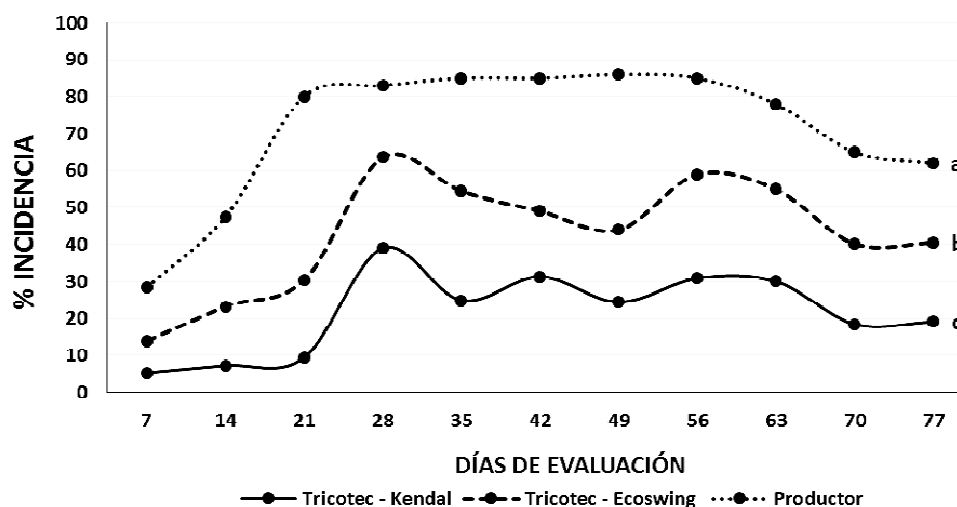


Figura 21. Incidencia del mildew vellosa en cada tratamiento durante el período de evaluación. Las letras muestran las diferencias significativas entre tratamientos a los 77 días de evaluación de acuerdo con la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis y un test comparativo de pares de Dunn con α : 0,05.

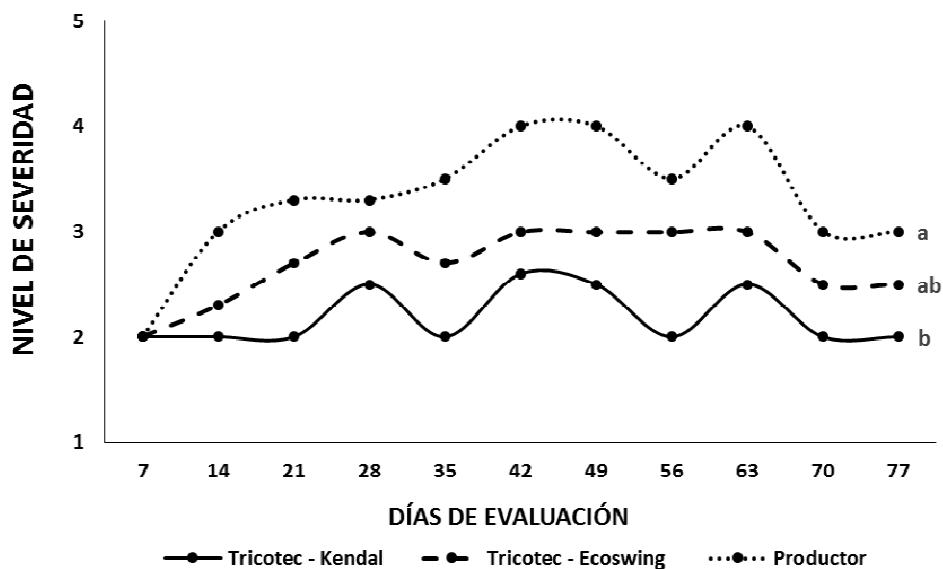


Figura 22. Nivel de severidad del mildew veloso en cada tratamiento durante el período de evaluación. Las letras muestran las diferencias significativas entre tratamientos a los 77 días de evaluación de acuerdo con la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis y un test comparativo de pares de Dunn con α : 0,05.

Es de destacar que las condiciones ambientales que se presentaron en el cultivo durante el período de evaluación eventualmente favorecieron la incidencia de las tres enfermedades, ya que durante el desarrollo del bioensayo se registró una HR promedio del 84% y una temperatura media de 17°C. En este sentido, de acuerdo con la Figura 23, se puede observar que para algunos días, particularmente para la tercera, sexta, novena, décima y undécima semana se registraron los picos más bajos de HR (promediando un 75%) y las temperaturas más altas (promediando un 23°C), contrastando con el resto de semanas que se caracterizaron por presentar una HR constante con valores de entre el 90% y el 95%, llegando a registrar picos cercanos al 100%, mientras que la temperatura fluctuó entre los 10°C y los 15°C.

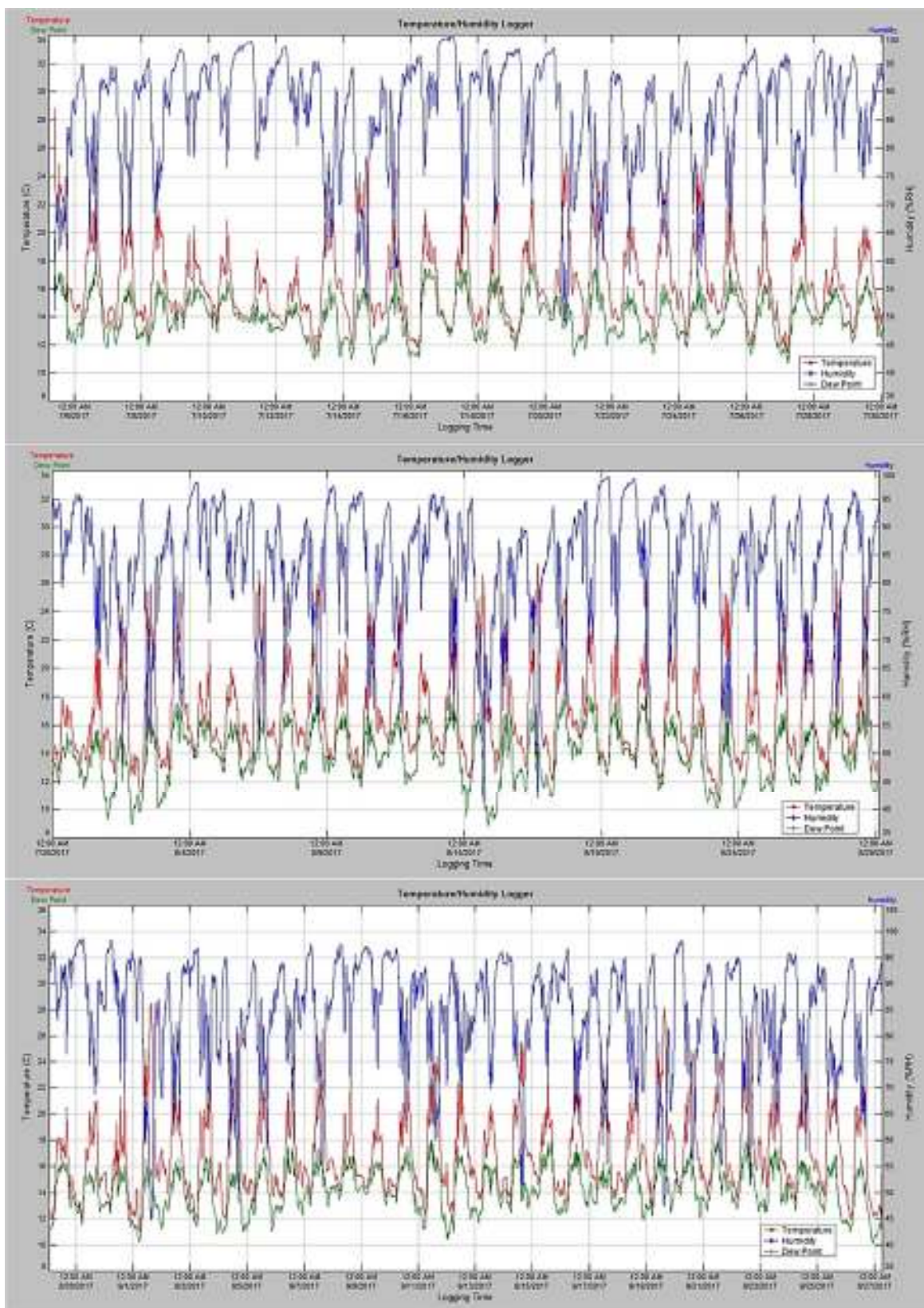


Figura 23. Registro de la humedad relativa y temperatura para el cultivo establecido en la vereda El Carmelo, municipio de El Colegio para el período comprendido entre el 7 de julio y el 28 de septiembre del año 2017.

Por otro lado, con respecto a la producción de fruta se observó un comportamiento progresivo en virtud del tiempo, que concuerda con el desarrollo fisiológico de la planta al ser un cultivo nuevo, cuya siembra se realizó aproximadamente un año antes a la evaluación de las estrategias de manejo de enfermedades. La planta inicia su proceso productivo entre los diez y los doce meses posterior a su siembra, aumentando el rendimiento conforme transcurre el tiempo, estabilizándose alrededor de los 18 meses posteriores a la siembra, sin embargo esto puede variar de acuerdo con el ecotipo cultivado y las condiciones ambientales donde se encuentre (Gobernación de Antioquia, 2014).

En este sentido, la mayor cantidad de fruta cosechada semanalmente correspondió a la parcela tratada con Tricotec[®]-Kendal[®], con un promedio de 5.668 g, presentando diferencias significativas con respecto con los demás tratamientos; en tanto que en la parcela tratada con las aplicaciones de Tricotec[®]-EcoSwing[®] fue de 4.017 g, mientras que en la correspondiente al tratamiento productor el promedio fue de 3.100 g (Figura 24).

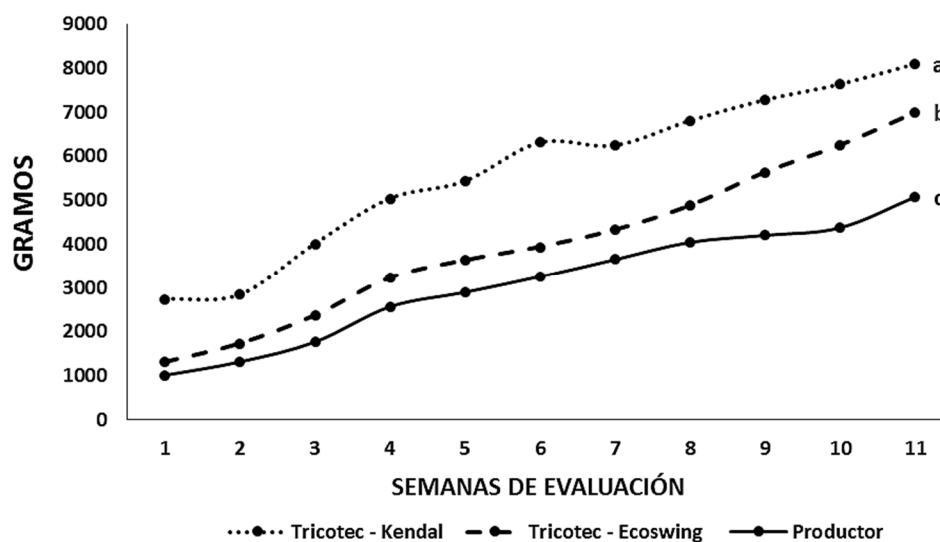


Figura 24. Fruta cosecha por tratamientos por semana. Las letras muestran las diferencias significativas entre tratamientos para el periodo de evaluación de acuerdo con la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis y un test comparativo de pares de Dunn con α : 0,05.

4.2.1 Estrategia propuesta para el manejo integrado de las principales enfermedades del cultivo

La estrategia para el manejo integrado de las principales enfermedades del cultivo de mora que se planteó en este trabajo estaría compuesta por la implementación de adecuadas prácticas agronómicas (material de siembra, uso de microorganismos benéficos, fertilización, tutorado, podas, densidad de siembra) y el uso del bioplaguicida Tricotec[®], el extracto Kendal[®] y las aplicaciones de fungicidas de síntesis química Amistar Top[®] y Trivia[®] de acuerdo con la incidencia de cada enfermedad.

Concerniente con las prácticas agronómicas, en primera instancia para la selección del material de siembra con el cual se establecerá el cultivo, es recomendable obtener las plántulas de viveros comerciales que cuenten con registro ante el ICA, lo que de cierta medida asegura la calidad y sanidad del material vegetal.

Previo a la siembra, las plántulas pueden ser inoculadas con microorganismos que presentan actividad de promoción de crecimiento vegetal cuya simbiosis le permitan a la planta mayor adaptación y menor mortalidad pos trasplante. Pudiéndose aplicar a las plántulas una suspensión del bioplaguicida Tricotec[®] a una concentración de 1×10^6 conidios.mL⁻¹ (0,1 g.L), cuyo principio activo presenta actividad promotora del crecimiento vegetal en mora (Beltrán & Cotes, 2009; Zapata & Cotes, 2013), así como la inoculación de micorrizas (*Rhizogloinus irregulare*) en el sitio de siembra, considerando que su simbiosis con la planta optimiza la absorción de fósforo y otros nutrientes (Pérez *et al.*, 2015; Sieverding *et al.*, 2014), tal como se realizó en el presente trabajo. La aplicación de estos microorganismos también puede realizarse durante el proceso de plántulaje en vivero, lo cual facilita la colonización de las raíces por estos microorganismos, permitiendo el trasplante de material vegetal con un sistema radical más desarrollado.

De otra parte, acorde con los requerimientos nutricionales de la planta, una adecuada nutrición es determinante en el manejo integrado de enfermedades, dado que una planta con un

correcto balance nutricional tiende a soportar mejor el estrés biótico o abiótico, factor predisponente en los procesos de infección de fitopatógenos (Hellal & Abdelhamid, 2013). En este sentido, se debe establecer un programa de fertilización, en virtud de los resultados obtenidos a partir del análisis de suelo del predio donde se establecerá el cultivo, de esta forma se asegura que la planta según su estado fenológico obtenga los nutrientes que requiere cuando realmente los necesita, aplicando las cantidades que el cultivo requiere, y optimizando el uso de los recursos.

En cuanto a la densidad y la distancia de siembra es necesario tener en cuenta que la competencia por espacio entre plantas influye en su producción y rendimiento, su proximidad afecta la disposición de luz, el paso del aire y la disponibilidad de agua y nutrientes, además a medida que se incrementa la población de plantas por área disminuye su producción media, siendo el caso particular de la mora dada sus características morfológicas y las condiciones ambientales donde se cultiva un factor que predispone su rendimiento y aumenta la susceptibilidad a las enfermedades. En este sentido, la distancia de siembra que se recomienda implementar es 2,5 metros entre plantas y 3 metros entre calle o 2,5 metros entre plantas y 2,5 metros entre calle, siendo esta última la que se implementó en la parcela del municipio del Colegio, con una densidad de 1.600 plantas por hectárea.

Con respecto al tutorado, es necesario tener en cuenta que la mora es una planta con hábitos de crecimiento rastroso, por lo que es necesario instalar un sistema de tutorado entre el tercer y el cuarto mes después de su siembra, el cual permite levantar y dar soporte a la planta, facilitando su aireación y realizar de forma más eficiente las labores como podas, fertilización y cosecha.

El sistema de tutor que se implementó fue el de cama de dos alambres (Figura 25), en el cual se utilizan postes cuadrados de 10 cm x 10 cm con una altura de 2,5 m, los cuales previamente inmunizados se entierran a una profundidad de 60 cm y cada par de postes separados en extremos contrarios de la planta a 60 cm de esta para permitir al menos un ancho de 1,2 m, aproximadamente.

La distancia entre postes a lo largo del surco abarcó tres plantas. A Partir de los primeros postes se instalaron los alambres (alambre liso N° 14) a una altura entre 1,5 m y 1,7 m asegurándolos con grapas de 1¼”.

Para optimizar el uso de estos sistemas de tutorado es necesario abrir los tallos de la planta para lo cual cada uno fue amarrado al alambre con un hilo de colgar para no maltratar la planta.



Figura 25. Tutor en cama. Plantas sembradas a una distancia de 2 x 2,5 m, nótese la apertura de la planta mediante el amarre de los tallos al alambre del tutor. Fuente autor.

En cuanto a las podas, durante el tercer mes posterior a la siembra se realizó una poda de formación con el fin de darle una arquitectura adecuada a la planta de la cual dependerá su producción y rendimiento, para esto se eliminaron las ramas tipo látigo favoreciendo el desarrollo de las ramas productivas las cuales se dejaron crecer al nivel del alambre de tutorado, manteniendo desde la corona de la planta entre seis a ocho ramas o tallos.

Durante el período de evaluación se realizaron tres podas de mantenimiento en las cuales se eliminaron las ramas no productivas, las ramas enfermas o maltratadas en cualquier lugar de la planta, esta poda también estimula la producción de nuevos brotes productivos.

La adecuada implementación de las labores agronómicas descritas anteriormente reduce la incidencia de los patógenos y potencializa la eficiencia de los bioplaguicidas, extractos vegetales y fungicidas.

Teniendo en cuenta la premisa de la prevención dentro del manejo integrado del cultivo, se pueden realizar aplicaciones de Kendal[®]-Tricotec[®] cada quince días posterior a la siembra para evitar la incidencia de la antracnosis y el mildew veloso, sin embargo es necesario realizar de forma constante el monitoreo de estas enfermedades con el fin de determinar si es necesario o no realizar las aplicaciones de fungicidas de síntesis química, como Amistar Top[®] para el manejo de antracnosis cuando la incidencia de la enfermedad supere el 20%, esto con el fin de reducir la cantidad de tallos con lesiones del patógeno e impedir el crecimiento de las lesiones en aquellos ya afectados, y para el caso de mildew veloso el fungicida Trivia[®] cuando la incidencia pase del 30%.

En cuanto al moho gris, con implementación de las labores agronómicas y las aplicaciones de Tricotec[®]-Kendal[®], se mantiene una baja incidencia de la enfermedad, por lo cual no es necesario realizar aplicaciones de fungicidas, sin embargo si esta llega a ser superior al 20% se pueden realizar aplicaciones de Botrilex[®], aunque en este trabajo no fue necesario dado que la incidencia nunca supero el 5%.

4.3 Evaluación del impacto ambiental

4.3.1 Determinación del Coeficiente de Impacto Ambiental en campo

Una de las medidas para reducir los riesgos relacionados con el uso de plaguicidas de síntesis química en la producción agrícola es el desarrollo e implementación de estrategias de Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades (MIPE), en este sentido son numerosos los estudios

que han demostrado que la implementación de estrategias de MIPE y la aplicación del CIAc han contribuido a la selección y uso de productos de menor toxicidad, reduciendo la cantidad de plaguicidas utilizados, lo que ha permitido establecer las diferencias entre las alternativas de manejo de plagas y enfermedades tradicionalmente empleadas por los productores y aquellas alternativas como el uso de bioplaguicidas y extractos vegetales desarrolladas para minimizar los impactos sobre el agroecosistema (FAO 2008; Pradel et al, 2009; Ortiz & Pradel, 2010).

En este sentido, en el presente trabajo al integrar el uso de Tricotec[®] y Kendal[®], con las dos aplicaciones del fungicida Amistar Top que por la incidencia de antracnosis en este tratamiento tuvieron que realizarse, presentó el CIAc más bajo con un valor de 5,3 (Tabla 10).

Tabla 10

Coefficiente de impacto ambiental campo para la estrategia Tricotec[®] y Kendal[®].

| Principio Activo (p. a) | CIA | % p. a* | Dosis (L o kg/ha) | Nº de aplicaciones | CIAc (parcial) | CIAc (final) |
|----------------------------|-------|---------|----------------------|-----------------------|-------------------|-----------------|
| <i>T. koningiopsis</i> | 8 | 0,03 | 0,2 | 7 | 0,34 | |
| Kendal [®] | 7 | 0,03 | 0,5 | 7 | 0,74 | 5,3 |
| Azoxystrobin** | 26,92 | 0,2 | 0,2 | 2 | 2,15 | |
| Difenoconazol** | 41,5 | 0,125 | 0,2 | 2 | 2,08 | |

* p.a: principio activo

**Principios activos que componen el fungicida Amistar Top.

En tanto que al integrar el uso de Tricotec y EcoSwing, con las dos aplicaciones del fungicida Amistar Top[®] y las tres aplicaciones del fungicida Trivia[®] que por la incidencia de antracnosis y mildew velloso respectivamente, tuvieron que realizarse, presentó un CIAc con un valor de 21,45 (Tabla 11).

Tabla 11

Coefficiente de impacto ambiental campo para la estrategia Tricotec[®]-EcoSwing[®].

| Principio Activo (p. a) | CIA | % p. a* | Dosis (L o kg/ha) | Nº de aplicaciones | CIAc (parcial) | CIAc (final) |
|-------------------------|-------|---------|-------------------|--------------------|----------------|--------------|
| <i>T. koningiopsis</i> | 8 | 0,03 | 0,2 | 7 | 0,34 | |
| EcoSwing [®] | 7 | 0,097 | 0,3 | 7 | 1,43 | |
| Azoxystrobin** | 26,92 | 0,2 | 0,2 | 2 | 2,15 | 21,45 |
| Difenoconazol** | 41,5 | 0,125 | 0,2 | 2 | 2,08 | |
| Propineb*** | 16,9 | 0,67 | 0,4 | 3 | 13,59 | |
| Fluopicolide*** | 26 | 0,06 | 0,4 | 3 | 1,87 | |

* p.a: principio activo

**Principios activos que componen el fungicida Amistar Top.

*** Principios activos que componen el fungicida Trivia.

De otra parte, para el esquema de manejo del productor se obtuvo el CIAc más alto con un valor de 81,50 realizando aplicaciones de 4 diferentes fungicidas (Tabla 12).

Tabla 12

Coefficiente de impacto ambiental campo para el manejo productor en el municipio de El Colegio

| Principio Activo (p. a) | CIA | % p. a* | Dosis (L o kg/ha) | Nº de aplicaciones | CIAc (parcial) | CIAc (final) |
|-------------------------|-------|---------|-------------------|--------------------|----------------|--------------|
| Benomil | 30,24 | 0,5 | 0,1 | 4 | 6,05 | |
| Carbendazim | 50,5 | 0,5 | 0,2 | 4 | 20,2 | |
| Propineb** | 16,9 | 0,7 | 0,4 | 4 | 18,93 | 81,50 |
| Cimoxanil** | 35,48 | 0,06 | 0,4 | 4 | 3,41 | |
| Mancozeb | 25,72 | 0,8 | 0,4 | 4 | 32,92 | |

* p.a: principio activo

**Principios activos que componen el fungicida Fitoraz[®] WP 76.

Aunque en este bioensayo no se evaluó el esquema de manejo utilizado por el productor en el municipio de Pasca, se realizó el cálculo del CIAc de acuerdo con los fungicidas que este utiliza, con un número de aplicaciones igual al que se realizó realizado en el municipio de El Colegio, obteniendo un valor de 74,83 (Tabla 13).

Tabla 13

Coefficiente de impacto ambiental campo para el manejo productor en el municipio de Pasca.

| Principio Activo (p. a) | CIA | % p. a* | Dosis (L o kg/ha) | Nº de aplicaciones | CIAc (parcial) | CIAc (final) |
|----------------------------|-------|---------|----------------------|-----------------------|----------------|-----------------|
| Carbendazim | 50,5 | 0,5 | 0,1 | 4 | 20,2 | |
| Hexaconazol | 43 | 0,05 | 0,6 | 4 | 5,16 | |
| Iprodion | 24,24 | 0,5 | 0,3 | 4 | 14,54 | |
| Propiconazol | 31,63 | 0,25 | 0,25 | 4 | 7,91 | 74,83 |
| Dimetomorf** | 24,01 | 0,08 | 0,4 | 4 | 3,07 | |
| Clorotalonil** | 37,41 | 0,4 | 0,4 | 4 | 23,94 | |

* p.a: principio activo

**Principios activos que componen el fungicida Quorum SC.

Los resultados obtenidos al calcular el CIAc para las diferentes estrategias de control de las principales enfermedades del cultivo de mora, mostró grandes diferencias entre los esquemas tradicionalmente utilizadas por los productores con respecto a las estrategias planteadas, debido principalmente al alto CIA de algunos de los fungicidas utilizados por los productores, como Carbendazim (50,5), Hexaconazol (43) o Benomil (30,24), a pesar de haber realizado cuatro aplicaciones de ellos durante el período de evaluación.

Aunque en las dos estrategias planteadas se integró el uso de fungicidas, su CIAc no fue alto debido al bajo CIA del bioplaguicida y los extractos, y si bien principios activos como Difenconazol (41,5) y Cimoxanil (35,48) presentan un CIA similar a los productos empleados por los productores, su baja concentración dentro de la formulación reduce significativamente su potencialidad de afectar negativamente el ambiente, a diferencia de usar un fungicida cuyo principio activo fuese exclusivamente alguna de estas moléculas.

4.3.2 Efecto sobre la de reducción de residuos de plaguicidas

Al reducir el número de principios activos de fungicidas utilizados en cada una de las estrategias planteadas, se observó la reducción de residuos de plaguicidas en la fruta, teniendo en cuenta que la colecta de las muestras se realizó dos días después de aplicar los fungicidas.

En este sentido, con la estrategia Tricotec[®]-Kendal[®], se obtuvieron trazas para los principios activos Azoxystrobin y Difeconazole, que corresponden al fungicida Amistar Top[®], único producto utilizado en este tratamiento, a pesar de esto y de acuerdo con los Límites Máximos de Residuos (LMR) de plaguicidas autorizados por la Comisión Europea (Unión Europea) para moras (Tabla 15) se observa que las trazas tanto de Azoxystrobin (0,10 mg/Kg) como de Difeconazole (0,046 mg/Kg) (Tabla 14) se encontraron dentro de los límites permitidos.

Con respecto a la estrategia Tricotec[®]-EcoSwing[®], se obtuvieron trazas para los principios activos Azoxystrobin y Difeconazole (Amistar Top[®]), así como de Fluopicolide principio activo del fungicida Trivia[®], productos utilizados en este tratamiento. Al igual que en tratamiento anterior las trazas de residuos para Azoxystrobin (0,13 mg/Kg) y Difeconazole (0,078 mg/Kg) se encontraron dentro de los límites permitidos, sin embargo las trazas para Fluopicolide (0,22 mg/Kg) exceden los límites (Tabla 14), teniendo en cuenta que prácticamente no se tolera la presencia de esta molécula (Tabla 15).

De otra parte con respecto al tratamiento productor, se utilizaron 4 fungicidas, Benomil, Carbendazim, Fitoraz (Propineb y Cimoxanil) y Mancozeb, encontrando trazas de estos plaguicidas en la fruta colectada. Con respecto a Carbendazim y Benomil son fungicidas cuyas trazas no se permiten dentro de los LMR para el *codex alimentarius*, sin embargo de acuerdo con los LMR autorizados por la Comisión Europea, se acepta una tolerancia de 0,1mg/Kg, a pesar de esto las trazas de estos fungicidas con 2,1 mg/Kg fueron una de las más altas encontradas en la

fruta analizada. Lo anterior puede ser consecuencia de que se ilustra el resultado de las dos moléculas como una sola por pertenecer al mismo grupo químico (Tabla 14).

En el mismo sentido, es de notar la alta residualidad de Mancozeb que constituyó el fungicida con la mayor cantidad de residuos con 2,7 mg/Kg (Tabla 14), comparado con los 0,05 mg/Kg de los LMRs autorizados por la Comisión Europea. De la misma forma las trazas de Cimoxanil, aunque relativamente bajas (0,022 mg/Kg), también exceden los límites (0,01 mg/Kg) establecidos por la Comisión Europea.

Tabla 14

Residuos de plaguicidas obtenidos en la fruta cosechada para cada tratamiento.

| Tratamiento | Molécula encontrada | Cantidad mg/Kg | Tolerancia mg/Kg |
|----------------------|---------------------|----------------|------------------|
| Tricotec®-Kendal®. | Azoxystrobin | 0,10 | 0,01 |
| | Difeconazole | 0,046 | 0,01 |
| Tricotec®-EcoSwing®. | Azoxystrobin | 0,13 | 0,01 |
| | Difeconazole | 0,078 | 0,01 |
| | Fluopicolide | 0,22 | 0,01 |
| | Mancozeb | 2,7 | 0,01 |
| Productor | Cipermetrina | 0,24 | 0,01 |
| | Cialotrina | 0,17 | 0,01 |
| | Carbendazim | 2,1 | 0,01 |
| | Benomil | 0,022 | 0,01 |
| | Cimoxanilo | 0,18 | 0,01 |
| | Propiconazol | 0,096 | 0,01 |
| | Tiametoxam | 0,25 | 0,01 |

Los límites de tolerancia descritos por el Laboratorio hacen referencia a un esquema de producción orgánica, cuya tolerancia es prácticamente cero.

Tabla 15

Límite máximo de residuos LMR de plaguicidas autorizados por la Comisión Europea (Unión Europea) para moras, código 0154060.

| Plaguicida | Límite máximo de residuo (mg/kg) |
|---|----------------------------------|
| Azoxystrobin | 5 |
| Benomil | 0,1 |
| Captan | 0,03 |
| Carbendazim | 0,1 |
| Cimoxanilo | 0,01 |
| Clorotalonil | 0,01 |
| Clorpirifós | 0,05 |
| Compuestos del cobre | 5 |
| Difenoconazole | 0,1 |
| Dimetomorfo | 0,01 |
| Fluopicolide | 0,01 |
| Hexaconazole | 0,01 |
| Iprodion | 0,01 |
| Mancoceb | 0,05 |
| Pirimetanil | 5 |
| Procloraz | 0,05 |
| Propiconazole | 0,01 |
| Propineb | 0,05 |
| Tebuconazole | 1,5 |
| Tiram | 0,1 |
| <i>Trichoderma atroviride</i> (anteriormente, <i>T. harzianum</i>), cepas IMI 206040 y T11 | No requiere LMR |
| <i>Trichoderma harzianum</i> , cepas T-22 e ITEM 908 | No requiere LMR |

Adaptado y tomado de PLANTS EU Pesticides data base 2017:

<http://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/eu-pesticidesdatabase/public/?event=pesticide.residue.CurrentMRL&language=ES>

5. Discusión

Al analizar los resultados obtenidos en la evaluación de la eficacia de cada alternativa contemplada para el manejo de las tres enfermedades más limitantes del cultivo de mora, se encontró que Kendal[®] fue el producto que presentó mejor desempeño en cuanto a la reducción de la incidencia y severidad de las tres enfermedades, incluso superando a los fungicidas de síntesis química.

Kendal[®] es comercializado como un bioestimulante de uso foliar, que además de contener diferentes fuentes de nitrógeno contiene extractos vegetales, cuya composición principal son glutatión, oligosacarinas y saponinas, moléculas que actúan como elicitores y se asocian al fenómeno de estimulación de respuestas de defensa en la planta (Valagro, <https://www.valagro.com/es/farm/productos/>).

Las oligosacarinas son oligosacáridos, formados por cadenas cortas de azúcares que son derivados de la degradación de compuestos de la pared celular como pectinas o xiloglucanos, y que a bajas concentraciones actúan como mensajeros químicos hormonales, regulando los mecanismos de defensa, crecimiento, diferenciación, morfogénesis y reproductivo en plantas (Guevara et al, 2010).

Estas moléculas son reconocidas en la superficie celular por diferentes receptores que generan la estimulación de distintas vías metabólicas y un incremento de la resistencia sistémica adquirida (RSA), aun cuando la planta no posea genes determinantes de la resistencia específica, siendo además efectiva contra un amplio espectro a determinados fitopatógenos y en un período largo de tiempo (Norman et al., 1999; Garcia-Brugger et al, 2006; Guevara et al, 2010). Adicionalmente actúan como elicitores de fitoalexinas, mediando en la inducción de la síntesis de

inhibidores de proteasas microbianas y en procesos de apoptosis como mecanismo de restricción del fitopatógeno (Mert-Türk, 2002; Garcia-Brugger et al, 2006).

De otra parte el glutatión es un tripéptido no proteínico constituido por cisteína, glutamato y glicina, componente fundamental en la eliminación de toxinas ya que actúa como agente antioxidante, siendo crucial en las respuestas de la planta frente al estrés biótico y abiótico (Noctor et al, 2012).

Dadas las características y las propiedades que estas moléculas presentan en la protección vegetal, es posible que estas hayan estimulado respuestas de defensa en las plantas de mora tratadas con Kendal[®], particularmente contra *P. sparsa* y *C. gloeosporioides*, patógenos cuyos modos de vida (biótrotía o hemibiotrotía) limitan la acción de hongos antagonistas como *Trichoderma* spp., debido en parte a que en un momento de su ciclo de vida, estos patógenos se encuentran dentro del tejido vegetal, limitando la acción de mecanismos de control como el micoparasitismo y la competencia por espacio y nutrientes (Lebeda et al, 2009; Weir et al., 2012).

Resultados eficientes en el manejo de mildew velloso en mora utilizando aplicaciones de Kendal[®] han sido obtenidos anteriormente, en estudios desarrollados por Boyzo et al (2015), donde realizaron aplicaciones de Kendal[®], dos bioplaguicidas, uno a base de *Bacillus subtilis* y otro a base de *Trichoderma harzianum*, un extracto vegetal de semillas de cítricos y un fungicida a base de sulfato de cobre, en un período de evaluación de tres años, encontraron menor incidencia de la enfermedad en el tratamiento en el que se aplicó Kendal[®] (13%) con respecto a los demás tratamientos (entre el 15% y el 19%).

En el mismo sentido, Dagostin et al (2011) al evaluar alternativas diferentes al uso de fungicidas a base de cobre en el control de mildew velloso en vid causado por *Plasmopara viticola*, obtuvo una eficacia del 92% realizando aplicaciones de Kendal[®] en plantas bajo condiciones de invernadero.

Sin embargo aunque en el presente estudio con las aplicaciones de Kendal® no se obtuvieron resultados como los descritos anteriormente, fue la alternativa de manejo más eficiente.

De otra parte aunque no hay antecedentes de uso de este bioestimulante en el manejo de la antracnosis, con las aplicaciones de este producto se presentó la mayor eficiencia en el control de la enfermedad, fenómeno que puede estar relacionado con lo expuesto anteriormente.

De otra parte, aunque no se presentaron diferencias significativas en el control de *B. cinerea*, con las aplicaciones del bioplaguicida Tricotec® se obtuvo un control eficiente del moho gris. Resultados similares en la eficacia de este bioplaguicida en el control del moho gris en mora fueron obtenidos por Zapata y Cotes en 2013, en aplicaciones realizadas en dos cultivos comerciales en el municipio de Sylvania (Cundinamarca), obteniendo un control de la enfermedad del 60%, respecto al 58% y 27% de los fungicida Procloraz y Carbendazim respectivamente, adicionalmente fue con este biofungicida se obtuvo la mayor cantidad de fruta cosechada por semana con 5,6 Kg, comparado con el 4,4 Kg obtenido con Procloraz o 3,6 Kg con Carbendazim. Sin embargo en este estudio no se observó un efecto de control sobre la antracnosis o el mildew veloso.

Igualmente, en estudios desarrollados por Hincapié et al (2017) al evaluar el uso de diferentes bioplaguicidas a base de *Trichoderma* spp., incluido Tricotec®, el extracto vegetal EcoSwing® y los fungicidas Mancozeb, Carbendazim y Propamocarb, en el control de moho gris, antracnosis y mildew veloso en mora, realizando las evaluaciones sobre la incidencia de las enfermedades en frutos, encontraron mayor eficiencia en el control del moho gris con las aplicaciones de Tricotec® y EcoSwing® con una incidencia del 6% y 8% respectivamente, comparado con el 10% de las aplicaciones de fungicidas.

B. cinerea es un patógeno susceptible a la ausencia de nutrientes, ya que este factor limita la germinación de sus conidios, la formación del tubo germinal y los posteriores procesos de

infección (Elad,1996), en este sentido mediante la aplicación de antagonistas como *Trichoderma* spp., que presentan diferentes modos de acción como la competencia por espacio y nutrientes, micoparasitismo o antibiosis, pudo haber inhibido el desarrollo de los propágulos del patógeno, reduciendo los procesos de infección en las diferentes estructuras florales así como en los frutos en diferentes estados de desarrollo (McNicol et al, 1985; Bristow et al, 1986; Elad, 2000).

Aunque en la evaluación en el cultivo de Pasca, la incidencia del moho gris fue superior a la obtenida en el trabajo de Zapata & Cotes (2013), cabe anotar que esta última se realizó en cultivos comerciales establecidos para tal fin, con plantas obtenidas bajo un esquema de micropropagación, sembradas a distancias de siembra de 2,5 m entre plantas y entre calles 3 m, empleando un sistema de tutor de cama y esquemas de fertilización de acuerdo con el análisis de suelo, a diferencia de las condiciones que se encontraron y que fueron necesarias intervenir para mejorar las condiciones del cultivo. A pesar de esta circunstancia el control fue más eficiente que el obtenido con los fungicidas evaluados o por los utilizados por los productores que en el caso de Pasca fue Carbendazim.

De otra parte, con las aplicaciones de EcoSwing[®] también se obtuvieron resultados eficientes en el control de *B. cinerea* y *P. sparsa*, ya que es un producto recomendable para el control de *B. cinerea* en mora, cuyo principio activo son alcaloides extraídos de Rutaceas (*Swinglea glutinosa*) que tienen efectos inhibitorios sobre el micelio y conidios del fitopatógeno (Ecoflora Agro, <http://www.ecofloragro.com/ecoswing/>)

En cuanto a la eficacia de los fungicidas, se encontró que de acuerdo al principio activo y el patógeno blanco se obtuvo algún grado de control de las diferentes enfermedades, de acuerdo con esto son productos que pueden ser aplicados en rotación con los bioplaguicidas y los extractos vegetales, teniendo en cuenta particularmente las condiciones ambientales como la humedad, factor que amplía el riesgo de aumentar la incidencia de las enfermedades.

Dentro de las estrategias de manejo que se plantearon integrando las alternativas más eficientes, hay que establecer que aspectos que a primera vista parecen fundamentales como el establecimiento del cultivo con adecuadas distancias de siembra, realizar podas de formación, mantenimiento y sanitarias, así como la implementación de adecuados sistemas de tutores que se encuentran publicados en diferentes manuales de manejo del cultivo de la mora o de buenas prácticas agrícolas para el cultivo, producidos por diferentes entidades de investigación (ICA, 2011; Gobernación de Antioquia, 2014; Cámara de Comercio de Bogotá, 2015). Sin embargo al establecer el estado fitosanitario inicial para los cultivos y particularmente para el municipio de El Colegio, se encontró la ausencia de este tipo de conocimientos técnicos, situación asociada eventualmente a una baja asistencia técnica o a una baja adopción, a lo cual los productores manifestaban que era causa de la primera.

En este aspecto la implementación del cultivo incorporando las prácticas agronómicas relacionadas anteriormente, permitió además de demostrar los beneficios que concede al momento de manejar el cultivo, como por ejemplo, practicidad al momento de realizar actividades como podas, la cosecha de fruta, la aplicación con mayor cobertura de fertilizantes (edáficos y foliares), bioplaguicidas e incluso de plaguicidas, el efecto sobre la reducción de la humedad en el microambiente de la planta mediante la apertura de los tallos y su amarre al sistema de tutor, que permite la aireación y la penetración en una mayor área de los rayos del sol.

Adicionalmente, el registro de las condiciones ambientales y el monitoreo de la incidencia de las enfermedades, permitió establecer medidas de contingencia como la rotación con fungicidas de síntesis, teniendo en cuenta que la premisa del manejo integrado del cultivo incluye prevención, observación y la selección de una adecuada alternativa de control.

Teniendo en cuenta el efecto de las condiciones ambientales sobre la incidencia de las enfermedades evaluadas en el cultivo, se podría en parte relacionar el descenso o el aumento en la

incidencia del moho gris y el mildew veloso en momentos específicos del período de evaluación, en el primer caso, una baja HR (65%), así como la ausencia de una película de agua sobre el tejido vegetal, limita la germinación e infección de los conidios de *B. cinerea*, así como la movilidad e infección de las oosporas de *P. sparsa* (Eden et al, 1996; Aegerter, Núñez, & Davis, 2003), fenómeno que se observó en la tercera y la sexta semana de evaluación, siendo un efecto más marcado para la incidencia del moho gris (Figura 23).

En contraste, la presencia de una mayor HR (90%), así como la presencia de agua sobre los tejidos de las flores, frutos, hojas y tallos, por consecuencia de la lluvia o del punto de rocío, propició condiciones favorables para el desarrollo y la infección de los tejidos vegetales por parte de los patógenos (Coertze, Holz, & Sadie, 2001; Aegerter, Núñez, & Davis, 2003), esto en virtud de los registros para la incidencia de cada enfermedad en las condiciones de mayor HR (Figura 23).

Partiendo desde la prevención, en conjunto con las prácticas agronómicas, con el monitoreo de las condiciones ambientales y de la incidencia de las enfermedades, con las aplicaciones del bioplaguicida, los extractos vegetales y con las aplicaciones en momentos específicos de los fungicidas, se redujo significativamente la incidencia y la severidad de las enfermedades con respecto a la estrategia de manejo convencional del productor, aunado a la reducción en el número de aplicaciones de fungicidas, así como en el número de principios activos utilizados, un efecto que al mismo tiempo replicó en una mayor producción de fruta con baja trazabilidad de residuos de plaguicidas, particularmente para el tratamiento Tricotec[®]-Kendal[®].

En consecuencia y de acuerdo con la eficiencia de las estrategias planteadas en el control de las tres enfermedades, así como en la producción de fruta, la estrategia que integró las aplicaciones de Tricotec[®]-Kendal[®] y las dos aplicaciones de Amistar Top[®], fue la más destacada, pudiendo estar relacionada su eficiencia en primera instancia con la sinergia en la combinación de

los diferentes mecanismos de acción de *T. koningiopsis* cepa Th003 (principio activo de Tricotec®) y Kendal®, particularmente en el control del moho gris, si bien el primero actúa directamente sobre el patógeno, la inducción de respuestas de defensa por la planta por parte del segundo, pudo en cierta medida limitar el proceso de infección de *B. cinerea*.

En ese mismo orden de ideas, a este comportamiento podría también atribuirse la eficiencia en el control de *C. gloeosporioides* y *P. sparsa*, sin embargo para Kendal®, es necesario estudiar y determinar el fenómeno de inducción de respuestas de defensa en plantas de mora.

El efecto sobre el control de diferentes fitopatógenos mediante la combinación de *Trichoderma* sp., con extractos vegetales ha sido determinada por diferentes investigadores, en este sentido, Adandonon et al, (2006) encontró que con la combinación del extracto de Moringa (*Moringa oleifera*) con *Trichoderma* sp., aislamiento IITA 508 se obtenía un control del 94% y 70% del damping-off y de la pudrición del tallo en frijol causado por *Sclerotium rolfsii* en invernadero y campo respectivamente, así como un incremento significativo en la producción.

En cuanto a la producción de fruta, es de destacar que la mayor cantidad de fruta se obtuvo con los tratamientos donde se evaluaron las estrategias de manejo, pudiendo ser un factor determinante para la producción de fruta, mediante la reducción de la incidencia de enfermedades, lo cual repercute en un mejor estado sanitario de la planta y en el aprovechamiento de su potencial productivo.

De otra parte hay que tener en cuenta que en este bioensayo se realizó la cuantificación de la producción de fruta sobre la base de 45 plantas, sin embargo al realizar una proyección directamente proporcional a la cantidad de fruta que se podría producir en una hectárea particularmente en 2.000 plantas (de acuerdo con la densidad de siembra establecida por las distancias de siembra que se utilizaron en este trabajo) con la base del valor promedio semanal calculado durante el período de evaluación, se destaca que con la estrategia Tricotec®-Kendal® se

obtendrían algo más de 12,2 toneladas, superando en cinco las 7,2 toneladas del promedio nacional, en tanto que con la estrategia Tricotec[®]-EcoSwing[®] también se superaría este promedio, pero en algo más de una tonelada, mientras que con el manejo convencional se obtendrían 6,6 toneladas, valor que se encuentra por debajo del promedio nacional (Tabla 16) (MADR, 2015).

Tabla 16

Proyección de la producción de fruta para cada tratamiento.

| Tratamiento | Número de plantas | Kg promedio semanal (Actual) | Kg promedio mes (Actual) | Proyección Kg Año para 2000 plantas |
|--|-------------------|------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|
| Tricotec [®] -Kendal [®] | | 5,7 | 23 | |
| | | 253 | 1.022 | 12.264 |
| Tricotec [®] - | 45 P. T | 4 | 16 | |
| EcoSwing [®] | 2000 D. ha | 178 | 712 | 8.544 |
| Productor | | 3,1 | 12,4 | |
| | | 138 | 552 | 6.624 |

El promedio Kg semanal se determinó de acuerdo con la media obtenida durante el período de evaluación.

P.T: Por tratamiento.

D. ha: Densidad por hectárea

Es notable el efecto que la implementación de esta estrategia de manejo podría presentar, situación que podría repercutir en la mejora de los ingresos de los productores y su familia, redundando incidentalmente en su poder adquisitivo, la mejora de su calidad de vida, así como en la dinamización del empleo rural en las zonas productoras en virtud de la constante necesidad de mano de obra que requiere el cultivo, aportando en este sentido con el desarrollo integral y sostenible del territorio.

En cuanto al impacto sobre el ambiente, de acuerdo con los fungicidas empleados por los productores, Carbendazim es el plaguicida que presenta el CIA más alto de todos los principios activos utilizados, debido principalmente a que es un producto sistémico que presenta una vida media que puede estar alrededor de las cinco semanas, con acción moderada a altamente peligrosa

en ambientes acuáticos para algunas especies de peces, invertebrados, crustáceos, así como para algunas especies de aves (University of Hertfordshire, 2017a).

De la misma manera, fungicidas como Benomil o Mancozeb presentan riesgos para la salud humana y ambiental y al igual que Carbendazim también son sistémicos, el primero con una vida media de alrededor de seis semanas, siendo altamente tóxico para diferentes especies de peces (Wang et al, 2009; University of Hertfordshire, 2017b).

Si bien Mancozeb presenta baja toxicidad y movilidad debido a que es prácticamente insoluble en agua y se adsorbe fuertemente a las partículas del suelo, su principal producto de degradación, la etilenotiourea (ETU) es bastante estable y tiene una alta solubilidad en agua, pudiendo ser fuente de contaminación de aguas superficiales y subterráneas, considerándose extremadamente tóxico para anfibios, ligeramente tóxico para peces y medianamente tóxico para crustáceos (Roede & Miller, 2014).

La ETU se encuentra clasificada como carcinógeno animal y probable carcinógeno humano (grupo B2) en base a pruebas de carcinogenicidad en animales (EPA, 1992). Además, la exposición crónica a este producto se ha relacionado con efectos negativos sobre el sistema digestivo, la glándula tiroides y el sistema nervioso (Hayama & Takada, 2008; López-Fernández et al, 2017).

Cabe resaltar que estos fungicidas no cuentan con registro ICA para su uso en el cultivo de mora y que el organismo blanco de control no es un problema para el cultivo. Esta situación deja en evidencia el desconocimiento con respecto al correcto uso de los plaguicidas, su eficacia de control frente al organismo blanco, particularmente su auto-formulación, así como la insuficiente capacitación en temas relacionados con el manejo integrado del cultivo y buenas prácticas agrícolas.

Para comprender con mayor claridad el impacto que sobre el agroecosistema tienen o pueden tener los plaguicidas, es necesario tener en cuenta e integrar las diferentes dinámicas que

en este se presentan, así como la forma en que estas podrían verse afectadas; un ejemplo de estas dinámicas para el cultivo de mora es la polinización de las flores que repercute en una mayor producción y calidad de frutos, siendo un servicio que prestan diferentes artrópodos como abejas (de diferentes especies), abejorros, avispas, mariposas, polillas, moscas, escarabajos, pájaros (colibríes) y cuya presencia es considerada como un bioindicador de la sanidad ambiental del cultivo (Vásquez et al, 2011).

Aunque no fue objeto de evaluación en este trabajo, en las parcelas donde se evaluaron las estrategias planteadas se observó una mayor diversidad de insectos polinizadores, así como de depredadores entre las que se observaron diferentes especies de arañas y coleópteros (Anexos 2, 3 y 4). Sin embargo, en el tratamiento productor, así como en otros cultivos cuyo manejo se realiza principalmente con plaguicidas de síntesis, no fue constante la observación de estos animales.

En este aspecto hay que tener en cuenta que aunque los artrópodos, principalmente las abejas pueden estar expuestas a los fungicidas como consecuencia de sus actividades de búsqueda de alimento y aunque algunos de los fungicidas aplicados pueden no tener un efecto tóxico para su salud, pueden en éstas así como en otros artrópodos provocar la repelencia hacia el sustrato (flores), su desorientación o cambios de comportamiento, reduciendo su presencia en las áreas tratadas reduciendo la polinización en las flores con la consecuencia que esto conlleva, además es importante considerar que los procedimientos para determinar la toxicidad de los plaguicidas normalmente solo se aplican para las abejas domésticas sin tener en cuenta otros agentes polinizadores (vanEngelsdorp & Meixner, 2010; Brittain et al, 2010).

Aunque las flores de mora pueden autopolinizarse, entre el 90% al 95% de la polinización es atribuida a la actividad de diferentes agentes, es así que su ausencia puede provocar una polinización incompleta, lo que resulta en producción de fruta con malformaciones. De acuerdo con lo anterior es importante tener en cuenta que la flor de la mora está compuesta de entre 100 a

125 pistilos, a los cuales es preciso transferir los granos de polen para fecundarlos y así formar una semilla y una drupa a su alrededor, así el fruto de mora estaría formado por entre 80 y 100 drupas, y si no se transfiere polen a los pistilos no se forman las semillas ni las drupas, parte estructural del fruto, comprometiendo de esta forma su integridad, quedando así espacios o drupas pequeñas e inmaduras (Figura 26) (Bolda, 2010), por lo tanto es importante que en los tratamientos donde se evaluaron las estrategias de manejo integrado se observarán diferentes artrópodos, siendo una ventaja adicional de las estrategias planteadas.



Figura 26. Frutas con una polinización deficiente. Se observa el pobre desarrollo de las drupas y el llenado ineficiente del fruto. Fuente autor.

En este contexto es crucial el servicio ecosistémico que los diferentes agentes polinizadores le prestan al cultivo y al productor (Winfrey & Kremen, 2009). Al respecto, en estudios desarrollados por Vásquez, et al (2006) en un cultivo de mora ubicado en el municipio de Sylvania, se observó un aumento superior al 90% en la producción de fruta, mayor cantidad de grados Brix y mayor tamaño, al introducir 3 colmenas en un cultivo inferior a una hectárea, con efecto positivo que se relaciona a la polinización realizada por las abejas, sin embargo sobre el particular es necesario determinar el efecto que la introducción de este polinizador tiene sobre los polinizadores nativos.

Teniendo en cuenta que aunque no es un parámetro que se incluye para determinar el CIA de un plaguicida o de cualquier otro indicador similar, otro de los fenómenos a considerar es el efecto que tienen los diferentes fungicidas utilizados sobre las diferentes dinámicas microbianas del suelo, dado que los diferentes principios activos pueden afectar microorganismos que no son el objetivo de control, afectando procesos como la descomposición de la materia orgánica, la mineralización de carbono, la nitrificación y la solubilización de fósforo y hierro, así como la simbiosis entre estos y las plantas (Burrows & Edwards, 2004; Sousa et al., 2004).

Como se mencionó anteriormente Benomil, Carbendazim y Mancozeb son fungicidas sistémicos de amplio espectro, ampliamente utilizados para el control de diferentes enfermedades producidas por hongos en una gran variedad de cultivos desde ya hace varias décadas, y en la actualidad aunque su uso puede no ser eficiente su bajo costo y su facilidad de consecución, los hace una de las principales alternativas de manejo de enfermedades a considerar.

Adicionalmente, Benomil y Carbendazim son plaguicidas que persisten en el ambiente y particularmente en el suelo por un largo período de tiempo, ya que dependiendo de los esquemas de aplicación pueden tener una vida media de 4 a 6 semanas, sumando a esto a que generalmente se recomiendan aplicaciones frecuentes de estos fungicidas durante el ciclo de cultivo, estas temporalidades pueden tener efectos negativos sobre la estructura de las comunidades microbianas del suelo, alterando su actividad y por lo tanto la estabilidad y la productividad del agroecosistema a largo plazo (Johnsen et al, 2001; Wang et al, 2009).

Estos fungicidas pueden cambiar el predominio de las comunidades microbianas del suelo, de fúngico a bacteriano afectando las dinámicas en los que los primeros intervienen (Shu-Kang, Clive & Scott, 2001), por ejemplo Benomil presenta un efecto negativo sobre los hongos formadores de micorrizas arbusculares del género *Glomus*, que se encuentran comúnmente en la rizósfera y que forman una relación simbiótica con las raíces de una gran diversidad de plantas, en

la cual se facilita la absorción de nutrientes, particularmente fosforo, así como la ampliación del sistema radicular de la planta más allá de la zona de agotamiento de nutrientes, sin embargo en contacto con Benomil las esporas de estas micorrizas presentan una baja germinación y un pobre crecimiento del micelio, afectando así el proceso de infección en las raíces de las plantas hospederas (Wan, Rahe & Watts, 1998; Chiocchio et al., 2000).

En contraste, los bioplaguicidas presentan riesgos bajos para el ambiente dado que los microorganismo que los componen son aislamientos que usualmente tienen un organismo blanco o sus géneros y especies hacen parte de la microbiota de los agroecosistemas, además al ser integrados a un nuevo ambiente estos tienen que adaptarse a nuevas condiciones y competir con la microbiota nativa, lo cual hace que se reduzca su población en el tiempo, persistiendo durante períodos variables en función de sus características biológicas, la disponibilidad de huéspedes, la estabilidad ecológica del ambiente y el sistema de cultivo. Por ejemplo, el uso de microorganismos como *Trichoderma* spp., para el control de patógenos de plantas se basa en su previo establecimiento dentro del entorno del patógeno, en el caso de la mora el establecimiento sobre la superficie de las hojas y las flores (Chandler et al, 2008).

En el caso particular de *Trichoderma* spp, es el hongo cosmopolita y más aislado del suelo y que se encuentra copiosamente en la filósfera de muchas especies vegetales (Vinale et al, 2008) y aproximadamente más del 60% de los bioplaguicidas registrados en el mundo contienen una especie o varias especies de *Trichoderma*, siendo quizás el microorganismo más utilizado en programas de manejo integrado de cultivos en el mundo (López, Pelagio & Herrera, 2015).

De otra parte, respecto a un posible efecto negativo de *Trichoderma* spp, sobre la entomofauna particularmente agentes polinizadores es de destacar que son varios los estudios que han evaluado su impacto concretamente en abejas, encontrando que no se presentan efectos adversos, siendo además potenciado su uso para dispersar formulaciones de este agente

biocontrolador. Escande, Laich & Pedraza (2002) evaluaron la dispersión de formulaciones a base de diferentes especies de *Trichoderma* spp., con abejas melíferas para el control de la pudrición del girasol causada por *Sclerotinia sclerotiorum*, encontrando que con la dispersión se reduce significativamente la incidencia de esta enfermedad en las flores de un 75% a un 15%.

En el mismo sentido Karise et al, (2016) evaluaron la dispersión del bioplaguicida Prestop-Mix (*Gliocladium catenulatum* cepa J1446) con abejorros (*Bombus terrestris*) y la eficacia en el control del moho gris en fresa, encontrando que la incidencia de la enfermedad decreció significativamente, mostrando que la dispersión de biocontroladores por agentes polinizadores es confiable, ambientalmente amigable y especialmente relevante para modelos productivos de agricultura orgánica, ecológica o sustentable.

Lo anterior plantea la posibilidad de dispersar el bioplaguicida Tricotec® con diferentes agentes polinizadores, con lo cual eventualmente podría llegarse a cubrir un mayor número de flores, protegiéndolas de la infección de los propágulos de *B. cinerea*. Sin embargo para esto es necesario desarrollar diferentes estudios que demuestren su eficiencia así como la nula toxicidad en los polinizadores.

En cuanto a la residualidad de estos productos en la fruta, de acuerdo con los resultados obtenidos de los análisis realizados a la fruta cosechada por tratamiento, se encontraron trazas de otros principios activos que en teoría no deberían encontrarse, pues su uso no fue reportado por el productor, sin embargo esta es una situación que suele presentarse con frecuencia ya que la mayoría de productores cuando se le solicita información referida con el uso de plaguicidas tienden a reportar una menor cantidad de productos a la que convencionalmente aplica en sus cultivos, además es de tener en cuenta que el productor tuvo la autonomía para manejar este tratamiento de acuerdo con sus prácticas de manejo, sin embargo solo reportó la aplicación de los productos descritos en la Tabla 12 y con los cuales se calculó el CIAC.

Las moléculas adicionalmente encontradas corresponden a insecticidas como Cihalotrina, Cipermetrina, Tiametoxam y los fungicidas Propiconazol y Fluopicolide (Figura 31) de las cuales Cipermetrina es la única que no excede los LMR, en tanto que el uso de Cihalotrina no se encuentra autorizado en mora de acuerdo con la Comisión Europea (Tabla 15).

La residualidad de plaguicidas en mora tiende a ser una cualidad común a su producción, teniendo en cuenta que esta planta puede producir dos cosechas por semana y dada esta condición es imposible cumplir con los períodos de carencia posterior a la aplicación de plaguicidas, ya que como mínimo se debe contar con un tiempo de entre 7 y 21 días entre su aplicación y la cosecha de la fruta (Tabla 17), adicional a esto debido a su corta vida poscosecha es rápidamente comercializada en fresco en los diferentes canales de mercado, principalmente en las centrales de abastos, plazas de mercado, grandes superficies y mercados de barrio, en tanto que una parte es transformada de forma industrial o artesanal, por lo cual no se tiene el tiempo suficiente para que las moléculas de los plaguicidas puedan degradarse antes de llegar al consumidor final (Naranjo-Marín, 2011; Vásquez-Gallo, 2010), por lo tanto la estrategia Tricotec[®]-Kendal[®] es una mejor alternativa para el manejo de enfermedades.

Así mismo son pocos los estudios que se han realizado para reportar la presencia de residuos de plaguicidas en mora, en uno de estos Naranjo-Marín (2008) (citado por Naranjo-Marín, 2011) reportó en fruta cosechada en cultivos de municipios del eje cafetero, trazas de Clorotalonil (2,78 mg/Kg; 0,21 mg/Kg y 0,11 mg/Kg), Dimetoato y Clorpirifos, principios activos no registrados para su uso en este cultivo y restringidos en algunos mercados internacionales y en otros aceptados pero con bajos LMR.

A pesar de esto, en Colombia son pocas las restricciones al uso de determinados principios activos, sin embargo algunos segmentos de la industria han restringido el uso de plaguicidas como Clorotalonil, Mancozeb y Dimetoato, Benomil y Carbendazim, dadas las exigencias de los

mercados internacionales donde la fruta procesada es comercializada (Naranjo-Marín, 2011; MADR, 2015), como se observó en los resultados del tratamiento productor.

Tabla 17

Periodos de carencia para los plaguicidas utilizados y encontrados en los análisis de residualidad.

| Ingrediente activo | Periodo de carencia reportado según el fabricante |
|-------------------------|---|
| Benomil | 21 días |
| Carbendazim | 15 días |
| Azoxystrobin | 14 días |
| Difeconazole | 14 días |
| Mancozeb | de 14 a 21 días |
| Propineb + fluopicolide | 14 días |
| Hexaconazole | 15 días |
| Propineb + Cymoxanil | 14 días |
| Cipermetrina | 14 días |
| Cihalotrina | 14 días |
| Tiametoxam | 14 días |
| Propiconazole | de 21 a 30 días |

Fuentes ver anexo 5.

Dadas estas circunstancias es lógico pensar que la gran mayoría de la mora producida, comercializada y consumida en el país, presentó alguna traza o residuos de plaguicidas, afectando su inocuidad, convirtiéndose así en un riesgo potencial para la salud de los productores y consumidores.

Es de destacar que a diferencia de una sintomatología expresada por un efecto agudo que se observa de forma inmediata o casi inmediata a la exposición a los plaguicidas particularmente en aquellas personas que lo manipulan, la presencia de plaguicidas en los alimentos es responsable de efectos crónicos, considerados como aquellos procesos patológicos que se desarrollan en el

organismo luego de un período de latencia y se deben a la exposición repetida, eventualmente se manifiestan incluso hasta años después de la exposición, siendo en la mayoría de los casos irreversibles, lo cual aumenta de los costos destinados para su atención médica (Landrigan & Garg, 2002; Karam et al, 2004; Pimentel, 2005).

Entre los principales efectos a largo plazo de los plaguicidas, que han sido demostrados por diversos estudios de tipo epidemiológico en varias partes del mundo, pueden mencionarse diferentes tipos de trastornos neurológicos, efectos teratogénicos, de alteraciones de tipo inmunológico, hepáticas y en el aparato urinario, particularmente la vejiga (Karam et al, 2004, Pimentel, 2005).

En virtud de esta condición y sopesando que la mora se produce en 19 departamentos del país, particularmente por pequeños productores en el mayor de los casos bajo un esquema de agricultura familiar, la adopción de las estrategias de MIPE del cultivo planteadas. Además de reducir la residualidad de plaguicidas en la fruta, puede contribuir a que los productores en diferentes áreas rurales puedan integrarse a diferentes nichos del mercado, generando en la mora que producen, valor agregado en torno a la inocuidad como un atributo fundamental de calidad, considerando que la inocuidad es generada desde la producción primaria, es decir desde la finca, y que se transfiere posteriormente a otras fases de la cadena alimentaria, hasta su comercialización y consumo.

Aunque en Colombia, la inocuidad es un atributo que frecuentemente no se considera y por lo tanto su remuneración no es un factor determinante, hay pequeños segmentos de mercado que lo reconocen y asumen su costo, pagando valores superiores con respecto a los productos obtenidos de forma convencional. En este sentido, por ejemplo algunos supermercados de grandes superficies venden mora con sello verde obtenida a partir de cultivos que cumplen con algunos pautas técnicas de manejo o de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA), así como empresas como Postobón y Alpina

exigen requerimientos de manejo en los cultivos de los cuales obtienen la fruta, además de realizar análisis de trazabilidad de residuos de algunos plaguicidas (Programa MIDAS, 2009; Postobón, 2017), en este sentido con la adopción de la estrategia de manejo planteada en este trabajo por parte de los productores de mora supondría la posibilidad de acceder a diferentes nichos de mercado valorizando así su producción, mejorar sus ingresos y eventualmente la calidad de vida.

Es importante considerar que la implementación de modelos de producción sostenibles deben dejar de ser vistos como problemáticas a resolver para pasar a ser analizados como oportunidades, estrategias comerciales y ventajas competitivas, dado que son sujeto de la adjudicación de sellos verdes o etiquetas ecológicas, como por ejemplo en Colombia el Sello Ambiental Colombiano (ONAC) o el Sello Nacional de Alimento Ecológico del MADR o certificaciones internacionales como Global GAP, por lo cual la estrategia de manejo planteada además de ser un modelo agrónomicamente eficiente podría abrir las puertas a mercados internacionales. (MADS, 2016; MADR, 2017).

En el mismo sentido para la agroindustria, es importante tener en cuenta que la aplicación de modelos de producción sostenibles y la garantía de contar con una certificación verde ofrece adecuados parámetros de calidad, en este sentido se valora positivamente que los productos agrícolas que proveen sus materias primas posean certificaciones, debido a que la agroindustria enfrenta procesos de elaboración responsables cumpliendo normativas como la ISO 9000 ó ISO 14000, viéndose respaldado al contar de origen con materias primas de excelente calidad (Briz y de Felipe, 2011) una potencialidad que la adopción de la estrategia de manejo podría presentar.

6. Conclusiones

Considerando el área sembrada con mora en el país y siendo además uno de los cultivos con mayor representación departamental, se esperaría que su establecimiento estuviera condicionada por una serie de conocimientos técnicos traducidos en adecuadas labores agronómicas. Sin embargo durante el desarrollo de este trabajo se encontró que la mayoría de productores tanto en el municipio de Pasca como en el municipio de El Colegio, desconocen o presentan una muy baja adopción de adecuadas labores agronómicas, concernientes al uso de adecuadas distancias de siembra, sistemas de tutor eficientes y esquemas eficientes de podas.

En el mismo sentido, se evidenció el uso inadecuado de los plaguicidas empleados por los productores para el manejo de plagas y enfermedades en el cultivo, particularmente se usan principios activos que no están recomendados para este cultivo, así como para agentes patógenos que no lo afectan y que usualmente no se presentan en éste.

Si bien es un panorama crítico, la investigación participativa ofrece la posibilidad de trabajar con los productores y capacitarlos en temas relacionados con el manejo integrado del cultivo y buenas prácticas agrícolas, enfocado en el uso de alternativas diferentes a los plaguicidas de síntesis, como lo son los bioplaguicidas y extractos vegetales, acordes con los modelos de producción sostenible.

En este sentido, al evaluar la eficacia de las diferentes alternativas sobre el control del moho gris, la antracnosis y el mildew veloso, se encontró que Kendal[®] fue la más eficiente en su control, seguido de Tricotec[®] particularmente en el control del moho gris y EcoSwing[®] en el control del mildew veloso así como los fungicidas Trivia[®] y Botrylex[®] y Amistar Top[®], los cuales fueron seleccionados para plantear dos estrategias de manejo integrado de estas enfermedades.

De las estrategias planteadas, con Tricotec[®]-Kendal[®] se obtuvo la mayor eficacia en el control de las tres enfermedades presentando los valores de incidencia más bajos para las tres enfermedades, siendo estas del 3% para el moho gris, del 22% para antracnosis y del 21% para mildew velloso, contrastando con el manejo tradicional del productor que presentó los valores más altos para la incidencia y severidad para las tres enfermedades.

Al integrar el uso de Tricotec[®] y Kendal[®], con las dos aplicaciones del fungicida Amistar Top[®] se obtuvo el CIAC más bajo con un valor de 5,3, comparado con el 21,45 de la estrategia Tricotec[®] y EcoSwing[®] y el 74,83 de la estrategia convencional del productor. Resultados obtenidos en virtud a la eficiencia de las estrategias evaluadas en el control de las enfermedades, lo que permitió disminuir el número fungicidas de síntesis así como de sus aplicaciones.

Más allá de las limitaciones que pueda plantear el uso del CIA, éste resulta ser una herramienta útil en el diseño de estrategias de manejo integrado de cultivos en las que son necesarias las aplicaciones de plaguicidas, propendiendo así por un bajo impacto en el agroecosistema.

Con respecto a la producción de fruta con la estrategia Tricotec[®]-Kendal[®] se obtuvo la mayor cantidad de fruta por cosecha semanal con 5,0 Kg, cuya proyección al año para un cultivo con un área de una hectárea representaría una producción de aproximadamente 12,2 toneladas, superando casi en seis toneladas lo proyectado para el modelo de producción tradicional.

La estrategia de manejo integrado de enfermedades propuesta pretende que con su adopción se haga un aporte significativo al uso sostenible del agroecosistema, contribuyendo al desarrollo territorial, ya que aumentando la productividad y competitividad en torno a la inocuidad como generador de valor, se puede generar un cambio del modelo de producción que conduzca a mejorar la calidad de vida de los productores convirtiéndolos en multiplicadores del cambio técnico, a su vez que dinamizaría el empleo rural en las zonas productoras en virtud de la constante necesidad

de mano de obra que requiere el cultivo, al igual que las posibilidades de entrar a otros nichos del mercado.

7. Recomendaciones

Desarrollar estudios tendientes a determinar el posiblemente efecto que sobre la inducción de repuestas de defensa en las plantas de mora tiene Kendal[®] y explorar su aplicación en otros cultivos.

Validar la estrategia propuesta para el manejo de enfermedades del cultivo de mora en cultivos comerciales en densidades de siembra superiores a las que se tuvieron en este este trabajo, con el fin de poder determinar su efecto sobre el rendimiento en la producción.

Aplicar el uso del Coeficiente de Impacto Ambiental como indicador para desarrollar trabajos de investigación tendientes a estimar la sostenibilidad de modelos de producción agrícola.

Diseñar y ejecutar estrategias y programas de vinculación y extensión de la estrategia de manejo integrado propuesta para productores mora en diferentes zonas productoras del país, realizando la comparación de esta con respecto al modelo tradicional.

8. Lista de referencias

- Acevedo, A., & Angarita, A. (2013). Metodología para evaluación de sustentabilidad a partir de indicadores locales para el diseño y desarrollo de programas agroecológicos. En A. Acevedo & A. Angarita, *Metodología para la evaluación de sustentabilidad, a partir de indicadores locales para el diseño y desarrollo de programas agroecológicos – MESILPA*, Corporación Universitaria Minuto de Dios – UNIMINUTO (pp 40-47).
- Álvarez, R., Barrero, L., Beltrán C. & Cotes A. M. (2009). Capacitación sobre el manejo de un lote experimental para el cultivo de la mora en Silvania (Cundinamarca). En L. Barrero (Eds.), *Caracterización, evaluación y producción de material limpio de mora con alto valor agregado*. (pp 9-24). Boletín Técnico Corpoica, Produmedios.
- Arenas, A., Álvarez, E., Afanador-Kafuri, L., Mejía J. F., & González, A. (2007). Especies de *Colletotrichum* asociadas con la antracnosis de la mora de Castilla (*Rubus glaucus*, Benth.) en el Valle del Cauca. *Fitopatología Colombiana*. 31, 7-14.
- Benito, E., Arranz, M., & Eslava, A. (2000). Factores de patogenicidad de *Botrytis cinerea*. *Revista Iberoamericana de Micología* 17: S43-S46.
- Bolda, M. (2010). Polinización incompleta en la mora (frambuesa). Recuperado de: <http://ucanr.edu/blogs/blogcore/postdetail.cfm?postnum=2745>
- Boletín del Observatorio de Redes Empresariales de Barrabés América. (2011). Creando Valor Compartido: la nueva propuesta estratégica de Michael Porter. Recuperado de: <http://barrabesamerica.cloudmarketing.biz/boletines/barrabesamerica/30.html>
- Boyzo, J., Rojas, H. & Rebollar A. (2015). Biorational treatments to manage dry berry of blackberry caused by *Peronospora sparsa*. *Crop Protection* 76, pp 121 – 126.

- Bristow, P. R., McNicol, R. J. & Williamson, B. (1986). Infection of strawberry flowers by *Botrytis cinerea* and its relevance to grey mould development. *Annals of Applied Biology*, 109: 3, pp 545–554. doi:10.1111/j.1744-7348.1986.tb03211.x
- Brittain C.A., Vighi M., Bommarco R., Settele J. & Potts S.G. (2010). Impacts of a pesticide on pollinator species richness at different spatial scales. *Basic and Applied Ecology*, (11), 106-115. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2009.11.007>
- Briz, J., de Felipe, I. 2011. La cadena de valor agroalimentaria. Análisis internacional de casos reales. Editorial Agrícola Española S.A. Madrid, España 832p.
- Burrows, L. A., & Edwards, C. A. (2004). The use of integrated soil microcosms to assess the impact of Carbendazim on soil ecosystems. *Ecotoxicology*, (13), 1: pp. 143–161. <https://doi.org/10.1023/B:ECTX.0000012411.14680.21>
- Cardona, W. A. (2017). Requerimientos nutricionales (nitrógeno, fósforo, potasio y calcio) en etapa vegetativa y reproductiva de un cultivo de mora (*Rubus glaucus* Benth.), ubicado en el municipio de Silvania (Cundinamarca). Tesis de maestría en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía, 439p. Santa Fe de Bogotá, Colombia.
- Carisse, O. 2016. Epidemiology and Aerobiology of *Botrytis* spp. En: S, Fillinger & Y, Elad *Botrytis – the Fungus, the Pathogen and its Management in Agricultural Systems* (pp 127-148). Springer International Publishing. DOI: 10.1007/978-3-319-23371-0_7
- Chandler, D., Davidson, G., Grant, W.P., Greaves, J., & Tatchell, G.M. (2008). Microbial biopesticides for integrated crop management: an assessment of environmental and regulatory sustainability. (19), 5: pp. 275-283. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2007.12.009>

Chiocchio, V., Venedikian, N., Martinez, A., Menendez, A., Ocampo, J., & Godeas, A. (2000).

Effect of the fungicide benomyl on spore germination and hyphal length of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus mosseae*. *International Microbiology*. (3), 3: pp, 173–175.

Codex Alimentarius. (2016). Límites Máximos de Residuos FB 0272 - Raspberries, Red, Black.

Recuperado de:

http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/standards/pestres/commodities-detail/en/?c_id=115

Copping, L. G & Menn J.J. (2000). Biopesticides: a review of their action, applications and efficacy. *Pest Management Science*. 56:8 pp 651–676.

DOI: [10.1002/1526-4998\(200008\)56:8<651::AID-PS201>3.0.CO;2-U](https://doi.org/10.1002/1526-4998(200008)56:8<651::AID-PS201>3.0.CO;2-U)

Dagostin, S., Schärer, H., Pertot, II., & Tamm, L. (2011). Are there alternatives to copper for controlling grapevine downy mildew in organic viticulture? *Crop Protection*. 30: 7 pp. 776-

788. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2011.02.031>

Deising, H. B., Reimann, S. & Pascholati, S. (2008). Mechanisms and significance of fungicide resistance. *Brazilian Journal of Microbiology* 39, 286-295.

Dirección General de Agricultura del Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente de España. (2008). Unión Europea: Relación de Sustancias Activas de Productos Fitosanitarios Aceptadas, excluidas y en revisión comunitaria.

Elad, Y. (1996). Mechanisms involved in biological control of *Botrytis cinerea* incited diseases.

European Journal of Plant Pathology. 102: 8, pp 719–732. DOI: 10.1007/BF01877146

Elad, Y (2000). Biological control of foliar pathogens by means of *Trichoderma harzianum* and potential modes of action. *Crop Protection*. 19: 8, 709–714.

[https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(00\)00094-6](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(00)00094-6)

- Elad, Y & Stewart, A. (2004). Microbial control of *Botrytis* spp. En: Y. Elad, (Ed.) *Botrytis: Biology, Pathology and Control*. Kluwer Academic Publishers, 223–240.
- Environmental Protection Agency - EPA. (1992). Ethylene biodithiocarbamates (EBDCs), Notice of intent to cancel and conclusion of special review. Federal Register, 57 (41), U.S. Government Accounting Office: Washington DC, pp 7434–7530.
- Environmental Protection Agency - EPA. (2002). United States Prevention, Pesticides EPA-738-R-02-011. Environmental Protection and Toxic Substances July 31, 2002. Agency (7508C). Reregistration Eligibility Decision (RED) Benomyl.
- Escande, A. R., Laich, F. S., & Pedraza, M. V. (2002). Field testing of honeybee-dispersed *Trichoderma* spp. to manage sunflower head rot (*Sclerotinia sclerotiorum*). *Plant Pathology*. (51), 3: pp. 346–351. DOI: 10.1046/j.1365-3059.2002.00723.x
- European Union 2017. European Commission, EU Pesticides database. Recuperado de: <http://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/eupesticidesdatabase/public/?event=pesticide.residue.CurrentMRL&language=ES>
- Forero, M.C & Muñoz V, H. (2001). Enfermedades de la mora de castilla. Boletín de Sanidad Vegetal N° 34 Instituto Colombiano Agropecuario. Produmedios. Bogotá.
- Fungicide Resistance Action Committee – FRAC. (2017). FRAC Code List ©*2017: Fungicides sorted by mode of action (including FRAC Code numbering) Recuperado de: <http://www.frac.info/docs/default-source/publications/frac-code-list/frac-code-list-2017-final.pdf?sfvrsn=2>
- Gallopín, G. (2006). Los indicadores de desarrollo sostenible: aspectos conceptuales y metodológicos, Seminario de expertos sobre indicadores de sostenibilidad en la formulación y seguimiento de políticas. Fodepal, Santiago de Chile. Pág. 11 – 19.

http://ftp.utalca.cl/redcauquenes/cauquenes%20estudio/Articulos/GALLOPIN_LOS%20INDICADORES%20DE%20DESARROLLO%20SUSTENTABLE.%20ASPECTOS%20CONCEPTUALES%20Y%20METODOLOGICOS.pdf

- Garcia-Brugger, A., Lamotte, O., Vandelle, E., Bourque, S., Lecourieux, D., Poinssot, B., et al. (2006). Early signaling events induced by elicitors of plant defenses. *Molecular Plant Microbe Interactions* 19:711- 724. <http://dx.doi.org/10.1094/MPMI-19-0711>
- Gatto, M., Ippolito, A., Linsalata, V., Cascarano, N., Nigro, F., & Vanadia, S. (2011). Activity of extracts from wild edible herbs against postharvest fungal diseases of fruit and vegetables. *Postharvest Biology and Technology* 61, 72–82.
- Guetsky, R., Shtienberg, D., Elad, Y., Fischer, E. & Dinoor, A. (2002). Improving biological control by combining biocontrol agents each with several mechanisms of disease suppression. *Phytopathology*. (92), 9: pp 976-985. doi: 10.1094/PHYTO.2002.92.9.976.
- Guevara, E., Hernández, E., Arispuro, I., & Téllez, M. (2010). Oligosacarinas Derivadas de Pared Celular: Actividad Biológica y Participación en la Respuesta de Defensa de Plantas. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 28, 2, pp. 144-155.
- Gurjar, M. S., Ali, S., Akhtar, M., & Singh, K.S. (2012). Efficacy of plant extracts in plant disease management. *Agricultural Sciences*. (3), 3, pp 425-433. <http://dx.doi.org/10.4236/as.2012.33050>
- Gustafson, D. I. (1989). Groundwater ubiquity score: a simple method for assessing pesticide leachability. *Environ. Toxicol. Chem.* 8, 339-357.
- Hayama, T. & Takada, M. (2008). Simple and rapid method for the determination of ethylenebisdithiocarbamate fungicides in fruits and vegetables using liquid chromatography with tandem mass spectrometry. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. (392), 5: pp. 969–976. <https://doi.org/10.1007/s00216-008-2346-8>

Henao H. & Corey O. (1986). Plaguicidas organofosforados y carbámicos. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud, OPS, OMS (Metepéc México). 173p.

Hernández, V., Patiño, L. & Saldarriaga, A. (2013). Evaluación *in vitro* de fungicidas comerciales para el control de *Colletotrichum* spp., en mora de castilla. *Corpoica Cienc. Tecnol. Agropecu.* (14), 1 pp 67-75.

Hincapié, O., Saldarriaga, A., & Díaz, C. (2017). Biological, botanical and chemical alternatives for the control of blackberry (*Rubus glaucus*, Benth.) diseases. *Revista Facultad Nacional de Agronomía.* (70), 2, pp 8169-8176. Doi: 10.15446/rfna.v70n2.64521

Hubbard, M., Hynes, R., Erlandson, M., & Bailey, K. (2014). The biochemistry behind biopesticide efficacy. *Sustainable Chemical Processes*, 2:18.

DOI: [10.1186/s40508-014-0018-x](https://doi.org/10.1186/s40508-014-0018-x)

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. IDEAM. 2015. Atlas Climatológico de Colombia – Interactivo – año 2015. Bogotá, D. C. Recuperado de: <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasClimatologico.html>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. IDEAM. 2015. Atlas Climatológico de Colombia – Interactivo – 1981 - 2010. Departamento de Cundinamarca. Recuperado de: <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasClimatologico.html>

Instituto Colombiano Agropecuario - ICA. (2011). Manejo fitosanitario del cultivo de la mora (*Rubus glaucus* Benth) Medidas para la temporada invernal. Produmedios. Bogotá. 32 p.

Instituto Colombiano Agropecuario - ICA. (2017). Registros nacionales noviembre 01 de 2017 recuperado de:

<https://www.ica.gov.co/getdoc/d3612ebf-a5a6-4702-8d4b-8427c1cdaeb1/REGISTROS-NACIONALES-PQUA-15-04-09.aspx>

- Jarvis, W. R. (1962). The infection of strawberry and raspberry fruits by *Botrytis cinerea* Fr. *Annals of Applied Biology* 50, 569-575.
- Jarvis, W. R. (1969). The phenology of flowering in strawberry and raspberry in relation to grey mould control. *Horticultural Research* 9, 8-17.
- Kovach, J., Petzoldt, C., Degni, J., & Tette, J. (1992). A method to measure the environmental impact of pesticides. *New York's Food and Life Sciences Bulletin* 139, 1-8.
- Johnsen, K., Jacobsen, C., Torsvik, V., & Sørensen, J. (2001). Pesticide effects on bacterial diversity in agricultural soils - A review. *Biology and Fertility of Soils*. 33. 443-453. 10.1007/s003740100351.
- Karam, M., Ramírez, G., Bustamante-Montes, L., & Galván, J. (2004). Plaguicidas y salud de la población. *Ciencia Ergo Sum*, (11), 3: pp. 246-254.
- Karise, R., Dreyersdorff, G., Jahani, M., Veromann, E., Runno-Paurson, E., Kaart, T., et al. (2016). Reliability of the entomovector technology using Prestop-Mix and *Bombus terrestris* L. as a fungal disease biocontrol method in open field. *Scientific Reports*, (6), 31650. <http://doi.org/10.1038/srep31650>
- Landrigan P.J. & Garg A. (2002). Chronic Effects of Toxic Environmental Exposures on Children's Health. *Journal of Toxicology: Clinical Toxicology*. (40), 4: pp. 449-456. <http://dx.doi.org/10.1081/CLT-120006747>
- Leake, A. (2000). The development of integrated crop management in agricultural crops: comparisons with conventional methods. *Pest Management Science*. (56), 11: pp, 950-953. doi:10.1002/1526-4998(200011)56:11<950::AID-PS234>3.0.CO;2-5
- Lebeda, A., Spencer-Phillips, B., & Cooke M. (2009). The Downy Mildews - Genetics, Molecular Biology and Control. Springer Science & Business Media. pp 206.

- Leiva, L. (2011). Manejo fitosanitario del cultivo de la mora (*Rubus glaucus* Benth) Medidas para la temporada invernal. Produmedios. Colombia. 32p.
- Leroch, M., Kretschmer, M. & Hahn, M. (2011). Fungicide resistance phenotypes of *Botrytis cinerea* isolates from commercial vineyards in South West Germany. *J. Phytopathol.* 159, 63–65.
- Lopera, M., Homez, J., Ordoñez, M., & Pabón, H. (2009). Guía Ambiental Hortofrutícola de Colombia. *ASOHOFrucOL*. 92 p. Recuperado de:
http://www.asohofrucol.com.co/archivos/biblioteca/biblioteca_30_GUIAhortifruticultura%5B1%5D.pdf
- López-Fernández, O., Pose-Juan, E., Rial-Otero, R., & Simal-Gándara, J. (2017). Effects of hydrochemistry variables on the half-life of Mancozeb and on the hazard index associated to the sum of Mancozeb and ethylenethiourea. *Environmental Research*, (154), pp. 253-260. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.01.016>
- López, J., Pelagio, R., & Herrera, A. (2015). *Trichoderma* as biostimulant: exploiting the multilevel properties of a plant beneficial fungus. *Scientia Horticulturae* (196), pp. 109–123. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.08.043>
- López-Vásquez, J. M., Castaño-Zapata, J., Marulanda-Ángel, L., & López-Gutiérrez, A. M. (2013). Characterization of Anthracnose resistance caused by *Glomerella cingulata* and productivity of five Andean blackberry genotypes (*Rubus glaucus* Benth.) *Acta Agronómica*. 62 (2), 178-189. DOI: [10.15446/acag](https://doi.org/10.15446/acag)
- Martínez, R. (2009). Sistemas de producción agrícola sostenible. *Tecnología en Marcha*, (22), 2, pp. 23-39.

- Marulanda, M., Isaza, V. & Ramírez, A. (2007). Identificación de la especie *Colletotrichum* responsable de la antracnosis en la mora de castilla en la región cafetera. *Scientia et Technica* año XIII, No 37. 122 – 170.
- Mason, D. & Dennis, C. (1978). Post-harvest Spoilage of Scottish Raspberries in Relation to Pre-harvest Fungicide Sprays. *Horticultural Research* 18: 41-53.
- McNicol, R. J., Williamson, B. & Dolan, A. (1985). Infection of red raspberry styles and carpels by *Botrytis cinerea* and its possible role in post-harvest grey mould. *Annals of Applied Biology*. 106: 1, pp 49–53. doi:10.1111/j.1744-7348.1985.tb03093.x
- Mert-Türk, F. (2002). Phytoalexins: Defence or just response to stress? *Journal of Cell and Molecular Biology* 1: pp 1-6.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2015). Bullets mora julio 2015, Indicadores de apoyo, Cadena de la Mora. Recuperado de:
http://sioc.minagricultura.gov.co/templates/sioc_cadenas/docs/5356_46.pdf
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, MADR. (2016). Sello Ambiental Colombiano. Recuperado de:
<https://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article?id=366:plantilla-asuntos-ambientales-y-sectorial-y-urbana-19>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, MADR. (2017). Normatividad Sello Ecológico. Recuperado de:
http://sioc.minagricultura.gov.co/templates/sioc_cadenas/docs/5356_46.pdf
- Molina, S.; de La Rotta, M. & Torres, E. (2004). Incidencia de infecciones quiescentes de *Botrytis cinerea* en flores y frutos de mora de castilla (*Rubus glaucus*, Benth.). *Agronomía Colombiana* 22 (2): 101-109.

- Moyano, C., Gómez, V. & Melgarejo, P. (2004). Resistance to Pyrimethanil and other fungicides in *Botrytis cinerea* populations collected on vegetable crops in Spain. *Journal of Phytopathology*, 152, 484–490. doi:10.1111/j.1439-0434.2004.00880.x
- Naranjo-Marín, J. M. (2011). Propuesta de un perfil de riesgo químico establecido para la mora de Castilla (*Rubus glaucus* Benth) producida en Colombia. Máster en Gerencia de Programas Sanitarios en Inocuidad de Alimentos. Universidad para la Cooperación Internacional (UCI), San José, Costa Rica.
- Narayananamy, P. (2013). Nature and Characteristics of Biological Control Agents. En, P. Narayananamy *Biological Management of Diseases of Crops, Volume 1: Characteristics of Biological Control Agents*. Springer Dordrecht Heidelberg New York London.
- Nava, E., García, C., Camacho, J., & Vázquez, E. (2012). Bioplaguicidas: una opción para el control biológico de plagas. *Ra Ximhai*. 8 (3): pp. 7-29.
- New York State Integrated Pest Management of Cornell University. (2017). List of Pesticide Active Ingredient EIQ values. Recuperado de: <https://nysipm.cornell.edu/eiq/list-pesticide-active-ingredient-eiq-values>
- Noctor, G., Mhamdi, A., Chaouch, S., Han, Y., Neukermans, J., Marquez-Garcia, B., et al. (2012). Glutathione in plants: an integrated overview. *Plant Cell Environment*. 35(2) pp 454-84. DOI: [10.1111/j.1365-3040.2011.02400.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2011.02400.x)
- Norman, C., Vidal, S., & Palva, E. (1999). Oligogalacturonide-mediated induction of a gene involved in jasmonic acid synthesis in response to the cell-walldegrading enzymes of the plant pathogen *Erwinia carotovora*. *Molecular Plant Microbe Interactions*. 12:640- 644. <http://dx.doi.org/10.1094/MPMI.1999.12.7.640>

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO. (2008). IPM Impact Assessment Series Review, Use of Environmental Impact Quotient in IPM Programmes in Asia. <http://v1.vegetableipmasia.org/docs/EIQ%20Review%20Fin.pdf>.
- Ortiz, O. & Pradel, W. (2010). Some useful references related to impact evaluation. En O. Ortiz (Eds.), *Introductory guide for impact evaluation in integrated pest management (IPM) programs* (pp 14-74). International Potato Center, Integrated Crop Management Division.
- Pal, K.K. & Mc Spadden B. (2006). Biological control of plant pathogens. The Plant Health Instructor. The American Phytopathological Society. pp. 25. DOI: 10.1094/PHI-A-2006-1117-02.
<http://www.apsnet.org/education/AdvancedPlantPath/Topics/biolcontrol/default.htm>
- Paleologos, M & Flores, C. (2014). Principios para el manejo ecológico de plagas. En, S. Sarandón & C. Flores, *Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables*. Universidad Nacional de La Plata – Editorial de la Universidad de La Plata (pp 260-285).
- Pimentel, D. (2005). Environmental and Economic Costs of the Application of Pesticides Primarily in the United States. *Environment, Development and Sustainability*. (7), 2: pp 229–252.
<https://doi.org/10.1007/s10668-005-7314-2>
- Postobón. (2017). Hit Social, Oportunidades asociadas a las frutas. Recuperado de: <http://www.postobon.com/sostenibilidad/hit-social>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD (2017). Objetivos de Desarrollo Sostenible. Recuperado de: <http://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>
- Pradel, W., Forbes, G., Ortiz, O., Cole, D., Wanigaratne, S., & Maldonado, L. (2009). Use of the environmental impact quotient to estimate impacts of pesticide usage in three Peruvian

potato production areas. Integrated Crop Management Division, International Potato Center. Lima, Perú.

Programa MIDAS. (2009). Situación actual y perspectivas del mercado de la Mora. Economic Research Service - ERS. Componente de Agronegocios. Recuperado de:
http://www.ard.org.co/midas/departamentos/agricultores-y-cadenas-de-valor/pdf/Mercado_Situacion_Actual_y_Perspectivas_MORA.pdf

Rebollar-Alviter, A., Silva-Rojas, H.V., López-Cruz, I., Boyzo-Marín, J., & Ellis, M.A. (2012). Fungicide spray programs to manage downy mildew (dryberry) of blackberry caused by *Peronospora sparsa*. *Crop Protection*. 42, 49-55.
<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2012.06.007>

Rodríguez R. M., Benito, Á., & Portela, A. 2004. Meteorología y Climatología. Fundación española para la ciencia y la tecnología. pp 20.

Roede, J.R., & Miller, G.W. (2014). Mancozeb. *Encyclopedia of Toxicology*.

DOI: 10.1016/B978-0-12-386454-3.00157-3

Romero Prada, J., & Villamil Jiménez, L. (2011). Las agrocencias, una escuela de pensamiento para la nueva ruralidad. *Revista Universidad De La Salle*, (55), 67-97.
<https://revistas.lasalle.edu.co/index.php/ls/article/view/515>

Rosslénbroich H., & Stuebler D. (2000). *Botrytis cinerea* – History of chemical control and novel fungicides for its management. *Crop Protection*. 19: pp 557-561.

Rueda, K., Saldarriaga, A., Cadavid-Restrepo, G., Saldamando, C., Cañas, G., & Arango, R. (2013). Differential organ distribution, pathogenicity and benomyl sensitivity of *Colletotrichum* spp. from blackberry plants in northern Colombia. *Journal of Phytopathology*. 161, 246-253. DOI: 10.1111/jph.12040

- Ruiz Osorio, C., Cardona Hernández, D., & Duque, J. L. (2012). Corredores biológicos una estrategia de recuperación en paisajes altamente fragmentados. Estudio de caso Microcuenca La Bolsa, municipio de Marinilla. *Gestión y Ambiente*, 15(1), 7-18. Recuperado de: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/30813>
- Sandoval A., & Ospina, C. (2011). Sustentabilidad ambiental en el manejo del agua y del suelo en la producción de berries. Los casos de México y Colombia. *Ambiente y Desarrollo* (15), 28: 99-122.
- Sarandón, S. (2002). El desarrollo y uso de indicadores para evaluar la sustentabilidad de los agroecosistemas. En, S. Sarandón *Agroecología. El camino hacia una agricultura sustentable*. Ediciones Científicas Americanas (pp 393-414).
- Siembra, Sistema de innovación agropecuaria. 2016. Agenda I+D+i, Cadena agroalimentaria de la Mora, Demandas. Recuperado de: <http://www.siembra.gov.co/siembra/Agenda.aspx>
- Shtienberg, D. & Elad, Y. (1997). Incorporation of weather forecasting in integrated, biological-chemical management of *Botrytis cinerea*. *Phytopathology*. (87), 3: pp 332-340. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.1997.87.3.332>
- Shu-Kang, C., Clive, A. E., & Scott, S. (2001). A microcosm approach for evaluating the effects of the fungicides Benomyl and Captan on soil ecological processes and plant growth. *Applied Soil Ecology*, (18), 1: pp. 69–82. [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(01\)00135-4](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(01)00135-4)
- Sieverding, E., Alves, G., Berndt, R., Oehl, F. (2014). *Rhizoglosum*, a new genus of the *Glomeraceae*. *Mycotaxon*. (129), 2: 373–386. DOI: 10.5248/129.373
- Sora, Á; Fischer, G; & Flórez, R; (2006). Almacenamiento refrigerado de frutos de mora de Castilla (*Rubus glaucus* Benth.) en empaques con atmósfera modificada. *Agronomía Colombiana* 24, pp 306-316. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180316239014>

Sousa, J. P., Rodrigues, J. M., Loureiro, S., Soares, A. M., Jones S. E., Förster, B., et al. (2004). Ring-testing and field-validation of a terrestrial model ecosystem (TME) – an instrument for testing potentially harmful substances: Effects of Carbendazim on soil microbial parameters. *Ecotoxicology*, (13), 1: pp. 43–60.

<https://doi.org/10.1023/B:ECTX.0000012410.99020.97>

Tamayo, P. (2003). Principales enfermedades del tomate de árbol, la mora y el lulo en Colombia. Boletín técnico 20. 2a edición. Rionegro, Colombia. Impresos Begón Ltda.

Tripathi, P. & Dubey, N. (2004). Exploitation of natural products as an alternative strategy to control postharvest fungal rotting of fruit and vegetables. *Postharvest Biology and Technology* 32 (3), 325- 245.

United States Environmental Protection Agency -EPA. (2016). What are Biopesticides?

Recuperado de:

<https://www.epa.gov/ingredients-used-pesticide-products/what-are-biopesticides>

Uribe, L., Zapata. & Cotes, A.M. (2013). Sensibilidad de *Botrytis cinerea* a siete fungicidas comúnmente empleados para su control en cultivos de mora. En, J. Zapata (Eds.), *Desarrollo de prototipos de bioplaguicida a base de Rhodotorula glutinis LvCo7 para el control de Botrytis cinerea en cultivos de mora* (pp 11-25). Boletín Técnico Corpoica, Produmedios.

University of Hertfordshire. (2017a). PPDB: Pesticide Properties DataBase. Carbendazim.

Recuperado de: <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/footprint/es/Reports/116.htm>

University of Hertfordshire. (2017b). PPDB: Pesticide Properties DataBase. Benomyl. Recuperado

de: <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/iupac/Reports/66.htm>

UTZ Certified. (2015). Lista de pesticidas prohibidos y lista de vigilancia de pesticidas Versión

1.0. Recuperado de: <https://www.utzcertified.org>

- vanEngelsdorp, D., & Meixner, M. (2010). A historical review of managed honey bee populations in Europe and the United States and the factors that may affect them. *Journal of Invertebrate Pathology*, (103), pp. S80-S95. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2009.06.011>
- Van Lenteren, J. C. (2000). Measures of success in biological control of Arthropods by augmentation of natural enemies. Pp. 77-103. In: Wratten, S. and Gurr, G. (eds). *Measures of Success in Biological Control*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Vásquez-Gallo, L. A. (2010). Análisis de peligros químicos en los sistemas de producción de mora (*Rubus glaucus*, B.) en los departamentos de Antioquia y Caldas (Colombia). Máster en Gerencia de Programas Sanitarios en Inocuidad de Alimentos. Universidad para la Cooperación Internacional (UCI), San José, Costa Rica.
- Vásquez R, Ballesteros H, Muñoz CA, Cuéllar ME. (2006). Utilización de la abeja *Apis mellifera* como agente polinizador en cultivos comerciales de fresa (*Fragaria chiloensis*) y mora (*Rubus glaucus*) y su efecto en la producción. Corpoica. 2006. 77 p.
- Vásquez R, Ballesteros H, Castañeda S, Riveros L, Ortega C, & Calvo N. (2011). Incidencia de la polinización dirigida con abejas *Apis mellifera* en el cultivo de mora. En H, Chavarro 2001. *Polinización dirigida con abejas Apis mellifera: Tecnología para el mejoramiento de la producción de cultivos con potencial exportador* 88 p. Bogotá, Corpoica.
- Vinale, F., Sivasithamparam, K., Ghisalberti, E. L., Marra, R., Woo, S. & Lorito, M. (2008). *Trichoderma*–plant–pathogen interactions. *Soil Biology and Biochemistry*, (40), 1: pp. 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.07.002>
- Wan, M. T., Rahe, J. E. & Watts, R. G. (1998). A new technique for determining the sublethal toxicity of pesticides to the vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices*. *Environmental Toxicology and Chemistry*, (17), 7: pp. 1421–1428.

doi:10.1002/etc.5620170728

- Wang X., Song, M., Gao, C., Dong, B., Zhang, Q., Fang, H., et al. (2009). Carbendazim induces a temporary change in soil bacterial community structure. *Journal of Environmental Sciences*, (21), 12: pp. 1679-1683.
- Weir, B., Johnston, P., & Damm, U. (2012). The *Colletotrichum gloeosporioides* species complex. *Studies in Mycology* 73: 115–180. <http://dx.doi.org/10.3114/sim0011>.
- Wightwick, A., Walters, R., Graeme, A., Reichman, S., & Menzies, N. (2010) Environmental Risks of Fungicides Used in Horticultural Production Systems. En, O, Carise Fungicides (pp 273 – 304). InTech. DOI: 10.5772/555
- Winfree, R., & Kremen, C. (2009). Are ecosystem services stabilized by differences among species? A test using crop pollination. *Proceedings of The Royal Society B*. (276), pp. 229-237. doi:10.1098/rspb.2008.0709
- Woo S.L., Ruocco M., Vinale F., Nigro M., Marra R., Lombardi N., et al. (2014). *Trichoderma*-based Products and their Widespread Use in Agriculture. 8: 71-126.
DOI: [10.2174/1874437001408010071](https://doi.org/10.2174/1874437001408010071)
- Zapata, J. (2013). Introducción. En J. Zapata (Eds.), *Desarrollo de prototipos de bioplaguicida a base de Rhodotorula glutinis LvCo7 para el control de Botrytis cinerea en cultivos de mora* (pp 6). Boletín Técnico Corpoica, Produmedios.
- Zapata, J. & Cotes, A.M. (2013). Eficacia de dos prototipos de bioplaguicida a base de *Rhodotorula glutinis* cepa LvCo7 y un bioplaguicida a base de *Trichoderma koningiopsis* cepa Th003 en el control de *B. cinerea* en cultivos de mora. En J. Zapata (Eds.), *Desarrollo de prototipos de bioplaguicida a base de Rhodotorula glutinis LvCo7 para el control de Botrytis cinerea en cultivos de mora* (pp 73-79). Boletín Técnico Corpoica, Produmedios.

Zapata, J., Villamizar, L., Díaz, A., Uribe, L., Bolaños, C., & Gómez, M. (2013). Development of a biopesticide prototype based on the yeast *Rhodotorula glutinis* Lv316 for controlling *Botrytis cinerea* in blackberry. *Biological Control of Fungal and Bacterial Plant Pathogens IOBC-WPRS Bulletin*. 86, 263-2

Anexos

Anexo 1.

Residuos de plaguicidas obtenidos en cada uno de los tratamientos. Los límites de tolerancia descritos por el Laboratorio hacen referencia a un esquema de producción orgánica, cuya tolerancia es prácticamente cero.

PRIMORIS
YOUR RELIABILITY IN FOOD ANALYSIS

COLOMBIA

Número de laboratorio: 17/004000
Página: 2/7
Fecha: 5/10/2017

Tipo de muestra: moras silvestres
Referencia: Muestra 1: Frutos de mora (Rubus glaucus) Tratamiento: Trichoderma - Kendal

Muestra homogeneizada

CS2_01_B - Ditiocarbamatos bajos niveles - UV - Primoris accredited Analizado

Límite de Comunicación (LC) x 2

Sin compuestos \geq LC

GMS_02_B - GC-MSMS - Primoris accredited Analizado

Sin compuestos \geq LC

LMS_02_B - LC-MSMS - Primoris accredited Analizado

| Sustancia | Acr. | Resultado | Tolerancia | Unidad | U |
|-----------------------------|------|-----------|------------|--------|---|
| azoxystrobine | A | 0.10 | 0.01 | mg/kg | # |
| difenoconazole | A | 0.046 | 0.01 | mg/kg | # |
| Otros no detectables (< LC) | | | | | |

PRIMORIS
YOUR RELIABILITY IN FOOD ANALYSIS

COLOMBIA

Número de laboratorio: 17/004001
Página: 2/7
Fecha: 5/10/2017

Tipo de muestra: moras silvestres
Referencia: Muestra 1: Frutos de mora (Rubus glaucus) Tratamiento: Trichoderma - EcoSwing.

Muestra homogeneizada

CS2_01_B - Ditiocarbamatos bajos niveles - UV - Primoris accredited Analizado

Límite de Comunicación (LC) x 2

GMS_02_B - GC-MSMS - Primoris accredited Analizado

Sin compuestos \geq LC

LMS_02_B - LC-MSMS - Primoris accredited Analizado

| Sustancia | Acr. | Resultado | Tolerancia | Unidad | U |
|-----------------------------|------|-----------|------------|--------|---|
| azoxystrobine | A | 0.13 | 0.01 | mg/kg | # |
| difenoconazole | A | 0.078 | 0.01 | mg/kg | # |
| fluopicolide | A | 0.22 | 0.01 | mg/kg | # |
| Otros no detectables (< LC) | | | | | |

Tipo de muestra: **moras silvestres**
Referencia: **Muestra 1: Frutos de mora (Rubus glaucus) Tratamiento: Productor.**

Muestra homogeneizada

CS2_01_B - Ditiocarbamatos bajos niveles - UV - Primoris accredited Analizado

| Sustancia | Acr. | Resultado | Tolerancia | Unidad | U |
|--|------|-----------|------------|--------|---|
| dithiocarbamates (dithiocarbamates expressed as CS2, including maneb, mancozeb, metiram, propineb, thiram and ziram) | A | 2.7 | 0.01 | mg/kg | # |

GM5_02_B - GC-MSMS - Primoris accredited Analizado

| Sustancia | Acr. | Resultado | Tolerancia | Unidad | U |
|--|------|-----------|------------|--------|---|
| cyhalothrin (sum of gamma and lambda) | A | 0.17 | 0.01 | mg/kg | # |
| cypermethrin (cypermethrin including other mixtures of constituent isomers (sum of isomers)) | A | 0.24 | 0.01 | mg/kg | # |
| Otros no detectables (< LC) | | | | | |

LMS_03_B - LC-MSMS - Primoris accredited Analizado

| Sustancia | Acr. | Resultado | Tolerancia | Unidad | U |
|---|------|-----------|------------|--------|---|
| carbendazim and benomyl (sum of benomyl and carbendazim expressed as carbendazim) | A | 2.1 | 0.01 | mg/kg | # |
| cymoxanil | A | 0.022 | 0.01 | mg/kg | # |
| fuopicolide | A | 0.18 | 0.01 | mg/kg | # |
| propiconazole (sum of isomers) | A | 0.096 | 0.01 | mg/kg | # |
| thiametoxam | A | 0.25 | 0.01 | mg/kg | # |
| Otros no detectables (< LC) | | | | | |

Anexo 2.

Insectos polinizadores observados durante el desarrollo de la propuesta de manejo integrado de las principales enfermedades del cultivo de mora, particularmente en los tratamientos Tricotec®-Kendal® y Tricotec®-EcoSwing®. Predomina el orden Hymenoptera con presencia de algunos Homoptera (inferior derecha). Fuente autor.



Anexo 3.

Insectos observados durante el desarrollo de la propuesta de manejo integrado de las principales enfermedades del cultivo de mora, particularmente en los tratamientos Tricotec®-Kendal® y Tricotec®-EcoSwing®. Se observan representantes de los órdenes Ortóptera (superior), Coleóptera (centro, inferior izquierda) e Hymenoptera (inferior derecha). Fuente autor.



Anexo 4.

Insectos observados durante el desarrollo de la propuesta de manejo integrado de las principales enfermedades del cultivo de mora, particularmente en los tratamientos Tricotec[®]-Kendal[®] y Tricotec[®]-EcoSwing[®]. Se observan representantes de los órdenes Lepidóptera (superior, centro izquierda), Hymenoptera (centro derecha). También se observaron diferentes arácnidos (inferior). Fuente autor.



Anexo 5.

Enlaces para la consulta de las fichas técnicas de los plaguicidas utilizados y descritos en el trabajo.

<https://point.com.co/portfolio-item/benopoint-50-wp/>

<https://point.com.co/portfolio-item/carbendazim-point-500-sc/>

<https://www.syngenta.co.uk/product/crop-protection/fungicide/amistar>

https://www.syngenta.co.uk/sites/g/files/zhg151/f/amistar_top_2017_0.pdf?token=1511171806

<https://www.vecol.com.co/uploads/productos/agroquimicos/fungicidas/Ficha-tecnica7.pdf> (Mancozeb)

http://www.agrohacienda.com.co/deaq2014/src/productos/13101_101.htm (Propineb + fluopicolide)

[http://www.arysta.com.co/ProductosProteccion/PDF/F.T.%20MILDIUM%2050%20SC%20\(vr.%202\).pdf](http://www.arysta.com.co/ProductosProteccion/PDF/F.T.%20MILDIUM%2050%20SC%20(vr.%202).pdf)

(Hexaconazole).

<https://www.cropscience.bayer.co/Productos-e-innovacion/Productos/Fungicidas/FITORAZ-WP-76.aspx>

(Propineb + Cymoxanil).

https://www.adama.com/documents/392363/405023/FT+RAMBLER_tcm104-56753.pdf (Cipermetrina).

http://www.cheminova.co/download/fichas_tecnicas/insecticidas/cre-ft034_proaxis_60_cs.pdf (Cihalotrina).

<https://www.vecol.com.co/uploads/productos/agroquimicos/insecticidas/ft6.pdf> (Tiametoxam).

<http://www.dva.com.co/wp-content/uploads/2014/07/FICHA-TECNICA-PROPICONAZOLE-25-EC-DVA.pdf>