



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Diversidad de parasitoides de barrenadores (Lepidoptera) y su relación con la intensidad agrícola en cultivos de caña para panela

Zaida Xiomara Sarmiento Naizaque

Universidad Nacional de Colombia

Facultad, Ciencias Agrarias

Bogotá, Colombia

2020

Diversidad de parasitoides de barrenadores (Lepidoptera) y su relación con la intensidad agrícola en cultivos de caña para panela

Zaida Xiomara Sarmiento Naizaque

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título
de:

Magister en Ciencias Agrarias

Director:

Ph.D. Carlos Eduardo Sarmiento Monroy

Codirectora:

Ph.D., Nancy del Carmen Barreto Triana

Línea de Investigación:

Entomología

Universidad Nacional de Colombia

Facultad, Ciencias Agrarias

Bogotá, Colombia

2020

Dedicatoria

A Dios por ser mi fortaleza e iluminar mi camino

A mi esposo por brindarme amor, apoyo y comprensión en cada momento

A mis amados padres y hermanos por ser mi motivación

A mi familia por sus valiosos consejos

Agradecimientos

A mi esposo, padres y hermanos por su inmenso amor y por motivarme a ser cada día mejor.

A mi director de tesis el Dr. Carlos Eduardo Sarmiento por abrirme un espacio en su laboratorio, por su dedicación y contribución en mi formación como investigadora.

A la Dra. Nancy Barreto por sus valiosas enseñanzas, dedicación y motivación en este proceso de formación.

A Pablo Osorio, Orlando Insuasty, Yuly Sandoval, Jesús Gómez, Javier Jiménez, Valentina Vergara, Liliana Cely, Sandra Romero, y John Gallo, compañeros del equipo de trabajo de entomología del Centro de Investigación Tibaitatá de Agrosavia-Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria- por su apoyo y colaboración.

A Ginna Cruz y Yajaira Romero por su asesoría y apoyo.

A Catalina Romero, Lina Lozano y Andrea Román del grupo de Sistemática y Biología Comparada de insectos de la Universidad Nacional de Colombia por su gran ayuda.

A la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria Agrosavia y Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural por el financiamiento de la investigación.

A la Universidad Nacional de Colombia por la formación impartida y los espacios para el trabajo.

A todas las personas que contribuyeron en el cumplimiento de este logro.

Resumen

El control biológico es la principal estrategia de manejo de los barrenadores del género *Diatraea* cuyo daño reduce la biomasa y sacarosa del cultivo de caña para panela en Colombia. Dentro de los agroecosistemas de caña hay una diversidad de enemigos naturales que puede ser alterada por las aplicaciones de herbicidas y fertilizantes químicos lo que disminuye la regulación de las poblaciones de los barrenadores acompañantes. El objetivo de este estudio fue caracterizar la influencia del manejo agronómico sobre la comunidad de parasitoides de barrenadores de caña para panela en tres zonas de la Hoya del río Suárez. Para esto, se realizó la determinación taxonómica de los controladores, se estudió su diversidad y se relacionó con la intensidad agrícola en el cultivo. Se encontraron 10 entidades a saber: *Alabagrus albispina*, *A. imitatus*, *A. parvifaciatus*, *A. roibasi*, *A. stigma*, *Cotesia flavipes* (Hymenoptera: Braconidae), *Billaea claripalpis*, *Genea jaynesi*, *Leskia* sp. y *Phytomyptera* sp. (Diptera: Tachinidae). Estas entidades parasitan el 31% de los barrenadores de los géneros *Diatraea*, *Blastobasis* y la especie *Eoreuma insuastii*. El parasitoide más abundante fue *G. jaynesi* seguido por *B. claripalpis* y *C. flavipes*. La mayor riqueza de especies se encontró en la zona seca. La diversidad de los enemigos naturales fue baja. El incremento en el manejo del cultivo se asocia a una reducción en el número de larvas parasitadas. La relación entre abundancia de parasitoides e intensidad agrícola sigue tendencias diferentes a nivel de género. Por lo cual se requiere desarrollar prácticas agronómicas más articuladas para la conservación de los controladores

Palabras clave: Parasitoides, barrenadores, diversidad, manejo agronómico, conservación

Abstract

Biological control is the main management strategy of the borers of the genus *Diatraea* whose damage reduces the biomass and sucrose of the panela cane crop in Colombia. Within the sugarcane agroecosystems there is a diversity of natural enemies that can be altered by the application of herbicides and chemical fertilizers, which diminishes the regulation of the populations of the accompanying borers. The objective of this study was to characterize the influence of agronomic management on the parasitoid community of sugarcane borers for panela in three zones of the Hoya del Suárez River. For this purpose, taxonomic determination of the controllers was made, their diversity was studied and related to the agricultural intensity in the crop. Ten parasitoids were found as follows: *A. albispina*, *A. imitatus*, *A. parvifaciatus*, *A. roibasi*, *A. stigma*, *Cotesia flavipes* (Hymenoptera: Braconidae), *Billaea claripalpis*, *Genea jaynesi*, *Leskia* sp. and *Phytomyptera* sp. (Diptera: Tachinidae). These entities parasitize 31% of the borers of the genera *Diatraea*, *Blastobasis* and the species *Eoreuma insuastii*. The most abundant parasitoid was *G. jaynesi* followed by *B. claripalpis* and *C. flavipes*. The greatest species richness was found in the dry zone. The diversity of natural enemies was low. The increase in crop management is associated with a reduction in the number of parasitized larvae. The relationship between parasite abundance and agricultural intensity follows different trends at the genus level. Therefore, it is necessary to develop more articulated agronomic practices for the biological control agents.

Keywords: Parasitoids, borers, diversity, agronomic management, conservation

Contenido

Resumen	IX
Lista de figuras	XII
Lista de tablas	XIV
Introducción	1
1. Determinación de los parasitoides de barrenadores de caña para panela en tres zonas de la Hoya del río Suárez	5
1.1 Introducción.....	5
1.2 Caracterización taxonómica de los parasitoides.....	7
1.2.1 Material biológico.....	7
1.2.2 Materiales y métodos.....	7
1.2.3 Resultados y discusión	8
2. Diversidad de parasitoides de barrenadores de caña para panela en tres zonas de la Hoya del río Suárez	17
2.1 Introducción.....	17
2.2 Riqueza e índices de diversidad.....	19
2.2.1 Materiales y métodos.....	19
2.2.2 Resultados y discusión	20
3. Relación entre la diversidad de parasitoides asociados a los barrenadores de caña para panela y la intensidad agrícola en tres zonas de la Hoya del río Suárez .	33
3.1 Introducción.....	33
3.2 Definición de las variables, estimación del índice de intensidad agrícola y su relación con la diversidad de parasitoides.....	35
3.2.1 Materiales y métodos.....	35
3.2.2 Resultados y discusión	41
4. Conclusiones y recomendaciones	49
4.1 Conclusiones.....	49
4.2 Recomendaciones.....	50
Bibliografía	51

Lista de figuras

Figura 1. Parasitoides de la familia Braconidae provenientes de larvas de tallo en caña para panela. a) <i>Alabagrus albispina</i> b) <i>Alabagrus imitatus</i> c) <i>Alabagrus parvifaciatus</i> d) <i>Alabagrus roibasi</i> e) <i>Alabagrus stigma</i> y f) <i>Cotesia flavipes</i>	14
Figura 2. Parasitoides de la familia Tachinidae provenientes de larvas de tallo en caña para panela. a) Macho <i>B. claripalpis</i> b) Hembra <i>B. claripalpis</i> c) Surstilis y cercis- genitales del macho <i>B. claripalpis</i> d) Macho <i>G. jaynesi</i> e) Hembra <i>G. jaynesi</i> f) Surstilis y cercis- genitales del macho <i>G. jaynesi</i> g) Complejo edeagal- genitales del macho <i>G. jaynesi</i> h) <i>Leskia</i> sp. y i) <i>Phytomyptera</i> sp.	15
Figura 3. Promedio de larvas parasitadas por cada una de las familias encontradas en 25 meses de muestreo (febrero de 2015 a febrero de 2017) en tres zonas de la Hoya del río Suárez.	23
Figura 4. Promedio de larvas parasitadas en las nueve fincas por los tres controladores más abundantes en 25 meses de muestreo (febrero de 2015 a febrero de 2017) en tres zonas de la Hoya del río Suárez.	24
Figura 5. Promedio de larvas parasitadas por Braconidae y Tachinidae entre 2015 y 2016 en las nueve fincas y tres zonas estudiadas (seca: fincas 1-3; semi-húmeda: fincas 4-6 y húmeda: fincas 7-9).	25
Figura 6. Promedio de larvas parasitadas por las familias Braconidae y Tachinidae en 2015 y 2016 en las nueve fincas y tres zonas estudiadas (seca: fincas 1-3; semi-húmeda: fincas 4-6 y húmeda: fincas 7-9).	26
Figura 7. Promedio de larvas parasitadas por los tres controladores más abundantes entre 2015 y 2016 en las nueve fincas y tres zonas de estudio (seca: fincas 1-3; semi-húmeda: fincas 4-6 y húmeda: fincas 7-9).	27
Figura 8. Promedio de larvas parasitadas por <i>Billaea</i> , <i>Cotesia</i> , <i>Genea</i> en 2015 y 2016 en las nueve fincas y tres zonas de estudio (seca: fincas 1-3; semi-húmeda: fincas 4-6 y húmeda: fincas 7-9).	28
Figura 9. Correlación de Spearman entre variables de manejo con respecto al número de larvas. NLarvas: Número de larvas; NNF: Número de nutrientes por finca; NAF: Número de aplicaciones de fertilizantes; CF: cantidad de fertilizantes (Kg/ha); NIAH: Número de ingredientes activos de herbicida; NAH: Número de aplicaciones de herbicidas; MH: Mezcla de herbicida promedio (l de solución).....	39
Figura 10. Relación entre el número total de larvas recolectadas y parasitadas y el índice de intensidad agrícola. a) Larvas recolectadas e índice de intensidad ($Z=-1,45$; $p=0,14$; AIC:260,55, BIC:260,95) b) Larvas parasitadas e índice de intensidad ($Z=-3,91$; $p=0,009$; AIC: 99,30, BIC:99,70).	44

Figura 11. Relación entre número de larvas parasitadas e índice intensidad agrícola discriminando por taxones **a)** familia Braconidae ($Z=-1,83$; $p=0,06$; AIC:106,94, BIC:107,33) **b)** familia Tachinidae ($Z=-3,45$; $p=0,0005$; AIC:73,10, BIC:73,50)..... 45

Figura 12. Relación entre el número de larvas parasitadas y el índice de intensidad agrícola discriminando por géneros de parasitoides. **a)** *Alabagrus* ($Z=-2,84$; $p=0,004$; AIC: 47,59, BIC:47,98) **b)** *Billaea* ($Z=-4,98$; $p=0,001$; AIC: 108,46, BIC: 108,85) **c)** *Cotesia* ($Z=-0,91$; $p=0,35$; AIC:118,17, BIC: 118,56) **d)** *Genea* ($Z=3,13$; $p=0,001$; AIC: 197,06, BIC: 197,46)..... 46

Lista de tablas

Tabla 1. Fincas y zonas de la Hoya del río Suárez en las que se recolectaron los parasitoides de barrenadores de caña para panela.	8
Tabla 2. Parasitoides y sus hospedantes en fincas de caña para panela en la Hoya del río Suárez.	9
Tabla 3. Abundancia absoluta (AA) de los parasitoides de barrenadores de caña para panela de nueve fincas y tres zonas de muestreo (zona seca: fincas 1-3; zona semi-húmeda: fincas 4-6; zona húmeda: fincas 7-9).....	21
Tabla 4. Riqueza de especies, índice de Simpson (D) y Shannon (H') en cada una de las fincas estudiadas de la Hoya del río Suárez.	22
Tabla 5. Análisis mediante modelos lineales generales y mixtos con prueba LSD Fisher con corrección de Bonferroni con la media (\bar{X}) y el error estándar (E.E) obtenidos para las tres zonas de muestreo (Seca: S; Semi-húmeda: SH; Húmeda: H) en cada familia de parasitoide. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($P > 0.05$).	29
Tabla 6. Análisis mediante modelos lineales generales y mixtos con prueba LSD Fisher con corrección de Bonferroni con la media (\bar{X}) y el error estándar (E.E) obtenidos para las tres zonas de muestreo (Seca: S; Semi-húmeda: SH; Húmeda: H) en cada uno de los controladores más abundantes. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($P > 0.05$).	29
Tabla 7. Análisis mediante modelos lineales generales y mixtos con prueba LSD Fisher con corrección de Bonferroni con la media (\bar{X}) y el error estándar (E.E) obtenidos para las tres zonas de muestreo (Seca: S; Semi-húmeda: SH; Húmeda: H) en cada uno de los indicadores ecológicos. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($P > 0.05$).	30
Tabla 8. Correlación de Spearman entre los tres controladores más abundantes y las variables climáticas registradas teniendo en cuenta la distancia a la estación meteorológica Bertha, Monquirá. (C: finca cercana) y lejano (L: finca más lejana) a la estación. *Indica significancia.	31
Tabla 9. Fertilizantes y nutrientes aportados en las nueve fincas y tres zonas de la Hoya del río Suárez (seca: fincas 1-3; semi-húmeda: fincas 4-6 y húmeda: fincas 7-9).	36

Tabla 10. Nutrientes, aplicaciones y cantidad de fertilizantes empleados en las nueve fincas y tres zonas de la Hoya del río Suárez (seca: fincas 1-3; semi-húmeda: fincas 4-6 y húmeda: fincas 7-9).....	37
Tabla 11. Herbicidas aplicados e ingredientes activos en las nueve fincas y tres zonas de la Hoya del río Suárez (seca: fincas 1-3; semi-húmeda: fincas 4-6 y húmeda: fincas 7-9).	37
Tabla 12. Ingredientes activos, aplicaciones y mezcla de herbicida en las nueve fincas y tres zonas de la Hoya del río Suárez (seca: fincas 1-3; semi-húmeda: fincas 4-6 y húmeda: fincas 7-9).	38
Tabla 13. Variables de manejo obtenidas para el estudio de la intensidad agrícola en las nueve fincas y tres zonas de la Hoya del río Suárez (seca: fincas 1-3; semi-húmeda: fincas 4-6 y húmeda: fincas 7-9). NNF: Número de nutrientes por finca; NAF: Número de aplicaciones de fertilizantes; CF: cantidad de fertilizantes; NIAH: Número de ingredientes activos de herbicida; NAH: Número de aplicaciones de herbicidas; MH: Mezcla de herbicida promedio (l de solución).	38
Tabla 14. Regresión de las variables de manejo para la construcción del índice de intensidad agrícola.	42
Tabla 15. Índice de intensidad agrícola para las nueve fincas de caña para panela de Boyacá y Santander.	43
Tabla 16. Correlación de Pearson entre la intensidad agrícola e indicadores ecológicos de los parasitoides obtenidos en cada sitio de muestreo.....	47

Introducción

En Colombia el cultivo de caña para la agroindustria panelera abarca 273.378 ha sembradas, 248.556 ha cosechadas y una producción promedio anual de 1.300.000 t (López, 2019). Desde el punto de vista social, la panela es la segunda agroindustria más importante después del café al ocupar el 12 % de la población rural económicamente activa, lo que se traduce en 287.000 empleos (Ministerio de Agricultura, 2019). Los departamentos de Santander y Boyacá se encuentran entre los cinco con mayor producción anual de panela expresada en 177.932 t y 132.849 t respectivamente (Agronet, 2017). De estos dos departamentos los veinte municipios que conforman la región de la Hoya del río Suárez presentan una problemática tecnológica asociada a la disminución de la producción de panela por hectárea debido al impacto de los barrenadores *Diatraea* spp. (Lepidoptera: Crambidae), los cuales se alimentan de los tallos de la caña y dejan múltiples orificios de entrada y salida por donde pueden entrar microorganismos, esto conduce a la degradación de la calidad de la caña y del contenido de azúcar (Vargas *et al.*, 2015a; Sánchez y Forero, 2016).

Las larvas de lepidópteros se encuentran entre las más dañinas en la producción de caña de azúcar, tal es el caso del complejo de especies del género *Diatraea* (Lepidoptera: Crambidae) (Vargas *et al.*, 2015a). El género *Diatraea* se compone de 41 especies en América y para el país se han reportado alrededor de ocho especies, *D. saccharalis* (Fabricius, 1974), *D. indigenella* Dyar & Henrich 1927, *D. busckella* Dyar & Henrich 1927, *D. tabernella* Dyar, 1911, *D. rosa* Henrich 1931, *D. lineolata* (Walker, 1986), *D. centrella* (Möschler, 1883) y *D. albicrinella* Box, 1931 (Aya *et al.*, 2017; Barrera *et al.*, 2017; Solis y Metz, 2016). Otras especies del orden Lepidoptera presentes en el cultivo son *Blastobasis graminea* Adamski, 1999 (Coleophoridae), conocido como barrenador menor, *Telchin licus* (Drury, 1773) (Castniidae), el barrenador gigante de la caña y la más reciente encontrada en la Hoya del río Suárez *Eoreuma insuastii* Solis y Osorio-Mejía (Crambidae) (Bustillo, 2013, Solis *et al.*, 2020).

Conjuntamente con estas especies plaga hay una diversidad de enemigos naturales que participan en su control, estos incluyen moscas de la familia Tachinidae del género *Phytomyptera* y las especies *Billaea (Paratheresia) claripalpis* (Wulp, 1896), *Lydella (Metagonistylum) minense* (Townsend, 1927) y *Genea jaynesi* (Aldrich, 1932); avispas parasitoides como *Trichogramma exiguum* Pinto y Platner, 1978 (Trichogrammatidae), *Cotesia flavipes* Cameron, 1981 (Braconidae) y *Alabagrus stigma* (Brullé, 1846) (Posada y García, 1976; Bustillo, 2013).

Para reconocer las especies de *Diatraea* y sus enemigos naturales en zonas paneleras de Colombia, la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria- Agrosavia ejecutó en el año 2014 un proyecto en el que se encontraron las especies *D. saccharalis*, *D. tabernella* y *D. busckella* en el departamento de Cundinamarca, estas tres especies más *D. rosa* en Antioquia, *D. saccharalis*, *D. busckella* y *D. rosa* en Boyacá y Santander y *D. saccharalis* y *D. indigenella* en Nariño, así mismo, el parasitismo natural se presentó en todas las regiones, destacándose los géneros *Billaea* y *Genea* (Diptera: Tachinidae), *Cotesia* y *Alabagrus* (Hymenoptera: Braconidae) (Sandoval *et al.*, 2016; Sarmiento *et al.*, 2017).

En razón a la severidad del daño infligido por los barrenadores del tallo pertenecientes al género *Diatraea*, con intensidades de infestación de 7 – 9,8 % en Boyacá y 10 – 23% en Santander, el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) declaró el estado de emergencia fitosanitaria a la Hoya del río Suárez en el año 2014, esta severidad superó el umbral económico de 4 % propuesto por el ICA (ICA, 2014). De acuerdo con Pinto (1990) por cada unidad porcentual de daño se pierden 105,42 kilos de panela por hectárea.

En el año 2017, el ICA declaró a *D. busckella*, *D. indigenella*, *D. saccharalis* y *D. tabernella* como plagas de control oficial en caña en el país. Adicionalmente, esta institución consideró que el control biológico es la principal herramienta para manejar los barrenadores del tallo asociados a las especies del género *Diatraea* (ICA, 2017). Esta apreciación coincide con diferentes investigaciones sobre esta plaga en el país (Vargas *et al.*, 2015a; Vargas, 2018).

A nivel mundial el uso de parasitoides para controlar estos barrenadores ha sido exitoso. En Brasil, las liberaciones de *C. flavipes* constituyen el método más empleado para el control de larvas de *Diatraea* (Parra *et al.*, 2010), así mismo *Trichogramma galloi* Zuchi, 1988 se ha utilizado como parasitoide de huevos de este barrenador y la asociación de *C. flavipes* y *T. galloi* garantiza un control exitoso en diferentes fases de desarrollo de la plaga (Vanzolini, 2006). En el sur de Texas y Florida *C. flavipes* también constituye un agente importante para el manejo de *D. saccharalis* (Fuchs *et al.*, 1979; Capinera, 2009).

Evaluar y comprender la diversidad, distribución espacial, abundancia y contribuciones ecológicas de los enemigos naturales de barrenadores de tallo en ecosistemas naturales y cultivados se ha convertido en una necesidad para entender sus roles en la regulación de poblaciones de insectos plaga y puede ayudar en la implementación de un enfoque de manejo integrado (Conlong y Rutherford, 2009; Mutamiswa *et al.*, 2017).

Algunas investigaciones han abordado indicadores de diversidad de enemigos naturales. En Francia y Suiza se estudió la diversidad de especies de parasitoides de larvas de la polilla europea de la vid (*Lobesia botrana* (Denis & Schiffermüller, 1775), Lepidoptera: Tortricidae) y se sugirió el potencial desarrollo de las especies nativas de parasitoides en los programas de control biológico contra *L. botrana* (Moreau *et al.*, 2010). En cultivos de trigo de China se comprobó que la diversidad de enemigos naturales de áfidos aumentaba conforme la diversidad de plantas también lo hacía (Zhao *et al.*, 2013). En Botswana, África, se reporta una comunidad diversa de enemigos naturales en hábitats naturales y

cultivados cuya conservación depende del mantenimiento de las plantas nectaríferas que les proveen refugio y alimento a los parasitoides (Mutamiswa *et al.*, 2017).

Gracias a su diversidad y abundancia, las avispas parasitoides constituyen un grupo excelente para la regulación natural de herbívoros de los ecosistemas (Lasalle y Gauld, 1991). Al respecto, las moscas Tachinidae, son el segundo grupo de parasitoides, luego de los himenópteros, en diversidad e importancia ecológica como controladores biológicos de insectos; estas a menudo juegan un papel estratégico en la regulación de las poblaciones de herbívoros y en la estructuración de comunidades ecológicas tanto naturales como manejadas (Stireman *et al.*, 2006).

Por otra parte, en un sistema agrícola hay entradas de materiales, labores y tecnologías por unidad de superficie que conducen a una productividad en un momento dado, esta relación de prácticas se conoce como intensidad agrícola (Turner y Doolittle, 1978; Shriar, 2000; Herzog *et al.*, 2006; Ruiz-Martínez *et al.*, 2015). Cuando se presenta un aumento de entradas y por lo tanto un incremento de la productividad a lo largo del tiempo, se presenta el fenómeno denominado intensificación agrícola, este proceso es el resultado de los cambios de uso del suelo (Shriar, 2005). Caracterizar la frecuencia y magnitud de estas prácticas permite comprender estos complejos sistemas y comparar situaciones diferentes en el análisis de tácticas de manejo agrícola y sus presiones ambientales (Mitchell *et al.*, 1995; Bockstaller *et al.*, 1997; Herzog *et al.*, 2016).

Al revisar algunas investigaciones se encuentra que la intensificación agrícola puede alterar la diversidad y el rol de las especies de los agroecosistemas. En pasturas de Alemania se registró que la biodiversidad disminuyó con el incremento de la intensidad del uso del suelo especialmente para especies raras y organismos que habitan sobre el suelo (Allan *et al.*, 2013). Así mismo, en un estudio realizado en fincas de ocho países del este y oeste de Europa se encontraron efectos negativos de la intensificación agrícola sobre la diversidad de especies y el control biológico de áfidos (Geiger *et al.*, 2010).

En Colombia, se han presentado presiones sobre la diversidad por las prácticas intensivas de manejo. Meneses-R y Armbrecht (2018) determinaron que la diversidad florística de los cafetales disminuyó con la intensificación agrícola. Sendoya-Corrales y Bustillo-Pardey (2016) proponen evitar aplicaciones indiscriminadas de insecticidas químicos y propender por la conservación de la fauna benéfica a través de la siembra y establecimiento de plantas nectaríferas para el manejo de plagas en Palma de aceite. Rivera (2019) sugiere que es necesario pensar en modelos de cultivo más amigables con el ambiente en caña de azúcar promoviendo la conservación de franjas vegetales, las cuales cumplen un papel fundamental al potenciar la diversidad benéfica que regula plagas en los cultivos.

La investigación en parasitoides de barrenadores de caña en la agroindustria panelera es aún incipiente en el país. Por ejemplo, no conocemos con claridad la relación entre el manejo que se hace de este cultivo y la diversidad de parasitoides que naturalmente se presentan, por lo tanto, en el presente estudio se realizaron varios análisis, en primer lugar se determinaron hasta el mayor nivel de resolución taxonómica posible los parasitoides asociados a barrenadores lepidópteros de caña para panela (capítulo 1), segundo, se

describieron sus cambios en riqueza y abundancia a lo largo del tiempo (capítulo 2) y finalmente se estimó la relación entre la diversidad de estos parasitoides y la intensidad agrícola del cultivo en tres zonas de la Hoya del río Suárez, Colombia (capítulo 3).

1. Determinación de los parasitoides de barrenadores de caña para panela en tres zonas de la Hoya del río Suárez

1.1 Introducción

Los barrenadores de tallo del género *Diatraea* se consideran plagas importantes del cultivo de caña de azúcar en Colombia (Vargas *et al.*, 2015a). Particularmente, en la Hoya del río Suárez se han identificado las especies *D. saccharalis*, *D. busckella* y *D. rosa* (Sandoval-Cáceres *et al.*, 2016; Barreto-Triana *et al.*, 2017). *D. saccharalis* y *D. busckella* han sido reportadas en toda Colombia y *D. rosa* en el oriente de Colombia y a lo largo de la frontera con Venezuela (Gaviria, 1990; Bleszynski, 1969; Vargas *et al.*, 2015a). Otros barrenadores del orden Lepidoptera asociados a la caña de azúcar en la Hoya del río Suárez son *Blastobasis* sp. (Coleophoridae), registrado también en el Valle del Cauca y *Eoreuma insuastii* (Crambidae), recientemente reportada en el país (Bustillo, 2013; Solis *et al.*, 2020).

Los esfuerzos para mejorar el control biológico de *Diatraea* en el país iniciaron a comienzos de la década de 1970 con liberaciones de *Trichogramma* spp. (Hymenoptera: Trichogrammatidae) y posteriormente de *Cotesia flavipes* (Hymenoptera: Braconidae), sin embargo, no hubo un aumento de los niveles de parasitismo en las condiciones del Valle del río Cauca (Vargas *et al.*, 2015a). Años más tarde, *T. exiguum* logró recuperarse de huevos de las especies *D. saccharalis*, *D. indigenella* y *D. rosa*, razón por la que se continuó usando esta especie de avispa como parasitoide de huevos de barrenadores de tallo de caña de azúcar en el Valle del río Cauca (Gomez *et al.*, 1996).

Como producto de las introducciones de moscas Tachinidae, se logró el establecimiento de *Lydella minense* (Townsend) y *Billaea claripalpis* (Wulp, 1896) en el Valle del río Cauca (Smith y Belloti, 1996). Luego, entre las décadas de 1980 y 1990 se desarrollaron programas de manejo integrado de plagas (MIP) que incorporaron estudios de dinámica de la población, mejores procedimientos y métodos de control que influyeron en el progreso del manejo de barrenadores de tallo y en la reducción del impacto económico (Gaviria, 1990; Bustillo, 2009; Vargas *et al.*, 2015a).

De *B. claripalpis* se conocía una raza en el país que tenía un ciclo de vida muy largo, así que se introdujo una raza peruana que se cruzó con la colombiana y se logró reducir la duración del ciclo de vida e incrementar la eficacia como controlador biológico (Gaviria, 1998). Otro taquírido de importancia es *Genea jaynesi* (Aldrich, 1932), una mosca nativa estudiada principalmente en el Valle del Cauca por sus niveles importantes de parasitismo (Vargas *et al.*, 2006; Rivera, 2019). Estas tres especies de moscas son los principales taquíridos que atacan el estado de larva de los barrenadores del tallo de la caña de azúcar en Colombia (Vargas, 2018).

El empleo de los parasitoides *B. claripalpis* y *C. flavipes* así como del taquírido *L. minense* y la avispa *T. exiguum* han tenido éxito en programas de control biológico de *Diatraea* en otros países de América (Leyton-Flor *et al.*, 2018). En estos casos, los enemigos naturales se han empleado de forma individualizada, mientras que en Colombia, se han realizado esfuerzos colectivos para probar todos los controladores dentro de un plan de manejo de *Diatraea* (Vargas, 2015b).

Investigaciones sobre control biológico han mostrado el rol que ejercen los parasitoides de las familias Braconidae y Tachinidae asociados a larvas de tallo. Con relación a uno de los controladores de la primera familia, *C. flavipes* Cameron, 1981, ha sido introducido desde 1950 en aproximadamente 40 países para controlar barrenadores de tallo en diferentes cultivos (Muirhead *et al.*, 2006). Este parasitoide es usado masivamente en Centroamérica y Brasil (Badilla, 2002; Parra *et al.*, 2010). En Costa Rica, *C. flavipes* ha demostrado eficacia en la disminución de daño de la plaga pues tiene una amplia capacidad de búsqueda y de adaptación (Badilla, 2002; Salazar *et al.*, 2003).

En cuanto a las moscas de la familia Tachinidae, *L. minense* fue importada a Venezuela desde Brasil en 1950 y por ese tiempo logró reducir los niveles de daño de *D. busckella* (Bennett, 1971). Otro estudio realizado por Weir *et al.*, (2007), encontró que este parasitoide continúa regulando las especies de *Diatraea* en ese país. *B. claripalpis* se ha encontrado parasitando a *D. saccharalis* en Brasil (Borges *et al.*, 2019) y *G. jaynesi* ejerce porcentajes de parasitismo relevantes en el Valle del Cauca al punto que se considera que podría proporcionar un mejor control biológico que las otras dos especies pero dada su imposibilidad de cría en condiciones de laboratorio se recomienda su conservación en el agroecosistema de caña (Vargas *et al.*, 2015a).

Conociendo el rol que ejercen estos parasitoides sobre las larvas de tallo principalmente en el cultivo de caña, resulta interesante explorar las especies de enemigos naturales que se encuentran en estos agroecosistemas, para posteriormente investigar su potencial en el manejo de las plagas. En el presente trabajo se determinaron hasta el mayor nivel de resolución taxonómica posible los parasitoides de los barrenadores (Lepidoptera) de caña para panela de tres zonas de la Hoya del río Suárez a partir de los especímenes obtenidos en el proyecto "Fluctuación poblacional de *Diatraea* spp. y sus parasitoides en la Hoya del río Suárez", realizado por Agrosavia entre 2015 y 2017. Esta determinación constituye un aporte al conocimiento de los enemigos naturales en caña para la agroindustria panelera, un sector cuya investigación se encuentran en progreso.

1.2 Caracterización taxonómica de los parasitoides

1.2.1 Material biológico

Los parasitoides se obtuvieron de larvas de tallo recolectadas en plantas de caña con síntoma de corazón muerto, reconocido por el marchitamiento de la hoja que conforma el cogollo y la yema terminal (Vargas y Gómez, 2005); se empleó un esfuerzo de muestreo de 2 horas/hombre mensualmente por cada finca. Estos barrenadores se trasladaron al laboratorio de entomología del CI Tibaitatá (Agrosavia), en donde se individualizaron en dieta artificial de Hensley y Hammond (1968) en condiciones de $27^{\circ}\text{C} \pm 2$; $50\% \pm 10$ H.R. y fotoperiodo de 12 horas y se realizó un seguimiento hasta obtener la polilla adulta o un parasitoide. En total se recolectaron 4108 larvas, de las cuales 1284 estaban parasitadas y de estas se obtuvieron 616 adultos de los diferentes parasitoides.

1.2.2 Materiales y métodos

Área de estudio

Las larvas a partir de las cuales se obtuvieron los parasitoides provinieron de nueve fincas productoras de caña para panela ubicadas en tres municipios del departamento de Boyacá y tres del departamento de Santander, agrupados en tres zonas de la cuenca media del río Suárez (Castro, 1987), diferenciadas por temperatura y precipitación. Una zona seca con precipitación promedio anual <1.800 mm y temperatura promedio anual de 20 a 22°C , una zona semi-húmeda con precipitación promedio anual de 1800 a 2000 mm y temperatura promedio anual de 18 a 20°C y una zona húmeda con precipitación promedio anual de 2.000 a 2.500 mm y temperatura promedio anual de 20 a 22°C (Tabla 1). Estas fincas fueron seleccionadas por su representatividad productiva en caña para panela y con alta incidencia de barrenadores de caña intensidad de infestación por encima 7% (Barreto-Triana *et al.*, 2017).

Métodos

Los especímenes se preservaron en etanol al 75% debidamente etiquetados de acuerdo con los procedimientos de la Colección Taxonómica Nacional Luis María Murillo (CTNI) CI. Tibaitatá, Agrosavia y algunos fueron montados en alfiler según proceso estándar en entomología (Triplehorn y Johnson, 2005).

Para determinar taxonómicamente los ejemplares de la familia Braconidae se emplearon las claves de Wharton *et al.* (1997), Leathers y Sharkey (2003) Kimani-Njogu y Overholt (1997) y Muirhead *et al.* (2008); para los especímenes de la familia Tachinidae se siguió a a Brown *et al.* (2010), Guimaraes (1997) y Nunez y Couri (2011). Se realizó la extracción

de los genitales para las entidades de los géneros *Billaea* y *Genea* (Tachinidae) siguiendo el método de O'Hara (1983), para esto, se removió el abdomen de los machos, enseguida se colocaron en KOH al 10% durante 24 horas, luego se les hizo un lavado en ácido acético glacial al 20% y dos lavados con etanol al 75% y 95% (20 min cada uno), después de examinar los genitales se almacenaron en glicerina. La determinación de los parasitoides se realizó hasta el mayor nivel de resolución taxonómica posible.

Tabla 1. Fincas y zonas de la Hoya del río Suárez en las que se recolectaron los parasitoides de barrenadores de caña para panela.

	Finca	Municipio	Departamento	Coordenadas	Altitud (msnm)	Zona de muestreo (según Castro, 1987)
1	Arrayanales	Ocamonte	Santander	6°21'52"N 73°8'21"W	1672	Seca
2	Mérida	Páramo	Santander	6°26'30"N 73°9'19"W	1195	Seca
3	La Esmeralda	Valle de San José	Santander	6°28'42"N 73°4'55"W	1308	Seca
4	Molinos el Hato	Chitaraque	Boyacá	5°59'40"N 73°27'47"W	1723	Semi-húmeda
5	San Martín	Santana	Boyacá	6°02'06"N 73°29'51"W	1593	Semi-húmeda
6	San Sebastián	Santana	Boyacá	6°01'46"N 73°29'21"W	1738	Semi-húmeda
7	Esperanza 1	Moniquirá	Boyacá	5°56'11"N 73°31'50"W	1650	Húmeda
8	La Guayana	Moniquirá	Boyacá	5°56'55"N 73°32'48"W	1612	Húmeda
9	El Pino	Moniquirá	Boyacá	5°55'10"N 73°32'59"W	1960	Húmeda

1.2.3 Resultados y discusión

Se encontraron diez entidades en los parasitoides estudiados, seis pertenecieron a la familia Braconidae, siendo cinco del género *Alabagrus* a saber: *Alabagrus albispina* (Cameron, 1887) (n=1), *A. imitatus* (Cresson, 1873) (n=8), *A. parvifaciatus* (Cameron, 1911) (n=1), *A. roibasi* Sharkey, 1988 (n=1) y *A. stigma* (Brullé, 1846) (n=29); y la especie *Cotesia flavipes* Cameron, 1981 (n=150) (Figura 1, Tabla 2). Las cuatro entidades restantes correspondieron a la familia Tachinidae: *Billaea claripalpis* (Wulp, 1986) (n=189), *Genea jaynesi* (Aldrich, 1932) (n=230), *Leskia* sp. (n=1) y *Phytomyptera* sp. (n=6) (Figura 2, Tabla 2).

Tabla 2. Parasitoides y sus hospedantes en fincas de caña para panela en la Hoya del río Suárez.

Especie de parasitoide	Hospedantes	Departamento	Municipio	Finca
<i>Alabagrus albispina</i>	<i>Diatraea</i> spp.	Santander	Ocamonte	Arrayanales
<i>Alabagrus imitatus</i>	<i>Diatraea</i> spp. <i>E. insuastii</i>	Santander Boyacá	Páramo Chitaraque Santana Moniquirá	Mérida Molinos el Hato San Sebastián Esperanza 1 La Guayana
<i>Alabagrus parvifaciatus</i>	<i>Diatraea</i> spp.	Boyacá	Moniquirá	Esperanza 1
<i>Alabagrus roibasi</i>	<i>Diatraea</i> spp.	Boyacá	Moniquirá	Esperanza 1
<i>Alabagrus stigma</i>	<i>Diatraea</i> spp. <i>E. insuastii</i>	Santander Boyacá	Páramo Moniquirá	Mérida Esperanza 1 La Guayana El pino
<i>Cotesia flavipes</i>	<i>Diatraea</i> spp. <i>E. insuastii</i>	Santander Boyacá	Ocamonte Páramo Valle de San José Santana Moniquirá	Arrayanales Mérida La Esmeralda San Martín San Sebastián Esperanza 1 La Guayana El pino
<i>Billaea claripalpis</i>	<i>Diatraea</i> spp. <i>E. insuastii</i>	Santander Boyacá	Ocamonte Páramo Valle de San José Santana Moniquirá	Arrayanales Mérida La Esperanza Molinos el Hato San Martín San Sebastián Esperanza 1 La Guayana El pino
<i>Genea jaynesi</i>	<i>Diatraea</i> spp. <i>E. insuastii</i>	Santander Boyacá	Ocamonte Páramo Valle de San José Chitaraque Santana	Arrayanales Mérida La Esperanza Molinos el Hato San Martín San Sebastián
<i>Leskia</i> sp.	<i>Diatraea</i> spp.	Santander	Ocamonte	Arrayanales
<i>Phytomyptera</i> sp.	<i>Blastobasis</i> sp.	Santander Boyacá	Valle de San José Chitaraque Santana Moniquirá	La Esperanza Molinos el Hato San Martín El pino

Como resultado del análisis de muestras, en este trabajo se encontró una amplia representación de la familia Braconidae (Tabla 2); las avispas de esta familia son bien conocidas en el manejo de diferentes larvas de lepidópteros y están entre los principales insectos benéficos; su tasa de éxito en el control biológico clásico solo es superada por los afelinidos y se emplean ampliamente como modelos de estudio de interacciones parasitoide-hospedante (Thanavendan y Jeyarani, 2009). Dentro de estos parasitoides se encuentra el género *Alabagrus*, el cual fue propuesto por Enderlein en 1920 para varias especies de agatidinos neotropicales. Luego, Muesebeck y Walkley (1951) sinonimizaron este género bajo *Agathis* Enderlein. Esta clasificación fue adoptada por Shenefelt (1970) en su catálogo de agatidinos del mundo. Posteriormente, Sharkey (1988) retomó el género *Alabagrus* incluyendo un total de 104 especies en su revisión, de las cuales 26 fueron descritas previamente y 78 eran nuevas para la ciencia. Tiempo después, se realizaron muestreos dentro de un proyecto de artrópodos en la estación biológica La Selva, Costa Rica y se encontró un total de 904 especímenes, representando 26 especies, de las cuales 12 fueron nuevos registros y seis fueron nuevas para la ciencia. Con base en la revisión de Sharkey (1988), Leathers y Sharkey describieron 39 especies registradas en Costa Rica y construyeron una clave para las especies de *Alabagrus* del mundo (Leathers y Sharkey, 2003).

Las avispas del género *Alabagrus* Enderlein (Braconidae: Agathidinae) se pueden encontrar desde el sureste de Canadá al norte de Argentina. Estas avispas son especialmente diversas en hábitats tropicales húmedos, se caracterizan por ser solitarias y endoparasitoides de larvas de la familia Crambidae (Lepidoptera) que se ocultan en tallos de plantas y hojas enrolladas. Se pueden capturar con trampas Malaise. son de gran tamaño y tienen colores vivos, además son comunes en colecciones de museos. Las hembras de los agatidinos generalmente tienen ovipositores con la longitud necesaria para llegar a hospedantes ocultos (Sharkey, 1988; Leathers y Sharkey, 2003).

La mayoría de las especies de *Alabagrus* con registros de hospedantes están asociadas a agroecosistemas, en donde pueden tener un comportamiento especialista (Sharkey, 1988). Los miembros de *Alabagrus* parecen estar restringidos en la selección de su hospedante por límites taxonómicos y ecológicos. En *A. stigma* los huevos diploides no fertilizados producen hembras, los machos haploides se producen raramente (1,5%) (Hummelen, 1974).

En Colombia, *Alabagrus* Enderlein, 1920 fue registrado en las regiones naturales del Amazonas y Caribe parasitando lepidópteros de la familia Pyralidae (Campos, 2001). En el presente trabajo se encontraron cinco especies del género *Alabagrus* (Figura 1). *A. albispina*, *A. parvifaciatus*, *A. roibasi*, *A. imitatus* y *A. stigma*. Cada uno de los ejemplares de las tres primeras especies y tres individuos de *A. imitatus* presentaron un par de carenas que no se unen medialmente en el primer tergo metasomal, esta es una variación señalada en la descripción del género desarrollada por Leathers y Sharkey (2003) aunque estos autores mencionan que la fusión es lo más frecuente; además, *A. albispina* presentó una variación en la coloración de la metapleura, pronoto y mesonoto. Es sabido que los caracteres de coloración en los agatidinos pueden variar.

A. albispina (Cameron, 1887) se halla en América Central, Caribe y América del Sur; se localiza en diferentes tipos de hábitats como borde de pantano, parcelas sucesionales, bosque primario y secundario (Leathers y Sharkey, 2003). Se conocen como hospedantes a enrolladores de hojas de la familia Crambidae incluyendo *Bicilia iarchasalis* Walker en *Petiveria alliacea* (Phytolaccaceae), *Conchylodes ovulalis* (Guenee) en *Baltimora recta* (Asteraceae), *Eulepte concordalis* Hübner en *Cydista heterophylla* (Bignoniaceae), *Glyphodes sybillalis* Walker en *Trophis racemosa* (Moraceae), *Phaedropsis* sp. en *Triplaris melaenodendron* (Polygonaceae), *Pilocrocis ramentalis* Lederer en *Dyschoriste valeriana* (Acanthaceae), *Salbia cassidalis* Guenee en *Lasiacis sorghoidea* (Poaceae) (Leathers y Sharkey, 2003). Acorde con los hallazgos de este estudio, se reporta por primera vez a *A. albispina* en caña de azúcar parasitando a *Diatraea* sp., procedente del municipio de Ocamonte, Santander.

Alabagrus imitatus (Cresson, 1873) se distribuye en Sureste de los Estados Unidos y México; esta especie se puede encontrar en bosque primario y secundario, parcelas sucesionales y borde de pantano. Se conoce como hospedante a especies de *Diatraea* (Leathers y Sharkey, 2003). Al respecto, se reportó *A. imitatus* parasitando a *D. mitteri* en *Tripsacum dactyloides*, un pasto nativo del oriente de Estados Unidos (Solis et al., 2015). En este estudio, se reporta por primera vez en caña de azúcar en Colombia parasitando *Eoreuma insuastii* Solis y Osorio-Mejía, un barrenador del cultivo recientemente descrito y sobre larvas de *Diatraea* spp. en cinco fincas en los municipios de Páramo (Santander) y Chitaraque, Santana y Moniquirá (Boyacá).

Alabagrus parvifaciatus (Cameron, 1911) se encuentra desde el sur de Honduras hacia Ecuador y del este de Ecuador hacia Brasil; se reportan como hospedantes a *Diatraea albicrinella*, *D. andiana*, *D. busckella*, *D. centrella*, *D. impersonatella* y *D. saccharalis* (Sharkey, 1998); en este trabajo se reporta *A. parvifaciatus* en una finca del municipio de Moniquirá, Boyacá.

Alabagrus roibasi Sharkey, 1988 está extendida desde el sur de México al norte de Costa Rica y parasita a enrolladores de hojas de la familia Crambidae incluyendo *Alatuncusia* sp. en *Capparis frondosa* (Capparidaceae), *Aponia itzalis* Munroe en *Cornutia grandifolia* (Verbenaceae), *Bicilia iarchasalis* Walker en *Petiveria alliacea* (Phytolaccaceae), *Phaedropsis cernalis* (Guenee) en *Triplaris melaenodendron* (Polygonaceae), *Psara obscuralis* Lederer en *Petiveria alliacea* y un herbívoro de Solanáceas de Costa Rica *Herpetogramma* sp. (Pyralidae) (Leathers y Sharkey, 2003; Gentry, 2003). *A. roibasi* se reporta por primera vez parasitando larvas de *Diatraea* spp. en caña de azúcar en el municipio de Moniquirá, Boyacá.

Alabagrus stigma (Brullé, 1846) está extendida desde el sur de Florida a Uruguay y norte de Argentina. Esta especie es importante en control biológico de plagas del orden Lepidoptera y se puede encontrar en parcelas sucesionales. Sus hospedantes reportados son especies del género *Diatraea* como *D. canella*, *D. impersonatella*, *D. lineolata*, *D. saccharalis* en caña de azúcar, maíz, arroz (Sharkey, 1998; Leathers y Sharkey, 2003). En el sur de Texas parasita a *D. saccharalis* y *Eoreuma loftini* (Meagher et al., 1998). *A. stigma*

es controlador biológico de *D. saccharalis* en caña de azúcar en Florida y en el cultivo de arroz en Surinam (Hummelen, 1974; Hall *et al.*, 2007). En Colombia, este parasitoide se ha registrado sobre larvas de *Diatraea* en caña de azúcar (Vargas, 2019). En el presente trabajo, se reporta parasitando larvas de *Diatraea* spp. y de *E. insuastii*, en caña para panela en cuatro fincas de los municipios de Páramo (Santander) y Moniquirá (Boyacá).

Cotesia flavipes Cameron, 1981 es otro braconídeo encontrado en esta investigación (Figura 1). Esta especie hace parte de un complejo formado por cuatro especies: *C. flavipes*, de la región de Indo-Asia, *C. sesamiae* (Cameron) de África, *C. chilonis* (Matsumura) de China y Japón y *C. nonagriæ* (Olf) de Australia y Papúa, Nueva Guinea (Muirhead *et al.*, 2012). Es posible hallar diferenciación morfológica principalmente en los aparatos genitales de los machos, pero la variación intraespecífica puede dificultar esta labor (Muirhead *et al.*, 2008). Algunos de los hospedantes de *C. flavipes* son lepidópteros de la familia Crambidae del género *Chilo*, barrenador en sorgo y maíz, según reportes en Asia y África; también, *D. saccharalis* y otras especies de este género barrenador en cultivos de caña de azúcar en el continente americano y del caribe (Gifford y Mann 1967; Badilla 2002; White *et al.*, 2004; Muirhead *et al.*, 2006; Parra *et al.*, 2010). En Colombia, *C. flavipes* se ha utilizado para el control de *Diatraea* en el Valle del Cauca y se ha investigado su potencial en caña para panela (Vargas *et al.*, 2015a; Osorio, 2018). Esta especie es reportada por Solís *et al.*, (2020) en larvas de *E. insuastii* recolectadas en la región de la Hoya del río Suárez. En el presente estudio se registra este parasitoide sobre *E. insuastii* en cultivos de caña para panela en los municipios Ocamonte, Páramo y Valle de San José (Santander) y Santana y Moniquirá (Boyacá).

La familia de moscas Tachinidae se caracteriza por su alta diversidad, cuenta con alrededor de 8592 especies descritas y se divide en cuatro subfamilias: Phasiinae, Dexiinae, Exoristinae y Tachininae (O'Hara *et al.*, 2020). El número actual de géneros válidos es aproximadamente 1.493 (O'Hara y Henderson, 2018). En Colombia se reportan 98 especies y 49 géneros, principalmente son tres géneros los que han sido registrados por su regulación sobre poblaciones *Diatraea* spp., estos son *Billaea*, *Genea* y *Lydella*, con valores promedio de parasitismo que pueden alcanzar el 28 % (Vargas *et al.*, 2006; Leyton-Flor *et al.*, 2018; O'Hara *et al.*, 2019). Los taquínidos que se encontraron en este trabajo se pueden apreciar en la Tabla 2 y Figura 2.

Billaea Robineau-Desvoidy, 1830 es un género distribuido en todos los continentes, excepto en Australia, con 17 especies en la región paleártica, nueve en el norte de México, cinco en la región oriental y al menos 11 especies en Sur América con base en la revisión realizada como el género *Paratheresia* Townsend por Guimaraes (1977). El número de especies en América central es desconocido (Crooskey, 1976; Herting, 1984; O'Hara y Wood, 2004; Brown *et al.*, 2010). Los hospedantes reportados para este género son larvas de caña de azúcar del orden Lepidoptera y en larvas que hacen túneles en madera muerta y en tallo de plantas, en ambos casos del orden Coleoptera y de las familias Cerambycidae y Curculionidae, respectivamente (Brown *et al.*, 2010).

La especie del género *Billaea* que se encontró en esta investigación fue *B. claripalpis* (Wulp, 1896). Este taquínido se distribuye en la región neotropical excepto en Chile y Sur de Argentina (Guimaraes, 1977). Se ha estudiado para el manejo de *D. saccharalis* en Brasil (Borges *et al.*, 2019) y se produce masivamente para su liberación en cultivos de caña con daño por *Diatraea* en Colombia (Vargas *et al.*, 2015). Los adultos de *B. claripalpis* no se observan fácilmente en los cultivos de caña a pesar de los altos niveles de parasitismo. Los machos se encuentran principalmente en árboles alrededor de los cultivos, mientras que dentro del sistema productivo se observan hembras (Vargas, 2018). Este parasitoide se reporta por primera vez para la Hoya del río Suárez en nueve fincas ubicadas en los municipios de Ocamonte, Páramo, Valle de San José (Santander) y Chitaraque, Santana y Moniquirá (Boyacá) con un alto número de especímenes (n=189).

El género *Genea* Rondani, 1850 es considerado como un grupo pequeño del nuevo mundo con 10 especies en la región neotropical y siete especies al norte de México (O'Hara y Wood, 2004). Se conocen como hospedantes larvas del orden Lepidoptera de las familias Thyrididae, Gelechiidae y Crambidae (Brown *et al.*, 2010). *G. jaynesi* (Aldrich, 1932) fue la única especie que se encontró en este trabajo. Este taquínido está distribuido en Brasil, Argentina, Venezuela y Colombia y parasita a especies del género *Diatraea* como *D. impersonatella* y *D. saccharalis* (Nunez y Couri, 2011); es una mosca silvestre, abundante y de mayor impacto en el control biológico natural de *Diatraea* especialmente en el centro y sur del Valle del Cauca. A pesar de los esfuerzos que se han realizado por establecer una cría, no se ha logrado la multiplicación de este parasitoide en condiciones de cría masiva (Vargas, 2018). *Genea* sp. fue registrada por Solis *et al.*, (2020) sobre *E. insuastii* en la región de la Hoya del río Suárez. En el presente estudio se confirma que la especie corresponde a *G. jaynesi* y se reporta por primera vez cultivos de caña para panela sobre *Diatraea* spp. en seis fincas en los municipios Ocamonte, Páramo, Valle de San José (Santander) y Santana y Moniquirá (Boyacá). Se destaca que fue la especie con un mayor número de individuos (n=230) con respecto a los demás parasitoides hallados.

Uno de los ejemplares taquínidos correspondió al género *Leskia* Robineau-Desvoidy, 1830. Este género tiene tres especies registradas en la región paleártica, tres al norte de México y alrededor de dieciocho en la región neotropical (Brown *et al.*, 2010). Los hospedantes reportados son lepidópteros de las familias Pyralidae y Sesiidae en Norteamérica y *Terastia meticulosalis* Guenee, 1854 (Crambidae) en *Erythrina edulis* (Fabaceae)-chachafruto en Colombia (Arnaud, 1978; Bautista, 2019). Este parasitoide se reportó por primera vez en el país en los departamentos de Antioquia y Cundinamarca (Bautista, 2019). En este trabajo se registra por primera vez sobre larvas de *Diatraea* en cultivos de caña para panela en el municipio Ocamonte, Santander.

Se encontraron varios especímenes pertenecientes a *Phytomyptera* sp. Rondani, 1845, un género cosmopolita de moscas pequeñas con 23 especies registradas al norte de México y aproximadamente un número similar en la región neotropical (Brown *et al.*, 2010)., los hospedantes conocidos son lepidópteros de las familias Tortricidae, Pyralidae, Glyphipterigidae Oecophoridae, Gelechiidae, Tineidae, Pterophoridae en Norteamérica y *Blastobasis graminea* en caña de azúcar en Colombia (Bustillo, 2013; Bautista, 2019). Se

reporta por primera vez sobre larvas de *Diatraea* en caña para panela el municipio de Ocamonte, Santander.

Los especímenes examinados de *B. claripalpis* y *G. jaynesi* presentaron dimorfismo sexual. Se observó que los machos de *B. claripalpis* tienen un abdomen amarillo y las hembras marrón como lo describe Guimaraes (1997). Los machos de *G. jaynesi* tienen el abdomen más angosto y las hembras lo tienen más ancho, esto coincide con las observaciones de Rivera (2019) en individuos del Valle del Cauca. La longitud del cuerpo del macho fue de $8,0 \pm 1$ mm, encontrándose dentro del intervalo reportado por Nunez y Couri (2011); y la hembra midió $8,1 \pm 1$ mm, un tamaño mayor a lo registrado por Rivera (2019). Finalmente, los aparatos genitales examinados mostraron una similitud con los descritos por Guimaraes (1997) para *B. claripalpis* y por Nunez y Couri (2011) para *G. jaynesi*. (Figura 2).

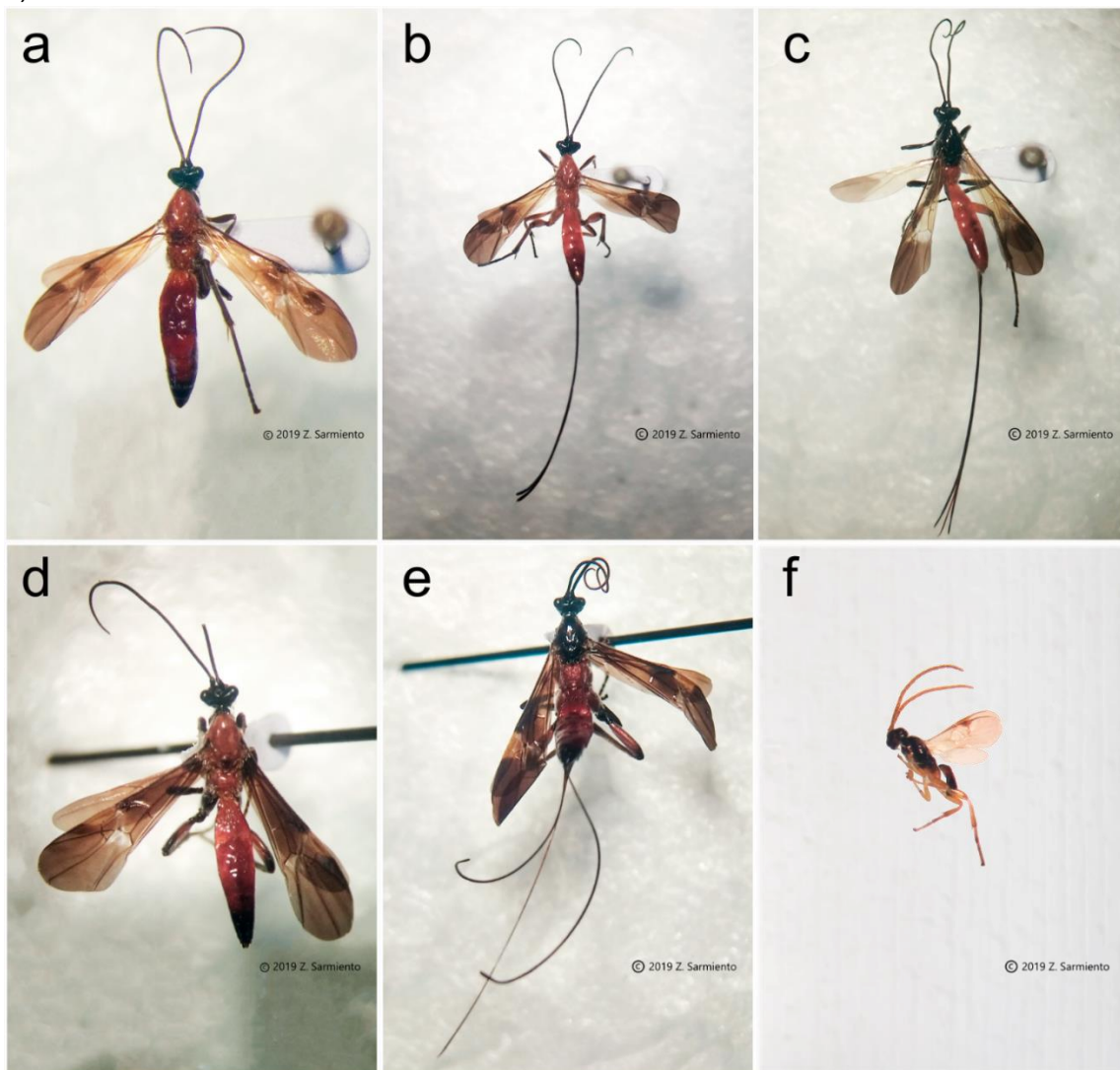


Figura 1. Parasitoides de la familia Braconidae provenientes de larvas de tallo en caña para panela. **a)** *Alabagrus albispina* **b)** *Alabagrus imitatus* **c)** *Alabagrus parvifaciatus* **d)** *Alabagrus roibasi* **e)** *Alabagrus stigma* y **f)** *Cotesia flavipes*.

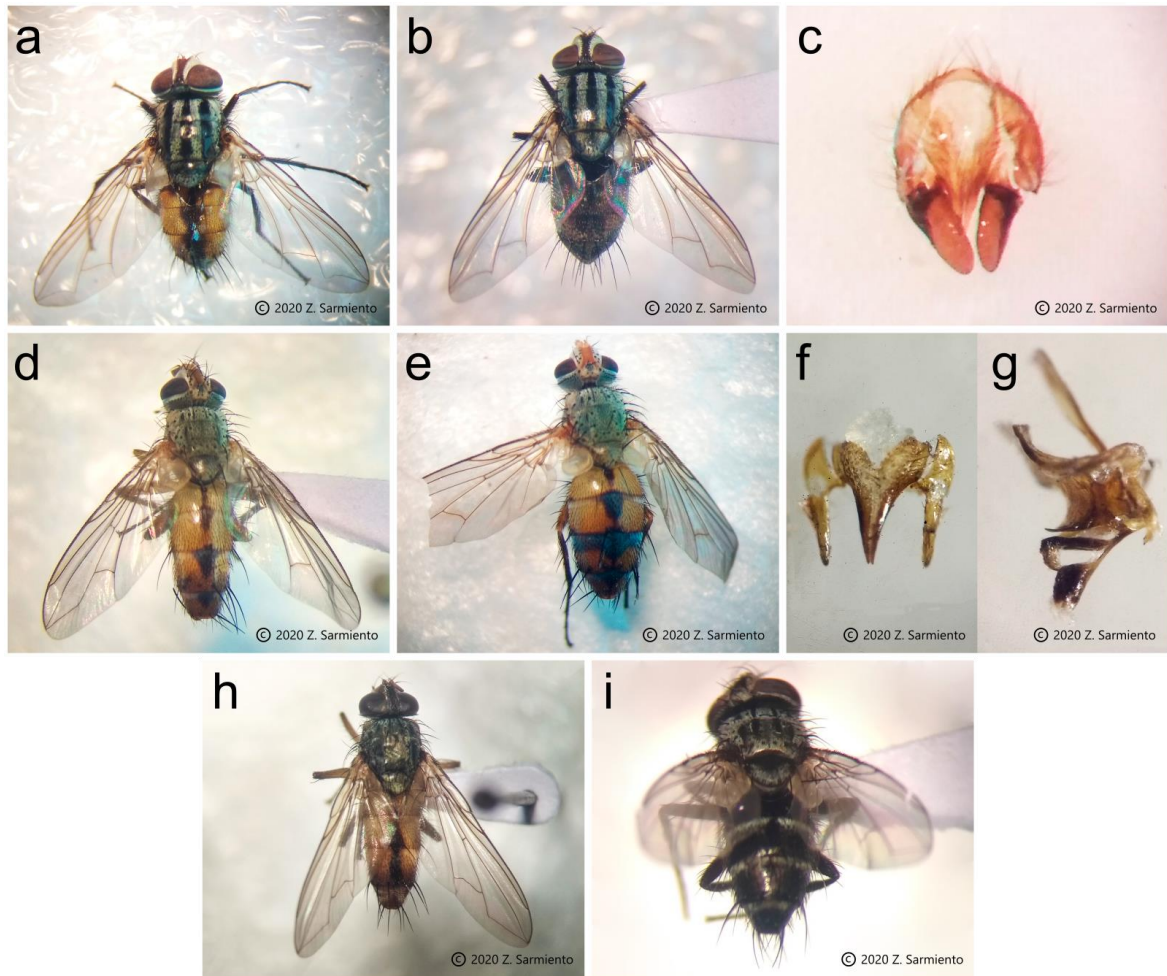


Figura 2. Parasitoides de la familia Tachinidae provenientes de larvas de tallo en caña para panela. **a)** Macho *B. claripalpis* **b)** Hembra *B. claripalpis* **c)** Surstilis y cercis- genitales del macho *B. claripalpis* **d)** Macho *G. jaynesi* **e)** Hembra *G. jaynesi* **f)** Surstilis y cercis- genitales del macho *G. jaynesi* **g)** Complejo edeagal- genitales del macho *G. jaynesi* **h)** *Leskia* sp. y **i)** *Phytomyptera* sp.

2. Diversidad de parasitoides de barrenadores de caña para panela en tres zonas de la Hoya del río Suárez

2.1 Introducción

En Colombia las poblaciones de barrenadores del orden Lepidoptera de la caña de azúcar son reguladas principalmente por una diversidad de parasitoides de huevo y larva (Posada y García, 1976; Bustillo, 2013). Los barrenadores del género *Diatraea* (Crambidae) son parasitados en su estado de huevo por las avispas *Trichogramma exiguum* (Trichogrammatidae) y *Telenomus alecto*, mientras que, en el estado de larva, se presentan las moscas *Billaea claripalpis*, *Lydella minense* y *Genea jaynesi* (Diptera: Tachinidae) y las avispas *Apanteles diatraeae* Muesebeck, *Cotesia flavipes* (Cameron) y *Alabagrus stigma* (Hymenoptera: Braconidae) (Posada y García, 1976; Bustillo, 2011). El barrenador menor *Blastobasis graminea* (Coleophoridae) es parasitado por *Phytomyptera* sp. (Tachinidae) y el barrenador de verano *Elasmopalpus lignosellus* (Zeller) (Pyralidae) por enemigos naturales de la familia Ichneumonidae como *Diapetimorpha* sp., *Acerastes* sp., *Carinodes* sp. (Bustillo, 2011).

En las zonas paneleras del país se han detectado algunos taquínidos como *B. claripalpis* y *G. jaynesi* y los braconídeos *C. flavipes* y *Alabagrus* sp. parasitando larvas de *Diatraea* spp. (Sandoval-Cáceres *et al.*, 2016). Recientemente, se reportó el barrenador *Myelobia smerintha* (Hübner) en cultivos de caña para panela en Cundinamarca y su parasitoide corresponde a una mosca del género *Billaea* (Tachinidae) (Sandoval-Cáceres, *et al.*, 2017). En cultivos de caña de la Hoya del río Suárez se reportó el barrenador *E. insuastii* Solis y Osorio-Mejía y sus parasitoides son *Cotesia flavipes* y *Alabagrus* sp. (Hymenoptera: Braconidae) y *Billaea* sp. y *Genea* sp. (Diptera: Tachinidae) (Solis *et al.*, 2020).

De acuerdo con Vargas *et al.*, (2018), Colombia puede ser considerado uno de los pioneros de control biológico en América Latina, esto se evidencia en la introducción de enemigos naturales exóticos desde 1933 y en una gran variedad de trabajos publicados en la Revista Colombiana de Entomología desde 1975 relacionados con enemigos naturales locales. El cultivo de caña de azúcar es un ejemplo de la aplicación del control biológico como la principal estrategia de manejo de las poblaciones de barrenadores de tallo (Vargas, 2015b; ICA, 2017). Por esta razón resulta fundamental estudiar la diversidad de los enemigos

naturales en el cultivo para así entender su función como reguladores de poblaciones de insectos plaga. Una de las investigaciones dirigidas hacia la diversidad de insectos benéficos en caña de azúcar es el trabajo de Rivera (2019), quien encontró una alta diversidad de taquínidos dentro de la que se destaca la especie *Genea jaynesi*. Esta y otras especies parasitoides y depredadores se hallaron en cultivos conectados con franjas vegetales.

Cuando se realiza manejo de plagas a partir de enemigos naturales se deben emplear indicadores que permitan conocer el efecto acumulativo y el impacto de las prácticas realizadas por los agricultores sobre estos organismos benéficos. Se deben precisar tácticas conservacionistas dentro del programa de manejo y la cuantía de su utilización en tiempo y espacio. Entre estas tácticas se encuentran los índices de enemigos naturales que se dividen en los indicadores parasitismo global y relación depredador/presa, y la táctica diversidad de enemigos naturales que se divide en número de taxones e índices ecológicos (diversidad, equitatividad, dominancia) (Vázquez *et al.*, 2008).

La diversidad se puede describir de varias maneras, una es mediante el recuento del número de especies y otra es a través de índices que relacionan la abundancia y riqueza. Los índices de diversidad ayudan a resumir mucha información en un solo valor y permiten realizar comparaciones rápidas y sujetas a comprobación estadística entre distintos hábitats (Moreno, 2001). Entre estos índices se encuentran los de equidad que tienen en cuenta la abundancia de cada especie y la uniformidad de esa distribución y los de dominancia que abordan las especies que dominan sin tener en cuenta las demás (Moreno, 2001). Estos índices tienen en cuenta la estructura de la comunidad, es decir, se refieren a la abundancia proporcional de cada especie y se representan de varias maneras, entre ellas el índice de Shannon (H') y el de Simpson (D). El índice de Shannon (H') asume que todas las especies están representadas en las muestras e indica que tan uniformes se encuentran con respecto a todas las especies muestreadas. El índice de Simpson (D) muestra la probabilidad de que dos individuos sacados al azar de una muestra correspondan a la misma especie (Vázquez *et al.*, 2008; Villareal *et al.*, 2004).

En el país se han desarrollado investigaciones sobre enemigos naturales aplicando índices de diversidad. Sendoya-Corrales y Bustillo-Pardey (2016) determinaron la importancia de los controladores biológicos en la regulación de poblaciones de *Stenoma cecropia* Meyrick (Lepidoptera: Elachistidae) a partir de un análisis faunístico, en el que se tuvieron en cuenta dominancia, abundancia, frecuencia y constancia. Díaz y Brochero (2012) realizaron un reconocimiento de los enemigos naturales asociados a los diferentes estados de desarrollo de *Neoleuocinodes elegantalis* Guenée, 1984 (Lepidoptera: Crambidae) en cultivos de solanáceas y encontraron una mayor diversidad de himenópteros parasitoides en cultivos de lulo. En estos trabajos se evidencia la aplicabilidad de los índices de diversidad en el estudio de los enemigos naturales.

El objetivo de este capítulo fue describir la diversidad de los parasitoides de barrenadores de caña para panela, en términos de riqueza y estructura de la comunidad en tres zonas de la Hoya del río Suárez, para tener mejores elementos para comprender el rol ecológico

de estos enemigos naturales dada su importancia en el control biológico de larvas de tallo del cultivo.

2.2 Riqueza e índices de diversidad

2.2.1 Materiales y métodos

Para analizar la diversidad de los parasitoides de los barrenadores de caña para panela se emplearon datos de presencia y abundancia de los adultos y larvas parasitadas de las fincas y zonas de estudio descritas en el primer capítulo.

Métodos

A partir de la determinación de las especies y el número de individuos para cada una de ellas, se analizó su abundancia y se estudió la riqueza por sitio de muestreo.

Se estimaron dos índices de diversidad que permiten evaluar la importancia de las especies y resultan muy útiles al comparar los cambios de diversidad en un hábitat y son ampliamente usados en estudios de enemigos naturales (Jost, 2006; Vázquez, *et al.*, 2008; Mutamiswa *et al.*, 2017). Estos índices son el de Simpson (D) y Shannon (H'), el primero indica las especies que están mejor representadas sin tener en cuenta las demás por lo que es sensible a la dominancia; el segundo índice, indica que tan uniformes están representadas las especies con base en todas las que se muestrearon, refleja la heterogeneidad y es una medida del grado de incertidumbre asociada a la selección aleatoria de un individuo en la comunidad (Moreno, 2001; Villareal *et al.*, 2004; Pla, 2006).

El índice de Simpson (D) tiene la siguiente fórmula (ecuación 1)

$$D_{Si} = \sum_{i=1}^S p_i^2 \quad (1)$$

donde p_i es la proporción de la especie i , S es el número de especies

Cuanto más se acerca el valor D a 0, mayor es la diversidad del hábitat. Cuanto más se acerca el valor D a 1, menor es la diversidad del hábitat (Vázquez, *et al.*, 2008).

El índice de Shannon (H'), tiene la siguiente fórmula (ecuación 2)

$$H = - \sum_{i=1}^S p_i \log b p_i \quad (2)$$

donde p_i es la proporción de la especie i , S es el número de especies, y b la base del logaritmo (usualmente se usa \ln). Su valor suele oscilar entre 1,5 y 3,5 (Vázquez *et al.*, 2008).

Posteriormente, se analizó la abundancia promedio de larvas parasitadas por familia del controlador y por los tres principales parasitoides *Billaea*, *Genea* y *Cotesia* discriminando por fincas, zonas y meses de muestreo. Estos datos y los obtenidos en los indicadores ecológicos por zonas, se analizaron mediante modelos lineales generales y mixtos, los cuales permiten modelar la relación entre variables independientes y una variable dependiente, empleando coeficientes fijos, aleatorios y varios términos de error, además, se han utilizado en varias investigaciones con insectos para comparar grupos o tratamientos, (Mangeaud y Videla 2005; Martínez *et al.*, 2013). Para determinar diferencias de medias se empleó una comparación LSD Fisher ($p < 0,05$) con corrección Bonferroni.

Para relacionar la diversidad de parasitoides con el clima de las fincas estudiadas, se utilizaron los datos climáticos de precipitación, temperatura y humedad relativa de la estación Bertha ubicada en Moniquirá, ($5^{\circ} 53'N - 73^{\circ} 34'W$), a 1667msnm., para el periodo comprendido entre enero de 2015 a febrero de 2017. Con estos datos correspondientes a la zona húmeda se analizó la relación entre las variables climáticas y el número promedio de larvas parasitadas por los principales parasitoides mediante una correlación de Spearman. Los datos de las zonas restantes no se consiguieron para el periodo estudiado. Los datos se analizaron usando el software estadístico R, versión 3.6.3.

2.2.2 Resultados y discusión

Luego de revisar 616 especímenes, se encontraron diez morfotipos de insectos, de los cuales cinco correspondieron al género *Alabagrus* y los cinco restantes correspondieron a los géneros *Cotesia*, *Billaea*, *Genea*, *Phytomyptera* y *Leskia*. Las especies más abundantes en las tres primeras fincas de la zona seca fueron *G. jaynesi* y *C. flavipes*, en las fincas de la zona semi-húmeda fueron *B. claripalpis* y *G. jaynesi* y en las tres últimas fincas, zona húmeda, se destacaron *B. claripalpis* y *C. flavipes*. En las tres zonas al menos una especie de taquínido fue más abundante frente a los braconidos. Este hallazgo en los taquínidos estudiados, puede deberse a una sincronización con sus hospedantes y la disponibilidad de néctar para los adultos en el transcurso del muestreo (Inclán *et al.*, 2014). Con respecto al total de área estudiada se encontró una mayor abundancia de *G. jaynesi* seguida por *B. claripalpis* y luego *C. flavipes* (Tabla 3). Para *C. flavipes* se registró el número de larvas parasitadas y no el número de adultos emergidos por el controlador, dado su carácter gregario. La abundancia de *G. jaynesi* coincide con los hallazgos de Rivera (2019) en caña de azúcar del Valle del Cauca, en donde es significativamente alta en comparación con otros taquínidos como *B. claripalpis*.

De las especies de la familia Braconidae, *C. flavipes* fue la más abundante. Esta especie ha demostrado ser una buena alternativa en el manejo de barrenadores del género

Diatraea en el Valle del Cauca y en la Hoya del río Suárez (Leyton-Flor *et al.*, 2018; Osorio, 2018).

Tabla 3. Abundancia absoluta (AA) de los parasitoides de barrenadores de caña para panela de nueve fincas y tres zonas de muestreo (zona seca: fincas 1-3; zona semi-húmeda: fincas 4-6; zona húmeda: fincas 7-9).

	Finca 1	Finca 2	Finca 3	Finca 4	Finca 5	Finca 6	Finca 7	Finca 8	Finca 9	General
Especie	AA	AA	AA	AA	AA	AA	AA	AA	AA	AA
<i>Alabagrus albispina</i>	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1
<i>Alabagrus imitatus</i>	-	3	-	1	-	1	2	1	-	8
<i>Alabagrus parvifaciatus</i>	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1
<i>Alabagrus roibasi</i>	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1
<i>Alabagrus stigma</i>	-	1	-	-	-	-	15	11	2	29
<i>Cotesia flavipes</i>	28	32	15	-	6	15	39	3	12	150
<i>Billaea claripalpis</i>	12	6	4	7	12	21	52	28	47	189
<i>Genea jaynesi</i>	30	63	47	2	52	36	-	-	-	230
<i>Leskia sp.</i>	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1
<i>Phytomyptera sp.</i>	-	-	2	1	2	-	-	-	1	6
Total	72	105	68	11	72	73	110	43	62	616

Dos fincas de la zona seca y una de la zona húmeda se destacaron por la riqueza de especies de parasitoides (Tabla 4). En la zona seca se encontraron ocho especies que representan el 80% de la riqueza del total, la mitad de los parasitoides de esta zona fueron braconídeos y la otra mitad taquínidos. En la zona húmeda se registraron siete especies, la mayoría de los enemigos naturales de esta zona fueron braconídeos y en un bajo porcentaje taquínidos. Por otra parte, según el índice de Simpson (D) hay tendencia hacia la dominancia de especies en la finca 1 de la zona seca, seguida por la 6 y 7 de las zonas semi-húmeda y húmeda, respectivamente. Las especies que están mejor representadas en términos de abundancia en estas zonas son *C. flavipes*, *B. claripalpis* y *G. jaynesi*. Estas especies también son dominantes en los cultivos de caña del Valle del río Cauca, las dos primeras se producen masivamente y la tercera se encuentra en el agroecosistema por lo que se recomienda su conservación (Vargas, 2015b; Leyton-Flor *et al.*, 2018). Para las nueve fincas se encontró una baja diversidad de especies con base en los valores de índice de Shannon. Sin embargo, una finca de la zona seca y otra de la zona húmeda presentaron una diversidad que se destaca sobre las demás (Tabla 4). La baja diversidad de especies de parasitoides encontrada en las fincas estudiadas es congruente con los resultados de

Holzschuh *et al.*, (2010) quienes sugieren una reducción en la abundancia y diversidad de parasitoides en sistemas de cultivo convencionales.

Tabla 4. Riqueza de especies, índice de Simpson (D) y Shannon (H') en cada una de las fincas estudiadas de la Hoya del río Suárez.

	Finca	Índice de riqueza (S)	Índice de Simpson (D)	Índice de Shannon (H')
1	Arrayanales	5	0.64	1.14
2	Mérida	5	0.54	0.97
3	La Esmeralda	4	0.46	0.85
4	Molinos el Hato	4	0.54	1.03
5	San Martín	4	0.44	0.84
6	San Sebastián	4	0.63	1.09
7	Esperanza 1	6	0.63	1.15
8	La Guayana	4	0.50	0.90
9	El Pino	4	0.38	0.70

El promedio de las larvas parasitadas por controladores de la familia Tachinidae fue mayor en los 25 meses de muestreo que el presentado por avispas de la familia Braconidae. Los mayores valores para los taquínidos se encontraron en octubre de 2016 y febrero de 2017 y para los bracónidos se evidenciaron en mayo de 2015 y marzo de 2016 (Figura 3); en ambos segmentos de tiempo se registraron promedios altos del número de barrenadores. Al encontrarse el recurso alimenticio en el transcurso del tiempo se favorece la dinámica de los controladores biológicos, esta fluctuación puede estar influenciada por las condiciones climáticas; sin embargo, en este estudio no se pudo validar esta premisa debido a la falta de datos de las variables de clima para las tres zonas. Con respecto al número total de larvas parasitadas (n=1284) el 77% correspondió a taquínidos y el 23% a bracónidos. Esto destaca el papel de los primeros en la regulación de los barrenadores de caña e indica que los segundos son un complemento en el control biológico. Según Inclán *et al.*, (2014), los taquínidos pueden manejar mejor la presión en paisajes fragmentados y esto los conduce a un mayor éxito en la búsqueda de recursos. Las avispas parasitoides son más específicas para parasitar a otros artrópodos, de aquí se deriva su éxito en programas de control biológico, tienen un ciclo de vida corto y una buena capacidad de búsqueda (Guevara y Sáenz, 2011). El porcentaje de parasitismo general fue del 31% sobre los barrenadores de los géneros *Diatraea*, *Blastobasis* y la especie *Eoreuma insuastii*, lo que demuestra su importancia como controladores biológicos en el cultivo.

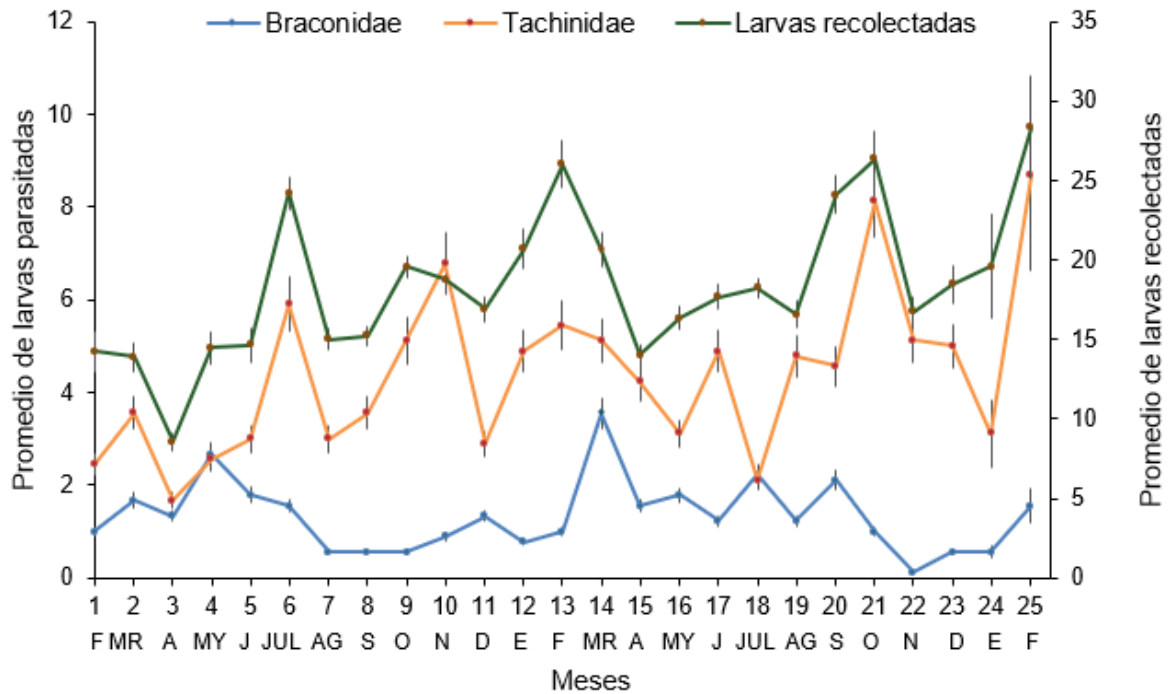


Figura 3. Promedio de larvas parasitadas por cada una de las familias encontradas en 25 meses de muestreo (febrero de 2015 a febrero de 2017) en tres zonas de la Hoya del río Suárez.

Al comparar el promedio de larvas parasitadas por los tres controladores más abundantes en los 25 meses de muestreo (febrero 2015- febrero 2017), se encontró que las larvas afectadas por *Billaea* sobresalieron en el tiempo estudiado especialmente en los meses 21 y 25, es decir, octubre de 2016 y febrero de 2017. *Billaea* presentó una ciclicidad de aproximadamente tres a cinco meses. Para *Genea* no hubo ciclicidad, por lo que no se evidencia un patrón claro y para *Cotesia* se ven dos picos anuales (Figura 4). Estos patrones sugieren que *Billaea* a diferencia de *Genea* y *Cotesia* sigue más de cerca las variaciones de abundancia de los barrenadores. El porcentaje de larvas parasitadas por *Billaea* fue del 13,8% para *Genea* fue del 9,9% y *Cotesia* 5,1%, el valor restante (2,3%) está conformado por los parasitoides *Alabagrus*, *Phytomyptera* y *Leskia*. Los porcentajes mencionados son destacables, teniendo en cuenta que en el Valle del Cauca los taquínidos pueden alcanzar porcentajes de parasitismo del 28% (Leyton-Flor *et al.*, 2018).

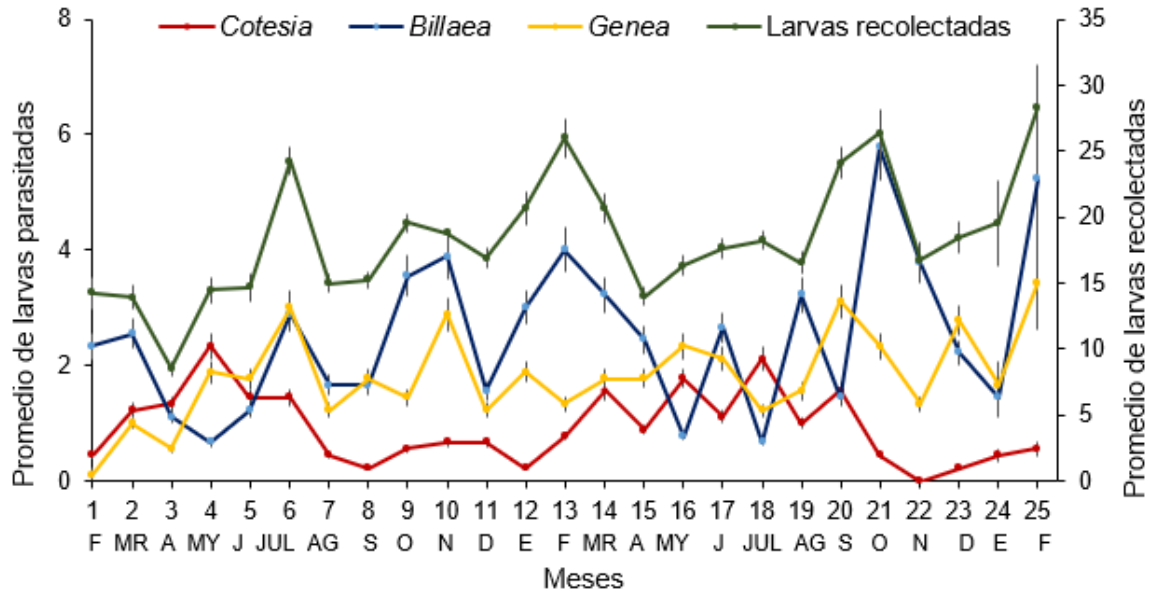


Figura 4. Promedio de larvas parasitadas en las nueve fincas por los tres controladores más abundantes en 25 meses de muestreo (febrero de 2015 a febrero de 2017) en tres zonas de la Hoya del río Suárez.

El conocimiento de los ciclos de vida de los parasitoides puede apoyar el entendimiento de la dinámica de los tres controladores más abundantes en el periodo de muestreo. En el primer capítulo se describe la metodología empleada en el seguimiento de las larvas recolectadas en la Hoya del río Suárez. *B. claripalpis*, y *G. jaynesi* tuvieron una duración promedio de larva a pupario desde la fecha de recolección del barrenador de 17 y 29 días, de pupario a adulto 23 y 20 días, respectivamente. La duración de larva a pupa para *G. jaynesi* fue más alta que la reportada por Rivera (2019), quien registró 18,5 días a partir de la inoculación sobre larvas de *D. saccharalis* en condiciones de laboratorio en el Valle del Cauca ($25.7\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.4$; $73.6\% \pm 9\text{ HR}$); esta diferencia puede obedecer a variaciones en la temperatura y humedad relativa, las larvas recolectadas en la Hoya del río Suárez se mantuvieron a $27^{\circ}\text{C} \pm 2$; $50\% \pm 10\text{ H.R.}$, también puede influir la alimentación de las larvas hospedantes, en el presente trabajo los barrenadores consumieron dieta artificial de Hensley y Hammond (1968) y en el de Rivera (2019) se alimentaron de maíz no transgénico. La duración de pupa a adulto para *G. jaynesi* fue similar, siendo de 20 días en este estudio y 19,4 días en el de Rivera. En el caso de *C. flavipes* hubo una duración promedio de larva a capullos de 14 días y de capullos a adultos de seis días teniendo en cuenta todas las especies de *Diatraea* de las zonas, mientras que, Osorio (2018) obtuvo 27,5 días para el primer caso y 8,7 días sobre *D. saccharalis* bajo condiciones de $22,5^{\circ}\text{C} \pm 2,5$; $45\% \pm 10\text{ HR}$. Aunque no se pudo registrar el ciclo de vida completo de estos parasitoides, estos datos registrados en laboratorio podrían indicar que en un año se presentan varias generaciones en los cultivos de caña gracias a la presencia permanente de sus hospedantes.

A nivel de las zonas de estudio y familias del controlador, en la zona semi-húmeda se presentaron los valores más bajos de larvas parasitadas por braconídeos, mientras que en la finca 7 de la zona húmeda se obtuvo el promedio más alto de barrenadores afectados por estas avispas (Figura 5).

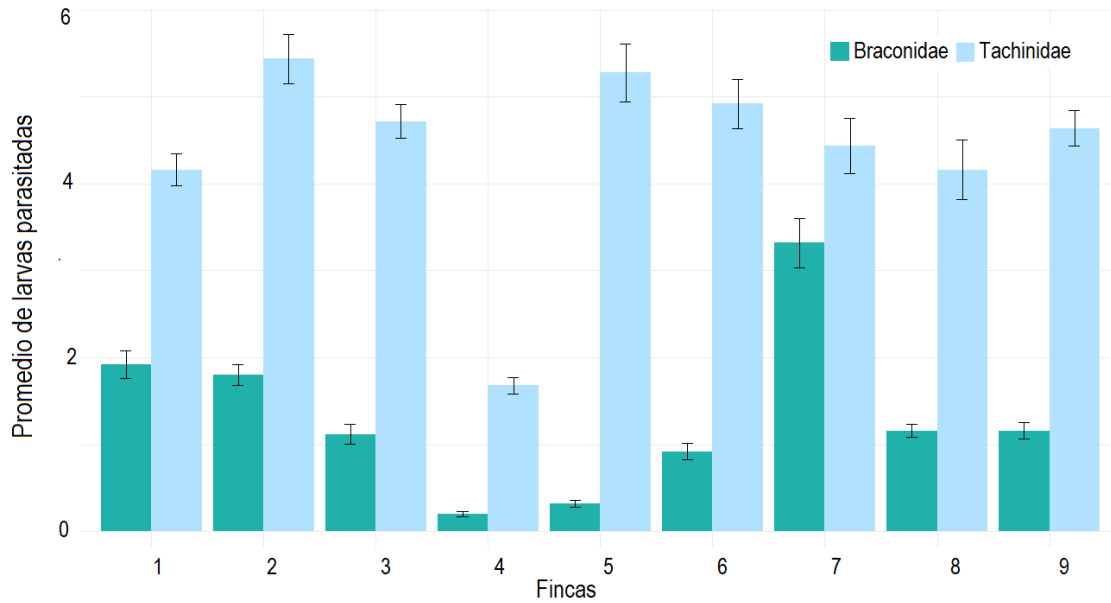


Figura 5. Promedio de larvas parasitadas por Braconidae y Tachinidae entre 2015 y 2016 en las nueve fincas y tres zonas estudiadas (seca: fincas 1-3; semi-húmeda: fincas 4-6 y húmeda: fincas 7-9).

El promedio de larvas parasitadas por los Tachinidae y Braconidae por año fue similar al descrito para todo el tiempo de estudio. En 2015 dos fincas de la zona semihúmeda presentaron los valores promedio más bajos de larvas parasitadas por braconídeos. En 2016 los promedios de larvas afectadas por los taquínidos fueron superiores a los encontrados en 2015 (Figura 6).

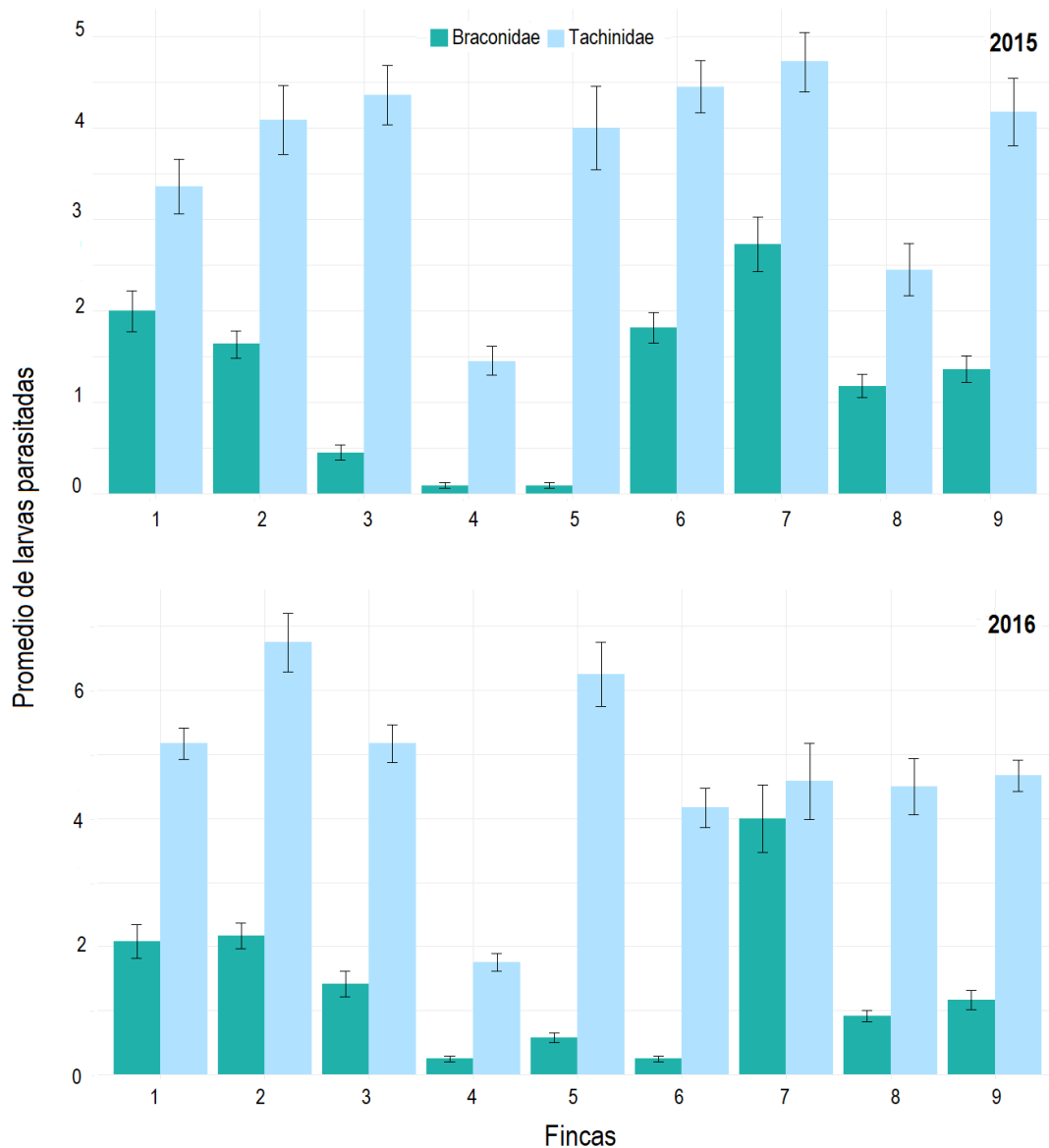


Figura 6. Promedio de larvas parasitadas por las familias Braconidae y Tachinidae en 2015 y 2016 en las nueve fincas y tres zonas estudiadas (seca: fincas 1-3; semi-húmeda: fincas 4-6 y húmeda: fincas 7-9).

Al disgregar por los géneros de los parasitoides más abundantes, se encontró que en la zona seca se presentaron promedios altos de de larvas parasitadas por *Genea*, en la semi-húmeda sobresalieron *Billaea* y *Genea* y en la húmeda se obtuvieron promedios altos de larvas afectadas por *Billaea* (Figura 7).

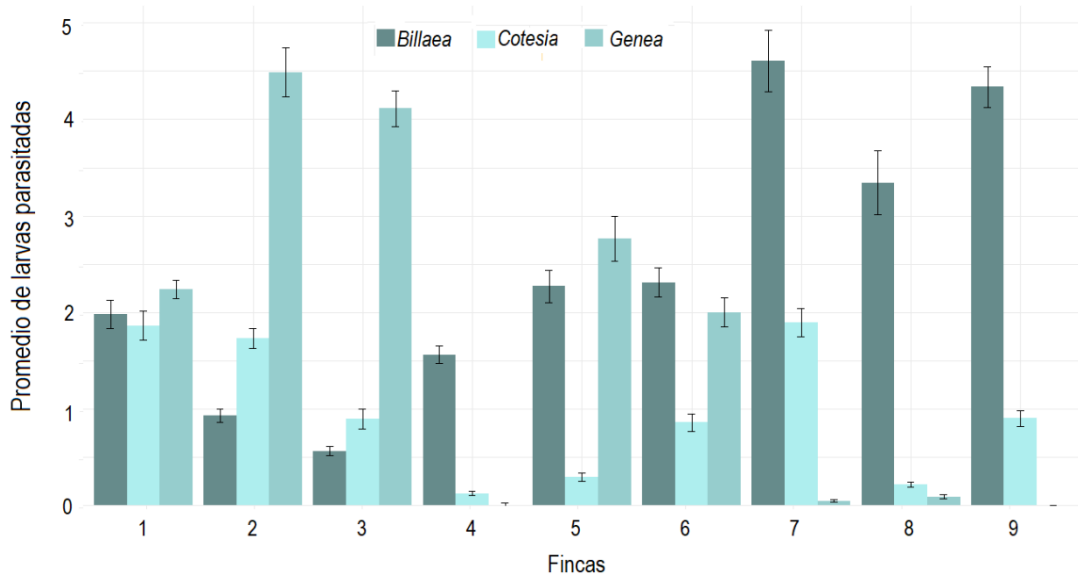


Figura 7. Promedio de larvas parasitadas por los tres controladores más abundantes entre 2015 y 2016 en las nueve fincas y tres zonas de estudio (seca: fincas 1-3; semi-húmeda: fincas 4-6 y húmeda: fincas 7-9).

De la misma manera como ocurrió en el patrón anterior, el fenómeno se repite en los dos años de estudio. (Figura 8). *Genea* predominó en la zona seca, *Billaea* en la húmeda y en la semi-húmeda sobresalieron estos dos taquínidos. En 2015, una de las fincas de la zona semihúmeda presentó parasitismo únicamente por *Billaea* y en 2016, la zona húmeda evidenció parasitismo por *Billaea* y *Cotesia* y ausencia de *Genea*.

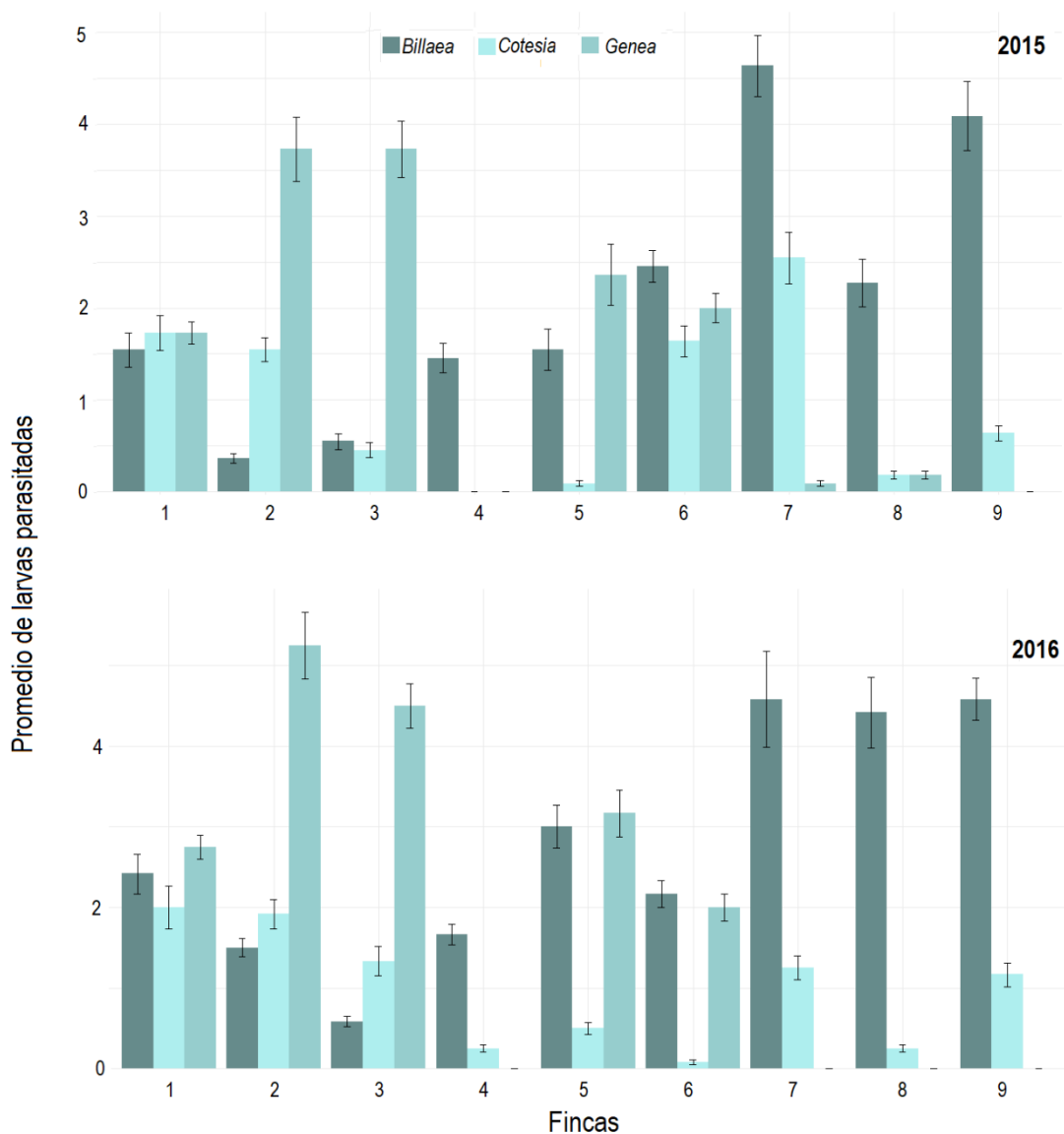


Figura 8. Promedio de larvas parasitadas por *Billaea*, *Cotesia*, *Genea* en 2015 y 2016 en las nueve fincas y tres zonas de estudio (seca: fincas 1-3; semi-húmeda: fincas 4-6 y húmeda: fincas 7-9).

Respecto a los resultados de los modelos lineales generales, no se encontraron diferencias en la abundancia de controladores agrupados por familia en las zonas de estudio (Tabla 5). Cuando se disgregaron los datos de abundancia a género, se presentaron diferencias en la zona húmeda para *Billaea* y para las tres zonas en *Genea* (Tabla 6). En cuanto a los indicadores ecológicos, no se hallaron diferencias significativas entre las zonas de estudio (Tabla 7). Estos resultados indican que la clasificación de las zonas de muestreo empleada

en este estudio no se relaciona con el promedio de larvas parasitadas a nivel de familia ni con los indicadores ecológicos.

Tabla 5. Análisis mediante modelos lineales generales y mixtos con prueba LSD Fisher con corrección de Bonferroni con la media (\bar{X}) y el error estándar (E.E) obtenidos para las tres zonas de muestreo (Seca: S; Semi-húmeda: SH; Húmeda: H) en cada familia de parasitoide. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($P > 0.05$).

Familia	F	P	Zona	\bar{X}	E. E	LSD Fisher con corrección de Bonferroni
Braconidae	2.21	0.22	S	1.64	0.50	A
			SH	0.51	0.50	A
			H	1.90	0.50	A
Tachinidae	0.73	0.53	S	4.85	0.36	A
			SH	3.69	0.36	A
			H	4.20	0.36	A

Tabla 6. Análisis mediante modelos lineales generales y mixtos con prueba LSD Fisher con corrección de Bonferroni con la media (\bar{X}) y el error estándar (E.E) obtenidos para las tres zonas de muestreo (Seca: S; Semi-húmeda: SH; Húmeda: H) en cada uno de los controladores más abundantes. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($P > 0.05$).

Género	F	P	Zona	\bar{X}	E. E	LSD Fisher con corrección de Bonferroni
<i>Cotesia</i>	2.44	0.20	S	1.51	0.35	A
			SH	0.42	0.35	A
			H	1.00	0.35	A
<i>Billaea</i>	18.02	0.01	S	1.18	0.36	A
			SH	2.06	0.36	A
			H	4.12	0.36	B
<i>Genea</i>	16.59	0.01	S	3.64	0.63	A
			SH	1.59	0.63	AB
			H	0.04	0.63	B

Tabla 7. Análisis mediante modelos lineales generales y mixtos con prueba LSD Fisher con corrección de Bonferroni con la media (\bar{X}) y el error estándar (E.E) obtenidos para las tres zonas de muestreo (Seca: S; Semi-húmeda: SH; Húmeda: H) en cada uno de los indicadores ecológicos. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($P > 0.05$).

Índice	F	P	Zona	\bar{X}	E. E	LSD Fischer con corrección de Bonferroni
Abundancia	0,72	0,52	S	81,67	17,84	A
			SH	71,67	17,84	A
			H	52	17,84	A
Riqueza	0,8	0,49	S	4,67	0,43	A
			SH	4,67	0,43	A
			H	4,00	0,43	A
Índice de Simpson	0,15	0,86	S	0,55	0,06	A
			SH	0,54	0,06	A
			H	0,51	0,06	A
Índice de Shannon	0,18	0,84	S	1,00	0,10	A
			SH	0,99	0,10	A
			H	0,92	0,10	A

A nivel general las variables climáticas de la zona húmeda no presentaron una relación significativa con el promedio de larvas parasitadas por los tres controladores más abundantes. Esta falta de relación podría resultar del alto distanciamiento que hay entre la estación meteorológica y los sitios de muestreo o de un nivel de resolución en los datos climáticos que no es acorde con la dinámica de los parasitoides. En los dos casos en que se encontró relación estadística se consideran errores estadísticos de muestreo dado el bajo valor de R y el no estar vinculados entre la distancia geográfica de las fincas y las estaciones meteorológicas (Tabla 8).

Tabla 8. Correlación de Spearman entre los tres controladores más abundantes y las variables climáticas registradas teniendo en cuenta la distancia a la estación meteorológica Bertha, Moniquirá. (C: finca cercana) y lejano (L: finca más lejana) a la estación. *Indica significancia.

Parasitoide	Cercanía a estación	Precipitación (mm)		Temperatura (°C)		Humedad relativa (%)	
		R	p	R	P	R	p
<i>Cotesia</i>	C	0,133	0,524	0,285	0,165	0,001	0,996
	L	-0,011	0,955	-0,101	0,627	0,224	0,280
<i>Billaea</i>	C	-0,473	0,016*	-0,164	0,430	-0,001	0,994
	L	-0,342	0,093	0,266	0,198	-0,366	0,071
<i>Genea</i>	L	-0,380	0,060	0,425	0,033*	-0,385	0,057

3. Relación entre la diversidad de parasitoides asociados a los barrenadores de caña para panela y la intensidad agrícola en tres zonas de la Hoya del río Suárez

3.1 Introducción

Pimentel y Edwards (1982) afirman que los fertilizantes y plaguicidas pueden generar impactos importantes sobre la diversidad y abundancia de especies no blanco y sobre los procesos ecosistémicos y las interacciones tritróficas. Un amplio número de estudios sobre comunidades de plantas y animales mencionan que en los agroecosistemas hay una diversidad que ejerce un rol fundamental para el control natural de plagas y enfermedades, la polinización de cultivos, la resistencia a disturbios y períodos inesperados de estrés, entre otros, y este papel tiende a ser menos fuerte a medida que se incrementa la productividad (Pretty, 2017). La comprensión de los efectos de la alteración de los agroecosistemas por la intensificación de las prácticas productivas y la implementación de estrategias que beneficien las interacciones ecológicas son fundamentales para garantizar la permanencia de una alta productividad agrícola en el futuro (Matson *et al.*, 1997).

Por otra parte, al aplicar herbicidas, insecticidas, fungicidas y fertilizantes químicos, se puede presentar una disminución de la heterogeneidad de hábitats naturales y seminaturales afectando especies controladoras naturales de los herbívoros del cultivo (Weibull *et al.*, 2000; Benton *et al.*, 2003; Tschardtke *et al.*, 2005; Hendrickx, 2007; Attwood *et al.*, 2008; Billeter *et al.*, 2008; Ruiz-Martinez *et al.*, 2015). Un ejemplo del uso de la entrada de nitrógeno, densidad de unidades pecuarias y número de aplicaciones de plaguicidas, en el estudio de la intensidad de uso de suelo es la investigación realizada por Herzog *et al.*, (2006), quienes integraron estas variables en un índice de intensidad general. Otros estudios demuestran que la entrada de nitrógeno y las aplicaciones de plaguicidas afectan el medio, y tienen efectos directos e indirectos sobre la diversidad (Chiverton y Southerton, 1991; Moreby *et al.*, 1994; Wilson *et al.*, 1997; Joyce, 2001; Vickery *et al.*, 2001). En Colombia, Meneses-R y Armbrrecht (2018) muestran que la intensificación de la producción del café ha generado una disminución de la diversidad y

un aumento en la dominancia de especies de árboles en cultivos de café que crecen sin sombra.

El cultivo de caña para la agroindustria panelera en el país se desarrolla en la Región Andina en la franja comprendida entre 700 y 2.000 m de altitud (Manrique *et al.*, 2000). En los departamentos de Boyacá y Santander, en la región conocida como Hoya del río Suárez (HRS), se encuentra establecido el sistema de corte por parejo que consiste en que todos los tallos se cortan cuando están en su punto óptimo de maduración, generando un mayor rendimiento (t/ha) en comparación con el método de entresaque en el que se cortan solamente los tallos maduros de una cepa (López, 2015). Este rendimiento y producción en las fincas paneleras de Boyacá y Santander demanda aplicaciones de fertilizantes y herbicidas que en altas cantidades generan consecuencias negativas para el medio ambiente (AGROSAVIA, 2016), además, un mal empleo de los plaguicidas en este cultivo podría provocar una disminución de enemigos naturales de los barrenadores allí establecidos (Frasser, 1975).

Las larvas barrenadoras de tallo, principalmente del género *Diatraea* se han considerado como la principal plaga en cultivo de caña de azúcar en el país (Vargas y Gómez, 2005). En razón a los requerimientos sanitarios de este cultivo se ha identificado que el control biológico es una herramienta primordial para el manejo de estos barrenadores (ICA, 2017). Dentro de las especies más promisorias como controladoras están: *Billaea claripalpis* (Van der Wulp, 1986), *Lydella minense* (Towsend, 1927), *Genea jaynesi* (Aldrich, 1932) (Diptera: Tachinidae); *Trichogramma exiguum* Pinto & Platner (Hymenoptera: Trichogrammatidae) y *Cotesia flavipes* Cameron, 1981 (Hymenoptera: Braconidae) (ICA, 2017).

De estos parasitoides se destacan los pertenecientes a la familia Tachinidae pues juegan un rol significativo en la regulación de las poblaciones de herbívoros y en la estructuración de comunidades ecológicas tanto naturales como manejadas, además estos atacan un amplio espectro de hospedantes, lo que los hace generalistas o polífagos (Stireman *et al.*, 2006); según Inclán *et al.*, (2014) esta condición les permite encontrar hospedantes alternativos en matrices agrícolas adyacentes. Otra de las familias que sobresale es Braconidae, al respecto Singh *et al.*, (2016) afirman que, dentro del grupo de parasitoides himenópteros, los bracónidos son importantes en el control natural y biológico; no obstante, a diferencia de los taquínidos, estas avispas tienen un espectro de hospedantes más específico (Stireman *et al.*, 2006).

Teniendo en cuenta la relevancia del tema de la intensificación agrícola y de la caña para panela en Colombia, el objetivo de este estudio fue analizar la relación entre este indicador y la presencia y abundancia de parasitoides de barrenadores de este cultivo en tres zonas de la Hoya del río Suárez, Colombia. De esta forma será posible comprender si las premisas de los análisis de intensificación agrícola se cumplen en este cultivo y si es necesario hacer manejo que corrija los efectos negativos.

3.2 Definición de las variables, estimación del índice de intensidad agrícola y su relación con la diversidad de parasitoides

3.2.1 Materiales y métodos

Para estimar la intensidad agrícola en cultivos de caña de la Hoya del río Suárez se utilizó la información sobre variables de manejo recolectadas mediante entrevistas realizadas a productores por AGROSAVIA en 2015 con el fin de conocer los aspectos productivos y prácticas habituales de manejo del cultivo. Se realizaron 10 preguntas para indagar sobre los siguientes aspectos: ubicación de la finca, área total y área establecida en caña, cantidad de caña molida en una semana, cantidad de panela obtenida en una semana (t), rendimiento de panela por molienda, distribución de variedades en la finca, insumos agrícolas utilizados, dosis y época de aplicación para fertilización, control de arvenses, manejo de insectos plaga y enfermedades. Con esta información se generó la caracterización de manejo de las fincas y se aplicó el índice de intensidad agrícola propuesto por Herzog *et al.*, (2006). Simultáneamente, con la información recopilada sobre riqueza y abundancia de barrenadores y parasitoides en el cultivo descrita en el segundo capítulo se analizó la relación entre la abundancia de barrenadores recolectados y parasitados con la intensidad agrícola.

Variables para la estimación del índice de intensidad agrícola

En primer lugar, se revisaron los fertilizantes utilizados con sus respectivos nutrientes (Tabla 9), así como los herbicidas y sus ingredientes activos (Tabla 11). Las variables obtenidas a partir de la caracterización fueron:

1. Número de nutrientes por finca: número total de nutrientes que ingresaron en cada finca (Tabla 10).
2. Número de aplicaciones de fertilizantes: número de aplicaciones de fertilizantes en cada finca (Tabla 10).
3. Cantidad de fertilizantes: kilogramos de fertilizante empleados por hectárea (Tabla 10).
4. Número de ingredientes activos de herbicidas: número total de ingredientes activos de los herbicidas utilizados en cada finca (Tabla 12).
5. Número de aplicaciones de herbicidas: número de controles de herbicidas en cada finca (Tabla 12).

Tabla 12. Ingredientes activos, aplicaciones y mezcla de herbicida en las nueve fincas y tres zonas de la Hoya del río Suárez (seca: fincas 1-3; semi-húmeda: fincas 4-6 y húmeda: fincas 7-9).

Finca	No. de Ingredientes activos de herbicidas	No. de aplicaciones de herbicidas	Mezcla de herbicida (l/ha)
1	3	2	900
2	3	2	1300
3	4	2	900
4	6	2	1100
5	2	2	900
6	5	2	900
7	4	2	900
8	3	3	900
9	3	3	900

Tabla 13. Variables de manejo obtenidas para el estudio de la intensidad agrícola en las nueve fincas y tres zonas de la Hoya del río Suárez (seca: fincas 1-3; semi-húmeda: fincas 4-6 y húmeda: fincas 7-9). NNF: Número de nutrientes por finca; NAF: Número de aplicaciones de fertilizantes; CF: cantidad de fertilizantes; NIAH: Número de ingredientes activos de herbicida; NAH: Número de aplicaciones de herbicidas; MH: Mezcla de herbicida promedio (l de solución).

Finca	NNF	NAF	CF (k/ha)	NIAH	NAH	MH (l/ha)	No. de larvas recolectadas	No. de larvas parasitadas
1 Arrayanales	12	2	1000	3	2	900	153	59
2 Mérida	12	2	1000	3	2	1300	162	63
3 La Esmeralda	10	2	600	4	2	900	122	53
4 Molinos el Hato	8	2	1250	6	2	1100	84	17
5 San Martín	8	1	1300	3	2	900	115	45
6 San Sebastián	10	2	750	4	2	900	251	69
7 Esperanza 1	4	1	1250	4	2	900	264	82
8 La Guayana	5	1	800	3	3	900	185	40
9 El Pino	10	1	750	3	3	900	243	61

Definición de las variables para la estimación del índice de intensidad agrícola

A partir de las seis variables de manejo obtenidas de la caracterización, es decir, el número de nutrientes por finca, número de aplicaciones de fertilizantes, cantidad de fertilizantes, número de ingredientes activos de herbicidas, número de aplicaciones de herbicidas, cantidad de mezcla de herbicida promedio se realizó un modelo de regresión Poisson (ecuación 3) para identificar las variables que se relacionan con la variable respuesta

(larvas parasitadas) y definir aquellas adecuadas para estimar el índice de intensidad agrícola. Para la selección del mejor modelo se emplearon los criterios de información Akaike y bayesiano (AIC y BIC) que reflejan el mejor ajuste.

$$Y = \exp(\beta_0 + \beta_1 X_i)$$

(3)

Al realizar el modelo de regresión de Poisson se encontró un problema de multicolinealidad que fue necesario corregir previamente a la decisión de las variables adecuadas para la estimación del índice. Esta falencia se identificó al realizar una prueba de factor de inflación de la varianza (VIF) que mostró valores mayores a diez, lo que traduce en que el aporte de algunas variables resulta redundante debido a que se presentó alta correlación entre ellas (Vega y Guzman, 2011). Para suprimir del modelo de regresión aquellas variables que presentaron altas correlaciones fue necesario realizar un análisis de correlaciones de Spearman con todo el conjunto de variables. Como resultado se obtuvo una alta correlación entre número de nutrientes por finca (NNF) y número de aplicaciones de fertilizantes (NAF) (Figura 9); en tanto el número de aplicaciones de fertilizantes está relacionado con la cantidad de aplicaciones mientras que el número de nutrientes por finca me explica otro aspecto del manejo como es la fertilización completa, se excluyó del análisis el número de aplicaciones de fertilizantes (NAF), corrigiendo de esta manera la multicolinealidad presente en el modelo de regresión Poisson. Estos análisis se realizaron empleando el paquete estadístico R versión 3.6.0.



Figura 9. Correlación de Spearman entre variables de manejo con respecto al número de larvas. NLarvas: Número de larvas; NNF: Número de nutrientes por finca; NAF: Número de aplicaciones de fertilizantes; CF: cantidad de fertilizantes (Kg/ha); NIAH: Número de

ingredientes activos de herbicida; NAH: Número de aplicaciones de herbicidas; MH: Mezcla de herbicida promedio (l de solución).

En seguida, se realizó una prueba de dispersión con el fin de identificar si la varianza era mayor que la media en el modelo propuesto

Número de Larvas parasitadas~ Número de nutrientes de fertilizantes (NNF) + cantidad de fertilizantes (CF) + número de ingredientes activos de herbicidas (NIAH) + número de aplicaciones de herbicidas (NAH) + Mezcla de herbicida promedio (MH)

Esta prueba evidenció problemas de sobredispersión ($p < 0.05$), subestimando de esta forma el nivel de dispersión del resultado y afectando los coeficientes estimados y su eficiencia. Para modelar esta falencia en los datos se usó una distribución Binomial Negativa con función de enlace Log, basada en un término de error (ϵ_{ij}) distribuido Gamma (Vives, 2002). Este método de análisis concuerda con Hilbe (2011), quien indica que este tipo de regresión es una de las alternativas más utilizadas al existir sobredispersión en los datos, especialmente, cuando se desconoce su causa exacta. Todos los anteriores análisis se realizaron empleando el paquete estadístico R versión 3.6.0 y SAS 9.4.

Estimación del índice de intensidad agrícola

Se calculó el índice de intensidad agrícola propuesto por Herzog *et al.*, (2006) que está representado en la ecuación (4)

$$I = \frac{\sum_i^n (y_i - y_{min})}{n (y_{max} - y_{min})} \times 100 \quad (4)$$

En donde I es el índice de intensidad agrícola para cada una de las fincas en una escala de 0-100, y_i es el valor de la variable en una observación, es decir cada uno de los datos obtenidos en una variable, y_{min} el mínimo valor de la variable en un conjunto de datos, y_{max} el máximo valor de la variable en un conjunto de datos y n es el número de variables de manejo empleadas en la estimación de la intensidad.

En primer lugar, se determinó el valor mínimo y máximo de cada variable, en seguida, se aplicó el numerador del índice con cada grupo de datos y el valor obtenido se dividió con el número total de variables de manejo, los cocientes de división se multiplicaron por 100 y como resultado se generó un valor de índice de intensidad para cada finca estudiada.

Relación entre la diversidad de parasitoides y la intensidad agrícola

Se realizaron regresiones de Poisson para relacionar las larvas y parasitoides en diferentes categorías en función del índice de intensidad. Se realizó la identificación de las larvas de

lepidópteros a partir de claves e ilustraciones disponibles en la literatura (Bustillo, 2013; Bleszynski, 1969; Parada *et al.*, 2007) así como con el apoyo de especialistas (Germán Vargas. Ph. D y Luz Adriana Lastra M. Sc Cenicaña).

En primer lugar, se relacionó el número total de larvas y el número de larvas afectadas por parasitismo con las prácticas de manejo. Posteriormente, se relacionó el número de larvas parasitadas por familia de controlador con el índice de intensidad, partiendo de que, salvo algunas excepciones, las familias Tachinidae y Braconidae pueden considerarse como generalistas y especialistas respectivamente y que estas condiciones podrían indicar que los taquínidos no enfrentan una presión por las prácticas del cultivo tan alta como los braconídeos. Finalmente, para explorar diferencias de hábitos, se relacionó el número de larvas parasitadas por *Billaea*, *Genea*, *Cotesia* y *Alabagrus* con el índice de intensidad. Las regresiones de Poisson fueron las adecuadas para este análisis pues según las indicaciones de Salinas-Rodríguez *et al.*, (2009) cuando se trabaja con variables que corresponden a conteos como en este caso el número total de larvas y el número de larvas afectadas por parasitismo, se emplean las regresiones de Poisson.

Con el fin de identificar el grado de asociación entre la biodiversidad general de parasitoides y el índice de intensidad agrícola, se realizó una correlación de Pearson entre los indicadores ecológicos de cada sitio de muestreo, mencionados en el capítulo dos, y el índice de intensidad agrícola. Los datos se analizaron usando el software estadístico R, versión 3.6.0.

3.2.2 Resultados y discusión

Definición de las variables para estimar el índice de intensidad agrícola

El modelo de regresión Binomial Negativa corrigió el problema de sobredispersión del modelo y mostró que las variables cantidad de fertilizantes (CF), número de ingredientes activos de herbicidas (NIAH) y número de aplicaciones de herbicidas (NAH) estuvieron relacionadas con la variable larvas parasitadas (Tabla 14). De esta manera, se seleccionaron tres variables para la construcción del índice de intensidad agrícola. Las otras variables fueron excluidas por razones de pertinencia o colinealidad descritas en la metodología.

Tabla 14. Regresión de las variables de manejo para la construcción del índice de intensidad agrícola.

Parámetros	Grados de libertad	Estimado	Error	Límites de confianza al 95% de Wald		Chi cuadrado de Wald	Valor Pr > Chi cuadrado
Intercepto	1	9,029	1,641	5,812	12,245	30,26	<.0001
CF	1	-0,001	0,001	-0,003	0	3,68	0,055
NAH	1	-0,994	0,416	-1,808	-0,179	5,72	0,017
NIAH	1	-0,246	0,157	-0,553	0,061	2,47	0,116

Estimación del índice de intensidad agrícola

De las nueve fincas, ocho están dedicadas a la producción de panela tradicional mientras que la finca 4 está constituida como empresa de producción y comercialización de endulzantes y bebidas a base de jugo de caña (tipo panela). Esta finca demanda una productividad alta que puede estar representada en un mayor empleo de prácticas de manejo, esto puede evidenciarse en la Tabla 15, en donde el valor de índice de intensidad fue el más alto, sobresaliendo la cantidad de fertilizante y el número de ingredientes activos de herbicida aplicados al cultivo.

Tres de las nueve fincas estuvieron por encima del promedio de cantidad de fertilizante reportada en la caracterización (966kg/ha), esta cantidad sobrepasa los requerimientos nutricionales para el cultivo de caña para panela propuestos por Muñoz (1995) que corresponden a un total de 480 kg/ha entre N, P₂O₅ y K₂O. Si bien estos nutrientes son básicos para el desarrollo normal del cultivo de caña y generalmente están en deficiencia en casi todas las regiones cañeras de Colombia cuyos suelos tienen una moderada a baja fertilidad natural, se deben planear acciones acertadas de fertilización (García *et al.*, 2007).

Entre los fertilizantes de uso común en las fincas de estudio se encontraron el KCl de 60%, DAP y Agrimins, Osorio (2007) afirma que el cultivo de la caña remueve anualmente cantidades elevadas de nutrientes del suelo que es necesario devolver por medio de fertilizaciones minerales. Antes de realizar estas prácticas es conveniente tener en cuenta la cantidad de nutrientes que requiere la caña, valor que depende de la variedad, el estado de fertilidad del suelo y la edad de la caña cuando se va a cosechar.

Por otra parte, de acuerdo con CIMPA (1992) las malezas ocasionan una disminución en el rendimiento del cultivo hasta del 60% debido a la competencia en la etapa de macollamiento, para su control, se emplean productos cuya aplicación no se realiza de una forma eficiente. Al respecto, la caracterización de este estudio mostró un mayor aporte de los ingredientes activos Diurón y Ácido 2,4-diclorofenoxiacético, seguido de Hexazinona y Alkil Aril Polieter Alcohol y en menor número Atrazina, Metsulfuron-metil, Ametrina, Aminopyralid, Piroclam y Polyether Polymhetylsiloxane – copolímero. La mayoría de estos ingredientes coinciden con los reportados por CIMPA (1992) y García *et al.*, (2007) para el

control de malezas en caña para panela y son empleados según la edad y clase de estas plantas, la preparación del suelo, época de aplicación, entre otros.

El mayor número de ingredientes activos de herbicidas se presentó en la finca cuatro mientras que en la mayoría de las fincas fue similar el número de herbicidas aplicados por litros de solución. Con relación al uso intensivo de herbicidas, Rincón y Malheiros (2013) señalan que el sector cañicultor ha incrementado la contaminación de suelos, aguas y la atmósfera, lo cual genera impactos que son transferidos a la sociedad y a los ecosistemas en su conjunto.

Los valores del índice de intensidad están dentro del intervalo de los reportados por Herzog *et al.*, (2006) quienes emplearon las siguientes variables de manejo: entrada de nitrógeno, densidad de unidades pecuarias y número de aplicaciones de plaguicidas. Luego estas variables fueron promediadas de acuerdo con la indicación de Herzog *et al.*, (2006) quienes propusieron el índice (ecuación 4), el cual integra las variables de manejo que se requieran evaluar y es independiente de los métodos empleados y de las variables.

Tabla 15. Índice de intensidad agrícola para las nueve fincas de caña para panela de Boyacá y Santander.

Finca	Cantidad de fertilizante (kg/ha)	Número de ingredientes activos de herbicida	Número de aplicaciones de herbicida	Índice de intensidad
1	1000	3	2	19
2	1000	3	2	19
3	600	4	2	11
4	1250	6	2	64
5	1300	3	2	33
6	750	4	2	18
7	1250	4	2	42
8	800	3	3	43
9	750	3	3	40

Relación entre la diversidad de parasitoides y la intensidad agrícola

Las larvas recolectadas pertenecían a los géneros *Diatraea* (78%), *Eoreuma* (6%), *Blastobasis* (3%), algunas de las larvas no se pudieron identificar (13%) pues tenían patógenos y estaban deformadas. Como resultado del seguimiento realizado a las larvas recolectadas en las fincas se encontraron los parasitoides de los géneros *Billaea* y *Genea* (Diptera: Tachinidae) y *Alabagrus* y *Cotesia* (Hymenoptera: Braconidae). De las moscas Tachinidae, el género más abundante fue *Billaea* (43 % de individuos) y en el caso de las avispas, *Cotesia* fue la más abundante con el 20% de presencia, estos porcentajes se

obtuvieron a partir del total de eventos de parasitoides encontrados en las larvas de tallo de caña (n=489).

No hubo relación entre la abundancia de larvas recolectadas y el índice de intensidad agrícola ($Z=-1,45$; $p=0,14$), pero si se presentó una relación negativa entre el incremento de las prácticas del cultivo y el número de larvas parasitadas ($Z=-3,91$; $p=0,009$) (Figura 10). Sin embargo, al estar asociado el número de larvas parasitadas con el número de larvas recolectadas ($r=0,76$; $p=0,0001$) se procedió a hacer un análisis lineal generalizado involucrando las tres variables, y se encontró que mientras el número de larvas recolectadas se asoció negativamente con la intensidad agrícola ($p=0,03$), el número de larvas parasitadas no presentó esta relación ($p=0,13$). Esta divergencia de resultados puede ser producto de la existencia de otros factores que afectan nuestras variables de interés o de la sumatoria de tendencias opuestas entre las distintas especies de parasitoides. Los modelos de regresión de Poisson mostraron los valores más bajos de los índices AIC y BIC, lo que significa que tuvieron el mejor ajuste con respecto a otras relaciones evaluadas (larvas recolectadas, AIC: 260,55, BIC: 260,95; larvas parasitadas, AIC: 99,30, BIC: 99,70).

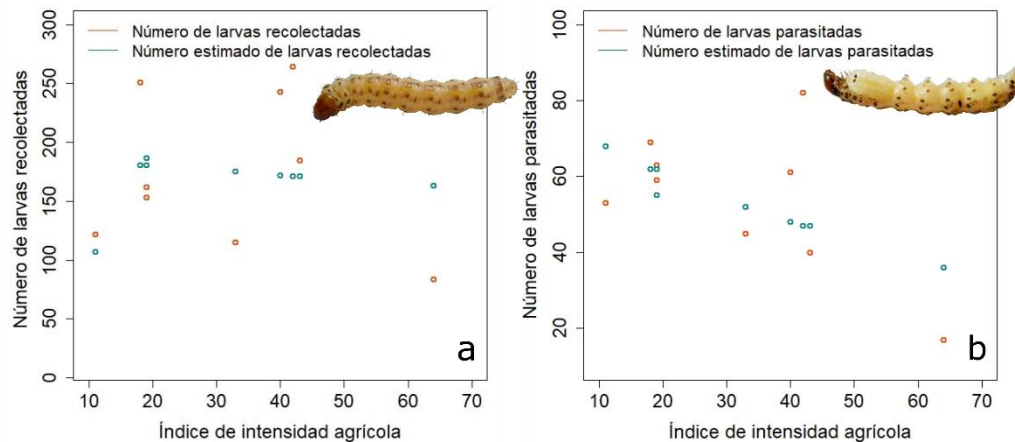


Figura 10. Relación entre el número total de larvas recolectadas y parasitadas y el índice de intensidad agrícola. **a)** Larvas recolectadas e índice de intensidad ($Z=-1,45$; $p=0,14$; AIC:260,55, BIC:260,95) **b)** Larvas parasitadas e índice de intensidad ($Z=-3,91$; $p=0,009$; AIC: 99,30, BIC:99,70).

Los modelos a nivel de familia mostraron que hubo una tendencia negativa aunque no significativa entre la abundancia de Braconidae y la intensidad agrícola ($Z=-1,83$; $p=0,06$), mientras que un incremento en el manejo del cultivo está asociado a una reducción del número de larvas parasitadas por moscas Tachinidae ($Z=-3,45$; $p=0,0005$) (Figura 11). Los modelos mostraron un buen ajuste, que se evidencia en los valores de los índices AIC y BIC, los cuales fueron los más bajos con relación a otras relaciones evaluadas (Braconidae, AIC: 106,94, BIC:107,33; Tachinidae, AIC: 73,10, BIC: 73,50).

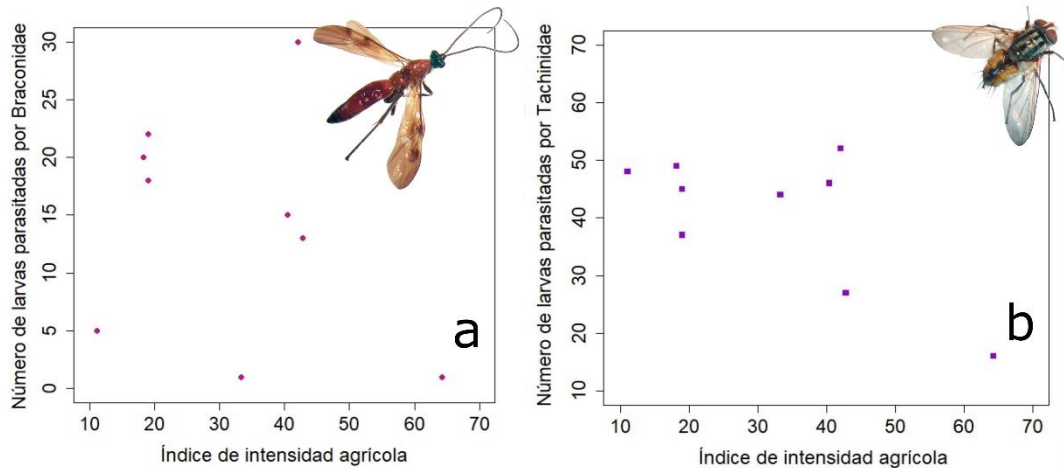


Figura 11. Relación entre número de larvas parasitadas e índice intensidad agrícola discriminando por taxones **a)** familia Braconidae ($Z=-1,83$; $p=0,06$; AIC:106,94, BIC:107,33) **b)** familia Tachinidae ($Z=-3,45$; $p=0,0005$; AIC:73,10, BIC:73,50).

Los himenópteros parasitoides a diferencia de las moscas Tachinidae tienden a ser altamente específicos en sus hospedantes (Stireman *et al.*, 2006), sin embargo, pueden presentarse excepciones como en el caso de *C. flavipes* que ataca diferentes géneros de barrenadores y en distintos hospedantes, el análisis sugirió una disminución no significativa del número de larvas parasitadas por la familia Braconidae en función de la intensidad agrícola, esto significa, que a nivel general las prácticas de manejo no afectan negativamente las poblaciones de los braconidos.

Por otra parte, a pesar de que Stireman *et al.*, (2006) afirman que las moscas Tachinidae atacan un amplio espectro de hospedantes y además pueden tener refugios adicionales al cultivo, los modelos sugieren que estos parasitoides experimentan una presión por las prácticas de manejo, por lo tanto, la premisa del generalismo para los taquínidos no siempre se cumple.

A nivel de géneros de parasitoides encontramos que *Alabagrus* no presentó una relación con la intensidad agrícola ($Z=1,79$; $p=0,07$), lo que indica que su abundancia puede estar más relacionada con la cantidad de hospedantes u otros factores. Para *Billaea* se observó un aumento en el número de larvas parasitadas así incrementa el manejo agronómico ($Z=3,95$; $p=0,0001$), lo que señala que las prácticas de manejo no afectan negativamente las poblaciones de este parasitoide. También se encontró que un aumento de las prácticas está asociado negativamente con el número de larvas parasitadas por *Cotesia* y *Genea* ($Z=-3,02$; $p=0,002$; $Z=-8,90$; $p=0,0001$ respectivamente) (Figura 12). El hallazgo para *Cotesia* y *Genea* indica que a pesar de que estos parasitoides se comportan como generalistas, sus poblaciones pueden verse afectadas por el incremento de las prácticas de manejo. Los modelos para los cuatro géneros de parasitoides mostraron un buen ajuste, que se evidencia en los valores de los índices AIC y BIC, los cuales fueron los más bajos

con respecto a otras relaciones evaluadas (*Alabagrus*, AIC: 55,89, BIC:56,29; *Billaea*, AIC: 124,25; BIC: 124,65; *Cotesia*, AIC: 109,08; BIC: 109,47 y *Genea*, AIC: 85,26; BIC:85,66).

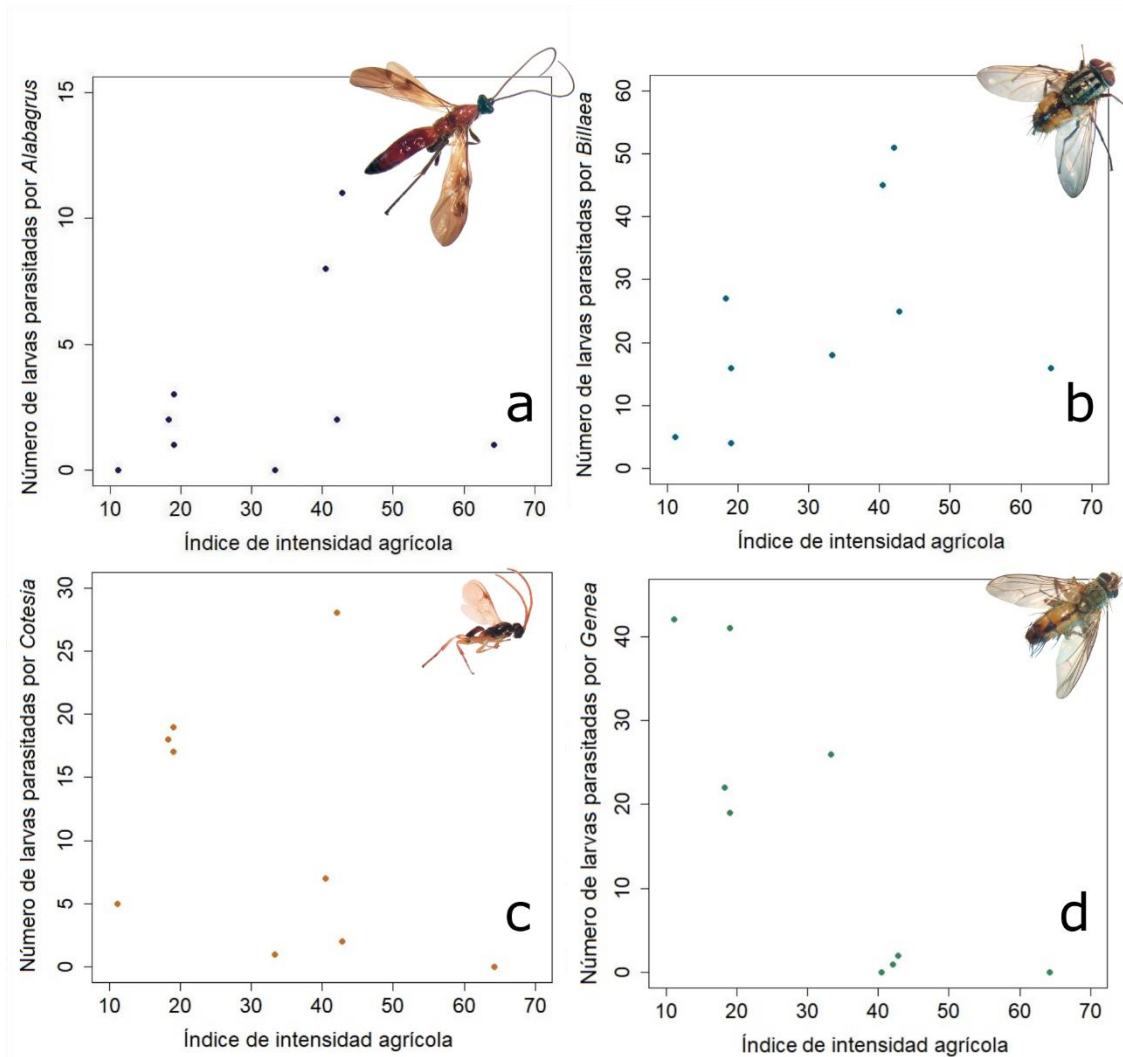


Figura 12. Relación entre el número de larvas parasitadas y el índice de intensidad agrícola discriminando por géneros de parasitoides. **a)** *Alabagrus* ($Z=-2,84$; $p=0,004$; AIC: 47,59, BIC:47,98) **b)** *Billaea* ($Z=-4,98$; $p=0,001$; AIC: 108,46, BIC: 108,85) **c)** *Cotesia* ($Z=-0,91$; $p=0,35$; AIC:118,17, BIC: 118,56) **d)** *Genea* ($Z=3,13$; $p=0,001$; AIC: 197,06, BIC: 197,46).

Con base en los hallazgos para los géneros de parasitoides, podemos notar que, con excepción de *Billaea*, la premisa de que los taquínidos generalistas no se verían afectados por las prácticas agrícolas mientras que los braconídeos especialistas si experimentarían una presión, no se cumple.

Respecto a las respuestas negativas encontradas en los modelos, Begón *et al.*, (2007) afirman que los herbicidas indirectamente promueven alteraciones fisiológicas en las plantas que en algunos casos influyen en la ecología y el comportamiento de los

atrópodos. *Cotesia* es uno de los controladores más abundantes, su parasitismo fue del 5,1% del 31% presentado por todos los controladores y parasitó en mayor porcentaje a las especies de *Diatraea* (98%), luego su disminución por las prácticas de manejo es inconveniente. Da Cruz *et al.*, (2014) señalaron que el contacto directo de las avispas de *C. flavipes* con hojas pulverizadas de herbicidas puede reducir su vida útil. En algunas fincas estudiadas se aplica una alta cantidad de solución de herbicida, por lo que se requieren mas investigaciones para las poblaciones de este controlador en la Hoya del río Suárez. En el caso de *Genea*, la reducción por el incremento de la intensidad agrícola constituye un resultado importante, más aún para la zona seca en donde este parasitoide fue más abundante. El ser polífago no lo excluye de presentar una afección por las prácticas del cultivo, lo que es desfavorable para el control biológico, debido a que esta mosca silvestre ejerce la tercera parte del parasitismo presentado por todos los controladores en las fincas, valor que lo posiciona como el segundo más importante después de *Billaea*.

Los indicadores ecológicos obtenidos para cada sitio de muestreo no mostraron asociación con el índice de intensidad (Tabla 16), lo que sugiere que los índices de diversidad de los parasitoides son independientes de la intensidad agrícola.

Tabla 16. Correlación de Pearson entre la intensidad agrícola e indicadores ecológicos de los parasitoides obtenidos en cada sitio de muestreo.

Índice	r	p
Abundancia absoluta	-0.578	0.102
Riqueza	-0.069	0.858
Simpson	-0.153	0.692
Shannon	-0.049	0.899

Los resultados de los modelos sugieren que el manejo que tienen actualmente los productores de caña para panela tiene incidencia reduciendo algunos enemigos naturales como *Cotesia* y *Genea*, mientras que *Billaea* aumenta así incrementen las prácticas de manejo y *Alabagrus* tiende a aumentar pero no de forma significativa, por lo tanto, los parasitoides no manifiestan una respuesta uniforme frente a la intensidad agrícola y las condiciones de cada finca. En la investigación realizada por Allan *et al.*, (2013) también encontraron respuestas heterogéneas de la diversidad de organismos frente a la intensidad del uso del suelo.

Nuestros datos sugieren que no podemos aseverar que la intensificación agrícola afecta a todas las especies de parasitoides de la misma manera. Esto indica que debe existir un balance en el cultivo en el que se realice un manejo adecuado para obtener la

productividad esperada, pero procurando no afectar las poblaciones de los enemigos naturales que ejercen una regulación que llega a una cifra tan alta como el 31% de larvas encontradas en el cultivo.

En las fincas estudiadas se realizan liberaciones ocasionales de *Trichogramma exiguum* y *Lydella minense* cuando Fedepanela y el ICA suministran los controladores a los productores. De acuerdo con Pereira (1996), *L. minense* tiene un desarrollo exitoso en el intervalo de 18 a 30°C y a pesar de que la Hoya del río Suárez se encuentra dentro de estos valores, no se encontraron especímenes de este parasitoide, lo que indica que hasta el momento no se ha establecido en la región.

La regulación ejercida por los enemigos naturales no se efectúa de manera independiente, por este motivo, es conveniente apoyar los factores que intervienen en la regulación procurando el acercamiento de las condiciones del agroecosistema a las de los sistemas naturales (Vázquez *et al.*, 2008). Teniendo en cuenta la importante cifra de parasitismo de los controladores y la influencia de las prácticas de manejo sobre algunos parasitoides es necesario implementar estrategias que puedan favorecer su conservación en los agroecosistemas de caña para panela. Dentro de las medidas fitosanitarias preventivas frente a *Diatraea* spp., plaga de control oficial, se encuentra el establecimiento de franjas de plantas con flores nectaríferas cercanas a los lotes de caña para favorecer el mantenimiento de los enemigos naturales liberados en programas de control biológico y de la fauna benéfica nativa de los agroecosistemas de caña (ICA, 2017; Vargas *et al.*, 2006).

Gran parte de los cultivos de caña para panela estudiados en la Hoya del río Suárez presentan franjas de plantas con flores nectaríferas que podrían estar participando en la conservación de la fauna benéfica. Al respecto, Agrosavia ha adelantado estudios sobre las especies de arvenses asociadas al cultivo de caña para panela cuya publicación está en proceso. La preservación de estas coberturas vegetales en las fincas puede ser una estrategia que beneficie a estos enemigos naturales, al proveer recursos de alimento y refugio (Landis *et al.*, 2000) y puede contribuir en la disminución del impacto de la agricultura sobre la biodiversidad local (Concepción *et al.*, 2008).

Inclán *et al.*, (2014) encontraron que la diversidad de los taquínidos depende de niveles mínimos de hábitats remanentes en el paisaje (10%), de aquí la importancia de mantener vegetación aledaña a los cultivos, más aún, considerando la disminución propuesta en los modelos para Tachinidae y en especial para *Genea* en función del índice de intensidad. En el centro y sur del Valle del Cauca *Genea* es un parasitoide abundante y de mayor impacto en el control biológico natural de *Diatraea*, por lo que se promueve su conservación en el agroecosistema de caña (Vargas *et al.*, 2015a). Esto motiva a recomendar a los agricultores de caña para panela que se haga un mejor uso de las prácticas acompañado de la conservación de las coberturas vegetales para que no decrezca el control biológico ejercido por los parasitoides.

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1 Conclusiones

En la presente investigación se determinaron taxonómicamente los parasitoides de barrenadores de caña para panela encontrando dos géneros y seis especies de la familia Braconidae y cuatro entidades de diferentes géneros de la familia Tachinidae. Se amplía en cinco el número de parasitoides conocidos en Colombia para las especies de barrenadores lepidópteros en caña de azúcar, tres de ellos son registros nuevos para la ciencia en los herbívoros del cultivo.

Se aprecian diferencias en la abundancia de algunas especies de parasitoides aparentemente relacionadas con el tipo de microclima, no obstante, los análisis estadísticos no permiten relacionar estas variables y la abundancia de parasitoides

Mientras que especies como *Billaea claripalpis* y *Cotesia flavipes* parecen seguir ciclos estacionales claros esto no se aprecia en *Genea jaynesi*

Los índices ecológicos no muestran características asociadas con la intensidad agrícola.

Las especies de parasitoides responden de manera diferencial a las intervenciones en el manejo del cultivo expresadas en el índice de intensidad agrícola.

Los parasitoides no manifiestan una respuesta uniforme frente a la intensidad agrícola y las condiciones de cada finca lo que implicaría desarrollar prácticas agronómicas más articuladas para que el agricultor obtenga una buena productividad y al mismo tiempo utilice estrategias que contribuyan en la conservación de los parasitoides los cuales en este momento están controlando el 31% de los barrenadores de tallo, una cifra muy importante en el manejo de estas plagas en la región.

El estudio sugiere la necesidad de implementar prácticas que favorezcan los parasitoides, especialmente a *G. jaynesi* dado su porcentaje de parasitismo sobre los barrenadores y su respuesta negativa al manejo agronómico. Una de estas prácticas podría ser la conservación de franjas de plantas nectaríferas para fomentar la permanencia de hábitats benéficos en el agroecosistema de caña para panela.

4.2 Recomendaciones

Realizar más caracterizaciones de la composición taxonómica de los parasitoides que se encuentran en los cultivos de caña para panela del país dada su importancia en la regulación de las poblaciones de barrenadores.

Es conveniente desarrollar investigaciones sobre el componente vegetal complementario al cultivo para fortalecer el conocimiento de las interacciones ecológicas que se establecen en estos agroecosistemas.

Es conveniente implementar estrategias para maximizar la conservación de los parasitoides en los programas de manejo que se establezcan para los barrenadores y desarrollar prácticas agronómicas más articuladas dada la importante cifra de su parasitismo en el cultivo, esto con el ánimo de generar un aumento de las poblaciones de organismos benéficos, reducir daños, obtener una buena productividad y así generar una conciencia de uso adecuado de las prácticas de manejo.

Bibliografía

Allan, E., Bosford, O., Dorman, C. Prati, D., Gossner, M., Tscharrntke, T., ... Fischer, M. (2013). Interannual variation in land-use intensity enhances grassland multidiversity. *Proc Natl Acad Sci USA*, 111(1): 308-313.

AGROSAVIA-Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. (2016). Rodríguez, G. Huertas. B. Informe técnico: Indicadores de impacto ambiental de la agroindustria panelera. Impactos ambientales potenciales en la producción de panela determinados mediante un enfoque de análisis de ciclo de vida. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. Bogotá, D.C.

Agronet. (2017). Producción y agronegocios. Producción nacional por producto: caña panelera. Recuperado de: https://www.agronet.gov.co/Documents/5-CA%C3%91A%20PANELERA_2017.pdf. (24 diciembre 2019).

Aya, V., Montoya-Lerma, J., Echeverri-Rubiano, C., Barrera, G., Vargas, G. (2017). *Cotesia flavipes* (Hymenoptera: Braconidae) as a Biological Control Agent of Sugarcane Stem Borers in Colombia's Cauca River Valley. *Florida Entomologist*, 100(4): 826-830.

Arnaud, P.H., JR. (1978). A host-parasite catalog of North American Tachinidae (Diptera). United States Department of Agriculture. Miscellaneous Publication 1319: 1–860.

Attwood, S.J., Maron, M., House, A.P.N., Zammit, C. (2008). Do arthropod assemblages display globally consistent responses to intensified agricultural land use and management? *Global Ecology and Biogeography*. 17, 585-599.

Badilla, F. (2002). Un programa exitoso de control biológico de insectos plaga de la caña de azúcar en Costa Rica. *Manejo Integrado de Plagas*, (64): 77-87.

Barrera G.P., Villamizar L.F., Espinel C., Quintero E.M., Belaich M.N., Toloza D.L. (2017). Identification of *Diatraea* spp. (Lepidoptera: Crambidae) based on cytochrome oxidase II. *PLoS ONE* 12 (9): e0184053.

Barreto-Triana, N., Insuasti-Burbano, O., Sarmiento-Naizaque, Z., Sandoval-Cáceres, Y., Osorio-Mejía, P., Romero- Barrera, Y., Barrera-Cubillos, G. (2017). Niveles de daño, especies de *Diatraea* spp. (Lepidoptera: Crambidae) y parasitismo natural en caña de azúcar para panela *Saccharum officinarum* en los departamentos de Boyacá y Santander, Colombia. X Congreso Nacional de entomología aplicada. XVI Jornadas científicas de la SEEA. Logroño, España, p 8.

- Bautista, D. (2019). Sinopsis taxonómica de las moscas parasitoides (Diptera: Tachinidae) de Colombia. Tesis para optar por el título de Magíster en Ciencias Agrarias, entomología. Bogotá, Colombia. 334 p.
- Begón, M.; Townsend, C.R.; HARPER, J.L. (2007). Ecología: de individuos a ecosistemas. 4. ed. Porto Alegre: Artmed. 740 p.
- Bennett, F.D. (1971) Current status of biological control of small moth borers of sugarcane *Diatraea* spp. (Lepidoptera: Pyralidae). *Entomophaga* 16:111–124.
- Benton, T.G., Vickery, J.A., Wilson, J.D. (2003). Farmland biodiversity: Is habitat heterogeneity the key? *Trends in Ecology & Evolution*. 18, 182–188.
- Billetter, R., Liira, J., Bailey, D., Bugter, R., Arens, P., Augenstein, I. (2008). Indicators for biodiversity in agricultural landscapes: Apan-European study. *Journal of Applied Ecology*. 45, 141–150.
- Bleszynski, S. (1969). The taxonomy of the Crambine moth borers of sugar cane In Williams JR, Metcalfe JR, Mungomery RW, Mathes R, editors. *Pests of Sugar Cane*. Amsterdam: Elsevier. P. 11–59.
- Bockstaller, C., Girardin, P., Van Der Werf, H.M.G. (1997). Use of agro-ecological indicators for the evaluation of farming systems. *European Journal of Agronomy*. 7, 261–270.
- Borges, R., Sturza, V., Bernardi, D., Da Cunha, U., Sene, A., Dos Angos, S., Nava, D. (2019). Population dynamics of pest and natural enemies on sugar cane grown in a subtropical region of Brazil. *Florida Entomologist*. 102(3) :526-530.
- Brown, B.V., Borkent, A., Cumming, J.M., Wood, D. M., Woodley, N.E., Zumbado, M.A. (2010). *Manual of Central American Diptera*. Volumen 2. NRC Research Press, Ottawa, Ontario Canadá, 728 p.
- Bustillo, A.E. (2009). Acciones para reducir las poblaciones de *Diatraea*. Carta Trimestral 3 y 4 de 2009. Cenicaña, Cali, Colombia.
- Bustillo, A.E. (2011). Parasitoides, depredadores y entomopatógenos que afectan las plagas de la caña de azúcar en Colombia. Centro de Investigación de la caña de azúcar en Colombia. Cenicaña. Cali, Colombia, 25 p.
- Bustillo, A.E. (2013). Insectos plaga y organismos benéficos del cultivo de la caña de azúcar en Colombia. Centro de investigación de la caña de azúcar en Colombia. Cali, Colombia. 164 p.

Campos, D. (2001). Lista de los Géneros de Avispas Parasitoides Braconidae (Hymenoptera: Ichneumonoidea) de la Región Neotropical. *Biota Colombiana* 2(3): 193-232.

Capinera, J.L. (2009). Sugarcane Borer - *Diatraea saccharalis* (Fabricius). Featured creatures. Entomology and Nematology Department, University of Florida. Recuperado de http://entnemdept.ufl.edu/creatures/field/sugarcane_borer.htm. (29 mayo 2020).

Castro, H. (1987). Delimitación y caracterización de áreas agroecológicas homogéneas en la cuenca media del Río Suárez. II Aptitud agropecuaria de la tierra en zonas homogéneas. *Revista ICA*, 22(3): 104-113.

Chiverton, P., Sotherton, N. (1991). The effects on beneficial arthropods of the exclusion of herbicides from cereal crops. *Journal of Applied Ecology*. 28, 1027-1039.

Cimpa. (1992). Manual de caña para panela. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). Gobierno de los países bajos. Gobierno ICA-Holanda de Investigación y Divulgación para el mejoramiento de la industria panelera. 174 p.

Concepción, E.D., Díaz, M., Baquero, R.A. (2008). Effects of landscape complexity on the ecological effectiveness of agri-environment schemes. *Landsc. Ecol.* 23, 135–148.

Conlong, D.E., Rutherford, S.R. (2009). Conventional and New Biological and Habitat Interventions for Integrated Pest Management Systems: Review and Case Studies using *Eldana saccharina* Walker (Lepidoptera: Pyralidae). 241-261. In Peshin, R.; Dhawan, A.K. (Eds). *Integrated Pest Management: Innovation-Development Process*, Vol.1. Ch. 10. Springer, Dordrecht, The Netherlands.

Crosskey, R. (1976). A taxonomic conspectus of the Tachinidae (Diptera) of the Oriental Region. *Bulletin of the British Museum (Natural History), Entomology Supplement* 26: 1-357.

Da Cruz, M., Silva, M., Monquero, P. (2014). Impacto de herbicidas utilizados en caña de azúcar sobre *Cotesia flavipes*. *Pesticidas: Revista de Ecotoxicología e Medio Ambiente*. 24, 53-60.

Díaz, A., Brochero, H. (2012). Parasitoides asociados al perforador del fruto de las solanáceas *Neoleucinodes elegantalis* (Lepidoptera: Crambidae) en Colombia. *Revista Colombiana de Entomología* 38(1): 50-57.

Frasser, A. (1975). Resistencia varietal a *Diatraea* sp. bajo infestación natural y artificial en maíz (*zea mays* L.). Tesis de grado. Ingeniero agrónomo. Universidad Nacional. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Palmira. 51 p. En: Estudios básicos sobre *Diatraea saccharalis* (F) y entomofauna asociada en caña panelera. Hermel F. Alarcon y Luis Eduardo Lindarte,

1978. Ingeniero agrónomo. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja, Boyacá.

Fuchs, T., Huffman, F., Smith, J. (1979). Introduction and establishment of *Apanteles flavipes* (Hymenoptera: Braconidae) on *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Pyralidae) in Texas. *Entomophaga* 24: 109-114.

García, B., Albarracín, L., Toscano, A., Santana, N., Insuasty, O. (2007). Guía tecnológica para el manejo integral del sistema productivo de la caña panelera. Produmedios. Corporación colombiana de investigación agropecuaria (Corpoica). Bogotá, Colombia. 150 p.

Gaudino S, Goia I, Borreani G, Tabacco E, Sacco D. (2014). Cropping system intensification grading using an agro-environmental indicator set in northern Italy. *Ecol. Indic.* 40:76-89.

Gaviria J. (1990). Biological control of sugarcane pests in Colombia, pp. 201-227 *En* Proceedings of the 1st Meeting of the Association of Sugarcane Producers and Technicians from Latin America and the Caribbean – Atalac, and 3rd.

Gaviria, J. D. (1998). Problemas entomológicos en caña azúcar en Colombia. *En* Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Cenicaña) (Ed.), *Caña: azúcar y panela con el mejor entorno ambiental. Homenaje 21 años de Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia - Cenicaña (1997-1998)* (pp. 43-64). Cali, Colombia: Cenicaña.

Geiger, F., Bengtsson, J., Berendse, F., Weisser, W., Emmerson, M., Morales, M., ...Inchausti, P. (2010). Persistent negative effects of pesticides on biodiversity and biological control potential on European farmland. *Basic and Applied Ecology.* 11:97-105.

Gentry, G. (2003). Multiple parasitoid visitors to the extrafloral nectaries of *Solanum adherens*. Is *S. adherens* an insectary plant?. *Basic and Applied Ecology.* 4, 405-411.

Gifford, JR, Mann, GA. (1967). Biology, rearing and a trial release of *Apanteles flavipes* in the Florida Everglades to control sugarcane borer. *Journal of Economic Entomology* 60: 44-47.

Gómez, L.A., Díaz A.E, Lastra L.A. (1996). Survey of the *Trichogramma* species associated with sugarcane in Colombia. *Revista Colombiana de Entomología* 22: 1-5.

Guevara, N., Sáenz, A. (2011). Parasitoides (Hymenoptera) asociados a cobertura vegetales de sistemas productivos en el eje cafetero colombiano. *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa (SEA)* 8: 359-365.

Guimaraes, JH. (1977). A revision of the Genus *Paratheresia* Townsend (Diptera: Tachinidae, Theresiini). *Papéis Avulsos de Zoologia* 30(18): 267-288.

Hall, D.G., Nuessly, G.S., Gilbert, R.A. (2007). The Sugarcane Borer in Florida. University of Florida, Gainesville, Florida, USA.

Hendrickx, F., Maelfait, J., Wingerden, W., Schweiger, O., Speelmans, M., Aviron, S. (2007). How landscape structure, land-use intensity and habitat diversity affect components of total arthropod diversity in agricultural landscapes. *Journal of Applied Ecology*, 1, 1–2.

Hensley, S. Hammond, A. (1968). Laboratory techniques for rearing the sugar cane borer on an artificial diet. *Journal of Economic Entomology*. 61, 1742-1743.

Herzog, F., Steiner, B., Bailey, D., Baudry, J., Billeter, R., Bukáček, R.,... Bugter, R. (2006). Assessing the intensity of temperate European agriculture at the landscape scale. *European Journal of Agronomy* 24 (2006), 165-181.

Herting, B. (1984). Catalogue of Palaearctic Tachinidae (Diptera). *Stuttgarter Beiträge zur Naturkunde Serie A (Biologie)* 369: 1 -228.

Hilbe, J. (2011) *Negative Binomial Regression*. Segunda Edición, Cambridge University Press, Cambridge.

Holzschuh, A., Steffan- Dewenter, I., Tschirntke, T. (2010). How do landscape composition and configuration, organic farming and fallow strips affect the diversity of bees, wasps and their parasitoids?. *Journal of Animal Ecology* 79(2): 491-500.

Hummelen. P.J. (1974). Relations between two rice borers in Surinam, *Rupela albinella* (Cr) and *Diatraea saccharalis* (F.), and their hymenopterous larval parasites. *Mededelingen landbouwhogeschool, Wageningen* 74(1): 1-88.

ICA - Instituto Colombiano Agropecuario. (2014). Resolución 004347 del 17 diciembre de 2014. "Por medio de la cual se declara el Estado de Emergencia Fitosanitaria en los departamentos de Boyacá y Santander por las altas incidencias de los barrenadores del tallo (*Diatraea* spp.) y la hormiga loca (*Nylanderia fulva*) en los cultivos de caña panelera (*Saccharum officinarum*)". 5 p.

ICA- Instituto Colombiano Agropecuario. (2017). Resolución N° 00017848 del 20 de diciembre de 2017. "Por medio de la cual se establecen medidas fitosanitarias en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum* spp. L.) en el territorio nacional para la vigilancia y control de las especies barrenadoras del tallo del género *Diatraea* Guilding". 10 p.

Inclán, D., Cerretti, P., Martini, L. (2014). Interactive effects of area and connectivity on the diversity of tachinid parasitoids in highly fragmented landscapes. *Landscape ecology*. 29: 879-889.

Jepson PC, Guzy M, Blaustein K, Sow M, Sarr M, Mineau P, Kegley S. (2014). Measuring pesticide ecological and health risks in West African agriculture to establish an enabling

environment for sustainable intensification. *Philos. Trans. Royal Soc. B Biol. Sci.* 369:20130491.

Jiménez, M., Molina, I., Mejía, J., Ramírez, M., Ramírez, G., Vargas, G. (2018). Mantenimiento de arvenses de hoja ancha en los callejones del cultivo de caña de azúcar contribuye a una mayor actividad de la mosca benéfica *Genea jaynesi* sobre los barrenadores del tallo *Diatraea* spp. En memorias XI Congreso de la Asociación Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar – TECNICAÑA Y XI Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Latinoamérica y el Caribe – ATALAC. CALI, 26 – 28 de septiembre de 2018. P. 148-159.

Jost, L. (2006). Entropy and diversity. *Oikos* 113:363–375.

Joyce, CH. (2001). The sensitivity of a species-rich flood meadow plant community to fertilizer nitrogen: the Luznice river floodplain, Czech Republic. *Plant Ecology*, 155, 47–60.

Kimani-Njogu, S., Overholt, W. (1997). Biosystematics of the *Cotesia flavipes* species complex (Hymenoptera: Braconidae) Parasitoids of the gramineous stemborers. *International Journal of Tropical Insect Science* 17(1): 119-130.

Landis, D.A., Wratten, S.D., Gurr, G.M. (2000). Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annu. Rev. Entomol.* 45, 175–201.

Lasalle, J., Gauld, I.D. (1991). Parasitic Hymenoptera and the biodiversity crisis. *Redia* 74: 315–334.

Legendre, P., Legendre, L., (1998). *Numerical Ecology*. Elsevier, Amsterdam. LEI, 2004. Statistieken. Landbouw Economisch Instituut, Wageningen, www.lei.dlo.nl/.

Leathers, J., Sharkey, M. (2003). Taxonomy and life history of Costa Rican *Alabagrus* (Hymenoptera: Braconidae), with a key to world species. *Contributions in science. Natural History Museum of Los Angeles County. Los Angeles, California. Estados Unidos.* 497: 1-82.

Leyton-Flor, S., Gordillo, M., Gonzalez, P., Ospina, J., Vargas, G. (2018). Distribución espacio-temporal de *Diatraea* spp. (Lepidoptera: Crambidae) en el Valle del río Cauca, Colombia. *Revista Colombiana de Entomología* 44(2): 177-186.

López, J. (2015). Manejo agronómico del cultivo de la caña de azúcar para panela en Antioquia. Bogotá (Colombia): Corporación Colombiana de investigación agropecuaria (Corpoica). 100 p.

López, J. (2019). En tres años el precio de la panela cayó mas de 40% y llegó a \$1.662 por kilo. En: *Agronegocios*. Recuperado de: <https://www.agronegocios.co/agricultura/en-tres-anos-el-precio-de-la-panela-cayo-mas-de-40-y-llego-a-1662-por-kilo-2880943> (19 mayo 2020).

- Mangeaud, Arnaldo., Videla, Martin. (2005). En busca de la independencia perdida: la utilización de Modelos Lineales Generalizados Mixtos en pruebas de preferencia; Asociación Argentina de Ecología; Ecología Austral; 15(2): 199-206.
- Manrique, R., Insuasty, O., Mora, C., Rodríguez, G., Blanco, R., Mejía, L., Pinto, J., Sandoval, G. (2000). Manual de caña de azúcar para la producción de panela. Capítulo II: La panela en Colombia: Un análisis de la cadena agroindustrial. Barbosa, Santander.
- Martínez, F., Franceschini, M., Poi, A. (2013). Preferencia alimentaria de *Neochetina eichhorniae* (Coleoptera: Curculionidae) en plantas acuáticas de diferente valor nutritive. Revista Colombiana de Entomología 39(1): 81-87.
- Matson, P.A., Parton, W.J., Power, A.G., Swift, M.J. (1997). Agricultural Intensification and Ecosystem Properties. Science, 277, 504-509.
- Meagher, JR, R.L., Smith, J.W., Browning, H.W., Saldana, R.R. (1998). Sugarcane Stemborers and their parasites in southern Texas. Environ. Entomol. 27(3): 759-766.
- Meneses-R, O., Armbrrecht, I. (2018). Índice de intensificación agrícola y conservación vegetal en bosques y cafetales colombianos con diferentes estrategias de manejo. Caldasia. 40(1): 161-176.
- MINAGRICULTURA. (2019). Noticias MINAGRICULTURA. Recuperado de: <https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/Desde-hoy-MinAgricultura-pone-en-marcha-campa%C3%B1a-de-promoci%C3%B3n-al-consumo-de-panela-para-apoyar-el-trabajo-de-350-mil-familia.aspx> (19 de mayo de 2020).
- Mitchell, G., May, A., Mcdonald, A. (1995). PICABUE: a methodological framework for the development of indicators of sustainable development. International Journal of Sustainable Development & World Ecology, 2, 104–123.
- Moreau, J., Villemant, C., Benrey, B., Thiéry, D. (2010). Species Diversity of larval parasitoids of the European grapevine moth *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae): The influence of region and cultivar. *Biological control* 54 (2010): 300-306.
- Moreby, S., Aebischer, N., Southway, S., Sotherton, N. (1994). A comparison of the flora and arthropod fauna of organically and conventionally grown winter wheat in southern England. *Annals of Applied Biology*, 125, 13-27.
- Moreno, C. E. (2001). Métodos para medir la biodiversidad. M&T–Manuales y Tesis SEA, vol. 1. Zaragoza, 84 pp.
- Muesebeck, C.F.W., L.M. Walkley. (1951). Hymenoptera of America north of Mexico. Synoptic catalog. "Family Braconidae" pp. 90–184 Eds. C.F.W. Muesebeck, K.V. Krombein and H.K. Townes. *Agriculture Monographs* 2(1): 1–305.

- Muirhead, K. A., Murphy, N. P., Sallam, M. N., Donnellan, S. C., Austin, A. D. (2006). Mitochondrial DNA phylogeography of the *Cotesia flavipes* complex of parasitic wasps (Hymenoptera: Braconidae). *Annales de la Société entomologique de France*, 42(3-4): 309-318.
- Muirhead, K., Austin, A., Sallam, M. (2008). The systematics and biology of *Cotesia nonagriæ* (Olf) stat. rev. (Hymenoptera: Braconidae: Microgastrinae), a newly recognized member of the *Cotesia flavipes* complex. *Zootaxa* 1846: 35–46.
- Muirhead, K., Murphy, N., Sallam, N., Donnellan, S., Austin, A. (2012). Phylogenetics and genetic diversity of the *Cotesia flavipes* complex of parasitoid wasps (Hymenoptera: Braconidae), biological control agents of lepidopteran stemborers. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 63: 904–914.
- Muñoz, R. (1995). Caña Panelera. En R. Guerrero Riascos, *Fertilización de cultivos medio*. Bogotá: Monómeros Colombo Venezolanos S.A. 104-111.
- Mutamiswa, R., Moeng, EVA., Le Ru, B., Colong, D., Aseffa, Y. (2017). Diversity and abundance of lepidopteran stem borer natural enemies in natural and cultivated habitats in Botswana. *Biological control*, 115(2017): 1-11.
- Nunez, E., Couri, M. (2011). Revision of Neotropical *Genea Rondani* (Diptera: Tachinidae: Tachininae, Leskiini). *Papéis Avulsos de Zoologia*. Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo. 51(31): 481-497.
- O'Hara, J.E. (1983). Classification, phylogeny and zoogeography of the North American species of *Siphona Meigen* (Diptera: Tachinidae). *Quaestiones Entomologicae* 18(1982): 261–380.
- O'Hara, J. D.M. Wood. (2004). Catalogue of the Tachinidae (Diptera) of America North of México. *Memoirs on Entomology, International* 18: 1-410.
- O'Hara, J., Henderson, S. (2018). World genera of the Tachinidae (Diptera) and their regional occurrence. Version 10.0. PDF document, 89 pp. Available from: http://www.nadsdiptera.org/Tach/WorldTachs/Genera/Gentach_ver10.pdf (5 Jun 2020).
- O'Hara, J., Henderson, S., Wood, D. (2019). Preliminary checklist of the Tachinidae of the world. Version 1.0. PDF document, 681 pages. Available at: <http://www.nadsdiptera.org/Tach/WorldTachs/Checklist/Worldchecklist.html> (5 Jun 2020).
- O'Hara, J.E., Henderson, S.J. & Wood, D.M. (2020). Preliminary checklist of the Tachinidae of the world. Version 2.1. PDF document, 1039 pages. Available at: http://www.nadsdiptera.org/Tach/WorldTachs/Checklist/Tachchlist_ver2.1.pdf (15 Ago 2020).

Osorio. (2007). Manual Buenas Prácticas agrícolas-BPA-y Buenas prácticas de manufactura-BPM- en la producción de caña y panela. Medellín, Colombia, 199 p.

Osorio., P. (2018). Preferencia de *Cotesia flavipes* (Hymenoptera: Braconidae) sobre barrenadores *Diatraea* spp. (Lepidoptera: Crambidae) de caña para panela. Tesis para optar por el título de Magíster en Ciencias Agrarias-Entomología. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. 65 p.

Parada, S, Ebratt, E. (2007). Diferenciación de especies *Diatraea* spp. que afectan los cultivos de caña en la región del Gualiva. Mosquera. Colombia.

Parra, J., Machado P., DE Sene, A. (2010). Biological control of pests and a key component for sustainable sugarcane production, pp 441- 450 In Barbosa LA [ed.], Sugarcane Bioethanol R&D for Productivity and Sustainability. Blucher Brazilian Science and Technology, Sao Paulo, Brazil.

Pereira, C. (1996). Tiempo de desarrollo y temperatura de desarrollo cero del parasitoide *Lydella minense* (Diptera Tachinidae). Revista del Decanato de Agronomía, UCLA, (8): 70-76.

Pimentel, D., Edwards, C.A. (1982). Pesticides and Ecosystems. Bioscience 32, 595-600.

Pinto, J. L. (1990). Valoración de daño por *Diatraea* spp en caña panelera. Programa Nacional Caña Panelera. ICA. Cimpa, Barbosa - Santander.

Pla, L. (2006). Biodiversidad: inferencia basada en el índice de shannon y la riqueza Interciencia, 31(8): 583-590.

Posada, L.M., García, F.M. (1976). Lista de depredadores, parásitos y patógenos de insectos registrados en Colombia. Instituto Colombiano Agropecuario ICA. Boletín Técnico N° 41. 90 p.

Pretty, J. (2017). Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence. Philosophical Transactions of the Royal Society B (2008) 363: 447- 465.

R Core Team (2020) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Versión 3.6.3. <http://www.R-project.org/>. (11 agosto 2020).

Rincón, M., Malheiros, T. (2013). Pasivos ambientales en la agroindustria de la caña de azúcar y el etanol en Colombia. Revista Brasileira De Ciências Ambientais (Online), (29), 17-32. Recuperado de: http://rbciamb.com.br/index.php/Publicacoes_RBCIAMB/article/view/275.

Rivera, L. (2019). Franjas de vegetación natural dentro del paisaje cañero como estrategia para aumentar servicios ecológicos. Tesis para optar por el título de doctor en ciencias. Universidad del Valle. Cali, Colombia. 183 p.

Ruiz-Martinez, I., Marraccini, E., Debolini, M., Bonari, E. (2015). Indicators of agricultural intensity and intensification: a review of the literature. *Italian Journal of Agronomy*. 10 (656), 74-84.

Salazar, J., Oviedo, R., Sáenz, C. (2003). Descripción, manejo y control del barrenador común del tallo de la caña de azúcar en Costa Rica. San José: Dirección de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar. Recuperado de: <http://servicios.laica.co.cr/laica-cv-biblioteca/index.php/Library/download/VZUpbweAmMCCWbjWFsGmXaAGXxBdzCKd> (19 mayo 2020).

Salinas-Rodriguez, A., Manrique, B., SosA-Rubí, S. (2009). Análisis estadístico para datos de conteo: aplicaciones para el uso de los servicios de salud. *Salud pública de México*. 51(5): 397-406.

Sánchez, R., Forero, C. (2016). Modelo productivo manejo agronómico de la caña de azúcar y producción agroindustrial de panela en la Hoya del río Suárez. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-Agrosavia. Mosquera, Colombia. 139 p.

Sandoval-Cáceres, Y., Osorio, P.A., Sarmiento-Naizaque, Z., Barreto-Triana, N. (2016). Biología del complejo de barrenadores del género *Diatraea* spp (Lepidoptera: Crambidae) en dieta artificial. Resúmenes, Congreso Colombiano de Entomología. 43, Congreso SOCOLEN. Sociedad Colombiana de Entomología - SOCOLEN. Medellín, Colombia.

Sandoval-Cáceres, Y., Vergara-Navarro, E., Landry, B., Perilla-López, J., Barreto-Triana, N. (2016). First record of *Myelobia smerintha* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae: Crambinae) in sugarcane in Colombia. *Journal of Agricultural and Urban Entomology*, 33(1):105-110.

Sarmiento-Naizaque, Z., Osorio-Mejía, P., Sandoval-Cáceres, Y., Insuasty, O.; Romero, Y., Barreto-Triana, N. (2017). Parasitoides de *Diatraea* spp. (Lepidoptera: Crambidae) en caña para panela en Boyacá y Santander. *Memorias y Resúmenes 44 Congreso Socolen: Entomología de impacto Solución de problemas integrando metodologías*. 479 p.

Sendoya-Corrales, C., Bustillo-Pardey, A. (2016). Enemigos naturales de *Stenoma cecropia* (Lepidoptera: Elachistidae) en palma de aceite, en el suroccidente de Colombia. *Revista Colombiana de Entomología* 42(2): 146-154.

Sharkey, M. (1988). A taxonomic revision of *Alabagrus* (Hymenoptera: Braconidae). *Bulletin of The British Museum (Natural History) Entomology* 57: 311-437. <http://biostor.org/reference/113932>.

Shenefelt, R.D. (1970). *Hymenopteroum Catalogus*. Braconidae 3. Agathidinae. *Pars* 6: 306–428.

Shiar, A.J. (2000). Agricultural intensity and its measurement in frontier regions. *Agroforestry systems*. 49: 301-318.

Shiar, A.J. (2005). Determinants of agricultural intensity index “scores” in a frontier region: an analysis of data from northern Guatemala. *Agric. Human Val.* 22: 395-410.

Singh, D., Singh, R., Tripathi. (2016). Effect of host density on life table statistics of *Bracon hebetor* Say, 1836 (Hymenoptera: Braconidae). *Journal Tropical Zoology* 29(1): 1-8.

Smith, L., Belloti, AC. (1996). Successful biocontrol projects with emphasis on the Neotropics *In Proceedings of the Cornell Community Conference on Biological Control*. Ithaca, New York, USA, 11-13 Apr 1996. Recuperado de: <http://web.entomology.cornell.edu/shelton/cornell-biocontrol-conf/talks/bellotti.html> (5 Jul 2020).

Solis, M.A.; Metz, M.A.; Scheffer, S.J.; Lewis, M. L.; Kula, R. R.; Springer, T. L. (2015). A New Cryptic Species of *Diatraea* (Lepidoptera: Crambidae: Crambinae) Feeding on Eastern Gama Grass and a Novel Host Association with a Braconid (Hymenoptera) in the United States. *Annals of the Entomological Society of America*. 108(4): 648-659.

Solis, M.A., Metz, M.A. (2016). An illustrated guide to the identification of the known species of *Diatraea* Guilding (Lepidoptera, Crambidae, Crambinae) based on genitalia. *ZooKeys* 565: 73–121.

Solis, M.A., Osorio-Mejía, P., Sarmiento-Naizaque, Z., Barreto-Triana, N. (2020). A new species of *Eoreuma* Ely (Pyraloidea: Crambidae: Crambinae) feeding of sugarcane from Colombia. *Proceedings of the Entomological Society of Washington*. 122(2): 471-481.

Snapp SS, Gentry LE, Harwood R. (2010). Management intensity – not biodiversity - the driver of ecosystem services in a long-term row crop experiment. *Agric. Ecosyst. Environ.* 138:242-8.

Stireman, J., O'hara, J., Wood, D. (2006). Tachinidae: Evolution, Behavior, and Ecology. *Annual Review Entomology*. 51: 525-555.

Thanavendan, G., AND S. Jeyarani. (2009). Biointensive management of okra fruit borers using braconid parasitoids (Braconidae: Hymenoptera). *Tropical Agric. Res.*, 21: 39-50.

Tscharntke, T., Klein, A.M., Kruess, A., Steffan-Dewenter, I., Thies, C. (2005). Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity–Ecosystem service management. *Ecology Letters*. 8, 857–874.

Triplehorn, C., Johnson, N. (2005). *Borrór y DeLong's Introduction to the study of insects*. 7ª edición. Thomson, Brooks/Cole. 864p.

- Turner, B.L., Doolittle, W. (1978). The concept and measure of agricultural intensity. *The Professional Geographer* (39): 297-301.
- Vanzolini, S., Pinto, A., Jendiroba, E., Martins, J. (2006). *Atualização da produção de cana de açúcar*. Piracicaba: CP 2. 415 p.
- Vargas, G.; Gómez, L. (2005). Evaluación del daño causado por *Diatraea* spp. en caña de azúcar y su manejo en el Valle del Río Cauca, Cenicaña. *Serie Divulgativa N°9 2005*. 8p.
- Vargas, G. A., Obando, V., Gómez, L. A. (2006). *Jaynesleskia jaynesi*: otra alternativa para el manejo de *Diatraea* spp. *Carta Trimestral del Cenicaña*, 28(2): 3-5.
- Vargas G., Gómez, L. A., Michaud, J. P. (2015a). Sugarcane stem borers of the Colombian Cauca River Valley: pest status, biology and control. *Florida Entomologist* 98(2): 728-735.
- Vargas, G. (2015b). Retos y oportunidades en el manejo de los barrenadores del tallo, *Diatraea* spp. Cenicaña, *Serie Divulgativa No. 17*, 6 p. Disponible en: [http://www.cenicana.org/pdf/serie divulgativa/sd_17/sd_17.pdf](http://www.cenicana.org/pdf/serie%20divulgativa/sd_17/sd_17.pdf). (8 julio 2020).
- Vargas, G., Lastra, LA., Ramírez, GD., Solis MA. (2017). The *Diatraea* complex (Lepidoptera: Crambidae) in Colombia's Cauca River Valley: Making a case for the geographically localized approach. *Neotropical entomology. Pest Management*. 8 p.
- Vargas, G. (2018) Uso de parasitoides en el control biológico de insectos plaga en Colombia. En COTES, A. (2018). *Control biológico de fitopatógenos, insectos y ácaros*. Agrosavia. Volumen 1: Agentes de control biológico. Mosquera, Colombia. 568 p.
- Vargas, G. (2019). Avances en el manejo de los barrenadores del tallo de la caña de azúcar, *Diatraea* spp. en Colombia. XVI Congreso Internacional de Manejo Integrado de Plagas, MIP: Innovación, prosperidad y sostenibilidad. Guatemala. Recuperado de: http://www.agromip.com.gt/ponencias%20/2019/Salon%20/Miercoles%203/2.16.GVargas.MIP2019_web.pdf (15 julio 2020).
- Vázquez, L., Matienzo, Y., Veitía, MARLENE., SIMONETTI, J. (2008). Conservación y manejo de enemigos naturales de insectos fitófagos en los sistemas agrícolas de Cuba. CIDISAV. Ciudad de la Habana. 198 p.
- Vega, J., & Guzman, J. (2011). Regresion PLS y PCA Como Solución al Problema de Multicolinealidad en Regresion Multiple. *Revista De Matemática: Teoría Y Aplicaciones*, 18(1), 9-20. < <https://doi.org/10.15517/rmta.v18i1.2111> > (24 abril 2019).
- Vickery, J.A., Tallowin, J.R., Feber, R.E., Asteraki, E.J., Atkinson, P.W., Fuller, R.J., Brown, V.K. (2001). The management of lowland neutral grasslands in Britain: effects of agricultural practices on birds and their food resources. *Journal of Applied Ecology*. 38, 647–664.

Villareal, H., Álvarez, M., Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., Mendoza, H., Ospina, M., Umaña, A.M. (2004). Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Programa de Inventarios de Biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humbolt, Bogotá, Colombia. 236 p.

Vives, J. (2002). El Diagnóstico de la sobredispersión en modelos de análisis de datos de Recuento. Bellaterra: Universidad Autónoma de Barcelona, 2002. Tesis doctoral - Universidad Autónoma de Barcelona, Facultad de Psicología, Departamento de Psicobiología y Metodología de las Ciencias de la Salud. <<https://ddd.uab.cat/record/38050>> (24 de abril 2019).

Weibull, A.C., Bengtsson, J., Nohlgren, E. (2000). Diversity of butterflies in the agricultural landscape: The role of farming system and landscape heterogeneity. *Ecography*. 23, 743–750.

Weir, E.H., Contreras, W., Gil De Weir, K. (2007) Biological control of *Diatraea* spp. (Lep.: Pyralidae) in sugarcane crops in central Venezuela. *Int J Trop Biol Conserv* 55:655–658.

Wharton, R. (1993). Bionomics of the Braconidae. *Annual Review of Entomology*. 38:121-143.

White, W., Reagan, T., Mith, J., Salazar, J. (2004). Refuge releases of *Cotesia flavipes* (Hymenoptera: Braconidae) into the Louisiana sugarcane ecosystem. *Environmental Entomology* 33: 627–632.

Wilson, J.D., Evans, J., Browne, S.J., King, J.R. (1997). Territory distribution and breeding success of skylarks, *Alauda arvensis* on organic and intensive farmland in southern England. *Journal of Applied Ecology*. 34: 1462– 1478.

Zhang W, Li H, Sun D, Zhou L. (2012). A statistical assessment of the impact of agricultural land use intensity on regional surface water quality at multiple scales. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 9:4170-86.

Zhao, Z., Liu, J., He, D., Guan, X., Liu, W. (2013). Species composition and diversity of parasitoids and hyperparasitoids in different wheat agro-farming systems. *Journal of Insect Science*: 13 (162):1-8.