

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROALIMENTARIAS
ESCUELA DE AGRONOMÍA

Efecto de cinco métodos de control de arvenses en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.)
sobre la diversidad y abundancia de las familias Formicidae, Braconidae y Eulophidae
(Hymenoptera: Insecta), en Finca La Hilda, Poás de Alajuela

GEINER ALEXANDER PICADO REDONDO

TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
AGRÓNOMO CON EL GRADO DE LICENCIADO EN AGRONOMÍA

2023


Efecto de cinco métodos de control de arvenses en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.)
sobre la diversidad y abundancia de las familias Formicidae, Braconidae y Eulophidae
(Hymenoptera: Insecta), en Finca La Hilda, Poás de Alajuela

GEINER ALEXANDER PICADO REDONDO

**TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
AGRÓNOMO CON EL GRADO DE LICENCIADO EN AGRONOMÍA**


Manuel Antonio Solís Vargas Ph.D.

DIRECTOR DE TESIS


Franklin Herrera Murillo Ph.D.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL


Javier Adolfo Vargas Alvarado Lic.


MIEMBRO DEL TRIBUNAL


Pamela Murillo Rojas, Ph.D.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL


Marieluz Ramírez Sánchez Ph.D.

DIRECTOR DE ESCUELA


Geiner Alexander Picado Redondo

SUSTENTANTE

Dedicatoria

Dedico este Trabajo Final de Gradación a:

mi abuela Trinidad

mi abuelo Gerardo

mi mamá Marlene

mi papá Juan Carlos

mis hermanas Alicia y Karla,

mis sobrinos Gabriel y Aaron; y mi sobrina Jimena

la señorita Alexandra Rojas Barquero y su familia

mis amigos y amigas.

todas a las personas que me apoyaron en este camino.

Agradecimientos

A mi comité asesor conformado por:

Manuel Antonio Solís Vargas

Franklin Herrera Murillo

Javier Adolfo Vargas Alvarado

Pamela Murillo Rojas

Al señor Mariano Vargas Chinchilla por permitirme realizar el estudio en Finca La Hilda.

A la señorita Kimberly Ureña Ureña por el apoyo en las giras y muestreos.

Al señor Humberto Lezama Ulate

A la Escuela de Agronomía de la Universidad de Costa Rica y al personal administrativo.

Al Museo de Insectos del Centro de Investigación en Protección de Cultivos (CIPROC).

Al Instituto del Café de Costa Rica (ICAFE).

Índice

1. Resumen	1
2. Introducción	2
3. Objetivos	3
3.1. Objetivo general.....	3
3.2. Objetivos específicos	3
4. Revisión de literatura	3
4.1. Reportes sobre especies depredadoras y parasitoides de las familias Formicidae, Braconidae y Eulophidae en cafetales de Costa Rica	3
4.2. Efecto de las arvenses sobre las poblaciones de himenópteros	5
4.3. Manejo de arvenses y su impacto sobre las poblaciones de insectos benéficos	5
5. Metodología	7
5.1. Localización.....	7
5.2. Procedimiento general	8
5.3. Determinación del tamaño de la muestra.....	8
5.3.1. Tamaño de la unidad muestral.....	9
5.3.2. Esquema de muestreo	9
5.3.3. Variables por evaluar.....	10
5.3.4. Recolección de insectos.....	10
5.3.5. Preservación de las muestras recolectadas	10
5.3.6. Identificación taxonómica y conteo de individuos.....	10
5.3.7. Muestreo e identificación de arvenses.....	11
5.4. Análisis estadístico de los datos.....	11
6. Resultados	13
6.1. Abundancia de las familias Formicidae, Braconidae y Eulophidae en cinco lotes tratados con métodos de control de arvenses	13

6.2.	Rarefacción y extrapolación con los números de Hill $q=0$, $q=1$ y $q=2$ para las familias Formicidae, Braconidae y Eulophidae en cinco lotes tratados con métodos de control de arvenses.....	16
6.3.	Índices de diversidad para las familias Formicidae, Braconidae y Eulophidae en cinco lotes tratados con métodos de control de arvenses.....	18
6.4.	Abundancia para el conjunto de arvenses en cinco lotes tratados con métodos de control de arvenses.....	19
6.5.	Rarefacción y extrapolación con los números de Hill $q=0$, $q=1$ y $q=2$ para el conjunto de arvenses en cinco lotes tratados con métodos de control de arvenses	22
6.6.	Índices de diversidad para el conjunto de arvenses en cinco lotes tratados con métodos de control de arvenses	24
6.7.	Relación entre cinco lotes tratados con métodos de control de arvenses, los insectos de las familias Formicidae, Braconidae y Eulophidae; y las especies de arvenses	25
7.	Discusión.....	28
7.1.	Abundancia de las familias Formicidae, Braconidae y Eulophidae en cinco lotes tratados con métodos de control de arvenses.....	28
7.2.	Rarefacción y extrapolación con los números de Hill $q=0$, $q=1$ y $q=2$ e índices de diversidad para las familias Formicidae, Braconidae y Eulophidae en cinco lotes tratados con métodos de control de arvenses	28
7.3.	Abundancia para el conjunto de arvenses en cinco lotes tratados con métodos de control de arvenses.....	30
7.4.	Rarefacción y extrapolación con los números de Hill $q=0$, $q=1$ y $q=2$ e índices de diversidad para el conjunto de arvenses en cinco lotes tratados con métodos de control de arvenses.....	31
7.5.	Relación entre cinco lotes tratados con métodos de control de arvenses, los insectos de las familias Formicidae, Braconidae y Eulophidae; y las especies de arvenses	32
8.	Conclusiones	33
9.	Recomendaciones.....	34

10.	Anexos.....	35
11.	Referencias bibliográficas	37

Índice de cuadros

Cuadro 1. Descripción de los métodos de control de arvenses aplicados en cinco lotes sembrados de café en finca La Hilda, Poás de Alajuela durante el año 2021.	8
Cuadro 2. Fórmulas y descripción de los índices de diversidad alfa y beta utilizados en el estudio.....	12
Cuadro 3. Subfamilias, géneros, número de individuos y abundancia relativa de insectos de la familia Formicidae recolectados en finca La Hilda, Poás, Alajuela durante la época lluviosa en el 2021.	14
Cuadro 4. Subfamilias, géneros, número de individuos y abundancia relativa de insectos de la familia Braconidae recolectados en finca La Hilda, Poás, Alajuela durante la época lluviosa en el 2021.	15
Cuadro 5. Subfamilias, géneros, número de individuos y abundancia relativa de insectos de la familia Eulophidae recolectados en finca La Hilda, Poás, Alajuela durante la época lluviosa en el 2021.	16
Cuadro 6. Índices de diversidad para los insectos de las familias Formicidae, Braconidae y Eulophidae en cinco lotes tratados con diferentes métodos de control de arvenses, recolectados en Finca La Hilda Poás de Alajuela durante el 2021.....	19
Cuadro 7. Índice de similitud de Jaccard para los insectos de las familias Formicidae, Braconidae y Eulophidae en cinco lotes tratados con diferentes métodos de control de arvenses, recolectados en Finca La Hilda Poás de Alajuela durante el 2021.	19
Cuadro 8. Familia, número total de especies, cobertura promedio (%) y frecuencia de arvenses en cinco lotes tratados con métodos de control de arvenses, muestreadas en Finca La Hilda Poás de Alajuela durante la época lluviosa en el 2021.....	21
Cuadro 9. Índices de diversidad para el conjunto de arvenses en cinco lotes tratados con diferentes métodos de control de arvenses, muestreadas en Finca La Hilda Poás de Alajuela durante el 2021.	24

Cuadro 10. Índice de similitud de Jaccard para el conjunto de arvenses identificadas, entre cinco lotes tratados con diferentes métodos de control de arvenses, muestreadas en Finca La Hilda Poás de Alajuela durante el 2021..... 25

Índice de figuras

Figura 1. Dimensiones y localización de los sitios de muestreo en un lote. **A.** Área del transecto y localización de los puntos de muestreo de arvenses (c). **B.** Ubicación de los transectos de muestreo de insectos en el lote: a) golpes de red entomológica y b) trampa Malaise. 9

Figura 2. Comparación de la rarefacción y la extrapolación basada en el tamaño de la muestra, con un tamaño de muestra base de 300 individuos de la diversidad de insectos de las familias Formicidae, Braconidae y Eulophidae para los números de Hill de orden $q=0$ (A), $q=1$ (B) y $q=2$ (C), en cinco lotes sometidos a diferentes métodos de control de arvenses, en Finca La Hilda Poás de Alajuela durante el 2021. **CBr** = Cobertura *Brachiaria ruziziensis*. **Gl** = Uso del herbicida Glifosato. **Ch** = Control físico con chapeas. **GS** = Uso de los herbicidas Glufosinato de amonio y Saflufenacil. **GSb** = Uso de los herbicidas Glufosinato de amonio y Saflufenacil en la banda de fertilización y chapea en entrecalle. 17

Figura 3. Comparación de la rarefacción y extrapolación basada en el tamaño de la muestra, con una muestra base de 50 unidades muestrales de la diversidad de especies de arvenses para el número de Hill de orden $q=0$ (A), $q=1$ (B) y $q=2$ (C) en cinco lotes sometidos a diferentes métodos de control de arvenses, en Finca La Hilda Poás de Alajuela durante el 2021. **CBr** = Cobertura *Brachiaria ruziziensis*. **Gl** = Uso del herbicida Glifosato. **Ch** = Control físico con chapeas. **GS** = Uso de los herbicidas Glufosinato de amonio y Saflufenacil. **GSb** = Uso de los herbicidas Glufosinato de amonio y Saflufenacil en la banda de fertilización y chapea en entrecalle. 23

Figura 4. Análisis de correlación de Pearson entre las arvenses más frecuentes y los insectos de mayor abundancia, muestreados en cinco lotes tratados con diferentes métodos de control de arvenses en Finca La Hilda Poás de Alajuela durante el 2021. Los círculos indican el nivel de correlación, cuanto más grande sea el círculo mayor es la correlación. El color azul refleja correlaciones positivas y el color rojo correlaciones negativas..... 26

Figura 5. Análisis de correspondencia entre las arvenses más frecuentes y los insectos de mayor abundancia, muestreados en cinco lotes tratados con diferentes métodos de control de

arvenses en Finca La Hilda Poás de Alajuela durante el 2021. La dimensión 1 (Dim1) y 2 (Dim2) son variables latentes construidas por la combinación de los datos y en conjunto explican la mayor parte (%) de la varianza de los datos. **CBr** = Cobertura *Brachiaria ruziziensis*. **GI** = Uso del herbicida Glifosato. **Ch** = Control físico con chapeas. **GS** = Uso de los herbicidas Glufosinato de amonio y Saflufenacil. **GSb** = Uso de los herbicidas Glufosinato de amonio y Saflufenacil en la banda de fertilización y chapea en entrecalle. 27

1. Resumen

El manejo integrado de las arvenses en el entorno cafetalero tiene un impacto sobre las poblaciones de insectos. Una vegetación variada en el campo disminuye la incidencia de plagas, al brindar refugio y otras fuentes de alimentación a sus enemigos naturales, favoreciendo su diversidad y abundancia. De acuerdo con lo anterior, se evaluó el efecto de cinco métodos de control de arvenses en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) sobre la diversidad y abundancia de las familias Formicidae, Braconidae y Eulophidae (Hymenoptera: Insecta), en Finca La Hilda, Poás de Alajuela. Se realizaron tres muestreos de insectos y arvenses entre los meses de setiembre y noviembre del 2021. Se identificaron y contaron los insectos de las familias mencionadas, además, de las arvenses asociadas al cultivo y su respectivo porcentaje de cobertura. Se registró un total de 609 individuos, 26 géneros de las familias Formicidae y Braconidae; y tres subfamilias de la familia Eulophidae. La familia Formicidae (82%) presentó mayor abundancia, seguida de Braconidae (14%) y Eulophidae (4%). Se obtuvo mayor diversidad de insectos en los sitios chapeados (Lote Ch y GSb). Se obtuvo un total de 40 especies de arvenses de 19 familias en los lotes estudiados. De manera similar, los lotes chapeados (Ch y GSb) presentaron mayor diversidad de arvenses. Se presentaron asociaciones entre el lote con cobertura de *Brachiaria ruziziensis* (CBr) y el género *Pheidole*; el lote tratado con glifosato (Gl), la especie *Solenopsis geminata* y la arvense *Iresine diffusa*; y los braconidos se relacionaron principalmente con arvenses de la familia Asteraceae. Con este trabajo se pudo visualizar las implicaciones del manejo de arvenses en la diversidad de insectos estudiados. Esto puede ayudar a elegir opciones que mantengan o aumenten su diversidad, por tanto, el control biológico de plagas por conservación en el cultivo de café.

2. Introducción

La diversidad y abundancia de insectos del orden Hymenoptera son muy importantes para el entorno cafetalero, ya que dentro de este grupo se encuentran un amplio número de especies de abejas polinizadoras, avispa parasitoides y depredadoras (Kerrich, 1969; Singh, 2005; Ngo et al., 2013; Banks et al., 2014; Androcioli et al., 2018; Gil-Tapetado et al., 2020); así como hormigas depredadoras, las cuales son los principales enemigos naturales de la broca del café (*Hypothenemus hampei* Ferrari) (Barbera et al., 2002; Varón et al., 2004; Vélez et al., 2009; Velasco et al., 2010; Morris & Perfecto, 2016).

Los insectos depredadores y parasitoides, al igual que otros insectos, interactúan con las plantas aledañas al cultivo de café, estas les brindan refugio, alimento, sitios de anidación y presas alternativas (Mollër et al., 2021). Por esto, una vegetación variada en el campo disminuye la incidencia de plagas, ya que favorece la diversidad y abundancia de sus enemigos naturales (Norris & Kogan, 2000; Leite et al., 2020). Por ejemplo, la presencia de las arvenses como *Ageratum conyzoides*, *Synedrela nodiflora* y *Arachis pintoii*, han contribuido al incremento de las poblaciones de himenópteros parasitoides y depredadores de la broca del café (Daniati et al., 2018).

Sin embargo, estas interacciones pueden ser afectadas por las condiciones de manejo del cultivo. Por ejemplo, el control de arvenses con herbicidas, frecuente en el cultivo de café (Anzalone & Silva, 2010), constituye un peligro eco-tóxico para plantas no objetivo, plagas insectiles e insectos benéficos (depredadores, polinizadores y parasitoides). Específicamente, en insectos benéficos se pueden presentar consecuencias letales y subletales como: reducción de la población, la sobrevivencia, la fecundidad, el tiempo de desarrollo y biomasa, además, de posible mortalidad en los primeros estadios larvales (Sharma et al., 2018).

De diferente manera, el control físico de arvenses ayuda a mantener la cobertura nativa, brindando mayores oportunidades de sobrevivencia, refugio y alimentación para los insectos benéficos (Mollër et al., 2021). Mientras que, el control de arvenses con coberturas vivas contribuye con el aumento de relaciones tróficas benéficas para el cultivo, principalmente, el parasitoidismo y la depredación (Bado, 2014).

Por lo expuesto anteriormente, se considera importante estudiar el efecto de diferentes métodos de control de arvenses en el cultivo de café sobre la diversidad y abundancia de los insectos benéficos.

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

Comparar el efecto de cinco métodos de control de arvenses en el cultivo de café sobre la diversidad y abundancia de himenópteros parasitoides y depredadores de las familias Formicidae, Braconidae y Eulophidae, durante la época lluviosa en Finca La Hilda, Poás de Alajuela.

3.2. Objetivos específicos

1. Identificar morfológicamente, al menor nivel taxonómico posible, himenópteros de las familias Formicidae, Braconidae y Eulophidae, obtenidos en los cinco lotes sometidos a métodos de control de arvenses.
2. Identificar morfológicamente, al menor nivel taxonómico posible, las arvenses obtenidas en los muestreos realizados en los cinco lotes sometidos a métodos de control de arvenses.
3. Correlacionar la diversidad y abundancia de depredadores y parasitoides de las familias Formicidae, Braconidae y Eulophidae, respecto a las arvenses y los cinco métodos de control utilizados.

4. Revisión de literatura

4.1. Importancia económica del cultivo de café

El café es un cultivo agrícola de gran importancia a nivel global, constituye la base económica de más de 20 millones de agricultores y sus familias (Morris & Perfecto, 2016). Representa una de las principales entradas de divisas para países en desarrollo. Se cultivan aproximadamente 11 millones de hectáreas alrededor del mundo, de las cuales el 34% se encuentran en América Latina (Ngo et al., 2013), en países como Brasil, Colombia, Ecuador, Perú, Costa Rica, Honduras, Guatemala, El Salvador y México (Carvalho et al., 2019).

En Costa Rica, las exportaciones de café oro durante el 2021 fueron de \$ 328 044 000 millones, lo que representó el 5,8% de las exportaciones agropecuarias del país, superadas solo por los cultivos de banano y piña. Esto representó un aumento en las exportaciones de café oro de 0,8% con respecto al año 2020 (Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria, [SEPSA], 2022). Además, los ingresos generados por las exportaciones de café en el periodo 2020-2021 constituyeron el 2,3% de los ingresos recibidos por las

exportaciones de los principales macrosectores del país (Instituto del Café de Costa Rica [ICAFFE], 2021, p. 23).

4.2. Reportes sobre especies depredadoras y parasitoides de las familias Formicidae, Braconidae y Eulophidae en cafetales de Costa Rica

Hymenoptera representa uno de los cuatro órdenes con mayor número de especies de insectos, se reportan alrededor de 150 000 especies descritas (Nastasi et al., 2023), y se estima que en Costa Rica existen alrededor de 20 000 especies de diversas familias dentro de este grupo (Hanson & Gauld, 1995; Gaston et al., 1996). En agroecosistemas cafetaleros de Costa Rica se ha registrado diversidad de himenópteros, además de los servicios ecosistémicos que brindan estos insectos.

Por ejemplo, en sistemas agroforestales de café contrastantes ubicados en el catón de Turrialba, fueron recolectados 244 215 individuos de formícidos correspondientes a 19 especies de hormigas. Las especies encontradas fueron *Azteca* sp., *Brachymirmex* sp., *Camponotus* sp., *Cardiocondyla* sp., *Crematogaster curvispinosa*, *Ectatomma gibbum*, *Forelius* sp., *Gnamptogenis striatula*, *Monomorium florícola*, *Odontomachus chelifer*, *Pachycondyla obscuricornis*, *Pheidole cocciphaga*, *P. radoszkowskii*, *P. simonsi*, *Rogeria tonduzi*, *Solenopsis geminata*, *S. picea*, *Tapinoma paratrachina* y *Wasmannia auropunctata*. Las que presentaron mayor abundancia fueron *S. geminata* (89%), *P. radoszkowskii* (7%), *P. cocciphaga* (3%), *T. paratrachina* (0,5%) y *W. auropunctata* (0,5%) (Barbera et al., 2002). Así mismo, en Tarrazú durante la estación lluviosa, se reportó diversidad de avispa parasitoides (Ichneumonidae, Braconidae) y de abejas polinizadoras sin aguijón (Meliponini), favorecida por la presencia de parches de bosque dentro de los cafetales (Banks et al., 2014). Mientras que, en arvenses acompañantes de cafetales del catón de Poás, se encontró una diversidad de 23 familias del orden Hymenoptera, 151 individuos de la familia Formicidae, 63 de Braconidae y 63 de Eulophidae (Vargas, 2020).

Respecto a servicios ecosistémicos como la depredación, en Heredia se encontró que las especies *S. geminata*, *P. radoszkowskii* y *C. torosa* ejercieron depredación sobre la broca del café (*Hypothenemus hampei*) (Varón et al., 2004). En cuanto al parasitoidismo, en varios cafetales del país fueron liberadas 50 millones de *Phymastichus coffea* (LaSalle) (Hymenoptera: Eulophidae) y *Prorops nasuta* (Waterston) (Hymenoptera: Bethyilidae) avispa parasitoides de la broca del café (Borbón, 2005). En otro caso de la zona de Poás, el

bracónido *Diachasmimorpha longicaudata* Ashmead (Opiinae) parasitoide de la mosca de la fruta (*Ceratitis capitata*), fue recolectado emergiendo de frutos de café (Vargas, 2020).

4.3. Efecto de las arvenses sobre las poblaciones de himenópteros

La diversidad de arvenses en el cultivo repercute de manera importante en la ecología de los insectos, así, los depredadores y parasitoides incrementan su efectividad al encontrar diversidad de presas, refugio y lugares de reproducción (Blanco & Leyv, 2007). Es importante reconocer las interacciones entre los elementos del agroecosistema, ya que esto permite efectuar un manejo del entorno en favor de los agentes benéficos (p. ej. insectos depredadores y parasitoides) y disminuir la influencia de los agentes perjudiciales (p. ej. insectos fitófagos, arvenses) (Bado, 2014).

La relevancia de conocer estas interacciones se ha registrado en estudios como el realizado por Daniati et al. (2018), en el que se evaluó el efecto de las arvenses en las poblaciones de parasitoides y depredadores de la broca del café (*H. hampei*). Los autores encontraron que la presencia de las arvenses *Ageratum conyzoides*, *Synedrela nodiflora* y *Arachis pintoi*, incrementaron las poblaciones de himenópteros parasitoides (Bethyridae, Braconidae, Eulopidae, Eupelmidae, Ichneumonidae, Mymaridae, Scelionidae) y depredadores (Formicidae) de la broca del café, lo que demostró que la presencia de estas arvenses en plantaciones de café mantuvo las poblaciones de estos insectos.

Asimismo, en la finca cafetalera la Hilda ubicada en Poás de Alajuela, se observó la presencia de enemigos naturales de la broca (*H. hampei*) principalmente en arvenses de la familia Poaceae, las cuales hospedaron un mayor número de insectos. Aquí se encontró que las familias de insectos Braconidae, Eulophidae y Formicidae estuvieron asociadas a las arvenses *Bidens pilosa*, *Melampodium perfoliatum*, *Melanthera aspera* y *Sida rhombifolia* (Vargas, 2020).

4.4. Manejo de arvenses y su impacto sobre las poblaciones de insectos benéficos

El manejo intensivo empleado en los monocultivos contribuye a los aumentos poblacionales de las plagas insectiles. Por ejemplo, en el monocultivo de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacquin), el incremento de poblaciones de insectos fitófagos se ha relacionado con la eliminación de la vegetación donde se refugian sus enemigos naturales (Mexzón, 1997). Por esto, es fundamental entender que el manejo de arvenses no implica

eliminar totalmente estas plantas del campo, sino más bien disminuir sus poblaciones a un valor en el que el daño económico sea mínimo (Blanco & Leyv, 2007).

El uso de herbicidas acarrea consecuencias letales y subletales para los insectos. El uso de ellos puede repercutir en la fecundidad como un efecto subletal que disminuye la abundancia de insectos depredadores, polinizadores y parasitoides en los agroecosistemas (Sharma et al., 2018). Sobre esto, Lacoume et al. (2009), investigaron los efectos del herbicida paraquat sobre la fertilidad del parasitoide *Anisopteromalus calandrae* (Hymenoptera: Pteromalidae). En la investigación se encontró que probablemente el herbicida redujo la cantidad de esperma en los machos de *A. calandrae*, así, inseminando menor cantidad de hembras (hipofertilidad). Por otro lado, la selectividad de los herbicidas glifosato + imazetapir, 2,4-D y paraquat sobre el parasitoide *Telenomus remus* (Nixon) (Hymenoptera: Scelionidae), reveló que los dos primeros fueron inofensivos. Mientras que, el paraquat disminuyó el porcentaje de parasitismo de 93,6% en el primer día, a 100% en el segundo día (Carmo et al., 2010).

De diferente forma, en el cultivo de arroz se encontró que el herbicida saflufenacil no afectó el número de huevos parasitados de *Anagasta kuehniella* (Zeller) (Lepidoptera: Pyralidae) y *Euschistus heros* (Fabricius) (Hemiptera: Pentatomidae) por hembras de *Telenomus podisi* (Ashmead) (Hymenoptera: Platygasteridae) y *Trichogramma pretiosum* (Riley) (Hymenoptera: Trichogrammatidae). Además, este herbicida (saflufenacil) no tuvo efecto sobre las poblaciones de estos parasitoides (*T. podisi* y *T. pretiosum*) (Pazini et al., 2016). Análogamente, en estadios inmaduros de la avispa parasitoide *T. pretiosum*, se encontró que el herbicida glufosinato de amonio no causó una disminución del número de parasitoides que emergieron de los huevos, sin embargo, presentó efectos negativos moderados (Khan & Ruberson, 2017).

El uso de coberturas vivas como estrategia en el manejo de arvenses es utilizado con frecuencia en entornos agrícolas, además, esta estrategia contribuye en preservar la diversidad de insectos benéficos como depredadores y parasitoides. Por ejemplo, se han utilizado franjas de gramíneas (Poaceae) y leguminosas (Fabaceae) como cobertura, para incrementar el número de carábidos depredadores en los cultivos de maíz y soya (Landis et al., 2005). Asimismo, en plantaciones de cerezo se determinó que el porcentaje del parasitoidismo de *Trichogramma minutum* R. (Hymenoptera: Trichogrammatidae) sobre

Caliroa cerasi L. (Hymenoptera: Tenthredinidae), pasó de un 19% a un 49% al incorporar franjas florales, frutales y la cobertura nativa al cultivo. Además, se detectaron insectos depredadores en los sitios donde se conservó la cobertura nativa (Bado, 2014).

El control de arvenses con chapeas tiende a disminuir la diversidad de plantas melíferas, de recuperación lenta; mientras que promueve que plantas más competitivas como las gramíneas se establezcan con mayor rapidez en el campo (Mexzón, 1997; Mexzón & Chinchilla, 2003). Al disminuir la flora melífera las poblaciones de depredadores y parasitoides se reducen y se da un incremento de los insectos perjudiciales para el cultivo (Mexzón & Chinchilla, 2003). Por ejemplo, en viñedos del Mediterráneo se evaluó el efecto del manejo de la cobertura nativa con poda mecánica y el uso de un herbicida. Se encontró que el 83% de los insectos y el 73% de los parasitoides recolectados estuvo en la cobertura. Los parasitoides fueron más abundantes en los lotes con cobertura que en los aplicados con herbicida, además, se encontraron principalmente en el follaje de la cobertura nativa (Mollèr et al., 2021).

5. Metodología

5.1. Localización

El trabajo se realizó en finca La Hilda, situada en el distrito de San Pedro, cantón de Poás, provincia de Alajuela (N 10°5'23.80", O 84°14'2.06"), a una elevación de 1 250 m. s.n.m. La precipitación anual promedio es de 2 600 mm, con una época lluviosa que va desde mayo a noviembre y la época seca de diciembre a abril. La humedad relativa anual oscila entre 70% a 80%, mientras que la temperatura promedio anual ronda entre los 21°C a 27°C (Comité Sectorial Agropecuario de la Región Central Occidental [CSARCO], 2018, p. 8). Los suelos de la zona pertenecen al orden Andisoles (Mata et al., 2013).

Se trabajó en cinco lotes establecidos a inicios del 2020 con un área por lote aproximada de 1 800 m², sembrados con la variedad de café T8656 (Catimor) con un año y medio de edad aproximadamente, a un eje con distancias de 3.5 m entre hileras y 0.6 m entre plantas, para una densidad de 4 762 plantas/ha. En cada lote se implementó un método diferente para el control de arvenses (Cuadro 1).

Cuadro 1. Descripción de los métodos de control de arvenses aplicados en cinco lotes sembrados de café en finca La Hilda, Poás de Alajuela durante el año 2021.

Lote	Métodos de control	Descripción	Momento de control
CBr	Coberturas vivas	Uso de <i>Brachiaria ruziziensis</i> .	Chapea: cobertura entre 30 a 35 cm de altura.
Gl	Glifosato	Aplicación de glifosato (2 L/ha) 3 o 4 veces al año según se requiera.	Aplicación: arvenses con ~20 cm de altura.
Ch	Control físico con chapeas	Manejo de la cobertura nativa con solo chapeas.	Chapea: ~30 cm de altura.
GS	Glufosinato de amonio + saflufenacil	Aplicación de Basta 15 SL (2 L/ha) + Heat 70 WG (50 g/ha) 3 o 4 veces al año según se requiera.	Aplicación: arvenses con ~20 cm de altura.
GSb	Glufosinato de amonio + saflufenacil + chapeas	Control químico con mezcla de Basta 15 SL (1 L/ha) + Heat 70 WG (50 g/ha) en la banda de fertilización y control físico con chapeas entrecalle.	Aplicación: en la banda de fertilización. Chapea: arvenses altas (1 m o más).

5.2. Procedimiento general

Se realizaron tres muestreos de insectos y arvenses durante la época lluviosa, entre los meses de setiembre y noviembre del 2021. Los muestreos se realizaron aproximadamente dos semanas después de la aplicación de los métodos de control de arvenses en los lotes. Se identificaron y contaron los insectos de las familias Formicidae, Braconidae y Eulophidae, así como las arvenses acompañantes del cultivo de café y se midió su porcentaje de cobertura.

5.3. Determinación del tamaño de la muestra

Para determinar el tamaño de muestra se utilizó la ecuación 1 (Daniel & Cross, 2018).

$$N = \frac{Z^2_{\alpha/2} p(1-p)}{D^2} \quad (1)$$

Donde:

$Z_{\alpha/2}$ = nivel de confianza en una distribución normal al 97,5 % ($\alpha=0,05$) = 1,96.

p = probabilidad de éxito (encontrar insectos en un punto de muestreo) = 0,5.

$(1-p)$ = probabilidad de fracaso (no encontrar insectos en un punto de muestreo) = 0,5.

D = precisión (error máximo admisible en términos de proporción) = 0,25.

N = tamaño de la muestra = 15,3664 \approx 15

El tamaño total de la muestra según la fórmula aplicada fue de 15 unidades muestrales divididas en 5 lotes, lo que da como resultado 3 unidades muestrales (transectos) por lote.

5.3.1. Tamaño de la unidad muestral

La captura de insectos con red de barrido se realizó en tres transectos por lote, cada uno del área de un rectángulo de 21 m² (1 m ancho x 21 m largo) (Figura 1A). Se utilizó una trampa *Malaise* por lote (Figura 1B). Mientras que el muestreo de arvenses se efectuó en tres puntos por transecto (a los 0 m, 10,5 m y 21 m), dentro del área correspondiente a un marco cuadrado de 1 m de lado (1 m²) (Figura 1A).

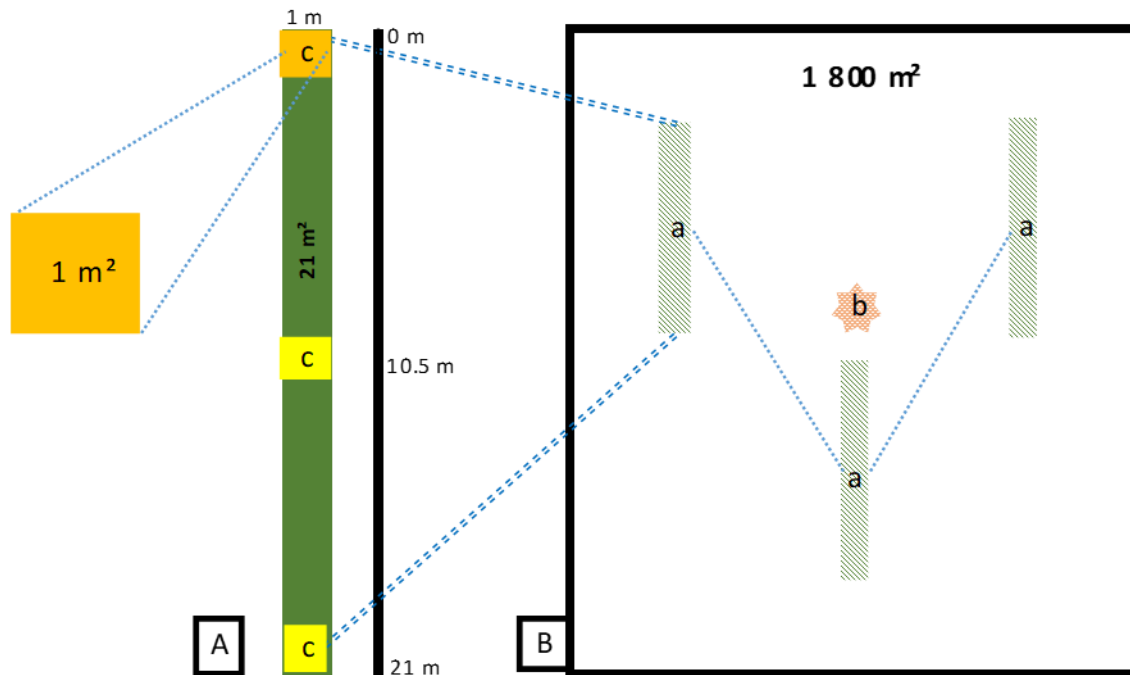


Figura 1. Dimensiones y localización de los sitios de muestreo en un lote. **A.** Área del transecto y localización de los puntos de muestreo de arvenses (c). **B.** Ubicación de los transectos de muestreo de insectos en el lote: golpes de red entomológica (a) y trampa *Malaise* (b).

5.3.2. Esquema de muestreo

Para la distribución de los transectos en los lotes se utilizó un muestreo sistemático con un esquema de muestreo en forma de “V” (Figura 1B) (Naranjo, 2008).

5.3.3. Variables evaluadas

Se evaluaron las variables número de insectos y número de arvenses. Para ambos casos se determinaron el número de familias, géneros y/o especies. Además, se evaluó el porcentaje de cobertura de las arvenses en los cinco lotes sometidos a los métodos de control de arvenses.

5.3.4. Recolección de insectos

Las muestras se recolectaron con una red entomológica de barrido. Se realizaron 450 golpes de red por muestreo (30 golpes por transecto, 3 transectos por lote, 5 lotes). El contenido recolectado se depositó en bolsas plásticas con dimensiones de 50 cm x 30 cm, etiquetadas y posteriormente almacenadas en congelación (-20°C) por 48 horas. Además, se instaló una trampa *Malaise* por lote, la cual se muestreó al mismo tiempo que se realizaron los golpes con la red entomológica.

5.3.5. Preservación de las muestras recolectadas

Se vertió el contenido de cada bolsa congelada por separado a un recipiente tipo bandeja (40 cm profundidad x 35 cm diámetro), y se efectuaron tres lavados con agua a cada bolsa y se depositó el contenido en el mismo recipiente. El material vegetal se frotó para separar los insectos adheridos y, seguidamente se depositó en un recipiente pequeño (Beaker plástico de 1 L). Luego, el contenido del recipiente pequeño se coló, utilizando un colador revestido en la parte superior con una tela de “organza” sujeta con prensas. El proceso fue repetido tres veces. El material colado se pasó a una placa *Petri* y luego a una bolsa plástica pequeña (8 x 13 cm), facilitado por un embudo y una piseta con alcohol al 70% v/v. Las bolsas pequeñas se almacenaron en refrigeración a -5°C, para la posterior extracción, identificación y conteo de los insectos de las familias de interés.

Se extrajo el contenido del frasco de la trampa *Malaise* instalada en cada lote y se colocó en un frasco de vidrio con tapa rosca mediante un embudo y una piseta con alcohol al 70% v/v. Una vez en los frascos, se almacenaron en refrigeración a -5°C para la posterior extracción, identificación y conteo de los insectos de las familias de interés.

5.3.6. Identificación taxonómica y conteo de individuos

En la identificación taxonómica y conteo de individuos se utilizó un estereoscopio binocular marca *Motic* de 10-40X con iluminación blanca dual para una primera separación

de subfamilias y géneros fáciles de reconocer. Posteriormente, se utilizaron estereoscopios de mayor potencia como el *Olympus SZX16* con micrómetro ocular y *Carl Zeiss Stemi 2000* con lentes oculares W25x/10 y micrómetro incorporado, ambos con iluminación blanca dual. Se utilizaron las claves taxonómicas morfológicas disponibles publicadas en artículos (Wharton et al. 1997), libros (Hanson & Gauld, 2006), así como páginas electrónicas (AntWiki.org y Antweb.org). Además, se comparó con especímenes disponibles en la Colección Científica del Museo de Insectos (Centro de Investigación en Protección de Cultivos, Escuela de Agronomía, Universidad de Costa Rica-CIPROC), y bases de datos digitales. Luego se almacenaron en alcohol al 70% v/v en tubos plásticos de 5 mL rotulados según número de muestra, familia, género y/o especie. Por último, se depositó una colección “voucher” en la Colección Científica del Museo de Insectos de insectos CIPROC, UCR.

5.3.7. Muestreo e identificación de arvenses

La identificación de arvenses se efectuó a nivel de familia, género y/o especie en tres transectos por lote ubicados en las entrecalles (Figura 1B). Se midió el porcentaje de cobertura, en tres puntos del transecto de 21 m², al inicio (0 m), al medio (10,5 m) y al final (21 m) (Figura 1A). Para esto se utilizó una cuadrícula elaborada con tubo de PVC de 1/2 pulgada de diámetro y 1 m de lado (1 m²).

Para la identificación de arvenses se emplearon claves morfológicas disponibles y se realizaron comparaciones con especímenes de bases de datos de herbarios. También se consultó al Dr. Franklin Herrera Murillo especialista en arvenses de la Universidad de Costa Rica (UCR), sobre la identidad de algunas especies de arvenses.

5.4. Análisis estadístico de los datos

Se elaboraron curvas de rarefacción-extrapolación con el software “iNext online” (Chao, et al., 2014; Chao, et al., 2016), representadas por los números de diversidad de Hill de orden $q=0$ (Riqueza), $q=1$ (Número de especies igualmente abundantes) y $q=2$ (Número de especies dominantes). Se emplearon los índices de diversidad alfa: Chao 1, Margalef, así como los índices de Shannon-Weiner y Simpson (Cuadro 2); además se empleó el índice de diversidad beta de similitud de Jaccard (Cuadro 2). Todos los índices fueron determinados utilizando el software PAST4 (Hammer et al., 2001). Asimismo, se compararon los índices de diversidad de Shannon-Weiner y Simpson entre los métodos de control de arvenses

utilizando la prueba *t* Hutcheson (Hutcheson, 1970) disponible en el software PAST4. Por último, se implementaron los análisis multivariados: análisis de correlación y análisis de correspondencia, utilizando el *software* libre R Core Team (2022), para determinar las relaciones entre las variables, métodos de control de arvenses, composición de arvenses y composición de insectos.

Cuadro 2. Fórmulas y descripción de los índices de diversidad alfa y beta utilizados en el estudio.

Índice	Fórmula	Descripción
Números de Hill (q=0 q=1 y q=2)	$q_0 = \sum_{i=1}^S p_i^q$ $q_1 = \exp\left(-\sum_{i=1}^S p_i \ln p_i\right) = \exp(H_{Sh})$ $q_2 = \frac{1}{\left(\sum_{i=1}^S p_i^2\right)} = \frac{1}{D}$ <p>p_i = abundancia proporcional de la especie i = número de individuos de la especie i/número total de individuos. q_1 = número de Hill de orden 1 (H_{Sh} = Índice de Shannon-Weiner). q_2 = número de Hill de orden 2 (D = Dominancia de Simpson).</p>	<p>q_0 = Riqueza de especies (Daly et al., 2018; Jost & González-Oreja, 2012).</p> <p>q_1 = Número de especies igualmente abundantes o comunes (Daly et al., 2018; Jost & González-Oreja, 2012).</p> <p>q_2 = Número de especies muy abundantes o dominantes (Daly et al., 2018; Jost & González-Oreja, 2012).</p>
Chao 1	$Chao\ 1 = S + \frac{a^2}{2b}$ <p>S: número de especies a: número de especies representadas por un individuo ("singletons"). b: número de especies representadas por dos individuos ("doubletons").</p>	<p>Estima el número potencial de especies de una comunidad según número de especies raras o menos abundantes (Moreno, 2001).</p>
Margalef (D_{Mg})	$D_{Mg} = \frac{S - 1}{\ln N}$ <p>S = número de especies. N = número total de individuos.</p>	<p>Considera que existe una relación funcional entre el número de especies y el número total de individuos (Moreno, 2001).</p>

Shannon–Wiener (H)	$-\sum_{i=1}^s p_i \ln p_i$ <p>p_i = abundancia proporcional de la especie i = número de individuos de la especie i/número total de individuos.</p>	<p>Estima la incertidumbre en determinar a qué especie corresponderá un individuo seleccionado al azar (Daly et al., 2018; Moreno, 2001).</p> <p>Los valores oscilan entre 1 y 5, donde valores menores a 2 representan diversidad baja, entre 2 y 3.5 media, y mayores a 3.5 como diversidad alta (Medrano et al., 2017).</p>
Dominancia de Simpson (D)	$\sum_{i=1}^s p_i^2$ <p>p_i = abundancia proporcional de la especie i = número de individuos de la especie i/número total de individuos.</p>	<p>Probabilidad de que dos individuos elegidos al azar pertenezcan a una misma especie. Muy influenciado por las especies más dominantes (Daly et al., 2018; Moreno, 2001).</p>
Jaccard (J)	$J = \frac{c}{a + b - c}$ <p>a = número de especies del sitio A. b = número de especies del sitio B. c = número de especies en ambos sitios A y B.</p>	<p>Indica la similitud entre dos sitios. Su rango va de 0 a 1, donde 0 implica ninguna especie compartida entre los dos sitios y 1 que los dos sitios comparten la misma combinación de especies (Moreno, 2001).</p>

6. Resultados

6.1. Abundancia de las familias Formicidae, Braconidae y Eulophidae en cinco lotes tratados con diferentes métodos de control de arvenses

Se registraron un total de 609 individuos en los cinco lotes muestreados, 26 géneros de insectos distribuidos entre las familias Formicidae y Braconidae, además de tres subfamilias dentro de la familia Eulophidae. La familia Formicidae exhibió mayor número de individuos (501) y abundancia relativa (82 %) entre las tres familias de insectos. Dentro de esta, se recolectó un total de cuatro subfamilias y siete géneros (Cuadro 3). Los cuatro géneros que presentaron mayor abundancia fueron *Pheidole* (60 %), *Wasmannia* (23 %), *Brachymyrmex* (11 %) y *Solenopsis* (4 %) (Cuadro 3). De estos, solamente *Pheidole* estuvo presente en los cinco lotes, los géneros *Wasmannia* y *Brachymyrmex* estuvieron ausentes en el lote GS, mientras que *Solenopsis* se encontró en los lotes CBr, Gl y Ch.

Cuadro 3. Subfamilias, géneros, número de individuos y abundancia relativa de insectos de la familia Formicidae recolectados en finca La Hilda, Poás, Alajuela durante la época lluviosa en el 2021.

Familia	Subfamilia	Género	N° de individuos	Abundancia (%)
Formicidae	Myrmicinae	<i>Pheidole</i>	300	60
	Myrmicinae	<i>Wasmannia</i>	116	23
	Formicinae	<i>Brachymyrmex</i>	55	11
	Myrmicinae	<i>Solenopsis</i>	20	4
	Formicinae	<i>Camponotus</i>	3	1
	Dolichoderinae	<i>Dorymyrmex</i>	3	1
	n.i	n.i	3	1
	Pseudomyrmecinae	<i>Pseudomyrmex</i>	1	0
Total	4*	7**	501	100

*Subfamilias. **Géneros. n.i=no identificado

Se realizó la identificación de las especies dentro los géneros de hormigas (Formicidae) de mayor abundancia. El género con mayor riqueza de especies fue *Pheidole* con cinco especies: *Pheidole absurda* Forel, *Pheidole indagatrix* Wilson, *Pheidole pugnax* Dalla Torre, *Pheidole punctatissima* Mayr, *Pheidole subarmata* Mayr (Anexo 1). Los restantes tres géneros estuvieron representados por una sola especie: *Brachymyrmex heeri* Forel, *Solenopsis geminata* (Fabricius) y *Wasmannia auropunctata* (Roger) (Anexo 1).

La familia Braconidae presentó mayor riqueza de subfamilias (11) y de géneros (19) entre las tres familias de insectos (Cuadro 4). Del total de géneros, siete fueron los más abundantes: *Oenonogastra* (25 %), *Opius* (12 %), *Nealiolus* (9 %), *Bracon* (8 %), *Homolobus* (7 %), *Apanteles* (7 %) y *Aphaereta* (5 %) (Cuadro 4) (Anexo 1). El género *Oenonogastra* fue muy abundante en el lote GSb (15 individuos), seguido del género *Bracon* con cinco individuos. Mientras que *Nealiolus* y *Opius* fueron los géneros más abundantes en el lote Ch con cinco individuos cada uno.

Cuadro 4. Subfamilias, géneros, número de individuos y abundancia relativa de insectos de la familia Braconidae recolectados en finca La Hilda, Poás, Alajuela durante la época lluviosa en el 2021.

Familia	Subfamilia	Género	N° de individuos	Abundancia (%)	
Braconidae	Alysinae	<i>Oenonogastra</i>	21	25	
	Opinae	<i>Opius</i>	10	12	
	Helconinae	<i>Nealiolus</i>	8	9	
	Braconinae	<i>Bracon</i>	7	8	
	Homolobinae	<i>Homolobus</i>	6	7	
	Microgastrinae	<i>Apanteles</i>	6	7	
	Alysinae	<i>Aphaereta</i>	4	5	
	Cheloninae	<i>Phanerotoma</i>	3	4	
	Rogadinae	<i>Clinocentrus</i>	3	4	
	Blacinae	<i>Blacus</i>	2	2	
	Euphorinae	<i>Peristenus</i>	2	2	
	Horminae	<i>Hormius</i>	2	2	
		n.i	n.i	2	2
	Alysinae	<i>Microcrasis</i>	1	1	
	Euphorinae	<i>Townesilitus</i>	1	1	
	Helconinae	<i>Diospilus</i>	1	1	
	Horminae	<i>Lysitermus</i>	1	1	
	Horminae	n.i	1	1	
	Microgastrinae	<i>Venanus</i>	1	1	
	Microgastrinae	<i>Cotesia</i>	1	1	
	Microgastrinae	<i>Rasivalva</i>	1	1	
Rogadinae	n.i	1	1		
Total	11*	19**	85	100	

*Subfamilias. **Géneros. n.i=no identificado

Según los resultados, la familia Eulophidae obtuvo la menor cantidad de subfamilias e individuos entre las tres familias de insectos muestreadas (Cuadro 5). La subfamilia de mayor abundancia fue Entedoninae con 48 %, seguida de Eulophinae con 26 % (Cuadro 5). Las subfamilias Entedoninae y Eulophinae se encontraron en los cinco lotes, mientras que Tetrastichinae solo en los lotes Ch y GSb.

Cuadro 5. Subfamilias, géneros, número de individuos y abundancia relativa de insectos de la familia Eulophidae recolectados en finca La Hilda, Poás, Alajuela durante la época lluviosa en el 2021.

Familia	Subfamilia	N° de individuos	Abundancia (%)
Eulophidae	Entedoninae	11	48
	Eulophinae	6	26
	Tetrastichinae	4	17
	n.i	2	9
Total	3*	23	100

*Subfamilias. n.i=no identificado

6.2. Rarefacción y extrapolación con los números de Hill $q=0$, $q=1$ y $q=2$ para las familias Formicidae, Braconidae y Eulophidae en cinco lotes tratados con diferentes métodos de control de arvenses

Mediante el análisis de rarefacción y extrapolación con los números de Hill $q=0$, $q=1$ y $q=2$ (Números Efectivos de Especies) se estimó el valor de la cobertura de muestreo. De acuerdo con la estimación, el lote CBr obtuvo mayor cobertura de muestreo (98 %), seguido de GSb (97 %), Gl (92 %), Ch (90 %) y con menor cobertura GS (78 %).

La riqueza ($q=0$) de las tres familias de insectos estuvo entre 9 y 18 taxones (Figura 2A). Los lotes más diversos fueron Ch y GSb (18 cada uno), seguidos de Gl (16), GS (10) y el lote menos diverso fue CBr (9) (Figura 2A). Sin embargo, la extrapolación de las curvas para los lotes Ch, Gl, GS y GSb indica que la diversidad ($q=0$) sería la misma con un aumento del esfuerzo de muestreo (Figura 2A).

El cálculo de la diversidad $q=1$ reveló que el lote Ch obtuvo mayor número de taxones igualmente abundantes (11.8), en comparación a los otros lotes (Figura 2B). Los lotes GSb, Gl y GS presentaron valores similares para $q=1$ (5.3, 5.1 y 4.6 respectivamente) (Figura 2B). Por último, CBr presentó el menor número de taxones igualmente abundantes (2.7), difiriendo de los lotes Gl, Ch, GS y GSb (Figura 2B).

La diversidad de orden $q=2$ mostró que Ch obtuvo mayor número de taxones dominantes (7.2) y los intervalos de confianza indican diferencias en comparación a los otros lotes (Figura 2C). Los lotes GSb, Gl y GS mostraron valores similares para el número de taxones dominantes (3.5, 2.8; y 2.3 respectivamente) (Figura 2C). Finalmente, CBr presentó menor cantidad de taxones dominantes (1.8), pero no difiere de GS (2.3) (Figura 2C).

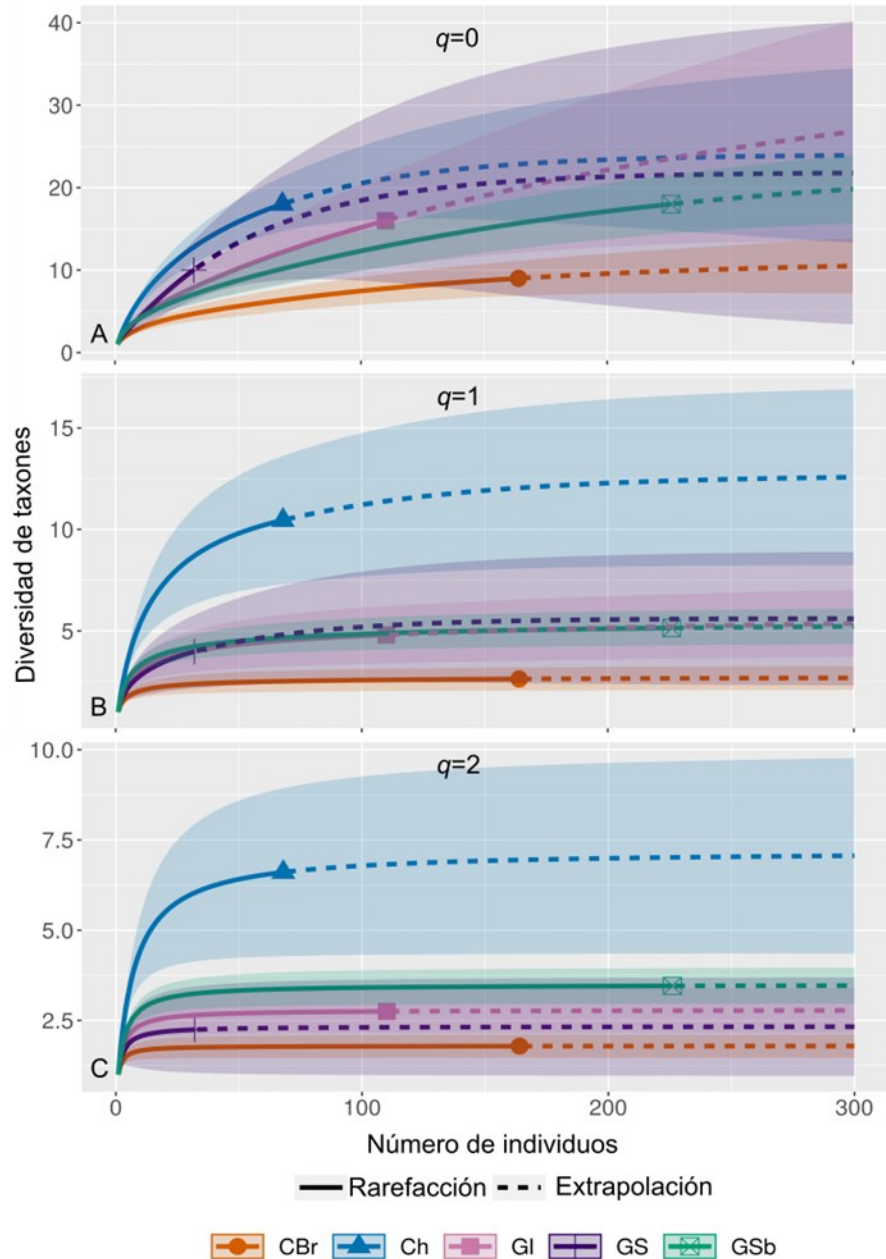


Figura 2. Comparación de la rarefacción y la extrapolación basada en el tamaño de la muestra, con un tamaño de muestra base de 300 individuos de la diversidad de insectos de las familias Formicidae, Braconidae y Eulophidae para los números de Hill de orden $q=0$ (A), $q=1$ (B) y $q=2$ (C), en cinco lotes sometidos a diferentes métodos de control de arvenses, en Finca La Hilda Poás de Alajuela durante el 2021. **CBr** = Cobertura *Brachiaria ruziziensis*. **GI** = Uso del herbicida Glifosato. **Ch** = Control físico con chapeas. **GS** = Uso de los herbicidas Glufosinato de amonio y Saflufenacil. **GSb** = Uso de los herbicidas Glufosinato de amonio y Saflufenacil en la banda de fertilización y chapea en entrecalle.

6.3. Índices de diversidad para las familias Formicidae, Braconidae y Eulophidae en cinco lotes tratados con diferentes métodos de control de arvenses

Los resultados del estimador Chao 1 (riqueza potencial), muestran que los lotes CBr, GSb y Ch respectivamente, obtuvieron las estimaciones más cercanas a la riqueza ($q=0$) de insectos de las Formicidae, Braconidae y Eulophidae. El lote CBr obtuvo un taxon menos, el lote GSb tres taxones más y en el lote Ch fueron cuatro taxones más (Cuadro 6), respecto a la riqueza ($q=0$) (Figura 2A). Los lotes Gl y GS respectivamente, obtuvieron valores de Chao 1 menores a la riqueza de esas familias de insectos ($q=0$) (Figura 2A). Se estimó (Chao 1) que Gl pudo albergar doce taxones más y GS siete taxones más.

En cuanto al índice de Margalef, los resultados reflejan que el lote Ch presentó el valor más alto (4.03) (Cuadro 6). Así, este mismo lote obtuvo un valor medio (entre 2 y 3.5) de equitatividad (Shannon-Weiner) significativamente mayor (2.47) ($p<0.05$) que los demás lotes (Cuadro 6). Esto indica que los taxones encontrados estuvieron representados por un número similar de individuos. También, este lote (Ch) obtuvo un valor menor de dominancia (Simpson) de taxones (0.14) ($p<0.05$), respecto a los demás lotes (Cuadro 6).

El lote CBr obtuvo los valores más bajos para los índices de Margalef (1.57) y Shannon-Weiner (0.99) entre todos los lotes (Cuadro 6). El valor del índice de Simpson (0.56) evidenció mayor dominancia de taxones en ese lote (Cuadro 6). No se presentaron diferencias significativas ($p>0.05$) entre el lote CBr y el lote GS (Cuadro 6), siendo este último el segundo menos diverso de acuerdo con los valores de los índices de Margalef, Shannon-Weiner y Simpson (Cuadro 6).

Los lotes tratados con los métodos de control de arvenses Gl, GS y GSb no presentaron diferencias significativas para los índices de Shannon-Weiner y Simpson (Cuadro 6). No obstante, el índice de Margalef resultó ser mayor en GSb, seguido de Gl y GS respectivamente (Cuadro 6).

Cuadro 6. Índices de diversidad para los insectos de las familias Formicidae, Braconidae y Eulophidae en cinco lotes tratados con diferentes métodos de control de arvenses, recolectados en Finca La Hilda Poás de Alajuela durante el 2021.

Método de control	Índices			
	Chao 1	Margalef	*Shannon-Weiner	*Simpson
CBr	10	1.57	0.99 a	0.56 a
GI	28	3.19	1.64 b	0.36 b
Ch	22	4.03	2.47 c	0.14 c
GS	17	2.60	1.52 ab	0.43 ab
GSb	21	3.14	1.68 b	0.29 b

CBr = Cobertura *Brachiaria ruziziensis*. **GI** = Uso del herbicida Glifosato. **Ch** = Control físico con chapeas. **GS** = Uso de los herbicidas Glufosinato de amonio y Saflufenacil. **GSb** = Uso de los herbicidas Glufosinato de amonio y Saflufenacil en la banda de fertilización y chapea en entrecalle. *Letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba *t* de Hutchenson ($p=0.05$).

La similitud (Jaccard) entre los lotes no supero el 48 % (Cuadro 7) para la composición de insectos de las familias Formicidae, Braconidae y Eulophidae. Los lotes que presentaron mayor similitud fueron GI-GSb, mientras que CBr-GS y Ch-GS presentaron menor similitud (Cuadro 7).

Cuadro 7. Índice de similitud de Jaccard para los insectos de las familias Formicidae, Braconidae y Eulophidae en cinco lotes tratados con diferentes métodos de control de arvenses, recolectados en Finca La Hilda Poás de Alajuela durante el 2021.

Método de control	CBr	GI	Ch	GS	GSb
CBr	-	0.39	0.42	0.27	0.35
GI	-	-	0.42	0.30	0.48
Ch	-	-	-	0.27	0.44
GS	-	-	-	-	0.33
GSb	-	-	-	-	-

CBr = Cobertura *Brachiaria ruziziensis*. **GI** = Uso del herbicida Glifosato. **Ch** = Control físico con chapeas. **GS** = Uso de los herbicidas Glufosinato de amonio y Saflufenacil. **GSb** = Uso de los herbicidas Glufosinato de amonio y Saflufenacil en la banda de fertilización y chapea en entrecalle.

6.4. Abundancia para el conjunto de arvenses en cinco lotes tratados con métodos de control de arvenses

Se encontró un total de 40 especies de arvenses acompañantes al cultivo de café distribuidas en 19 familias (Cuadro 8). La riqueza de especies estuvo distribuida de la

siguiente manera: Asteraceae con nueve especies (23 %), Poaceae con ocho especies (20 %), Brassicaceae, Commelinaceae, Convolvulaceae, Cyperaceae y Rubiaceae representadas por dos especies (5 % por familia); por último, las familias Amaranthaceae, Caryophyllaceae, Cucurbitaceae, Euphorbiaceae, Lamiaceae, Lythraceae, Malvaceae, Oxalidaceae, Polygalaceae, Portulacaceae y Verbenaceae compuestas por solo una especie (3 % por familia) (Cuadro 8).

Las arvenses *Bidens pilosa* L., *Commelina diffusa* Burm. f., *Iresine diffusa* Humb. & Bonpl. ex Willd., *Lepidium virginicum* L. y *Oxalis corniculata* L. estuvieron presentes en todos los lotes, con diferente rango de cobertura promedio y frecuencia en los puntos de muestreo (Cuadro 8).

En el lote CBr, *Brachiaria ruziziensis* R. Germ. & Evrard obtuvo el valor más alto de cobertura (60 %) y se presentó en el 100 % de los puntos de muestreo. Las plantas *I. diffusa*, *C. diffusa* y *L. virginicum* se presentaron con frecuencia (52 %, 48 % y 37 % respectivamente) sin embargo, su cobertura no fue mayor al 8 % (Cuadro 8).

En el lote Gl, *I. diffusa* presentó mayor cobertura y presencia en los puntos de muestreo (15 % y 74 % respectivamente) (Cuadro 8). Si bien *B. pilosa*, *C. diffusa* y *O. corniculata* fueron frecuentes (37 %, 33 % y 30 % respectivamente), ninguna supero el 7 % de cobertura promedio (Cuadro 8).

En el lote Ch, *Paspalum conjugatum* P.J. Bergius presentó mayor cobertura y frecuencia (27 % y 89 % respectivamente). Otras especies abundantes fueron *Acmella radicans* (Jacq.) R. K. Jansen (74 %), *Galinsoga* sp. Ruiz & Pav. (70 %) y *C. diffusa* (59 %), con una cobertura promedio que no excedió el 16 % (Cuadro 8).

En el lote tratado con glufosinato de amonio y saflufenacil (GS), *P. conjugatum* presentó mayor cobertura (30 %), que *Digitaria ciliaris* (Retz.) Koeler y *C. diffusa* (23 % y 8 % respectivamente) (Cuadro 8). Sin embargo, *D. ciliaris* y *C. diffusa* aparecieron con mayor frecuencia (56 % y 48 % respectivamente) que *P. conjugatum* (44 %) (Cuadro 8).

La arvense con mayor cobertura y frecuencia en el lote GSb fue *A. radicans* (18 % y 89 % respectivamente). También presentaron alta incidencia *B. pilosa* (89 %), *Paspalum paniculatum* L. (56 %) y *D. ciliaris* (52 %), no obstante, no superaron el 10 % de cobertura promedio (Cuadro 8).

Cuadro 8. Familia, número total de especies, cobertura promedio (%) y frecuencia de arvenses en cinco lotes tratados con métodos de control de arvenses, muestreadas en Finca La Hilda Poás de Alajuela durante la época lluviosa en el 2021.

Familia	Especie	Cobertura promedio (%)					Frecuencia				
		CBr	Gl	Ch	GS	GSb	CBr	Gl	Ch	GS	GSb
Amaranthaceae	<i>Iresine diffusa</i>	7	15	3	4	3	14	20	4	4	6
Asteraceae	<i>Acmella radicans</i>	2	3*	16	0	18	7	1	20	0	24
Asteraceae	<i>Bidens pilosa</i>	2	7	3	1	9	5	10	10	4	24
Asteraceae	<i>Conyza</i> sp.	2*	1	1*	0	1	1	4	1	0	3
Asteraceae	<i>Emilia fosbergii</i>	1*	0	2	0	0	1	0	2	0	0
Asteraceae	<i>Galinsoga</i> sp.	0	4	11	15*	6	0	6	19	1	14
Asteraceae	<i>Hypochaeris radiata</i>	0	0	3	0	0	0	0	2	0	0
Asteraceae	<i>Jaegeria hirta</i>	0	0	2	0	0	0	0	3	0	0
Asteraceae	<i>Sonchus oleraceus</i>	1*	0	0	0	2	1	0	0	0	2
Asteraceae	<i>Youngia japonica</i>	0	0	2*	0	0	0	0	1	0	0
Brassicaceae	<i>Cardamine bonariensis</i>	0	4*	3*	0	1*	0	1	1	0	1
Brassicaceae	<i>Lepidium virginicum</i>	8	3	4	3	4	10	8	6	5	5
Caryophyllaceae	<i>Drymaria cordata</i>	0	0	3*	0	0	0	0	1	0	0
Commelinaceae	<i>Commelina diffusa</i>	4	7	6	8	5	13	9	16	13	13
Commelinaceae	<i>Tinantia erecta</i>	0	8	0	0	1*	0	2	0	0	1
Convolvulaceae	<i>Dichondra sericea</i>	0	1*	15	0	0	0	1	2	0	0
Convolvulaceae	<i>Ipomoea purpurea</i>	0	23	7	0	0	0	5	6	0	0
Cucurbitaceae	<i>Rytidostylis carthagenensis</i>	5	0	0	0	0	2	0	0	0	0
Cyperaceae	<i>Cyperus</i> sp.	0	6	1	0	1*	0	7	3	0	1
Cyperaceae	<i>Killinga brevifolia</i>	3	0	2	2*	3	4	0	3	1	5
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia hirta</i>	5*	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Fabaceae	<i>Desmodium</i> sp.	0	0	0	2*	0	0	0	0	1	0
Fabaceae	<i>Mimosa pudica</i>	7	0	0	0	0	2	0	0	0	0
Lamiaceae	<i>Marsypianthes chamaedrys</i>	0	0	1*	0	0	0	0	1	0	0
Lythraceae	<i>Cuphea carthagenensis</i>	6	2	0	0	0	1	2	0	0	0
Malvaceae	<i>Sida</i> sp.	0	3*	1	7	2	0	1	5	7	2
Oxalidaceae	<i>Oxalis corniculata</i>	2	9	1	3	4	7	9	6	7	8
Poaceae	<i>Brachiaria ruziziensis</i>	60	0	0	5	17	27	0	0	2	8
Poaceae	<i>Cynodon nlemfuensis</i>	0	0	0	39	0	0	0	0	5	0
Poaceae	<i>Digitaria ciliaris</i>	0	0	0	23	10	0	0	0	15	14
Poaceae	<i>Eleusine indica</i>	0	0	1*	0	2	0	0	1	0	2
Poaceae	<i>Oplismenus burmanni</i>	0	0	19*	0	23	0	0	1	0	10
Poaceae	<i>Paspalum conjugatum</i>	0	0	27	30	0	0	0	24	12	0
Poaceae	<i>Paspalum paniculatum</i>	0	0	1	9	10	0	0	4	4	15
Poaceae	<i>Sporobolus indicus</i>	0	0	5	0	1*	0	0	10	0	1

Polygalaceae	<i>Polygala paniculata</i>	0	4*	2	0	0	0	1	3	0	0
Portulacaceae	<i>Portulaca oleraceae</i>	1*	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Rubiaceae	<i>Mitracarpus hirtus</i>	0	12	0	0	0	0	7	0	0	0
Rubiaceae	<i>Richardia scabra</i>	4	9	4	3	0	3	8	6	2	0
Verbenaceae	<i>Verbena litoralis</i>	2*	0	0	0	0	1	0	0	0	0

*Plantas observadas en solo una ocasión, el valor no es promedio. **CBr** = Cobertura *Brachiaria ruziziensis*. **Gl** = Uso del herbicida Glifosato. **Ch** = Control físico con chapeas. **GS** = Uso de los herbicidas Glufosinato de amonio y Saflufenacil. **GSb** = Uso de los herbicidas Glufosinato de amonio y Saflufenacil en la banda de fertilización y chapea en entrecalle.

A pesar de que las coberturas promedio de las arvenses en Ch y GS fueron similares, en GS la frecuencia en los puntos de muestreo fue menor. El lote Ch junto al lote GSb presentaron los valores más altos de frecuencia. Los resultados mostraron que Ch obtuvo el conjunto de arvenses de mayor cobertura promedio y frecuencia en los puntos de muestreo.

6.5. Rarefacción y extrapolación con los números de Hill $q=0$, $q=1$ y $q=2$ para el conjunto de arvenses en cinco lotes tratados con diferentes métodos de control de arvenses

De acuerdo con el análisis de rarefacción y extrapolación para el conjunto de arvenses, los valores de la estimación de la cobertura de muestreo mostraron que los lotes GS y GSb alcanzaron los valores más altos de cobertura de muestreo (98 %), seguidos de Ch (96 %), Gl (95 %) y con el valor más bajo CBr (93 %). Evidencia de que el esfuerzo de muestreo fue suficiente para todos los lotes y se obtuvo la mayoría de la riqueza de arvenses presente.

La riqueza ($q=0$) de las arvenses muestreadas fluctuó entre 15 y 27 especies (Figura 3A). El lote con mayor diversidad de especies fue Ch (27), seguido de GSb (20), CBr y Gl (18 cada uno) y el lote con menor riqueza fue GS (15) (Figura 3A). Los lotes CBr, Gl y GSb no fueron diferentes entre ellos, pero si lo fueron respecto a Ch y GS. Además, se encontró diferencias entre Ch y GS (Figura 3A). La extrapolación indica que la riqueza $q=0$ podría igualarse para los lotes CBr, Gl, Ch y GSb si se amplía el esfuerzo de muestreo.

El número de Hill de orden $q=1$ indicó que Ch obtuvo mayor número de especies igualmente abundantes (18.4) entre todos los lotes (Figura 3B). El lote CBr fue el menos diverso según la ponderación (11.4), seguido de GS (12.4), mientras que GSb y Gl presentaron valores similares (14.4 y 14.1 respectivamente) (Figura 3B). Se observó el mismo patrón para la diversidad de especies dominantes ($q=2$), donde Ch exhibió el mayor

número de especies dominantes (13.6), CBr (8) fue el menos diverso ($q=2$), seguido de GS (10.5), mientras que GSb y GI registraron valores similares (11.9 y 11.8 respectivamente) (Figura 3C).

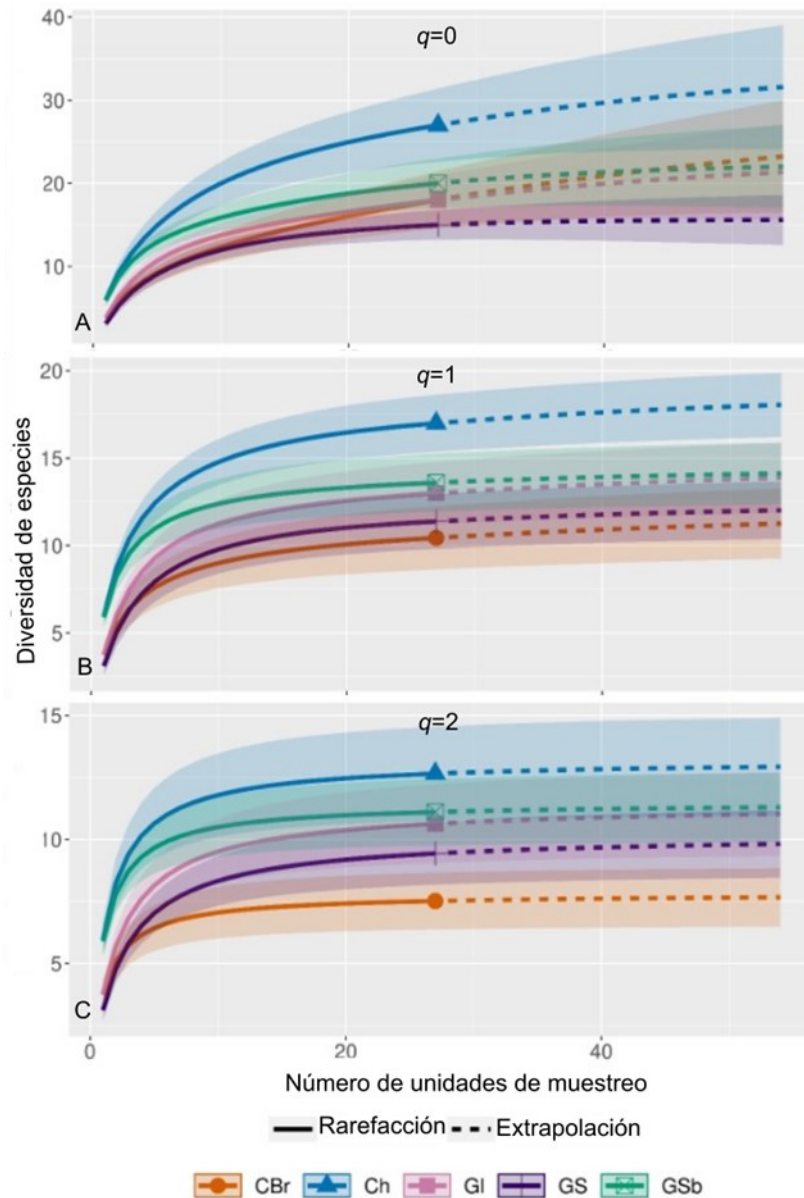


Figura 3. Comparación de la rarefacción y extrapolación basada en el tamaño de la muestra, con una muestra base de 50 unidades muestrales de la diversidad de especies de arvenses para el número de Hill de orden $q=0$ (A), $q=1$ (B) y $q=2$ (C) en cinco lotes sometidos a diferentes métodos de control de arvenses, en Finca La Hilda Poás de Alajuela durante el 2021. **CBr** = Cobertura *Brachiaria ruziziensis*. **GI** = Uso del herbicida Glifosato. **Ch** = Control físico con chapeas. **GS** = Uso de los herbicidas Glufosinato de amonio y Saflufenacil. **GSb** = Uso de los herbicidas Glufosinato de amonio y Saflufenacil en la banda de fertilización y chapea en entrecalle.

6.6. Índices de diversidad para el conjunto de arvenses en cinco lotes tratados con diferentes métodos de control de arvenses

De acuerdo con los índices empleados, el control de arvenses por medio de chapeas (Lote Ch) presentó la mayor diversidad de arvenses. Obtuvo mayor índice de Margalef y la equitatividad de especies (Shannon-Weiner) fue significativamente mayor ($p < 0.05$) entre los cinco lotes (Cuadro 9). Por último, la dominancia de especies (Simpson) fue menor a los demás lotes, pero solo fue significativamente menor a CBr ($p < 0.05$) (Cuadro 9).

Cuadro 9. Índices de diversidad para el conjunto de arvenses en cinco lotes tratados con diferentes métodos de control de arvenses, muestreadas en Finca La Hilda Poás de Alajuela durante el 2021.

Método de control	Índices		
	Margalef	Shannon-Weiner*	Simpson*
CBr	3.68	2.43 a	0.12 a
Gl	3.68	2.65 ab	0.08 ab
Ch	5.12	2.91 c	0.07 b
GS	3.16	2.51 ad	0.09 ab
GSb	3.75	2.67 bd	0.08 b

CBr = Cobertura *Brachiaria ruziziensis*. **Gl** = Uso del herbicida Glifosato. **Ch** = Control físico con chapeas. **GS** = Uso de los herbicidas Glufosinato de amonio y Saflufenacil. **GSb** = Uso de los herbicidas Glufosinato de amonio y Saflufenacil en la banda de fertilización y chapea en entrecalle. *Letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba *t* de Hutchenson ($p = 0.05$).

El lote GSb fue el segundo con mayor diversidad de arvenses según los índices de Margalef y Shannon-Weiner y Simpson, fue significativamente mayor a CBr, sin embargo, no fue significativamente más diverso a Gl y GS (Cuadro 9).

En cuanto a la similitud entre los cinco lotes, el índice de Jaccard no superó el 52% para el conjunto de arvenses muestreadas (Cuadro 10). Los lotes Ch-GSb y Gl-Ch fueron los más similares entre sí, mientras que los lotes CBr-Ch fueron los menos parecidos entre sí (Cuadro 10).

Cuadro 10. Índice de similitud de Jaccard para el conjunto de arvenses identificadas, entre cinco lotes tratados con diferentes métodos de control de arvenses, muestreadas en Finca La Hilda Poás de Alajuela durante el 2021.

Método de control	CBr	Gl	Ch	GS	GSb
CBr	-	0.33	0.29	0.32	0.36
Gl	-	-	0.50	0.32	0.46
Ch	-	-	-	0.35	0.52
GS	-	-	-	-	0.46
GSb	-	-	-	-	-

CBr = Cobertura *Brachiaria ruziziensis*. **Gl** = Uso del herbicida Glifosato. **Ch** = Control físico con chapeas. **GS** = Uso de los herbicidas Glufosinato de amonio y Saflufenacil. **GSb** = Uso de los herbicidas Glufosinato de amonio y Saflufenacil en la banda de fertilización y chapea en entrecalle.

6.7. Relación entre cinco lotes tratados con diferentes métodos de control de arvenses, los insectos de las familias Formicidae, Braconidae y Eulophidae; y las especies de arvenses

El análisis de correlación de Pearson señala las relaciones positivas y negativas entre los 10 taxones de insectos más abundantes y las 11 arvenses de mayor frecuencia (Figura 4).

Los géneros de la familia Formicidae *Pheidole*, *Brachymyrmex*, *Solenopsis* y *Wasmannia* se relacionaron mayoritariamente con arvenses de hoja ancha *A. radicans*, *B. pilosa*, *I. diffusa*, *L. virginicum* y *O. corniculata* (Figura 4). Sin embargo, los géneros *Pheidole* y *Wasmannia* estuvieron también relacionados a las arvenses de hoja angosta de la familia Poaceae, *B. ruziziensis* y *P. paniculatum*, respectivamente (Figura 4).

Los géneros de la familia Braconidae: *Apanteles*, *Bracon*, *Nealiolus*, *Oenonogastra* y *Opius* se relacionaron, al igual que las hormigas (Formicidae), principalmente con arvenses de hoja ancha como *A. radicans*, *B. pilosa*, *C. diffusa* y *Galinsoga* sp. (Figura 4). No obstante, los braconidos se relacionaron con arvenses de hoja angosta de la familia Poaceae. Los géneros *Nealiolus* y *Opius* estuvieron vinculados a *P. conjugatum*, el género *Bracon* fue afín a *D. ciliaris* y *P. paniculatum*, por último, el género *Oenonogastra* se relacionó con *P. paniculatum* (Figura 4).

La subfamilia Entedoninae se asoció principalmente con la arvense de hoja ancha *C. diffusa* y con la arvense de hoja angosta *P. conjugatum* (Figura 4).

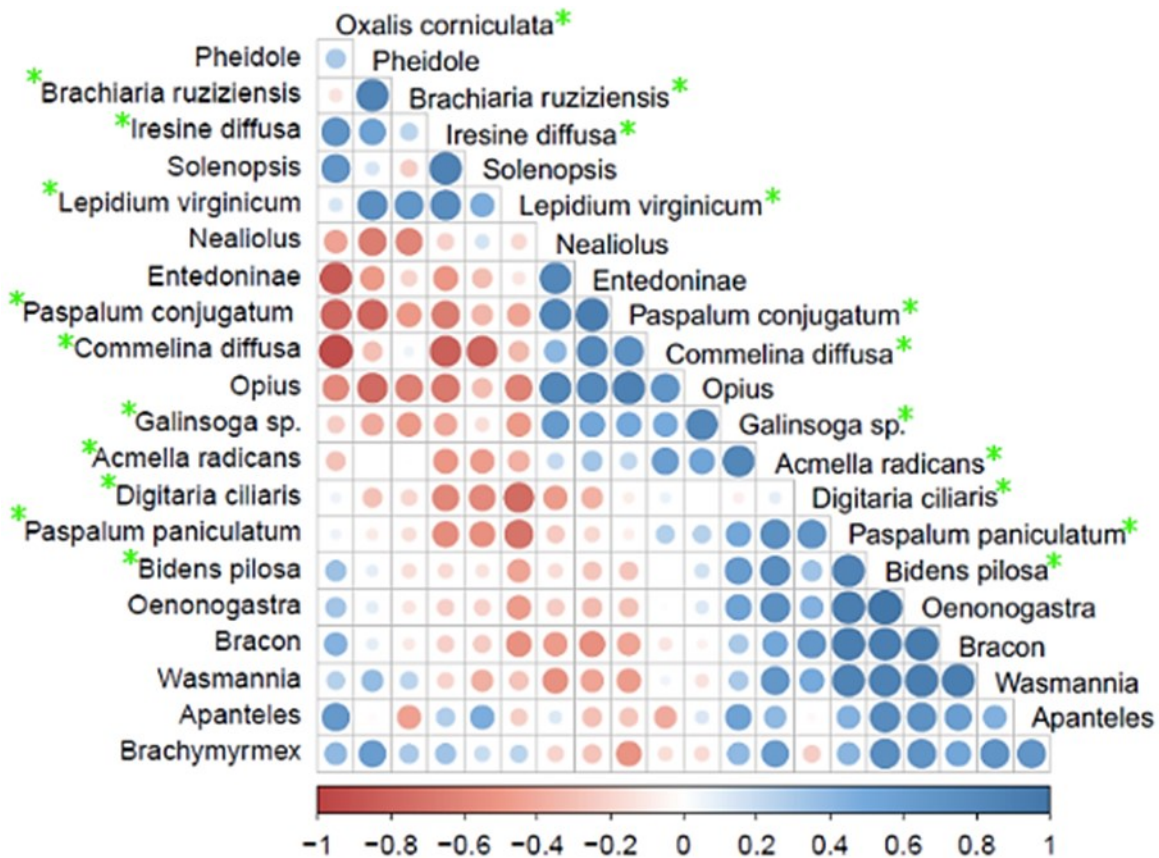


Figura 4. Análisis de correlación de Pearson entre las arvenses más frecuentes y los insectos de mayor abundancia, muestreados en cinco lotes tratados con diferentes métodos de control de arvenses en Finca La Hilda Poás de Alajuela durante el 2021. Los círculos indican el nivel de correlación, cuanto más grande sea el círculo mayor es la correlación. El color azul refleja correlaciones positivas y el color rojo correlaciones negativas. Los nombres con asteriscos verdes (*) corresponden a las arvenses.

El análisis de correspondencia se realizó entre los 10 taxones de insectos más abundantes y las 11 arvenses de mayor frecuencia en el estudio. La primera dimensión representó el 38.6% y la segunda representó el 33.3% (Figura 5), sumadas estas dos dimensiones explicaron, significativamente, el 71.9% de la variación de los datos (Anexo 1).

Según este análisis, el lote CBr se relacionó principalmente con hormigas del género *Pheidole* y arvenses *B. ruziziensis* e *I. diffusa* (Figura 5). El lote Gl mostró nexos con los formícidos *Brachymyrmex*, *Pheidole* y *Solenopsis* y se relacionó con las arvenses *I. diffusa*, *L. virginicum* y *O. corniculata* (Figura 5). Los insectos más afines al lote Ch fueron las avispas braconíidas de los géneros *Opius* y *Nealiolus*; y los eulófidos de la subfamilia

Entedoninae (Figura 5). Mientras que las arvenses más relacionadas al lote Ch fueron *Galinsoga* sp. y *P. conjugatum* (Figura 5).

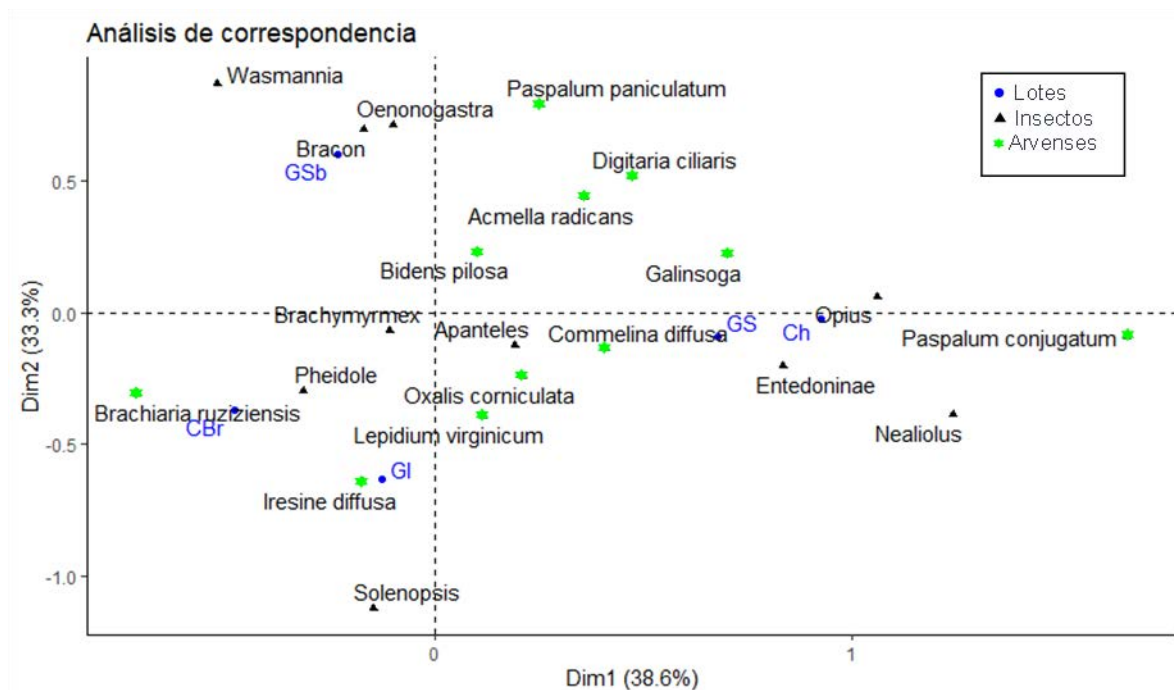


Figura 5. Análisis de correspondencia entre las arvenses más frecuentes y los insectos de mayor abundancia, muestreados en cinco lotes tratados con diferentes métodos de control de arvenses en Finca La Hilda Poás de Alajuela durante el 2021. La dimensión 1 (Dim1) y 2 (Dim2) son variables latentes construidas por la combinación de los datos y en conjunto explican la mayor parte (%) de la varianza. CBr = Cobertura *Brachiaria ruziziensis*. GI = Uso del herbicida Glifosato. Ch = Control físico con chapeas. GS = Uso de los herbicidas Glufosinato de amonio y Saflufenacil. GSb = Uso de los herbicidas Glufosinato de amonio y Saflufenacil en la banda de fertilización y chapea en entrecalle.

El lote GS presentó mayor relación con los eulófididos de la subfamilia Entedoninae y las arvenses *C. diffusa* y *Galinsoga* sp. (Figura 5). Por último, GSb se relacionó con avispa braconídeas de los géneros *Bracon* y *Oenonogastra*, así como hormigas del género *Wasmannia*; de manera similar, las arvenses relacionados a este método fueron *A. radicans*, *B. pilosa* y *P. paniculatum* (Figura 5).

La distribución espacial de los lotes evaluados en este estudio se reflejó en el análisis de correspondencia (Figura 5). El lote CBr estaba dispuesto en campo delante del lote GI, mientras que el lote Ch estaba ubicado al lado de GS, este patrón fue similar al observado en el análisis de correspondencia (Figura 5). El lote GSb fue el único que no mostró este patrón,

a pesar de que en campo colindaba con los lotes CBr y Gl, sin embargo, el análisis de correspondencia indicó cierto grado de proximidad con estos (Figura 5).

7. Discusión

7.1. Abundancia de las familias Formicidae, Braconidae y Eulophidae en cinco lotes tratados con diferentes métodos de control de arvenses

De las tres familias de himenópteros estudiadas durante esta investigación, la familia Formicidae presentó mayor abundancia de individuos recolectados en los cinco lotes. Al igual que en este estudio, esta familia ha sido muy abundante en cafetales con diversos tipos de manejo de arvenses y condiciones de sombra (Barbera et al., 2004, Arévalo et al., 2021). Según algunos estudios sobre abundancia de insectos en cafetales (Daniati et al., 2018; Vargas, 2020; Arévalo et al., 2021), Formicidae suele ser más abundante que las familias Braconidae y Eulophidae, lo que concuerda con los resultados del presente estudio. Posiblemente, Formicidae fue más abundante en esta investigación debido a su comportamiento altamente social, organizado en colonias de cientos a miles de individuos (Fernández, 2003); y a la dominancia de los formícidos sobre otros insectos (Barbera et al. 2004).

En el presente trabajo se implementó el uso trampas *Malaise* con el objetivo de capturar mayor abundancia de himenópteros de las familias Braconidae y Eulophidae. Sin embargo, las trampas no recolectaron una cantidad significativa de especies e individuos de las familias mencionadas. Esto contradice lo expuesto por Uhler et al. (2022), sobre las ventajas de las trampas *Malaise* en la captura de himenópteros. No obstante, el diseño, tamaño, materiales y elaboración de la trampa *Malaise* pudieron influir en la eficiencia de captura de estos insectos (Uhler et al., 2022).

7.2. Rarefacción y extrapolación con los números de Hill $q=0$, $q=1$ y $q=2$ e índices de diversidad para las familias Formicidae, Braconidae y Eulophidae en cinco lotes tratados con diferentes métodos de control de arvenses

A pesar de que el área muestreada para esta investigación correspondió a una plantación agrícola, durante la realización de este trabajo se encontró el 29% de diversidad de subfamilias y un 8% de los géneros de hormigas reportados para Costa Rica (Cuadro 3)

(Gutiérrez, 2014). Mientras que se recolectó el 32% del total de subfamilias de Braconidae descritas para el Neotrópico (34) (Wharton et al., 1997).

El esfuerzo de muestreo es importante, ya que la probabilidad de recolectar un individuo de una especie desconocida puede disminuir si la cobertura de muestreo es suficiente (Moreno et al., 2011). En este estudio el esfuerzo de muestreo fue suficiente para los lotes CBr, GSb, Gl y Ch (más de 90%), no así para el lote GS donde se estimó que un 22% de los taxones no fueron muestreados.

Los resultados de la rarefacción y extrapolación con los números de Hill ($q=0$, $q=1$ y $q=2$) y los índices de diversidad (Margalef, Shannon-Weiner y Simpson), indican que el uso de chapecas en las entrecalles (Lote Ch y GSb) contribuyó positivamente en la diversidad de insectos de las familias Formicidae, Braconidae y Eulophidae en el periodo de estudio. Posiblemente, la amplia diversidad de arvenses espontaneas presentes en esos lotes favoreció el incremento de la diversidad de insectos, como hormigas (Barbera et al. 2004) y principalmente parasitoides (Bado, 2014). Por otro lado, la aplicación de herbicidas en los lotes Gl y GS pudo generar alteraciones en la vegetación espontánea del cafetal, afectando negativamente la diversidad de insectos de las familias estudiadas (Perfecto & Snelling, 1995).

De acuerdo con los resultados, el lote CBr obtuvo menor diversidad de especies de las tres familias estudiadas. Se deduce que la cobertura *B. ruziziensis* (CBr) no favoreció la diversidad de insectos de estas familias en el periodo de estudio. De la misma manera, Vargas (2020), en un cafetal sembrado con esta cobertura (*B. ruziziensis*), encontró menor diversidad de insectos en comparación con otros dos cafetales. El crecimiento de vegetación espontánea en el lote (CBr), estuvo limitada por la cobertura *B. ruziziensis*. Esto pudo reducir la diversidad de insectos de las familias estudiadas, principalmente de parasitoides, debido a un menor acceso a sitios de refugio y recursos como néctar y polen (Marino & Landis, 1996; Landis et al., 2005).

La similitud (Jaccard) entre lotes fue baja y no supero el 48%. Por tanto, al igual que se mencionó anteriormente para la diversidad, la similitud pudo estar influenciada por el método de control y la composición de arvenses de cada lote. Resultados similares han sido reportados otros cafetales (Barbera et al., 2004; Naranjo & Sáenz, 2011) y en el cultivo de arroz (Ikhsan et al., 2020), con valores de similitud entre 25% y 47%, respectivamente.

7.3. Abundancia para el conjunto de arvenses en cinco lotes tratados con diferentes métodos de control de arvenses

Durante el tiempo que se realizó esta investigación se encontró un 40.4% del total de familias presentes en cafetales de Centroamérica (Cuadro 8) (Girardi, 2020). La flora fue dominada por especies de las familias Asteraceae y Poaceae, similar a lo encontrado en otros cafetales de Costa Rica, Brasil, México y Perú (Castro et al., 2019; Girardi, 2020; Vargas, 2020; Arévalo et al., 2021; Rodrigues et al., 2022). El dominio de estas familias pudo deberse a las interacciones entre el clima y atributos biológicos de estas plantas. Por ejemplo, su dominancia ecológica, producción elevada de propágulos, capacidad de dispersión y tolerancia a la defoliación (Rodrigues et al., 2022).

Dentro de las arvenses que se presentaron en los cinco lotes, *O. corniculata* ha sido reportada como cobertura espontánea, mientras que *C. diffusa* como una cobertura noble en el cultivo de café (Agüero-Alvarado et al. 2018) que protege el suelo y atrae polinizadores debido a su néctar y polen (Arévalo et al., 2021). *Bidens pilosa* fue otra arvense común en los cinco lotes. El difícil control causado por la alta producción semillas (más de 4000/planta) y la resistencia de esta planta a periodos secos, posiblemente influyó en la presencia en todos los lotes (Arévalo et al., 2021).

Brachiaria ruziziensis fue la planta de mayor abundancia en el lote CBr, puesto que fue utilizada como cobertura viva en el lote, esto explica el alto porcentaje de cobertura y la frecuencia en todos los puntos de muestreo (Cuadro 8).

La frecuencia y abundancia de algunas arvenses registradas en los lotes G1 se asoció al uso de este herbicida. La acción del glifosato sobre plantas no objetivo pudo alterar la comunidad de arvenses, esto aumentó la frecuencia y abundancia de otras plantas, principalmente aquellas con tolerancia a este herbicida (Rivera-Ramírez et al., 2021). Como fue el caso de las plantas *I. diffusa* (Puricelli & Faccini, 2009) y *B. pilosa* (Heap & Duke, 2017), reportadas con tolerancia al glifosato.

7.4. Rarefacción y extrapolación con los números de Hill $q=0$, $q=1$ y $q=2$ e índices de diversidad para el conjunto de arvenses en cinco lotes tratados con diferentes métodos de control de arvenses

La cobertura de muestreo fue suficiente (más de 93%) para los cinco lotes (CBr, Gl, Ch, GS y GSb) muestreados en el estudio. Por tanto, se infiere que se obtuvo la mayoría de la riqueza de arvenses presente en estos lotes.

Los resultados de la rarefacción y extrapolación con los números de Hill ($q=0$, $q=1$ y $q=2$) y los índices de diversidad (Margalef, Shannon-Weiner y Simpson) indican, que el uso de chapeas aumentó la diversidad de arvenses en lotes Ch y GSb. Estos lotes presentaron mayor riqueza de arvenses de hoja ancha en comparación con los otros lotes. Similar a lo reportado en cafetales con el mismo control de arvenses (chapeas) (Soto-Pinto et al., 2002; Vargas, 2020). Además, tres arvenses de hoja angosta fueron dominantes y presentaron tolerancia a las chapeas (*P. conjugatum*, *D. ciliaris* y *C. diffusa*). Posiblemente, adaptaciones reproductivas (producción de estolones, raíces en nudos, gran producción de semillas y capacidad de rebrote) expliquen la tolerancia a la chapea de estas arvenses (Ipor & Price, 1992; Acosta & Agüero, 2002; Isaac et al., 2013; Agüero-Alvarado et al., 2018; CABI, 2022).

En contraste, el lote CBr presentó menor diversidad de arvenses entre los lotes. Esto pudo ser por la siembra intencional de la cobertura *B. ruziziensis*, que limitó el crecimiento de mayor diversidad de arvenses. Probablemente, la competitividad de la cobertura limitó el acceso a recursos como luz, agua y nutrientes (Rodrigues et al., 2022). De la misma manera, este comportamiento se ha registrado en cafetales de Costa Rica, sembrados con esa misma cobertura (Vargas, 2020).

La similitud (Jaccard) entre los lotes fue mayor al 25% por lo que se consideran iguales en su composición de arvenses (Mueller-Dombois & Ellenberg, 1974), siendo los lotes Ch-GSb los más similares entre sí (Cuadro 10). Similar a lo encontrado por Rodrigues et al. (2022) en cafetales en época lluviosa. Contrario a esto, Concenço et al. (2014) en un cultivo agroecológico de café (monocultivo) y otro acompañado de banano, obtuvo valores de similitud por debajo de los obtenidos en el presente estudio.

7.5. Relación entre cinco lotes tratados con diferentes métodos de control de arvenses, insectos de las familias Formicidae, Braconidae y Eulophidae; y arvenses.

Durante el estudio se presentaron diversas relaciones entre los lotes, los insectos y las arvenses. El lote CBr (cobertura *B. ruziziensis*) presentó mayor abundancia del género *Pheidole* entre todos los lotes, esto puede estar relacionado al hábitat y a factores de alimentación. Sobre esto Dias et al. (2013), encontraron mayor abundancia y diversidad de hormigas omnívoras del género *Pheidole* en plantaciones de *Brachiaria decumbens*, que en parches de bosque cercanos. Los autores mencionan la presencia de otras plantas en el pastizal, posiblemente, proporcionaron refugio y néctar como fuente de alimento alternativo para las hormigas. Esto concuerda con lo encontrado en el lote CBr, el cual presentó crecimiento de otras arvenses, como *I. diffusa* y *L. virginicum*, que pudieron brindar una fuente alternativa de alimento a hormigas del género *Pheidole*.

De manera similar, la hormiga *S. geminata* se encontró en el lote G1 (uso de glifosato) con mayor abundancia que en los otros lotes. Esta especie prefiere zonas abiertas, monocultivos o cafetales con poca sombra, baja humedad ambiental y del suelo, y con menor presencia de arvenses (Barbera et al., 2002). Entorno parecido al lote G1, donde la cobertura de arvenses eliminada por la aplicación del herbicida glifosato, brindando el hábitat apto para *S. geminata*. Otra relación encontrada, en el lote G1 fue con la arvense *I. diffusa*. Esta especie presentó mayor frecuencia y cobertura en este lote (G1), la razón pudo ser la tolerancia al glifosato. En Argentina esta arvense ha sido reportada con problemas de control y tolerancia a este herbicida, donde se encontró que la dosis para controlarla fue mayor que la requerida para controlar *Convolvulus arvensis*, *Oenothera indecora*, *Parietaria debilis*, *Rumex paraguayensis* y *Trifolium repens* (Puricelli & Faccini, 2009). Por lo tanto, la fuerte relación entre *S. geminata* e *I. diffusa* (Figura 4), así como, la presencia de esas especies en el lote G1 (Figura 5), fueron producto de las condiciones ecológicas favorables para *S. geminata* y la tolerancia de *I. diffusa* al herbicida glifosato.

La relación del lote GS con *C. diffusa* (Figura 5) evidenció que la aplicación del herbicida glufosinato de amonio no fue efectiva contra esta arvense. Sin embargo, se ha reportado que este herbicida es eficiente en el control de *C. diffusa* (Isaac et al., 2007), por lo que, el control en este lote pudo ser afectado por una cobertura deficiente de la aplicación o

debido el lavado del herbicida por la lluvia (Silva et al., 2016), la cual se presentaba en horas tempranas en el lugar de estudio.

Las relaciones de braconidos con arvenses de la familia Asteraceae (Figura 4), se pueden explicar principalmente por la frecuencia y distribución de estas plantas en el campo, y no por los insectos hospederos asociados a esas plantas (Nascimento et al., 2014). Esto concuerda con la distribución de los géneros *Bracon*, *Apanteles* y *Oenonogastra*, cercanos a las asteráceas *B. pilosa* y *A. radicans* (Figura 5). También, para el género *Opius* próximo a la asterácea *Galinsoga* sp. (Figura 5).

Por último, la distribución y cercanía de CBr-Gl y Ch-GS (Figura 5) se pudo deber a la proximidad espacial de los lotes durante la investigación. Por lo que, se infiere que algunas de las relaciones entre los lotes, los insectos y las arvenses, pudieron estar influenciadas por este factor.

8. Conclusiones

Los resultados sugieren que el control de arvenses con chapeas (Lote Ch) contribuyó positivamente con la diversidad de insectos de las familias Formicidae, Braconidae y Eulophidae, al igual que con la diversidad de arvenses. De manera contraria, la cobertura viva *B. ruzizensis* (Lote CBr) no benefició la diversidad de los insectos antes mencionados, ni de las arvenses en esta investigación.

Los formícidos, braconidos y eulófidos se relacionaron con la distribución de las arvenses en el campo. Esta distribución pudo estar influenciada por el método de control de arvenses implementado en cada lote y la cercanía de los lotes entre sí durante el estudio. Se puede concluir que, la aplicación de glufosinato de amonio + saflufenacil en la banda de fertilización y chapeas en la entrecalle (Lote GSb), pudo brindar un balance entre la conservación de la diversidad de los insectos estudiados y el control de arvenses. Esto debido a que presentó los resultados más cercanos al lote más diversos (Ch = chapeas).

Esta investigación puede contribuir a visualizar las implicaciones del manejo de arvenses en la diversidad de insectos de las familias estudiadas. Así, elegir opciones que mantengan o aumenten su diversidad, por tanto, el control biológico de plagas por conservación.

9. Recomendaciones

Realizar comparaciones entre menor cantidad de tratamientos para distribuir mejor el esfuerzo de muestreo.

Aumentar el número de lotes por tratamiento para visualizar con mayor exactitud la influencia de los métodos de control de arvenses sobre la diversidad y abundancia de los grupos de insectos de interés.

Replicar el ensayo en lotes con cafetos de mayor edad y en la época seca, para observar la influencia de esas variables en la dinámica poblacional de las arvenses y los insectos de interés.

10. Anexos

Anexo 1. Fotografías de los principales taxones de insectos encontrados durante los muestreos realizados en Finca La Hilda, Poas de Alajuela en el año 2021.



Pheidole absurda



Pheidole indagatrix



Pheidole pugnax



Pheidole punctatissima



Pheidole subarmata



Brachymyrmex heeri



Solenopsis geminata



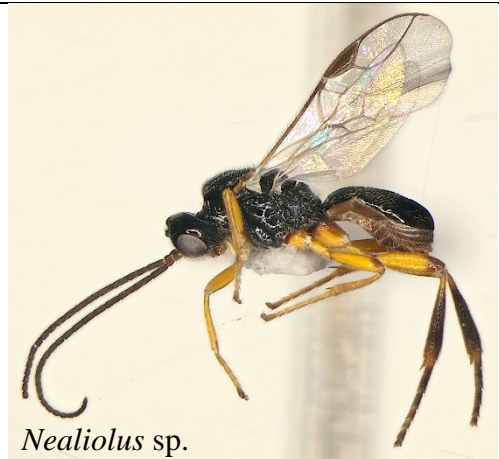
Wasmannia auropunctata



Oenonograstra sp.



Opius sp.



Nealiolus sp.



Bracon sp.



Homolobus sp.



Apanteles sp.

Anexo 2. Análisis de Chi-cuadrado para análisis de correspondencia. El valor de chi cuadrado de independencia entre las dos variables es igual a 676.9284 (p-valor<0.05).

Eigenvalues

	Dim.1	Dim.2	Dim.3	Dim.4
Varianza	0.26	0.22	0.11	0.08
% de la varianza	38.6	33.3	16.5	11.6
% acumulado de la varianza	38.6	71.9	88.4	100

11. Referencias bibliográficas

- Acosta-Arce, L., & Agüero-Alvarado, R. (2002). Combate de *Panicum zizanooides* HBK y *Paspalum conjugatum* Beg. en banano (*Musa AAA*) en el trópico húmedo de Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*, 13(2), 117-121.
- Agüero-Alvarado, R., Rodríguez-Ruiz, A. M., González-Lutz, M. I., Portuguez-García, P., & Brenes-Prendas, S. (2018). Abundancia y cobertura de arvenses bajo manejo convencional y orgánico de café y banano. *Agronomía Mesoamericana*, 29(1), 91-100. <https://doi:10.15517/ma.v29i1.28053>
- Androcioli, H. G., Hoshino, A. T., Menezes Júnior, A. de O., Morais, H., Bianco, R., & Caramori, P. H. (2018). Coffee leaf miner incidence and its predation bay wasp in coffee intercropped with rubber trees. *Coffee Science*, 13(3), 389–400. <https://doi.org/10.25186/cs.v13i3.1487>
- Anzalone, A., & Silva, A. (2010). Evaluación de herbicidas sulfonilureas para el control de malezas en cafetales. *Bioagro*, 22(2), 95-104.
- Arévalo, L., vasco, G., Albino-Bohórquez, A., Morales, J. & Bacca, T. (2021). Coffee crop

- weeds: refuge and food source for pests' natural enemies. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 38(2), 36-49. <https://doi.org/10.22267/rcia.213802.157>
- Bado, S. (2014). Estudios preliminares del efecto del incremento de biodiversidad vegetal sobre la dinámica poblacional de *Caliroa cerasi* L. (Hymenoptera: Tenthredinidae) y *Trichogramma minutum* R. (Hymenoptera: Trichogrammatidae) en un cultivo de cerezo en el vir. *Agronomía y Ambiente*, 34(1-2), 25–36. <http://agronomiayambiente.agro.uba.ar/index.php/AyA/article/view/24>
- Banks, J. E., Hannon, L. M., Dietsch, T. V., & Chandler, M. (2014). Effects of seasonality and farm proximity to forest on Hymenoptera in Tarrazú coffee farms. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services and Management*, 10(2), 128–132. <https://doi.org/10.1080/21513732.2014.905494>
- Barbera, N. M., Hilje, L., Hanson, P., Longino, J. T., Carballo, M., & de Melo, E. (2002). Diversidad de hormigas en sistemas agroforestales de café contrastantes, en Turrialba, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*, 9(35-36), 75–80. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/422>
- Barbera, N., Hilje, L., Hanson, P., Longino, J.T., Carballo, M. & de Melo, E. (2004). Diversidad de especies de hormigas en un gradiente de cafetales orgánicos y convencionales. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*, 72: 60-71 <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/6075>
- Blanco, Y., & Leyva, Á. (2007). Las arvenses en el agroecosistema y sus beneficios agroecológicos como hospederas de enemigos naturales. *Cultivos Tropicales*, 28(2), 21-28. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193217731003>
- Borbón, O. (2005). *Experiencias sobre el manejo de la broca del café en Costa Rica* Simposio sobre situación actual y perspectivas de la investigación y manejo de la broca del café en Costa Rica, Cuba, Guatemala y México. Sociedad Mexicana de Entomología y El Colegio de La Frontera Sur.
- CABI (2022). *Digitaria ciliaris* (southern crabgrass). Invasive Species Compendium. <https://doi.org/10.1079/cabicompendium.18912>
- Carmo, E. L., Bueno, A. F., & Bueno, R. C. O. F. (2010). Pesticide selectivity for the insect egg parasitoid *Telenomus remus*. *BioControl*, 55(4), 455–464. <https://doi.org/10.1007/s10526-010-9269-y>

- Carvalho, C. F., Carvalho, S. M., & Souza, B. (2019). Coffee. En B. Souza, L. Vázquez & R. Marucci (Ed.), *Natural Enemies of Insect Pests in Neotropical Agroecosystems* (pp. 277-291). Springer, Cham. https://doi-org.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr/10.1007/978-3-030-24733-1_23
- Chao, A., Gotelli, N.J., Hsieh, T.C., Sander, E.L., Ma, K.H., Colwell, R.K. & Ellison, A.M. (2014). Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: a framework for sampling and estimation in species diversity studies. *Ecological Monographs*, 84(1), 45-67.
- Chao, A., Ma, K. H., & Hsieh, T.C. (2016). *iNEXT (iNterpolation and EXTrapolation) Online: Software for Interpolation and Extrapolation of Species Diversity* [Software de computadora] Program and User's Guide published at http://chao.stat.nthu.edu.tw/wordpress/software_download/inext-online/.
- Concenço, G., Motta, I. S., Correia, I. V. T., Santos, S. A., Mariani, A., Marques, R. F., Palharini, W.G. & Alves, M. E. S. (2014). Infestation of weed species in monocrop coffee or intercropped with banana, under agroecological system. *Planta Daninha*, 32(4), 665–674. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582014000400001>
- Comité Sectorial Agropecuario de la Región Central Occidental. (2018). Plan Regional de Acciones Climáticas y Gestión de Riesgos 2018-2022. http://www.infoagro.go.cr/InfoRegiones/Documents/PACGR_2018-2022_RegionCentralOccidental.pdf
- Daly, A. J., Baetens, J. M., & De Baets, B. (2018). Ecological diversity: measuring the unmeasurable. *Mathematics*, 6(7), 28. <https://doi.org/10.3390/math6070119>
- Daniati, C., Karindah, S., & Puspitarini, R. (2018). Three Species of Weeds Enhance the Population of Predator and Parasitoid of Coffee Berry Borers. *Biosaintifika: Journal of Biology and Biology Education*, 10(1), 229–236. <https://doi.org/10.15294/biosaintifika.v10i1.12076>
- Daniel, W. W., & Cross, C. L. (2018). *Biostatistics: a foundation for analysis in the health sciences*. Wiley.
- Dias, N. D. S., Zanetti, R., Santos, M. S., Peñaflor, M. F. G. V., Broglio, S. M. F., & Delabie, J. H. C. (2013). The impact of coffee and pasture agriculture on predatory and omnivorous leaf-litter ants. *Journal of Insect Science*, 13(1), 29. <https://doi.org/10.1673/031.013.2901>

- Fernández F. 2003. *Introducción a las Hormigas de la región Neotropical*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Gaston, K. J., Gauld, I. D., & Hanson, P. (1996). The size and composition of the hymenopteran fauna of Costa Rica. *Journal of Biogeography*, 23(1), 105–113. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2699.1996.00978.x>
- Gil-Tapetado, D., Cabrero-Sañudo, F. J., Gómez, J. F., Askew, R. R., & Nieves-Aldrey, J. L. (2020). Differences in native and introduced chalcid parasitoid communities recruited by the invasive chestnut pest *Dryocosmus kuriphilus* in two Iberian territories. *Bulletin of Entomological Research*, 111, 307-322. <https://doi.org/10.1017/S000748532000067X>
- Girardi, J. 2020. Evaluation of different species of cover crops as a sustainable strategy for weed management and soil fertility preservation in high quality coffee plantation (*Coffea arabica*) in Costa Rica. [Tesis de maestría]. Universidad de Pisa
- Gutiérrez-Martínez, P. R. (2014). Clave para la identificación de las subfamilias y los géneros de hormigas (Hymenoptera: Formicidae) de Costa Rica. *UNED Research Journal/Cuadernos de Investigación UNED*, 6(1), 105-123. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=515651795012>
- Hammer, O., Harper, D., Ryan, P. (2001). *PAST: Palentological Software Package for Data Analysis and Education*. [Software de computadora]. Paleontología Electrónica. https://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm
- Hanson, P. E., & Gauld, I. D. (1995). *The Hymenoptera of Costa Rica*. Oxford University Press.
- Hanson, P. E., & Longino, J. T. (2006). Hormigas (Formicidae). En Hanson, P.E., & Gauld, I.D. (2006). *Hymenoptera de la Región Neotropical*. (pp.644-694). Memoirs of American Entomological Institute.
- Heap, I., & Duke, S. O. (2017). Overview of glyphosate-resistant weeds worldwide. *Pest Management Science*, 74(5), 1040–1049. <https://doi.org/10.1002/ps.4760>
- Hutcheson, K. (1970). A test for comparing diversities based on the Shannon formula. *Journal of Theoretical Biology* 29(1):151-154. [https://doi.org/10.1016/0022-5193\(70\)90124-4](https://doi.org/10.1016/0022-5193(70)90124-4)

- Ikhsan, Z., Hidrayani, Yaherwandi, & Hamid, H. (2020). The diversity and abundance of Hymenoptera insects on tidal swamp rice field in Indragiri Hilir district, Indonesia. *Biodiversitas*, *21*(3), 1020–1026. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d210323>
- Instituto del Café de Costa Rica. (2021). Informe sobre la Actividad Cafetalera de Costa Rica. <https://www.icafe.cr/sector-cafetalero/informacion-de-mercado/informes-de-la-actividad-cafetalera/>
- Ipor, I. B. & Price, C. E. (1992). Shading Effects on Growth and Partitioning of Plant Biomass in *Paspalum conjugatum* Berg. *Biotropia*, *6*(55-65).
- Isaac, W. A. P., Brathwaite, R. A. I., Cohen, J. E., & Bekele, I. (2007). Effects of alternative weed management strategies on *Commelina diffusa* Burm. infestations in Fairtrade banana (*Musa* spp.) in St. Vincent and the Grenadines. *Crop Protection*, *26*(8), 1219–1225. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2006.10.019>
- Isaac, W.A., Gao, Z., & Li, M. (2013). Managing *Commelina* Species: Prospects and Limitations. En Price, A. & Kelton, J. *Herbicides - Current Research and Case Studies in Use*. <http://dx.doi.org/10.5772/55842>
- Jost, L., & González-Oreja, J. (2012). Midiendo la diversidad biológica: más allá del índice de Shannon. *Acta Zoológica Lilloana*, *56*(1-2), 3–14. <http://www.lillo.org.ar/journals/index.php/acta-zoologica-lilloana/article/view/240>
- Kerrich, G. J. (1969). Systematic studies on Eulophid parasites (Hymenoptera, Chalcidoidea), mostly of coffee leaf-miners in Africa. *Bulletin of Entomological Research*, *59*(2), 195–228. <http://doi.org.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr:2048/10.1017/S0007485300003163>
- Khan, M. A., & Ruberson, J. R. (2017). Lethal effects of selected novel pesticides on immature stages of *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Pest Management Science*, *73*(12), 2465–2472. <https://doi.org/10.1002/ps.4639>
- Lacoume, S., Bressac, C., & Chevrier, C. (2009). Male hypofertility induced by Paraquat consumption in the non-target parasitoid *Anisopteromalus calandrae* (Hymenoptera: Pteromalidae). *Biological Control*, *49*(3), 214–218. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2009.02.002>

- Landis, D. A., Menalled, F. D., Costamagna, A. C., & Wilkinson, T. K. (2005). Manipulating plant resources to enhance beneficial arthropods in agricultural landscapes. *Weed Science*, 53(6), 902-908. <https://doi.org/10.1614/WS-04-050R1.1>
- Leite, S. A., Narciso, R., Guedes, C., Pereira, M., Lemos, O. L., & Castellani, M. A. (2020). Profile of Coffee Crops and Management of the Neotropical Coffee Leaf Miner, *Leucoptera coffeella*. *Sustainability*, 12(19), 1-14. <https://doi:10.3390/su12198011>
- Marino, P.C. & Landis, D.A. (1996). Effect of landscape structure on parasitoid diversity and parasitism in agroecosystems. *Ecological Applications*, 6(1), 276–284. <https://doi.org/10.2307/2269571>
- Mata, R., Rosales A., Vásquez, A., Sandoval, D. (2013). Mapa de Órdenes de Suelos de Costa Rica [2 Ed.]. <http://www.cia.ucr.ac.cr/es/mapa-de-suelos-de-costa-rica>
- Medrano, J. M., Hernández, F., Rivas, S., & Najera, J. (2017). Diversidad arbórea a diferentes niveles de altitud en la región de El Salto, Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 8(40), 57-68. doi: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v8i40.36>.
- Mexzón, R. (1997). Algunas pautas de manejo de las malezas para incrementar los insectos benéficos en el cultivo de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacquin). *Agronomía Mesoamericana*, 8(2), 21-32. <https://doi.org/10.15517/am.v8i2.24653>
- Mexzón, R. G., & Chinchilla, C. (2003). Especies vegetales atrayentes de la entomofauna benéfica en plantaciones de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en Costa Rica. *Revista Palmas*, 24(1), 33-57. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/951>
- Mollèr, G., Keasar, T., Shapira, I., Möller, D., Ferrante, M., & Segoli M. (2021). Effect of Weed Management on the Parasitoid Community in Mediterranean Vineyards. *Biology*, 10(1), 7. <https://dx.doi.org/10.3390/biology10010007>
- Moreno, C. E. (2001). Métodos para medir la biodiversidad. M&T–Manuales y Tesis SEA, (1ª edición.).
- Morris, J. R., & Perfecto, I. (2016). Testing the potential for ant predation of immature coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) life stages. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 233, 224–228. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.09.018>
- Mueller-Dombois, D. & Ellenberg, H. (1974). *Aims and methods of vegetation ecology*. John Wiley & Sons.

- Naranjo, N & Sáenz, A. (2011). Parasitoides (Hymenoptera) asociados a coberturas vegetales de sistemas productivos en el eje cafetero colombiano. *Boletín de la SEA*, 48, 359–365. http://sea-entomologia.org/Publicaciones/PDF/BOLN_48/359365BSEA48ParasitoidesColombia.pdf.
- Naranjo, S. E. (2008). *Sampling Arthropods*. En J. L. Capinera (Ed.). *Encyclopedia of Entomology* (pp. 3231–3246). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6359-6_4014
- Nascimento, A. R., Almeida-Neto, M., Almeida, A. M., Fonseca, C. R., Lewinsohn, T. M., & Penteado-Dias, A. M. (2014). Parasitoid Wasps in Flower Heads of Asteraceae in the Brazilian Cerrado: Taxonomical Composition and Determinants of Diversity. *Neotropical Entomology*, 43(4), 298–306. <https://doi.org/10.1007/s13744-014-0218-9>
- Nastasi, L. F., R. L. Kresslein, K. O. Fowler & S. R. Fernández Flores (2023). *Biodiversity & classification of wasps*. The Pennsylvania State University. <https://doi.org/10.26207/ax00-rk88>
- Ngo, H.T., Gibbs, J., Griswold, T., & Packer, L. (2013). Evaluating bee (Hymenoptera: Apoidea) diversity using *Malaise* traps in coffee landscapes of Costa Rica. *Entomological Society of Canada*, 145(4), 435-453. <https://doi.org/10.4039/tce.2013.16>
- Norris, R. F., & Kogan, M. (2000). Interactions between weeds, arthropod pests, and their natural enemies in managed ecosystems. *Weed Science*, 48(1), 94-158. [https://doi.org/10.1614/0043-1745\(2000\)048\[0094:IBWAPA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0043-1745(2000)048[0094:IBWAPA]2.0.CO;2)
- Pazini, J. de B., Grützmacher, A. D., Martins, J. F. da S., Pasini, R. A., & Rakes, M. (2016). Selectivity of pesticides used in rice crop on *Telenomus podisi* and *Trichogramma pretiosum*. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 46(3), 327–335. <https://doi.org/10.1590/1983-40632016v4640844>
- Perfecto, I., & Snelling, R. (1995). Biodiversity and the Transformation of a Tropical Agroecosystem: Ants in Coffee Plantations. *Ecological Applications*, 5(4), 1084–1097. <https://doi.org/10.2307/2269356>

- Puricelli, E. & Faccini, D. (2009). Efecto de la dosis de glifosato sobre la biomasa de malezas de barbecho al estado vegetativo y reproductivo. *Planta Daninha*, 27(2), 303–307. <http://doi.org/10.1590/S0100-83582009000200013>
- Ramírez-Valerio, D & García-Jiménez, F. (2021). Manejo del minador de la hoja (*Leucoptera coffeella*) en el cultivo de café en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 45(2), 143-152. <https://dx.doi.org/10.15517/rac.v45i2.47775>
- Rivera-Ramírez, I., Ríos-De la Cruz, A., Bravo-Avilez, D., Bernal-Ramírez, L. A., Velázquez-Cárdenas, Y., de Santiago-Gómez, J. R. & Rendón-Aguilar, B. (2021). Riqueza, abundancia y composición de arvenses en parcelas sujetas a diferentes prácticas agrícolas en la Alcaldía de Cuajimalpa, Ciudad de México. *Revista Etnobiología*, 19(1), 129-155.
- Rodrigues, R. J., Carvalho, G. R., Gonçalves, A. H., Carvalho, J. P. F., Alcântara, E. N. D., & Resende, L. S. (2022). Phytosociology of weeds on Cerrado Mineiro coffee growing farms. *Advances in Weed Science*, 40, 1-12. <https://doi.org/10.51694/AdvWeedSci/2022;40:00013>
- R Core Team (2022). *R: A language and environment for statistical computing*. [Software de computadora]. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>.
- Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria. (2022). Boletín Estadístico Agropecuario Serie Cronológica 2018-2021 Edición N° 32. <http://www.infoagro.go.cr/EstadisticasAgropecuarias/Paginas/BoletinesEstadisticos.aspx>
- Sharma, A., Jha, P., & Reddy, G. V. P. (2018). Multidimensional relationships of herbicides with insect-crop food webs. *Science of the Total Environment*, 643, 1522–1532. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.312>
- Silva, I. P. D. F., Carbonari, C. A., Velini, E. D., Silva Jr, J. F., Tropaldi, L., & Gomes, G. L. G. C. (2016). Velocidad de absorción del glufosinato y sus efectos en malezas y algodón. *Agrociencia*, 50(2), 239-249.
- Singh, S. (2005). Description of a new species of *Euderus* (Hymenoptera: Chalcidoidea: Eulophidae), an egg parasitoid of *Alcidodes ludificator* (Coleoptera: Curculionidae) a pest of *Gmelina arborea*. *Entomon*, 30(4), 321-326.

- Soto-Pinto, L., Perfecto, I. & Caballero-Nieto, J. (2002). Shade over coffee: its effects on berry borer, leaf rust and spontaneous herbs in Chiapas, Mexico. *Agroforestry Systems* 55, 37–45. <https://doi.org/10.1023/A:1020266709570>
- Uhler, J., Haase, P., Hoffmann, L., Hothorn, T., Schmidl, J., Stoll, S., Welti, E., Buse, J., Müller, J. (2022). A comparison of different *Malaise* trap types. *Insect Conservation and Diversity*, 15, 666–672 1–7. <https://doi.org/10.1111/icad.12604>
- Vargas, J. (2020). Relación de las arvenses acompañantes al cultivo del café (*Coffea arabica* L.) con la presencia de los enemigos naturales de la broca (*Hypothenemus hampei* Ferrari, Coleoptera: Curculionidae) durante la época seca en Finca La Hilda, San Pedro de Poás, Alajuela, para su futura implementación en una estrategia de control biológico conservativo. [Tesis de licenciatura]. Universidad de Costa Rica.
- Varón, E. H., Hanson, P., Borbón, O., Carballo, M., & Hilje, L. (2004). Potencial de hormigas como depredadoras de la broca del café (*Hypothenemus hampei*) en Costa Rica. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*, 73, 42–50.
- Velasco, Y. A. M., Roperó, M. C. G., & Armbrecht, I. (2010). Interacciones entre hormigas e insectos en follaje de cafetales de sol y sombra, Cauca-Colombia. *Revista Colombiana de Entomología*, 36(1), 116–126. <https://search-proquest-com.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr/scholarly-journals/interacciones-entre-hormigas-e-insectos-en/docview/861836895/se-2>
- Vélez, M., Zenner, I. & Posada, F. J. (2009). *Hormigas: enemigos naturales de la broca del café*. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales <http://hdl.handle.net/20.500.12324/13553>.
- Wharton, R., P. Marsh, M. Sharkey, P. Dangerfield, D. Quicke, S. Shaw, C. Achtenberg & J. Whitfield. (1997). *Manual of the New World Genera of the Family Braconidae (Hymenoptera)*. The International Society of Hymenopterists.