



## Asociación entre entomofauna y arvenses en caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.)<sup>1</sup>

### Association between entomofauna and weeds in sugarcane (*Saccharum officinarum* L.)

Ángela S. Sáenz<sup>2</sup>, Eduardo Cadet-Piedra<sup>3</sup>, Robin Gómez-Gómez<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Recepción: 27 de junio, 2022. Aceptación: 3 de marzo, 2023. Este trabajo formó parte de la tesis de Licenciatura de la primera autora y del proyecto de investigación 736-B9-111, ambos de la Universidad de Costa Rica.

<sup>2</sup> Universidad de Costa Rica, Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit. Alajuela, Costa Rica. [angela.maria.ss@gmail.com](mailto:angela.maria.ss@gmail.com) (<https://orcid.org/0000-0002-6703-4059>).

<sup>3</sup> Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar. Grecia, Alajuela. [ecadet@laica.co.cr](mailto:ecadet@laica.co.cr) (<https://orcid.org/0000-0001-5043-485X>).

<sup>4</sup> Universidad de Costa Rica, Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit. Alajuela, Costa Rica. [robin.gomezgomez@ucr.ac.cr](mailto:robin.gomezgomez@ucr.ac.cr) (autor para correspondencia, <https://orcid.org/0000-0002-8543-8137>).

## Resumen

**Introducción.** Las arvenses del cultivo de caña de azúcar pueden servir como reservorios de una gran cantidad de insectos benéficos útiles para el control biológico de plagas. **Objetivo.** Estudiar la asociación entre insectos benéficos y arvenses presentes en bordes de cañales. **Materiales y métodos.** Se realizaron visitas mensuales desde abril hasta diciembre del 2018, a dos sitios, El Palmar y Turrialba, dos regiones cañeras de Costa Rica. Se seleccionaron veinte puntos de muestreo al azar en donde se aspiraron todos los insectos contenidos en una estructura cuboide de 0,25 m<sup>3</sup>. Se identificaron las especies de plantas, así como las familias y morfoespecies de insectos presentes; estos últimos se clasificaron de acuerdo con su hábito alimenticio. Luego, se realizó un análisis de co-ocurrencia entre arvenses e insectos. **Resultados.** Se identificaron 140 especies de arvenses pertenecientes a 41 familias, 83 especies en El Palmar y 120 en Turrialba. La diversidad y riqueza de arvenses fue mayor en Turrialba. Se identificaron 13 689 artrópodos distribuidos en 137 familias; la diversidad, riqueza y abundancia en ambos sitios fue similar. Las familias Poaceae y Cicadellidae fueron identificadas con mayor frecuencia en ambas zonas. En el análisis de co-ocurrencia la arvense *Kyllinga brevifolia* Rottb., presentó una asociación positiva ( $p < 0,05$ ) con las familias de insectos depredadores Coccinellidae, Syrphidae y Dolichopodidae. La familia de insectos parasitoides Eulophidae se asoció con ocho especies de arvenses. **Conclusiones.** Se determinó asociación entre especies de arvenses e insectos benéficos en el cultivo de caña de azúcar, por lo que se puede asociar su papel al mantenimiento de las poblaciones de enemigos naturales para el control de plagas.

**Palabras clave:** servicios ecosistémicos, insectos benéficos, enemigos naturales, agrobiodiversidad.

## Abstract

**Introduction.** Weeds in sugarcane crops can serve as reservoirs of a wide variety of beneficial insects that are useful for biological pest control. **Objective.** To study the association between beneficial insects and weeds present in



sugarcane field edges. **Materials and methods.** Monthly visits were conducted from April to December 2018 in two sites, El Palmar and Turrialba, two sugarcane regions in Costa Rica. Twenty random sampling points were selected where all insects within a cubic structure of 0,25 m<sup>3</sup> were aspirated. Plant species were identified, as well as the families and morphospecies of insects present; the latter were classified based on their feeding habits. Subsequently, a co-occurrence analysis between weeds and insects was performed. **Results.** A total of 140 species belonging to 41 families were identified, with 83 species in El Palmar and 120 in Turrialba. Weed diversity and richness was higher in Turrialba. A total of 13 689 arthropods distributed across 137 families were identified; the diversity, richness, and abundance showed similarity between both sites. The families Poaceae and Cicadellidae were the most frequently identified in both areas. In the co-occurrence analysis, the weed *Kyllinga brevifolia* Rottb. exhibited a positive association ( $p < 0.05$ ) with predator insect families such as Coccinellidae, Syrphidae, and Dolichopodidae. Additionally, the parasitoid insect family Eulophidae was associated with eight weed species. **Conclusions.** The study revealed an association between weed species and beneficial insects in sugarcane cultivars, suggesting their role in maintaining populations of natural enemies for pest control.

**Keywords:** ecosystem services, beneficial insects, natural enemies, agrobiodiversity.

## Introducción

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) es un cultivo de gran importancia económica en el mundo, actualmente 110 países producen azúcar a partir de caña y el azúcar crudo comprende el 60 % del volumen del comercio internacional (International Sugar Organization [ISO], 2020). En Costa Rica el 17 % del área sembrada en cultivos permanentes corresponde a caña de azúcar (Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC], 2015). Entre las causas más importantes de la disminución de rendimiento en la producción de azúcar se encuentra el daño causado por insectos plagas (Badilla & Gómez, 2003; Cadet Piedra et al., 2016; Mendoza et al., 2013; Salazar et al., 2006).

Uno de los métodos más importantes en Costa Rica para el manejo integrado de plagas en caña de azúcar es el control biológico; el sector cañero utiliza de forma periódica la liberación de avispas parasitoides *Cotesia flavipes* Cameron (Hymenoptera: Braconidae), que parasita larvas de *Diatraea* spp., plaga importante barrenadora del tallo de la caña de azúcar (Salazar et al., 2016). Además, en las arvenses que crecen en los bordes de las plantaciones de caña, se ha observado la presencia de controladores biológicos nativos que utilizan tales plantas como refugio y alimento (Bustillo Pardey, 2013; Salazar, 2019).

Algunas arvenses comunes en lotes donde se siembra la caña, pueden servir de hospederas a insectos taxonómicamente similares a las plagas de caña de azúcar, lo que las convierte en hospederas alternos a enemigos naturales. El establecimiento de distintos eslabones y cadenas tróficas a través del tiempo, puede optimizar el establecimiento de enemigos naturales, lo que se traduce en servicios ecosistémicos importantes (Jones & Snyder, 2018). Como ejemplo, en caña de azúcar se reportó un incremento en el parasitismo de plagas de hasta un 65 % en áreas donde no se aplicó herbicidas para eliminar la vegetación nativa (Topham & Beardsley, 1975).

Distintos autores han reportado el efecto de arvenses circundantes en la disminución del ataque de plagas en varios cultivos (Banks, 2000; Boccaccio & Petacchi, 2009; Burgio, 2007; Costanzo & Bàrberi, 2013; Lamp et al., 1984; Oloumi-Sadeghi et al., 1987). La compleja red de interacciones que resulta del establecimiento de cadenas tróficas en el agroecosistema es la respuesta del ambiente para el control biológico de insectos plaga.

La presencia de insectos fitófagos es una muestra de un eslabón de las cadenas tróficas, estos pueden funcionar como hospederas alternos a parasitoides y depredadores cuando las plagas del cultivo aún no están presentes (Jones & Snyder, 2018; Norris & Kogan, 2005). Los insectos fitófagos de los subórdenes Sternorrhyncha y

Auchenorrhyncha producen ligamaza, que es la secreción de un compuesto azucarado que contiene carbohidratos, aminoácidos y agua derivado del floema de las plantas, el cual es un importante recurso para insectos benéficos que se alimentan principalmente de proteína y aquellos con altas demandas energéticas como insectos voladores (Styrsky & Eubanks, 2007; Wäckers et al., 2005).

El néctar floral también es considerado un importante suplemento energético, sin embargo, este es dependiente del estado fenológico de las arvenses cercanas al cultivo, por lo que la diversidad de plantas que lo produzcan es de suma importancia en el ambiente. Además, este tipo de plantas pueden incrementar la secreción de compuestos más ricos y con mayor contenido de aminoácidos en respuesta al ataque de herbívoros, con la función de atraer enemigos naturales que ayuden a disminuir las poblaciones de fitófagos (Rudgers & Gardener, 2004; Wäckers et al., 2005). Se ha reportado también una mayor longevidad y capacidad reproductiva en depredadores que se alimentan de polen o de néctar (Takasu & Lewis, 1995).

Costa Rica presenta distintas regiones de producción de caña de azúcar que difieren entre sí por su topografía y condiciones edafoclimáticas. En este estudio se consideraron dos sitios: El Palmar en el Pacífico Central a 20 m s. n. m. y Turrialba en la provincia de Cartago, que se encuentra a 625 m s. n. m. La flora arvense presente en el Pacífico Central es representativa de otras zonas productoras de caña como el Pacífico Norte y Sur, mientras que las arvenses que se encuentran en la zona de Turrialba, son representativas de aquellas presentes en la zona Norte y el Valle Central (Soto-Saenz, 2018).

Debido a que una comunidad de diversas plantas puede estimular una mayor diversidad y abundancia de enemigos naturales que potencialmente disminuyan la incidencia de plagas en el cultivo, el objetivo de esta investigación fue estudiar la asociación entre insectos benéficos y arvenses presentes en bordes de plantaciones de cañales.

## Materiales y métodos

El estudio se realizó en dos sitios: El Palmar, ubicado en el Pacífico Central, a una altitud de 20 m s. n. m. (10°1'35,60" N; 84°46'59,15" O), y Turrialba, Cartago a 625 m s. n. m. (9°50'8,50" N; 83°39'17,86" O). Estos sitios son representativos de dos de las ocho regiones productoras de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) de Costa Rica con diferente topografía y condiciones edafoclimáticas.

Se realizó una evaluación mensual desde abril hasta diciembre del 2018 en bordes de lotes con caña soca (plantas provenientes de un retoño que habían sido cortadas la temporada anterior), que tenían de uno a dos meses de edad al momento de la primera evaluación, mientras que la última evaluación se realizó cuando el dosel de la plantación ya había cerrado y no había ingreso de maquinaria ni disturbio dentro del cultivo. El periodo de estudio abarcó los meses de transición entre época seca y lluviosa, época lluviosa y transición entre época lluviosa y seca en ambos sitios, así como todas las etapas fenológicas del cultivo hasta maduración.

En cada evaluación se muestrearon veinte puntos por sitio, distribuidos aleatoriamente entre los bordes de los diferentes lotes de la plantación. En cada punto se colocó una estructura cuboide de 0,25 m<sup>3</sup> envuelta en malla anti-áfidos. Se realizó un aspirado durante un minuto de todos los insectos presentes dentro de la estructura, por medio de un soplador de hojas modificado para aspirar (Cherrill, 2015; Dođramaci et al., 2011; Zou et al., 2016). En el extremo del aspirador se introdujo una bolsa de 20 cm x 15 cm, confeccionada con malla anti-áfidos, donde se recolectaron los insectos aspirados, estos se conservaron por punto de muestreo en bolsas plásticas de sello doble y se preservaron en frío para su posterior identificación según su familia, morfoespecie y hábito alimenticio. En cada punto se identificaron también las arvenses presentes. Para la identificación de los ejemplares se utilizaron claves taxonómicas y consultas a expertos nacionales e internacionales.

Los datos obtenidos fueron analizados por medio de los programas estadísticos SAS 9.4 (SAS Institute Inc, 2013) y R versión 3.6.1 (R Core Team, 2019). Por medio de los paquetes Vegan (Dixon, 2003) y BiodiversityR (Kindt & Coe, 2005), se realizaron los análisis de diversidad de morfoespecies de insectos y especies de arvenses

al calcular el índice de Shannon-Wiener. También se comparó la abundancia y riqueza de morfoespecies por familia de insectos y plantas, por medio de la frecuencia de aparición acumulada en cada sitio.

Se realizó un análisis de probabilidad de ocurrencia conjunta entre las arvenses identificadas y aquella entomofauna clasificada como parasitoide o depredadora, con la ayuda del paquete estadístico Cooccur (Griffith et al., 2016). Se relacionó la probabilidad de observar ciertas familias de insectos en ciertas especies de arvenses y se obtuvo el valor de probabilidad de co-ocurrencia, se consideró como una asociación significativa positiva aquellos valores donde  $p < 0,05$  (Griffith et al., 2016).

## Resultados

### Condiciones climáticas de los sitios de estudio

De acuerdo con los datos del Instituto Meteorológico Nacional (Solano León, 2018) en la zona del Pacífico Central, la estación lluviosa se estableció en el mes de abril, la transición entre lluviosa a seca se observó en el mes de octubre (Morera Rodríguez, 2018), se dio un evento precipitación en este mes (Poleo Brito, 2018), pero la estación seca inició en noviembre, condición que se pudo evidenciar al observar el cese de lluvias a partir de este mes (Figura 1).

Con respecto a los datos de precipitación (Figura 2) de la zona de Turrialba, se puede considerar que cuando iniciaron los muestreos, el área se encontraba en la estación seca, el inicio de la estación lluviosa empezó a principios de mayo, seguido por una época con menor cantidad de eventos de lluvia en noviembre, donde se inició la transición a la temporada seca.

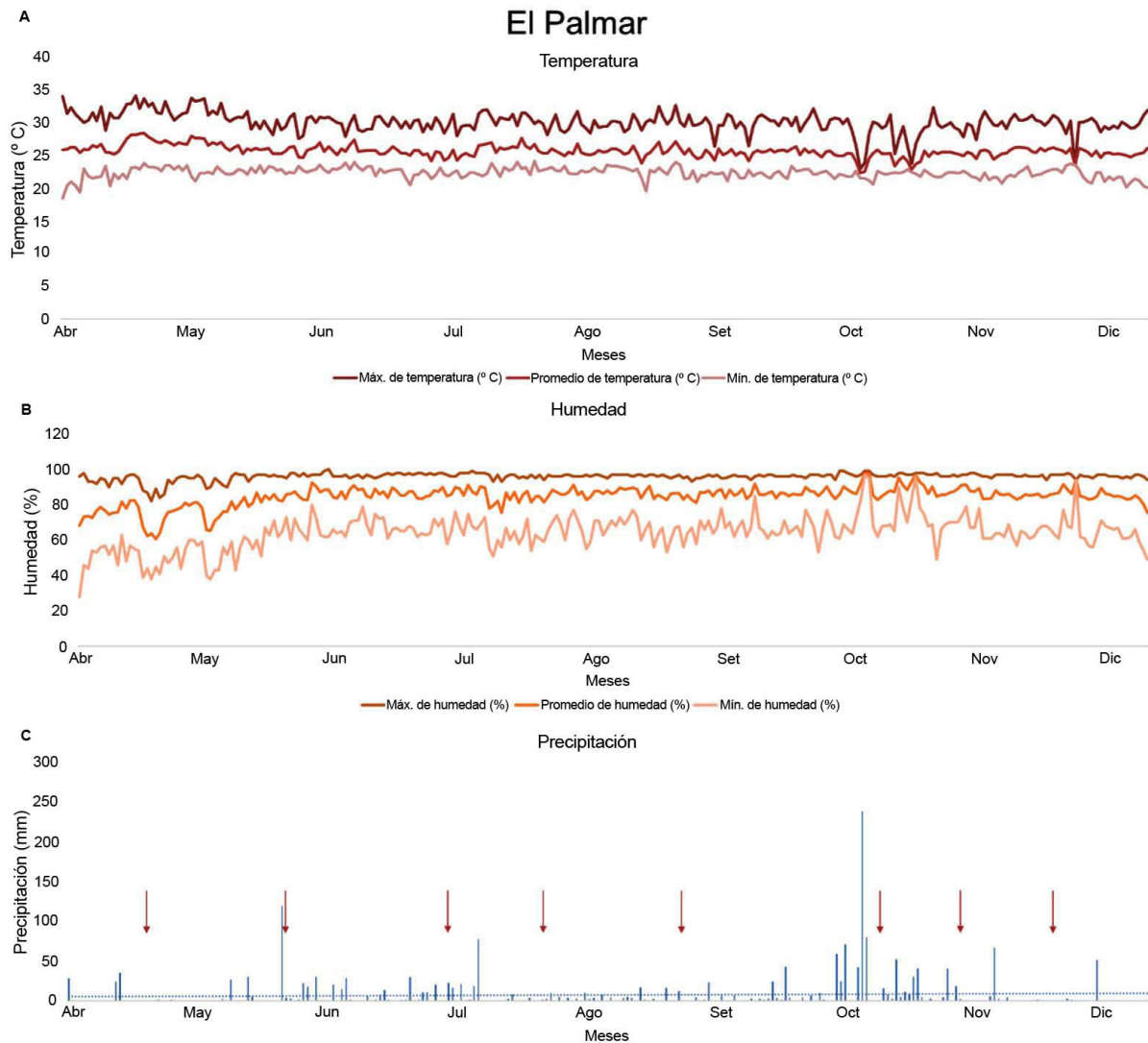
### Diversidad y ocurrencia de las arvenses

Se identificaron en ambas regiones en conjunto 157 especies de arvenses pertenecientes a 41 familias. En El Palmar se identificaron 83 especies, mientras que en Turrialba se identificaron 120 especies, en cada una de estas zonas se identificaron 33 familias.

La diversidad de arvenses fue mayor en Turrialba, se obtuvo un valor del índice de Shannon de 4,00 y de riqueza de 120 arvenses (Cuadro 1), mientras que en El Palmar el valor de Shannon fue 3,62 y el de riqueza de 83 especies (Cuadro 1).

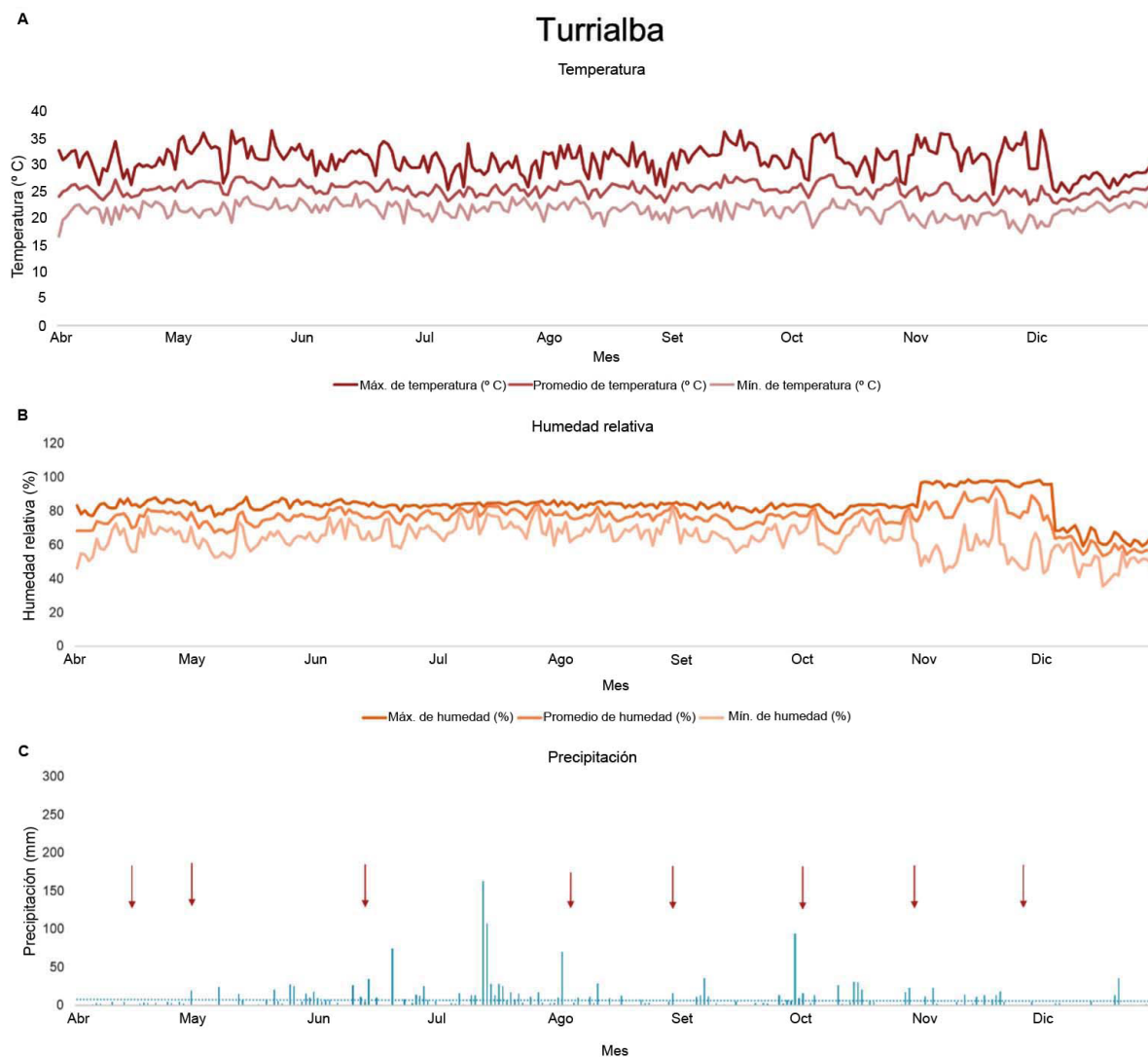
En ambos sitios se observó una tendencia de aumento en la diversidad de arvenses a lo largo del tiempo, excepto en el mes de agosto en Turrialba (Figura 3). Se encontraron diferencias significativas entre sitios en los meses de abril, octubre y diciembre ( $p=0,0389$ ;  $p=0,0002$  y  $p=0,0319$ , respectivamente).

Los individuos de la familia Poaceae se presentaron con mayor frecuencia en El Palmar (50 % de todas las evaluaciones) en comparación con Turrialba (28 %). Además, en El Palmar (Figura 4a) se identificaron especies de las familias Euphorbiaceae, Cucurbitaceae y Cleomaceae, que no se observaron entre las primeras cinco en Turrialba (Figura 4b). Las arvenses de la familia Cyperaceae fueron las terceras más importantes en ambos sitios, sin embargo, en Turrialba se encontraron el triple de veces que en El Palmar (Figura 4).



**Figura 1.** Datos meteorológicos de temperatura (°C) (A), humedad relativa (%) (B) y precipitación diaria acumulada (mm) (C), recolectados por una estación meteorológica del Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica localizada en Aranjuez de Puntarenas, Costa Rica. Las flechas indican las fechas de muestreo. Pacífico Central, 2018.

**Figure 1.** Weather data of temperature (°C) (A), relative humidity (%) (B), and accumulated daily precipitation (mm) (C), collected by a weather station of the Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica located in Aranjuez of Puntarenas, Costa Rica. The arrows point out the collection dates. Central Pacific, 2018.



**Figura 2.** Datos meteorológicos de temperatura (°C) (A), humedad (%) (B) y precipitación diaria acumulada (mm) (C), recolectados por una estación meteorológica localizada en la Suiza de Turrialba, Costa Rica. Las flechas indican las fechas de muestreo. Cartago, 2018.

**Figure 2.** Weather data for temperature (°C) (A), relative humidity (%) (B), and accumulated daily precipitation (mm) (C), collected by a weather station located in La Suiza of Turrialba, Costa Rica. The arrows point out the collection dates. Cartago, 2018.

### Diversidad y ocurrencia de la entomofauna benéfica

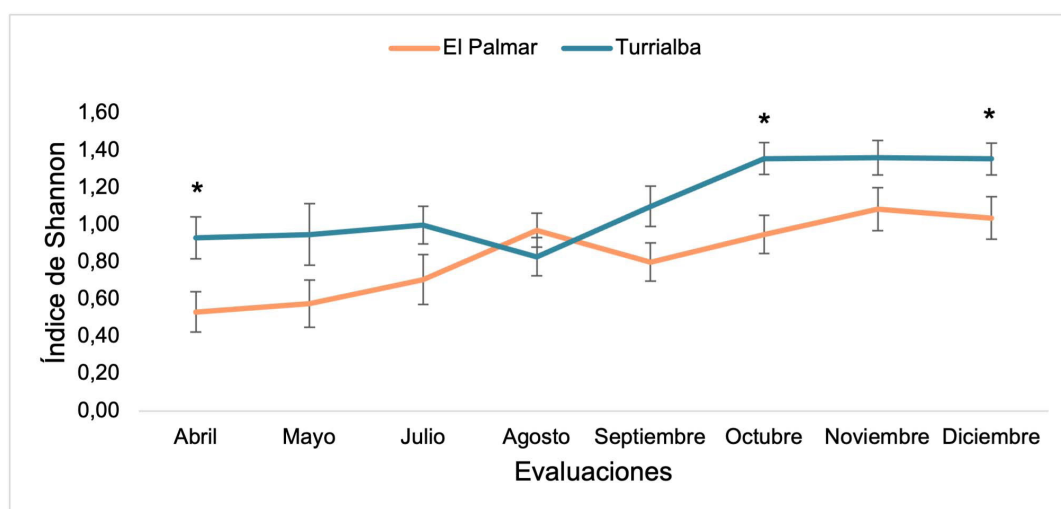
En total se identificaron 13 689 insectos pertenecientes a 137 familias y 22 órdenes (Cuadro 2).

Ambos sitios presentaron valores de diversidad, riqueza (cantidad de morfoespecies) y abundancia acumulada de insectos similares (Cuadro 3).

**Cuadro 1.** Cantidad de familias, géneros y especies de arvenses identificadas en las áreas de El Palmar y Turrialba entre abril y diciembre del 2018. Pacífico Central y Cartago, Costa Rica. 2018.

**Table 1.** Number of families, genera, and species of weeds identified in the areas of El Palmar and Turrialba between April and December 2018. Central Pacific and Cartago, Costa Rica. 2018.

Sitio	Familias	Géneros	Especies
El Palmar	33	58	83
Turrialba	33	86	120
Total	41	105	157



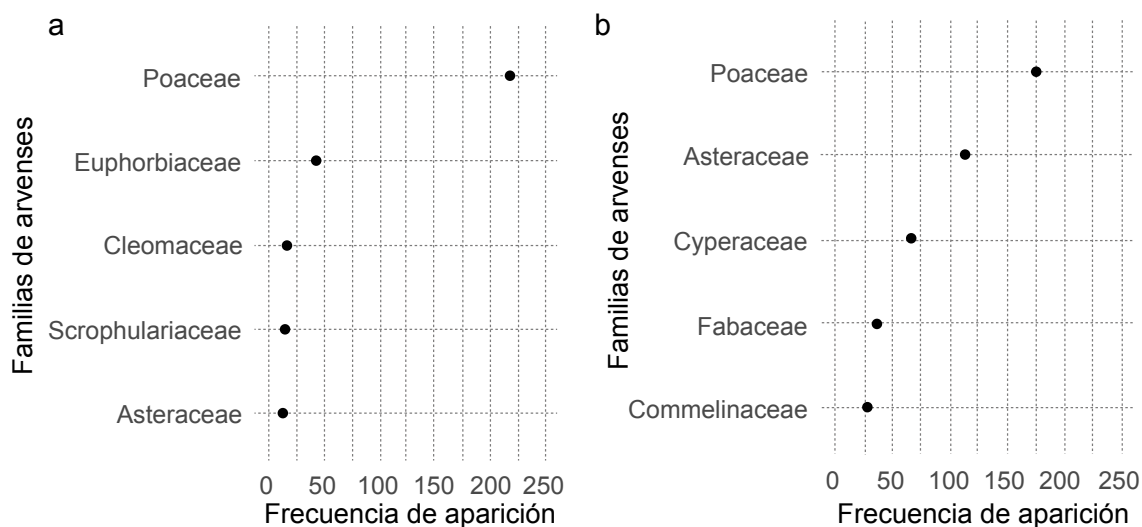
**Figura 3.** Diversidad de arvenses según el índice de Shannon para los sitios El Palmar y Turrialba, establecidos con caña de azúcar realizadas entre abril y diciembre (media +/- error estándar). Pacífico Central y Cartago, Costa Rica. 2018.

Los asteriscos (\*) representan las fechas en las cuales se observaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ , modelo mixto lineal generalizado) entre las medias de cada fecha y región.

**Figure 3.** Weed diversity according to the Shannon Index for the El Palmar and Turrialba sites, established with sugarcane between April and December (mean +/- standard error). Central Pacific and Cartago, Costa Rica. 2018.

Asterisks (\*) represent the dates in which significant differences ( $p < 0,05$ , generalized linear mixed model) were observed between the means of each date and region.

Los mayores valores correspondientes a frecuencia de aparición se observaron en individuos de la familia Cicadellidae en ambos sitios (Figura 5). La frecuencia de aparición de las familias Chloropidae, Cecidomyiidae y Ceratopogonidae, fue la más abundante entre las familias de las moscas y superior a doscientos en ambos sitios. La frecuencia de aparición de las avispas parasitoides Braconidae y Eulophidae fue similar en ambos sitios. Los depredadores Formicidae, Dolichopodidae y Coccinellidae aparecieron entre los primeros quince taxones en Turrialba, mientras que en El Palmar solo Coccinellidae apareció dentro de ese grupo. La aparición de arañas fue más frecuente en El Palmar que en Turrialba (Figura 5).



**Figura 4.** Frecuencia de aparición acumulada de las cinco familias de arvenses más recurrentes en El Palmar (a) y Turrialba (b) recolectadas entre abril y diciembre. Pacífico Central y Cartago, Costa Rica. 2018.

**Figure 4.** Cumulative occurrence frequency of the five most recurrent weed families in El Palmar (a) and Turrialba (b), collected between April and December. Central Pacific and Cartago, Costa Rica. 2018.

**Cuadro 2.** Cantidad de órdenes, familias e individuos de insectos identificados y recolectados en El Palmar y Turrialba entre abril y diciembre. Pacífico Central y Cartago, 2018.

**Table 2.** Number of insect orders, families, and individuals identified and collected in El Palmar and Turrialba between April and December. Central Pacific and Cartago, 2018.

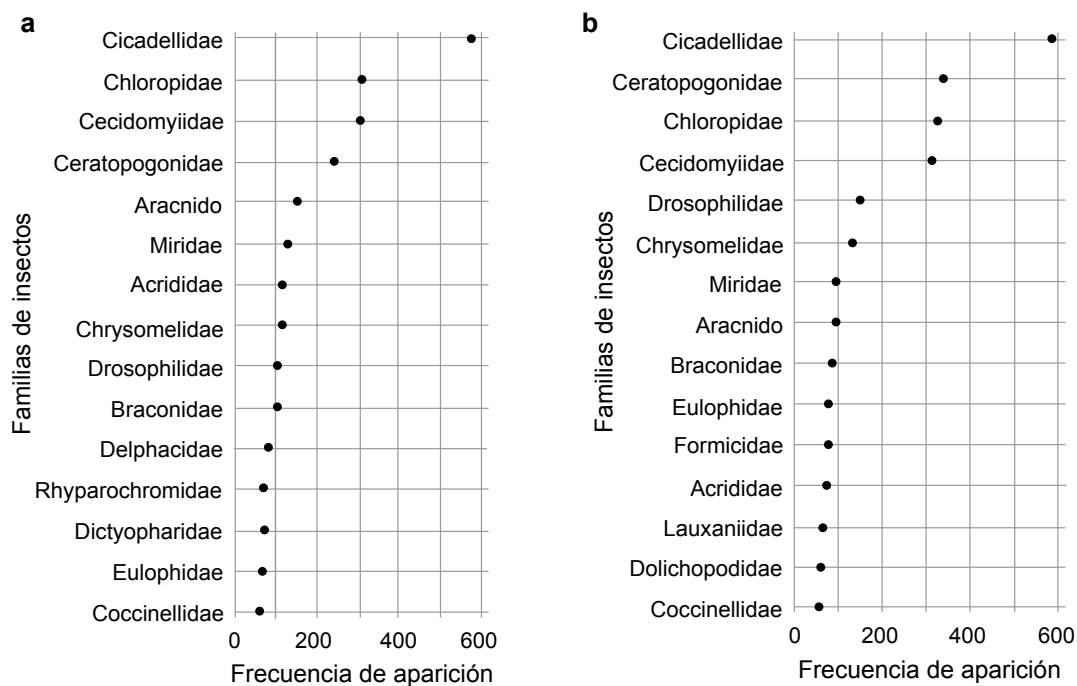
Zona	Órdenes	Familias	Individuos
El Palmar	17	111	6917
Turrialba	20	112	6772

**Cuadro 3.** Diversidad de insectos de acuerdo al Índice de Shannon, riqueza y abundancia de insectos de los sitios de El Palmar y Turrialba entre abril y diciembre. Pacífico Central y Cartago, Costa Rica. 2018.

**Table 3.** Insect diversity according to the Shannon Index, insect richness, and insect abundance in the El Palmar and Turrialba sites between April and December. Central Pacific and Cartago, Costa Rica. 2018.

Zona	Diversidad (índice de Shannon)	Riqueza (cantidad de morfoespecies)	Abundancia (cantidad de individuos)
El Palmar	4,57	269	6917
Turrialba	4,33	272	6772





**Figura 5.** Frecuencia de aparición acumulada de taxones de artrópodos en El Palmar (a) y Turrialba (a) colectados entre abril y diciembre. Pacífico Central y Cartago, Costa Rica. 2018.

**Figure 5.** Cumulative occurrence frequency of arthropod taxa in El Palmar (a) and Turrialba (b) collected between April and December. Central Pacific and Cartago, Costa Rica. 2018.

### Asociación entre las arvenses y entomofauna benéfica

El análisis de ocurrencia conjunta brinda información acerca de una asociación positiva entre una planta y un insecto depredador cuando  $p < 0,05$ . Se observó la mayor co-ocurrencia positiva entre dos arvenses de la familia Cyperaceae con insectos de la familia Coccinellidae (Cuadro 4). De manera similar, las asociaciones entre *Peperomia pellucida* (L.) Kunth y Miridae, y *Murdannia nudiflora* (L.) Brenan y *Phyllanthus urinaria* G.L. Webster con Dolichopodidae fueron también significativas (Cuadro 4).

Con respecto a las probabilidades de ocurrencia conjunta entre parasitoides y arvenses, se determinó una mayor probabilidad de encontrar avispa Chalcididae en plantas de la especie *Fimbristylis miliacea* (L.) Vahl y Eulophidae en *Panicum trichoides* Cham. & Schldtl. y en *Spermacoce laevis* Spreng. Además, se observó la aparición de ciertas familias de insectos en múltiples plantas, como lo es el caso de Eulophidae, la cual se encontró en ocho especies diferentes arvenses (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Probabilidad de co-ocurrencia positiva entre especie de arvense y familia de insecto depredador o parasitoide. Pacífico Central y Cartago, Costa Rica. 2018.

**Table 4.** Probability of positive cooccurrence between weed species and predatory or parasitoid insect families. Central Pacific and Cartago, Costa Rica. 2018.

Especie arvense	Familia de insecto parasitoide	Probabilidad de co-ocurrencia	Valor p	Especie arvense	Familia de insecto depredador	Probabilidad de co-ocurrencia	Valor p
<i>Fimbristylis miliacea</i> (L.) Vahl	Chalcididae	0,009	0,00486	<i>Kyllinga brevifolia</i> Rottb.	Coccinellidae	0,033	0,00045
<i>Panicum trichoides</i> Cham. & Schltldl.	Eulophidae	0,013	0,00597	<i>Cyperus esculentus</i> L.	Coccinellidae	0,014	0,00125
<i>Spermacoce laevis</i> Spreng.	Eulophidae	0,013	0,00597	<i>Peperomia pellucida</i> (L.) Kunth	Miridae	0,036	0,00450
<i>Drymaria cordata</i> (L.) Roem. & Schult.	Eulophidae	0,020	0,01055	<i>Murdannia nudiflora</i> (L.) Brenan	Dolichopodidae	0,044	0,00516
<i>Polygala paniculata</i> L.	Mymaridae	0,008	0,01118	<i>Phyllanthus urinaria</i> G.L. Webster	Dolichopodidae	0,009	0,00950
<i>Ageratum conyzoides</i> L.	Eulophidae	0,107	0,01134	<i>Ageratum conyzoides</i> L.	Syrphidae	0,038	0,01878
<i>Paspalum paniculatum</i> L.	Braconidae	0,010	0,01455	<i>Kyllinga brevifolia</i> Rottb.	Syrphidae	0,013	0,02175
<i>Hypericum gnidioides</i> Seem.	Eulophidae	0,010	0,01705	<i>Murdannia nudiflora</i> (L.) Brenan	Arachnida	0,068	0,03357
<i>Murdannia nudiflora</i> (L.) Brenan	Eulophidae	0,051	0,02074	<i>Spermacoce latifolia</i> Aubl.	Dolichopodidae	0,016	0,03408
<i>Spananthe paniculate</i> Jacq.	Empididae	0,013	0,02410	<i>Panicum trichoides</i> Cham. & Schltldl.	Dolichopodidae	0,011	0,03610
<i>Ageratum conyzoides</i> L.	Mymaridae	0,069	0,02587	<i>Kyllinga brevifolia</i> Rottb.	Dolichopodidae	0,031	0,03722
<i>Peperomia pellucida</i> (L.) Kunth	Mymaridae	0,020	0,03528	<i>Eryngium foetidum</i> L.	Coccinellidae	0,007	0,03780
<i>Cyperus diffusus</i> Roxb.	Braconidae	0,007	0,04273	<i>Spermacoce latifolia</i> Aubl.	Coccinellidae	0,017	0,04520
<i>Crassocephalum crepidioides</i> (Benth.) S. Moore	Eulophidae	0,008	0,04807	<i>Peperomia pellucida</i> (L.) Kunth	Dolichopodidae	0,027	0,04599
<i>Moehringia pentandra</i> J.Gay	Eulophidae	0,008	0,04807	<i>Emilia fosbergii</i>	Arachnida	0,088	0,04670

## Discusión

La presencia de múltiples depredadores y parasitoides en arvenses del cultivo de caña de azúcar registrados en este estudio brinda información sobre la importancia de estas en el ecosistema cañero. Este conocimiento permite entender la función ecológica de plantas que en muchas ocasiones son consideradas como malezas nocivas, lo cual brinda una visión más integral del agroecosistema y permite entender el establecimiento de sus cadenas tróficas.

En Turrialba se observó en promedio y a través del tiempo, una mayor diversidad y riqueza de arvenses que en El Palmar. Esto se podría deber a dos razones: primero, la aplicación de herbicidas para el control de malezas en El Palmar se realiza de forma mecanizada, ya que la zona es de topografía plana, lo que permite un control más amplio y eficiente de la vegetación, pero disminuye la diversidad de especies. En Turrialba, por su topografía irregular, las aplicaciones

de herbicidas se realizan de forma manual, mediante el uso de equipo aspersor de mochila, lo que puede provocar una menor uniformidad de la aplicación y el escape de ciertas malezas. Segundo, la época lluviosa es más prolongada en Turrialba, lo que estimula el crecimiento y multiplicación de una mayor cantidad de especies e individuos de arvenses.

Con base en la teoría de los enemigos, un agroecosistema más diverso, como el brindado por una mayor diversidad de arvenses, es más efectivo en el control de las poblaciones de herbívoros (Russell, 1989). Esto se debe a que las arvenses ofrecen un reservorio de enemigos naturales disponibles para colonizar el cultivo al brindar disponibilidad de hospederos o presas (Norris & Kogan, 2005), debido a que por sus condiciones biológicas o morfológicas pueden servir de refugio, alimento suplementario como néctar o polen y vías de tránsito a insectos (Denys & Tschardtke, 2002; Mexzón, 1997; Pfiffner & Wyss, 2004; Stapel et al., 1997; Vargas Caicedo, 2011). Al respecto, Turrialba presentó una mayor diversidad de especies de plantas y una mayor frecuencia de aparición de grupos de enemigos naturales.

En cuanto a la diversidad de arvenses, las plantas pertenecientes a la familia Poaceae fueron las más abundantes en ambos sitios. Muchas gramíneas son eficientes en excluir otras arvenses (Cirujeda et al., 2019), lo que explica una menor frecuencia de aparición de otras familias en la zona de El Palmar, donde se observaron cantidades mayores de plantas clasificadas como Poaceae.

Las plantas Poaceae presentan potenciales efectos negativos como los observados con la presencia de *Rottboellia cochinchinensis* (Lour.) Clayton y la disminución del rendimiento de la caña de azúcar (Vibrans, 2010), o los efectos alelopáticos de *Cynodon dactylon* (L.) Pers. (García Torres, 1996). Se observó una relación entre la presencia de Poaceae y Cicadellidae, lo que concuerda con lo obtenido por Dietrich (1997) y Maes y Godoy (1993). Esta familia de insectos es muy valiosa en el agroecosistema, debido a su gran producción de ligamaza, la cual sirve de alimento suplementario a enemigos naturales consumidores de proteína (Wäckers et al., 2005).

En Turrialba se determinó la aparición frecuente de los parasitoides Braconidae y Eulophidae; los primeros se pueden reproducir en una gran variedad de insectos de los órdenes Hemiptera, Sternorrhyncha, Coleoptera, y Lepidoptera y en variedad de grupos de dípteros (Ayabe & Ueno, 2012; Boscán de Martínez & Godoy, 1982; Herrick et al., 2008; Hodges et al., 2013; Martínez et al., 2013; Read et al., 1970; Singer & Stireman, 2003; Szujewski, 1987; Wen et al., 2004). Además, los Braconidae son insectos importantes para el control biológico de plagas lepidópteras en caña de azúcar (Salazar et al., 2016). La familia Eulophidae, por su parte, ataca insectos de los órdenes Sternorrhyncha, Coleoptera, Lepidoptera, Diptera, Hymenoptera, Thysanoptera y arañas (Bistline-East & Hoodle, 2014; Castillo et al., 2006; Fagundes Pereira et al., 2015; Gomes et al., 2013; Goulet & Huber, 1993; LaSalle, 1990; Lucia et al., 2010; Palmieri et al., 2013; Rojas Rojas, 2010; Schaefer et al., 1983; Strakhova et al., 2013).

Entre los primeros 15 insectos con mayor frecuencia de aparición en Turrialba se encontraron depredadores generalistas, que se alimentan de una gran variedad de presas y no poseen preferencia a grupos específicos como arañas, hormigas, moscas de la familia Dolichopodidae, que atacan ácaros, trips, Hemiptera, áfidos, Diptera y algunos Coleoptera (Aukema & Raffa, 2004; Brown et al., 2009; Ghahari et al., 2008), y la familia de escarabajos Coccinellidae que se pueden encontrar en el ambiente y atacan ácaros, trips, Sternorrhyncha, Auchenorrhyncha, Hemiptera, Coleoptera, y Lepidoptera (Afify & Farghaly, 1971; Crowson, 1981; De Clercq et al., 2003; Gavloski, 2017; Gerling, 1986; Hassanein & Hamed, 1984; Helle & Sanbelis, 1985; Medeiros, 2010; Nájera Rincón & Souza, 2010; Weiser Erlandson & Obrycky, 2010).

Se evidenció asociación positiva de depredadores de las familias Coccinellidae, Syrphidae y Dolichopodidae con la arvense *Kyllinga brevifolia* Rottb. y otras de la familia Cyperaceae. Estas plantas son importantes fuentes de néctar floral (Mexzón & Chinchilla, 2003). Estas tres familias de insectos son clasificadas como depredadoras generalistas y se alimentan de una gran variedad de insectos en el ecosistema, y como se mencionó previamente, las tres pueden alimentarse de ácaros, trips, hemípteros, áfidos, moscas y escarabajos (Afify & Farghaly, 1971; Arcaya et al., 2013; Aukema & Raffa, 2004; Brown et al., 2009; Crowson, 1981; De Clercq et al., 2003; Fréchette et al., 2007; Gavloski, 2017; Gerling, 1986; Ghahari et al., 2008; Hassanein & Hamed, 1984; Helle & Sanbelis, 1985;

Medeiros, 2010; Nájera Rincón & Souza, 2010; Weiser Erlandson & Obrycky, 2010). Todos estos grupos presentan al menos una o varias especies plaga en caña de azúcar (Salazar et al., 2017).

La familia de insectos depredadores que presentó una mayor asociación con arvenses fue Dolichopodidae ( $p < 0,05$ ). Esta asociación se determinó con las plantas *Murdannia nudiflora* (L.) Brenan, *Phyllanthus urinaria* G.L.Webster, *Spermacoce latifolia* Aubl., *Panicum trichoides* Cham. & Schldtl., *Kyllinga brevifolia* Rottb. y *Peperomia pellucida* (L.) Kunth. Estos insectos se alimentan de artrópodos de cuerpo suave, tanto en su forma larval, como cuando son adultos, y han sido reportados como controladores de plagas importantes (Brown et al., 2009; Cisneros, 1995; Zumbado & Azofeifa, 2018).

La familia de insectos parasitoides Eulophidae presentó asociación positiva con ocho especies de arvenses. La mayor probabilidad de observar insectos Eulophidae se encontró en *Panicum trichoides* Cham. & Schldtl., *Spermacoce laevis* Spreng. y *Drymaria cordata* (L.) Roem. & Schult. ( $p < 0,01$ ), además de *Ageratum conyzoides* L., *Hypericum gnidioides* Seem. y *Murdannia nudiflora* (L.) Brenan ( $p < 0,05$ ). Se tiene evidencia de eulófidos que atacan a *Diatraea* spp., lepidóptero que barrena el tallo de la caña de azúcar y causa grandes pérdidas en el cultivo (Pyñeyro et al., 2016; Salazar et al., 2006; Vargas Caicedo, 2011).

La familia Braconidae, la cual se reporta como muy importante para el control biológico de plagas lepidópteras en caña de azúcar (Salazar et al., 2016), se asoció con *Paspalum paniculatum* L. ( $p < 0,01$ ) y *Cyperus diffusus* Roxb. ( $p < 0,05$ ). En Costa Rica se emplea la liberación masiva de *Cotesia flavipes* (Cameron) (Hymenoptera: Braconidae), de la familia Braconidae, para el control biológico de *Diatraea* spp., una de las principales plagas de caña de azúcar (Salazar et al., 2016). El conocimiento de las plantas que favorecen la presencia de este controlador biológico en el agroecosistema es de gran importancia para entender la ecología y establecimiento de las poblaciones de este parasitoide.

*Ageratum conyzoides* L. registró una asociación con las familias Eulophidae y Mymaridae ( $p < 0,05$ ). Mymaridae es una familia ampliamente registrada como parasitoide en un extenso rango de hospederos de los órdenes Orthoptera, Hemiptera, Auchenorrhyncha, Sternorrhyncha, Coleoptera, Diptera y Lepidoptera (Byrne & Toscano, 2006; Huber, 1986; Hanson, 2019; Hanson & Gauld, 1995; Triapitsyn & Shih, 2014). Se han registrado mymáridos como controladores de insectos de la familia Cercopidae, plaga importante en caña de azúcar (Salazar et al., 2017). Además, *A. conyzoides* es una fuente conocida de néctar y polen para insectos polinizadores en variados ecosistemas (Deeksha et al., 2023).

Este estudio brinda información acerca de la forma en la cual las poblaciones de insectos se comportan en los ambientes naturales en bordes de la caña de azúcar, lo cual es importante para un efectivo establecimiento de cadenas tróficas que ayuden a controlar sus plagas. De acuerdo con los principios de conservación de los recursos naturales, se deben identificar los elementos particulares de cada recurso y su papel en el ecosistema, al identificar las incertidumbres ecológicas e incrementar el conocimiento de los recursos del ecosistema es posible desarrollar e implementar su manejo eficiente (Badii et al., 2008). Cada elemento dentro del ecosistema, tiene una función, la preservación de la biodiversidad a un nivel de espacio como el paisaje, puede llegar a ser extremadamente complejo en sus procesos e interacciones espaciotemporales (Büchs, 2003). Al tener en cuenta que la biodiversidad en los agroecosistemas a nivel mundial se encuentra en rápido decrecimiento (Gliessman, 2019), investigaciones que buscan comprender, conservar y utilizarla de manera productiva son de gran importancia.

## Conclusiones

Se identificaron en total 140 especies de arvenses pertenecientes a 41 familias diferentes, 83 especies en El Palmar y 120 en Turrialba. Se identificaron 137 familias de artrópodos, 111 en El Palmar y 112 en Turrialba, y en total se clasificaron 13 689 individuos. Se determinó una mayor diversidad, riqueza y abundancia de arvenses en Turrialba, mientras que para insectos estos parámetros se mantuvieron similares.

La familia de arvenses e insectos con mayor aparición en ambas zonas de estudio fueron Poaceae y Cicadellidae respectivamente, lo que demostró una relación entre la presencia de ambas familias en el ecosistema.

La mayor co-ocurrencia de insectos depredadores se observó con Coccinellidae en *Kyllinga brevifolia* Rottb. y *Cyperus esculentus* L., y para insectos parasitoides con Chalcididae en *Fimbristylis miliacea* (L.) Vahl y con Eulophidae en *Panicum trichoides* Cham. & Schldtl., *Spermacoce laevis* Spreng y *Drymaria cordata* (L.) Roem. & Schult.

Se determinó una relación entre las arvenses de la caña de azúcar y potenciales enemigos naturales de las plagas de este cultivo. A través del establecimiento de este tipo de cadenas tróficas se podrían utilizar estas relaciones como herramientas ecosistémicas para el manejo integrado de plagas de la caña de azúcar.

## Referencias

- Afify, A., & Farghaly H. (1971). Comparative laboratory studies on the effectiveness of *Labidura riparia* Pall. and *Coccinella undecimpunctata* Reiche, as predators of eggs and newly hatched larvae of *Spodoptera littoralis* (Boisd.). *Bulletin de la Societe Entomologique d’Egypte*, 54, 277–282.
- Arcaya, E., Mengual, X., Pérez-Bañón, C., & Rojo, S. (2013). Registros y distribución de sírfidos depredadores (Diptera: Syrphidae: Syrphinae) en el Estado Lara, Venezuela. *Bioagro*, 25(2), 143–148.
- Aukema, B. H., & Raffa, K. F. (2004). Does aggregation benefit bark beetles by diluting predation? Links between a group-colonisation strategy and the absence of emergent multiple predator effects. *Ecological Entomology*, 29(2), 129–138. <https://doi.org/10.1111/j.0307-6946.2004.00594.x>
- Ayabe, Y., & Ueno, T. (2012). Complex feeding tracks of the sessile herbivorous insect *Ophiomyia maura* as a function of the defense against insect parasitoids. *PLoS ONE*, 7(2), Article e32594. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0032594>
- Badii, M. H., Landeros, J., & Cerna, E. (2008). Patrones de asociación de especies y sustentabilidad. *Revista Daena: International Journal of Good Conscience*, 3(1), 632–660. <http://www.spentamexico.org/v3-n1/3%281%29%20632-660.pdf>
- Badilla, F., & Gómez, J. V. (2003). Pérdidas de azúcar causadas por *Diatraea* spp. en Nueva Concepción, Guatemala. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*, 67, 18–22.
- Banks, J. E. (2000). Effects of weedy field margins on *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae) in a broccoli agroecosystem. *The Pan-Pacific Entomologist*, 76(2), 95–101.
- Bistline-East, A., & Hoddle, M. S. (2014). *Chartocerus* sp. (Hymenoptera: Signiphoridae) and *Pachyneuron crassiculme* (Hymenoptera: Pteromalidae) are obligate hyperparasitoids of *Diaphorencyrtus aligarhensis* (Hymenoptera: Encyrtidae) and possibly *Tamarixia radiata* (Hymenoptera: Eulophidae). *Florida Entomologist*, 97(2), 562–566. <http://doi.org/10.1653/024.097.0230>
- Boccaccio, L., & Petacchi, R. (2009). Landscape effects on the complex of *Bactrocera oleae* parasitoids and implications for conservation biological control. *BioControl*, 54(5), 607–616. <https://doi.org/10.1007/s10526-009-9214-0>
- Boscán de Martínez, N., & Godoy, F. J. (1982). *Apanteles* sp. (Hymenoptera: Braconidae) parasito del taladrador de fruto del aguacate *Stenomoma catenifer* Walsingham (Leipidoptera: Stenomidae) en Venezuela. *Agronomía Tropical*, 32, 319–321.
- Brown, B., Borkent, A., Cumming, J. M., Wood, D. M., Woodley, N. E., & Zumbado, M. (Eds.). (2009). *Manual of Central American Diptera* (Vol. 2). NRC Research Press.
- Büchs, W. (2003). Biotic indicators for biodiversity and sustainable agriculture—introduction and background. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 98(1-3), 1–16. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(03\)00068-9](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(03)00068-9)

- Burgio, G. (2007). *The role of ecological compensation areas in conservation biological control* [Doctoral dissertation, Wageningen University & Research]. ProQuest. <https://edepot.wur.nl/19002>
- Bustillo Pardey, A. E. (2013). *Insectos plaga y organismos benéficos del cultivo de la caña de azúcar en Colombia*. Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia. <https://bit.ly/3nD66I5>
- Byrne, F. J., & Toscano, N. C. (2006). Detection of *Gonatocerus ashmeadi* (Hymenoptera: Mymaridae) parasitism of *Homalodisca coagulata* (Homoptera: Cicadellidae) eggs by polyacrylamide gel electrophoresis of esterases. *Biological Control*, 36(2), 197–202. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2005.07.008>
- Cadet Piedra, E., Salazar Blanco, J. D., & Barrantes, J. C. (2016, Octubre 27-29). *Estimación del factor de pérdida por daños del complejo de plagas Diatraea spp., Metamasius spp. y Heterotermes sp. en la región sur de Costa Rica* [Presentación de conferencia]. XIV Congreso Nacional Agropecuario, Forestal y Ambiental, Heredia, Costa Rica.
- Castillo, A., Espinoza, J. C., Valle-Mora, J., & Infante F. (2006). Dispersión del parasitoide africano *Phymastichus coffea* lasalle (Hymenoptera Eulophidae) en un nuevo agroecosistema. *Folia Entomológica Mexicana*, 45(3), 319–327.
- Cherrill, A. (2015). Suction sampling of grassland invertebrates using the G-vac: Quantifying and avoiding peripheral suction effects. *European Journal of Entomology*, 112(3), 520–524. <http://doi.org/10.14411/eje.2015.058>
- Cisneros, F. (1995). *Control de plagas agrícolas* (Manual técnico). The Hofshi Foundation.
- Cirujeda, A., Pardo, G., Marí, A. I., Aibar, J., Pallavicini, Y., González-Andújar, J. L., Recasens, J., & Solé-Senan, X. O. (2019). The structural classification of field boundaries in Mediterranean arable cropping systems allows the prediction of weed abundances in the boundary and in the adjacent crop. *European Weed Research Society*, 59(4), 300–311. <https://doi.org/10.1111/wre.12366>
- Costanzo, A., & Bàrberi, P. (2013). Functional agrobiodiversity and agroecosystem services in sustainable wheat production. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34, 327–348. <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0178-1>
- Crowson, R. A. (1981). *The biology of the Coleoptera* (1<sup>st</sup> ed.). Academic Press.
- De Clercq, P., Peeters, I. Vergauwe, G., & Thas, O. (2003). Interaction between *Podisus maculiventris* and *Harmonia axyridis*, two predators used in augmentative biological control in greenhouse crops. *BioControl*, 48, 39–55. <https://doi.org/10.1023/A:1021219714684>
- Deeksha, M. G., Sarfaz Khan, M., Kumar, G., & Udikeri, A. (2023). Pollinator interaction with selected ‘weeds’ flora, Asteraceae, in the context of land use. *Oriental Insects*, 57(3), 935–950. <https://doi.org/10.1080/00305316.2022.2164373>
- Dietrich, C. H. (1997). The role of grasslands in the diversification of leafhoppers (Homoptera: Cicadellidae): A phylogenetic perspective. In C. Warwick (Ed.), *Proceedings Fifteenth North American Prairie Conference* (pp. 44–49). Natural Areas Association. <https://bit.ly/3QLHiLj>
- Dixon, P. (2003). VEGAN, A Package of R Functions for Community Ecology. *Journal of Vegetation Science*, 14(6), 927–930. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2003.tb02228.x>
- Denys, C., & Tschardtke, T. (2002). Plant-insect communities and predator-prey ratios in field margin strips, adjacent crop fields, and fallows. *Oecologia*, 130, 315–324. <https://doi.org/10.1007/s004420100796>
- Doğramaci, M., DeBano, S. J., Kimoto, C., & Wooster, D. E. (2011). A backpack-mounted suction apparatus for collecting arthropods from various habitats and vegetation. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 139(1), 86–90. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2011.01099.x>

- Fagundes Pereira, F., Oliveira Kassab, S., Rodrigues Ferreira Calado, V., Leite Vargas, E., Nonato de Oliveira, H., & Cola Zanuncio, J. (2015). Parasitism and emergence of *Tetrastichus howardi* (Hymenoptera: Eulophidae) on *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae) larvae, pupae and adults. *Florida Entomology*, 98(1), 377–380. <https://doi.org/10.1653/024.098.0164>
- Fréchette, B., Rojo, S., Alomar, O., & Lucas, É. (2007). Intraguild predation between syrphids and mirids: who is the prey? Who is the predator? *BioControl*, 52(2), 175–191. <https://doi.org/10.1007/s10526-006-9028-2>
- García Torres, L. (1996). Gramíneas y Cyperaceas. En R. Labrada, J. C. Caseley, & C. Parker (Eds.), *Manejo de malezas para países en desarrollo* (Estudio FAO producción y Protección Vegetal 120, Cap. 4). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. <http://www.fao.org/3/T1147S/t1147s08.htm#TopOfPage>
- Gavloski, J. (2017). *Maximizing the value of beneficial insects on the farm: Predators and parasitoids*. Pest Management Facts.
- Gerling, D. (1986). Natural enemies of *Bemisia tabaci*, biological characteristics and potential as biological control agents: a review. *Agriculture, Ecosystem & Environment*, 17(1–2), 99–110. [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(86\)90031-9](https://doi.org/10.1016/0167-8809(86)90031-9)
- Ghahari, H., Hayat, R., Chao, C. -M., & Ostovan, H. (2008). A contribution to the dipteran parasitoids and predators in Iranian cotton fields and surrounding grasslands. *Munis Entomology & Zoology*, 3(2), 699–706. <https://www.munisentzool.org/Issue/Download>
- Gliessman, S. (2019). Where has all the biodiversity gone? *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 43(9), 955–956. <https://doi.org/10.1080/21683565.2019.1633739>
- Gomes, G. C., Franco, M. S., & Hansson C. (2013). A new species of *Omphale* Haliday 1833 (Hymenoptera: Eulophidae) from Brazil, parasitic on gall-midges on *Croton floribundus* Spreng (Euphorbiaceae). *Biota Neotropica*, 13(3), 34–37. <https://doi.org/10.1590/S1676-06032013000300003>
- Griffith, D. M., Veech, J. A., & Marsh, C. J. (2016). Cooccur: Probabilistic species co-occurrence analysis in R. *Journal of Statistical Software*, 69(2), 1–17. <https://doi.org/10.18637/jss.v069.c02>
- Goulet, H., & Huber, J. T. (1993). *Hymenoptera of the world: an identification guide to families*. Centre for Land and Biological Resources Research Ottawa.
- Hanson, P. E., & Gauld, I. D. (1995). *The Hymenoptera of Costa Rica*. Oxford University Press.
- Hanson, P. (2019). Características del orden Hymenoptera. En P. Hanson (Ed.), *B0562: Curso de Biosistemática de Insectos*. *Escuela de Biología* (pp. 4–6). Universidad de Costa Rica.
- Hassanein, F. A., & Hamed, A. R. (1984). Assessment of the role of larvae of *Coccinella undecimpunctata* L. (Col., Coccinellidae) as a biological control agent against *Spodoptera littoralis* Boisd. (Lep., Noctuidae) in Egypt. *Zeitschrift für Angewandte Entomologie*, 97(1–5), 506–509. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.1984.tb03783.x>
- Helle, W., & Sabelis, M. W. (Eds.). (1985). *Spider mites: Their biology, natural enemies and control* (Vol. 1). Elsevier Science Publishers.
- Herrick, N. J., Reitz, S. R., Carpenter, J. E., & O'Brien, C. W. (2008). Predation by *Podisus maculiventris* (Hemiptera: Pent) on *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) larvae parasitized by *Cotesia plutellae* (Hymenoptera: Braconidae) and its impact on cabbage. *Biological Control*, 45(3), 386–395. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2008.02.008>
- Hodges, T. K., Laskowski, K. L., Squadrito, G. L., De Luca, M., & Leips, J. (2013). Defense traits of larval *Drosophila melanogaster* exhibit genetically based trade-offs against different species of parasitoids. *Evolution*, 67(3), 749–760. <https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.2012.01813.x>

- Huber, J. T. (1986). Systematics, biology, and hosts of the Mymaridae and Mymarommatidae (Insecta: Hymenoptera): 1758-1984. *Entomographaphy*, 4, 185–243.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2015). *VI Censo Nacional Agropecuario: Resultados Generales*. <https://inec.cr/estadisticas-fuentes/censos/censo-agropecuario-2014>
- International Sugar Organization. (2020). *About sugar. The sugar market*. <https://www.isosugar.org/sugarsector/sugar>
- Jones, M. S., & Snyder, W. E. (2018). Beneficial insects in agriculture: Enhancement of biodiversity and ecosystem services In R. G. Foottit., & P. H. Adler (Eds.), *Insect biodiversity: Science and society, II* (pp. 105–122). John Wiley & Sons Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118945582.ch5>
- Kindt, R., & Coe, R. (2005). *Tree diversity analysis. A manual and software for common statistical methods for ecological and biodiversity studies*. World Agroforestry Centre.
- Lamp, W. O., Barney, R. J., Armbrust, E. J., & Kapusta, G. (1984). Selective weed control in spring-planted alfalfa: effect on leafhoppers and planthoppers (Homoptera: Auchenorrhyncha), with emphasis on potato leafhopper. *Environmental Entomology*, 13(1), 207–213. <https://doi.org/10.1093/ee/13.1.207>
- LaSalle, J. (1990). Tetrastichinae (Hymenoptera: Eulophidae) associated with spider egg sacs. *Journal of Natural History*, 24(6), 1377–1389. <https://doi.org/10.1080/00222939000770831>
- Lucia, M., Aquino, D. A., Hansson, C., & Abrahamovich, A. H. (2010). The first record of conopid flies (Diptera: Conopidae) and eulophid wasps (Hymenoptera: Eulophidae) as parasitoids and hyperparasitoids associated with carpenter bees (Apidae: Xylocopinae) in Argentina. *Journal of Apicultural Research*, 49(2), 208–211. <https://doi.org/10.3896/IBRA.1.49.2.11>
- Maes, J. M., & Godoy, C. (1993). Catálogo de los Cicadellidae (Homoptera) de Nicaragua. *Revista Nicaragüense de Entomología*, 24, 5–34. <http://www.bio-nica.info/RevNicaEntomo/24-Cicadellidae.pdf>
- Martínez, M. de los Á., Ceballos, M., Suris, M., Duarte, L., & Baños, H. L. (2013). Áfidos y sus parasitoides en sistemas urbanos de producción de hortalizas en Cuba. *Revista Colombiana de Entomología*, 39(1), 13–17.
- Medeiros, M. A., Ribeiro, P. A., Morais, H. C., Castelo Branco, M., Sujii, E. R., & Salgado-Laboriau, M. L. (2010). Identification of plant families associated with the predators *Chrysoperla externa* (Hagen) (Neuroptera: Chrysopidae) and *Hippodamia convergens* Guérin-Ménéville (Coleoptera: Coccinellidae) using pollen grain as a natural marker. *Brazilian Journal of Biology*, 70(2), 293–300. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842010005000011>
- Mendoza, J., Gualle, D., Ayora, A., & Martínez, I. (2013). *Estimación de pérdidas causadas por roedores e insectos en caña rezagada*. Centro de Investigación de la Caña de Azúcar del Ecuador.
- Mexzón, R. (1997). Pautas de manejo de las malezas para incrementar las poblaciones de 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., & Chinchilla, C. (2003). Especies vegetales atrayentes de la entomofauna benéfica en plantaciones de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) en Costa Rica. *Revista Palmas*, 24(1), 33–57. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/951>
- Morera Rodríguez, R. (2018, octubre). *Resumen meteorológico de octubre de 2018*. Boletín Meteorológico Mensual). Instituto Meteorológico Nacional. <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/454290/OCTUBRE>



- Nájera Rincón, M. B., & Souza, B. (2010). *Insectos benéficos: Guía para su identificación*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Norris, R. F., & Kogan, M. (2005). Ecology of interactions between weeds and arthropods. *Annual Review of Entomology*, 50, 479–503. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.49.061802.123218>
- Oloumi-Sadeghi, H., Zavaleta, L. R., Lamp, W. O., Armbrust, E. J., & Kapusta, G. (1987). Interactions of the potato leaf hopper (Homoptera: Cicadellidae) with weeds in the alfalfa ecosystem. *Environmental Entomology*, 16(5), 1175–1180. <https://doi.org/10.1093/ee/16.5.1175>
- Palmieri, L., Farache, F. H. A., Pereira, R. A. S., & Hansson, C. (2013). New records of *Paracrias ashmead* (Hymenoptera, Eulophidae) as parasitoids on weevil larvae (Coleoptera, Curculionidae) in Brazil, with the description of a new species. *Iheringia, Série Zoologia*, 103(3), 313–317. <https://doi.org/10.1590/S0073-47212013000300014>
- Pfiffner, L., & Wyss, E. (2004). Use of sown wildflower strips to enhance natural enemies of agricultural pests. In G. M. Gurr, S. D. Wratten, & M. A. Altieri (Eds.), *Ecological engineering for pest management* (Chapter 11, pp. 167–188). CABI Publishing.
- Poleo Brito, D. E. (2018, noviembre). *Resumen meteorológico de noviembre de 2018*. Boletín Meteorológico Mensual). Instituto Meteorológico Nacional. <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/454290/NOVIEMBRE>
- Pyñeyro, N. G., Fagundes Pereira, F., Gomes Borges, F. L., Rossoni, C., de Souza Silva, A., & Oliveira Kassab, S. (2016). ¿Multiplicar *Tetrastichus howardi* (Hymenoptera: Eulophidae) en la oruga de la seda afecta su biología? *Acta Biológica Colombiana*, 21(1), 180–193. <https://doi.org/10.15446/abc.v21n1.47999>
- Read, D. P., Feeny, P. P., & Root, R.B. (1970). Habitat selection by the aphid parasite *Diaeretiella rapae* (Hymenoptera: Braconidae) and hyperparasite *Charips brassicae* (Hymenoptera: Cynipidae). *The Canadian Entomologist*, 102(12), 1567–1578. <https://doi.org/10.4039/Ent1021567-12>
- Rojas Rojas, P. (2010). *Biología de Tamarixia triozae* (Burks) (Hymenoptera: Eulophidae) parasitoide de *Bactericera cockerelli* (Sulc) (Hemiptera: Triozidae) [Tesis de maestría, Colegio de Postgraduados] Repositorio del Colegio de Postgraduados. <http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/handle/10521/263>
- Rudgers, J. A. & Gardener, M. C. (2004). Extrafloral nectar as a resource mediating multispecies interaction. *Ecology*, 85(6), 1495–1502. <https://doi.org/10.1890/03-0391>
- Russell, E. P. (1989). Enemies hypothesis: a review of the effect of vegetational diversity on predatory insects and parasitoids. *Environmental Entomology*, 18(4), 590–599. <https://doi.org/10.1093/ee/18.4.590>
- R Core Team (2018). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- Salazar, J. D. (2019, octubre 15-17). *Manejo de las principales plagas en el cultivo de la caña de azúcar* [Presentación de conferencia]. Seminario Internacional: Técnicas y normativas para la producción, elaboración, certificación y comercialización de azúcar orgánico. Guanacaste, Costa Rica.
- Salazar, J. D., González, J. F., Cadet, E., Oviedo, R., & Sáenz, C. E. (2017). *Catálogo de identificación de plagas del cultivo de la caña de azúcar en Costa Rica*. Liga Agrícola de la Caña de Azúcar.
- Salazar, J. D., Oviedo, R., Cadet, E., & Sáenz, C. (2016, 27-29 octubre). *Control biológico y otras estrategias de manejo de plagas implementadas en el cultivo de la caña de azúcar en Costa Rica*. XIV Congreso Nacional Agropecuario Forestal y Ambiental. Heredia, Costa Rica.

- Salazar, J. D., Quirós, O., Morera, E., Oviedo, R. & Barrantes, J. C. (2006). *Estimación del factor de pérdida por daños del barrenador del tallo (Diatraea spp.) en cinco regiones de Costa Rica*. Liga Agrícola de la Caña de Azúcar.
- SAS Institute Inc. (2013). *SAS/ACCESS® 9.4 Interface to ADABAS: Reference*. SAS Institute Inc.
- Schaefer, P. W., Dysart, R. J., Flanders, R. V., Burger, T. L., & Ikebp, K. (1983). Mexican bean beetle (Coleoptera: Coccinellidae) larval parasite *Pediobius foveolatus* (Hymenoptera: Eulophidae) from Japan: field release in the United States. *Environmental Entomology*, 12(3), 852–854. <https://doi.org/10.1093/ee/12.3.852>
- Singer, M. S., & Stireman, J. O. (2003). Does anti-parasitoid defense explain host-plant selection by a polyphagous caterpillar? *Oikos*, 100(3), 554–562. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2003.11720.x>
- Solano León, E. (2018, abril). *Resumen meteorológico de abril de 2018* (Boletín Meteorológico Mensual). Instituto Meteorológico Nacional. <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/454290/ABRIL>
- Soto-Saenz, A. (2018, Junio 17-21). *Inventory of the biofunctional weeds present in sugar cane in Costa Rica* [Presentación en conferencia]. 18<sup>th</sup> European Weed Research Society Symposium. Ljubljana, Slovenia.
- Stapel, J. O., Cortesero, A. M., De Moraes, C. M., Tumlinson, J. H., & Lewis, W. J. (1997). Extrafloral Nectar, Honeydew, and Sucrose Effects on Searching Behavior and Efficiency of *Microplitis croceipes* (Hymenoptera: Braconidae) in Cotton. *Environmental Entomology*, 26(3), 617–623. <https://doi.org/10.1093/ee/26.3.617>
- Strakhova, I. S., Yefremova, Z. A., von Tschirnhaus, M., & Yegorenkova, E. N. (2013). The parasitoid complex (Hymenoptera, Eulophidae) of leafminer flies (Diptera, Agromyzidae) in the middle Volga Basin. *Entomological review*, 93, 865–873. <https://doi.org/10.1134/S0013873813070087>
- Styrsky, J. D., & Eubanks, M. D. (2007). Ecological consequences of interaction between ants and honeydew-producing insects: A review. *Proceedings of the Royal Society of Biological Sciences*, 274(1607), 151–164. <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3701>
- Szujecki, A. (1987). Intraspecific relationships of forest insects. In A. Szujecki (Ed.), *Ecology of forest insects* (Vol. 26, pp. 112–161). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-94-009-4804-4\\_4](https://doi.org/10.1007/978-94-009-4804-4_4)
- Takasu, K., & Lewis, W. J. (1995). Importance of adult food sources to host searching of the larval parasitoid *Microplitis croceipes*. *Biological control*, 5(1), 25–30. <https://doi.org/10.1006/bcon.1995.1003>
- Topham, M., & Beardsley, J. W. (1975). Influence of nectar source plants on the New Guinea sugarcane weevil parasite, *Lixophaga sphenophori* (Villeneuve). *Proceedings of Hawaiian Entomology Society*, 22(1), 145–154. <https://scholarspace.manoa.hawaii.edu/server/api/core/bitstreams/43303c73-0e13-4664-9c35-0b39c076a1bf/content>
- Triapitsyn, S. V., & Shih, H. -T. (2014). Egg parasitoids (Hymenoptera: Mymaridae and Trichogrammatidae) of *Kolla paulula* (Walker) (Hemiptera: Cicadellidae) in Taiwan. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 17(4), 673–678. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2014.06.010>
- Vargas Caicedo, G. I. (2011). *Parasitoides (Insecta: Hymenoptera) atraídos a fuentes naturales y artificiales de azúcares en una plantación de café (Coffea arabica L.) sostenible* [Tesis Licenciatura, Universidad de Costa Rica]. Repositorio SIBDI de la Universidad de Costa Rica. <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/handle/123456789/3139>
- Vibrans, H. (2010). *Poaceae=Gramineae. Rottboellia cochinchinensis (Lour.) Clayton. Caminadora*. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. <https://bit.ly/3Nn705B>
- Wäckers, F. L., van Rijn, P. C. J., & Bruin, J. (2005). *Plant-provided food for carnivorous insects: A protective mutualism and its applications* (1<sup>st</sup> ed.). Cambridge University Press.

- Wen, J. Z., Wang, Y., & Lei, Z. R. (2004). Two new record species of parasitic wasps (Hymenoptera: Braconidae, Eucilidae) on *Liriomyza huidobrensis* (Diptera: Agromyzidae) from China. *Entomotaxonomia*, 26, 67–68.
- Weiser Erlandson, L. A., & Obrycky, J. J. (2010). Predation of Immature and Adult *Empoasca fabae* (Harris) (Hemiptera: Cicadellidae) by Three Species of Predatory Insects. *Journal of the Kansas Entomological Society*, 83(1), 1–6. <https://doi.org/10.2317/JKES802.08.1>
- Zou, Y., van Telgen, M. D., Chen, J., Xia, H. M., de Kraker, J., Bianchi, F. J. J. A., & van der Werf, W. (2016). Modifications and application of a leaf blower-van for field sampling of arthropods. *Journal of Visualized Experiments*, 114, Article e54655. <https://doi.org/10.3791/54655>
- Zumbado, M. A., & Azofoifa, D. (2018). *Insectos de importancia agrícola. Guía básica de entomología*. Programa Nacional de Agricultura Orgánica.