



## **EFECTO DE CUATRO PLAGUICIDAS CONVENCIONALES SOBRE EL POLINIZADOR *Forcipomyia* spp. (DIPTERA: CERATOPOGONIDAE) DEL CULTIVO DE CACAO (*Theobroma cacao*), EN SAN MARTÍN, PERÚ**

Astrid SOTOMAYOR-CHAVEZ<sup>1</sup>, Dimas GARAY-CRISANTO<sup>1</sup>, José IANNACONE<sup>1,2\*</sup>,  
Geancarlo ALARCÓN-IMAN<sup>2</sup>, Lorena ALVARIÑO<sup>2</sup>, Paola OLANO-PANCHANO<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidad Científica del Sur. Carrera de Ingeniería Ambiental. Laboratorio de Ingeniería Ambiental. Grupo de Investigación Restauración de Ecosistemas y Calidad Ambiental, Villa El Salvador, Lima, Perú.

<sup>2</sup> Universidad Nacional Federico Villarreal (UNFV). Escuela Universitaria de Post Grado (EUPG). Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas (FCCM). Laboratorio de Ecología y Biodiversidad Animal (LEBA). Grupo de Investigación en Sostenibilidad Ambiental (GISA). El Agustino, Lima, Perú.

\* Correo electrónico: joseiannacone@gmail.com

### **RESUMEN**

El cultivo cacao (*Theobroma cacao*), es polinizado principalmente por *Forcipomyia* spp. (Diptera: Ceratopogonidae). El objetivo fue evaluar el efecto tóxico de cuatro plaguicidas convencionales: cipermetrina, carbofurano, oxiclورو de cobre y clorpirifos, utilizados en el cultivo de cacao sobre el polinizador, *Forcipomyia* spp. Se evaluó el efecto tóxico analizando el índice de abundancia de *Forcipomyia*, en el centro poblado de Sangamayoc, distrito de Barranquita, provincia Lamas, región San Martín, Perú. Los individuos fueron obtenidos por incubación y captura en cajas de emergencia con hojarasca de cacao que entró en contacto con los cuatro plaguicidas a lo largo de tres evaluaciones. Los resultados muestran que clorpirifos presentó mayor toxicidad sobre la abundancia de *Forcipomyia*, seguido por cipermetrina, carbofurano y oxiclورو de cobre. En la primera evaluación de un total de tres realizadas, se observó una disminución en la abundancia del polinizador, seguido de una leve recuperación en las evaluaciones posteriores. Se concluye que el clorpirifos presentó el mayor efecto sobre la abundancia de *Forcipomyia*, y el oxiclورو de cobre el de menor efecto. *Forcipomyia* demostró ser un indicador adecuado para la evaluación de toxicidad por la aplicación de plaguicidas.

PALABRAS CLAVE: carbofurano, cipermetrina, clorpirifos, oxiclورو de cobre, polinización.

## **ENVIRONMENTAL RISK ASSESSMENT OF FOUR CONVENTIONAL PESTICIDES ON THE POLLINATOR *Forcipomyia* spp. (DIPTERA: CERATOPOGONIDAE) OF CACAO CULTIVATION (*Theobroma cacao*), IN SAN MARTÍN, PERU**

### **ABSTRACT**

The cocoa crop (*Theobroma cacao*), is pollinated mainly by *Forcipomyia* spp. (Diptera: Ceratopogonidae). The objective was to evaluate the environmental risk of four conventional pesticides: cypermethrin, carbofuran, copper oxychloride and chlorpyrifos, used in the cultivation of cocoa on the pollinator, *Forcipomyia* spp. The environmental risk was evaluated by analyzing the abundance index of *Forcipomyia* in the town of Sangamayoc, Barranquita district, Lamas province, San Martín region, Peru. The individuals were obtained by incubation and capture in emergency boxes with cocoa litter that encountered the four pesticides over three evaluations. The results show that chlorpyrifos presented the highest environmental risk on the abundance of *Forcipomyia*, followed by cypermethrin, carbofuran and copper oxychloride. In the first evaluation, a decrease in pollinator abundance was observed, followed by a slight recovery in subsequent evaluations. It is concluded that chlorpyrifos had the greatest effect on the abundance of *Forcipomyia*, and copper oxychloride the one with the least effect. *Forcipomyia* proved to be an adequate indicator for the evaluation of environmental risk due to the application of pesticides.

KEY WORDS: carbofuran, chlorpyrifos, copper oxychloride, cypermethrin, pollination.

## INTRODUCCIÓN

La polinización realizada por insectos es considerada un servicio ecosistémico de regulación de alta importancia (Miñarro *et al.*, 2018). Los polinizadores se ven afectados por factores físicos, químicos, biológicos y nutricionales, destacando la pérdida de hábitat, el parasitismo, y la aplicación de plaguicidas (Armijos-Vásquez *et al.*, 2020; Abati *et al.*, 2021; More *et al.*, 2021a; More *et al.*, 2021b).

El cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) nativo de Sudamérica es polinizado por insectos de los géneros *Forcipomyia*, *Atrichopogon* y *Dasyhelea* (Diptera: Ceratopogonidae), siendo *Forcipomyia*, el más importante (Bravo *et al.*, 2011; Córdoba *et al.*, 2013; Armijos-Vásquez *et al.*, 2020; Montero-Cedeño *et al.*, 2022; Ríos-Moyano *et al.*, 2023). *Forcipomyia* está conformado por un complejo de varias especies, cada una de las cuales presenta distintas adaptaciones y preferencias ecológicas (Córdoba *et al.*, 2013; Salazar-Díaz & Torres-Coto, 2017; Alvarado *et al.*, 2018; Ríos-Moyano *et al.*, 2023; Vandromme *et al.*, 2023).

*Forcipomyia* podría verse afectado por el uso indiscriminado de plaguicidas (Salazar-Díaz & Torres-Coto, 2017). Esta alza en el uso de plaguicidas en el cultivo de cacao puede comprobarse, por el incremento en el número de casas comerciales de agroquímicos en el departamento de San Martín, considerada la región con mayor área del cultivo de cacao en el Perú (Gomero, 2014).

El rendimiento del cultivo del cacao varía fuertemente de acuerdo con el tipo de plaguicida aplicado (Armengot *et al.*, 2020), lo que podría ocasionar una disminución en el proceso de polinización (Sabatier *et al.*, 2013; Fachin *et al.*, 2019). Entre los plaguicidas propuestos en cultivos prioritarios en el Perú a ser prohibidos y restringidos, se incluyeron tres de gran uso para el control de plagas en el cacao: carbofuran, clorpirifos y cipermetrina. Además, el oxi-

cloruro de cobre, si bien está aprobado para el cacao, se le ha considerado como un probable disruptor endocrino (Gomero, 2014).

La evaluación de riesgo ambiental (ERA) representa una herramienta eficaz que determina el impacto de los plaguicidas en los polinizadores y su servicio ecosistémico (More *et al.*, 2021b). Para las fases avanzadas de ERA por plaguicidas, como son los estudios de monitoreo de campo, se considera que reflejan de mejor forma las condiciones reales de exposición a estas sustancias. El uso de la abundancia, la abundancia porcentual o el número de individuos de los polinizadores son indicadores de ERA por plaguicidas en evaluaciones de campo (Bravo *et al.*, 2011).

El impacto de los polinizadores por efecto de los plaguicidas se ha focalizado en la abeja melífera, y se ha recomendado evaluar otros polinizadores diferentes a las abejas (Iannacone *et al.*, 2018; Topping *et al.*, 2021). Es por lo que, el objetivo del presente estudio fue evaluar la toxicidad de cuatro plaguicidas convencionales sobre la abundancia del polinizador *Forcipomyia* spp. (Diptera: Ceratopogonidae) del cultivo de cacao (*T. cacao*), en San Martín, Perú.

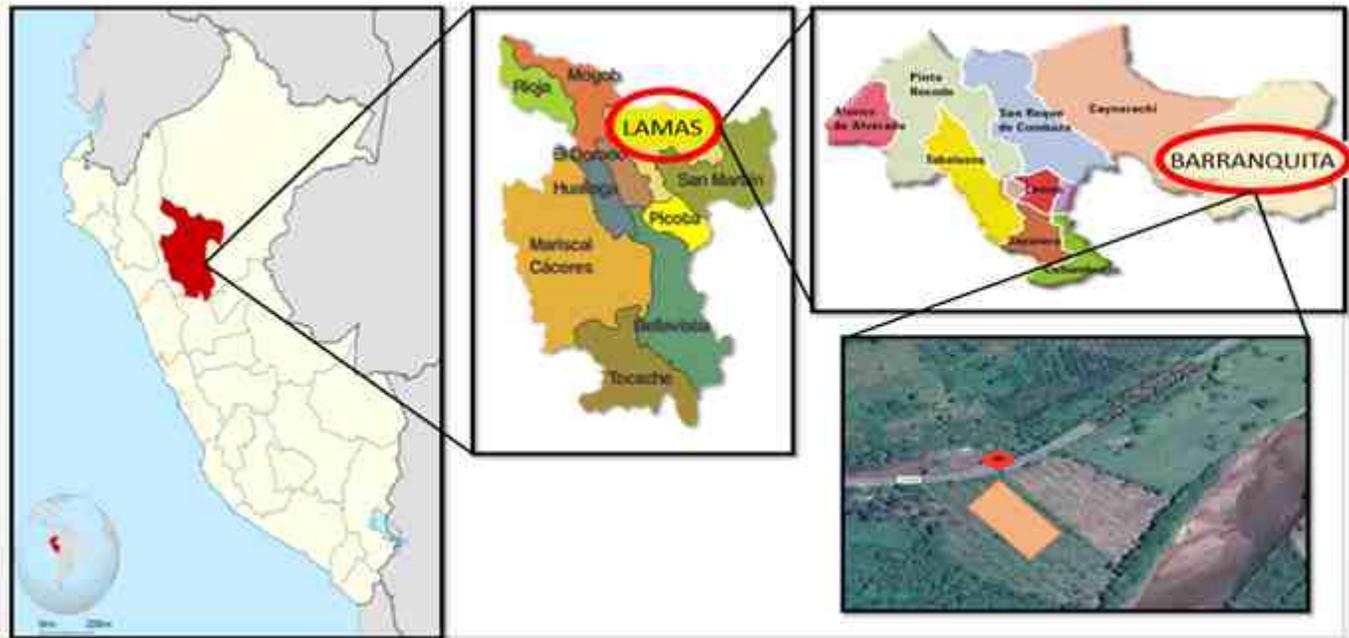
## MATERIALES Y MÉTODOS

### ÁREA DE ESTUDIO

La finca de cacao se localizó en el centro poblado Sangamayoc, distrito de Barranquita, provincia de Lamas, departamento de San Martín, Perú (UTM 373605,8 9307626,4) (Figura 1). Este distrito está ubicado a dos horas de la ciudad de Tarapoto, a una altitud entre los 650 y 1000 m s.n.m., una temperatura media anual de 23,9 °C, y precipitación anual de 1600 mm.

### PLAGUICIDAS

Se emplearon cuatro plaguicidas convencio-



**Figura 1.** Campo de cacao localizado a la altura del km 19 de la carretera Pelejo Papaplaya, centro poblado de Sangamayoc, distrito de Barranquita, provincia de Lamas, departamento de San Martín, Perú (06°16'02.21"S 76°08'50.34"W) y a una altitud de 169 m s.n.m.

nales en el cultivo de cacao: cipermetrina ( $T_1$ ), carbofurano ( $T_2$ ), oxiclورو de cobre ( $T_3$ ) y clorpirifos ( $T_4$ ). Los plaguicidas se usaron en una sola aplicación (Tabla 1). La elección de estas sustancias se sustentó en la frecuencia de uso y en las ventas en las principales zonas cacaoteras del Perú, y en la enfermedad o plaga que controlan (Fachin *et al.*, 2019). Los cuatro plaguicidas convencionales fueron seleccionados con base en la enfermedad o plaga que controla (Delgado *et al.*, 2023). El nombre comercial, formulación, familia química, dosis aplicada y modo de acción son detalladas en la Tabla 1. Además, se agregó a la aplicación de cada plaguicida un coadyuvante tipo surfactante (StickWater® de la marca Aris Industrial S.A.) en una formulación tipo concentrado soluble y a una dosis de producto comercial de 100-150 ml 200 l<sup>-1</sup> (alcoholes polivinílicos: 60g de ia l<sup>-1</sup>; poliglicol éter etoxilado: 30 g ia l<sup>-1</sup> y otros alcoholes: 40 g ia l<sup>-1</sup>), con el fin de disminuir la pérdida de los plaguicidas por el lavado produ-

cido por acción de las lluvias. Para cada plaguicida se incluyó su coeficiente de partición octanol-agua (log kow), y la vida media en el suelo en horas (h) (Tabla 1). Se clasificó según la USEPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos) a los cuatro plaguicidas basándose en el punto final de contacto y oral agudo en la abeja melífera en tres categorías: 1) altamente tóxico si el DL<sub>50</sub> (Dosis Letal media) es < 2 µg abeja<sup>-1</sup>, 2) moderadamente tóxico si el DL<sub>50</sub> está entre 2 y 11 µg abeja<sup>-1</sup>, y 3) prácticamente no tóxico si la DL<sub>50</sub> es > 11 µg abeja<sup>-1</sup> (Spruill *et al.*, 2020) (Tabla 1). La aplicación de los plaguicidas convencionales fue realizada con ayuda de una mochila fumigadora pulverizadora manual marca Jacto PJ-16, con boquilla tipo cono regulable (JD-12P) a una presión máxima de 100 psi.

#### DISEÑO EXPERIMENTAL

La parte experimental del estudio se realizó entre los meses de enero a abril del 2019, en la

**Tabla 1.** Características de los cuatro plaguicidas seleccionados en el cultivo de cacao en el Perú. MP = Escoba de bruja (*Moniliophthora perniciosa* (Stahel) Aime & Phillips-Mora, 2005). PP = Mazorca negra o Pudrición parda (*Phytophthora palmivora* Butler, 1919). MR = Moniliasis (*Moniliophthora roreri* (Cif.) H.C. Evans et al., 1978). MC = Mazorquero del cacao (*Carmentis* sp.). nd = no determinado. Se clasificó a los plaguicidas basándose en el punto final de contacto/oral agudo en abejas en tres categorías: 1) altamente tóxicos si el DL<sub>50</sub> es <2 µg/abeja, 2) moderadamente tóxico si el DL<sub>50</sub> está entre 2 y 11 µg/abeja-1, y 3) prácticamente no tóxico si el DL<sub>50</sub> es > 11 µg/abeja (Spruill et al., 2020).

Ingrediente activo	Cipermetrina (T <sub>1</sub> )	Carbofurano (T <sub>2</sub> )	Oxicloruro de cobre (T <sub>3</sub> )	Clorpirifos (T <sub>4</sub> )
Enfermedad o plaga que controla	MC	MR	MP/ PP/ MR	MC
Estado de aprobación propuesto en el cultivo de cacao	No aprobado	No aprobado	Aprobado (Probable Disruptor endocrino)	No aprobado
Nombre comercial	Bulltrim®	Farmadan®	Cupravit®	Tifon®
Fabricante	Aris Industrial S.A.	Farmagro S.A.	Bayer	Farmagro S.A.
Formulación	Concentrado emulsionable	Suspensión concentrada	Polvo mojable	Concentrado emulsionable
Familia química	Piretroide	Carbamato	Inorgánico	Organofosforado
Sistematicidad	No	Sí	No	No
Modo de acción	Contacto / ingestión insecticida acaricida	Contacto / ingestión insecticida, acaricida, nematocida	Contacto fungicida	Contacto / ingestión / respiratorio insecticida
Dosis aplicada del producto comercial	0.25L 200L <sup>-1</sup>	1.38L 200 L <sup>-1</sup>	600–800g 200 L <sup>-1</sup>	0.46L 200 L <sup>-1</sup>
Dosis aplicada de ingrediente activo	250 g de ia L <sup>-1</sup>	480 g de ia L <sup>-1</sup>	500 g de ia Kg <sup>-1</sup>	480 g de ia L <sup>-1</sup>
Coefficiente de partición octanol-agua (Log Kow)	4.47	1.23-1.63	0.44	4.70–5.27
Vida media en el suelo (fotólisis)	195 h	370 h para suelos húmedos irradiados y 800 h para suelos irradiados secados al aire	No relevante	240 h para suelos húmedos irradiados y 340 h para suelos irradiados secados al aire
DL <sub>50</sub> contacto (ug·abejas-1)	0.02	0.16	14.5-44.3	0.06-0.07
DL <sub>50</sub> oral (ug·abejas-1)	0.03	nd	12.1	0.11
Categoría toxicológica para abejas	Altamente tóxico	Altamente tóxico	Prácticamente no tóxico	Altamente tóxico
Referencias	Liu et al. (2007); Arena et al. (2018); Sulaiman et al. (2019)	Graebing & Chib (2004); Ariffin & Rahman (2020)	EFSA.2018; US Environmental Protection Agency – EPA (2021)	Graebing & Chib (2004); Sánchez-Bayo & Goka (2014); Cutler et al. (2014)

fase fenológica del cacao entre fructificación y maduración. Se empleó la variedad del cacao CCN-51. Se definió un área dentro de la finca de cacao de 1000 m<sup>2</sup> (50 m x 20 m), dividida en 10 parcelas de 10 m x 10 m. El área experimental se ubicó en el centro del cacaotal para evitar el efecto de borde (Bravo *et al.*, 2011). Las parcelas fueron divididas en cuatro sub-parcelas o tratamientos de 5 m x 5 m, y se aplicaron los cuatro plaguicidas (tratamientos), obteniendo en total 10 repeticiones por tratamiento. El orden de ubicación de los tratamientos en cada parcela varió moviendo cada tratamiento de posición en sentido horario. Además, se tuvo una parcela testigo de 10 m x 10 m dividida en cuatro sub-parcelas, la cual se encontró a una distancia mayor a 18 m del área definida por los cuatro tratamientos (Mavisoy *et al.*, 2013). El área escogida abarcó una zona de interacción entre cacao, y en menor medida por plátano, debido a que la mezcla de la hojarasca (que incluye flores, frutos y ramas) de ambos cultivos genera condiciones favorables para el desarrollo de las poblaciones de *Forcipomyia* spp. (Mavisoy *et al.*, 2013).

Luego de la aplicación de los cuatro plaguicidas al inicio del ensayo, se recolectó la hojarasca del suelo para una posterior incubación y captura del polinizador *Forcipomyia* spp. del cacao por sub-parcela y los que fueron mezclados por tratamiento, dando como resultado una muestra integrada de hojarasca. Cada muestra fue almacenada en una bolsa de plástico, y luego dividida en cuatro sub-muestras homogéneas de 2 kg cada uno y llevadas a las cajas de emergencia para su incubación, obteniendo así cuatro sub-muestras de 500 g por tratamiento. Cada sub-muestra de hojarasca fue pesada en una balanza digital (Mavisoy *et al.*, 2013). Durante la Ev<sub>1</sub> (Evaluación 1) de las tres realizadas, también se recolectó la hojarasca de la parcela control (C), obteniendo cuatro sub-

muestras que fueron trasladadas a las cajas de emergencia, siendo un total de cinco tratamientos al inicio del ensayo.

Para la incubación y captura del polinizador *Forcipomyia* spp. del cacao se utilizó cajas de emergencia de plástico de dimensiones de 30 cm x 20 cm x 12 cm que tienen en el centro de la cubierta una abertura de 12 cm de diámetro cubierta con malla Raschel® de color oscuro con el fin de evitar la entrada de luz directa, y mantener la humedad y aireación (Mavisoy *et al.*, 2013). Los agujeros de la malla fueron entre 2 mm a 3 mm (mesh de 7 a 10), debido a que es el tamaño aproximado para que un ceratopogónido adulto pueda ingresar a la flor del cacao. A su vez, la malla presentó en el extremo un envase plástico de 10 cm de largo por 2 cm de diámetro. Este envase contenía una solución de sacarosa al 20% en su interior como mecanismo de atracción y captura de los polinizadores. Cada caja de emergencia contenía una sub-muestra de hojarasca de cada tratamiento, con cuatro repeticiones por cada tratamiento. Se instaló cuatro repeticiones de cajas de emergencia con hojarasca C solo en la Ev<sub>1</sub>. Se realizó en un área acondicionada cerca al campo experimental con el fin de conservar las condiciones naturales reales del campo.

El proceso de incubación y captura de *Forcipomyia* spp. duró hasta 30 días, y diariamente cada caja de emergencia fue revisada (Ramos-Serrano, 2011). La hojarasca de cada caja de emergencia fue pesada cada dos días, para verificar que se mantengan las mismas condiciones del día recolección, y en caso contrario, se humedeció con agua destilada para mantener el peso inicial. El proceso de recolección de hojarasca, incubación y captura de ceratopogónidos en cajas de emergencia se realizó en evaluaciones a intervalos quincenales, obteniendo tres evaluaciones desde la aplicación del plaguicida a dosis única (EV<sub>1</sub> a los 30 días, Evaluación 2 =

EV<sub>2</sub> a los 45 días y Evaluación 3 = EV<sub>3</sub> a los 60 días).

Los individuos ceratopogónidos capturados en cada caja de emergencia fueron lavados con agua destilada, preservados en frascos herméticos con alcohol etílico al 70%, y posteriormente clasificados en el laboratorio, siguiendo claves taxonómicas especializadas (Borkent & Dominiak, 2020). Se identificaron seis especies en seis sub-géneros de *Forcipomyia*: *F. (Metaforcipomyia)* sp., *F. (Caloforcipomyia)* sp., *F. (Trichohelea)* sp., *F. (Warmkea)* sp., *F. (Microhelea)* sp. y *F.* (no identificada) sp., por lo que en este trabajo debido al bajo número de individuos por especie se evaluó a este complejo de taxones como *Forcipomyia* spp. Además, la clave taxonómica utilizada permitió la identificación del sexo de los individuos de *Forcipomyia* spp. recolectados, obteniendo 47 hembras, 28 machos y 14 no identificados. La abundancia de los seis subgéneros de *Forcipomyia* spp. mostró el siguiente orden de mayor a menor en base a su abundancia relativa: *F. (Metaforcipomyia)* sp. (n= 40) > *F.* (no identificada) sp. (n = 30) > *F. (Caloforcipomyia)* sp. (n= 12) > *F. (Warmkea)* sp. (n = 3) > *F. (Microhelea)* sp. (n= 3) > *F. (Trichohelea)* sp. (n= 1). De igual forma se identificó al polinizador secundario *Atrichopogon* sp. (Borkent & Dominiak, 2020).

Especímenes representativos del polinizador primario *Forcipomyia* spp. y del polinizador secundario *Atrichopogon* sp. recolectados, fueron depositados en la Colección Entomológica (ENT) del Museo de Historia Natural (MHN) del Laboratorio de Ecología y Biodiversidad Animal (LEBA), Facultad de Ciencias Naturales y Matemática de la Universidad Nacional Federico Villarreal (FCNM, UNFV), Lima, Perú (Resolución de Dirección General N°296-2017-SERFOR-DGGSPFFS). Los códigos de depósito en la colección entomológica para *Forcipomyia* spp. fueron ENT002471 y para *Atrichopogon* sp. fueron ENT002468 y ENT002469.

## TOXICIDAD POR PLAGUICIDAS

El indicador seleccionado para evaluar la toxicidad fue la abundancia poblacional de *Forcipomyia* spp. (Cutler *et al.*, 2014). Se adecuó el protocolo de captura e incubación de Ceratopogónidos a través de cajas de emergencia (Bravo *et al.*, 2010; Ramos-Serrano, 2011; Mavisoy *et al.*, 2013) al procedimiento de ERA. Fue de igual forma registrada la abundancia de *Atrichopogon* sp.

## ANÁLISIS DE DATOS

Se elaboró una gráfica con base en la abundancia de los seis subgéneros de *Forcipomyia* spp. por cada una de las tres evaluaciones. Con base en ello, se comparó la abundancia media de *Forcipomyia* spp. entre los cuatro tratamientos (plaguicidas convencionales T<sub>1</sub> al T<sub>4</sub>) y entre las tres evaluaciones (Ev<sub>1</sub> a Ev<sub>3</sub>). La data de la abundancia de *Forcipomyia* spp. no evidenció cumplimiento de la normalidad con la prueba de Shapiro Wilk y de la homogeneidad de varianzas con la prueba de Levene. Por ende, se empleó la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis (H') para comparar las abundancias, y se usó la prueba de Tukey como prueba a posteriori con base en un *p* menor a 0,05. También se contrastó la abundancia de *Forcipomyia* spp. frente a la abundancia de otro polinizador secundario del cacao como *Atrichopogon* sp., con el fin de comparar si los plaguicidas y las evaluaciones impactan en estos dos polinizadores del cacao. Fue utilizada la prueba no paramétrica de los rangos con signo de Wilcoxon (W) para el análisis comparativo en base al rango medio de dos muestras relacionadas: *Forcipomyia* spp. y *Atrichopogon* sp. Los análisis estadísticos fueron calculados con el programa PAST 4.03.

Aspectos Legales y Éticos: La investigación fue aprobada por el Comité Institucional de Ética en Investigación con Animales y Biodiversi-

dad de la Universidad Científica del Sur (Constitución 45-CIEI-2019-AB-Científica-2019).

**RESULTADOS**

En el análisis por tratamientos (T), los resultados demostraron diferencias en la abundancia media de *Forcipomyia* spp. al analizar la Ev<sub>1</sub> entre el C y los cuatro plaguicidas convencionales T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub> (P = 0,03) (Tabla 2). Para el caso de la Ev<sub>2</sub> no se observaron diferencias entre los cuatro T. Para la Ev<sub>3</sub> y para la Evtotal se vieron diferencias significativas en la abundancia media de *Forcipomyia* spp. entre el T<sub>3</sub> (P = 0,01) y T<sub>4</sub> (P = 0,04) (Tabla 2).

En el análisis por evaluación (Ev), los resultados demostraron un comportamiento similar en la abundancia de *Forcipomyia* spp. con el T<sub>1</sub> a lo largo de cada una de las tres evaluaciones. Para el T<sub>2</sub> se observó diferencias significativas en la abundancia *Forcipomyia* spp. entre Ev<sub>1</sub> y Ev<sub>2</sub> (P = 0,02). En contraste para el T<sub>3</sub> se vio diferencias en la abundancia entre la Ev<sub>1</sub> y Ev<sub>3</sub> (P = 0,04), y para el T<sub>4</sub> entre la Ev<sub>2</sub> y Ev<sub>3</sub> (P = 0,02) (Tabla 3).

En el análisis de la abundancia de *Forcipomyia* spp. frente a *Atrichopogon* sp., los resultados demostraron que, en cada una de las Ev<sub>1</sub> al Ev<sub>3</sub>

y para el total de Ev, la abundancia comparativa de *Forcipomyia* spp. y *Atrichopogon* sp. con base en la prueba no paramétrica de los rangos con signo de Wilcoxon (W) fue estadísticamente similar (Tabla 4). Para el total por Ev, se observó los valores más bajos de abundancia de *Atrichopogon* sp. en el T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub>; en cambio la recuperación en el T4 fue notable (Tabla 4).

**DISCUSION**

Para la Ev<sub>3</sub> y para la Ev<sub>total</sub> se vieron diferencias significativas en la abundancia media de *Forcipomyia* spp. entre los plaguicidas convencionales T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub>. Para el T<sub>3</sub> se vio diferencias en la abundancia entre la Ev<sub>1</sub> y Ev<sub>3</sub>, y para el T<sub>4</sub> entre la Ev<sub>2</sub> y Ev<sub>3</sub>. El clorpirifos con base en la abundancia de *Forcipomyia* spp. es más tóxico en comparación al oxiclورو de cobre. Los resultados en este trabajo sugieren una concordancia en base a la DL<sub>50</sub> de contacto y la DL<sub>50</sub> oral en la abeja *A. mellifera*, en la que el clorpirifos es considerado altamente tóxico y el oxiclورو de cobre prácticamente no tóxico (Tabla 1). Se observó de 242 a 633 veces más tóxico al clorpirifos en comparación al oxiclورو de cobre para el ensayo de contacto con base en la DL<sub>50</sub> en abejas, y se vio 110 veces más tóxico al

**Tabla 2.** Comparación de la abundancia media de *Forcipomyia* spp. por plaguicida en cada evaluación. H' = Valor de Kruskal-Wallis. Sig = significancia. C = Control. T<sub>1</sub>= cipermetrina, T<sub>2</sub>= carbofurano, T<sub>3</sub>= oxiclورو de cobre y T<sub>4</sub>= clorpirifos. Ev<sub>1</sub>= Evaluación 1, Ev<sub>2</sub>= Evaluación 2, Ev<sub>3</sub>= Evaluación 3. Los datos son presentados como Media ± desviación estándar.

Tratamiento	Ev <sub>1</sub>	sig	Ev <sub>2</sub>	sig	Ev <sub>3</sub>	sig	Total	sig
C	2,33±1,52	a						
T <sub>1</sub>	0±0	b	3,00±6,00	a	0,50±0,57	ab	3,5±5,68	ab
T <sub>2</sub>	0±0	b	2,75±2,06	a	1,00±0,81	ab	3,5±1,29	ab
T <sub>3</sub>	0,5±1,0	b	4,00±4,89	a	7,00±5,41	b	11,5±6,35	b
T <sub>4</sub>	0,5±0,57	b	1,25±0,50	a	0±0	a	1,75±0,95	a
H'	10,77		1,54		9,85		8.15	
sig	0,03		0,63		0,01		0.04	

**Tabla 3.** Comparación de la abundancia media de *Forcipomyia* spp. por evaluación para cada plaguicida. H' = Valor de Kruskal-Wallis. Sig = significancia. T<sub>1</sub>= Cipermetrina. T<sub>2</sub>= Carbofurano. T<sub>3</sub>= Oxicloruro de cobre. T<sub>4</sub>= Clorpirifos. Ev<sub>1</sub>= Evaluación 1. Ev<sub>2</sub>= Evaluación 2. Ev<sub>3</sub>= Evaluación 3. Los datos son presentados como Media ± desviación estándar.

Evaluación	Control	T <sub>1</sub>	sig	T <sub>2</sub>	sig	T <sub>3</sub>	sig	T <sub>4</sub>	sig
Ev <sub>1</sub>	2,33±1,52	0±0	a	0±0	a	0,5±1,0	a	0,5±0,57	ab
Ev <sub>2</sub>		3,00±6,00	a	2,75±2,06	b	4,0±4,89	ab	1,25±0,50	b
Ev <sub>3</sub>		0,50±0,57	a	1,00±0,81	ab	7,00±5,41	b	0±0	a
H'		2,06		7,39		6,45		7,47	
sig		0,33		0,02		0,04		0,02	

**Tabla 4.** Abundancia de *Forcipomyia* spp. (For) y *Atrichopogon* sp. (Atri) en el cultivo de cacao incubados en cajas de emergencia por evaluación (Ev<sub>1</sub>, Ev<sub>2</sub> y Ev<sub>3</sub>) y por tratamiento (T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub>) en el departamento de San Martín, Perú. T<sub>1</sub>= Cipermetrina. T<sub>2</sub>= Carbofurano. T<sub>3</sub>= Oxicloruro de Cobre. T<sub>4</sub>= Clorpirifos. Ev<sub>1</sub>= Evaluación 1. Ev<sub>2</sub>= Evaluación 2. Ev<sub>3</sub>= Evaluación 3. El valor en el Control en la Ev<sub>1</sub> fue siete para *Forcipomyia* spp. y cinco para *Atrichopogon* sp. W = prueba de Wilcoxon. Sig = significancia.

Tratamiento	Ev <sub>1</sub>		Ev <sub>2</sub>		Ev <sub>3</sub>		Total por Ev	
	For	Atri	For	Atri	For	Atri	For	Atri
T <sub>1</sub>	0	0	13	0	3	2	16	2
T <sub>2</sub>	0	0	11	2	5	1	16	3
T <sub>3</sub>	2	3	16	1	32	12	50	16
T <sub>4</sub>	2	2	5	9	0	5	7	16
Total	4	5	45	12	40	20	89	37
W	1		9		4		9	
Sig	0,31		0,14		0,59		0,14	

clorpirifos en relación al oxicloruro de cobre basándose en la DL<sub>50</sub> por contacto en *A. mellifera*. Para el insecticida clorpirifos utilizado en el cultivo de cacao, las vías de exposición predominante en *Forcipomyia* spp. son por la dieta (es decir, el consumo de néctar y polen) y por contacto (rociado directo) (Cutler *et al.*, 2014) en contraste con el fungicida oxicloruro de cobre, que solo fue de contacto.

A la fecha no se tienen otras investigaciones que evalúen los efectos negativos del clorpirifos sobre el polinizador *Forcipomyia* spp. Sin embargo, varios efectos negativos se han observado en otros polinizadores como la abeja melífera por acción del clorpirifos, mostrando que la formación y recuperación de los recuerdos olfativos apetitivos se ve gravemente afec-

tada (Urlacher *et al.*, 2016). La literatura muestra que el clorpirifos en dosis subletales, puede amenazar el éxito y la supervivencia de los insectos polinizadores (Urlacher *et al.*, 2016). Los resultados de las pruebas de toxicidad de ingestión en abejas por el clorpirifos evidenciaron una mayor toxicidad en comparación a otros nueve plaguicidas evaluados (Wang *et al.*, 2020).

El clorpirifos resultó ser la mayor toxicidad en base a la abundancia de *Forcipomyia* spp. Se ha demostrado que entre los plaguicidas más tóxicos para los polinizadores se encuentra el clorpirifos (Rehman *et al.*, 2012). Iannacone *et al.* (2018) realizaron una evaluación de riesgo de plaguicidas sobre *A. mellifera* a través del ensayo de toxicidad aguda por contacto y oral, resultando el clorpirifos uno de los de más alto

riesgo para la abeja, y no compatible con la actividad polinizadora. Algunas investigaciones han evaluado la toxicidad del clorpirifos en las abejas, y señalan en base al cociente de riesgo un valor bajo (Al Naggar *et al.*, 2015). Sin embargo, existe aún incertidumbre sobre el impacto de clorpirifos en otras especies de polinizadores (Giesy *et al.*, 2014).

El plaguicida de menor toxicidad en base a la abundancia de *Forcipomyia* spp. fue el oxiclورو de cobre, debido a que fue el que permitió recuperar gradualmente una mayor abundancia de este polinizador a lo largo de las  $Ev_1$  hasta la  $Ev_3$ . Al determinar la toxicidad por la aplicación del oxiclورو de cobre en otros cultivos como el tomate, pepino, sandía, etc., se ha utilizado como un indicador el cociente de impacto de ambiental, que presentó un nivel de riesgo ambiental bajo para los polinizadores más representativo, las abejas; aunque también se señala que se requieren más estudios en abejas para efectos del oxiclورو de cobre a largo plazo (EFSA, 2013). El oxiclورو de cobre es un fungicida de amplio espectro, que podría causar efectos negativos en los organismos de suelo como la lombriz de tierra (Elalfy *et al.* 2021). Opuestamente, un análisis ecotoxicológico de varios indicadores con plaguicidas de uso constante en zonas agrícolas, determinó un nivel de peligrosidad alto del oxiclورو de cobre en comparación a otros ingredientes activos de plaguicidas (López-Dávila *et al.*, 2021).

Los resultados observados en la  $Ev_1$  nos muestran impacto del carbofurano sobre *Forcipomyia* spp. observándose su ausencia en la  $Ev_1$ , y una tenue recuperación en la abundancia en la  $Ev_2$ . El carbofurano ( $T_2$ ) es un insecticida sistémico y un nematocida de amplio espectro que ocasiona impacto en la apicultura (Singh & Sivaram, 2014). Se ha observado que los residuos de carbofurano en base a los cocientes de riesgo para el polen y el néctar de la abeja melí-

fera evidenciaron entre 48 químicos, que solo cuatro (entre los que tenemos al carbofurano) exceden los niveles de preocupación y se le considera de alta toxicidad, por lo que se requiere mayor investigación (Wen *et al.*, 2021).

En los cuatro plaguicidas se observó para la  $Ev_1$  una menor abundancia *Forcipomyia* spp. significativa en comparación al tratamiento C. La aplicación de plaguicidas provoca una caída instantánea en la población de dípteros, grupo al que pertenece *Forcipomyia*; sin embargo, esto puede ser seguido por una posterior recuperación (Sabatier *et al.*, 2013). Devine *et al.* (2008) en su estudio sobre abejas, demostraron que luego de que éstos entraran en contacto con el organofosforado metamidofos, presentaron mortalidad en huevos y larvas; sin embargo, esto fue seguido por una rápida recuperación de las colonias. Esta recuperación podría deberse a que solo se realizó una sola aplicación del químico, similar al presente estudio (Liess *et al.*, 2015). También, la explicación de una rápida caída y posterior recuperación podría deberse a que la vida media de los plaguicidas fue mayormente baja, los cuales son afectados por la textura, materia orgánica, comunidades microbianas, pH, humedad y temperatura del suelo (Graebing & Chib, 2004).

La abundancia comparativa promedio entre cada una de las  $Ev$  del polinizador primario *Forcipomyia* spp. y del polinizador secundario *Atrichopogon* sp. en el cultivo de cacao fue estadísticamente similar. En cambio, el comportamiento de la abundancia en los cuatro plaguicidas no fue igual con los dos géneros de polinizadores. *Forcipomyia* spp. bajo el efecto de clorpirifos presentó los valores de abundancia más bajos versus el oxiclورو de cobre. La abundancia de *Atrichopogon* sp. en el total por  $Ev$  presentó numéricamente los mismos valores entre el clorpirifos y el oxiclورو de cobre. Por ende, debería incrementarse el seguimiento de las poblaciones de las especies de polinizadores en el

cultivo del cacao bajo el efecto de diversos grupos químicos de plaguicidas para tener datos más concluyentes (Córdoba *et al.*, 2013; Armijos-Vásquez *et al.*, 2020; Halvorson *et al.*, 2021).

## CONCLUSIONES

El plaguicida de mayor impacto en la abundancia del polinizador del cacao fue el clorpirifos, y el de menor impacto, el oxiclورو de cobre. A su vez, los resultados demuestran que utilizar el indicador de abundancia para evaluar la toxicidad por aplicación de plaguicidas en polinizadores es adecuado, al observarse impactos en *Forcipomyia* spp. Por último, *Forcipomyia* spp. no es el único polinizador de cacao afectado por la aplicación de plaguicidas, debido a que el género *Atrichopogon* también disminuyó su abundancia al ponerlo en contacto con los mismos plaguicidas, afectándose en mayor proporción al aplicarse la cipermetrina y carbofurano. Es importante realizar una mayor investigación sobre el efecto de los plaguicidas en la abundancia de los polinizadores del cacao con el fin de generar estrategias integrales de protección de este servicio ecosistémico.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Científica del Sur por el financiamiento, al apoyo del Laboratorio de Ecología y Biodiversidad Animal (LEBA) de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemática de la Universidad Nacional Federico Villarreal (FCNM, UNFV) en Lima, Perú. Las claves taxonómicas de *Forcipomyia* spp. fueron proporcionadas por Pablo Marino de Universidad Nacional de la Plata, UNLP, Argentina.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abati, R.; Sampaio, A.R.; Maciel, R.M.A.; Colombo, F.C.; Libardoni, G.; Battisti, L.; Lozano, E.R.; Ghisi, N.C.; Costa-Maia, F.M.; Potrich, M. 2021. Bees and pesticides: the research impact and scientometrics relations. *Environmental Science and Pollution Research*, 28: 32282–32298. DOI: <http://doi.org/10.1007/s11356-021-14224-7>
- Al Naggat, Y.; Codling, G.; Vogt, A.; Naiem, E.; Mona, M.; Seif, A.; Giesy, J.P. 2015. Organophosphorus insecticides in honey, pollen and bees (*Apis mellifera* L.) and their potential hazard to bee colonies in Egypt. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 114: 1–8. DOI: <http://doi.org/10.1007/s11356-021-14224-7>
- Alvarado, A.; Carrera, M.; Morante, J. 2018. Importancia de la mosquilla *Forcipomyia* spp. en la polinización y producción del cultivo de cacao. *Revista DELOS Desarrollo Local Sostenible*, 11: 1-14.
- Arena, M.; Auteri, D.; Barmaz, S.; Brancato, A.; Brocca, D.; Bura, L.; Carrasco-Cabrera, L.; Chiusolo, A.; Civitella, C.; Marques, D.C.; Crivellente, F.; Ctverackova, L.; De Lentdecker, C.; Egsmose, M.; Erdos, Z.; Fait, G.; Ferreira, L.; Greco, L.; Ippolito, A.; Istace, F.; Jarrah, S.; Kardassi, D.; Leuschner, R.; Lostia, A.; Lythgo, C.; Magrans, J.O.; Medina, P.; Mineo, D.; Miron, I.; Molnar, T.; Padovani, L.; Parra-Morte, J.M.; Pedersen, R.; Reich, H.; Sacchi, A.; Santos, M.; Serafimova, R.; Sharp, R.; Stanek, A.; Streissl, F.; Sturma, J.; Szentes, C.; Tarazona, J.; Terron, A.; Theobald, A.; Vagenende, B.; Van Dijk, J.; Villamar-Bouza, L. 2018. Peer review of the pesticide risk assessment of the active substance alpha-cypermethrin. *European Food Safety Authority Journal*, 16: 5403. DOI: <http://doi.org/10.2903/j.efsa.2018.5403>
- Ariffin, F.; Rahman, S.A. 2020. Biodegradation of

- Carbofuran; A Review. *Journal of Environmental Microbiology and Toxicology*, 8, 50-57. DOI: <http://doi.org/10.54987/jemat.v8i1.523>
- Armengot, L.; Ferrari, L.; Milz, J.; Velásquez, F.; Hohmann, P.; Schneider, M. 2020. Cacao agroforestry systems do not increase pest and disease incidence compared with monocultures under good cultural management practices. *Crop Protection*, 130: 105047. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.105047>
- Armijos-Vásquez, V.; García-Cruzatty, L.C.; Castro-Olaya, J., Martínez, M. 2020. Insectos polinizadores en sistemas de producción de *Theobroma cacao* L. en la zona central del litoral ecuatoriano. *Ciencia y Tecnología UTEQ*, 13: 23-30.
- Borkent, A.; Dominiak, P. 2020. Catalog of the Biting Midges of the World (Diptera: Ceratopogonidae). *Zootaxa*, 4787: 001-377. DOI: <http://doi.org/10.11646/zootaxa.4787.1.1>
- Bravo, J.; Somarriba, E.; Arteaga, G. 2011. Factores que afectan la abundancia de insectos polinizadores del cacao en Sistemas Agroforestales. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 28: 119-131.
- Córdoba, C.; Cerda, R.; Deheuvels, O.; Hidalgo, E.; Declerck, F. 2013. Polinizadores, polinización y producción potencial de cacao en sistemas agroforestales de Bocas del Toro, Panamá. *Agroforestería en las Américas*, 49: 26-32.
- Cutler, G.; Purdy, J.; Giesy, J., Solomon, K. 2014. Risk to pollinators from the use of chlorpyrifos in the United States. Ecological risk assessment for chlorpyrifos in terrestrial and aquatic systems in the United States. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 231: 219-265. DOI: [http://doi.org/10.1007/978-3-319-03865-0\\_7](http://doi.org/10.1007/978-3-319-03865-0_7)
- Delgado, C.; Couturier, G.; Balcazar, L.; Chichipe, A. 2023. Insect pests of *Theobroma cacao* (Malvaceae) in the Peruvian Amazon. *Tropical Agriculture (Trinidad)*, 100: 110-114.
- Devine, G.; Eza, D.; Ogusuku, E.; Furlong, M. 2008. Uso de insecticidas: contexto y consecuencias ecológicas. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 25: 74-100.
- Elalfy, M.M.; Abomosallam, M.S.; Sleem, F.; Elhadidy, M. 2021. Copper and copper containing pesticide as copper oxychloride toxicity and its adverse effects on animal and human health. *Medico Research Chronicles*, 8: 89-98.
- EFSA (European Food Safety Authority). 2013. Conclusion on the peer review of the pesticide risk assessment of confirmatory data submitted for the active substance Copper (I), copper (II) variants namely copper hydroxide, copper oxychloride, tribasic copper sulfate, copper (I) oxide, Bordeaux mixture. *European Food Safety Authority Journal*, 11: 3235. DOI: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2013.3235>
- EFSA (European Food Safety Authority). 2018. Conclusion on the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance copper compounds. *European Food Safety Authority Journal*, 16, 5152. DOI: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2018.5152>
- Fachin, G., Pinedo, K.; Vásquez, J.; Flores, E.; Doria, M.; Alvarado, J.; Koch, C.; Bellido, J.J. 2019. Factores ambientales y su relación con la incidencia de *Carmenta foraseminis* (Busck) Eichlin (Lepidoptera: Sesiidae) en frutos de *Theobroma cacao* "cacao" en San Martín, Perú. *Boletín Científico Centro de Museos Museo de Historia Natural*, 23: 133-145.
- Gomero, L. 2014. Informe de evaluación y plan

- de acción para el uso más seguro de pesticidas (PERSUAP). Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID).
- Giesy, J.; Solomon, K.; Cutler, G.; Giddings, J.; Mackay, D.; Moore, D.; Purdy, J.; Williams, W. 2014. Ecological Risk Assessment of the Uses of the Organophosphorus Insecticide Chlorpyrifos, in the United States. In: Giesy, J., Solomon, K. (eds) Ecological Risk Assessment for Chlorpyrifos in Terrestrial and Aquatic Systems in the United States. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 231: 1-11. Springer, Cham. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-03865-0\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-03865-0_1)
- Graebing, P.; Chib, J.S. 2004. Soil Photolysis in a Moisture- and Temperature-Controlled Environment. 2. Insecticides. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52: 2606-2614. DOI: <http://doi.org/10.1021/jf0307671>
- Halvorson, K.; Baumung, R.; Leroy, G.; Chen, C.; Boettcher, P. 2021. Protection of honeybees and other pollinators: one global study. *Apidologie*, 52: 535-547. DOI: <http://doi.org/10.1007/s13592-021-00841-1>
- Iannacone, J.; Alvaríño, L.; Carhuapoma, M.; Panduro, G.; Alarcon, G.; Castañeda, L.; Carrasco, L. 2018. *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae) "abeja melífera" y su uso como bioindicadora para la evaluación de riesgos por plaguicidas. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 19: 1-25.
- Liess, M.; Arena, M.; Boop, S.; Streissl, F.; Römbke, J.; Kattwinkel, M. 2015. Recovery of aquatic and terrestrial populations in the context of European pesticide risk assessment. *Environmental Reviews*, 23: 382-394. DOI: <http://doi.org/10.1139/er-2015-0013>
- Liu, T.F.; Sun, C.; Ta, N.; Hong, J.; Yang, S.G.; Chen, C.X. 2007. Effect of copper on the degradation of pesticides cypermethrin and cyhalothrin. *Journal of Environmental Sciences*, 19: 1235-1238. DOI: [http://doi.org/10.1016/S1001-0742\(07\)60201-0](http://doi.org/10.1016/S1001-0742(07)60201-0)
- López-Dávila, E.; Houbraken, M.; De Rop, J.; Du Laing, G.; Romero, O.; Spanoghe, P. 2021. Evaluación de la presión toxicológica y ecotoxicológica del uso de plaguicidas sintéticos en Sancti Spíritus, Cuba. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 22: e1520.
- Mavisoy, H.; Somarriba, E.; Ballesteros, W. 2013. *Evaluación de la abundancia de Ceratopogonidos (Díptera) polinizadores de Cacao (Theobroma cacao L.) en la hojarasca de siete árboles de sombra, Talamanca - Costa Rica*. Tesis de Licenciatura no publicada. Universidad de Nariño. Pasto, Colombia.
- Miñarro, M.; García, D.; Martínez, R. 2018. Los insectos polinizadores en la agricultura: importancia y gestión de su biodiversidad. *Revista Científica de Ecología y Medio Ambiente Ecosistemas*, 27: 81-90.
- Montero-Cedeño, S.L.; Cañarte-Bermudez, E.G.; Navarrete-Cedeño, J.B.; Pinargote-Borrero, A.; Sanchez-Hernández, P. 2022. Ceratopogonidae: their role in pollination and fertilization at various technological levels of *Theobroma cacao* L. production. *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia*, 39(3): e223943. DOI: [https://doi.org/10.47280/RevFacAgron\(LUZ\).v39.n3.09](https://doi.org/10.47280/RevFacAgron(LUZ).v39.n3.09)
- More, S.J.; Auteri, D.; Rortais, A.; Pagani, S. 2021a. EFSA is working to protect bees and shape the future of environmental risk assessment. *European Food Safety Authority Journal*, 19: e190101. DOI: <http://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.e190101>
- More, S.; Bampidis, V.; Benford, D.; Bragard, C.; Halldorsson, T.; Hernández-Jerez, A.; Bennekou, S.H.; Koutsoumanis, K.; Machera,

- K.; Naegeli, H.; Nielsen, S.S.; Schlatter, J.; Schrenk, D.; Silano, V.; Turck, D.; Younes, M.; Arnold, G.; Dorne, J.L.; Maggiore, A.; Pagani, S.; Szentes, C.; Terry, S.; Tosi, S.; Vrbos, D.; Zamariola, G.; Rortais, A. 2021b. A systems-based approach to the environmental risk assessment of multiple stressors in honeybees. *European Food Safety Authority Journal*, 19: 6607. DOI: <http://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.6607>
- Ramos-Serrano, R.M. 2011. *Estudio de la diversidad de insectos polinizadores en sistemas agroforestales de cacao y su relación con la productividad y diversidad de especies del dosel*. Tesis de pregrado, Universidad San Pedro Sula.
- Rehman, S.; Rehman, S.; Waliullah, M. 2012. Chlorpyrifos-induced neuro-oxidative damage in bee. *Toxicology and Environmental Health Sciences*, 4: 30–36. DOI: <http://doi.org/10.1007/s13530-012-0114-9>
- Ríos-Moyano, D.K.; Rodríguez-Cruz, F.A.; Salazar-Peña, J.A.; Ramírez-Godoy, A. 2023. Factores asociados a la polinización del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Agronomía Mesoamericana*, 34(3): 52280. <https://doi.org/10.15517/am.2023.52280>
- Sabatier, R.; Wiegand, K.; Meyer, K. 2013. Production and robustness of a Cacao agroecosystem: Effects of two contrasting types of management strategies. *Plos One*, 8: e80352. DOI: <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0080352>
- Salazar-Díaz, R.; Torres-Coto, V. 2017. Estudio de la dinámica de polinizadores del cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) en tres sistemas de producción. *Tecnología en Marcha*, 30: 90–100. DOI: <http://doi.org/18845/tm.v30i1.3088>
- Sánchez-Bayo, F.; Goka, K. 2014. Pesticide residues and bees – A risk assessment. *PLoS ONE*, 9: e94482. DOI: <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0094482>
- Singh, C.; Sivaram, V. 2014. Detection of carbamates in honeybees and bee-products of Karnataka State. *International Journal of Advanced Research*, 2: 757-776.
- Spruill, S.E.; O'Neill, B.F.; Hinarejos, S.; Cabrera, A.R. 2020. A Comparison of acute toxicity endpoints for adult honey bees with technical grade active ingredients and typical end-use products as test substance. *Journal of Economic Entomology*, 113: 1015–1017. DOI: <http://doi.org/10.1093/jee/toz305>
- Sulaiman, N.; Beng, Y.C.; Bustamam, F.K.A.; Khairuddin, N.S.K., Muhamad, H. 2019. Fate of cypermethrin in Malaysian oil palm plantation. *Drug Testing and Analysis*, 12: 504-513. DOI: <http://doi.org/10.1002/dta.2760>
- Topping, C.J.; Brown, M.; Chetcuti, J.; de Miranda, J.R.; Nazzi, F.; Neumann, P.; Paxton, R.J.; Rundlöf, M.; Stout, J.C. 2021. Holistic environmental risk assessment for bees. *Science*, 371 (6532): 897. DOI: <http://doi.org/10.1126/science.abg9622>
- Urlacher, E.; Monchanin, C.; Rivièrè, C.; Freddie-Jeanne, R.; Lombardi, C.; Michelsen-Heath, S.; Hageman, K.J.; Mercer, A.R. 2016. Measurements of chlorpyrifos levels in forager bees and comparison with levels that disrupt Honey Bee odor-mediated learning under laboratory conditions. *Journal of Chemical Ecology*, 42: 127–138. DOI: <http://doi.org/10.1007/s10886-016-0672-4>
- US Environmental Protection Agency – EPA. 2021. EPA Pesticide Ecotoxicity Database. <https://www.epa.gov/privacy/privacy-act-laws-policies-and-resources> Acceso: 22/09/2021.
- Vandromme, M., Sande, E.V; Pinceel, T.; Vanhove, W.; Trekels, H.; Vanschoenwinkel, B. 2023. Resolving the identity and breeding habitats

- of cryptic dipteran cacao flower visitors in a neotropical cacao agroforestry system. *Basic and Applied Ecology*, 68: 35-45. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.baae.2023.03.002>
- Wang, Y.; Zhu, Y.C.; Li, W. 2020. Comparative examination on synergistic toxicities of chlorpyrifos, acephate, or tetraconazole mixed with pyrethroid insecticides to honeybees (*Apis mellifera* L.). *Environmental Science and Pollution Research*, 27: 6971-6980. DOI: <http://doi.org/10.1007/s11356-019-07214-3>
- Wen, X.; Ma, C.; Sun, M.; Wang, Y.; Xu, X.; Chen, J.; Song, W.; Li-Byarlay, H.; Luo, S. 2021. Pesticide residues in the pollen and nectar of oilseed rape (*Brassica napus* L.) and their potential risks to honeybees. *Science of The Total Environment*, 786: 147443. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147443>

**Recibido:** 27 de marzo de 2024 **Aceptado para publicación:** 15 de noviembre de 2024