



FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“EVALUACIÓN DEL RIESGO AMBIENTAL DE LA APLICACIÓN DE CUATRO PESTICIDAS SOBRE EL POLINIZADOR *FORCIPOMYIA* SPP. (DÍPTERA: CERATOPOGONIDAE) DEL CULTIVO DE CACAO (*THEOBROMA CACAO* L.), EN SAN MARTÍN, PERÚ”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniera Ambiental

Presentado por:

Bach. Astrid Carol Sotomayor Chávez: (ORCID: 0000-0002-4673-4355)

Asesor:

Dr. José Alberto Iannacone Oliver: (ORCID: 0000-0003-3699-4732)

Lima – Perú

2020

COPIA DE ACTA DE SUSTENTACIÓN



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Lima, 8 de octubre de 2020.

Los integrantes del Jurado de tesis:

Presidente: Ph.D. Julio Cesar Alegre Orihuela	<input type="checkbox"/>
Miembro: Mg. Armando Jesus Vélez Azañero	
Miembro: Mg. Javier Francisco Alvarado Llerena	

Se reúnen para evaluar la tesis titulada:
"EVALUACIÓN DEL RIESGO AMBIENTAL DE LA APLICACIÓN DE CUATRO PESTICIDAS SOBRE EL POLINIZADOR FORCIPOMYIA SPP. (DÍPTERA: CERATOPOGONIDAE) DEL CULTIVO DE CACAO (THEOBROMA CACAO L.), EN SAN MARTÍN, PERÚ"

Presentada por la bachiller:

- Astrid Carol Sotomayor Chávez

Para optar el grado de titulada en ingeniería ambiental.

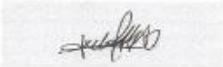
Asesorado por:

- Dr. José Alberto Iannacone Oliver

Luego de haber evaluado el informe final de tesis y evaluado el desempeño del estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental en la sustentación, concluyen de manera unánime (X) por mayoría simple () calificar a:

Tesis: Astrid Carol Sotomayor Chávez		Nota (en letras): Diecisiete	
Aprobado ()	Aprobado - Muy buena (x)	Aprobado - Sobresaliente ()	Desaprobado ()

Los miembros del jurado firman en señal de conformidad.



Ph.D. Julio Cesar Alegre Orihuela
 Presidente del Jurado



Dr. José Alberto Iannacone Oliver
 Asesor



Mg. Armando Jesus Vélez Azañero
 Miembro 1



Mg. Javier Francisco Alvarado Llerena
 Miembro 2

T // (51) 610 6738
 informes@cientifica.edu.pe
 cientificosedu.pe

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación se lo dedico a mis queridos padres, Silvia Chávez Aragón y Raul Sotomayor Mere, por su constante soporte a lo largo de toda mi vida personal y profesional, y por impulsarme a lograr cada uno de mis objetivos. Les agradezco infinitamente por todos sus esfuerzos por darme una carrera profesional, y por siempre guiarme con cariño en cada paso de mi vida.

A mi hermana, Julissa, quien es mi ejemplo y amiga cada vez que necesito un consejo. Gracias por motivarme a ser mejor cada día.

Y a mi sobrina, Gia, quien es una motivación más para seguir creciendo profesionalmente.

Este logro no es solo mío, sino de todos ustedes.

Los amo

AGRADECIMIENTOS

Quiero extender un profundo agradecimiento a todas las personas que estuvieron involucradas en la elaboración del presente proyecto, y quienes me ayudaron a alcanzar esta meta.

En primer lugar, al Doctor en Ciencias Biológicas, José Alberto Iannacone Oliver, por haber aceptado ser mi asesor de tesis, y quien me acompañó de principio a fin con su constante apoyo, y motivación. Su guía fue fundamental para el desarrollo de este proyecto.

A la Dirección General de Investigación, Desarrollo e Innovación de la Universidad Científica del Sur, quienes a través del Concurso de Fondos para Proyectos de Tesis, financiaron este proyecto de investigación.

También, al Sr. Jorge Antonio García Zulueta y familia, quienes me permitieron realizar la parte experimental del proyecto en su finca de cacao (San Martín, Perú), y me recibieron en su hogar por unos meses, lo cual fue una experiencia enriquecedora para mi vida personal y profesional.

Por último, al Departamento de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, de la Universidad Nacional Federico Villarreal (UNFV), por ceder el Laboratorio de Ecología y Biodiversidad Animal (LEBA) y los equipos necesarios para el éxito de esta tesis, y a sus integrantes, quienes me apoyaron durante la identificación taxonómica de las especies recolectadas.

ÍNDICE GENERAL

COPIA DE ACTA DE SUSTENTACIÓN.....	1
DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTOS	3
RESUMEN	5
ABSTRACT	6
INTRODUCCIÓN.....	11
MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
ASPECTOS ÉTICOS.....	23
RESULTADOS	24
DISCUSIÓN.....	31
CONCLUSIONES	34
CONFLICTO DE INTERESES.....	35
REFERENCIAS	36
ANEXOS	44
EVIDENCIA DEL ENVÍO A REVISTA CIENTÍFICA.....	44
COPIA DE CARTA DE APROBACIÓN ACADÉMICA; Error! Marcador no definido.	
COPIA DE DOCUMENTO DE APROBACIÓN DE COMITÉ DE ÉTICA	46

RESUMEN

Introducción: Muchas plantas dependen de un tipo de polinizador específico, y si éste es alterado no se logrará que la planta del cultivo produzca el fruto o presente las mismas características. Este es el caso del cultivo cacao (*Theobroma cacao* L.), cuya flor presenta una estructura que permite que solo sea polinizada por insectos del orden díptero, de la familia Ceratopogonidae, principalmente del género *Forcipomyia*. Sin embargo, este polinizador podría estar viéndose afectado debido a que, en los últimos años, el cultivo de cacao ha sufrido un ataque más intenso de plagas, y por lo tanto, un mayor uso de pesticidas, de los cuales no se ha estudiado el impacto sobre su polinizador.

Objetivo: Evaluar el riesgo ambiental de la aplicación de cuatro pesticidas convencionales utilizados en el cultivo de cacao (cipermetrina, carbofurano, oxiclóruo de cobre y clorpirifos) sobre su principal polinizador, *Forcipomyia* spp. **Materiales y Métodos:** Se evaluó el riesgo ambiental analizando el índice de abundancia de *Forcipomyia* spp., cuyos individuos fueron obtenidos de su incubación y captura en cajas de emergencia con hojarasca de cacao contaminada con cada pesticida (tratamientos) a lo largo de tres evaluaciones quincenales. Las muestras de hojarasca fueron recogidas de una finca de cacao en el centro poblado de Sangamayoc, distrito de Barranquita, provincia Lamas, región San Martín, Perú. El análisis estadístico comparó la abundancia obtenida de *Forcipomyia* spp. entre los cuatro tratamientos a través de la prueba de chi-cuadrado de bondad de ajuste. **Resultados:** Los resultados revelaron que el pesticida clorpirifos fue el que presentó mayor riesgo ambiental sobre la abundancia de *Forcipomyia* spp., seguido en orden

decreciente por cipermetrina, carbofurano y oxiclورو de cobre. En la primera evaluación se observó una caída considerable en la abundancia del polinizador, seguido de una leve recuperación en las evaluaciones posteriores, determinando un tiempo de vida útil promedio de los pesticidas utilizados de 15 días. **Conclusiones:** Se concluye que el pesticida clorpirifos presenta el mayor riesgo ambiental sobre la abundancia de *Forcipomyia* spp., y el oxiclورو de cobre el de menor o nulo riesgo. Además, *Forcipomyia* spp. demostró ser un buen indicador de evaluación de riesgo ambiental por aplicación de pesticidas debido a la sensibilidad demostrada frente a los pesticidas utilizados.

PALABRAS CLAVE: Abundancia, cajas de emergencia, hojarasca, polinización

ABSTRACT

Introduction: Many plants depend on a specific type of pollinator, and if this is altered it will not achieve that the plant of the crop produces the fruit or presents the same characteristics. This is the case of the cocoa crop (*Theobroma cacao* L.), whose flower presents a structure that allows it to be pollinated only by insects of the order Diptera, of the family Ceratopogonidae, mainly of the genus *Forcipomyia*. However, this pollinator could be affected due to the fact that, in recent years, the cocoa crop has suffered a more intense attack from pests, and therefore, a greater use of pesticides, of which the impact on its pollinator has not been studied. **Objective:** Assess the environmental risk of the application of four conventional pesticides (cypermethrin, carbofuran, copper oxychloride and chlorpyrifos) in cocoa cultivation on their main pollinator, *Forcipomyia* spp.

Materials and Methods: Environmental risk was evaluated by analyzing the

abundance index of *Forcipomyia* spp., whose individuals were obtained from its incubation and capture in emergency boxes with cocoa leaves contaminated with each pesticide (treatments) along three biweekly evaluations. Leaf samples were collected from a cocoa farm in the town center of Sangamayoc, Barranquita district, Lamas province, San Martín region, Peru. The statistical analysis compared the abundance of *Forcipomyia* spp. among the four treatments through the chi-square test of goodness of fit. **Results:** The results revealed that the pesticide chlorpyrifos was the one that presented the greatest environmental risk to the abundance of *Forcipomyia* spp., followed in decreasing order by cypermethrin, carbofuran and copper oxychloride. The first evaluation saw a significant drop in pollinator abundance, followed by a slight recovery in subsequent evaluations, determining an average shelf life of the pesticides used of 15 days. **Conclusions:** It is concluded that the pesticide chlorpyrifos presents the highest environmental risk on the abundance of *Forcipomyia* spp. and copper oxychloride the lowest or no risk. In addition, *Forcipomyia* spp. proved to be a good indicator of environmental risk assessment by application of pesticides due to the sensitivity shown to the pesticides used.

KEY WORDS: Abundance, emergency boxes, leaf litter, pollination

**Avaliação de risco ambiental da aplicação de quatro pesticidas em
Forcipomyia spp. (Diptera: Ceratopogonidae) da cultura do cacau
 (*Theobroma cacao* L.), em San Martin, Peru**

RESUMO

Introdução: Muitas plantas dependem de um tipo específico de polinizador, e se este for alterado, a planta da cultura não produzirá o fruto ou não apresentará as mesmas características. É o caso da cultura do cacau (*Theobroma cacao* L.), cuja estrutura floral permite que seja polinizada apenas por insectos da ordem diptera, da família *Ceratopogonidae*, principalmente do género *Forcipomyia*. Contudo, este polinizador pode ser afectado porque, nos últimos anos, o cultivo do cacau tem sofrido um ataque mais intenso de pragas e, portanto, uma maior utilização de pesticidas, cujo impacto no seu polinizador não foi estudado. **Objectivo:** Avaliar o risco ambiental da aplicação de quatro pesticidas convencionais utilizados no cultivo do cacau (cipermetrina, carbofurão, oxicloreto de cobre e clorpirifos) no seu polinizador principal, *Forcipomyia* spp. **Materiais e Métodos:** O risco ambiental foi avaliado através da análise do índice de abundância de *Forcipomyia* spp, cujos indivíduos foram obtidos a partir da sua incubação e captura em caixas de emergência com folhas de cacau contaminadas com cada pesticida (tratamentos) ao longo de três avaliações quinzenais. Foram recolhidas amostras de folhas numa exploração de cacau na cidade de Sangamayoc, distrito de Barranquita, província de Lamas, região de San Martin, Peru. A análise estatística comparou a abundância de *Forcipomyia* spp. entre os quatro tratamentos através do teste qui-quadrado de bondade de aptidão. **Resultados:** Os resultados revelaram que o pesticida clorpirifos foi o que apresentou maior risco ambiental sobre a

abundância de *Forcipomyia* spp. seguido em ordem decrescente pela cipermetrina, carbofurão e oxicloreto de cobre. Na primeira avaliação, observou-se uma queda considerável na abundância de polinizadores, seguida de uma ligeira recuperação nas avaliações subseqüentes, determinando um prazo médio de validade dos pesticidas utilizados de 15 dias. **Conclusões:** Conclui-se que o pesticida clorpirifos apresenta o maior risco ambiental sobre a abundância de *Forcipomyia* spp. e oxicloreto de cobre, o menor ou nenhum risco. Além disso, *Forcipomyia* spp. provou ser um bom indicador da avaliação dos riscos ambientais através da aplicação de pesticidas devido à sensibilidade demonstrada aos pesticidas utilizados.

PALAVRAS-CHAVE: Abundância, caixas de emergência, lixo, polinização

Evaluación del riesgo ambiental de la aplicación de cuatro pesticidas sobre el polinizador *Forcipomyia* spp. (Díptera: Ceratopogonidae) del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.), en San Martín, Perú

Astrid Carol Sotomayor Chávez¹, José Alberto Iannacone Oliver²

1 Bachiller en Ingeniería Ambiental. Facultad de Ciencias Ambientales. Universidad Científica del Sur. Lima, Perú, Correo electrónico: astrisu1694@gmail.com, ORCID: 0000-0002-4673-4355.

2 Biólogo, Doctor en Ciencias Biológicas, Docente-Investigador, Laboratorio de Ingeniería Ambiental. Facultad de Ciencias Ambientales. Universidad Científica del Sur. Lima, Perú. Laboratorio de Ecología y Biodiversidad Animal (LEBA) Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas. Universidad Nacional Federico Villarreal. Lima, Perú, joseiannaconeoliver@gmail.com

Autor para correspondencia, José Alberto Iannacone Oliver, E-mail: joseiannaconeoliver@gmail.com, ORCID: 0000-0003-3699-4732

INTRODUCCIÓN

La polinización realizada por insectos (entomófila) es considerada un servicio ecosistémico de gran importancia, debido a que permite asegurar la producción agrícola de un gran número de alimentos (Miñarro *et al.*, 2018). Sin embargo, Gill *et al.* (2016) explican que la población de polinizadores se está viendo afectada por diferentes factores, entre los que menciona la pérdida de hábitats, la incidencia de parásitos, y el aumento en la aplicación de pesticidas.

Uno de los cultivos con mayor dependencia a la polinización entomófila es el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.), cuya flor es polinizada principalmente por insectos del orden díptero, de la familia Ceratopogonidae, del género *Forcipomyia*, *Atrichopogon* y *Dasyhelea*, siendo el primero el que reúne las características específicas en su estructura morfológica que le permite especializarse altamente en la polinización de las flores del cacao (Bravo *et al.*, 2011). Además, pueden volar grandes distancias y transportar grandes cantidades de polen (Parra, 2016). Se ha reportado que dentro del género *Forcipomyia* intervienen diferentes especies en la polinización efectiva de las flores del cultivo de cacao (Alvarado *et al.*, 2018).

Sin embargo, este polinizador podría verse afectado por el aumento del uso indiscriminado de pesticidas aplicados en el cultivo de cacao, ya que muchas de las sustancias químicas aplicadas en los cultivos para controlar insectos plaga, también podrían estar afectando a organismos no objetivo (Srinivasan, 2011). Esta alza en el uso de pesticidas en el cultivo de cacao puede comprobarse, con el aumento del número de tiendas de agroquímicos en el departamento de San Martín, considerada la región con mayor área de cultivo

de cacao en el Perú (Ministerio de Agricultura y Riego-MINAGRI, 2016), la cual desde el 2009 al 2013 tuvo un aumento de 8 a 29 tiendas de venta de estos productos (Gomero, 2014).

Sabatier, Wiegand y Meyer (2013), desarrollaron un modelo dinámico del agroecosistema del cacao, cuyos resultados mostraron que el rendimiento del cultivo varía fuertemente de acuerdo al tipo de pesticida aplicado, obteniendo una disminución en el proceso de polinización. También, Cabezas *et al.* (2017) identificaron la presencia de un nuevo insecto plaga, *Carmenta foraseminis* Eichlin, 1995 (Lepidoptera, Sesiidae) o “Mazorquero del cacao”, el cual estaba afectando a la gran mayoría de las fincas cacaoteras en la provincia de Leoncio Prado, Huánuco, resaltando la falta de conocimiento de los efectos negativos de los pesticidas utilizados (grupo clorpirifos o cipermetrinas) para el control de esta nueva plaga sobre la mosca polinizadora *Forcipomyia* spp.

Además, Gomero (2014) desarrolló una lista de los pesticidas más utilizados en cultivos prioritarios en el Perú, y aprobados para su aplicación por el Servicio Nacional de Sanidad Agraria (SENASA) y la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA), incluyendo al cultivo cacao. Sin embargo, reevaluó esta lista siguiendo criterios, como el análisis de riesgo del efecto de estos pesticidas sobre los ecosistemas, sobretodo en organismos no objetivo y determinó que muchos de ellos no deberían ser aprobados para su uso. Entre los pesticidas no aprobados, siguiendo los criterios señalados, se incluyeron cuatro de gran uso para el control de plagas en el cacao: carbofurano, clorpirifos, cipermetrina, y oxiclورو de cobre. Este último, si bien fue

aprobado, se le consideró como un probable disruptor endocrino, por lo que se le debe realizar un mayor estudio.

La evaluación de riesgo ambiental representa una herramienta eficaz que puede ayudar a determinar qué pesticidas no representan impacto ambiental hacia los polinizadores (Plataforma Intergubernamental Científico-normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas – IPBES, 2016), lo cual es importante determinar, ya que el uso de estas sustancias representa un factor con gran potencial de alterar la abundancia y diversidad de los polinizadores, causando en ellos efectos letales y sub-letales, como la pérdida de la actividad de forrajeo o la reducción de la función inmunológica de la población de polinizadores (Rundlöf *et al.*, 2015). El uso de la abundancia de polinizadores como indicador para evaluar el riesgo ambiental por pesticidas es eficiente, debido a que este indicador permite asegurar la vitalidad de los servicios de polinización (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO, 2017).

Sin embargo, mucha de la investigación realizada sobre la pérdida de polinizadores por efectos de pesticidas se ha centrado en abejas, siendo muy probable que también se estén viendo afectados otros insectos polinizadores asociados a campos de cultivo, como avispas, mosquitos, escarabajos, etc. (Gill *et al.*, 2012). Además, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP) (2018), recomienda promover la investigación en taxones diferentes a las abejas para el diseño de políticas de manejo adecuadas. Es por eso que, el objetivo del presente estudio es realizar una evaluación de

riesgo ambiental del uso de pesticidas sobre un polinizador poco estudiado, como *Forcipomyia* spp., asociado al cultivo de cacao, uno de los principales cultivos del Perú.

MATERIALES Y MÉTODOS

Pesticidas

Se emplearon cuatro pesticidas aplicados al cultivo de cacao: cipermetrina (T₁), carbofurano (T₂), oxiclورو de cobre (T₃) y clorpirifos (T₄). La elección de estas sustancias químicas dependió de la frecuencia de uso y venta en las principales zonas cacaoteras del Perú, y la enfermedad o plaga que controlan (Tabla N° 1), las cuales son las de mayor incidencia en las chacras de cacao a nivel nacional (Cabezas *et al.*, 2017). Las características de los pesticidas a analizar se detallan en la Tabla N° 2. Además, se agregó a la aplicación un coadyuvante tipo surfactante, Stick Water ®, con el fin de reducir pérdidas de los pesticidas por el lavado producido por acción de las lluvias.

Tabla N° 1
Criterios de selección de los pesticidas

Sustancia Química	Muy utilizado	Muy vendido	Enfermedad o plaga que controla			Mazorquero del cacao (<i>Carmenta</i> sp.)	Resultado de PERSUAP
			Mazorca negra o Pudrición parda (<i>Phytophthora palmivora</i> Butler)	Escoba de bruja (<i>Moniliophthora perniciosa</i> (Stahel) Aime & Phillips-Mora, 2005)	Moniliasis (<i>Moniliophthora roreri</i> (Cif.) H.C. Evans, Stalpers, Samson & Benny, (1978))		
Cipermetrina (T ₁)	x	x				x	No aprobado
Carbofurano (T ₂)	x	x			x		No aprobado
Oxicloruro de cobre (T ₃)	x	x	x	x	x		Aprobado (Probable disruptor endocrino)
Clorpirifos (T ₄)	x	x				x	No aprobado

Fuente: Adaptado de "Evaluation Report and Action Plan for the Safer Use of Pesticides" (PERSUAP). Alternative Development Program (ADP) (2014).

Tabla N° 2
Características de los pesticidas

N° de Registro	Ingrediente activo	Nombre comercial	Formulación	Grupo toxicológico	Categoría toxicológica	Dosis aplicada de producto comercial	Dosis aplicada de ingrediente activo
REGISTRO PQUA N° 062- SENASA	Cipermetrina (T ₁)	Bulltrim	Concentrado emulsionable	Organofosforado	II - Moderadamente peligroso	0.25 L / 200L	250 g de ia/L
PQUA-N° 475- SENASA	Carbofurano (T ₂)	Farmadan	Suspensión concentrada	Carbamato	Tóxico	1.38 L / 200 L	480 g de ia/L
REGISTRO N° 123-96- AG- SENASA	Oxicloruro de cobre (T ₃)	Cupravit® OB 21	Polvo mojable	Fungicida	IV - Ligeramente tóxico	300 – 400 g/100 L agua	500 g de ia/Kg
REGISTRO N° 409-97- AG- SENASA	Clorpirifos (T ₄)	Tifon 4E	Concentrado emulsionable	Fosforado	II - Moderadamente peligroso	0.46 L / 200 L	480 g de ia/L
-	Alcoholes polivinílicos, Poliglicoléter etoxilado y otros alcoholes	StickWater®	Concentrado soluble	-	-	100 - 150 ml / 200 L	Alcoholes polivinílicos: 60g de ia /L Poliglicoléter etoxilado: 30 g ia/L Otros alcoholes: 40 g ia/L

Fuente: Adaptado de “Evaluation Report and Action Plan for the Safer Use of Pesticides” (PERSUAP). Alternative Development Program (ADP) (2014).

Tabla N° 3
Propiedades físico – químicas de los ingredientes activos

Ingrediente activo	Coefficiente de partición octanol-agua (Log Kow)	Peso Molecular (P.M.)	Hidrólisis
Cipermetrina (T ₁)	6.6 ¹	416.3	pH=9; inestable ⁴ pH= neutro o ácido; hidrólisis = 20-29 días ⁵
Carbofurano (T ₂)	1.41 ²	221.26	pH =alcalino; inestable ⁶
Oxicloruro de cobre (T ₃)	0.44 ⁷	213	pH=7; estable pH= ácido,

			inestable ⁷
			pH=8.1; inestable Hidrólisis=25 días ³
Clorpirifos (T ₄)	5.0 ³	350.6 ³	pH = ácidos o neutros; hidrólisis = 35-75 días ³

Fuente: (1) United States Environmental Protection Agency (2015); (2) Valencia, L. *et al.* (2010); (3) Watts, M. (2012); (4) Walker y Keith (1992) (5) Proquimur (2012); (6) Organización de las Naciones Unidas de la Alimentación y la Agricultura (2000); (7) Exclusivas Sarabia SA (2011). Las unidades reportadas en las Tabla 3 corresponden a las mostradas en las literaturas de origen

El departamento de San Martín, Perú se caracteriza por sus suelos con pH altos o alcalinos (>7) (Arévalo-Gardini *et al.*, 2016) y el río más cercano al punto de muestreo, Río Cainarachi, presenta un pH a 20 °C de aproximadamente 8.1 (Quiroz, 2007), por lo que se le considera un agua de tipo alcalina. Clorpirifos puede degradarse a través del proceso de hidrólisis, acelerándose el proceso en medios alcalinos; y su tiempo de degradación por este medio es aproximadamente de 25 días (Watts, 2012). Cipermetrina acelera su degradación por proceso de hidrólisis cuando se encuentra en medios alcalinos o altamente ácidos, y su tiempo de vida media en el suelo es de 30 días, aunque puede oscilar entre 2 a 8 semanas (Rivas, 2015). Carbofurano es inestable en suelos alcalinos (Farmagro, 2018), teniendo un tiempo de vida media de 28 días en aguas con un pH neutro a alcalino (Delgado y Fajardo, 2015) y en suelos una persistencia entre 30 a 120 días (Tomlin, 2009). Oxicloruro de cobre, tiene un tiempo de vida media en los suelos de 1600 días (Bedmar *et al.*, 2015), y su gran persistencia se debe a

que el cobre no tiene degradación química o microbiológica ya que es un metal pesado, y puede adherirse a los coloides del suelo con facilidad (Mansilla, 2017).

Área de Estudio

El estudio se realizó entre los meses de enero y marzo del 2019 en una finca de cacao localizada en el centro poblado Sangamayoc, distrito de Barranquita, provincia de Lamas, departamento de San Martín, ubicado en las coordenadas UTM 373605.8 9307626.4. Este distrito está localizado a dos horas de la ciudad de Tarapoto, se encuentra a una altitud entre los 650 y 1000 msnm, la temperatura media anual es de 23,9 °C y presenta precipitación durante todo el año (MINAGRI, 2009).

Diseño Experimental

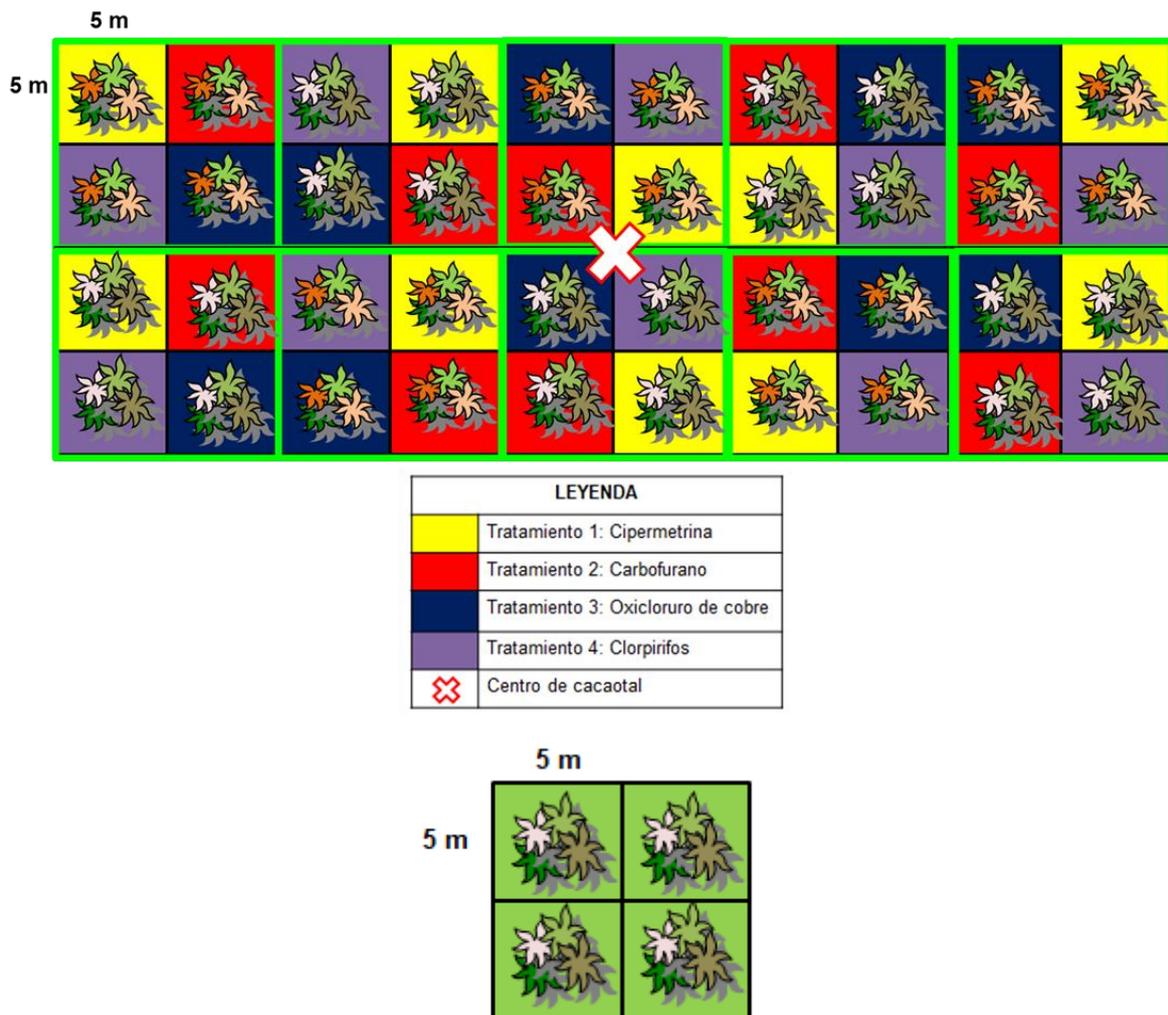
Dentro de la finca de cacao, se definió un área de 1000 m² (50 m x 20 m), dividida en 10 parcelas de 10 m x 10 m (figura 1). El área se ubicó aproximadamente en el centro del cacaotal para evitar efectos de borde (Avelino y Deheuvels, 2008). Las parcelas fueron divididas en cuatro sub-parcelas o tratamientos de 5 m x 5 m, y cada una se fumigó con uno de los cuatro pesticidas (tratamientos) a evaluar, obteniendo en total 10 repeticiones por tratamiento. El orden de ubicación de los tratamientos por parcela variará moviendo cada tratamiento una 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 para evitar su influencia (Mavisoy, Somarriba y Ballesteros, 2013). Esto, con el fin de poder realizar una comparación entre la abundancia de *Forcipomyia* spp. en parcelas

sin contacto con los ingredientes activos y parcelas fumigadas con estas sustancias.

Se tomó en cuenta que el área escogida abarque preferiblemente zonas de interacción entre cacao y plátano ya que la mezcla de la hojarasca (incluyendo flores, frutos y ramas) de ambos cultivos generan condiciones favorables para el desarrollo de poblaciones de Ceratopogonidos, como *Forcipomyia* spp. (Mavisoy, Somarriba y Ballesteros, 2013; Gómez, 2018).

Figura N° 1

a) Área de recolección de hojarasca en cacaotal (arriba) y b) Parcela testigo (abajo)



Fuente: Elaboración propia (2019)

Recolección de sustrato

Luego de la aplicación de los cuatro pesticidas, se recolectó la hojarasca del suelo (sustrato) por sub-parcela y se mezclaron 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 para ser llevadas a las cajas de emergencia para incubación de Ceratopogonidos, obteniendo así cuatro sub-muestras por tratamiento. Cada sub-muestra de hojarasca fue pesada en una balanza digital (Mavisoy, Somarriba y Ballesteros, 2013).

Junto con la recolección durante la Ev_1 , también se recolectó la hojarasca de la parcela control, obteniendo cuatro sub-muestras de hojarasca control, para su posterior traslado a las cajas de emergencia.

Incubación y captura de *Forcipomyia* spp.

La incubación y captura de *Forcipomyia* spp. se realizó en un área acondicionada cerca al campo experimental con el fin de conservar las condiciones naturales reales del campo. Para la incubación y captura del mosquito polinizador 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 parte superior (tapa) una abertura de 12 cm de diámetro cubierta con malla antiáfido de color oscuro con el fin de evitar la entrada de luz, y mantener la humedad y aireación (Mavisoy, Somarriba y Ballesteros, 2013). Los agujeros de la malla fueron entre 2 mm a 3 mm, ya que es el tamaño aproximado para que un Ceratopogonido adulto pueda ingresar a la flor del cacao y por lo tanto, sea un eficiente polinizador de este cultivo (Kaufmann, 1975b). A su vez, la malla

contiene en el extremo un envase plástico de 10 cm de largo por 2 cm de diámetro. Este envase contenía solución de sacarosa al 20% pegada en su interior como trampa de atracción y captura del polinizador. Cada caja de emergencia contenía una sub-muestra de hojarasca de cada tratamiento, con cuatro repeticiones cada una. Además, se instaló 04 repeticiones de cajas de emergencia con hojarasca no contaminada (control) a la par a la primera evaluación (Ev₁) para su comparación.

El proceso de incubación y captura de *Forcipomyia* spp. duró hasta 30 días, donde diariamente cada trampa fue revisada (Ramos, 2011). Además, 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.

Los individuos capturados en cada caja de emergencia fueron lavados con agua destilada, preservados en frascos herméticos estériles con alcohol etílico al 70%, y posteriormente clasificados en el laboratorio, siguiendo la clave taxonómica de McAlpine (1981) y de Meillon y Wirth (1991), las cuales fueron proporcionadas por el especialista en dípteros, Pablo Marino de la Universidad Nacional de la Plata, Argentina. Se identificaron cinco sub-géneros de *Forcipomyia*: *F. Metaforcipomyia*, *F. Caloforcipomyia*, *F. Trichohelea*, *F. Warmkea* y *F. Microhelea*, por lo que en este trabajo se evaluó a este complejo de taxones como *Forcipomyia* spp.

El proceso de recolección de hojarasca, e incubación y captura de ceratopogonidos en cajas de emergencia se realizó en evaluaciones a intervalos quincenales, obteniendo tres evaluaciones en un período de 60 días, el cual es el tiempo promedio de permanencia en el suelo (vida media) de la mayoría de los pesticidas seleccionados.

Evaluación del Riesgo ambiental (ERA) por plaguicidas

Se empleó la técnica de Evaluación de Riesgo Ambiental (ERA), la cual consiste en evaluar la probabilidad de que se produzcan efectos negativos sobre organismos no humanos, poblaciones o comunidades derivados de la exposición a factores de estrés a causa de actividades humanas (Caballero *et al.*, 2014), y según IPBES (2016), la metodología de ERA es una herramienta efectiva que sirve para determinar el uso seguro de pesticidas en polinizadores. La metodología de ERA explica que se debe definir un punto de evaluación del valor ambiental que se busca proteger (Federal Contaminated Sites Action Plan, 2012), por lo que el punto de evaluación (indicador) escogido para esta evaluación es la abundancia del polinizador de cacao, ya que es uno de los indicadores que resultan más amenazados por el uso de pesticidas en polinizadores (IPBES, 2016). Además, Cutler *et al.* (2014), indican que para polinizadores silvestres, la abundancia es uno de los principales puntos al evaluar el riesgo ambiental.

Actualmente, en los procedimientos de ERA para polinizadores se considera únicamente condiciones basadas en el polinizador más representativo (*A. mellifera*); sin embargo, es importante conocer los efectos de los plaguicidas en otras especies polinizadoras representativas, con el fin de buscar la

conservación integral de este servicio ecosistémico (Botías y Sánchez-Bayo, 2017). Es por ello que se adecuó metodologías de captura e incubación de Ceratopogonidos a través de cajas de emergencia (Bravo *et al.*, 2010; Ramos, 2011; Mavisoy *et al.*, 2013) al procedimiento de ERA. Se aplicaron cuatro plaguicidas (cipermetrina, carbofurano, oxiclورو de cobre y clorpirifos) de uso convencional con el fin de evaluar el riesgo ambiental sobre la abundancia de *Forcipomyia* spp. del cultivo de cacao. Con los resultados derivados del conteo de polinizadores obtenidos por cada tratamiento y por cada una de las tres evaluaciones (luego de 30 días de iniciada la evaluación), se llevaron los datos obtenidos a pruebas estadísticas para verificar si el indicador de abundancia del polinizador es dependiente o no de los tratamientos o del tiempo de exposición al plaguicida (evaluación).

Análisis de datos

Se evaluó los datos a través de la prueba de Chi-cuadrado de bondad de ajuste y la prueba binomial exacta de bondad de ajuste, debido a que estas pruebas son empleadas para comparar datos entre un resultado esperado frente a un resultado obtenido. Se empleó la prueba de chi-cuadrado de bondad de ajuste cuando los resultados esperados eran mayores a 5; sin embargo, si eran menores a 5, se utilizó la prueba binomial exacta de bondad de ajuste siempre y cuando se analizaran dos categorías. Además, se aplicó la corrección de Williams al *p-valor* obtenido de la prueba de chi-cuadrado de bondad de ajuste en los casos que se evaluaron más de dos categorías y los valores esperados incluían 0 o valores menores a 5 (McDonald, 2014).

En el presente estudio se comparó la abundancia de *Forcipomyia* spp. esperada (obtenida de la multiplicación de la suma total de individuos recolectados por evaluación por la proporción esperada según el número de tratamientos analizados), frente la abundancia encontrada para cada uno de los tratamientos y evaluaciones. Si el *p-valor* obtenido es menor a 0.05, se determina que la abundancia obtenida del polinizador es dependiente de la variable analizada (tratamiento aplicado y evaluación), y por lo tanto, generan un impacto en abundancia del polinizador. A su vez, se utilizaron dos indicadores: abundancia, la cual es el número de individuos recolectados por evaluación; y abundancia acumulada, la cual es la suma acumulada (recuperada) de los individuos recolectados hasta la evaluación analizada.

También se analizó la abundancia de *Forcipomyia* spp. frente a la abundancia de otros polinizadores de cacao recolectados menos efectivos como *Atrinopogon* sp., con el fin de conocer si los pesticidas utilizados impactan a un solo polinizador, o a los polinizadores del cacao en conjunto. Para el análisis se utilizó la prueba de chi-cuadrado, y la prueba exacta de Fisher en los casos que presentaron valores de 0 o menores a 5.

ASPECTOS ÉTICOS

La fumigación fue realizada con el apoyo del dueño de la finca de cacao debidamente capacitado, el cual utilizó el equipo de protección personal según la norma peruana; y, los envases de pesticidas utilizados siguieron el debido procedimiento de lavado y disposición, sustentado por un certificado de disposición y tratamiento (REGISTRO N° 0003-00526). Ambas actividades fueron realizadas bajo todas las condiciones de bioseguridad y siguiendo la

Guía de Buenas Prácticas Agrícolas (SENASA, 2011) aprobada según la R.D. N° 154-2011-AG-SENASA-DIAIA.

Además, se contó con el permiso del dueño de la finca para realizar la experimentación del presente proyecto de tesis representado bajo una carta de autorización.

Los especímenes colectados fueron debidamente depositados en la Colección Entomológica del Museo de Historia Natural del Laboratorio de Ecología y Biodiversidad Animal (LEBA), Facultad de Ciencias Naturales y Matemática de la Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima, Perú (Resolución de Dirección General N°296-2017- SERFOR-DGGSPFFS). Los códigos de depósito en la colección entomológica fueron, CÓDIGO INICIO: ENT002463 y CÓDIGO FINAL: ENT002492.

RESULTADOS

Análisis por Evaluación

A nivel general, los resultados demostraron un comportamiento similar en la abundancia de *Forcipomyia* spp. a lo largo de las tres evaluaciones (fig. 2). En la evaluación 1, todos los tratamientos presentaron menor abundancia de *Forcipomyia* spp. en relación al tratamiento control (7 individuos). En la evaluación 2, hubo una recuperación de la abundancia de estos individuos, seguido de una nueva disminución en la evaluación 3 en todos los tratamientos, a excepción del T₃.

Los resultados demostraron que para la evaluación 1, T₁ (0 individuos) y T₂ (0 individuos) presentaron diferencias significativas frente al tratamiento control (7

individuos). Estos tratamientos ejercieron un efecto negativo sobre la abundancia del polinizador *Forcipomyia* spp.

Para la evaluación 2 (Ev₂) y evaluación 3 (Ev₃), también se observaron diferencias significativas al analizar los cuatro tratamientos.

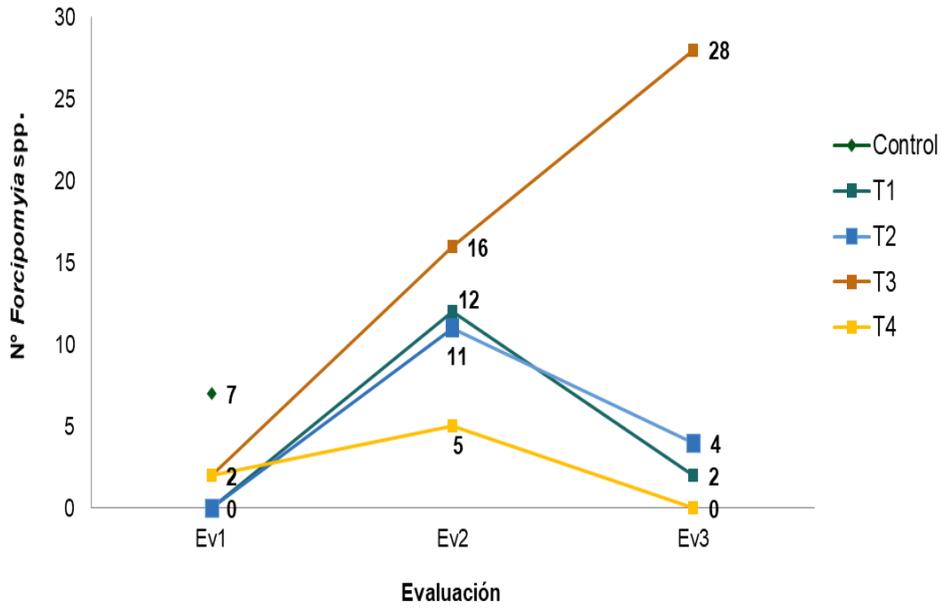
La abundancia en la Ev₂ demuestra que el T₃ fue el que generó menor impacto en la abundancia del polinizador (16 individuos), mientras que el T₄ fue el de mayor impacto (5 individuos). El mismo resultado se repite al evaluar la abundancia acumulada (recuperación de individuos), determinando que hasta la Ev₂, la muestra donde se recuperó mayor número de *Forcipomyia* spp. fue en la que se aplicó el T₃ (20 individuos) en comparación al T₄ (7 individuos), el cual resultó el de mayor riesgo ambiental en base a la abundancia acumulada de *Forcipomyia* spp. (Tabla N° 3).

La abundancia en la Ev₃ demuestra que el T₃ (28 individuos) se diferencia de todos los otros tratamientos, al ser el de menor riesgo ambiental sobre la abundancia del polinizador. El mismo resultado se repite al evaluar la abundancia acumulada, determinando que hasta la Ev₃ la muestra donde se recuperó mayor número de *Forcipomyia* spp. fue en la que se aplicó el T₃ (66 individuos), mientras que el T₄ (7 individuos) presentó menor recuperación, y por lo tanto, el de mayor riesgo ambiental sobre la abundancia del polinizador (Tabla N° 3).

Además, es importante indicar que la clave taxonómica utilizada permitió identificar el sexo de los individuos de *Forcipomyia* spp. recolectados, obteniendo 10 hembras (Ev₁=3, Ev₂=4, Ev₃=3), 6 machos (Ev₁=2, Ev₂=2, Ev₃=2) y 3 no identificados.

Figura N° 2

a) Número de Individuos *Forcipomyia* spp. por tratamiento



b) Recuperación total de *Forcipomyia* spp. por tratamiento

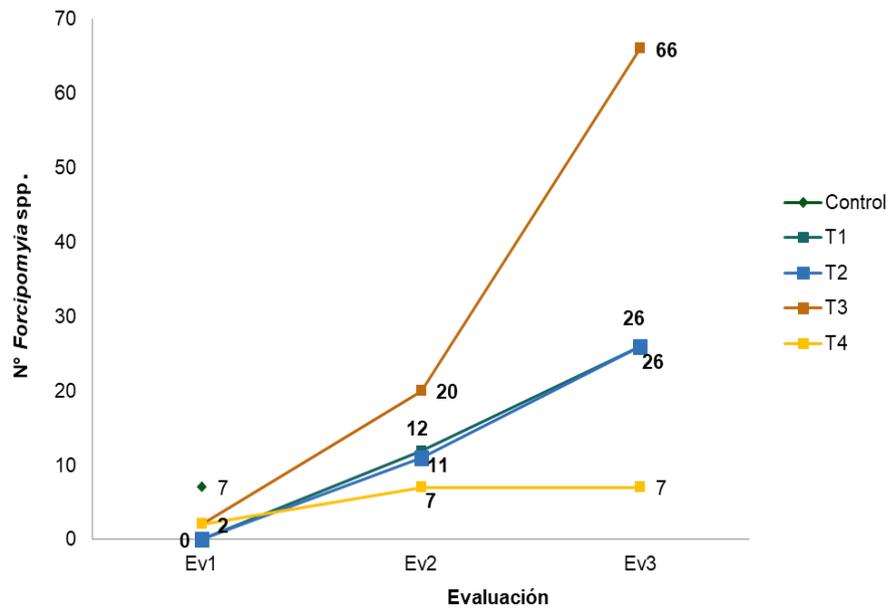


Tabla N° 3

Análisis de dependencia en base a la abundancia y abundancia acumulada entre el efecto de cuatro pesticidas convencionales (T₁, T₂, T₃, T₄) y Control sobre la abundancia del polinizador *Forcipomyia* spp. del cultivo de cacao incubado en cajas de emergencia por evaluación (Ev₁, Ev₂ y Ev₃) en el departamento de San Martín, Perú.

Ev ₁		Abundancia				
		T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	C
Abundancia Acumulada	T ₁	NA	2.00	0.50	0.50	0.02
	T ₂	2.00	NA	0.50	0.50	0.02
	T ₃	0.50	0.50	NA	1.38	0.18
	T ₄	0.50	0.50	1.38	NA	0.18
	C	0.02	0.02	0.18	0.18	NA

Ev ₂		Abundancia			
		T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
Abundancia Acumulada	T ₁	NA	0.83	0.44	0.08
	T ₂	0.83	NA	0.33	0.13
	T ₃	0.15	0.10	NA	0.01
	T ₄	0.25	0.34	0.012	NA

Ev ₃		Abundancia			
		T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
Abundancia Acumulada	T ₁	NA	0.68	0.00	0.50
	T ₂	1	NA	0.00	0.12
	T ₃	0.00	0.00	NA	0.00
	T ₄	0.00	0.00	0.00	NA

T₁= Cipermetrina. T₂= Carbofurano. T₃= Oxicloruro de Cobre. T₄= Clorpirifos. C=Control. Ev₁= Evaluación 1. Ev₂= Evaluación 2. Ev₃= Evaluación 3. NA= No aplica. Números en negrita muestran diferencias significativas entre tratamientos.

Análisis por Tratamiento

Los resultados demostraron diferencias significativas al analizar las evaluaciones por tratamientos en los tratamientos 1, 2 y 3 (Tabla N° 4).

La abundancia en el T₁ demuestra que el número recolectado de *Forcipomyia* spp. en la Ev₂ (12 individuos) fue mucho mayor a lo recolectado en la Ev₁ (0 individuos) y Ev₃ (2 individuos). La abundancia en el T₂ indica que el número recolectado en la Ev₁ (0 individuos) presenta diferencia significativa frente al resultado en la Ev₂ (11 individuos); sin embargo, al analizar la abundancia acumulada para el mismo tratamiento, las tres evaluaciones presentan diferencias significativas al evaluarlas entre ellas (Ev₁=0, Ev₂=11 y Ev₃=26). La abundancia en el T₃ demuestra que el número de individuos recolectados de *Forcipomyia* spp. en la Ev₁ (2 individuos) fue mucho menor a lo recolectado en la Ev₂ (16 individuos) y Ev₃ (28 individuos); sin embargo, la abundancia acumulada para el mismo tratamiento presenta diferencias significativas al evaluar las tres evaluaciones entre ellas (Ev₁=2, Ev₂=20 y Ev₃=66). Al analizar el T₄, no se obtuvo diferencias significativas entre evaluaciones al evaluar la abundancia o la abundancia acumulada.

Tabla N° 4

Análisis de dependencia en base a la abundancia y abundancia acumulada entre las tres evaluaciones (Ev₁, Ev₂ y Ev₃) y la abundancia del polinizador *Forcipomyia* spp. del cultivo de cacao incubado en cajas de emergencia entre los tratamientos aplicados (T₂ y T₃= Oxiclورو de Cobre) en el departamento de San Martín, Perú.

T ₁		Abundancia		
		Ev ₁	Ev ₂	Ev ₃
Abundancia Acumulada	Ev ₁	NA	0.00053	0.5
	Ev ₂	0.00053	NA	0.008
	Ev ₃	0.00001	0.02314	NA
T ₂		Abundancia		
		Ev ₁	Ev ₂	Ev ₃
Abundancia Acumulada	Ev ₁	NA	0.0009	0.12
	Ev ₂	0.0009	NA	0.07
	Ev ₃	0.00001	0.01	NA
T ₃		Abundancia		
		Ev ₁	Ev ₂	Ev ₃
Abundancia Acumulada	Ev ₁	NA	0.0009	0.00001
	Ev ₂	0.0001	NA	0.07
	Ev ₃	0.00001	0.00001	NA

T₂= Carbofurano. T₃= Oxiclورو de Cobre. Ev₁= Evaluación 1. Ev₂= Evaluación 2. Ev₃= Evaluación 3. NA= No aplica. Número en negrita muestran diferencias significativas entre tratamientos.

Análisis de abundancia de otros polinizadores de cacao frente a la abundancia de *Forcipomyia* spp.

Los resultados demostraron que a lo largo de las tres evaluaciones, se recuperó menor número de individuos de *Atrichopogon* sp. que de *Forcipomyia* spp. El T₃ presenta el menor riesgo ambiental en la abundancia de ambos polinizadores; sin embargo, para *Atrichopogon* sp., el tratamiento que afecta más a la abundancia de sus individuos es el T₁, a diferencia de la *Forcipomyia* spp., el cual presenta mayor riesgo ambiental en su abundancia al aplicarse T₄ (Tablas N° 5 y N° 6).

Tabla N° 5

Número de individuos recolectados de los polinizadores *Forcipomyia* spp. (For) y *Atrichopogon* sp. (Atri) del cultivo de cacao incubado en cajas de emergencia en el departamento de San Martín, Perú analizados por evaluación (Ev₁, Ev₂ y Ev₃) y por tratamiento (T₁, T₂, T₃ y T₄)

	Ev ₁		Ev ₂		Ev ₃		Total por T	
	For	Atri	For	Atri	For	Atri	For	Atri
T ₁	0	0	12	0	2	2	14	2
T ₂	0	0	11	2	4	1	15	3
T ₃	2	3	16	1	28	12	46	16
T ₄	2	2	5	9	0	5	7	16
	4	5	44	12	34	20	82	37

T1= Cipermetrina. T2= Carbofurano. T3= Oxicloruro de Cobre. T4= Clorpirifos. C=Control. Ev1= Evaluación 1. Ev2= Evaluación 2. Ev3= Evaluación 3.

Tabla N° 6

Número de individuos acumulados recolectados de los polinizadores *Forcipomyia* spp. (For) y *Atrichopogon* sp. (Atri) del cultivo de cacao incubado en cajas de emergencia en el departamento de San Martín, Perú analizados por evaluación (Ev₁, Ev₂ y Ev₃) y por tratamiento (T₁, T₂, T₃ y T₄)

	Ev ₁		Ev ₂		Ev ₃		Total por T	
	For	Atri	For	Atri	For	Atri	For	Atri
T ₁	0	0	12	0	2	2	14	2
T ₂	0	0	11	2	3	5	14	7
T ₃	2	3	20	7	16	23	38	33
T ₄	2	2	7	13	16	29	25	44
	4	5	50	22	37	59	91	86

T1= Cipermetrina. T2= Carbofurano. T3= Oxiclورو de Cobre. T4= Clorpirifos. C=Control. Ev1= Evaluación 1. Ev2= Evaluación 2. Ev3= Evaluación 3.

DISCUSIÓN

La abundancia de *Forcipomyia* spp. varía según el tratamiento (cipermetrina, carbofurano, oxiclورو de cobre y clorpirifos) y la evaluación (Ev₁ a Ev₃). Por evaluación, existe una tendencia de disminución de la abundancia en la Ev₁ (del día 1 al día 30), seguido de una recuperación en la Ev₂ (del día 15 al día 45), y otra leve caída en la Ev₃ (del día 30 al día 60). Esto se debe a que, según Sabatier, Wiegand y Meyer (2013), la aplicación de pesticidas provoca una caída instantánea en la población de dípteros; sin embargo, esto puede ser seguido por una recuperación. Devine *et al.* (2008) en su estudio sobre abejas, demostró que luego de que éstos entraran en contacto con metamidofós (pesticida organofosforado, al igual que cipermetrina), presentaron mortalidad

en huevos y larvas; sin embargo, esto fue seguido por una rápida recuperación de las colonias. Este mismo autor indica que esta recuperación podría deberse a que solo se realizó una sola aplicación del tratamiento, al igual que en el presente estudio. No existen mucho estudios relacionados a la recuperación de poblaciones de abejas por aplicación de pesticidas (Liess, 2015); sin embargo, existen otros estudios, como el de Frampton (2002), donde analizó el efecto de diferentes pesticidas (incluyendo cipermetrina), en organismos no objetivo, determinando impacto sobre la abundancia de colémbolas, donde pudo recuperarse posteriormente el número de individuos, incluso en menor tiempo que otros grupos, como depredadores.

Lo indicado anteriormente también se alinea a las características del medio, ya que el agua del río más cercano al campo de cultivo (Río Cainarachi) y el suelo de San Martín son considerados de pH alcalino (Arévalo-Gardini *et al.*, 2016; Quiroz, 2007), lo cual genera en los pesticidas utilizados una aceleración en su degradación, y por lo tanto, la recuperación posterior de la abundancia del polinizador del cacao.

Por tratamiento, el pesticida clorpirifos resultó el de mayor riesgo ambiental en base a abundancia de la *Forcipomyia* spp. Se ha demostrado que entre los pesticidas más tóxicos para polinizadores se encuentra el clorpirifos. Rehman *et al.* (2012) en su estudio sobre abejas, uno de los polinizadores más representativos, indicó que el pesticida clorpirifos causa daño al polinizador afectando la funcionalidad de sus células nerviosas, y por lo tanto, siendo causante de la pérdida de su población. El mismo autor indica que su gran uso se debe a su alta estabilidad, persistencia y efectividad dirigida a controlar una gran variedad de plagas de insectos, sin tomar en cuenta su alta toxicidad para

insectos no objetivos. A su vez, Iannacone *et al.* (2018) realizaron una evaluación de riesgo de la aplicación de cinco pesticidas sobre *A. mellifera* a través de ensayos de toxicidad aguda por contacto y oral, resultando clorpirifos uno de los de más alto riesgo para la abeja, determinando que este pesticida no es compatible con la actividad polinizadora. Sin embargo, existe aún incertidumbre sobre el impacto de clorpirifos en polinizadores no *Apis* debido a la falta de información del nivel de toxicidad sobre este tipo de individuos (Giesy *et al.*, 2014).

El pesticida de menor riesgo ambiental en la abundancia de *Forcipomyia* spp. fue el oxiclورو de cobre, ya que fue el que permitió recuperar el mayor número de polinizadores a lo largo de las tres evaluaciones, manteniendo un crecimiento sostenido. Aunque su tiempo de vida media en el suelo es mucho mayor a los otros tratamientos, estudios como el de Soria (2011) demuestran que al evaluar el riesgo ambiental de la aplicación de oxiclورو de cobre en otros cultivos como tomate, pepino, sandía, etc., utilizando indicadores como el cociente de impacto de ambiental, presenta un nivel de riesgo ambiental bajo para organismos no objetivo, incluyendo al polinizador más representativo, las abejas. A su vez, Astorga (2011) realizó un análisis del impacto ambiental de 78 ingredientes activos de uso constante en zonas agrícolas calculando el índice de peligrosidad de cada uno sobre diferentes grupos biológicos (incluyendo a las abejas), determinando un nivel de peligrosidad mediano. Si bien, no existen evaluaciones de riesgo ambiental específicas para polinizadores no *Apis* con oxiclورو de cobre, Sotelo (2018) utilizó esta técnica sobre individuos del medio acuático, como el anfípodo marino (*Apohyale*

grandicornis), determinando también que el oxiclورو de cobre no presentó el riesgo ambiental sobre el individuo estudiado.

Por otro lado, se debe tomar en cuenta que al realizar la aplicación de los tratamientos en el follaje de los árboles de cacao, éstos entraban en contacto con la hojarasca del suelo a través del goteo, muchas veces combinado por las aguas de lluvia. Según Fachín y Panduro (2005), el agua de lluvia de San Martín presenta un pH entre 7.2-7.5 (de neutro a ligeramente alcalino), por lo que según las propiedades físico-químicas de los ingredientes activos utilizados, esta característica podría haber inferido en la aceleración de la degradación de los tratamientos por hidrólisis. Todos los tratamientos utilizados presentan inestabilidad en medio alcalinos y por lo tanto una disminución de su efectividad, lo que se puede observar en la recuperación de la abundancia de *Forcipomyia* spp. a partir de la evaluación 2 (día 15 - día 45).

Según el sexo de *Forcipomyia* spp., se recolectaron mayor número de hembras en comparación a los machos a lo largo de las tres evaluaciones (10 hembras frente a 6 machos), lo cual coincide con lo indicado por varios autores, quienes afirman que las hembras tienen mayor intervención en la polinización de la flor de cacao, en comparación a los machos (De La Cruz y Soria, 1973; Winder, 1977). Sin embargo, existen otros autores que mencionan que machos y hembras realizan una polinización efectiva de la flor de cacao (Brew, 1984).

CONCLUSIONES

Los resultados demuestran que utilizar el indicador de abundancia para evaluar el riesgo ambiental por aplicación de pesticidas en polinizadores es eficiente, ya que permitió determinar cuál de las sustancias químicas aplicadas generó mayor impacto en *Forcipomyia* spp.

A su vez, la evaluación de riesgo ambiental evidencia que el pesticida de mayor impacto en la abundancia del polinizador del cacao, *Forcipomyia* spp., es clorpirifos, y el menor impacto, el oxicloruro de cobre.

Se demuestra que el tiempo de vida útil de los pesticidas utilizados es de aproximadamente 30 días, ya que a partir de la segunda evaluación se observó recuperación en la abundancia de *Forcipomyia* spp.

Por último, *Forcipomyia* spp. no es el único polinizador de cacao afectado por la aplicación de pesticidas, ya que el género *Atrichopogon* también disminuyó su abundancia al ponerlo en contacto con los mismo pesticidas, afectándose en mayor proporción al aplicarse cipermetrina.

Es importante realizar mayor investigación sobre el efecto de pesticidas en la abundancia de otros polinizadores no *Apis* con el fin de generar estrategias integrales de protección de este servicio ecosistémico.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores que aparecen en este artículo declaran que no existe ningún potencial conflicto de intereses.

REFERENCIAS

Alvarado, A., Carrera, M. y Morante, J. (2018). Importancia de la mosquilla *Forcipomyia* spp. en la polinización y producción del cultivo de cacao. Revista DELOS Desarrollo Local Sostenible.

Arévalo-Gardini, E., Obando-Cerpa, M., Zúñiga-Cernades, L., Arévalo-Hernández, C., Baligar, V. y He, Zhenli (2016). Metales pesados en suelos de plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en tres regiones del Perú. Departamento Académico de Biología, Universidad Agraria La Molina.

Astorga, J. (2011). Evaluación preliminar de Riesgo Ecológico por el Uso de Plaguicidas en una Zona Agrícola de Sinaloa. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo. Sinaloa, México

Bravo, J., Somarriba, E. y Arteaga, G. (2011). Factores que afectan la abundancia de insectos polinizadores del cacao en Sistemas Agroforestales. Revista de Ciencias Agrícolas, 28: 119-131.

Bedmar, F., Gianelli, V., Angelini, H. y Viglianchino, L. (2015). Riesgo de contaminación del agua subterránea con pesticidas en la cuenca del arroyo El Cardalito, Argentina. RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias, 41(1): 70-81.

Brew, A. (1984). Studies on Cocoa Pollination in Ghana. Proceedings of 9th International Cocoa Research Conference, Lome 567-71

Caballero, L., Pérez, M., Ramos-Jiliberto, R., Encina-Montoya F., Palma, A. (2014). Lineamientos Metodológicos para la Evaluación de Riesgo Ecológico. Ministerio del Medio Ambiente, Chile.

Cabezas, O., Gil, J., Gómez, R., Dávila, C., Morón, S. y Ramírez, C. (2017). Estado fitosanitario en la producción de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Región de Huánuco (Perú): Incremento del Impacto de *Carmentia foraseminis* Eichlin. 2017 International Symposium on Cocoa Research (ISCR), Lima, Peru, 13-17, Noviembre 2017.

Cutler G., Purdy J., Giesy J. y 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.

Devine, G., Eza, D., Ogusuku, E. y Furlong, M. (2008). Uso de insecticidas: contexto y consecuencias ecológicas. Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica, 25(1), 74-100.

Farmagro S.A. (2018). Ficha técnica de Farmadan (Carbofuran). Departamento técnico. Lima, Perú.

Federal Contaminated Sites Action Plan (2012). Ecological Risk Assessment Guidance. Canadá.

Frampton, G. (2002). Long term impacts of an organophosphate based regime of pesticides on field and field edge Collembola communities. Pest Manage 10: 991-1001.

De la Cruz, J. & Soria, S. 1973. Estudios de fluctuaciones de polinización del cacao por las mosquitas *Forcipomyia* spp. (Diptera: Ceratopogonidae), en Palmira, Valle de Colombia. Revista Acta Agronómica 23:1-17. Universidad Nacional de Colombia (Sede Palmira)

Delgado, M. y Fajardo, P. (2015). Determinación de la movilidad del carbofuran en suelos de un cultivo de papa ubicado en el municipio de Villapinzón-Cundinamarca. Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomás, Bogotá.

Exclusivas Saravia SA. (2011). Ficha de datos de seguridad de Quimur (Oxicloruro de Cobre).

Fachin, A. y Panduro, E. (2005). Evaluación del aprovechamiento de agua de lluvia para uso doméstico en Moyobamba-San Martín. Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

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. y Williams, W. (2014). Ecological Risk Assessment of the Uses of the Organophosphorus Insecticide Chlorpyrifos, in the United States. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology* 231:1-11.

Gill, R., Ramos-Rodriguez, O., Raine, N. (2012). Combined pesticide exposure severely affects individual- and colony-level traits in bees. *Nature*, 491: 105-108.

Gill, R., Baldock, K., Brown, M., Cresswell, J., Dicks, L., Fountain, M., Garrat, M., Gough, L., Heard, M., Holland, J., Ollerton, J., Stone, G., Tang, C., Vanbergen, A., Vogler, A., Woodward, G., Arce, A., Boatman, N., Brand-Hardy, R., Breeze, T., Green, M., Hartfield, C., O'Connor, R., Osborne, J., Phillips, J., Sutton, P. y Potts, S. (2016). Protecting an ecosystem service: approaches to

understanding and mitigating threats to wild insect pollinators. *Advances in Ecological Research*, 54:135-206

Iannacone, J., Alvariño, L., Carhuapoma, M., Panduro, G., Alarcon, G., Castañeda, L. y 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 (9):1-25.

Kaufmann, T. (1975b). Estudios sobre la ecología y biología del polinizador de cacao, *Forcipomyia squamipennis* I. & M. (Díptera, Ceratopogonidae), en Ghana. Cocoa Research Institute. *Bulletin Entomology Research*, 65: 263-268.

Liess, M., Arena, M., Boop, S., Streissl, F., Römbke, J. y Kattwinkel, M. (2015). Recovery of aquatic and terrestrial populations in the context of European pesticide risk assessment. *Environmental Reviews*, 23:382-394.

Mansilla, C. (2017). Impacto ambiental de la aplicación de pesticidas en siete modelos socio-productivos hortícolas del Cinturón Verde de Mendoza (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina.

Mavisoy, H., Somarriba, E. y Ballesteros, W. (2013). Evaluación de la Abundancia De Ceratopogonidos (Díptera) Polinizadores De Cacao (*Theobroma Cacao* L) en la Hojarasca de 7 árboles de sombra, Talamanca – Costa Rica.

McAlpine, J.F. (1981). *Manual of Nearctic Diptera* Vol. 1. Canadá. Agricultura y Agroalimentación de Canadá.

McDonald, J. (2014). Handbook of Biological Statistics. Editorial Sparky House, Baltimore, Maryland.

Meillon & Wirth (1991). Los géneros y subgéneros (excluyendo Culicoides) de los mosquitos picantes afrotropicales (Díptera: Ceratopogonidae). *Annals of the Natal Museum*, 32: 27-147.

Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI) (2009). Plan Estratégico Sectorial Regional Agrario 2009-2015. Dirección Regional de Agricultura de San Martín, Gobierno Regional de San Martín.

Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI) (2016). Estudio del Cacao en el Perú y en el Mundo: Un Análisis de la Producción y el Comercio.

Miñarro, M.; García, D. y Martínez, R. (2018). Los insectos polinizadores en la agricultura: importancia y gestión de su biodiversidad. *Revista Científica de Ecología y Medio Ambiente Ecosistemas*, 27 (2): 81-90.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2000). Evaluación de la contaminación del suelo - Manual de Referencia, Apéndice 3.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2017). Estado del Arte del Servicio Ecosistémico de la Polinización en Chile, Paraguay y Perú.

Parra, G. (2016). Iniciativa Colombiana de Polinizadores. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

Plataforma Intergubernamental Científico-normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas (IPBES) (2016). Resumen para los responsables de formular políticas del informe de evaluación de la Plataforma Intergubernamental Científico-normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas sobre polinizadores, polinización y producción de alimentos. Kuala Lumpur, Malasia, 1-28.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP) (2018). Decisión adoptada por la conferencia de las partes en el convenio sobre la diversidad biológica. Sharm el-Sheikh, Egipto.

Proquimur (2012). Ficha de Seguridad de Prociper (Cipermetrina).

Quiroz, R. (2007). Estudio de Impacto Ambiental de un Proyecto de Sísmica 2D en Selva Peruana – Lote 87. Facultad de Ingeniería de Petróleo, Gas Natural y Petróquímica (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

Rehman, S., Rehman, S. y Waliullah, M. (2012). Daño neuro-oxidativo inducido por clorpirifos en abejas. Toxicología y Ciencias de la Salud Ambiental, 4: 30–36.

Rivas, I. (2015). Diseño, Desarrollo y Evaluación de una Formulación de Microcápsulas del Piretroide Cipermetrina. Departamento de Farmacia y Tecnología Farmacéutica, Universidad Complutense, Madrid.

Rundlof, M., Andersson, G., Bommarco, R., Fries, I., Hederstrom, V., Herbertsson, L., Jonsson, O., Klatt, B., Pedersen, T., Yourstone, J. y Smith, H. (2015). Seed coating with a neonicotinoid insecticide negatively affects wild bees. Nature, 521: 77-80.

Sabatier, R., Wiegand, K. y Meyer, K. (2013). Production and Robustness of a Cacao Agroecosystem: Effects of Two Contrasting Types of Management Strategies. *Plos One*, 8(12):1-10.

Sotelo, D. (2018). Toxicidad aguda de tres plaguicidas (butaclor, oxicloruro de cobre y clorpirifos) sobre el anfípodo bentónico marino *Apothyale grandicornis* (Kroyer, 1845) (Crustacea: Hyalidae). Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Ricardo Palma.

Srinivasan, M. V. (2011). Honeybees as a Model for the Study of Visually Guided Flight, Navigation, and Biologically Inspired Robotics. *Physiological Reviews*, 91: 413– 460.

Servicio Nacional de Sanidad Agraria (SENASA) (2011). Guía de Buenas Prácticas Agrícolas. Lima, Perú.

Tomlin C.D.S. (2009). The pesticide manual. British Crop Protection Council Publication, Surrey, U.K.

United States Environmental Protection Agency (2006). Office of Prevention Pesticides and Toxic Substances: Registration Eligibility Decision (RED) for Cypermethrin, 21-22.

Valencia, L., Yenny, A., Orosí, R., Sandra, F., Valencia, Ch., Eliana, M., & Bravo, R. (2010). Validación de una Metodología para la Determinación De Carbofurano en Suelos mediante cromatografía líquida de alta eficiencia con detección ultravioleta (clar-uv). *Revista Colombiana de Química*, 39(3), 359-370.

Valiente-Banuet, A. (2002). Vulnerabilidad de los sistemas de polinización de cactáceas columnares de México. *Revista Chilena de Historia Natural*, 75(1):99-104.

Watts, M. (2012). Clorpirifos: Un Posible COP a nivel global. *Pesticide Action Network Norteamérica (PANNA)*.

Winder, A. (1977). Field observations on Ceratopogonidae and other Dipteral: Nematocera associated with cocoa flowers in Brazil. *Bulletin Entomological Research* 67:57-63.

ANEXOS

EVIDENCIA DEL ENVÍO A REVISTA CIENTÍFICA

RIA - Envío recibido

 Este mensaje ha sido identificado como un correo no deseado. Se eliminará después de 10 días. **No es un correo no deseado**

 Revista de Investigaciones Agropecuarias (RIA) <ppct.caicyt@gmail.com>
 Mar 11/02/2020 19:18
 Usted 

Astrid Carol Sotomayor Chavez:

Gracias por remitir su trabajo "EVALUACIÓN DEL RIESGO AMBIENTAL DE LA APLICACIÓN DE CUATRO PESTICIDAS SOBRE EL POLINIZADOR FORCIPOMYIA SPP. (DÍPTERA: CERATOPOGONIDAE) DEL CULTIVO DE CACAO (THEOBROMA CACAO L.), EN SAN MARTÍN, PERÚ" a Revista de Investigaciones Agropecuarias. Mediante el sistema de gestión de revistas online que utiliza esta publicación, podrá seguir el progreso de su artículo ingresando a: .

URL del manuscrito:
<http://ppct.caicyt.gov.ar/index.php/ria/author/submission/17296>
 Nombre de usuario/o: astrid_sotomayor16

Ante cualquier consulta, por favor no dude en comunicarse con nosotros. Agradecemos que haya tenido en cuenta nuestra revista para difundir su trabajo.

Atentamente,
 Revista RIA
<http://ria.inta.gov.ar>

Revista de Investigaciones Agropecuarias
<http://ppct.caicyt.gov.ar/index.php/ria>

COPIA DE RESOLUCIÓN DE APROBACIÓN DEL PROYECTO DE TESIS



RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N°088-2019-DACIA-DAFCA-CIENTIFICA

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES / CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

Lima 4 de junio de 2019

VISTO:
El informe de revisión independiente académica y la aprobación de un Comité de Ética del proyecto de tesis titulado: **Evaluación del riesgo ambiental de la aplicación de cuatro pesticidas sobre el polinizador Forcipomyia spp. (Díptera: Ceratopogonidae) del cultivo de cacao (Theobroma cacao L.)**, presentado por:

- Astrid Carol Sotomayor Chávez

CONSIDERANDO:
Que, de acuerdo al Reglamento General de la Universidad Científica del Sur y los reglamentos de pregrado para obtener el título profesional de **Ingeniería Ambiental** en la **Facultad de Ciencias Ambientales**, se debe desarrollar un trabajo de investigación.

Que, de acuerdo a la normativa vigente de la Universidad Científica del Sur, en uso de las atribuciones conferidas al Director Académico de Carrera.

SE RESUELVE:
Aprobar e inscribir el proyecto de tesis titulado: **Evaluación del riesgo ambiental de la aplicación de cuatro pesticidas sobre el polinizador Forcipomyia spp. (Díptera: Ceratopogonidae) del cultivo de cacao (Theobroma cacao L.)** con N° de registro: **113-2018-PRE11**, y establecer el inicio del periodo de ejecución del mencionado proyecto.

Nombrar al docente/colaborador **Dr. José Alberto Iannacone Oliver** como asesor para el desarrollo de la tesis en cuestión.

Regístrese, comuníquese y archívese,




Mg. Gonzalo Francisco Flores Roca
Director Académico
Carrera Ingeniería Ambiental

T: (51) 610 6400
opción 2
www.cientifica.edu.pe

Campus
Panamericana Sur
km 19 - Lima 42

COPIA DE DOCUMENTO DE APROBACIÓN DE COMITÉ DE ÉTICA

COMITÉ INSTITUCIONAL DE ÉTICA EN INVESTIGACIÓN CON ANIMALES Y BIODIVERSIDAD

CIENTÍFICA
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Constancia N° 45-CIEI-AB-CIENTÍFICA-2019

El presidente del Comité Institucional de Ética en Investigación con Animales y Biodiversidad de la Universidad Científica del Sur (CIEI-AB-CIENTÍFICA) da constancia que el proyecto de investigación, cuyos datos se registran a continuación, ha sido **aprobado**.

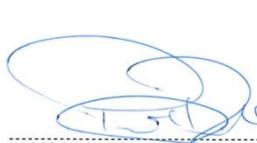
Código de registro: **113-2018-PRE11**
 Título: **Evaluación del riesgo ambiental de la aplicación de cuatro pesticidas sobre el polinizador *Forcipomyia* spp. (Diptera: Ceratopogonidae) del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.)**
 Investigador(a): **Astrid Carol Sotomayor Chávez**

La aprobación del proyecto de investigación implica que el documento presentado a evaluación cumple con los lineamientos de Universidad en materia de investigación y ética, los cuales se sustentan en la normativa internacional vigente.

En tal sentido, esta aprobación carecerá de valor si es que el proyecto de investigación arriba indicado es modificado de cualquier forma. Toda enmienda, añadido, eliminación o eventualidad (eventos adversos, etc.) posterior a la fecha de aprobación debe ser reportado al CIEI-AB-CIENTÍFICA.

La vigencia de la aprobación de este documento es de dieciocho (18) meses (**hasta el 22 de octubre del 2020**), periodo en el que puede desarrollarse el proyecto. Cualquier trámite para su renovación deberá ser enviado antes del término de la vigencia de este documento, debiendo suspenderse todo desarrollo hasta que la renovación sea aprobada.

Villa El Salvador, 23 de abril de 2019




Méd. Vet. Gianmarco Paolo Rojas Moreno
 Presidente
 Comité Institucional de Ética en Investigación
 con Animales y Biodiversidad

T // (511) 610 6400
 opción 3
www.cientifica.edu.pe

Campus
 Panamericana Sur
 km 19 - Lima 42

CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA LOCACIÓN DE TESIS

CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA LOCACIÓN DE TESIS

Por medio de la presente, yo **Jorge Antonio García Zulueta**, con DNI **40255670**, domiciliado en **El Centro Poblado Sangamayoc, Carretera Pelejo Papaplaya, Distrito Barranquita, Provincia Lamas, Departamento San Martín**; certifico que la Srta. **Astrid Carol Sotomayor Chávez** con DNI **70123330** cuenta con mi autorización para la realización de la experimentación de su tesis en mi campo de cultivo de cacao ubicado a la altura del **Km. 20 de la Carretera Carretera Pelejo Papaplaya, Distrito Barranquita, Provincia Lamas, Departamento San Martín**.

Atentamente,



Jorge Antonio García Zulueta
DNI 40255670

**CERTIFICADO DE DISPOSICIÓN CORRECTA DE ENVASES
VACIOS DE PESTICIDAS UTILIZADOS**



GESTIÓN INTEGRAL DE ENVASES VACÍOS DE AGROQUÍMICOS

Registro N° 0003-00526

**CERTIFICADO DE ENTREGA DE ENVASES VACÍOS DE AGROQUÍMICOS
CORRECTAMENTE TRIPLE LAVADOS**

CAMPO LIMPIO registrado ante el Ministerio del Ambiente – MINAM como Empresa Operadora de Residuos Sólidos con código EO-RS-0026-19-130104

CERTIFICA QUE:

**ASTRID CAROL SOTOMAYOR CHAVEZ
DIMAS ALEXANDER GARAY CRISANTO**

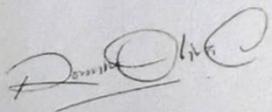
Ha entregado envases vacíos de agroquímicos correctamente triple lavados e inspeccionados, según el detalle siguiente:

<u>CANTIDAD</u>	<u>CAPACIDAD</u>	<u>TIPO</u>
01	0.25 Lt	Plástico
02	01 Lt	Plástico

Envases rígidos:

Fecha de inspección: 05/03/2019

Estos envases fueron entregados a CAMPO LIMPIO en sus centros de acopio distribuidos a nivel nacional.



Romina Oliva Castillo
Asistente de Operaciones
CAMPO LIMPIO PERU

Fecha de Emisión:
05 de Marzo de 2019

Av. Guardia Civil N° 820 – Of. 404 – URB. CORPAC, San Isidro – Lima – PERÚ – Teléfono (511) 288-8227
E-mail: operaciones@campolimpio.org.pe Web: www.campolimpio.org.pe

FOTOS DE FASE DE CAMPO

Armado del área experimental



Aplicación de los tratamientos en área experimental



Recolección y pesaje de hojarasca



Cajas de incubación de *Forcipomyia* spp.



FOTOS DE FASE DE LABORATORIO

Identificación de individuos recolectados



Sub-géneros de *Forcipomyia* spp. identificados

