

UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRARIA



Evaluación del riesgo ambiental de cipermetrina sobre *Aptodrilus fuhrmanni* Michaelsen presente en suelo cafetalero del fundo “La Loma” con estatus orgánico, distrito de Soritor

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL**

AUTORES

Nelson Mendoza Cortegana

Liz Angella Guriz Escudero

ASESOR

Denis Izquierdo Hernández

Rioja, Perú

2022

METADATOS COMPLEMENTARIOS**Datos de los Autores****Autor 1**

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Autor 2

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Autor 3

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Autor 4

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Datos de los Asesores**Asesor 1**

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (Obligatorio)	

Asesor 2

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (Obligatorio)	

Datos del Jurado

Presidente del jurado

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

Segundo miembro

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

Tercer miembro

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

Datos de la Obra

Materia*	
Campo del conocimiento OCDE Consultar el listado:	
Idioma	
Tipo de trabajo de investigación	
País de publicación	
Recurso del cual forma parte (opcional)	
Nombre del grado	
Grado académico o título profesional	
Nombre del programa	
Código del programa Consultar el listado:	

***Ingresar las palabras clave o términos del lenguaje natural (no controladas por un vocabulario o tesauro).**

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

ACTA N° 020 - 2022/UCSS/FIA/DI

Siendo las 09:00 a. m. del día 05 de mayo de 2022 - Universidad Católica Sedes Sapientiae, el Jurado de Tesis, integrado por:

- | | |
|------------------------------------|-----------------|
| 1. Amada Victoria Larco Aguilar | presidente |
| 2. Heidi Isabel Sánchez Torres | primer Miembro |
| 3. Claudia Fiorella Huamaní Cahuas | segundo Miembro |
| 4. Denis Izquierdo Hernández | asesor |

Se reunieron para la sustentación de la tesis titulada **Evaluación del riesgo ambiental de cipermetrina sobre *Aptodrilus fuhrmanni* Michaelsen presente en suelo cafetalero del fundo “La Loma” con estatus orgánico, distrito de Soritor** que presentan los bachilleres en Ciencias Ambientales, **Nelson Mendoza Cortegana y Liz Angella Guriz Escudero** cumpliendo así con los requerimientos exigidos por el reglamento para la modalidad de titulación; la presentación y sustentación de un trabajo de investigación original, para obtener el Título Profesional de **Ingeniero Ambiental**.

Terminada la sustentación y luego de deliberar, el Jurado acuerda:

APROBAR

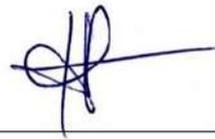
DESAPROBAR

La tesis, con el calificativo de **BUENA** y eleva la presente Acta al Decanato de la Facultad de Ingeniería Agraria, a fin de que se declare EXPEDITA para conferirle el TÍTULO de INGENIERO AMBIENTAL.

Lima, 05 de mayo de 2022.



Amada Victoria Larco Aguilar
PRESIDENTE



Heidi Isabel Sánchez Torres
1° MIEMBRO



Claudia Fiorella Huamaní Cahuas
2° MIEMBRO



Denis Izquierdo Hernández
ASESOR

DEDICATORIA

Dedico a mis padres Apolinar Mendoza Pulce y Zadith Cortegana García por su amor y apoyo incondicional, sus buenos consejos, paciencia, valores inculcados y todas las enseñanzas que me han impartido a lo largo de mi vida; con el único objetivo de verme crecer cada día como profesional y buen ser humano. A mis hermanos y a toda mi familia, quienes han sido mi soporte para afrontar todas las adversidades.

Nelson Mendoza Cortegana

Dedico este trabajo a mi madre Angela Flor Escudero Tanchiva quien ha sido mi mayor motivación para seguir adelante, por amarme y quererme con todas mis fortalezas y debilidades, eres mi mejor amiga, mi cómplice, quien siempre me ha cuidado y acompañado en toda esta aventura de mi vida, quien me ha brindado su apoyo incondicional durante mi formación como profesional. Agradezco tus buenos consejos, tu paciencia; eres mi ayuda, mi guía y mi soporte en los momentos más difíciles de mi vida.

Liz Angella Guriz Escudero

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, nuestro agradecimiento a Dios todopoderoso por el Don de la vida y por habernos permitido llegar hasta este momento; a nuestra madre la Virgen María, por cuidarnos y protegernos e interceder siempre por nosotros.

A nuestro asesor, el Ingeniero Denis Izquierdo Hernández, por su tiempo y apoyo incondicional en la elaboración y ejecución de nuestro proyecto.

Al Padre Jhony García Abad por su amistad incondicional, por los buenos deseos, consejos y bendiciones.

A la Universidad Católica Sedes Sapientiae, Filial Rioja: Nueva Cajamarca, por habernos permitido el uso del Laboratorio General de Ciencias Básicas I y II para la ejecución de todo el proceso experimental de nuestro proyecto.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
ÍNDICE GENERAL.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE APÉNDICES.....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS.....	4
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO.....	5
1.1. Antecedentes.....	5
1.1.1. Internacional.....	5
1.1.2. Nacional.....	15
1.2. Bases teóricas especializadas.....	19
1.2.1. Producción orgánica de “café” (estatus orgánico).....	19
1.2.2. Certificación orgánica.....	20
1.2.3. El suelo.....	21
1.2.4. Importancia del suelo.....	23
1.2.5. “Lombriz de tierra” <i>Aptodrilus fuhrmanni</i> Michaelsen.....	24
1.2.6. Cipermetrina.....	32
1.2.7. Evaluación de toxicidad en sistemas terrestres mediante bioensayos.....	35
1.2.8. Ensayos de evasión.....	41
1.2.9. Evaluación de Riesgo Ambiental.....	42
CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS.....	45
2.1. Diseño de la investigación.....	45
2.1.1. Lugar y fecha.....	45
2.1.2. Descripción del experimento.....	48
2.1.3. Tratamientos.....	66
2.1.4. Unidades experimentales.....	67
2.1.5. Identificación de variables y su mensuración.....	68
2.1.6. Diseño estadístico del experimento.....	68

2.1.7. Análisis estadístico de datos	69
2.2. Materiales	69
CAPÍTULO III: RESULTADOS	70
3.1. Análisis de las características fisicoquímicas del suelo.....	70
3.2. Identificación del género y especie de la “lombriz de tierra”	71
3.3. Determinación de la toxicidad aguda de cipermetrina sobre <i>Aptodrilus fuhrmanni</i>	72
3.4. Evaluación de la evasión para cipermetrina sobre <i>Aptodrilus fuhrmanni</i>	83
3.5. Evaluación de Riesgo Ambiental	89
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN.....	91
4.1. Análisis de las características fisicoquímicas del suelo.....	91
4.2. Determinación de la toxicidad aguda de cipermetrina sobre <i>Aptodrilus fuhrmanni</i>	92
4.3. Evaluación de la evasión para cipermetrina sobre <i>Aptodrilus fuhrmanni</i>	95
4.4. Evaluación de Riesgo Ambiental	97
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES	100
CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES	101
REFERENCIAS	102
TERMINOLOGÍA	109
APÉNDICES	111

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. <i>Estructura química de la cipermetrina</i>	32
Tabla 2. <i>Características físicas y químicas de la cipermetrina</i>	33
Tabla 3. <i>Toxicidad de la cipermetrina en organismos no diana</i>	34
Tabla 4. <i>Bioensayos de toxicidad aguda</i>	38
Tabla 5. <i>Bioensayos de toxicidad crónica o subletal</i>	41
Tabla 6. <i>Disoluciones de cipermetrina utilizado en los ensayos preliminares</i>	54
Tabla 7. <i>Disoluciones establecidas para los bioensayos</i>	58
Tabla 8. <i>Concentraciones de cipermetrina por Tratamiento</i>	67
Tabla 9. <i>Tratamientos experimentales y dosis de cipermetrina</i>	67
Tabla 10. <i>Distribución de tratamientos</i>	68
Tabla 11. <i>Identificación de variables y su mensuración</i>	68
Tabla 12. <i>Propiedades fisicoquímicas del suelo del fundo cafetalero</i>	70
Tabla 13. <i>Clasificación de Aptodrilus fuhrmanni</i>	71
Tabla 14. <i>Muerte y tipo de lesiones que presentaron las lombrices en el Tratamiento 1</i> ...	72
Tabla 15. <i>Muerte y tipo de lesiones que presentaron las lombrices en el Tratamiento 2</i> ...	74
Tabla 16. <i>Muerte y tipo de lesiones que presentaron las lombrices en el Tratamiento 3</i> ...	75
Tabla 17. <i>Muerte y tipo de lesiones que presentaron las lombrices en el Tratamiento 4</i> ...	77
Tabla 18. <i>Muerte y tipo de lesiones que presentaron las lombrices en la muestra control</i>	78
Tabla 19. <i>Comparativo de lombrices muertas por Tratamiento a los 3, 7 y 14 días</i>	79
Tabla 20. <i>Comparativo de lombrices lesionadas por Tratamiento a los 3, 7 y 14 días</i>	80
Tabla 21. <i>Número de lombrices muertas en el derrame de cipermetrina</i>	81
Tabla 22. <i>Porcentaje de mortalidad de la cipermetrina</i>	82
Tabla 23. <i>Parámetros toxicológicos para los ensayos de cipermetrina</i>	82
Tabla 24. <i>Porcentaje de evasión de lombrices en el Tratamiento 1</i>	83
Tabla 25. <i>Porcentaje de evasión de lombrices en el Tratamiento 2</i>	84
Tabla 26. <i>Porcentaje de evasión de lombrices en el Tratamiento 3</i>	85
Tabla 27. <i>Porcentaje de evasión de lombrices en el Tratamiento 4</i>	86
Tabla 28. <i>Porcentaje de evasión de lombrices en la muestra control</i>	87
Tabla 29. <i>Porcentaje de evasión de los tratamientos y sus repeticiones</i>	88
Tabla 30. <i>Valores de PEC y TER de la cipermetrina</i>	90

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Parte interna del organismo de la “lombriz de tierra”.	26
<i>Figura 2.</i> Vista dorsal de las estructuras internas anteriores de la “lombriz de tierra” <i>Aptodrilus fuhrmanni</i>	27
<i>Figura 3.</i> Disposición de un nefridio con respecto a un septo intersegmentario.	28
<i>Figura 4.</i> Sistema nervioso de la “lombriz de tierra” - vista lateral.	29
<i>Figura 5.</i> Segmentos reproductores de la “lombriz de tierra” - vista lateral.	30
<i>Figura 6.</i> (A) “Lombrices de tierra” copulando. (B) “Lombriz de tierra” formando el capullo. (C) Capullo	31
<i>Figura 7.</i> Mapa de ubicación del fundo cafetalero y puntos de muestreo.	46
<i>Figura 8.</i> Mapa de ubicación del área de trabajo experimental (Bioensayos - UCSS).	47
<i>Figura 9.</i> Flujograma de la investigación.	48
<i>Figura 10.</i> Fundo cafetalero “La loma” – Distrito de Soritor.	49
<i>Figura 11.</i> (A) Toma de muestra de suelo del fundo cafetalero. (B) Rotulado de la bolsa para ser enviado al laboratorio.	50
<i>Figura 12.</i> Ubicación del marco de muestreo para la marcación de los monolitos.	52
<i>Figura 13.</i> Contenedores donde se mantuvieron las lombrices <i>Aptodrilus fuhrmanni</i>	53
<i>Figura 14.</i> Lombrices muertas en los bioensayos preliminares.	55
<i>Figura 15.</i> Diseño de las cajas para los bioensayos.	56
<i>Figura 16.</i> Cámara de acondicionamiento y aclimatación de <i>Aptodrilus fuhrmanni</i>	57
<i>Figura 17.</i> Llenado de las cajas demostrativas con el sustrato (suelo).	57
<i>Figura 18.</i> Preparación de cipermetrina según las concentraciones establecidas.	58
<i>Figura 19.</i> Aplicación de cipermetrina a las cajas demostrativas.	59
<i>Figura 20.</i> Lavado, medición y pesado de <i>Aptodrilus fuhrmanni</i>	60
<i>Figura 21.</i> Cajas demostrativas en evaluación por tratamiento	60
<i>Figura 22.</i> Verificación de las muertes y lesiones de <i>Aptodrilus fuhrmanni</i>	61
<i>Figura 23.</i> Caja con la prueba de derrame de cipermetrina	62
<i>Figura 24.</i> Ubicación de las lombrices en la línea central de las cajas demostrativas.	63
<i>Figura 25.</i> Medición de humedad y temperatura	64
<i>Figura 26.</i> <i>Aptodrilus fuhrmanni</i> observada en el microscopio a 10 mm.	71
<i>Figura 27.</i> Número de lombrices muertas y lesionadas en el Tratamiento 1.	73

<i>Figura 28.</i> Número de lombrices muertas y lesionadas en el Tratamiento 2.....	74
<i>Figura 29.</i> Número de lombrices muertas y lesionadas en el Tratamiento 3.....	76
<i>Figura 30.</i> Número de lombrices muertas y lesionadas en el Tratamiento 4.....	77
<i>Figura 31.</i> Número de lombrices muertas y lesionadas en la muestra control.	78
<i>Figura 32.</i> Número de lombrices muertas en el derrame de cipermetrina.....	81
<i>Figura 33.</i> Porcentaje de evasión de <i>Aptodrilus fuhrmanni</i> en el Tratamiento 1.....	84
<i>Figura 34.</i> Porcentaje de evasión de <i>Aptodrilus fuhrmanni</i> en el Tratamiento 2.....	85
<i>Figura 35.</i> Porcentaje de evasión de <i>Aptodrilus fuhrmanni</i> en el Tratamiento 3.....	86
<i>Figura 36.</i> Porcentaje de evasión de <i>Aptodrilus fuhrmanni</i> en el Tratamiento 4.....	87
<i>Figura 37.</i> Porcentaje de evasión de <i>Aptodrilus fuhrmanni</i> en la muestra control.	88

ÍNDICE DE APÉNDICES

	Pág.
Apéndice 1. Análisis físico-químico de las muestras de suelo orgánico.....	111
Apéndice 2. Identificación de la “lombriz de tierra” <i>Aptodrilus fuhrmanni</i>	112
Apéndice 3. Ficha técnica del insecticida campal ® 250 CE.....	115
Apéndice 4. Hoja de seguridad del insecticida campal ® 250 CE.	117
Apéndice 5. Evaluaciones estadísticas de las pruebas de toxicidad aguda	121
Apéndice 6. Evaluaciones estadísticas de las pruebas de evasión.....	129
Apéndice 7. Imágenes de <i>Aptodrilus fuhrmanni</i> muertas en las pruebas de toxicidad aguda.....	132
Apéndice 8. Imágenes de <i>Aptodrilus fuhrmanni</i> lesionadas en las pruebas de toxicidad.	135

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el riesgo ambiental de la cipermetrina sobre *Aptodrilus fuhrmanni* Michaelsen adultas presentes en suelo cafetalero del fundo “La Loma” con estatus orgánico, distrito de Soritor, provincia de Moyobamba, región San Martín. Se realizaron bioensayos de toxicidad aguda (mortalidad) y evasión, donde se definieron 4 tratamientos con diferentes dosis de cipermetrina (T1= 625, T2= 1 250, T3= 2 500, T4= 5 000 mg.L⁻¹) y una muestra control, con 3 repeticiones cada una. Para determinar la toxicidad aguda, se utilizaron cajas de madera con 2 kg de suelo orgánico a las que se añadieron 20 ml de la sustancia preparada y luego se colocaron 20 lombrices durante 14 días. En los análisis de evasión se utilizaron cajas de doble cámara con suelo contaminado y sin contaminar; se colocaron 20 lombrices en la línea central que divide a una cámara de la otra, se cubrió con tela y se dejó por un periodo de 72 horas.

El resultado de la DL₅₀ para la cipermetrina fue de 1 360,23 mg.kg⁻¹. Las evaluaciones de toxicidad aguda indicaron que, al incrementarse la dosis, el porcentaje de muerte también se incrementó (T1= 13,33 %, T2= 53,33 %, T3= 66,67 % y T4= 85 %), lo que implica que existió un efecto significativo de la cipermetrina sobre la supervivencia de *Aptodrilus fuhrmanni* (p>0,05). Los resultados de los bioensayos de evasión indicaron que no existe un efecto significativo sobre el comportamiento de evasión de estos individuos (p>0,05). Para determinar el riesgo ambiental, se halló el criterio de toxicidad por exposición (TER), donde el resultado de TER agudo fue de 22 976,86 y para el TER crónico, los resultados obtenidos de NOEC y LOEC fueron de 10 557,43 y 21 114,86, según el criterio basado en la toxicidad por exposición indica en ambos casos que no existe riesgo ambiental de cipermetrina en *Aptodrilus fuhrmanni*.

Palabras claves: Bioensayos, riesgo ambiental, toxicidad aguda, cipermetrina, *Aptodrilus fuhrmanni*, evasión.

ABSTRACT

The objective of the following research was to evaluate the environmental risk of cypermethrin on adult *Aptodrilus fuhrmanni* Michaelsen which were presented in coffee soil of the "La Loma" farm with organic status, Soritor district, Moyobamba province, San Martín region. They were carried out bioassays of acute toxicity (mortality) and evasion, where were defined 4 treatments with different doses of cypermethrin (T1= 625, T2= 1 250, T3= 2 500, T4= 5 000 mg.L⁻¹) and a sample control, with 3 repetitions each one. In order to determine the acute toxicity, wooden boxes with 2 kg of organic soil were used to 20 ml of the prepared substance were added and then 20 earthworms were placed for 14 days. In the evasion analyses, double chamber boxes with contaminated and uncontaminated soil were used; then 20 worms were placed in the central line that divides one chamber from the other, covered with cloth and left for a period of 72 hours.

The result of DL₅₀ for cypermethrin was 1 360,23 mg.kg⁻¹. The acute toxicity evaluations indicated that, as the dose increased, the percentage of death also increased (T1= 13.33%, T2= 53.33%, T3= 66.67% and T4= 85%), which implies that there was a significant effect of cypermethrin on the survival of *Aptodrilus fuhrmanni* ($p>0.05$). The results of the evasion bioassays indicated that there is no significant effect on the evasion behavior of these individuals ($p>0.05$). In order to determine the environmental risk, the exposure toxicity criterion (TER) was found, where the result of acute TER was 22,976.86 and for chronic TER, the results obtained from NOEC and LOEC were 10,557.43 and 21 114,86, according to the criterion based on toxicity by exposure indicates in both cases that there is no environmental risk of cypermethrin in *Aptodrilus fuhrmanni*.

Keywords: Bioassays, environmental risk, acute toxicity, cypermethrin, *Aptodrilus fuhrmanni*, evasion.

INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años, el desarrollo de la agricultura ha aumentado considerablemente a nivel mundial, por lo tanto, el uso de agroquímicos para mejorar el rendimiento y hacer frente a las diversas plagas y enfermedades que afectan la producción también se ha incrementado. Estas plagas se han hecho cada vez más resistentes, donde la dependencia a estos productos para evitar pérdidas económicas es mayor, por lo que existen un sinnúmero de productos químicos como insecticidas, herbicidas, fungicidas, etc., bajo diferentes nombres comerciales que son utilizados como alternativa de solución frente a este tipo de problemas que afectan la productividad agrícola (Araneda, 2016). El uso excesivo e inadecuado de los pesticidas contribuye al incremento del riesgo ambiental y los problemas de la salud humana, causando daños irreversibles o difícilmente tratables a largo plazo (Cepeda y Carlosama, 2016).

El Ministerio de Agricultura y Riego [MINAGRI] (2017a), en estudios realizados anteriormente, determinó que el cultivo de café es la actividad agrícola de mayor cobertura en la Amazonía peruana, con un aporte significativo al eje económico y social del país. Gran parte de la producción de café (91 %), se concentra en 7 regiones del Perú (San Martín, Pasco, Cusco, Amazonas, Junín, Huánuco y Cajamarca), del cual aproximadamente el 80 % de los caficultores utilizan métodos convencionales, haciendo uso desmedido de insumos químicos como insecticidas para hacer frente a plagas y vectores que afectan su producción. Es preciso mencionar que solo el 20 % del total de productores se encuentran asociados en cooperativas, ONGs, etc., quienes desarrollan esta actividad, priorizando la producción orgánica y sostenible de sus plantaciones y los cafés especiales.

En el departamento de San Martín, el cultivo de café es una de las actividades en las que se hace mayor uso de insecticidas (cipermetrina), debido a la gran diversidad de plagas existentes que dañan directamente a la planta y el fruto, mermando el nivel productivo del café; este producto utilizado, debido a su composición y al ingrediente activo que contiene, elimina estos insectos que perjudican el desarrollo normal de este cultivo (Huamán y Barón, 2015). La aplicación de insecticidas en los campos agrícolas afecta a distintos organismos

vivos; además, produce efectos como la disminución poblacional de diversas especies de micro y macrofauna; esta pérdida incide en la capacidad de recuperación de la calidad de los suelos como: la disminución o pérdida total de la disposición para retener el agua, la reducción de la porosidad, textura y fertilidad de los suelos (Arrázola, 2016).

En el distrito de Soritor, 6 mil agricultores se dedican al cultivo de café, ocupando el cuarto lugar a nivel de toda la región, de los cuales más del 90 % lo hacen de manera convencional, sin un criterio técnico, haciendo uso desmedido y continuo de insumos químicos (plaguicidas y fertilizantes) (MINAGRI, 2017a). La Asociación de agricultores y productores de café especiales y sostenibles selva - CASELSO, es una de las tres asociaciones que se encuentran ubicadas en este distrito, cuyos socios cuentan con certificación orgánica de su fundo cafetalero, otorgada por la certificadora FLOCERT, quienes han desarrollado un sistema productivo orgánico desde el año 2017. A la actualidad, debido a la falta de apoyo y la situación económica inestable del café, los agricultores han ido perdiendo el interés del desarrollo orgánico de esta actividad y han optado por manejar sus cultivos de café de manera convencional, corriendo el riesgo de perder la certificación orgánica, y en estos últimos meses han ido utilizando el insecticida cipermetrina para el control de diversas plagas que están afectando sus fundos cafetaleros, sin tener en cuenta los posibles daños que podría significar en diversas especies de la fauna como el *Aptodrilus fuhrmanni*.

La presente investigación se estructuró en seis capítulos: el Capítulo I se basó en la recopilación de investigaciones similares que sirvieron de sustento para el estudio realizado; en el Capítulo II se detalló la metodología utilizada en el desarrollo de los bioensayos de toxicidad; seguidamente, en el Capítulo III se mostraron los resultados obtenidos durante el desarrollo de la investigación; además de los datos estadísticos procesados en los softwares respectivos. Para finalizar, en los Capítulos IV, V y VI, se registraron las discusiones, conclusiones y recomendaciones de la investigación, respectivamente. El trabajo realizado buscó evaluar el riesgo ambiental de la cipermetrina sobre *Aptodrilus fuhrmanni* presente en suelo cafetalero con estatus orgánico, en el distrito de Soritor, donde se determinó los efectos tóxicos letales (muerte) y la evasión; esto ayudó a reconocer la importancia de esta especie para la conservación, fertilización y modificación de la estructura del suelo mediante su actividad excavadora y su alimentación con partículas de minerales presentes en el suelo; no

sólo en agricultores cafetaleros con estatus orgánico del distrito de Soritor, sino también para distintas personas que desarrollan esta y otras actividades agrícolas en toda la región.

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar el riesgo ambiental de la cipermetrina sobre *Aptodrilus fuhrmanni* adultas presente en suelo del fundo cafetalero “La Loma” con estatus orgánico en el distrito de Soritor.

Objetivos específicos

- Analizar las características fisicoquímicas del suelo del fundo cafetalero “La Loma” con estatus orgánico en el distrito de Soritor, provincia de Rioja, región San Martín.
- Identificar el género y especie de “lombriz de tierra” predominante en suelo del fundo cafetalero “La Loma” con estatus orgánico en el distrito de Soritor.
- Determinar la toxicidad aguda para cipermetrina sobre la “lombriz de tierra” predominante en suelo del fundo cafetalero “La Loma” con estatus orgánico en el distrito de Soritor.
- Evaluar la evasión para cipermetrina sobre la “lombriz de tierra” predominante en suelo del fundo cafetalero “La Loma” con estatus orgánico en el distrito de Soritor.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

1.1.1. Internacional

Moreno (2017) desarrolló una tesis de investigación, el cual tuvo como objetivo principal determinar los efectos letales del insecticida carbofuran y el fungicida carbendazim, a través de bioensayos de toxicidad en *Eisenia andrei* Bouché, utilizando suelo artificial para lograr reconocer los daños a nivel celular, la identificación de una eventual toxicidad genética de los componentes y la evaluación del posible riesgo ambiental, según el principio de concordancia de toxicidad y exposición (TER), desarrollados en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Ibarra. La investigación fue de tipo experimental con un alcance explicativo, donde utilizó un diseño aleatorizado (DCA). La metodología consistió en realizar bioensayos utilizando contenedores de 20 x 10 x 3,5 cm, con 200 g de suelo, donde definió 4 tratamientos con distintas concentraciones de carbofuran (C1= 2,025; C2= 1,012; C3= 0,506 y C4= 0 ppm), carbendazim (C1= 2,890; C2= 1,4045; C3= 0,7022 y C4= 0 ppm) y la mezcla de ambos (C1= 4,915; C2= 2,4575; C3= 1,2287 y C4= 0 ppm), más tres repeticiones por cada concentración. En cada contenedor agregó las concentraciones establecidas por tratamiento y luego colocó 10 lombrices de tierra, dejándolo por un tiempo intermedio de entre 14 y 90 días. Para el análisis estadístico de los datos obtenidos, utilizó un ANOVA con pruebas posterior de Tukey al 5 % del programa SYSTAT 7,0; además, para la determinación de la DL₅₀ utilizó el método Probit. Los resultados determinaron para el carbofuran, carbendazim y la mezcla una DL₅₀ de 2 025, 2 890 y 4 915 ppm, respectivamente. Asimismo, las lombrices que fueron sometidos a diferentes dosis de carbofuran presentaron una reducción de peso promedio (0,2285 g), carencia de movimiento en el 60 % de los individuos, pigmentación en más del 60 % del total del cuerpo; además de algunas modificaciones leves (20 %), que no fueron muy significativas. En los bioensayos con el carbendazim obtuvo un peso promedio de 0,3042 g y el 50 % de los organismos no presentaron cambios en cuanto a estímulos realizados. Por último, los individuos utilizados

en la prueba con la mezcla de ambos plaguicidas presentaron variaciones considerables en cuanto a inmovilidad (60 %), peso promedio de 0,2261 g, quemaduras y coloración de 40 a 50 % del cuerpo. Las evaluaciones para determinar el riesgo ambiental arrojaron un valor de 49,74 para carbofuran, que al ser un valor mayor a 10, significó un alto nivel crítico y por ende implica un riesgo ambiental, a diferencia de carbedazim que indicó un bajo nivel de riesgo, ya que arrojó un valor de 6,38; en la mezcla obtuvo un valor de 28,06, cuyo resultado sigue siendo mayor a diez (10); en tal sentido según los resultados del TER, la mezcla de ambos plaguicidas fue considerado como dañino para el medio ambiente por el peligro grave que presenta.

Araneda (2016) realizó un proyecto cuyo objetivo fue determinar el impacto de los pesticidas organofosforados y carbamatos sobre la “lombriz de tierra” *Lumbricus terrestris* Linnaeus, utilizados en los huertos hortícolas, en la cuenca del río Chillán, desarrollado en el Laboratorio de Biomarcadores de la Universidad de Concepción, Chile. El desarrollo del trabajo investigativo fue experimental y explicativo, utilizando un diseño completamente al azar (DCA). El proceso metodológico consistió en seleccionar dos huertos de manzano, uno con manejo convencional y el otro con manejo orgánico; las lombrices (8 individuos) fueron colocadas en contenedores de polietileno con 3 kg de suelo húmedo del mismo sitio; seguidamente, seleccionó 3 contenedores al azar, más un control y fueron enterrados en los huertos, tanto orgánico como convencional, dejándolo por un periodo de 30 días; este procedimiento fue repetido en las cuatro estaciones del año (otoño, verano, invierno y primavera). Además, los resultados fueron complementados evaluando las conductas de los individuos durante un año, mediante el desarrollo de los bioensayos, tanto en el laboratorio como en campo. Las evaluaciones desarrolladas fueron analizadas a través de un ANOVA de tres vías, con pruebas posterior de Tukey, en el software SPSS v22,0. Los resultados demostraron que la actividad enzimática de carboxilesterasa (CbE) en otoño presentó una diferencia del 31 % en el tejido de molleja de cultivo entre el suelo de manejo convencional ($8,69 \pm 1,81 \mu\text{mol min}^{-1}.\text{mg}^{-1}$) y orgánico ($12,61 \pm 3,72 \mu\text{mol min}^{-1}.\text{mg}^{-1}$); en invierno, la diferencia fue del 22 % entre el suelo de manejo convencional ($11,43 \pm 4,03 \mu\text{mol min}^{-1}.\text{mg}^{-1}$) y orgánico ($13,93 \pm 1,74 \mu\text{mol min}^{-1}.\text{mg}^{-1}$); en primavera, el tejido de molleja de cultivo en suelo convencional tuvo menor actividad ($6,31 \pm 1,48 \mu\text{mol min}^{-1}.\text{mg}^{-1}$) que el suelo orgánico ($12,23 \pm 3,34 \mu\text{mol min}^{-1}.\text{mg}^{-1}$); la diferencia entre el manejo orgánico y el convencional fue del 94 %; finalmente, en verano obtuvo una diferencia del 92 % al

comparar la actividad en suelo convencional ($6,15 \pm 2,77 \mu\text{mol min}^{-1}.\text{mg}^{-1}$) y orgánico ($11,78 \pm 3,99 \mu\text{mol min}^{-1}.\text{mg}^{-1}$). La mayor actividad fue en el suelo de manejo orgánico ($11,78 \pm 3,99 \mu\text{mol min}^{-1}.\text{mg}^{-1}$) al comparar los tejidos en verano, lo que fue similar a las observaciones de primavera; sin embargo, fue la actividad más baja para este tejido entre las estaciones. Los resultados mostraron una variabilidad en ambas formas de cultivo en las temporadas de otoño, invierno y verano, donde los valores obtenidos fueron 14,22; 13,93 y $6,15 \mu\text{mol min}^{-1}.\text{mg}^{-1}$ respectivamente, lo que comprobó que en el manejo convencional fue donde hacían un mayor uso de pesticidas; asimismo, en los bioensayos de evasión por 48 horas, quedó evidenciado que en las temporadas de primavera y verano las lombrices huían del lugar; además, la actividad acetilcolinesterasa disminuyó en la primavera y verano en 2,9 y $3,6 \mu\text{mol min}^{-1}.\text{mg}^{-1}$. En conclusión, los estudios determinaron que el uso de las enzimas de *Lumbricus terrestris* resultaron ser buenas indicadoras de exposición a plaguicidas organofosforados y carbonatos, tanto en el cultivo convencional del manzano como en el orgánico, además de contribuir en la regulación de consecuencias ambientales adversas.

Cepeda y Carlosama (2016) realizaron un estudio donde el objetivo fue definir la CL_{50} de dos productos (fungicidas), cuya sustancia activa es el clorotalonil, empleando la especie de lombriz de tierra *Eisenia foetida* Savigny como indicador biológico; desarrollados en la Universidad Santo Tomas de Bogotá, Colombia. La investigación presentó un proceso experimental y explicativo, donde utilizaron un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA); es decir, utilizaron un diseño bifactorial 2×5 . La metodología consistió en realizar bioensayos según las directrices del documento de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) (Ensayos de Toxicidad Crónica de “Lombrices de Tierra” - OPPTS 850,6200), utilizando suelo de un fundo cafetalero perteneciente a la jurisdicción de la municipalidad de Acevedo, Colombia. Evaluaron 5 tratamientos por cada tipo de Fungicida (F1, F2, F3, F4 y F5), cada uno con 4 repeticiones, más una muestra control, que hacen un total de 44 unidades experimentales. Para cada tratamiento con ambos fungicidas, establecieron las siguientes concentraciones: 0,14; 0,45; 0,76; 1,08; $1,38 \text{ ml.kg}^{-1}$; seguidamente, ubicaron 540 g de suelo en recipientes de plásticos y procedieron a colocar 10 lombrices de tierra adultas con clitelo visible por cada unidad demostrativa, que hizo un total de 440 lombrices en estudio; finalmente, añadieron las concentraciones establecidas a cada uno de los recipientes según corresponda y fueron sometidos a evaluaciones por un periodo de 28 días. Los análisis estadísticos fueron realizados a través del Software SPSS, realizando un Análisis de

Varianza (ANOVA) para obtener las variables fijas y similitudes entre los datos y factores, con pruebas posterior de Tukey (95 %); para la determinación de la CL_{50} , utilizaron el método de Probit del programa ProStat-Statistical Analysis and Data Presentation. Los resultados de los bioensayos a las cuatro semanas del inicio diagnosticaron que hay una mayor toxicidad en fungicida 1, el cual presentó una CL_{50} de $0,28 \text{ ml.kg}^{-1}$; y para el fungicida 2 una CL_{50} de $0,38 \text{ ml.kg}^{-1}$. Para el F1, observaron un incremento exponencial sobre la muerte de la *Eisenia foetida* en las concentraciones $0,76$; $1,08$ y $1,38 \text{ ml.kg}^{-1}$, donde para la cuarta semana, el número de muertos alcanzaba el 100 %. Asimismo, para el F2, en las concentraciones $1,08$ y $1,38 \text{ ml.kg}^{-1}$, alcanzaron el 100 % en cuanto a mortalidad de los individuos. Según los resultados del Análisis de Varianza, determinaron que no existió diferencias significativas entre las concentraciones ($0,000 < 0,005$); asimismo, en las pruebas *post hoc* encontraron que la concentración $0,14 \text{ ml.kg}^{-1}$, presentó una significancia de $0,003$ y para $1,08$ y $1,38 \text{ ml.kg}^{-1}$, obtuvo una significancia de $0,423$, encontrando similitudes entre ambas. En conclusión, los resultados indicaron que los fungicidas utilizados afectan directamente al peso de las lombrices debido a que no son selectivos; además determinaron que, a mayores concentraciones de tóxico usado, genera una mayor tasa de mortalidad de la “Lombriz roja californiana” *Eisenia foetida*.

Espinoza y Bustos (2015) realizaron una investigación cuyo objetivo principal fue evaluar los resultados de dos insecticidas organofosforados: malatión y metamidofos, en las variables de reproducción de la “lombriz de tierra” macho *Eisenia foetida*; el proyecto fue realizado en el laboratorio de biología de la reproducción, de la Universidad de Chile. El trabajo de investigación presentó un diseño experimental con un enfoque cuantitativo, donde utilizó un Diseño Completamente aleatorio (DCA). La metodología consistió, como primer paso, en hallar la DL_{50} (dosis letal media) de los insecticidas metamidofos ($85,3 \text{ mg.kg}^{-1}$) y malatión (880 mg.kg^{-1}); posteriormente, realizaron bioensayos donde el *Eisenia foetida* fue sometido a diferentes dosis de cada insecticida: $1/10$, $1/6$, $1/3$, y $2/3$ de las DL_{50} , en suelo con condiciones de alimentación estandarizada, los cuales fueron humedecidos con agua para mantener los niveles de humedad requerida (50 %) y fueron evaluados a 1, 6, 15 y 30 días después del tratamiento. Los datos obtenidos de las evaluaciones fueron analizados mediante la media desviación estándar a través del programa INSTAT y Kruskal-Wallis. Además, realizaron un recuento espermático en la cámara de Neubaur, mientras que la determinación de la integridad del ADN fue llevada a cabo haciendo uso del test de naranja

acridina. Los resultados demostraron que a partir del día 1 del tratamiento con malatión, las lombrices de tierra presentaron una disminución significativa del peso en la dosis 1/3, mientras que, para el metamidofos, la reducción del peso pudo manifestarse a partir del día 6 en la dosis 2/3. Asimismo, los organismos que fueron sometidos a evaluación (100 %), presentaron enrollamiento en la cola en los días 1, 6, y 15; en el ensayo con malatión, visualizaron un crecimiento considerable en la cantidad de espermatozoides en los días 1 y 6 en las dosis 1/6 y 1/3; mientras que en los días 15 a 30, hubo una disminución significativa en la dosis 2/3. En los bioensayos con metamidofos sucedió algo similar, donde también observaron un incremento significativo en el recuento espermático en los días 1, 6 y 15; sin embargo, en el día 30 registraron una disminución en las dosis 1/6, 1/3 y 2/3 ($p < 0,05$). Además, cabe mencionar que en todas las lombrices tratadas con malatión y metamidofos, observaron un incremento significativo de espermatozoides anormales metacromáticos (fluorescencia roja) en casi todas las dosis de los tratamientos ($p < 0,05$). En conclusión, quedó demostrado que tanto el malatión y el metamidofos modificaron la forma externa de estos individuos (lesiones), ocasionando una reducción en el peso corporal, balance y la naturaleza de la esperma de la lombriz de tierra *Eisenia foetida*.

Gómez (2014) desarrolló una investigación con el objetivo de evaluar la toxicidad de 4 muestras de suelo contaminado procedentes de lugares distintos, mediante la implementación de una metodología que permitió el análisis de toxicidad del suelo (Protocolo Experimental EPS RM/1/43), a través de la aplicación de bioensayos con la especie de “lombriz de tierra” *Eisenia foetida*, desarrollada en la Universidad Nacional de Colombia, Colombia. El estudio fue realizado bajo un arreglo experimental de bloques, con un diseño estadístico completamente al azar (DCA), con 5 tratamientos (T1= 1, T2= 3, T3= 10, T4= 32 y T5= 100 %), 3 repeticiones, más una muestra control, que hacen un total de 20 unidades experimentales. La metodología consistió en realizar pruebas de toxicidad aguda con 1 muestra procedente de un territorio arrocero del departamento de Tolima, 2 muestras de un campo petrolero (antes y después del tratamiento) y 1 muestra de suelo con derrame, proveniente de una refinería de petróleo del departamento de Putumayo y Santander, donde observó la mortalidad como punto final. En recipientes de plástico colocó 150 g de cada tipo de suelo, luego adicionó 10 lombrices adultas en cada unidad experimental y fueron evaluados al iniciar la prueba, a los 7 y 14 días. Además, realizó un bioensayo para determinar la humedad óptima para la crianza de estas lombrices, donde depositó 250 g de

cada sustrato en recipientes de plástico con distintos niveles de humedad (83 , 80 y 70 %), adicionó 5 lombrices y los dejó durante 14 días. Para el análisis de los datos experimentales, utilizó un software libre con el programa estadístico Probit® (determinación de la CL₅₀); además, utilizó el método de Kolmogorov-Smirnof, para determinar la normalidad de los datos obtenidos y un análisis estadístico con un nivel de confianza del 95 %. Los resultados determinaron que, en la prueba de toxicidad para suelo arrocero la mortalidad fue del 0 %; sin embargo, en el T2 y T5 observó un incremento en el peso de 1,6 a 58,7 mg respectivamente; en el control negativo, el peso húmedo de las lombrices mostró una reducción de 16,6 mg. En la muestra de suelo de la zona de explotación petrolera antes del tratamiento, obtuvo una reducción en el peso de 64,03 mg en todos los tratamientos a excepción del T5, donde la mortalidad obtenida fue del 100 %; en la muestra post tratamiento, la mortalidad fue del 0 %, con una reducción en el peso húmedo de 157,2 mg. Asimismo, para la muestra de suelo procedente de una refinería, obtuvo una mortalidad del 27 % para el T3; mientras que en el T4 y T5, la mortalidad fue del 100 %; además, el peso de las lombrices disminuyó en 68,6 mg. En cuanto a la CL₅₀ obtenida a partir de la estimación de la sensibilidad de *E. foetida*, fue de 6,21 mg de KCL.g⁻¹ de sustrato húmedo preparado (artificial); asimismo, la muestra de suelo proveniente del pozo petrolero y de la refinería de petróleo presentaron una CL₅₀ de 14,223, con un límite inferior y superior de 10,69 y 20,028 g de suelo real.g⁻¹ de suelo total, respectivamente. Finalmente, las evaluaciones de humedad establecieron que, para la crianza de lombrices, la humedad óptima es del 80 %. Con la información recogida concluyó que, los bioensayos realizados con suelo procedente de un lugar arrocero y de explotación petrolera no significaron una toxicidad para *Eisenia foetida* en las condiciones de bioensayos.

Saxena *et al.* (2014) realizaron una investigación con el objetivo de comparar la toxicidad aguda de cuatro insecticidas (cipermetrina, fenvalerato, carbarilo y carbofurano), con una pureza del 99 %, sobre las lombrices de tierra *Metaphire posthuma* Vaillant y *Eisenia foetida* adultas, desarrollada en el Instituto Indio de Investigación Toxicológica, Lucknow, India. El desarrollo de la investigación fue experimental con un enfoque descriptivo, donde utilizaron un diseño completamente al azar (DCA), constituido por 5 tratamientos más una prueba control por cada tipo de bioensayo. La metodología consistió en determinar la CL₅₀ de cada insecticida mediante el desarrollo de bioensayos de toxicidad. Con cada insecticida, prepararon soluciones madre en acetona y diluyeron con agua desionizada hasta obtener las

concentraciones establecidas. En las pruebas con papel filtro definieron 5 concentraciones de cada sustancia (0,1; 1; 10; 100 y 1 000 $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^2$) y un control, utilizaron placas Petri de 9 y 16 cm recubiertas con papel filtro, donde agregaron 2 – 4 ml de cada sustancia preparada en cada unidad experimental, dejando secar por un tiempo aproximado de 30 minutos; luego colocaron un individuo adulto por cada placa Petri y fueron sometidas a un proceso de incubación durante 24, 48 y 72 horas. Para los ensayos de toxicidad con suelo artificial, definieron 5 concentraciones (0,1; 1; 10; 100 y 1 000 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de suelo seco) y un control, disolvieron las cantidades establecidas de cada insecticida en 15 ml de acetona, fueron mezcladas con el suelo y dejados a la intemperie para evaporar la acetona; seguidamente, fue transferido 1 kg de suelo tratado en cada vaso de precipitado de 2 L de capacidad y adicionaron 10 lombrices adultas, manteniéndolas en una incubadora a 20 °C durante 7 y 14 días. Luego de los bioensayos, los individuos de los suelos tratados y el control fueron congelados, cortados en pedazos de 1 cm y sumergidos en solución de formaldehído al 10 % por un periodo de 3 días; posteriormente, fueron lavadas durante 6 horas, aclaradas en xileno, incrustadas en cera de parafina y cortadas en trozos de 5 μm ; finalmente, fueron teñidas con hematoxilina y eosina para ser observadas en microscopio (Nikon, Japón), donde examinaron las variaciones histopatológicas. Para la determinación de la CL_{50} , los datos de mortalidad fueron analizados mediante el método de Spearman-Kärber, con intervalos de confianza del 95 %; en los cálculos orbitales moleculares y cargas atómicas, utilizaron la teoría RHF (STO-3G) del programa Gamess. Los resultados determinaron que en los bioensayos de papel filtro, el insecticida carbofurano presentó una mayor toxicidad a las 72 horas, encontrándose una CL_{50} de 0,08 para *M. posthuma* y 1,55 $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^2$ para *Eisenia foetida*; en las pruebas con suelo, los valores de la CL_{50} a los 14 días fueron 0,49 y 21,15 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, respectivamente. Asimismo, para los dos métodos, determinaron un orden de toxicidad de cada insecticida; para *M. posthuma* el orden fue carbofurano, cipermetrina, carbarilo y fenvalerato; mientras que, para *E. foetida*, el orden de toxicidad fue carbofurano, carbarilo, fenvalerato y cipermetrina. Además, también registraron cambios morfológicos y lesiones (llagas sangrantes, hinchazones, constricciones y degeneraciones clitelares) en ambos individuos expuestos, pero con mayor magnitud en *M. posthuma*. En conclusión, los cuatro insecticidas utilizados presentaron efectos tóxicos considerables en ambas especies; donde también, determinaron que los individuos de *M. posthuma* resultaron ser más sensibles a estos insumos químicos, en comparación con la *E. foetida*.

Tecuapetla (2014) realizó una investigación con el objetivo de evaluar el riesgo ecotoxicológico como consecuencia de la aplicación de productos químicos (pesticidas y fertilizantes), principalmente compuestos organofosforados y carbamatos, en el sembrío de *Gerbera jamesonii* Adlam en invernaderos, desarrollada en el laboratorio de toxicología y farmacología de la Universidad Autónoma de México. El estudio presentó un procedimiento experimental y exploratorio con alcance explicativo, donde utilizó un diseño completamente aleatorio (DCA). Para la ejecución del proyecto, acondicionó un invernadero donde realizó los bioensayos, empleando como bioindicadores para el suelo a la “lombriz de tierra” *Eisenia andrei*, *Lactuca sativa* Lamarck.; *Daphnia pulex* Linnaeus y *Selenastrum capricornutum* Printz para el agua. La metodología consistió en realizar bioensayos de toxicidad aguda durante 14 días en muestras de suelo colectado de 3 invernaderos distintos, a los cuales les aplicó diferentes tipos de agroquímicos, donde fueron sometidos a prueba la *Eisenia andrei* y *Lactuca sativa* L. Para los bioensayos con *Lactuca sativa*, como primer paso procedió a incubarlos durante 7 días, luego pasó a medir una parte del embrión (radícula) y el tallo principal (hipocótilo), con la finalidad de determinar la inhibición en el crecimiento. En las pruebas de toxicidad con muestras de agua recogidas de lugares cercanos al cultivo de *Gerbera*, utilizó neonatos de *Daphnia pulex* menores a 24 horas de nacido, quienes fueron expuestos a diferentes diluciones de contaminantes tóxicos (100; 50; 25; 12,5 y 6,25 %), por un periodo de 48 horas. Para *Selenastrum capricornutum*, probó 5 diluciones con los mismos porcentajes mencionados anteriormente, cada uno por triplicado, los cuales fueron incubados durante 72 horas; luego, realizó un balance de las células para precisar la cantidad de células inhibidas. Los análisis estadísticos de los datos recogidos fueron realizados a través de un ANOVA con pruebas posterior de Tukey en el software SPSS; además, procedió a calcular el Coeficiente de Impacto Ambiental (CIA), el cual sirvió para valorar el riesgo ecotoxicológico de cada plaguicida. Los resultados indicaron que en los bioensayos con *Eisenia andrei*, la actividad de la colinesterasa (AChE) mostró una reducción del 34 % ($p < 0,05$) y un 28,5 % de inducción de enzimas provocado por contaminantes a los 3 días, en el invernadero 1; a diferencia del invernadero 2 y 3, donde la inhibición fue significativa a los 7 (42 %) y 14 días, respectivamente. En las pruebas con *Lactuca sativa* L., en el invernadero 1, el total de semillas germinadas alcanzó un 18,9 y 4,4 % a los 7 días dentro y fuera del invernadero, respectivamente; en el invernadero 2, los porcentajes fueron del 14 y 10 %; mientras que en el invernadero 3, la germinación alcanzó un 12,5 %. Los bioensayos con *Daphnia pulex* mostraron que la mayor mortalidad fue en el invernadero 3, alcanzando un 100 %; a diferencia del invernadero 1, donde la mortalidad fue del 10 %; en las pruebas

con *Selenastrum capricornutum* la inhibición del organismo alcanzó el 50 % en el invernadero 1 y 2, en la muestra de 100 y 6,25 %. La determinación del CIA arrojó como resultado que el mayor impacto ambiental fue observado en el segundo invernadero, con un valor de 1 807, seguido del invernadero 3 con 572,86 y el invernadero 1 con 226,25. En conclusión, las pruebas con agua y suelo significaron una toxicidad para los individuos que fueron objeto de evaluación, donde la aplicación de productos químicos agrícolas utilizados en el cultivo en invernadero presentó un resultado desfavorable importante en la supervivencia de los organismos y el ecosistema.

Wang *et al.* (2012) realizaron un estudio en la ciudad de Hangzhou, China, para comparar la toxicidad de veinticuatro insecticidas de seis categorías químicas diferentes en la “lombriz de tierra” *Eisenia foetida* adulta. El desarrollo de la investigación fue experimental con un enfoque descriptivo, donde utilizaron un diseño completamente al azar (DCA). La metodología consistió en realizar bioensayos toxicológicos utilizando papel filtro de contacto y suelo artificial. En el primer ensayo, ubicaron trozos de papel filtro en placas Petri de 9 cm y agregaron el insecticida disuelto en 2 ml de acetona; seguidamente, después de haberse evaporado el disolvente, humedecieron con 2 ml de agua destilada y procedieron a ubicar encima del papel una lombriz de tierra, dejándolo incubar por un periodo de 48 horas. Para los bioensayos de toxicidad de suelo artificial, definieron 6 concentraciones, incluyendo la muestra control (0; 0,1; 1; 10; 100 y 1 000 mg.kg⁻¹); posteriormente, disolvieron cantidades establecidas de cada insecticida en 10 ml de acetona, fue mezclado con una porción pequeña de cuarzo, hasta lograr su evaporación; después de humedecerlo fue colocado al fondo de cada frasco de vidrio de 500 ml, donde colocaron 0,65 kg de suelo y agregaron 10 lombrices adultas en cada uno de los 24 frascos, los cuales fueron evaluados durante 7 y 14 días. Los análisis estadísticos de las pruebas fueron realizados utilizando el método de Probit, con un nivel de significancia de separación media ($p < 0,05$), con un límite de confianza del 95 % de los valores de CL₅₀. Los resultados de los bioensayos con papel filtro determinaron que los neonicotinoides resultaron ser altamente tóxicos para la *Eisenia foetida*, donde la CL₅₀ encontrada para las 48 horas tuvo una variación de 0,0088 a 0,45 $\mu\text{.cm}^{-2}$; los piretroides también registraron una alta toxicidad sobre estos organismos, donde los valores de la CL₅₀ oscilaban entre los 10,55 y 25,7 $\mu\text{.cm}^{-2}$; para los reguladores de crecimiento (IGR), los efectos presentados fueron moderados, con valores de la CL₅₀ que fluctuaba entre 117,6 y 564,6 $\mu\text{.cm}^{-2}$. En el caso de los carbamatos, organofosforados y

antibióticos, los resultados de toxicidad fueron extremadamente tóxicos con un valor de la CL_{50} de entre 3,64 y 75,75 $\mu\text{.cm}^{-2}$. En los bioensayos de toxicidad con suelo, pudieron determinar que los neonicotinoides presentaron mayor toxicidad aguda, con un CL_{50} que oscilaba entre 1,52 y 10,96 mg.kg^{-1} , a diferencia de los carbonatos, antibióticos, IGR y organofosforados cuyos efectos fueron en menor grado; los piretroides presentaron menos efecto toxicológico para la *Eisenia foetida*, con un valor de CL_{50} desde 1 246 a 1 370 mg.kg^{-1} en 14 días de exposición. En conclusión, las lombrices de tierra puestas a prueba fueron más susceptibles a la presencia de los neonicotinoides que los otros insecticidas sintéticos, independientemente de los bioensayos utilizados.

Zhou *et al.* (2011) realizaron una investigación donde tuvieron como objetivo, evaluar la toxicidad de la cipermetrina y clorpirifos de manera individual y su mezcla sobre la “lombriz de tierra” *Eisenia foetida* y *Eisenia andrei*, desarrollada en la Universidad de Yunnan, Kunming, China. El estudio de la investigación presentó un diseño experimental, donde utilizaron un diseño de bloques completamente al azar (DBCA). La metodología consistió en realizar bioensayos de toxicidad utilizando suelo artificial. Para los bioensayos de toxicidad aguda definieron 6 tratamientos con diferentes concentraciones de clorpirifos (75, 90, 100, 125, 150 y 200 mg.kg^{-1}), cipermetrina (62,5, 65, 75, 85, 105 y 125 mg.kg^{-1}) y la mezcla (22,5, 25, 27,5, 30, 35 y 41 mg.kg^{-1}), con 4 repeticiones, más una prueba control cada una; seguidamente, en cada recipiente con el suelo tratado, ubicaron 10 individuos y fueron incubados durante 14 días. Para las pruebas de toxicidad crónica, definieron 5 tratamientos con diferentes concentraciones de clorpirifos (5, 20, 40, 60 y 80 mg.kg^{-1}), cipermetrina (5, 10, 20, 40 y 60 mg.kg^{-1}) y la mezcla (5, 10, 20, 30 y 40 mg.kg^{-1}), con 3 repeticiones cada una, más una prueba control por tratamiento; colocaron suelo en los contenedores y adicionaron 10 lombrices para incubarlos durante 8 semanas, donde tomaron los puntos finales de producción de capullos y número de crías a las 4 y 8 semanas. Las pruebas de evitación fueron desarrolladas en recipientes redondos con 6 cámaras, donde cada una fue separada por tabiques de plástico; definieron 5 tratamientos con distintas concentraciones de cipermetrina, clorpirifos (5, 10, 20, 40 y 60 mg.kg^{-1}) y la mezcla (5, 10, 20, 30 y 40 mg.kg^{-1}). Seguidamente, con el suelo preparado dentro del recipiente, ubicaron 20 individuos en la cámara central y retiraron los tabiques; luego de 48 horas, los tabiques fueron reinsertados para contabilizar los individuos. Los análisis estadísticos de los datos fueron realizados a través de software SPSS 12,0, mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov y de Levene para

la distribución normal y la homogeneidad de varianzas; en el análisis de toxicidad aguda, utilizaron el método Probit y el análisis sobre el crecimiento y reproducción fue realizado mediante un ANOVA unidireccional ($p < 0,05$), con pruebas *post hoc* (Tukey). Los resultados determinaron que la mezcla de ambos insecticidas resultó ser más tóxica, con una CL_{50} de $35,06 \text{ mg.kg}^{-1}$; seguido de la cipermetrina con una CL_{50} de $86,04 \text{ mg.kg}^{-1}$ y finalmente el clorpirifos con una CL_{50} de 116 mg.kg^{-1} ; es decir, en todos los tratamientos existió una relación dosis-respuesta positiva a excepción de la prueba control donde todos sobrevivieron. También observaron que la mezcla de estos dos compuestos presentó efectos significativos mayores que de manera individual, donde a partir de los 5 mg.kg^{-1} ocasionó reducciones significativas en la tasa de crecimiento y reproducción; en cuanto a la respuesta reproductiva, determinaron que existió una influencia de los pesticidas en el número de crías, donde después de las 8 semanas en ninguno de los tratamientos hubo presencia de capullos, a excepción de la concentración de 5 mg.kg^{-1} . Además, observaron una evitación significativa de las lombrices en los tratamientos con las mezclas de ambos insecticidas ($p = 0,014$), comparados con el control. En conclusión, la mezcla de ambos insecticidas ocasionó mayores efectos sobre la reproducción, crecimiento y comportamiento (evasión) de las “lombrices de tierra” *Eisenia foetida* y *Eisenia andrei*.

1.1.2. Nacional

Peña (2018) realizó un proyecto de investigación cuyo objetivo fue valorar el riesgo ambiental de los insecticidas alfa-cipermetrina y metamidofos sobre la especie de “lombriz de tierra” *Eisenia andrei*, desarrollado en la Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, Perú. El trabajo de investigación presentó un diseño experimental explicativo, donde utilizó un diseño de bloques completamente al azar (DBCA). La metodología consistió en realizar bioensayos para evaluar las consecuencias tóxicas letales, en términos de mortalidad y las consecuencias subletales (reducción del peso) de este organismo. Definió 5 tratamientos con distintas concentraciones de metamidofos ($1, 5, 15, 35$ y 65 mg.kg^{-1}), alfa-cipermetrina ($3, 10, 100, 300$ y $2\ 000 \text{ mg.kg}^{-1}$) y la mezcla ($35,2; 70,4; 140,8; 281,6$ y $563,2 \text{ mg.kg}^{-1}$), con 4 repeticiones por cada insecticida, más una muestra control por cada uno; seguidamente, en cada contenedor colocó 1 kg de suelo, agregó la concentración de cada insecticida según tratamiento y finalmente adicionó las lombrices de tierra, los cuales fueron expuestas durante 14 días. Además, para valorar la situación real de campo, procedió a efectuar ensayos toxicológicos con suelo extraído de un terreno agrícola y suelo artificial, teniendo como

control los siguientes porcentajes: 6,25 %; 12,5 %; 25 %; 50 % y 100 %. Los datos obtenidos fueron analizados a través de un ANOVA de un factor, con pruebas *post-hoc* de Tukey; y para la DL₅₀ utilizó el análisis Probit del software SPSS versión 20. El resultado de la dosis letal 50 (DL₅₀) para el metamidofos fue de 3,19 mg.kg⁻¹; para alfa-cipermetrina obtuvo un valor de 274,82 mg.kg⁻¹; finalmente, para la mezcla de ambos insecticidas fue de 1,17 mg.kg⁻¹ y 37,01 mg.kg⁻¹. En cuanto a los daños subletales, los resultados indicaron que en cada tratamiento a medida que incrementaba la dosis de cada sustancia, el peso de cada individuo de lombriz *Eisenia andrei* presentaba una disminución considerable. En el ensayo con suelo agrícola, encontró una DL₅₀ de 36,38 % a los 14 días, mostrando una relación dosis-respuesta en relación a la mortalidad. Para determinar el nivel de riesgo ambiental, definió 3 escenarios distintos para analizar el Coeficiente de Riesgo (CR); donde los datos obtenidos del estudio indicaron que la PEC/DL₅₀ no significa un riesgo al medioambiente, ya que los resultados son menores a 1 en todos los escenarios; mientras que los resultados del PEC/PNEC muestran que los datos del CR resultaron mayores a 10 en la tercera prueba (mezcla); por lo tanto, existe un riesgo ambiental. En conclusión, como resultado de las evaluaciones, determinó que la toxicidad del alfa-cipermetrina fue menor en comparación al del metamidofos, ya que mostró un efecto tóxico más elevado; además, la fusión de ambas sustancias indicó que la consecuencia es de mayor riesgo, ya que presentó una toxicidad más alta que ambas sustancias individualmente.

Barbaran (2017) realizó una investigación para evaluar la contaminación del suelo por la aplicación de insumos químicos agrícolas, cuyo objetivo principal fue establecer el grado de mitigación del cromo presente en los suelos contaminados, empleando organismos vivos como la “lombriz de tierra” *Eisenia foetida*, con el propósito de eliminar residuos de cromo y recuperar en cierto grado la estructura original de los suelos que han sido dañados por las actividades agrícolas, desarrollado en el distrito de Canta, Perú. El trabajo investigativo presentó un diseño experimental y explicativo, donde utilizó un diseño de bloques completamente al azar (DBCA). La metodología consistió en poner en evaluación tres tratamientos, cada uno con 5 repeticiones, donde estableció cantidades específicas de: T1= 5 kg, T2= 10 kg y T3= 15 kg de *Eisenia foetida* y fueron colocadas en camas de madera construidas cerca al predio de 2,50 x 1,25 x 0,5 m, que contenían suelo contaminado con cromo. Posteriormente, procedió a realizar una medición sobre el avance de la reducción de cromo a los 10, 20 y 30 días después de la aplicación del elemento químico metálico, sacando

1 kg de suelo de cada tratamiento y llevándolo al laboratorio, donde realizó la evaluación de la concentración del cromo. El análisis estadístico de los datos obtenidos fue procesado a través de un ANOVA de dos factores, con pruebas *Post hoc* (Tukey), en los softwares IBM SPSS y Microsoft Excel. Los resultados indicaron que en el Tratamiento 1 (5 kg de lombriz), la reducción máxima fue de 15,79 mg.kg⁻¹ (74,24 %); en el Tratamiento 2 (10 kg de lombriz), el registro indicó que hay una reducción de 16,82 mg.kg⁻¹ (79,41 %) y por último, en el Tratamiento 3 (15 kg de lombriz), la cantidad de cromo reducida por actividad de las lombrices, fue de 17,57 mg.kg⁻¹ (82,80 %). Además, las evaluaciones determinaron que la reducción del cromo fue secuencial, ya que a medida que pasaba el tiempo y la actividad de las lombrices seguía disminuyendo (10 días= 5,72 mg.kg⁻¹; 20 días= 6,45 mg.kg⁻¹; 30 días= 4,26 mg.kg⁻¹); sin embargo, fue en el Tratamiento 3 donde la reducción presentó una mayor proporción, logrando minorar un 17,264 mg.kg⁻¹ de suelo; asimismo, en el día 20 fue donde la reducción del cromo fue mayor en comparación a los demás días, ya que el promedio fue de 6,45 mg.kg⁻¹, que representó un 31 % del total. Al finalizar la evaluación, pudo concluir que el uso de la *Eisenia foetida* como indicadores biológicos de sitios contaminados con cromo, como consecuencia del uso de productos químicos agrícolas, resulta efectivo, pues se pudo menguar la presencia de este elemento en todos los tratamientos durante los 30 días de exposición.

Berto (2017) desarrolló una tesis de investigación que tuvo como objetivo, determinar la posible contaminación del suelo como consecuencia de la aplicación de diversos plaguicidas utilizados en el manejo productivo de la granadilla, mediante el análisis por cromatografía líquida y gaseosa y bioensayos de toxicidad con *Eisenia andrei*, desarrollado en la microcuenca San Alberto, Oxapampa, Perú. La investigación tuvo un diseño experimental descriptivo, donde utilizó un diseño de bloques completamente aleatorio (DBCA). El método utilizado consistió en la selección de 3 parcelas de monitoreo (PM) del cultivo de granadilla; 2 con actividad agrícola convencional (PM1 y PM2) y 1 con cultivo orgánico (muestra control); las cuales fueron sometidas a un análisis por cromatografía líquida y gaseosa, para determinar la existencia de residuos de contaminantes agrícolas (plaguicidas) presentes en el suelo. En los ensayos biológicos, utilizó como organismos de prueba la lombriz de tierra *Eisenia andrei* y anfípodos *Hyaellas* sp. (agua dulce), los cuales fueron llevados a cabo tanto en el suelo como en el sedimento. Para los bioensayos con *Eisenia andrei*, seleccionó 3 muestreos de 250 g de suelo por parcela y fueron ubicados en envases de vidrio, cada una

con tres repeticiones, que hacen un total de 9 unidades por parcela y finalmente colocó 10 individuos que fueron expuestas durante 14 días. Para los ensayos con *Hyalella* sp. en sedimento, utilizó frascos de vidrio, en los cuales adicionó 100 ml de sedimento y 175 ml de agua suprayacente; finalmente ubicó 20 organismos por cada recipiente y fueron expuestas durante 14 días. En los análisis estadísticos de los datos, utilizó un ANOVA de un factor y pruebas de *post-hoc* (Tukey) para la evaluación de los parámetros físicos-químicos y plaguicidas del suelo. Los resultados determinaron que, en los análisis de cromatografía, en el PM1 revelaron la presencia de 4 tipos de insumos agrícolas y en PM2 identificó 16 plaguicidas. En los ensayos realizados con *Hyalellas* sp., obtuvo como resultado una mortalidad del 91,22 % para PM1, 97,78 % para PM2 (mayores a 80 %), y 14,17 % para el control (menor al 20 %); a diferencia de los resultados de las pruebas realizadas con *Eisenia andrei*, donde pudo analizar variaciones en el crecimiento de cada uno de los individuos que fueron objeto de estudio; en cuanto a la mortalidad, en el PM1 y PM2 no observó resultados concluyentes, a diferencia del control positivo donde la mortalidad fue del 100 %. En conclusión, pudo comprobar que la existencia de los plaguicidas presentes en el suelo, aparte de contaminarlo, generan efectos negativos como la muerte sobre diversos organismos que viven en él, sumado a ello el mal manejo de estos productos químicos en la aplicación, por parte de las personas dedicadas a esta actividad, quienes lo realizan sin ningún cuidado y en dosis fuera de las recomendadas por el fabricante.

Arrázola (2016) realizó una investigación sobre los efectos de dos insecticidas agrícolas en lombrices de tierra. El objetivo fue evaluar el posible riesgo al ambiente de alfa-cipermetrina e imidacloprid sobre *Eisenia foetida*, desarrollado en la Universidad Científica del Sur, Lima, Perú. La investigación presentó un diseño experimental y explicativo, donde utilizó un diseño de bloques completamente al azar (DBCA). La metodología consistió en identificar los efectos de los plaguicidas en los organismos, en cuanto a mortalidad, peso seco y húmedo, y evasión, donde definió 6 tratamientos, con 4 repeticiones, más una prueba control por cada sustancia. Para los bioensayos de toxicidad aguda fijó las siguientes concentraciones: alfa-cipermetrina (2 025, 675, 225, 75, 25 y 8,3 mg.L⁻¹), imidacloprid (128, 32, 8, 2, 0,5 y 0,125 mg.L⁻¹) y para la mezcla definió 5 concentraciones de las mezclas equitóxicas; seguidamente, en contenedores de plástico colocó 1 kg de suelo, adicionó 40 ml de cada sustancia y finalmente ubicó 10 lombrices, los cuales fueron expuestas por un periodo de 14 días. Para analizar la evasión de las lombrices utilizó envases de plástico,

donde agregó suelo con insecticida (problema) y suelo sin insecticida (control); luego, procedió a colocar diez (10) individuos de *Eisenia foetida* en cada uno de los tratamientos, tapando con una tela para lograr un mejor resultado; todo esto por un periodo de 48 horas. Los datos obtenidos fueron evaluados mediante un análisis de varianza (ANOVA) de dos vías, con pruebas posterior de Tukey; para la determinación de la CL₅₀ utilizó el programa Probit versión 1.5 del paquete SPSS. Luego de la evaluación, los datos de la CL₅₀ obtenidos para alfa-cipermetrina fue de 341,1 mg.kg⁻¹, con un NOEC y LOEC en cuanto a peso seco y húmedo de 75 y 225 mg.kg⁻¹; para imidacloprid el valor de la CL₅₀ fue de 2,34 mg.kg⁻¹, donde el NOEC y LOEC fue de 8 y 32 mg.kg⁻¹ respectivamente; a diferencia de los ensayos donde mezcló ambos insecticidas, en éstos no hubo una relación significativa en la CL₅₀. Los resultados de las Unidades Tóxicas (UT) determinaron que existe una conducta incompatible y antagónico, ya que todos los resultados fueron mayores a 1 (CL₅₀= 4; NOEC= 4,84 y LOEC= 3,17). Los resultados de los bioensayos de evasión diagnosticaron que a nivel individual no presentó un abandono del lugar por acción del contaminante (alfa-cipermetrina= 7,14 % e imidacloprid= 2,85 %), a diferencia de las pruebas con la mezcla de ambos, donde quedó evidenciado que la evasión de los organismos fue debido a la presencia de ambos plaguicidas (22,85 %). Según los resultados del TER, concluyó que el imidacloprid a nivel individual representa un riesgo para el ambiente en cuanto a toxicidad aguda, ya que el valor obtenido fue de 7,09 (menor a 10); a diferencia de la alfa-cipermetrina, cuyos resultados determinaron que no significa un peligro para el ambiente, debido a que el resultado fue de 5 761,82 (mayor a 10); no obstante, la presencia de estos contaminantes puede ocasionar consecuencias crónicas en *Eisenia foetida*, en términos de desarrollo, además de la migración de éstos individuos.

1.2. Bases teóricas especializadas

1.2.1. Producción orgánica de “café” (estatus orgánico)

La producción orgánica de “café” es la que se desarrolla sin el uso de agroquímicos (plaguicidas y fertilizantes) ni semillas transgénicas, donde se aplica procedimientos naturales para el mantenimiento y control de vectores (plagas) propias del cultivo, con la finalidad de cuidar la salud del consumidor y promover la conservación de los ecosistemas y el medio ambiente. Este procedimiento se realiza bajo el cumplimiento de una serie de requerimientos mínimos, de acorde con los estándares de calidad (ECA) que exige el

mercado nacional e internacional; su producción y procesamiento se realiza buscando la sostenibilidad en el tiempo; es decir, es un sistema de producción que mantiene la fertilidad del suelo, empleando el reciclaje de residuos orgánicos manteniendo así un equilibrio ecosistémico. Para que la producción de café tenga la calificación orgánica, pasa por un control previo, posteriormente se procede a la certificación por un organismo certificador orgánico autorizado (BIO LATINA, 2010).

El desarrollo de la producción orgánica y los sistemas agroforestales de “café” otorgan diversos servicios ecosistémicos, los cuales resultan ser esenciales para el ser humano y el ambiente, dentro de los principales podemos señalar los siguientes: mejoramiento de los suelos gracias a las sombras de los árboles, extrayendo los nutrientes hacia la superficie, aportan materia orgánica a través de las hojarasca y ramas secas que caen al suelo, contribuyendo a la permeabilidad, aireación y protección del suelo frente a las erosiones, reducen la temperatura del suelo, captan y retienen las lluvias realizando la función de humificación a través de las raíces de los cafetos y árboles de mayor longevidad. Asimismo, también contribuyen al mejoramiento de la biodiversidad, polinización de los cultivos, provisión de agua, secuestro del carbono, conservación de la flora (hábitat) y fauna, conectividad paisajística, entre otros servicios a corto, mediano y largo plazo (Cerdán, 2007)

1.2.2. Certificación orgánica

Consiste en un proceso donde una certificadora autorizada garantiza mediante un documento que dicho servicio o proceso se realiza bajo ciertas normas específicas de calidad orgánica. Esta ratificación orgánica constituye un instrumento fundamental para facilitar los acuerdos comerciales en un país, o entre varios países, cumpliendo con los requisitos establecidos que requiere el mercado objetivo (BIO LATINA, 2010).

La producción orgánica agrícola en el mundo se encuentra normada por estándares de referencia o reglamentos internacionales, los cuales sirven de apoyo para la elaboración de normativas en cada uno de los países. En general, internacionalmente existen aproximadamente más de 100 estándares diferentes para los productos orgánicos; sin embargo, dos de ellos han sido tomados como referencia por la mayoría de los países, los

cuales son: los Estándares Básicos para Productos Orgánicos (versión 2005) propuestos por Organics International (IFOAM) y las Guías para la Producción, procesamiento, etiquetado y comercialización de alimentos producidos orgánicamente (CAC/GL 32-1999) del Codex Alimentarius. En el marco de la producción orgánica también han sido tomadas en cuenta las normas sobre Regulación de la Unión Europea como el Reglamento (CE) N° 834/2007, derogada por el Reglamento (UE) 2018/848, donde establece los lineamientos sobre la producción ecológica y etiquetado de productos ecológicos, el cual entró en vigencia desde el 1 de enero de 2022. Asimismo, la Ley de Producción de Alimentos Orgánicos de 1990 (OFPA) y el Programa Nacional Orgánico (NOP), desarrollado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), puesto en vigencia desde el 21/10/2002, también han sido tomados en cuenta para el consumo, producción y comercialización de productos producidos orgánicamente.

La agricultura orgánica en el Perú actualmente se encuentra normada bajo la Ley de Promoción de la Producción Orgánica o Ecológica N°29196 y su reglamento aprobado por Decreto supremo N°010-2012-AG, modificado por el Decreto supremo N°002-2020-MINAN y el Reglamento Técnico para los Productos Orgánicos, aprobados mediante Decreto Supremo N°044-2006-AG que norma la producción, transformación, comercialización y proceso de certificación de los productos orgánicos en el país. Además, la autoridad competente que regula y supervisa la correcta aplicación de estas normativas es el Servicio Nacional de Sanidad Agraria (SENASA) juntamente con la Comisión Nacional de Productos Orgánicos – CONAPO, quien es el ente asesor y consultivo del Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI) en temas relacionados a la producción orgánica, donde participan diversas entidades públicas y privadas con el objetivo de favorecer el desarrollo de la producción orgánica en el Perú.

1.2.3. El suelo

El suelo constituye un cuerpo natural viviente que brinda diversos servicios ecosistémicos como la participación en los ciclos biogeoquímicos (carbono, nitrógeno, fósforo, etc.), almacenamiento y filtración del agua, soporte de las actividades humanas y fuente de materias primas, reserva de biodiversidad, etc. Todos estos servicios permiten el crecimiento de una gran variedad de organismos vivos, así como los animales, plantas y

microorganismos, además de permitir el desarrollo de las actividades humanas para satisfacer sus necesidades (disposición de alimentos, hábitat, espacio, etc.) (De La Rosa, 2013). Su estructura se encuentra determinada por diversos horizontes paralelos al exterior, como resultado de diversos procesos físicos, químicos y biológicos, con determinadas propiedades que difieren una de la otra. A todo el conglomerado de estos horizontes presentes en el suelo se les denomina perfil (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria [INIA], 2015).

En el proceso formativo del suelo actúan cinco elementos formadores activos (litología, clima, relieve, organismos y tiempo). En una etapa inicial se produce la fragmentación de la roca madre y desagregación del material, permitiendo que el agua y el aire puedan transitar, lo que favorece la labor de los organismos vivos, produciendo una alteración química del material. En una siguiente etapa final, los constituyentes liberados o formados pasan por una secuencia de transformaciones de homogeneidad, los cuales conducen a la formación del suelo; la transformación permite que los elementos adquieran una forma y propiedades donde los componentes inorgánicos transformados han constituido nuevos agregados estructurales (Jordán, 2006).

a. Componentes del suelo

➤ Inorgánicos

El componente inorgánico está conformado por el material mineral, siendo los más abundantes: magnesio, sodio, aluminio, potasio, oxígeno, calcio, silicio, entre otros, que provienen de la desintegración del material geológico original (roca madre), o compuestos inorgánicos de la superficie terrestre, que se han ido formando por desgaste gracias a la acción de agentes atmosféricos. Este componente conforma la parte más permanente y representativa del suelo (Jordán, 2006). El material mineral constituye el 90 % de los suelos, el cual está formado por partículas de diferentes tamaños, desde arena que pueden observarse a simple vista hasta arcillas que no son perceptibles sin la ayuda de un equipo. Durante la formación del suelo quedan espacios vacíos llamados poros, los cuales son ocupados por agua, que es necesaria para la alimentación de las plantas, debido a los minerales que

contiene; además, en estos poros se almacena aire, que aporta oxígeno para la respiración de las raíces y diversos organismos que habitan en el suelo (INIA, 2015).

➤ **Orgánicos**

El material orgánico del suelo está constituido por restos de vegetales, cuerpo de organismos muertos, residuos que excretan los organismos vivos como resultado de sus actividades metabólicas, los cuales son depositados en el suelo y que se encuentran en un estado fresco propensos a sufrir una sucesión de alteraciones o modificaciones (Gallardo *et al.*, 1982). El componente orgánico está compuesto por una serie de elementos que secuencialmente van sufriendo una serie de modificaciones, sumado a ello los procesos químicos que se realizan y la variedad de factores bióticos y abióticos que intervienen. Este componente del suelo es muy importante ya que en ella habitan microorganismos, los cuales liberan nutrientes para las plantas como producto de sus actividades metabólicas; además influyen en la composición, disposición para retener el agua y estimulan la presencia biológica y la aireación en el suelo (Jordán, 2006).

1.2.4. Importancia del suelo

El suelo es importante para el mantenimiento de los sistemas ecológicos, tanto de origen natural como agrarios; es necesario para el sostén de los organismos vivos que interactúan en el medio ambiente (animales, plantas y microorganismos), a quienes provee de suministros como agua y nutrientes, esenciales para su supervivencia y crecimiento total. Dentro de los diversos servicios ecosistémicos que brinda el suelo, figuran el de regulación, aprovisionamiento, soporte y cultural. Además, influye en la modificación y reducción de los riesgos y consecuencias de las variaciones climáticas, ya que captura el dióxido de carbono (CO₂), regula el clima y cumple una función importante en la distribución y limpieza del agua (Gardi *et al.*, 2014).

El suelo es uno de los ecosistemas más diversos y complejos que existen en la naturaleza, debido a que en espacios pequeños se puede encontrar tanta diversidad de vida; su compleja naturaleza física y química, su estructura porosa y el suministro de materiales orgánicos proporcionan una heterogeneidad de alimentos y de hábitats que permiten una coexistencia

de gran diversidad de flora y fauna; de legiones de animales como las lombrices, hormigas, etc., y de millones de microorganismos, responsables de los ciclos biogeoquímicos que abarcan desde la fijación del nitrógeno atmosférico hasta la descomposición de la materia orgánica (De la Rosa, 2013).

1.2.5. “Lombriz de tierra” *Aptodrilus fuhrmanni* Michaelsen

Existen pocas investigaciones sobre esta especie de “lombriz de tierra” en el Perú, sobre todo, se sabe poco sobre su existencia en la región San Martín. Feijoo *et al.* (2004) en un estudio realizado para determinar el patrón de distribución de las “lombrices de tierra” (Anélida - Oligochaeta) en Colombia, lograron establecer que, de acuerdo a su función y distribución vertical en el suelo, esta especie de “lombriz de tierra” *Aptodrilus fuhrmanni* pertenece al grupo de las endógenas. Esta especie predomina mayormente en la región andina de Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela, por encima de los 2 000 m s.n.m. y que en algunos casos se encuentran distribuidos en las zonas tropicales húmedas.

Las “lombrices de tierra” en general son organismos invertebrados (anélidos), hermafroditas simultáneos que se reproducen innumerables veces a lo largo de su vida durante la estación cálida y húmeda. Su cuerpo está compuesto por anillos y presentan sedas o quetas, los cuales les ayudan a deslizarse. En la edad madura, determinados segmentos de la mitad anterior del cuerpo se encuentran engrosados por glándulas que secretan mucosa para el apareamiento y la formación de capullo, con un área glandular que cubre total o parcial estos segmentos llamada clitelo (Selles *et al.*, 2006).

El desarrollo de la agricultura requiere que la provisión de materia orgánica al suelo sea permanente y prioritaria, debido a la exigencia de nutrientes. Las “lombrices de tierra” *Aptodrilus fuhrmanni* forman un recurso potencial en la sostenibilidad de esta actividad, ya que participan activamente en la descomposición de la materia orgánica, contribuyendo así al desarrollo de los ciclos biogeoquímicos, el cual permite que las plantas aprovechen los nutrientes necesarios para su desarrollo, mejorando la estructura del suelo y la producción agrícola (Ríos, 2005). Las funciones que desarrollan las “lombrices de tierra” son importantísimas e imprescindibles dentro del ecosistema, ya que facilitan la porosidad y

permeabilidad del suelo, permitiendo la oxigenación y almacenamiento del agua necesaria para las plantas; además, contribuyen al incremento de los nutrientes esenciales y necesarios para el desarrollo de la vida de diversos organismos de la macro y microfauna que habitan en el suelo (Guanche, 2015).

a. Anatomía externa

Las “lombrices de tierra” *Aptodrilus fuhrmanni* pertenecen a los oligoquetos (Oligochaeta), los cuales se alimentan de partículas minerales, suelo y materia orgánica. Estos organismos se caracterizan por que carecen de ojos, cuyo cuerpo es cilíndrico, segmentado por una serie de anillos, los cuales presentan una mínima cantidad de sedas o quetas (filamentos) que les ayudan a deslizarse en el suelo (Arrázola, 2016). En la mayor parte de estos individuos, las sedas o quetas están agrupadas por parejas con una cantidad limitada de 8 filamentos por cada individuo; a cada lado de los segmentos hay sacos setíferos, los cuales secretan las sedas y en la base de cada seda se insertan músculos protractores y retractores que la extienden y la retraen. Cuando estos individuos alcanzan la madurez, los segmentos de la parte anterior del cuerpo están engrosados por glándulas que secretan sustancias mucosas para el apareamiento y formación del capullo. El área glandular que cubre total o parcial estos segmentos se denomina clitelo (Ruppert y Barnes, 1996).

b. Anatomía sistemática de las lombrices

➤ Pared del cuerpo y celoma

La superficie del cuerpo de la “lombriz de tierra” *Aptodrilus fuhrmanni* tiene una fina cutícula que cubre la capa epidérmica, el cual contiene células secretoras de moco que mantienen húmeda la superficie del cuerpo. Presentan sedas que le permiten desplazarse, poseen músculos circulares bien desarrollados y los septos que separan el celoma son relativamente completos (Figura 1) (Arrázola, 2016).

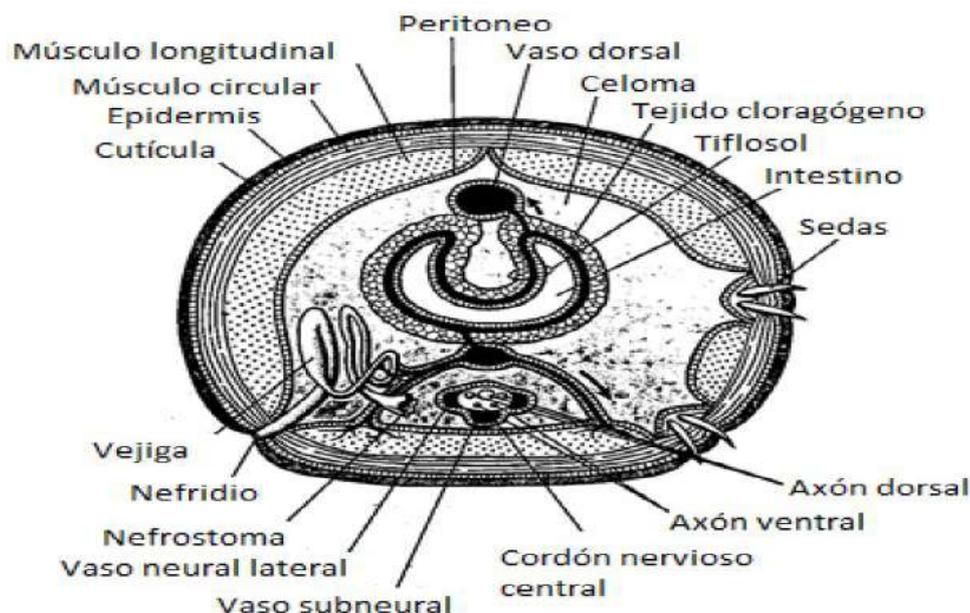


Figura 1. Parte interna del organismo de la “lombriz de tierra”. Fuente: Arrázola (2016).

El celoma es una extensión que está compuesto de líquido situado en medio del aparato digestivo y la superficie externa del cuerpo (pared), donde cada compartimento ceromático a excepción de los extremos se encuentra conectado con el exterior por un poro medio dorsal ubicado en el surco intersegmentario, los cuales permiten mantener húmedo el tegumento, a través de la exudación de líquido ceromático. Además, el alargamiento de los segmentos a causa de la contracción de la musculatura circular genera presión del líquido celomático para facilitar la excavación y la dilatación de las galerías (Ruppert y Barnes, 1996).

➤ **Nutrición y sistema digestivo**

La alimentación de las “lombrices de tierra” se basa generalmente en materia en estado de descomposición que se encuentra en la superficie del suelo, de las hojas que arrastran hasta sus galerías e incluso de la materia orgánica que ingieren al momento de la excavación cuando se desplazan; donde utilizan su boca en forma de abertura para poder tomar fragmentos grandes de alimento (Fauchald, 1977).

El aparato digestivo de las lombrices es rectilíneo y relativamente sencillo. La boca que se encuentra debajo del prostomio, puede abrirse en una pequeña cavidad bucal, para luego unirse con una faringe mucho más amplia que actúa como un aspirador, donde las glándulas

faríngeas al producir secreción salival que contienen mucosas y enzimas facilitan la ingesta de grandes cantidades de alimento. Posteriormente, los alimentos pasan por una faringe más estrecha hasta llegar al buche para ser almacenados, luego pasan a ser triturados en su totalidad por una o más mollejas muscularizadas, el cual se encuentra protegida por una cutícula (Figura 2). Finalmente, el sistema digestivo de la “lombriz de tierra” termina con el intestino, donde la secreción y la digestión de enzimas como la celulasa y quitinasa se producen en la parte anterior y la absorción se realiza en la mitad posterior del intestino, el cual se extiende por el cuerpo, a excepción del cuarto anterior (Ruppert y Barnes, 1996).

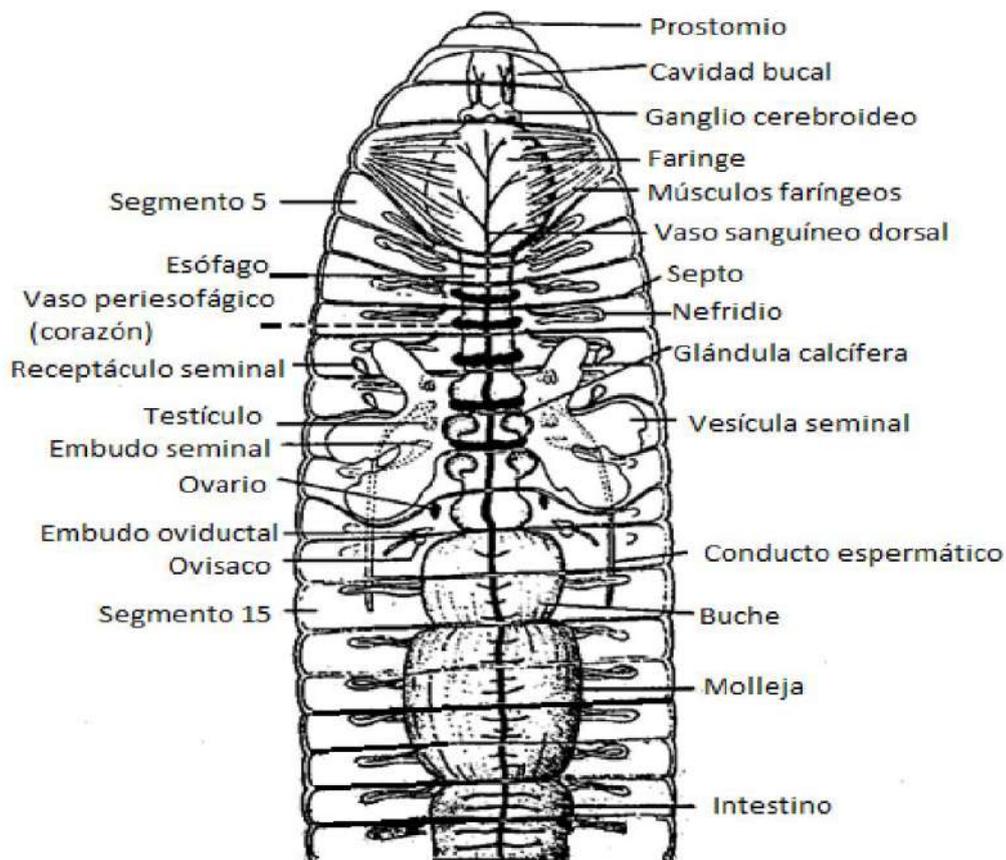


Figura 2. Vista dorsal de las estructuras internas anteriores de la “lombriz de tierra” *Aptodrilus fuhrmanni*. Fuente: Ruppert y Barnes (1996).

Además, el aparato digestivo de las lombrices presenta glándulas calcíferas en ciertas partes de la pared del esófago, quienes regulan los niveles de iones de calcio y carbonatos en la sangre y líquido celomático, regulando el pH. Las glándulas calcíferas extraen el calcio de los alimentos ingeridos, los cuales no pueden ser absorbidos por las paredes de los intestinos, de tal manera que estas recorren todo el tubo digestivo para ser devueltos a la luz digestiva en forma de calcita a través del ano (Fauchald, 1977).

➤ Sistema excretor

El sistema excretor de la *Aptodrilus fuhrmanni* presenta un par de metanefridios en cada uno de los metámeros, con excepción de los segmentos anteriores y posteriores. Los metanefridios están formados por un pequeño canal muy estrecho que atraviesa el septo y un nefroducto posterior al septo, el cual lleva una vesícula excretora (Figura 3). Los desechos que se generan son transportados mediante el líquido celomático hasta los nefridios por el sistema circulatorio y por difusión (Fauchald, 1977).

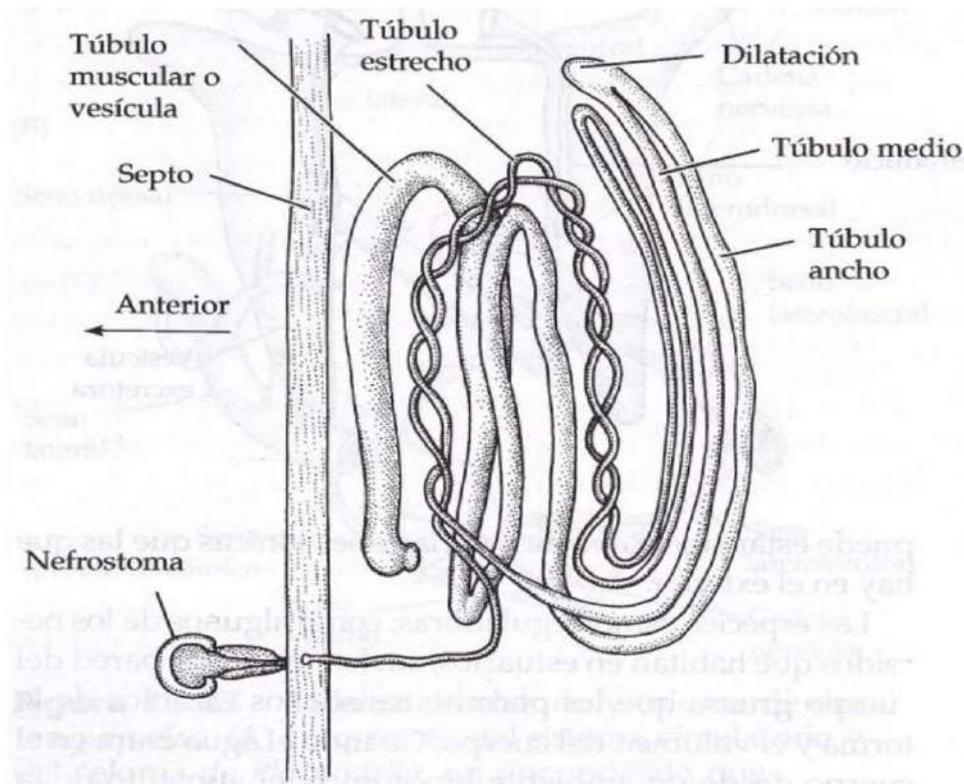


Figura 3. Disposición de un nefridio con respecto a un septo intersegmentario.

Fuente: Fauchald (1977).

Por lo general, en la orina que excretan las “lombrices de tierra”, hay presencia de urea y amoníaco, teniendo en cuenta que el nivel de concentración de estos depende de las condiciones de la lombriz y de la situación ambiental. La orina de esta especie es hiposmótica bajo condiciones normales de agua, es decir, que al pasar por los túbulos nefridiales se produce una absorción de sales, los cuales también son absorbidas por el tegumento (Ruppert y Barnes, 1996).

➤ Sistema nervioso y órganos sensoriales

El sistema nervioso central está constituido por un ganglio cerebroideo dorsal con conectivos perifaríngeos que regula los movimientos a través de una influencia inhibitoria y un ganglio subentérico que controla los movimientos del cuerpo, los cuales se encuentran unidos a una cadena nerviosa ventral, que al fusionarse forman una sola cadena nerviosa (Figura 4). Los nervios sensoriales y motores que van hacia la pared del cuerpo y a los diversos órganos de cada segmento son producidos por los ganglios segmentarios y los conectivos perifaríngeos (Fauchald, 1977).

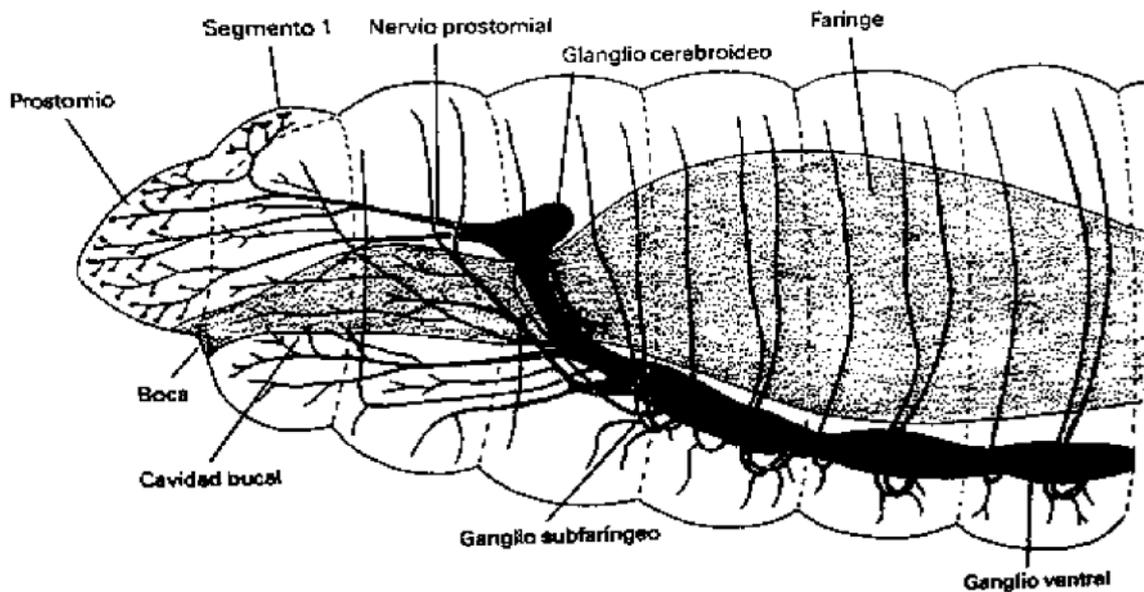


Figura 4. Sistema nervioso de la “lombriz de tierra” - vista lateral.
Fuente: Ruppert y Barnes (1996).

Los órganos de los sentidos de las lombrices están claramente relacionados con sus hábitos donde los movimientos de cada segmento dependen de una serie de estímulos y reacciones que se inician en el ganglio subentérico, en la cual intervienen los ganglios segmentarios. Los órganos sensoriales o receptores de estos animales se encuentran distribuidos por la superficie de todo el cuerpo, los cuales permiten que las lombrices presenten una gran sensibilidad a las variaciones de pH y las secreciones producidas por otras lombrices (Fauchald, 1977). Además, “las lombrices de tierra” poseen cinco axones gigantes de los cuales tres de ellos son gruesos y están ubicados en el lado medio del cordón nervioso ventral conectados en cada uno de los ganglios con neuronas que inervan los músculos longitudinales (Ruppert y Barnes, 1996).

Las lombrices *Aptodrilus fuhrmanni* carecen de ojos, pero no obstante en la parte interna de la epidermis, poseen un tegumento que se encuentra provisto de fotorreceptores, con mayor presencia en la parte anterior del cuerpo, quienes le permiten diferir entre la ausencia o presencia de luz. La presencia de estos fotorreceptores resulta ser de mucha importancia debido a que las lombrices suelen realizar actividades de excavación durante el día y salen a la superficie durante las noches para copular (Arrázola, 2016).

➤ Sistema reproductivo y desarrollo

La “lombriz de tierra” es hermafrodita con sistemas reproductores diferenciados y complejos en los que hay gónadas permanentes, donde la reproducción se realiza a través de una fecundación cruzada, en la cual se produce un encapsulamiento y puesta de los cigotos. El aparato reproductor masculino está ubicado en la parte anterior del cuerpo y presenta dos pares de testículos localizados en dos segmentos gonadales, los cuales liberan los espermatozoides en las vesículas seminales o en las cámaras celomáticas para que maduren y luego ser transportados por los espermiductos hasta llegar a los poros masculinos (Figura 5). El segmento masculino está dividido de modo que los testículos, el embudo del espermiducto y los orificios de las vesículas seminales están encerrados en un saco testicular (Fauchald, 1977).

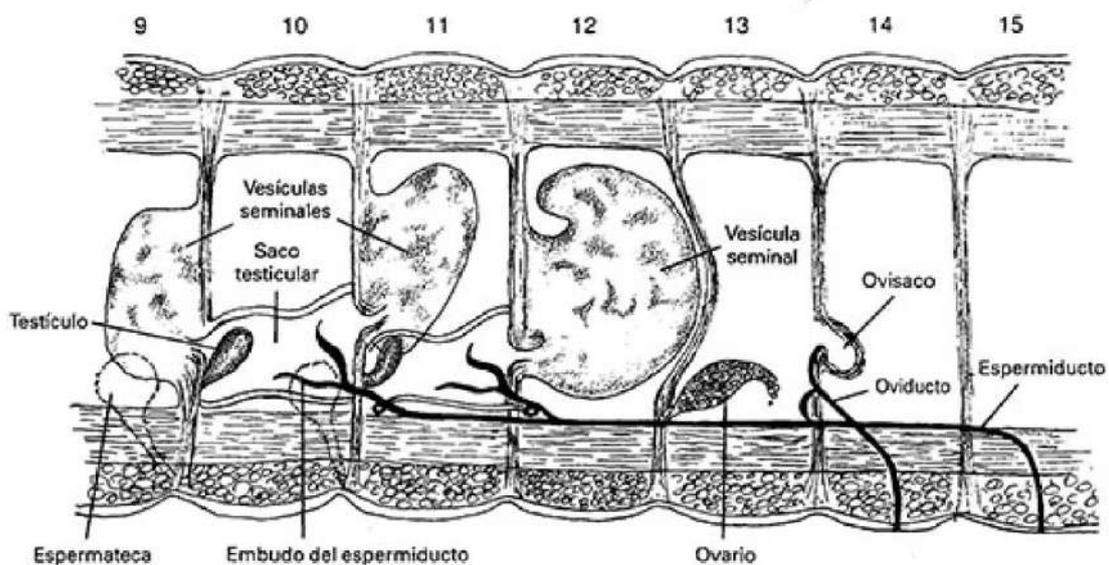


Figura 5. Segmentos reproductores de la “lombriz de tierra” - vista lateral.
Fuente: Fauchald (1977).

El aparato reproductor femenino está formado por dos ovarios que se encuentran ubicados en el septo anterior de los órganos genitales, detrás de los órganos reproductores masculinos, donde los óvulos son depositados en sacos celomáticos llamados ovisacos, los cuales se originan de las evaginaciones de los septos de los segmentos reproductivos, provistos de dos espermiductos. Además, el aparato reproductor femenino tiene más de dos pares de espermatecas, los cuales reciben el fluido seminal de la pareja en la cópula (Arrázola, 2016).

La reproducción de las “lombrices de tierra” tiene lugar en una región de un tejido glandular llamada clitelo formado por tres tipos de células glandulares epidérmicas que rodean el cuerpo del individuo como una ligera hinchazón o engrosamiento, los cuales segregan moco para facilitar la cópula, sustancias para la formación de la cubierta extrema del capullo y la albúmina para ser puesto en el capullo junto a los cigotos (Figura 6). La cantidad de cigotos dentro del capullo varía dependiendo de la especie desde 1 a 20; sin embargo, no todos llegan a eclosionar debido a diversos factores ambientales (Fauchald, 1977).

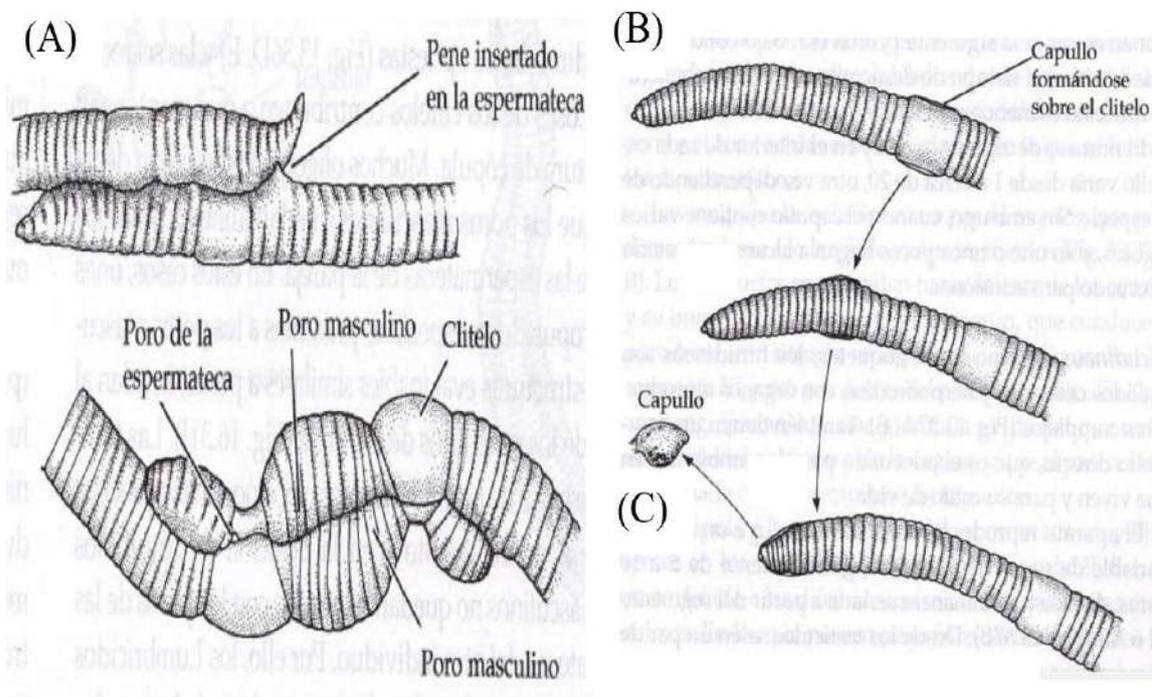


Figura 6. (A) “Lombrices de tierra” copulando. (B) “Lombriz de tierra” formando el capullo. (C) Capullo. Fuente: Fauchald (1977).

1.2.6. Cipermetrina

El cipermetrina es un insecticida sintético orgánico, cuya clasificación química pertenece a los piretroides de Tipo II; su acción es vía dérmica (contacto) o ingestión, posee un extenso espectro para combatir coleópteros, hemípteros, lepidópteros, etc., además de otros insectos. Este insecticida está especialmente formulado para el control de insectos y gusanos en diversos cultivos agrícolas asegurando un área de plantas uniformes y vigorosas, como también sobre ectoparásitos que afectan a diversos animales domésticos (Mendoza *et al.*, 2015; Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes [CASAFE], 2009).

Los piretroides se pueden catalogar en dos grandes grupos, según su química y actividad dependiendo del sustituyente alcohol. El grupo I, debido a su gran amplitud tiene la propiedad de incorporar a los que en su composición poseen la categoría desciano- 3-fenoxibencilo (fenotrina), o alcoholes (empentrina, aletrina, etc.). Los piretroides del grupo II poseen una estructura química que está más definida, todo esto se debe a que dentro de su estructura sostienen el grupo α -ciano-3-fenoxibencilo como: cipermetrina, cifenotrina, deltametrina, etc. (Fernández, 2009).

En la Tabla 1 se muestra la estructura química del cipermetrina, así como su nombre común, sus números y nombres CAS.

Tabla 1

Estructura química de la cipermetrina

Nombre común (N° CAS)	Nombre CAS	Estructura química
cipermetrina [52315-07-8]	Carboxilato de (RS)-ciano (3-fenoxifenil) (1RS) <i>cis-trans</i> - 3-(2,2-dicloroetenil)-2,2-dimetil ciclopropano	

Fuente: Elaboración propia basado en la Organización Mundial de la Salud [OMS] (1993).

a. Propiedades físico-químicas

Su nombre ISO es cipermetrina, comprende un compuesto racémico de ocho estéreos isómeros donde las relaciones de isómeros *cis-trans* varían de 50:50 a 40:60 (Ávila, 2015). La cipermetrina cambia de una sustancia líquida con tono amarillo gelatinoso a un compuesto semisólido transparente cuando se mantiene en condiciones ambientales normales ($T \pm 22$ °C), presenta un olor químico suave, es estable a la luz a temperaturas inferiores a los 220 °C, con una estabilidad óptima al pH 4, es decir, es resistente a lo ácido que al medio alcalino (OMS, 1993). Las propiedades físico-químicas están recapitulados en la Tabla 2.

Tabla 2

Características físicas y químicas de la cipermetrina

Propiedad	Valor
Denominación IUPAC	RS-9-alfa-ciano-3-fenoxibencil (1 (RS) cis-trans-3-82,2-diclorovinil) -2,2-dimetilciclopropano Carboxilato
Formulación molecular	$C_{22}H_{19}O_3NCL_2$
Peso molecular (g.mol⁻¹).	416,3
Punto de fusión (°C).	80 (dependiendo de la pureza y la forma <i>cis</i> o <i>trans</i>).
Densidad (20 °C)	1,12
Coefficiente de partición log <i>n</i> - Octanol/agua	6,3
Presión de vapor a 20 °C (mmHg)	$1,4 \times 10^{-9}$
Solubilidad en agua (20 °C) (mg.L⁻¹)	0,01
Solubilidad en disolventes Orgánicos a 20 °C (g.L⁻¹).	Xileno >450 Hexano 103

Fuente: Elaboración basado en la OMS (1993).

b. Propiedades toxicológicas y metabolismo

La cipermetrina es un insecticida efectivo frente a un amplio rango de especies (plagas) en la agricultura, en el ámbito ambiental y doméstico, el cual ofrece un control efectivo de insectos en lepidópteros, coleópteros y hemíptero y ganaderos. Actúa por contacto a través de la cutícula, por ingestión e inhalación, donde sufren una serie de reacciones metabólicas en varios de los tejidos del organismo, dando lugar a metabolitos secundarios y terciarios que siguen siendo activos y que provocan la muerte por bloqueo metabólico y parálisis del sistema nervioso de los insectos (Rivas, 2015). En la Tabla 3 se pueden observar alguno de los efectos toxicológicos de cipermetrina.

Tabla 3

Toxicidad de la cipermetrina en organismos no diana

Especie	Toxicidad
Aves (<i>Anas platyrhynchos</i> Linnaeus)	DL ₅₀ = 2000 mg.kg ⁻¹
Peces (<i>Oncorhynchus mykiss</i> Walbaum)	CL ₅₀ (96h)= 0,69 µ.L ⁻¹
Daphnia (<i>Daphnia magna</i> Strauss)	EC ₅₀ (48 h)= 0,15 µ.L ⁻¹
Algas (<i>Selenastrum capricornutum</i> Printz)	EC ₅₀ /72 h= 6,32 µ.L ⁻¹
Abejas	DL ₅₀ (contacto)= 0,025 µg.abeja ⁻¹ DL ₅₀ (agudo)= 0,033 µg.abeja ⁻¹
Lombriz de tierra	CL ₅₀ (14 días)= 100mg.kg ⁻¹

Nota: EC₅₀ = concentración efectiva media; CL₅₀ = concentración letal media; LD₅₀ = dosis letal media.
Fuente: Elaboración basado en Neoagrum (2017).

Su acción se debe a que sus moléculas son parecidas a la membrana celular de las fibras nerviosas, de tal manera que estas se introducen en ellas produciendo una alteración de la permeabilidad del calcio, impidiendo la despolarización de la membrana (transmisión del impulso nervioso), alteración en los movimientos, incoordinación motora, parálisis y muerte del insecto; en los insectos adultos, impide y altera la oviposición y la eclosión de larvas (Rivas, 2015). La cipermetrina es metabolizada por la ruptura de su enlace éster, el alcohol fenoxibencílico de la molécula se hidroxila y se conjuga con sulfato, y el ácido ciclopropano-carboxílico también se conjuga en forma de glucurónido, finalmente sus metabolitos son excretados por vía renal (Guamialamá, 2018).

c. Comportamiento ambiental

Los insecticidas al ingresar al medio ambiente sufren una serie de procesos de modificación, destrucción, volatilización, asimilación y emisión, debido a la acción de organismos vivos (plantas), escorrentías, agua subterránea y superficial. En el suelo, la degradación de los insecticidas está vinculado con distintas interacciones complejas en los que están inmersos los procesos físicos, químicos y biológicos, donde la adsorción de estos puede significar la destrucción de las estructuras originales de las comunidades de diferentes organismos vivos cuyo hábitat es el suelo, dando lugar a una disminución de la actividad ecológica y metabólica de los suelos (Peña, 2018).

La aplicación de cipermetrina en los cultivos puede llegar a comprometer la vida de diferentes especies que habitan dentro del suelo como *Aptodrilus fuhrmanni*, debido a que las probabilidades de que queden residuos en el suelo son muy altas, así como también la lixiviación de estos. La vida media de la cipermetrina en el suelo es moderadamente persistente, dependiendo de diversos factores ambientales como la textura del suelo y el contenido del material orgánico, donde el rango de duración oscila entre cuatro a ocho semanas; sin embargo, en condiciones anaeróbicas este periodo de persistencia puede prolongarse por más tiempo, sumado a esto los niveles altos de aplicación y la continuidad de su uso puede producir efectos transitorios en la microflora del suelo (OMS, 1993).

1.2.7. Evaluación de toxicidad en sistemas terrestres mediante bioensayos

La evaluación de la toxicidad en suelos se realiza a través de bioensayos o biomonitoreos, los cuales consisten en exponer a un tejido vivo, organismos o grupo de organismos (flora y fauna) a determinadas concentraciones de un contaminante o tóxico, por un tiempo establecido, el cual permite evaluar los efectos tóxicos como mortalidad, inmovilidad, inhibición del crecimiento, alteración del comportamiento, etc., de un organismo de prueba bajo condiciones experimentales controladas. Los bioensayos toxicológicos facilitan definir los niveles de restricción de diferentes productos cuya presencia signifique un peligro, permiten determinar los impactos ambientales de estos insumos en el medio ambiente y de comprobar el grado de sensibilidad de los organismos a ciertas sustancias tóxicas. Generalmente, para estos ensayos se suele utilizar organismos con una sensibilidad muy alta

a la presencia de tóxicos como las lombrices de tierra, bacterias, algas, etc., ya que, al definir las concentraciones para ellos, se espera proteger a todo el ecosistema (Moreno, 2017).

Los bioindicadores son aquellos que por sus características como: sensibilidad a alteraciones ambientales, distribución, abundancia, dispersión, reproducción, etc., pueden ser utilizadas como estimadoras de la supervivencia de otras especies o condiciones ambientales adversas que resultan ser complicadas o costosas de evaluar o medir directamente; en ese sentido, los bioindicadores son utilizados con el objetivo de mantener poblaciones estables de todas las especies nativas, proteger muestras específicas de los tipos de ecosistemas, mantener los procesos evolutivos y ecológicos, establecer las condiciones adecuadas para que otras especies desarrollen una resiliencia frente a los cambios ambientales, etc. Además, estos organismos proporcionan información medible sobre la salud del ambiente a través de su presencia/ausencia, o mediante cambios en su abundancia, frente a la presencia de algún estresor ambiental (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático [INECC], 2014).

Los bioensayos o biomonitoreos de toxicidad se han convertido en una herramienta indispensable para el estudio de la exposición ocupacional y ambiental a productos químicos, incluidos los contaminantes orgánicos persistentes, cuyos datos sirven para evaluar las exposiciones basadas en mediciones en medios ambientales con respecto al potencial de exposición. Estos estudios involucran múltiples etapas y procesos complicados como: la declaración del problema, delineación de hipótesis, selección de estudio, métodos de muestreo, procedimientos de investigación sistemática, recopilación y análisis de datos, interpretación y comunicación de los resultados. Además, para la elección del método y de los organismos indicadores o bioindicadores adecuados depende de diversos factores como: el objetivo del estudio, las interrelaciones entre las etapas de investigación, la disponibilidad de recursos, el método de recopilación y análisis de los datos (Dhananjayam *et al.*, 2020).

El desarrollo de las evaluaciones de toxicidad en suelos a través de bioensayos o biomonitoreos generalmente se desarrolla empleando con frecuencia a las lombrices de tierra como organismos de prueba para la determinación y análisis de la toxicidad de un agente, debido a la alta sensibilidad de detección a diferentes contaminantes de origen natural o

industrial (herbicidas, insecticidas, fungicidas, etc.), mediante una relación dosis - respuesta; procedimiento mediante el cual se puede anticipar impactos ambientales u orientarnos hacia el análisis y monitoreo de impactos existentes (Gómez, 2014). Según Peña (2018), los bioensayos de toxicidad se clasifican en dos tipos:

a. Bioensayos de toxicidad aguda

Las pruebas de toxicidad aguda son analizadas mediante bioensayos por contacto, ingestión o inyección de una sustancia de prueba en individuos como “lombrices de tierra”, los cuales generalmente se desarrollan en laboratorios con la finalidad de que las condiciones ambientales puedan ser controladas y reproducibles (Peña, 2018). En la Tabla 4 se muestran los bioensayos agudos.

Tabla 4

Bioensayos de toxicidad aguda

Tipo de Bioensayo	Método	Explicación
Prueba toxicológica vía dérmica (contacto)	Aplicación Tópica	El contaminante (insecticida) se aplica en la superficie del cuerpo de la “lombriz de tierra” (piel), el cual previamente ha sido seleccionado y aclimatado antes de ser sometido a la prueba. La aplicación se realiza en el dorso anterior, utilizando un aplicador o pincel (Moreno, 2017).
	Revestimiento de vial/Bioensayo de contaminación	El insecticida es colocado en acetona en una proporción de 10 µl/ vial, luego se deja reposar la solución hasta que la acetona se haya evaporado en su totalidad. Posteriormente, las “lombrices de tierra” seleccionadas son introducidas, agregando 1 ml de agua desionizada (Peña, 2018).
	Papel filtro	El papel filtro es colocado en viales para luego aplicar 1 ml de la concentración estimada del contaminante (insecticida), el cual se deja en reposo hasta que seque. Posteriormente, se adiciona 1 mL de agua destilada y se agrega una “Lombriz de tierra”. Finalmente, los viales son puestos en forma horizontal durante 48 a 72 horas y luego se mide la mortalidad (Gómez, 2014).
	Prueba de papel filtro utilizando placas de Petri	El contaminante es disuelto en acetona y en una placa Petri de 9 cm, se aplica 2 ml de esta solución preparada, dejándolo hasta que la acetona se evapore en su totalidad. A continuación, se agrega 2 ml de agua destilada para humedecer el papel filtro y finalmente colocar la “lombriz de tierra” (Peña, 2018).
	Prueba de inmersión	Las “lombrices de tierra” son expuestas al contaminante por un tiempo determinado. Previo a esto, se tiene en cuenta que las soluciones preparadas contengan las dosis letales o subletales (Moreno, 2017).

Fuente: Elaboración basado en Peña (2018).

(Continuación)

Tipo de bioensayo	Método	Explicación
Prueba de toxicidad por ingestión	Prueba de alimentación forzada	El contaminante es aplicado directamente al esófago de las lombrices. Previo a esto, la sustancia de prueba se prepara en forma de suspensión en agar nutritivo y se aplica. Las lombrices son ubicadas en papel húmedo para realizar las evaluaciones de mortalidad (Peña, 2018). Este procedimiento solo se utiliza para gusanos grandes.
	Alimentación voluntaria – Prueba de alimento contaminado	Consiste en colocar alimento contaminado a las “lombrices de tierra”. Se toma recortes de alimentos para luego contaminarlos con la concentración requerida de la sustancia de prueba (insecticida). A continuación, se procede a evaluar las tasas de mortalidad (Moreno, 2017).
	Prueba de contaminación del suelo en contenedores de vidrio	La concentración requerida del contaminante de prueba (insecticida) es mezclado con un preparado de suelo artificial con ciertas características definidas, al cual se le adicionan las “lombrices de tierra” para evaluar la tasa de mortalidad a los 7 y 14 días (Peña, 2018).
Ingestión y toxicidad por contacto: Ensayos de contaminación de suelo	Pruebas de artisol	El contaminante es aplicado en matrices de sílice para ser humectada y fijado en esferas de vidrio, el cual sirve de alimento para las lombrices. Estos individuos son expuestos por un lapso de 14 días para poder evaluar la tasa de mortalidad (Gómez, 2014).
	Pruebas con suelo natural	Se extrae suelo limpio natural y se le aplica distintas concentraciones del contaminante, luego se introducen las “lombrices de tierra” en cada muestra para evaluar las tasas de mortalidad a los 7 y 14 días (Peña, 2018).
Bioensayos de inyección	Bioensayo de inyección	Se prepara varias soluciones del contaminante y luego son aplicadas directamente en la cavidad celómica de las lombrices. Posteriormente las lombrices son ubicadas en contenedores con suelo artificial por un tiempo determinado, para luego evaluar la tasa de mortalidad (Moreno, 2017).

Fuente: Elaboración basado en Peña (2018).

b. Bioensayos de toxicidad crónica

Las pruebas de toxicidad crónica o subletal son estudios que nos permiten saber los efectos tóxicos de una sustancia a largo plazo como resultado de la exposición continua de un individuo a dosis subletales. Los efectos crónicos o puntos finales de esta evaluación son: daño al sistema reproductor, cáncer, daño al material genético, sistema nervioso, defectos de nacimiento y la esperanza de vida (Peña, 2018).

Generalmente en estudios con “lombrices de tierra”, las pruebas de toxicidad crónica nos permiten determinar los efectos de contaminantes (insecticidas) sobre la reproducción, desarrollo y crecimiento de estos individuos, a través de la aplicación de bioensayos en suelos contaminados, pero con puntos finales subletales. También hay que tener en cuenta que el efecto crónico de una sustancia está asociada a una exposición en un tiempo mucho mayor en comparación con las pruebas de toxicidad aguda, donde es necesario suministrar alimento a las “lombrices de tierra” (Peña, 2018).

En la Tabla 5 se muestran la descripción de los bioensayos de toxicidad crónica.

Tabla 5

Bioensayos de toxicidad crónica o subletal

Bioensayo	Descripción
<p>Ensayo para el crecimiento de lombrices de tierra</p>	<p>El procedimiento de esta prueba es similar a la prueba de toxicidad aguda, ya que se desarrolla en suelos contaminados, pero con la diferencia de que el tiempo de incubación es mucho mayor; por lo tanto, es necesario suministrarles alimentos a las lombrices para equilibrar las condiciones de vida.</p>
<p>Ensayo de reproducción – producción de capullos y eclosión</p>	<p>Consiste en el mismo procedimiento del ensayo de crecimiento, con el adicional de que se realizan evaluaciones a los 28 días para verificar la producción de capullos y a los 56 días para verificar el número de juveniles incubados. Dentro de los parámetros adicionales que se pueden evaluar en esta prueba también figuran la eclosión y el cambio de peso en individuos adultos.</p>
<p>Ensayos para el desarrollo sexual</p>	<p>Se utiliza un procedimiento parecido a las pruebas con suelo para determinar las consecuencias del contaminante (insecticida) sobre el desarrollo de la “lombriz de tierra”, teniendo como punto final el tiempo hasta la madurez, desarrollo de clitelo, etc. Además, los ensayos de desarrollo sexual de las lombrices son de mucha importancia, ya que permite determinar la densidad poblacional y la relevancia ecológica que significaría la disminución de este individuo.</p>

Fuente: Elaboración basado en Peña (2018).

1.2.8. Ensayos de evasión

Los ensayos de evasión con “lombrices de tierra” son considerados como una de las herramientas más efectivas frente a la evaluación de riesgos ambientales, debido a la alta sensibilidad de detección de esta especie a diferentes contaminantes de origen natural o industrial, incluyendo metales pesados, hidrocarburos, explosivos, plaguicidas, etc. (De Silva y Van Gestel, 2009). Además, la metodología para el desarrollo de las pruebas de evasión resulta ser muy sencilla, con un tiempo de aplicación de un periodo corto (48 – 72 horas), sumado a esto el bajo costo que implica su implementación en la evaluación de riesgo de algún contaminante (insecticida), lo que lo convierte en una herramienta de selección rápida, ideales para determinar la toxicidad potencial del suelo (Schaefer, 2003).

Los bioensayos de evasión ponen en manifiesto la actitud que adoptan los organismos (*Aptodrilus fuhrmanni*) de evitar los suelos frente a la presencia de un contaminante que ponga en riesgo su supervivencia, debido a la amplia capacidad de detectar sitios potencialmente contaminados. La exposición de las lombrices a determinadas concentraciones de contaminantes como plaguicidas puede significar un comportamiento de evasión, a tal punto de traer consigo consecuencias negativas como la modificación en abundancia y diversidad de esta especie debido a la exposición, comprometiendo así la capacidad de supervivencia en condiciones de campo (Piola, 2011).

La evasión de las lombrices a un suelo contaminado cuyas características naturales hayan sido modificadas, producto de la aplicación constante de contaminantes (insecticidas); y una evidente emigración de estas, puede significar un problema ecológicamente relevante, debido a la pérdida de las funciones beneficiosas del suelo como la capacidad de aireación, drenaje, porosidad, degradación de la materia orgánica, etc., evidenciando un deterioro progresivo del suelo, y por consiguiente de todo el ecosistema (Schaefer, 2003). Las “lombrices de tierra” cumplen muchas funciones dentro de sus hábitats, los cuales se traducen en servicios ecosistémicos para el resto de los seres vivos; la actividad que realizan está vinculada estrictamente a la fertilidad del suelo debido a su acción sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas (Selles *et al.*, 2006).

1.2.9. Evaluación de Riesgo Ambiental

La evaluación de riesgo ambiental (ERA) es un método a través del cual se define la existencia de un peligro como consecuencia de la exposición de productos tóxicos ajenos presentes en un determinado lugar, comprometiendo la calidad de los recursos naturales. La ERA realiza una evaluación de la exposición y de los efectos para estimar el riesgo de posibles impactos negativos dentro del ecosistema como resultado de las diversas actividades antrópicas (Arrázola, 2016).

El desarrollo de la ERA esta generalmente caracterizada por la definición de conceptos como: el escenario de riesgo, la probabilidad de riesgo y los destinos de los riesgos, lo cual lo convierte en un mecanismo eficiente para la toma de decisiones cuya metodología es

aplicada en los Estado Unidos (USEPA) y en los países de la Comunidad Europea (CEE), que se basa en la aplicación de los datos obtenidos en los ensayos de toxicidad, previa exposición de un organismo o más, para determinar la potencia de una sustancia (Paredes, 2016). La ERA es una herramienta esencial que tiene la capacidad de predecir y estimar la probabilidad y magnitud de un evento ambiental, así como identificar valores de interés y vacíos de información; integra metodologías toxicológicas y químicas para la identificación de la presencia, el destino y los efectos adversos de sustancias químicas que se encuentran en el medio ambiente (Peña, 2018).

Para poder realizar una correcta valoración de riesgo, se debe tener en consideración la caracterización de la exposición y de los factores que provienen de la exposición antes mencionada. Además, la exposición a la sustancia, los efectos resultantes de la exposición y los organismos expuestos a la sustancia contaminante son aspectos que se deben tener en cuenta al momento de realizar la valoración de un riesgo; de esta forma, se puede definir como la valoración cuantitativa de la probabilidad de que se verifique un cierto efecto ambiental como resultado de la exposición a una sustancia contaminante (Peña, 2018).

a. Evaluación de Riesgo Ambiental para pesticidas

Para realizar estudios de evaluación de riesgo ambiental donde la sustancia principal que se pondrá a prueba es un pesticida o insecticida, se debe tener en cuenta los siguientes componentes (Peña, 2018).

➤ Caracterización de la exposición

Esta caracterización evalúa la exposición de distintos organismos vivos (plantas y animales), fuentes naturales de agua a residuos de contaminantes (insecticidas) producto del desarrollo de diversas actividades agrícolas; el cual también incorpora dentro de su estructura datos sobresalientes como el tiempo, la frecuencia y la cantidad de pesticida que se aplica y a los que un individuo resulta expuesto.

➤ **Caracterización de los efectos ecológicos**

Explica cuáles son las diferentes consecuencias que un contaminante (insecticida) es capaz de ocasionar en uno o varios organismos y como estos efectos varían de acuerdo al tipo de contaminante, tiempo de exposición y la concentración a la cual estos individuos han sido expuestos; además, cabe mencionar que la caracterización de los efectos ecológicos se basa en el desarrollo de una lista determinada de consecuencias ecológicas que brindan datos de las consecuencias que pueden darse.

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Diseño de la investigación

El desarrollo de la presente investigación tuvo un enfoque cuantitativo, debido a que la explicación de cada etapa fue objetiva, de carácter secuencial y probatorio, donde se analizaron las variables y se probaron las hipótesis propuestas. Además, el alcance fue explicativo, ya que se analizaron los efectos de las variables independientes sobre las dependientes. El diseño de la investigación fue experimental, en el cual se sometieron a evaluación 4 tratamientos con diferentes dosis de cipermetrina para determinar el efecto sobre la población de *Aptodrilus fuhrmanni* (Hernández *et al.*, 2014).

2.1.1. Lugar y fecha

La recolección de las muestras tanto de suelo como de *Aptodrilus fuhrmanni* se realizaron del fundo cafetalero “La Loma” con certificación orgánica (estatus orgánico), perteneciente a la señora Pamelita Panduro Gordillo, socia de la Asociación de Agricultores y Productores de Café Especiales y Sostenibles Selva – CASELSO, ubicado en el caserío Limabamba, distrito de Soritor, provincia de Moyobamba (Figura 7). El proceso experimental del proyecto (Bioensayos) se realizó en el Laboratorio General de Ciencias Básicas I de la Universidad Católica Sedes Sapientiae, Filial Rioja: Nueva Cajamarca (Figura 8).

El desarrollo del proyecto se desarrolló en 6 meses, dándose inicio el 01 de octubre de 2020, y culminó el 31 de marzo de 2021.

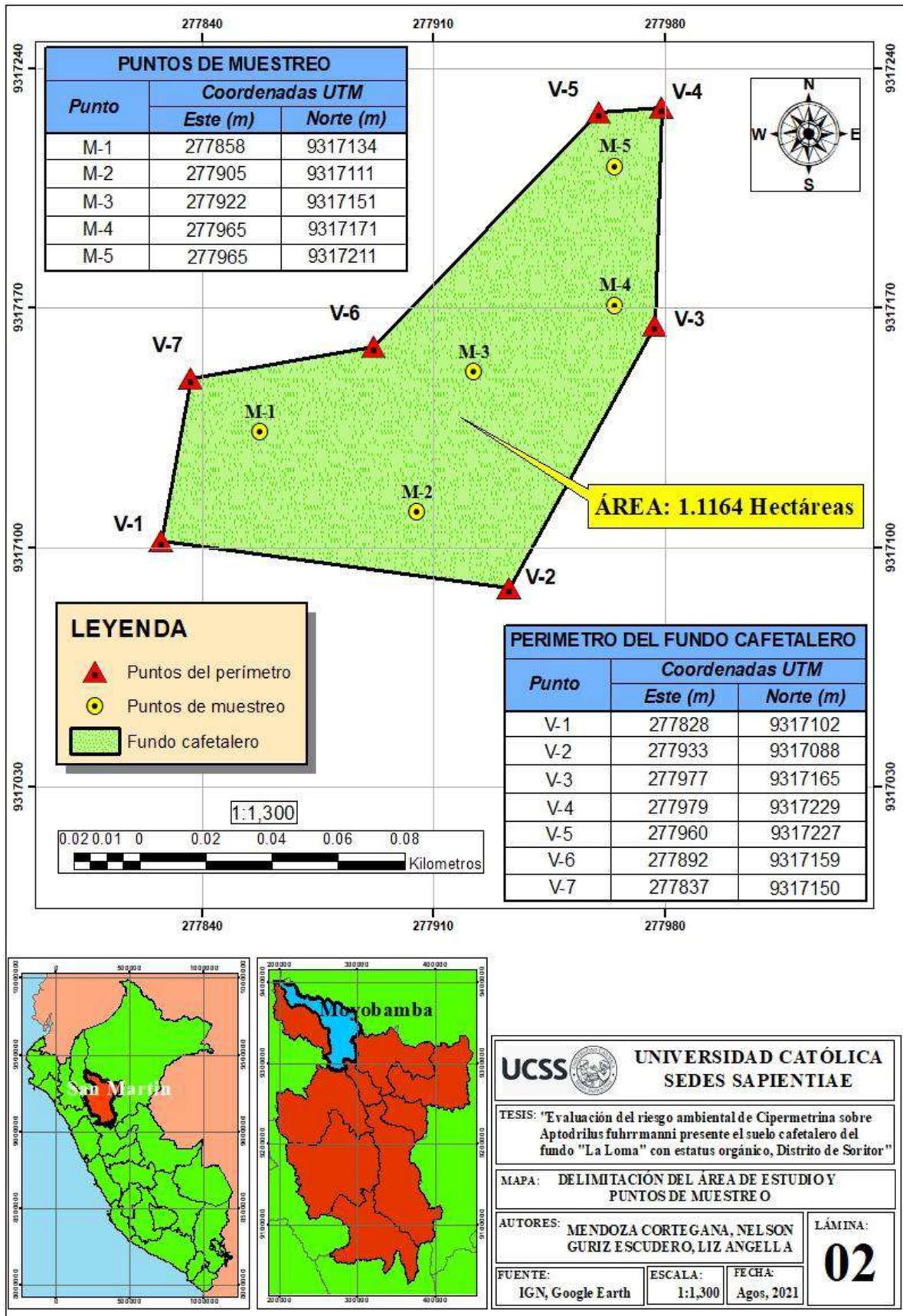


Figura 7. Mapa de ubicación del fundo cafetalero y puntos de muestreo.
Fuente: Elaboración propia.

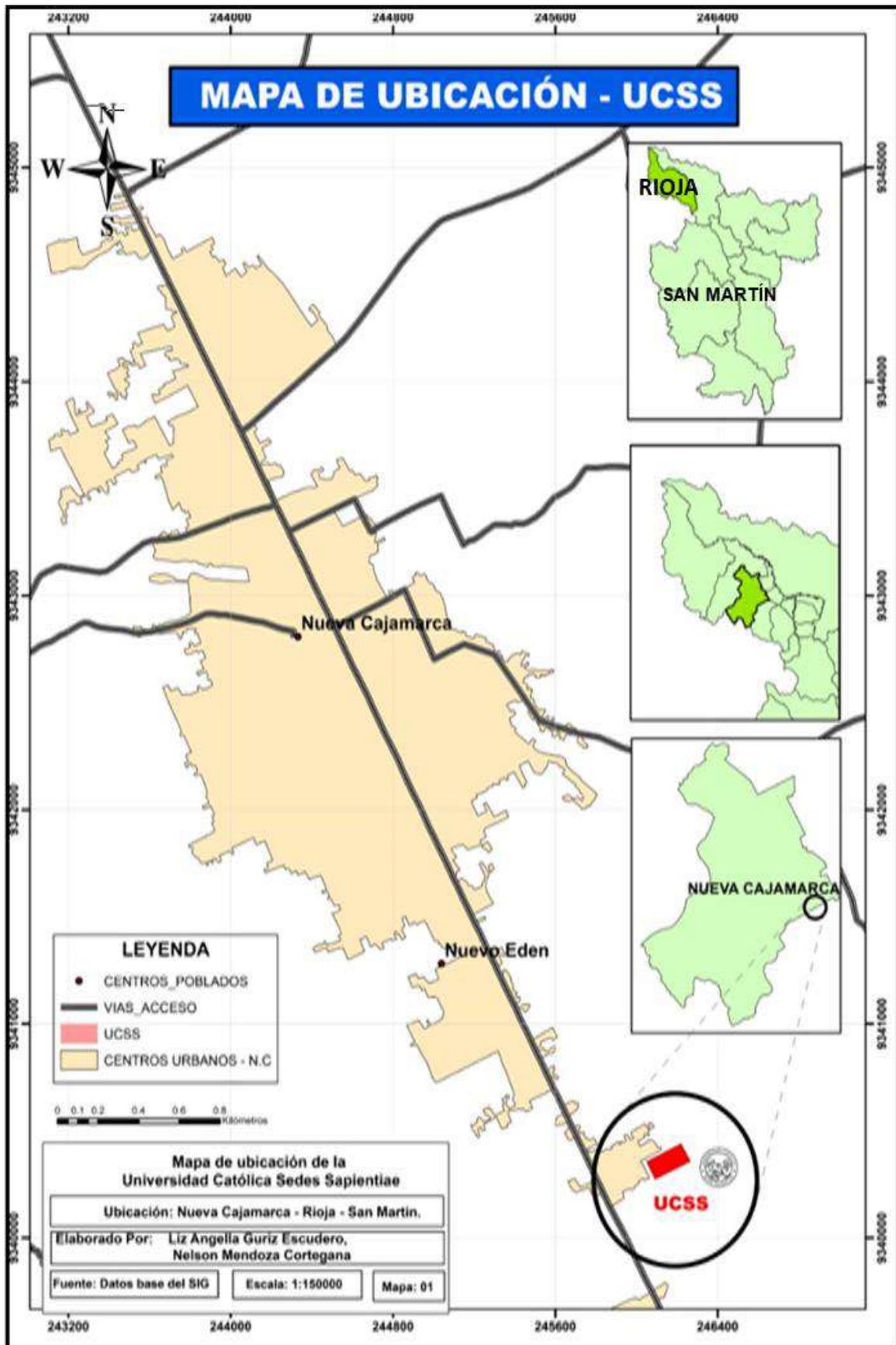


Figura 8. Mapa de ubicación del área de trabajo experimental (Bioensayos - UCSS).
Fuente: Elaboración propia.

2.1.2. Descripción del experimento

Flujograma de la investigación

La Figura 9 muestra el flujograma de la investigación que describe los procedimientos seguidos durante la investigación.

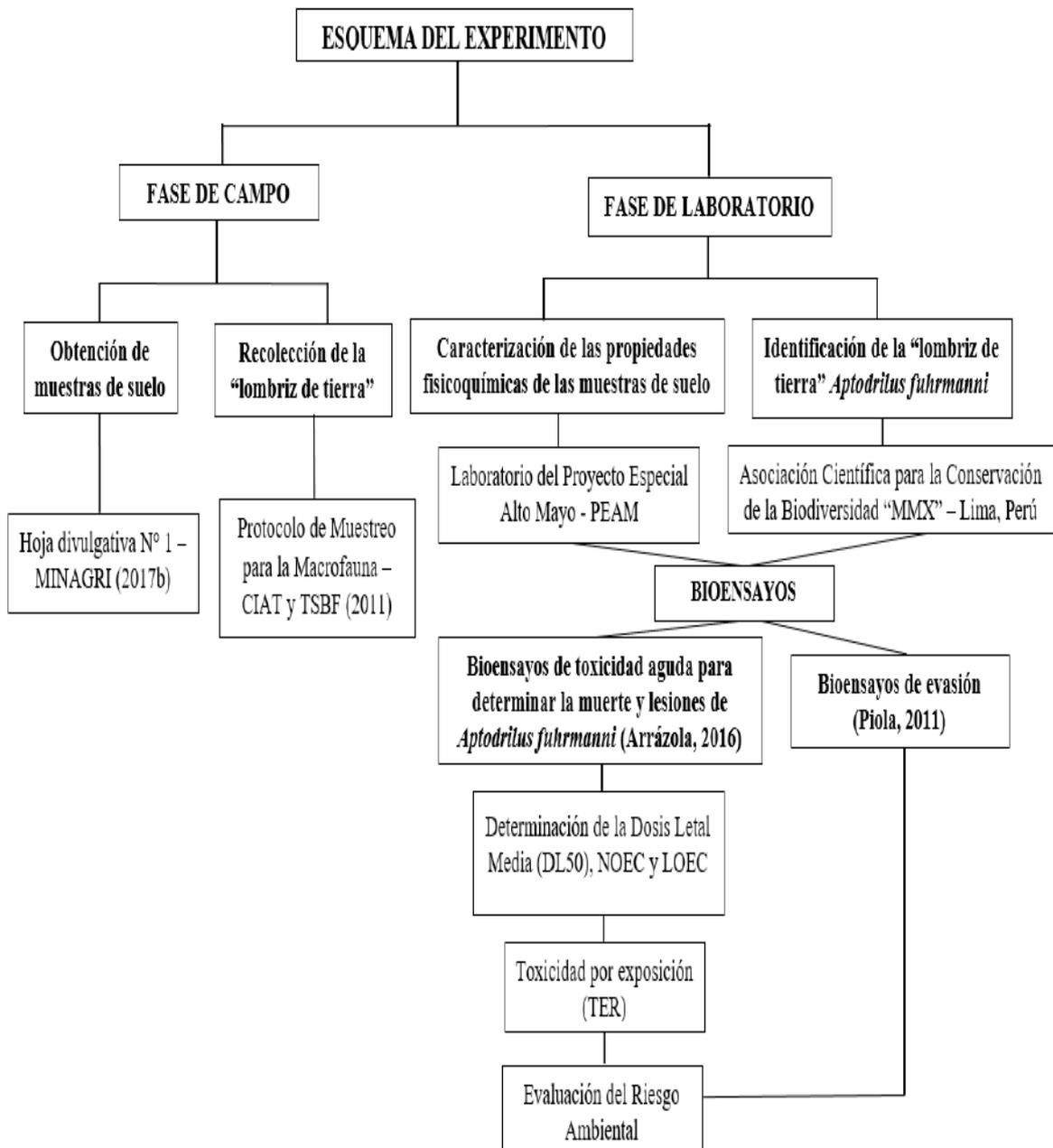


Figura 9. Flujograma de la investigación. Fuente: Elaboración propia.

FASE DE CAMPO

a. Recolección y preparación de las muestras de suelo

Las muestras de suelo enviados al laboratorio para los análisis correspondientes, y el que se utilizó en los bioensayos de toxicidad, fueron recolectados del fundo cafetalero con estatus orgánico “La Loma”, ubicado el caserío Limabamba, distrito de Soritor, provincia de Moyobamba (Figura 10).



Figura 10. Fundo cafetalero “La loma” – Distrito de Soritor. *Fuente:* Elaboración propia.

Las recolecciones de las muestras de suelo fueron realizadas siguiendo los procedimientos establecidos en la hoja divulgativa N° 1 sobre el muestro de suelos del Ministerio de Agricultura y Riego [MINAGRI] (2017b), el cual se detalla a continuación:

➤ **Determinar los puntos de recolección de muestras del suelo**

La unidad de muestreo fue de una hectárea (1 ha) de plantación de “café” orgánico, con características homogéneas; se definieron 5 puntos de muestreo para suelo, los cuales fueron realizados de manera aleatoria, siguiendo el método de zig-zag (MINAGRI, 2017b).

➤ **Toma de muestras de suelos para el análisis físico-químico**

La toma de muestras de suelo fue realizada con una palana con el cual se tomaron 5 sub-muestras aleatoriamente de aproximadamente 250 g cada una, a una profundidad de 30 cm (capa arable), los cuales fueron depositados en un balde. Luego de tener todas las sub-muestras, se mezclaron homogéneamente para obtener una muestra compuesta. Posteriormente, se transfirió 1 kg de suelo a una bolsa plástica limpia con su respectivo rotulado (número de muestra, nombre del titular, ubicación del muestreo y fecha del muestreo) (Figura 11), y luego se envió al laboratorio de análisis de suelos del Proyecto Especial Alto Mayo (PEAM); donde se realizó el análisis físico-químico (tipo de suelo, humedad, pH, porcentaje de materia orgánica, N, P, K y capacidad de intercambio catiónico, etc.), tal como se muestra en el Apéndice 1.



Figura 11. (A) Toma de muestra de suelo del fundo cafetalero. (B) Rotulado de la bolsa para ser enviado al laboratorio. Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, la recolección de las muestras de suelo orgánico que se utilizaron en los bioensayos, fueron realizados siguiendo la misma metodología antes mencionada, establecida por el Ministerio de Agricultura [MINAGRI] (2017b). El suelo recolectado del fundo cafetalero, se colocó en fardos de 50 kg para poder ser trasladados al laboratorio de la Universidad Católica Sedes Sapientiae – Filial Rioja: Nueva Cajamarca, lugar donde se desarrollaron las evaluaciones de los bioensayos de toxicidad.

b. Recolección y selección de *Aptodrilus fuhrmanni*

➤ **Determinación de la especie *Aptodrilus fuhrmanni***

Para la determinación de la especie fue necesario seleccionar individuos adultos con estructuras visibles como el clitelo y con peso aproximado de 0,85 g cada una (Peña, 2018). Las muestras fueron enviadas al laboratorio Asociación Científica para la Conservación de la Biodiversidad “MMX” – Lima, Perú, en frascos de vidrio transparente de 350 ml; 5 lombrices sumergidas en alcohol a 70 % y 5 lombrices en suelo orgánico. En el Apéndice 2, se muestra la ficha de identificación a nivel de especie de *Aptodrilus fuhrmanni*.

➤ **Recolección y selección de *Aptodrilus fuhrmanni* para los bioensayos**

Para la recolección de las muestras de *Aptodrilus fuhrmanni* que fueron utilizados en los bioensayos, se siguió el Protocolo de Muestreo para la Macrofauna del suelo establecido por el Centro Internacional de Agricultura Tropical [CIAT], y el Instituto de Biología y Fertilidad de Suelos tropicales [TSBF] (2011), el cual consiste en lo siguiente:

- Localizar los puntos de muestreo al azar a lo largo de un transecto, a una distancia mínima de 5 m entre cada punto.
- Ubicar el marco de muestreo (25 x 25 cm) para marcar la posición del monolito (Figura 12). Se muestrearon la cantidad de monolitos necesarios de 25 x 25 cm y 30 cm de profundidad.



Figura 12. Ubicación del marco de muestreo para la marcación de los monolitos.
Fuente: Elaboración propia.

- Con la ayuda de una palana se extrajo la tierra de los monolitos para luego ser depositado en una bandeja de 50 x 30 x 5 cm de alto. Posteriormente, se procedió a coleccionar con la mano, las lombrices (*Aptodrilus fuhrmanni*).
- Seleccionar los individuos adultos con clitelo visible en contenedores que tuvieron las condiciones necesarias (temperatura ambiente, humedad del suelo de 70 a 80 %) para no alterar la naturaleza de las lombrices.
- Las lombrices seleccionadas para los bioensayos fueron trasladados a la vivienda de uno de los tesisistas, ubicado en el caserío La Unión, distrito de Nueva Cajamarca, aproximadamente a 3 km de la universidad, con 3 meses de anticipación; lugar donde se mantuvieron a las lombrices en contenedores de plástico (PVC), con suelo propio del fundo cafetalero, manteniendo los parámetros ambientales requeridos (Humedad= 70 – 80 %, Temperatura= $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$) para la supervivencia de *Aptodrilus fuhrmanni* hasta la fecha de inicio de los bioensayos (Figura 13). Posteriormente, fueron llevados al laboratorio de ciencias básicas de la Universidad Católica Sedes Sapientiae Filial Rioja-Nueva Cajamarca, donde previamente a ser sometidas al experimento pasaron por un proceso de aclimatación en suelos con las mismas características durante 24 horas.



Figura 13. Contenedores donde se mantuvieron las lombrices *Aptodrilus fuhrmanni*.
Fuente: Elaboración propia.

c. Sustancia de prueba

El insecticida utilizado fue un compuesto formulado a base del ingrediente activo cipermetrina y con nombre comercial CAMPAL® 250 CE (Neoagrum S.A.C), concentrado emulsionante, categoría III moderadamente peligroso – franja amarilla, insecticida que pertenece al grupo químico de los piretroides, que actúa por contacto, ingestión, absorción e inhalación. Afecta las posturas de los insectos por contacto y las larvas por contacto e ingestión, provocando la muerte por bloqueo metabólico y parálisis del sistema nervioso. Por lo tanto, este compuesto resulta activo contra un amplio número de tipos de plagas como: gusano perforador de frutos, gusano de follaje, mosca minadora, polilla, etc. (Neoagrum, 2016). En el Apéndice 3 y 4 se muestra la ficha técnica y la hoja de seguridad respectivamente.

FASE DE LABORATORIO

a. Ensayos preliminares

Fueron realizados 2 bioensayos preliminares con la finalidad de estandarizar las dosis que permita ver los efectos toxicológicos del compuesto contaminante establecidas para cada tratamiento y los volúmenes correspondientes a aplicar en cada evaluación sean

proporcionales a una aplicación real en campo, y así poder corregir situaciones que pudieran alterar la veracidad de los resultados. Para el desarrollo de esta prueba se siguió la metodología propuesta por Arrázola (2016), siendo el siguiente:

Para realizar los ensayos preliminares de muerte, lesiones y evasión, se acondicionaron 4 cristalizadores de 125 mm con dos compartimientos (doble cámara) para cada tratamiento, con una repetición, más una prueba control. Posteriormente, se procedió a colocar 500 g de suelo orgánico en cada cristalizador de vidrio (250 g en cada cámara); seguidamente se prepararon las soluciones con las dosis establecidas para cada tratamiento (Tabla 6) y se agregaron 10 ml de la solución (cipermetrina) en una de las cámaras según lo establecido para cada tratamiento.

Tabla 6

Disoluciones de cipermetrina utilizado en los ensayos preliminares

Tratamiento	Disoluciones de cipermetrina
T0 (Control)	0
T1 (Dosis comercial)	0,5 ml/200 ml de agua destilada
T2 (Dosis doble)	1 ml/200 ml de agua destilada
T3 (Dosis triple)	2 ml/200 ml de agua destilada
T4 (Dosis máxima)	4 ml/200 ml de agua destilada

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, se retiraron los tabiques y se procedió a ubicar 5 “lombrices de tierra” en la línea divisoria entre el suelo control y suelo contaminado. Este procedimiento se realizó por cada tratamiento (T1, T2, T3 y T4), más el control y fueron puestas a evaluación durante 14 días. Pasado los tres primeros días (72 horas), se procedió a realizar las evaluaciones de evasión en cada una de las muestras, donde se pudo apreciar que el 100 % de las lombrices estaban muertas y en estado de descomposición (Figuras 14) debido a las quemaduras provocadas por el insecticida aplicado, esto sucedió en cada uno de los tratamientos (4 cristalizadores), a excepción de del control donde no hubo evasión ni individuos muertos.



Figura 14. Lombrices muertas en los bioensayos preliminares. Fuente: Elaboración propia.

Para el segundo ensayo preliminar, y tras realizar las correcciones correspondientes, se acondicionaron 4 cajas de madera de doble cámara de 40 x 20 x 15 cm. Se agregaron 2 kg de suelo orgánico en cada una de las cámaras (4 kg en total), divididas por un tabique de madera; posteriormente, se procedió a agregar 20 ml de la solución de cipermetrina en cada una de las cajas, teniendo en cuenta las mismas dosis establecidas para cada tratamiento en los primeros ensayos preliminares. A continuación, se retiraron los tabiques y se colocaron 20 lombrices en la línea divisoria entre el suelo tratado y suelo control. Se realizaron las evaluaciones correspondientes en los tiempos establecidos (72 horas) para determinar los efectos presentes en cada tratamiento (Piola, 2011).

b. Bioensayos de toxicidad aguda (mortalidad y lesiones)

El desarrollo de los bioensayos para determinar la muerte y lesiones se realizó haciendo uso de la metodología propuesta por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos - 1996 (USEPA-712-C-96-167), utilizada por Cuevas *et al.* (2008):

➤ **Diseño de las cajas demostrativas**

Fueron construidas 7 cajas demostrativas de madera, de doble cámara con un tabique de madera fijo diseñadas en el laboratorio, cuyas medidas fueron de 40 x 20 x 15 cm (Figura 15). Las cámaras de cada caja fueron utilizadas de manera individual, cada una con una concentración diferente según el tratamiento.



Figura 15. Diseño de las cajas para los bioensayos. Fuente: Elaboración propia.

Las cajas se mantuvieron a una temperatura de 22 ± 2 °C, intensidad luminosa de 400 a 800 luxes y un régimen de 16 horas luz y 8 horas oscuridad durante toda la evaluación. Además, para mantener el porcentaje de humedad requerida (70 – 80 %), se realizaron ajustes día de por medio con agua destilada cuando fue necesario (Cepeda y Carlosama, 2016). La medición de estos parámetros se realizó con la ayuda de un instrumento de medición de suelos (tensiómetro) 4 en 1: medidor de humedad, temperatura, luz y pH del suelo.

➤ **Acondicionamiento de *Aptodrilus fuhrmanni***

Las lombrices *Aptodrilus fuhrmanni* recolectadas previamente en los contenedores con 3 meses de anticipación, y que se encontraban bajo supervisión en la vivienda de uno de los tesisistas, fueron trasladados al laboratorio para nuevamente pasar por un proceso de selección antes de ser sometidos a los ensayos. Se seleccionaron lombrices adultas con clitelo visible, con un peso individual de entre 0,60 – 1,15 g y un tamaño mayor a 6 cm, que no presentaron alteraciones o defectos apreciables en su tejido externo. Las lombrices fueron aclimatadas durante 24 horas en suelo orgánico con las mismas características (Figura 16); posteriormente, fueron lavadas con agua destilada y pesadas.



Figura 16. Cámara de acondicionamiento y aclimatación de *Aptodrilus fuhrmanni*.
Fuente: Elaboración propia.

➤ Preparación del sustrato y aplicación de la sustancia

Fueron realizados bioensayos con el insecticida campal (cipermetrina), donde se consideraron 4 tratamientos y 3 repeticiones, con distintos niveles de concentraciones (C1, C2, C3 y C4), más una prueba control. Se procedió a depositar 2 kg de suelo orgánico en cada una de las cámaras de cada caja demostrativa (4 kg en total). Este procedimiento se realizó en cada uno de los tratamientos con sus respectivas repeticiones (Figura 17).



Figura 17. Llenado de las cajas demostrativas con el sustrato (suelo).
Fuente: Elaboración propia.

Cada uno de los cuatro (04) tratamientos tuvo un total de tres (03) repeticiones, con las siguientes concentraciones nominales establecidas: 625, 1 250, 2 500 y 5 000 mg.L⁻¹, más una prueba control. Teniendo en cuenta que la sustancia de prueba (campal) se trata de una concentración emulsionante, se prepararon soluciones usando 0,5; 1; 2 y 4 ml del insecticida (250 g.L⁻¹) y se aforó hasta los 200 ml con agua destilada (Tabla 7 y Figura 18), obteniendo las concentraciones según el tratamiento (T= 625, T= 1 250; T= 2 500 y T= 5 000 mg.L⁻¹), que representan el doble, triple y dosis máxima, de acuerdo con Arrázola (2016), Peña (2018) y las concentraciones utilizadas por los agricultores.

Tabla 7

Disoluciones establecidas para los bioensayos

Tratamiento	Concentración (mg.L ⁻¹)	Disoluciones con cipermetrina
T0 (Control)	0	0
T1 (Dosis comercial)	625	0,5 ml/200 ml de agua destilada
T2 (Dosis doble)	1 250	1 ml/200 ml de agua destilada
T3 (Dosis triple)	2 500	2 ml/200 ml de agua destilada
T4 (Dosis máxima)	5 000	4 ml/200 ml de agua destilada

Fuente: Basado en Neoagrum (2016).



Figura 18. Preparación de cipermetrina según las concentraciones establecidas.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, con la ayuda de una pipeta volumétrica se agregó 20 ml de la solución de cada mezcla directamente a la superficie del suelo de cada caja demostrativa, simulando un goteo real en campo, según la concentración indicada para cada tratamiento, hasta lograr que toda la superficie del suelo quede totalmente humedecida con el insecticida (Figura 19). Este procedimiento se realizó con mucho cuidado en todos los tratamientos con sus respectivas repeticiones, para evitar derrames fuera del lugar indicado.



Figura 19. Aplicación de cipermetrina a las cajas demostrativas. Fuente: Elaboración propia.

➤ **Aplicación de las lombrices *Aptodrilus fuhrmanni***

Las lombrices previamente a ser colocadas en las cajas para los bioensayos fueron lavados con agua destilada, se midieron y pesaron (Figura 20). Una vez preparado el suelo contaminado con el insecticida (suelo problema) ubicadas en las cajas demostrativas, se adicionaron 20 lombrices en cada una de las cámaras según corresponda al tratamiento, con sus respectivas repeticiones, tapando con una tela para permitir el intercambio gaseoso (Cuevas *et al.*, 2008).



Figura 20. Lavado, medición y pesado de *Aptodrilus fuhrmanni*.
Fuente: Elaboración propia.

➤ Evaluaciones

Para determinar la muerte y lesiones de las lombrices de tierra *Aptodrilus fuhrmanni*, se realizaron evaluaciones a los 3, 7 y 14 días, a cada unidad experimental con sus respectivas repeticiones, así como también se registró la humedad y temperatura del suelo (problema y control) (Figura 21).



Figura 21. Cajas demostrativas en evaluación por tratamiento. Fuente: Elaboración propia.

Fueron contados los organismos vivos, el movimiento y las reacciones ante los estímulos del tacto, considerando muertas a aquellas lombrices que no respondieron ante estos estímulos. Las muertes y lesiones que presentaron los individuos se determinaron verificando a simple vista (Figura 22), registrando a los que presentaron alguna modificación en su cuerpo (quemaduras, enrollamiento, blanqueamiento y adelgazamiento, etc.).



Figura 22. Verificación de las muertes y lesiones de *Aptodrilus fuhrmanni*.
Fuente: Elaboración propia.

Para mantener los niveles adecuados de humedad y temperatura, cada dos (2) días fue necesario humedecer con agua destilada a cada uno de los tratamientos, repeticiones y control, que hacen un total de 13 unidades experimentales. Durante los 14 días que duró el desarrollo de los bioensayos fueron necesarios 3 150 ml (3,15 L) de agua destilada (Arrázola, 2016; Moreno, 2017). Los cálculos de la concentración letal media (DL_{50}) se realizó mediante el método de Probit.

Además, como evaluación complementaria, se realizó un último ensayo simulando un derrame real y común en campo de cipermetrina (250 g.L^{-1}). Para este bioensayo se acondicionó una caja de madera con las mismas características antes mencionadas y se colocaron 2 kg de suelo (Figura 23). Posteriormente, con la ayuda de una pipeta se colocaron 20 ml de cipermetrina puro en la caja que contenía el suelo y se procedió a ubicar 20 lombrices dentro de la caja.



Figura 23. Caja con la prueba de derrame de cipermetrina. Fuente: Elaboración propia.

c. Pruebas de evasión

Para el bioensayo de evasión se utilizó el método de doble cámara y se realizó según la norma de la Organización Internacional de Normalización ISO/DIS 17512-1:2008, utilizado por Piola (2011), De Sousa y De Andrea (2011), adaptado al siguiente procedimiento:

El acondicionamiento de las lombrices y preparación del sustrato siguió el mismo procedimiento que se utilizó en las pruebas anteriores. Para el desarrollo de los bioensayos de evasión se emplearon cajas de madera de doble cámara con las mismas medidas utilizadas en las pruebas de toxicidad aguda (40 x 20 x 15 cm), los cuales fueron divididas utilizando un tabique de madera movable para facilitar el paso de las lombrices hacia ambos lados. Además, se utilizaron las mismas concentraciones establecidas anteriormente, donde las lombrices también pasaron por un proceso de aclimatación de 24 horas previos al ensayo.

Fueron definidos cuatro (4) tratamientos, con tres (3) repeticiones cada una, más una muestra control; haciendo un total de trece (13) unidades experimentales. En cada una de las cámaras se colocaron 2 kg de suelo orgánico (4 kg en total); posteriormente, con la ayuda de una pipeta volumétrica, se procedió a agregar la sustancia (cipermetrina) solamente en una de las cámaras de cada caja demostrativa, según la dosis establecida para cada tratamiento.

Además, la aplicación de la cipermetrina según tratamiento solo se realizó en una de las cámaras (suelo problema) y en la otra cámara no se aplicó ninguna dosis (suelo control), justamente para evaluar el comportamiento de evasión de las “lombrices de tierra” *Aptodrilus fuhrmanni*.

Una vez aplicada la sustancia (cipermetrina) en las respectivas cajas, se procedió a retirar el tabique que separa a un suelo del otro y se colocaron 20 lombrices adultas en la línea central de la superficie del suelo, dejando que estas se introduzcan en ella (Figura 24). Posteriormente, las cajas fueron cubiertas con una tela para facilitar la aireación y se ubicaron en un lugar adecuado para facilitar luminosidad y aireación requerida, manteniendo estables los parámetros (temperatura, luz y humedad del suelo) antes mencionados.



Figura 24. Ubicación de las lombrices en la línea central de las cajas demostrativas.
Fuente: Elaboración propia.

Al término de los tres (3) días, se volvieron a reinsertar los tabiques en las cajas para dividir las celdas y se procedió a contabilizar la cantidad de lombrices en cada compartimiento. Este procedimiento se realizó en todos los tratamientos y repeticiones, más la muestra control. En total fueron 4 tratamientos, con 3 repeticiones cada una, más una muestra control.

Al igual que en los bioensayos de muerte y lesiones, para la prueba de evasión también fue necesario regar con agua destilada a cada uno de los tratamientos, repeticiones y control con la finalidad de mantener los niveles de humedad y temperatura requeridos (Figura 25).

Durante los tres días de evaluación de estos bioensayos (evasión), solo se realizó un ajuste de humedad y temperatura en el día dos (2), donde fueron necesarios 1 000 ml (1 L) de agua destilada en las 13 cajas demostrativas o unidades experimentales (Arrázola, 2016).



Figura 25. Medición de humedad y temperatura. Fuente: Elaboración propia.

Para saber si hubo evasión, se tuvo en cuenta los siguientes datos: un porcentaje positivo indica evasión del suelo contaminado, un porcentaje negativo indica atracción por el suelo con el insecticida y un cero significa que no hay evasión. Para determinar la evasión se utilizó la siguiente formula según Arrázola (2016):

$$NR (E) = \frac{C - T}{N} \times 100$$

Donde:

NR = porcentaje de evasión

C = número de lombrices en el suelo control

T = número de lombrices en el suelo contaminado

N = número total de lombrices

Posteriormente, se realizó una prueba de Chi-cuadrado (X^2) para verificar si existe una dependencia entre la evasión y la presencia del contaminante (cipermetrina).

d. Determinación de la dosis letal media (DL₅₀)

Para los análisis del DL₅₀, se tomaron en cuenta 4 diferentes concentraciones: la dosis recomendada en la etiqueta, el doble, el triple y el máximo utilizado por los agricultores. La determinación de la dosis letal media (DL₅₀) del insecticida en estudio, se realizó utilizando el análisis estadístico Probit mediante el paquete de regresión Probit del software IBM® SPSS® Statistics 20. El modelo de regresión fue verificado con el estadístico Chi-cuadrado (x^2) (Peña, 2018).

e. Evaluación de Riesgo Ambiental (ERA)

La Evaluación del Riesgo Ambiental del insecticida cipermetrina se realizó basado en los valores de toxicidad por exposición (TER), según el Anexo 6 de la Directiva 917414/EEC de la comisión europea, utilizado por Arrázola (2016), donde se determina lo siguiente:

➤ **Bioensayos de toxicidad aguda**

Para calcular el valor del TER agudo, se usaron los valores de la DL₅₀ aplicado en la siguiente ecuación:

$$TER = \frac{DL_{50} \text{ o } EC_{50}}{PEC}$$

Donde:

TER = Toxicidad por exposición

DL₅₀ = Dosis letal media

PEC = Concentración ambiental prevista para el contaminante

- Si el valor del TER agudo es menor a 10 (TER < 10), existe un riesgo ambiental.
- Si el valor del TER agudo es mayor a 10 (TER > 10), no existe riesgo ambiental.

➤ **Bioensayos de toxicidad crónica o subletal**

Para calcular el valor del TER crónico o subletal, se usaron los valores NOEC o LOEC hallados en el estudio, aplicado en la siguiente ecuación:

$$TER = \frac{NOEC \text{ o } LOEC}{PEC}$$

Donde:

TER = toxicidad por exposición

NOEC = concentración a la que no se observa ningún efecto

LOEC = concentración más baja a la que se observa el efecto

PEC = concentración ambiental prevista para el contaminante

- Si el valor del TER crónico o subletal es menor a 5 ($TER < 5$), existe riesgo ambiental.
- Si el valor del TER crónico o subletal es mayor a 5 ($TER > 5$), no existe riesgo ambiental.

2.1.3. Tratamientos

Para los bioensayos de toxicidad aguda (muerte y lesiones) y evasión, se realizaron 4 tratamientos experimentales de manera individual, con tres repeticiones cada una, más una muestra control, que hacen un total de 26 unidades experimentales. Para alcanzar las concentraciones determinadas para cada Tratamiento, se tomaron 0,5; 1; 2 y 4 ml de cipermetrina (Campal 250 CE) (Tabla 8); asimismo, cada caja demostrativa de toxicidad aguda y evasión tuvo un total de 2 y 4 kg de suelo orgánico respectivamente, más 20 lombrices de tierra y la dosis de cipermetrina establecida para cada tratamiento (Tabla 9).

Tabla 8

Concentraciones de cipermetrina por Tratamiento

Tratamiento	Concentración (mg.L⁻¹)	Disoluciones con cipermetrina
T0 (Control)	0	0
T1 (Dosis comercial)	625	0,5 ml/200 ml de agua destilada
T2 (Dosis doble)	1 250	1 ml/200 ml de agua destilada
T3 (Dosis triple)	2 500	2 ml/200 ml de agua destilada
T4 (Dosis máxima)	5 000	4 ml/200 ml de agua destilada

Fuente: Basado en Neoagrum (2016).

Tabla 9

Tratamientos experimentales y dosis de cipermetrina

Tratamientos	Dosis de cipermetrina
T0	Muestra control sin cipermetrina
T1	20 ml de solución a una concentración de 625 mg.L ⁻¹
T2	20 ml de solución a una concentración de 1 250 mg.L ⁻¹
T3	20 ml de solución a una concentración de 2 500 mg.L ⁻¹
T4	20 ml de solución a una concentración de 5 000 mg.L ⁻¹

Fuente: Basado en Neoagrum (2016).

2.1.4. Unidades experimentales

Para el desarrollo del proceso experimental se trabajó con un total de 26 unidades experimentales, incluyendo las muestras control para cada uno de las pruebas. Para los bioensayos de toxicidad aguda se definieron 4 tratamientos, con 3 repeticiones, más una muestra control, los cuales fueron sometidos a evaluación durante 14 días (Tabla 10). Asimismo, para los bioensayos de evasión se establecieron 4 tratamientos, con 3 repeticiones y una muestra control, para ser evaluados durante 3 días (72 horas).

Tabla 10

Distribución de tratamientos

Repeticiones	Dosis de cipermetrina (mg.L ⁻¹)				
	CT0	625 mg.L ⁻¹	1 250 mg.L ⁻¹	2 500 mg.L ⁻¹	5 000 mg.L ⁻¹
1	CT ₀₁	CT ₁₁	CT ₂₁	CT ₃₁	CT ₄₁
2	CT ₀₂	CT ₁₂	CT ₂₂	CT ₃₂	CT ₄₂
3	CT ₀₃	CT ₁₃	CT ₂₃	CT ₃₃	CT ₄₃

Fuente: Elaboración propia.

2.1.5. Identificación de variables y su mensuración

El estudio de las variables y su mensuración se detalla en la Tabla 11.

Tabla 11

Identificación de variables y su mensuración

Variables	Indicador	Mensuración	Metodología
V1: Dosis de la cipermetrina sobre <i>Aptodrilus fuhrmanni</i>	625, 1 250, 2 500, 5 000	mg.kg ⁻¹	Bioensayos de toxicidad aguda y evasión (Arrázola, 2016 y Piola, 2011)
	Toxicidad aguda	DL ₅₀ , Toxicidad por exposición (TER)	
V2: Riesgo ambiental	Evasión	Porcentaje de evasión (%)	

Fuente: Elaboración propia.

2.1.6. Diseño estadístico del experimento

En el presente estudio se utilizó un diseño completamente aleatorizado (DCA) consistente en tres tratamientos y cuatro repeticiones con la aplicación de diferentes dosis de cipermetrina a la población de *Aptodrilus fuhrmanni*. A la diferencia de medias de cada tratamiento se aplicó la prueba de Tukey ($p < 0,05$). El modelo estadístico para este diseño fue:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = unidad experimental que recibe el tratamiento i y está en el bloque j

μ = efecto medio

τ_i = efecto de i -ésimo tratamiento

ε_{ij} = error experimental

2.1.7. Análisis estadístico de datos

Para la determinación de la dosis letal media (DL_{50}) del insecticida se utilizó el análisis estadístico Probit mediante el paquete de regresión Probit del software IBM® SPSS® Statistics 20; asimismo, el modelo de regresión fue verificado con el estadístico Chi-cuadrado (χ^2). La valoración estadística de los tratamientos con la información compilada en los procesos experimentales fue desarrollada mediante el análisis de varianza (ANOVA) para evaluar el efecto de la cipermetrina sobre la mortalidad y lesiones de las “lombrices de tierra” *Aptodrilus fuhrmanni*. El cual permite comparar los resultados obtenidos y contrastar la hipótesis planteada.

2.2. Materiales

- 2 mandiles de laboratorio
- 1 caja (50 unidades) de mascarillas
- 2 caja (100 unidades) de guantes quirúrgicos
- 1 Balanza eléctrica
- 2 lunas de reloj
- 2 pro-pipetas
- 2 pipetas volumétricas de 10 ml
- 2 pizetas
- 1 varilla de vidrio
- 2 espátulas
- 4 cristalizadores
- 4 vasos de precipitado
- 2 pinzas
- 26 cajas de madera de 20 x 40 x 15 cm
- 2 tablas de madera de 25 x 25
- 10 litros de agua destilada
- 1 litro de Insecticida CAMPAL® 250 CE

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1. Análisis de las características fisicoquímicas del suelo

En la Tabla 12 se exponen los resultados del análisis fisicoquímico de las muestras de suelo: clase textural franco arcilloso, capacidad de intercambio catiónico (CIC) 10,92, materia orgánica 3,8 % y pH 5,66. Además de estos parámetros, también se analizó elementos disponibles y elementos cambiables (ver Apéndice 1).

Tabla 12

Propiedades fisicoquímicas del suelo del fundo cafetalero

Parámetros	Resultado
pH (1:1)	5,66
Densidad aparente	1,29
Conductividad eléctrica (dS/m)	0,00014
Materia orgánica (%)	3,802
Textura	
Arena (%)	30,04
Arcilla (%)	39,12
Limo (%)	30,84
Elementos disponibles	
Nitrógeno (%)	0,171
Fósforo (ppm)	9,60
Potasio (ppm)	80,40
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	10,92
Clase textural	Franco arcilloso
Elementos cambiables	
Ca ⁺⁺	8,44
Mg ⁺⁺	1,27
Na ⁺	0,2
K ⁺	0,21
Al ⁺⁺⁺	0,8
Saturación de aluminio (Al) (%)	7,3

Fuente: Laboratorio de análisis agrícolas de suelos - Proyecto Especial Alto Mayo (PEAM) – Nueva Cajamarca.

3.2. Identificación del género y especie de la “lombriz de tierra”

La identificación de las muestras de “lombriz de tierra” utilizadas en los bioensayos, se realizó en el laboratorio de la Asociación Científica para la Conservación de la Biodiversidad “MMX” – Lima, Perú, donde determinaron que pertenecen al género *Aptodrilus* y a la especie *Aptodrilus fuhrmanni*, tal como se muestra en la Tabla 13 y Figura 26. La información más detallada de la especie está en el informe N°2020-003-a (ver Apéndice 2).

Tabla 13

Clasificación de Aptodrilus fuhrmanni

Clasificación Taxonómica	
REINO	Animalia
PHILLUM	Anélida
CLASE	Clitellata
SUB CLASE	Oligochaeta
ORDEN	Crassiclitellata
FAMILIA	Rhinodrillidae
GÉNERO	<i>Aptodrilus</i>
ESPECIE	<i>Aptodrilus Cf. fuhrmanni</i> Michaelsen

Fuente: Asociación científica para la conservación de la biodiversidad “MMX”.

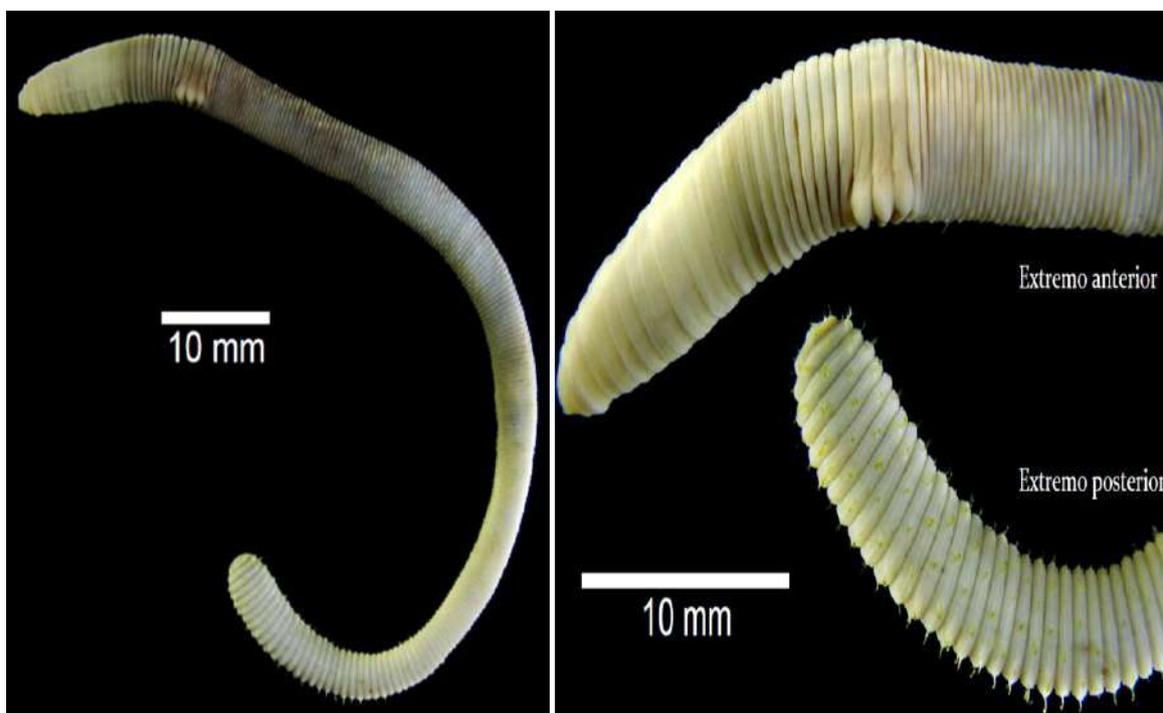


Figura 26. *Aptodrilus fuhrmanni* observada en el microscopio a 10 mm.

Fuente: Asociación científica para la conservación de la biodiversidad “MMX”.

3.3. Determinación de la toxicidad aguda de cipermetrina sobre *Aptodrilus fuhrmanni*

Las evaluaciones de los bioensayos de toxicidad aguda (muerte y lesiones) se realizaron a los 3, 7 y 14 días en todos los tratamientos con sus respectivas repeticiones; además, en cada cámara también se evaluó la temperatura (T) y humedad (H) del suelo para mantener las condiciones requeridas.

3.3.1. Tratamiento 1

La Tabla 14 y Figura 27 muestran los resultados de las evaluaciones realizadas al Tratamiento 1 en cuanto al número de lombrices muertas e individuos que presentaron lesiones a los 3, 7 y 14 días de haber iniciado con los bioensayos. En todas las repeticiones se registraron incrementos en el número de individuos muertos durante todo el proceso de evaluación (T1-1= 3, 5, 6; T1-2= 1, 2, 3 y T1-3= 2, 3, 5 respectivamente). Además, en las tres repeticiones del tratamiento 1 se registraron que las lombrices sobrevivientes presentaron lesiones como: quemaduras, blanqueamiento y adelgazamiento en su cuerpo, con variaciones según el día de evaluación.

Tabla 14

Muerte y tipo de lesiones que presentaron las lombrices en el Tratamiento 1

	Repeticiones	DÍAS	Lesiones				Muertos	Total
			Quemadura	Blanqueamiento	Adelgazamiento	Enrollamiento		
T1	T1-1	3	10	3	4	0	3	20
		7	8	4	3	0	5	20
		14	7	3	4	0	6	20
	T1-2	3	9	5	5	0	1	20
		7	8	5	5	0	2	20
		14	7	6	4	0	3	20
	T1-3	3	12	2	4	0	2	20
		7	11	3	3	0	3	20
		14	9	3	3	0	5	20

Fuente: Elaboración propia.

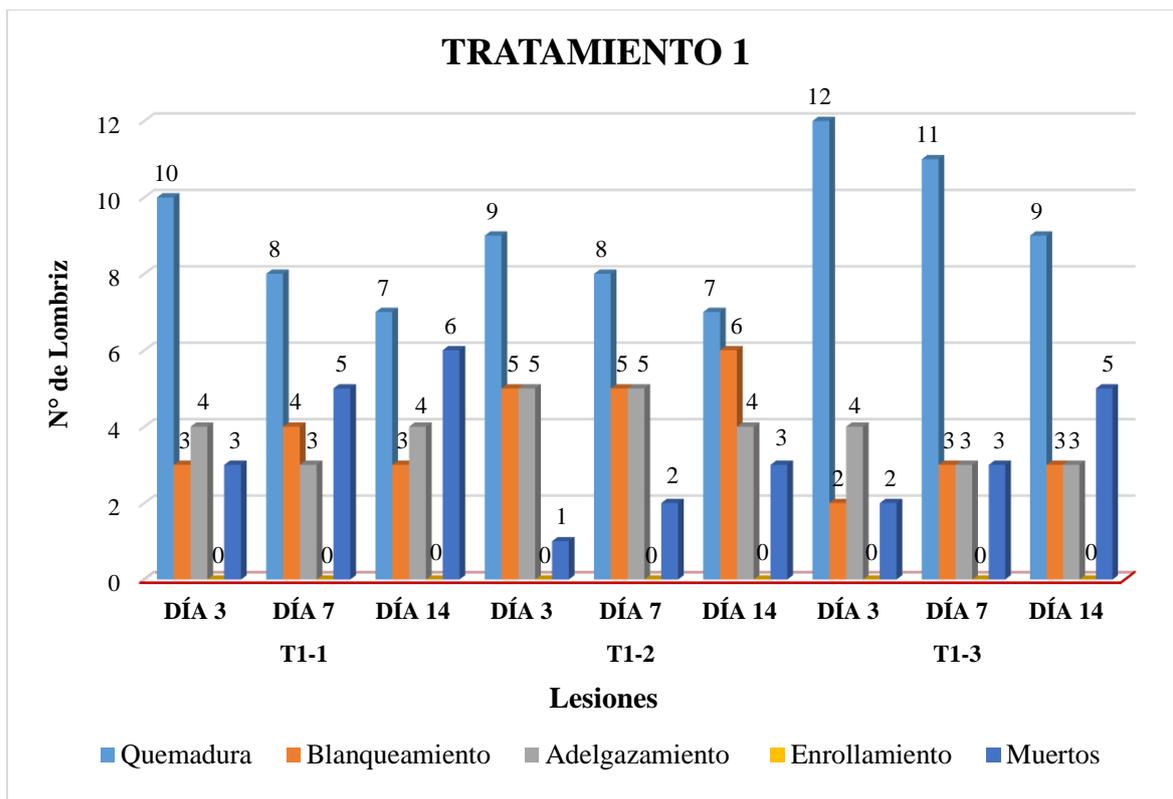


Figura 27. Número de lombrices muertas y lesionadas en el Tratamiento 1.
Fuente: Elaboración propia.

3.3.2. Tratamiento 2

La Tabla 15 y Figura 28 muestran los resultados de las evaluaciones realizadas al Tratamiento 2 en cuanto al número de lombrices muertas e individuos que presentaron lesiones a los 3, 7 y 14 días de haber iniciado con los bioensayos. Se registraron individuos muertos desde las primeras evaluaciones en todas las repeticiones, durante todo el proceso de evaluación (T2-1= 7, 9, 11; T2-2= 6, 8, 8 y T2-3= 9, 11, 13 respectivamente); asimismo, el número de lombrices muertas fue incrementándose a medida que pasaban los días. Además, en las tres repeticiones del tratamiento 1 se registraron que las lombrices sobrevivientes presentaron lesiones como: quemaduras, blanqueamiento, adelgazamiento y enrollamiento en su cuerpo, con variaciones según el día de evaluación.

Tabla 15

Muerte y tipo de lesiones que presentaron las lombrices en el Tratamiento 2

Repeticiones	DÍAS	Lesiones				Muertos	Total	
		Quemadura	Blanqueamiento	Adelgazamiento	Enrollamiento			
T2	T2-1	3	6	3	3	1	7	20
		7	5	3	2	1	9	20
		14	4	2	2	1	11	20
	T2-2	3	7	4	2	1	6	20
		7	6	3	1	2	8	20
		14	3	3	4	2	8	20
	T2-3	3	7	2	2	0	9	20
		7	3	3	1	2	11	20
		14	1	1	3	2	13	20

Fuente: Elaboración propia.

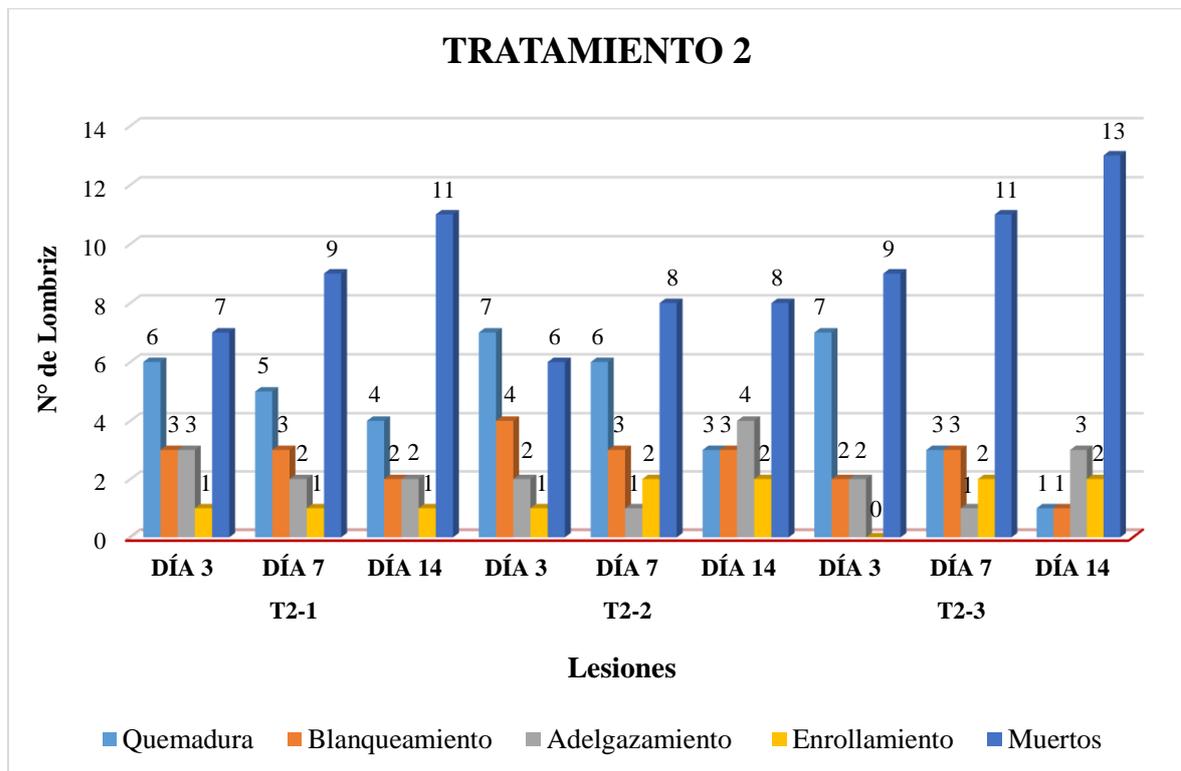


Figura 28. Número de lombrices muertas y lesionadas en el Tratamiento 2.

Fuente: Elaboración propia.

3.3.3. Tratamiento 3

La Tabla 16 y Figura 29 muestran los resultados de las evaluaciones realizadas al Tratamiento 3 en cuanto al número de lombrices muertas e individuos que presentaron lesiones a los 3, 7 y 14 días de haber iniciado con los bioensayos. En todas las repeticiones se registraron individuos muertos desde las primeras evaluaciones, durante todo el proceso de evaluación (T3-1= 6, 10, 11; T3-2= 8, 13, 15 y T3-3= 8, 13, 14 respectivamente); asimismo, el número de lombrices muertas en este tratamiento presentó un incremento considerable en comparación con el Tratamiento 1 y 2, debido a que la concentración del insecticida utilizado fue mayor (2 500 mg.kg⁻¹). Además, en las tres repeticiones del tratamiento 1 se registraron que las lombrices sobrevivientes presentaron lesiones como: quemaduras, blanqueamiento y adelgazamiento, con variaciones según el día de evaluación; en las repeticiones T3-2 y T3-3 se observaron 1 y 2 individuos respectivamente que presentaron enrollamiento en su cuerpo.

Tabla 16

Muerte y tipo de lesiones que presentaron las lombrices en el Tratamiento 3

	Repeticiones	DÍAS	Lesiones				Muertos	Total
			Quemadura	Blanqueamiento	Adelgazamiento	Enrollamiento		
T3	T3-1	3	7	4	3	0	6	20
		7	6	3	1	0	10	20
		14	5	1	3	0	11	20
	T3-2	3	6	2	3	1	8	20
		7	4	1	2	0	13	20
		14	3	1	1	0	15	20
	T3-3	3	6	2	3	1	8	20
		7	2	3	1	1	13	20
		14	3	2	1	0	14	20

Fuente: Elaboración propia.

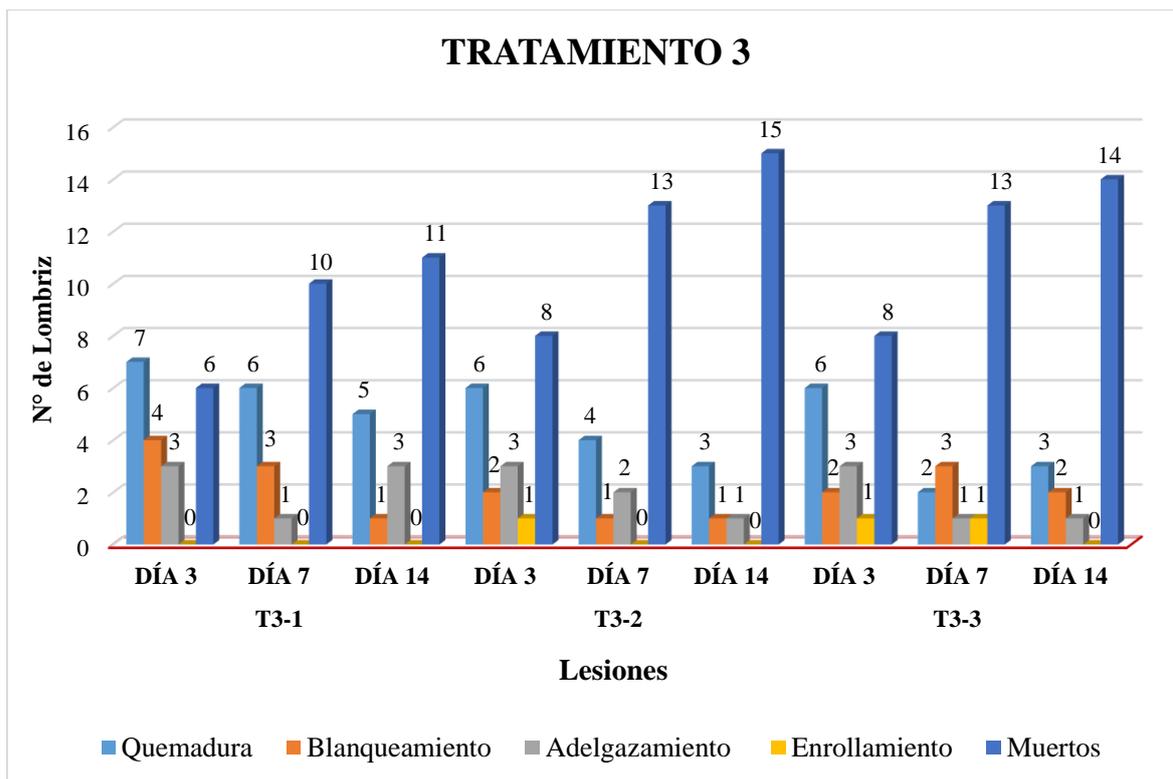


Figura 29. Número de lombrices muertas y lesionadas en el Tratamiento 3.

Fuente: Elaboración propia.

3.3.4. Tratamiento 4

La Tabla 17 y Figura 30 muestran los resultados de las evaluaciones realizadas al Tratamiento 4 en relación al número de lombrices muertas e individuos que presentaron lesiones a los 3, 7 y 14 días de haber iniciado con los bioensayos. En todas las repeticiones se registraron individuos muertos desde las primeras evaluaciones, durante todo el proceso de evaluación (T4-1= 13, 16, 16; T4-2= 15, 17, 18 y T4-3= 12, 16, 17 respectivamente); asimismo, el número de lombrices muertas en este tratamiento fue mayor en comparación con los Tratamiento 1, 2 y 3, debido a que la concentración del insecticida utilizado fue de 5 000 mg.kg⁻¹. Además, en las tres repeticiones del tratamiento 1 se registraron que las lombrices sobrevivientes presentaron lesiones como: quemaduras, blanqueamiento y adelgazamiento en su cuerpo, con variaciones según el día de evaluación.

Tabla 17

Muerte y tipo de lesiones que presentaron las lombrices en el Tratamiento 4

Repeticiones	DÍAS	Lesiones				Muertos	Total	
		Quemadura	Blanqueamiento	Adelgazamiento	Enrollamiento			
T4	T4-1	3	4	1	2	0	13	20
		7	3	0	1	0	16	20
		14	2	1	1	0	16	20
	T4-2	3	3	1	1	0	15	20
		7	1	1	1	0	17	20
		14	1	1	0	0	18	20
	T4-3	3	4	3	1	0	12	20
		7	1	2	1	0	16	20
		14	1	1	1	0	17	20

Fuente: Elaboración propia.

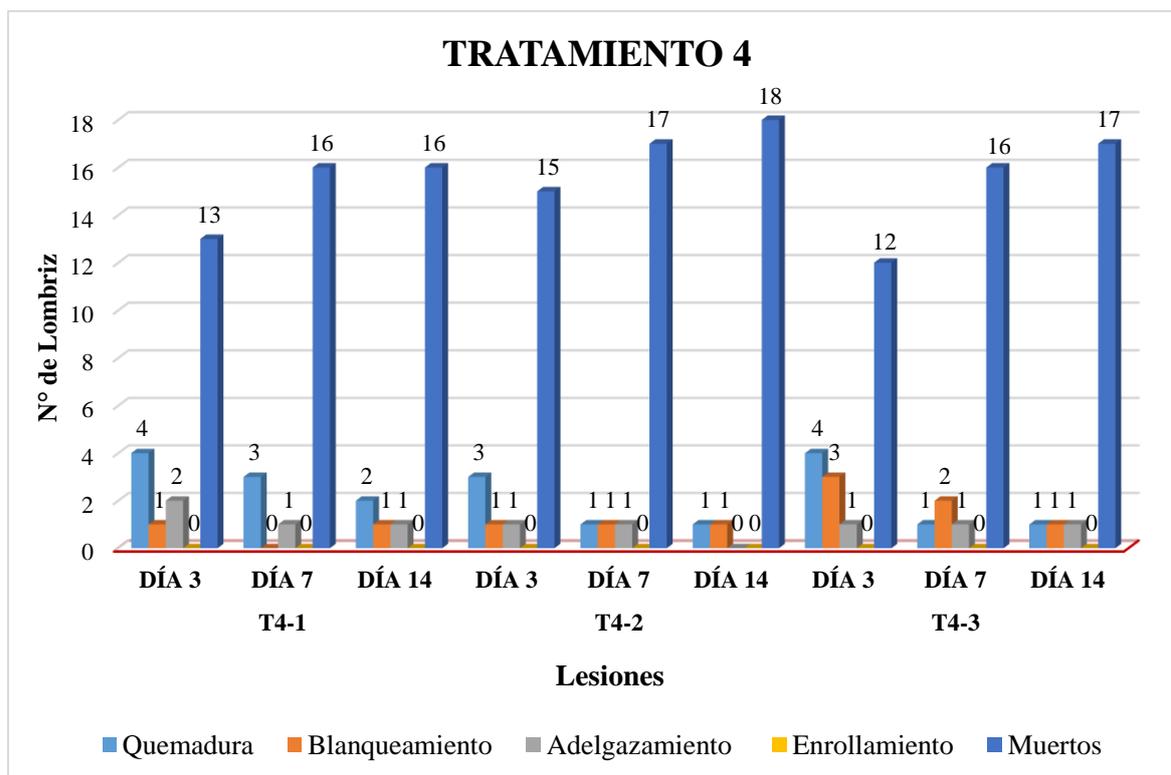


Figura 30. Número de lombrices muertas y lesionadas en el Tratamiento 4.

Fuente: Elaboración propia.

3.3.5. Muestra control

La Tabla 18 y Figura 31 muestran los resultados de las evaluaciones realizado a la muestra control a los 3, 7 y 14 días. En esta muestra no se encontraron lombrices muertas ni lesionadas, esto debido a que no se utilizó ninguna concentración del contaminante cipermetrina. En el control solo se realizaron riegos interdiarios con agua destilada, con la finalidad de mantener la humedad y temperatura requerida del suelo.

Tabla 18

Muerte y tipo de lesiones que presentaron las lombrices en la muestra control

Tratamiento	DÍAS	Lesiones				Muertos	Sin lesiones	Total
		Quemadura	Blanqueamiento	Adelgazamiento	Enrollamiento			
Control	3	0	0	0	0	0	20	20
	7	0	0	0	0	0	20	20
	14	0	0	0	0	0	20	20

Fuente: Elaboración propia.

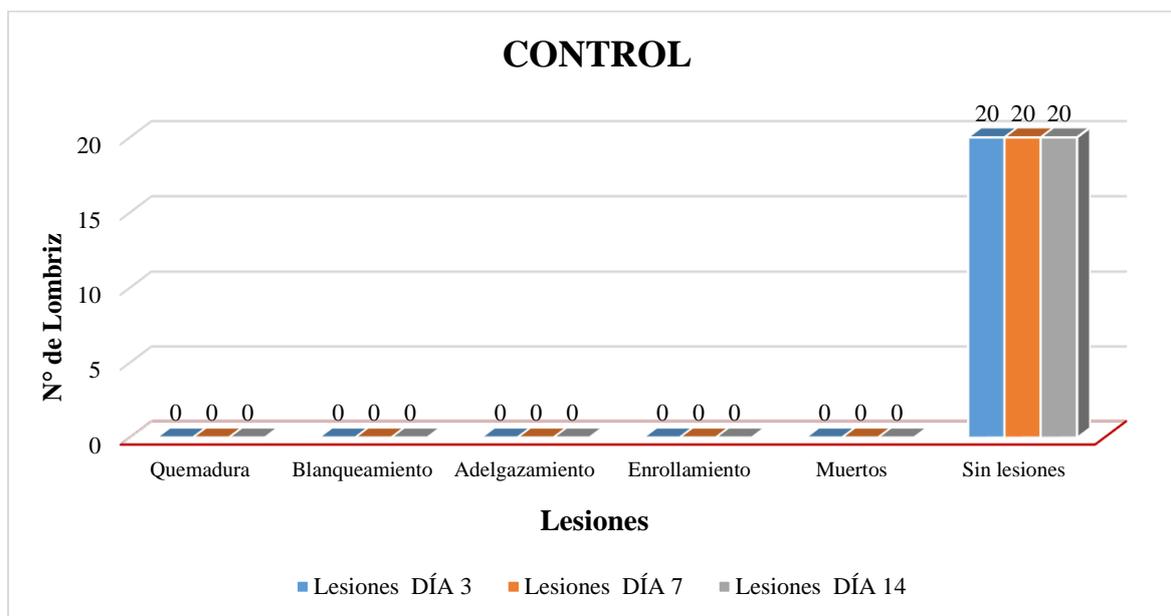


Figura 31. Número de lombrices muertas y lesionadas en la muestra control.

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 19 se muestran un resumen del número de lombrices muertas por cada tratamiento a los 3, 7 y 14 días. Asimismo, en la Tabla 20 se muestran los individuos lesionados a lo largo de todo el proceso de evaluación

Tabla 19

Comparativo de lombrices muertas por Tratamiento a los 3, 7 y 14 días

Concentración (mg.kg ⁻¹)	Tratamiento	Total de lombrices	N° Lombrices muertas			
			3 días	7 días	14 días	
0	Control	20	0	0	0	
	T1-1	20	3	5	6	
625	T1	T1-2	20	1	2	3
	T1-3	20	2	3	5	
	T2-1	20	7	9	11	
1250	T2	T2-2	20	6	8	8
	T2-3	20	9	11	13	
	T3-1	20	6	10	11	
2500	T3	T3-2	20	8	13	15
	T3-3	20	8	13	14	
	T4-1	20	13	16	16	
5000	T4	T4-2	20	15	17	18
	T4-3	20	12	16	17	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20

Comparativo de lombrices lesionadas por Tratamiento a los 3, 7 y 14 días

Concentración (mg.kg ⁻¹)	Tratamiento	Total de lombrices	N° Lombrices lesionadas			
			3 días	7 días	14 días	
0	Control	20	0	0	0	
	T1-1	20	17	15	14	
625	T1	T1-2	20	19	18	17
		T1-3	20	18	17	15
		T2-1	20	13	11	9
1250	T2	T2-2	20	14	12	12
		T2-3	20	11	9	7
		T3-1	20	14	10	9
2500	T3	T3-2	20	12	7	5
		T3-3	20	12	7	6
		T4-1	20	7	4	4
5000	T4	T4-2	20	5	3	2
		T4-3	20	8	4	3

Fuente: Elaboración propia.

3.3.6. Derrame de cipermetrina

Como evaluación complementaria, se realizó la simulación de un derrame de cipermetrina aplicando 20 ml puro de cipermetrina, cuya concentración fue de 250 g.L⁻¹; posteriormente, se procedió a colocar 20 lombrices en la caja que contenía el suelo contaminado.

Las lombrices *Aptodrilus fuhrmanni* al entrar en contacto con el suelo, se pudo observar que adoptaban un color blanco e inmediatamente encogían sus cuerpos (enrollamiento) y buscaban escapar del lugar; el comportamiento era de total agresividad y se mostraban intolerantes a la presencia del contaminante, pues el olor que se percibía resultaba inaceptable. Al cabo de unos 15 minutos aproximadamente, todos presentaban quemaduras casi en el 90 % de sus cuerpos y eso les dificultaba poder desplazarse. Al término de 1 hora se realizó una evaluación, donde se pudo constatar que todos los individuos estaban muertos

con quemaduras visibles en sus cuerpos. La Tabla 21 y Figura 32 muestran los resultados de la evaluación realizada a la caja con el derrame de cipermetrina.

Tabla 21

Número de lombrices muertas en el derrame de cipermetrina

N°	Contaminante	N° Lombrices vivos	Muertes a 1 hora
1	20 ml de cipermetrina a 250 g.L ⁻¹	20	20

Fuente: Elaboración propia.

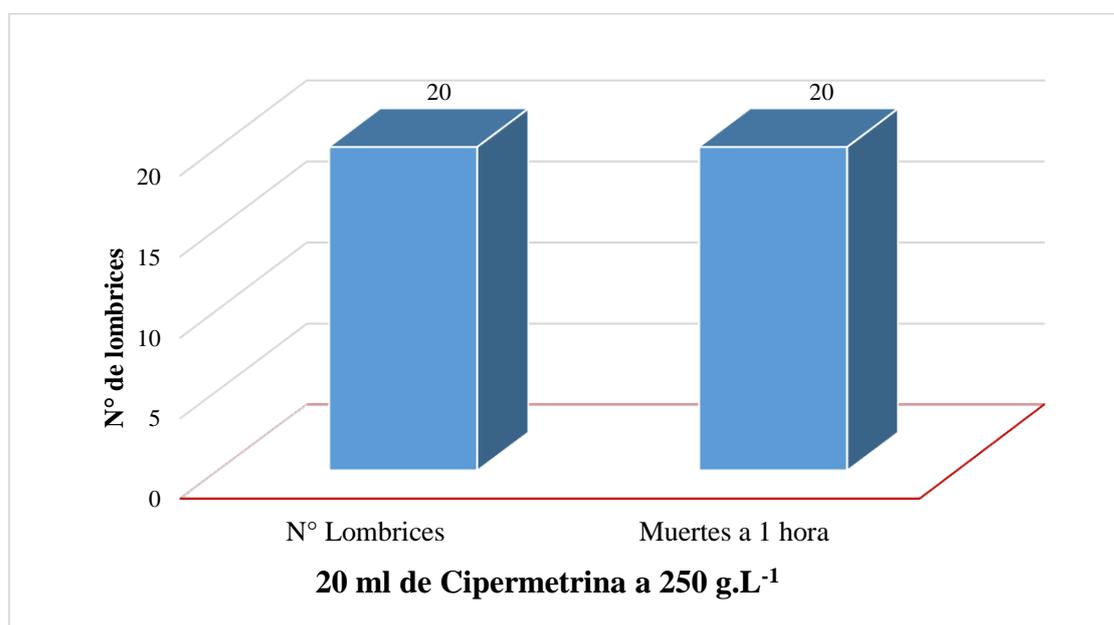


Figura 32. Número de lombrices muertas en el derrame de cipermetrina.

Fuente: Elaboración propia.

3.3.7. Determinación de la Dosis Letal Media (DL₅₀)

En los resultados de las evaluaciones estadísticas de los bioensayos de toxicidad aguda (ver Apéndice 5) la cipermetrina presentó toxicidad en términos de mortalidad en todas las concentraciones: 625, 1 250, 2 500 y 5 000 mg.kg⁻¹, con un porcentaje de mortalidad de 23,33; 53,33; 66,67 y 85 %, respectivamente; mientras que en la muestra control, no se presentaron muertes de los individuos. A partir del tratamiento 2 (1 250 mg.kg⁻¹) se observó un porcentaje de mortalidad mayor al 50 %, donde en el tratamiento 4 (5 000 mg.kg⁻¹), el porcentaje de mortalidad fue del 85 %, siendo el mayor alcanzado, tal como se muestra en la Tabla 22.

Tabla 22

Porcentaje de mortalidad de la cipermetrina

Ingrediente activo	Parámetros	
	Concentración (mg.kg ⁻¹)	Mortalidad (%)
cipermetrina	control	0
	625	23,33
	1 250	53,33
	2 500	66,67
	5 000	85,00

Fuente: Elaboración propia.

El valor hallado de la DL₅₀ a los 14 días de exposición fue de 1 360,23 mg.kg⁻¹, el cual se determinó con los resultados de los bioensayos de toxicidad, a través del programa Probit, del paquete IBM® SPSS® Statistics 20, donde además se encontraron los valores del límite inferior al 95 % (819,63) y el límite superior al 95 % (1 981,93). Asimismo, también se determinaron los valores de NOEC y LOEC, los cuales fueron 625 mg.kg⁻¹ y 1 250 mg.kg⁻¹ respectivamente. Los resultados de los parámetros toxicológicos para los bioensayos de cipermetrina encontrados se muestran en la Tabla 23.

Tabla 23

Parámetros toxicológicos para los ensayos de cipermetrina

Parámetros	Cipermetrina (mg.kg ⁻¹)
DL ₅₀	1 360,23
Límite superior (95 %)	1 981,93
Límite inferior (95 %)	819,63
NOEC	625
LOEC	1 250

Nota: LD₅₀ = dosis letal media; NOEC = Concentración sin efecto observado; LOEC = Concentración más baja donde se observa efecto. *Fuente:* Elaboración propia.

3.4. Evaluación de la evasión para cipermetrina sobre *Aptodrilus fuhrmanni*

Las evaluaciones de evasión se realizaron a los tres días (72 horas) de haberse iniciado los bioensayos.

3.4.1. Tratamiento 1

La Tabla 24 y Figura 33 muestran los resultados de las evaluaciones de evasión realizado a las cajas del tratamiento T1. En el tratamiento T1-1 se observó un porcentaje positivo de evasión del 50 % (15 individuos), en el tratamiento T1-2 el porcentaje de evasión fue de 20 % (12 individuos), respectivamente. Algo distinto sucedió en el tratamiento T1-3, donde se pudo verificar un porcentaje cero (0), es decir, en esta caja no hubo evasión. La concentración de cipermetrina utilizada para este tratamiento fue de 625 mg.kg⁻¹.

Tabla 24

Porcentaje de evasión de lombrices en el Tratamiento 1

N° Caja	Muestra	ml de cipermetrina en 2 kg de suelo	N° Lombrices	Evasión (%)
T1-1	Suelo con cipermetrina	20 ml	5	50
	Suelo sin cipermetrina		15	
T1-2	Suelo con cipermetrina	20 ml	8	20
	Suelo sin cipermetrina		12	
T1-3	Suelo con cipermetrina	20 ml	10	0
	Suelo sin cipermetrina		10	

Fuente: Elaboración propia.

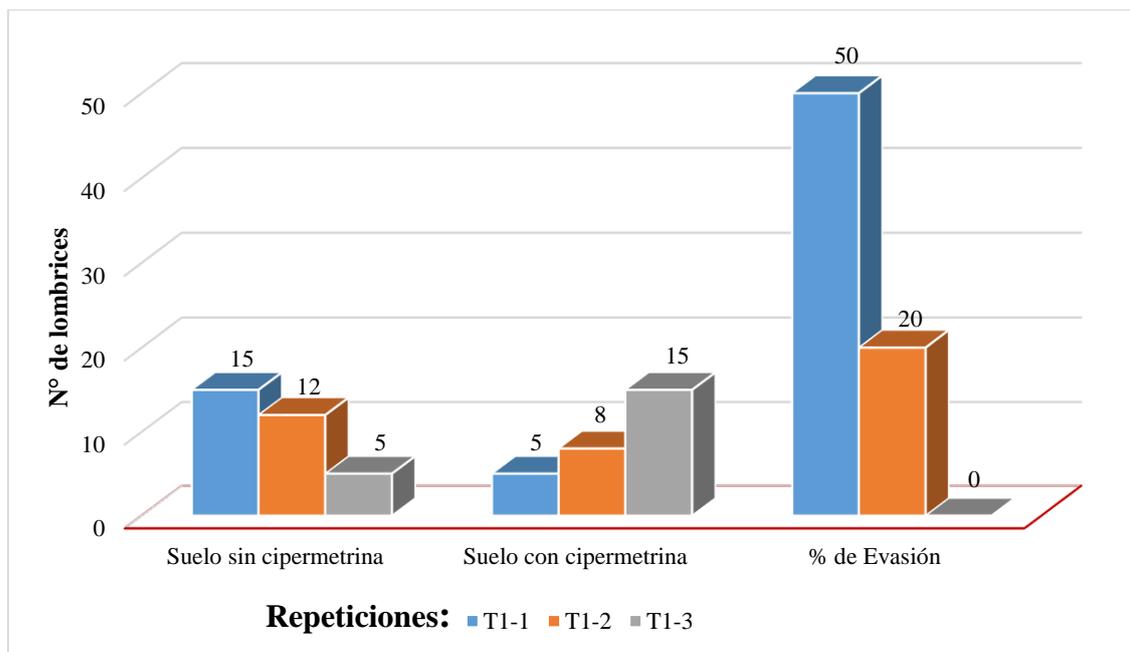


Figura 33. Porcentaje de evasión de *Aptodrilus fuhrmanni* en el Tratamiento 1.
Fuente: Elaboración propia.

3.4.2. Tratamiento 2

La Tabla 25 y Figura 34 muestran los resultados obtenidos de las evaluaciones realizadas a las cajas del tratamiento T2. En el tratamiento T2-1 se pudo observar un porcentaje positivo de evasión del 20 % (12 individuos), en el tratamiento T2-2 el porcentaje de evasión fue del 10 % (11 individuos), y por último en el tratamiento T2-3 el porcentaje de evasión observado fue del 40 % (14 individuos), respectivamente. Para esta evaluación, la concentración de cipermetrina utilizada fue de 1 250 mg.kg⁻¹.

Tabla 25

Porcentaje de evasión de lombrices en el Tratamiento 2

Nº Caja	Muestra	ml de cipermetrina en 2 kg de suelo	Nº Lombrices	Evasión (%)
T2-1	Suelo con cipermetrina	20 ml	8	20
	Suelo sin cipermetrina		12	
T2-2	Suelo con cipermetrina	20 ml	9	10
	Suelo sin cipermetrina		11	
T2-3	Suelo con cipermetrina	20 ml	6	40
	Suelo sin cipermetrina		14	

Fuente: Elaboración propia.

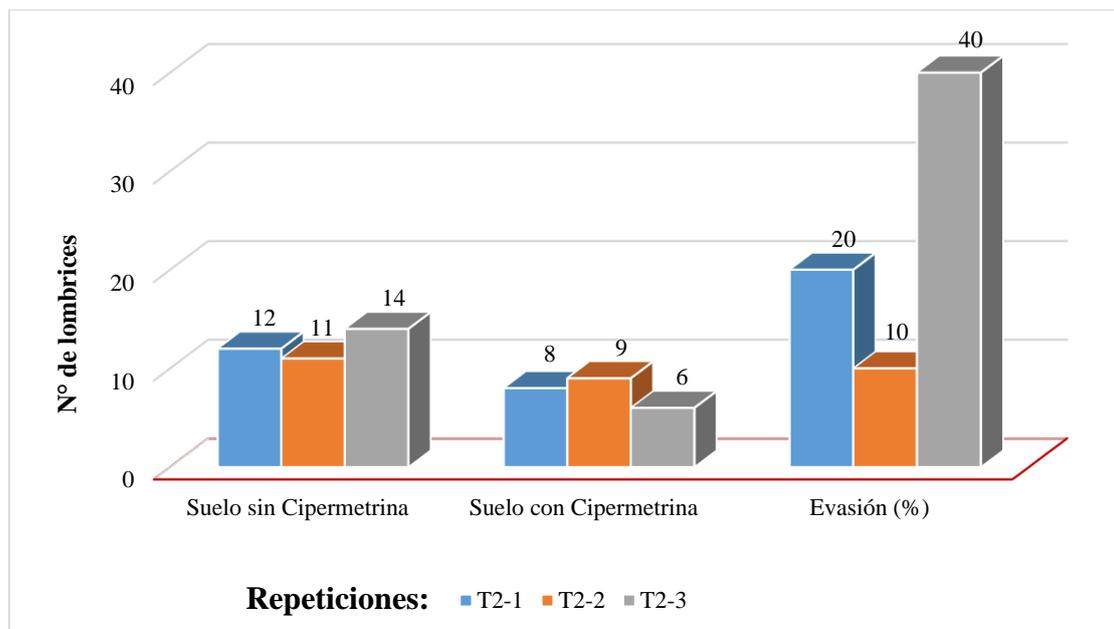


Figura 34. Porcentaje de evasión de *Aptodrilus fuhrmanni* en el Tratamiento 2.
Fuente: Elaboración propia.

3.4.3. Tratamiento 3

La Tabla 26 y Figura 35 muestran los resultados obtenidos de las evaluaciones realizadas a las cajas del tratamiento T3, donde las lombrices también mostraron un claro comportamiento de evasión. En el tratamiento T3-1 el porcentaje de evasión fue del 20 % (12 individuos), más una lombriz muerta en la superficie de la cámara con suelo contaminado (suelo problema), en el tratamiento T3-2 el porcentaje de evasión fue del 40 % (14 individuos), finalmente, en el tratamiento T3-3 se observó un porcentaje de evasión del 40 %. Para este tratamiento la concentración de cipermetrina fue de 2 500 mg.kg⁻¹.

Tabla 26

Porcentaje de evasión de lombrices en el Tratamiento 3

Nº Caja	Muestra	ml de cipermetrina en 2 kg de suelo	Nº Lombrices	Evasión (%)
T3-1	Suelo con cipermetrina	20 ml	7 + 1 muerto	20
	Suelo sin cipermetrina		12	
T3-2	Suelo con cipermetrina	20 ml	6	40
	Suelo sin cipermetrina		14	
T3-3	Suelo con cipermetrina	20 ml	6	40
	Suelo sin cipermetrina		14	

Fuente: Elaboración propia.

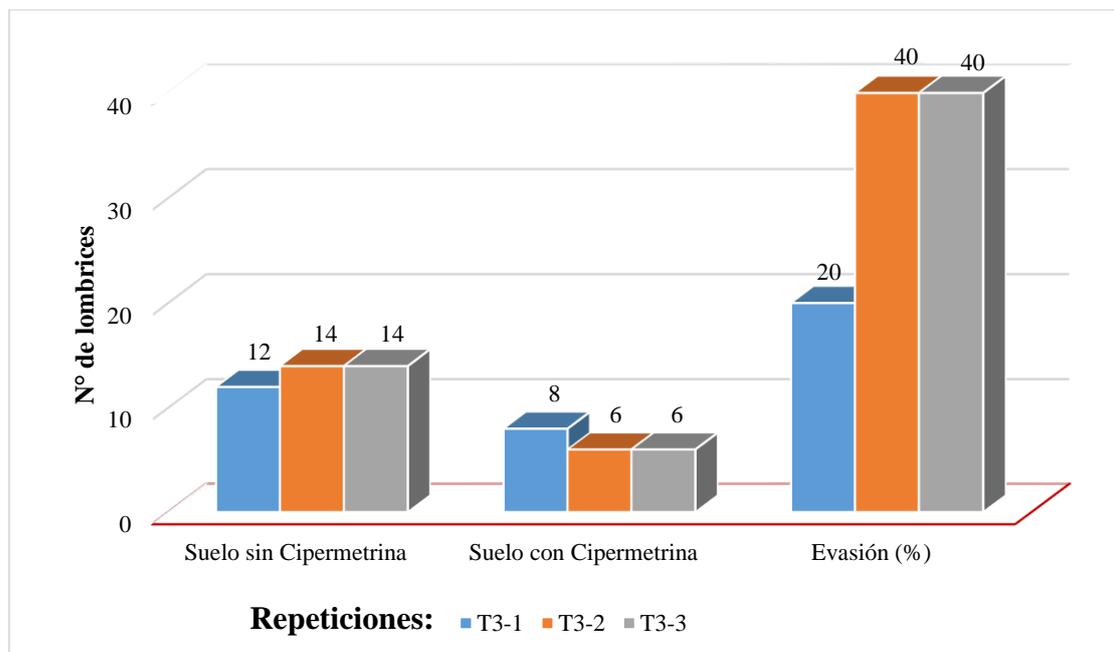


Figura 35. Porcentaje de evasión de *Aptodrilus fuhrmanni* en el Tratamiento 3.
Fuente: Elaboración propia.

3.4.4. Tratamiento 4

La Tabla 27 y Figura 36 muestran los resultados de las evaluaciones realizadas a las cajas del tratamiento T4. En el tratamiento T4-1 el porcentaje de evasión fue del 10 % (11 individuos), más una lombriz muerta en la cámara con suelo contaminado. En el tratamiento T4-2, el porcentaje de evasión fue de un 60 % (16 individuos) y en el tratamiento T4-3 el porcentaje de evasión también fue positivo con un 30 % (13 individuos). La concentración de cipermetrina para este tratamiento fue de 5 000 mg.kg⁻¹.

Tabla 27

Porcentaje de evasión de lombrices en el Tratamiento 4

Nº Caja	Muestra	ml de cipermetrina en 2 kg de suelo	Nº Lombrices	Evasión (%)
T4-1	Suelo con cipermetrina	20 ml	8 + 1 muerto	10
	Suelo sin cipermetrina		11	
T4-2	Suelo con cipermetrina	20 ml	4	60
	Suelo sin cipermetrina		16	
T4-3	Suelo con cipermetrina	20 ml	7	30
	Suelo sin cipermetrina		13	

Fuente: Elaboración propia.

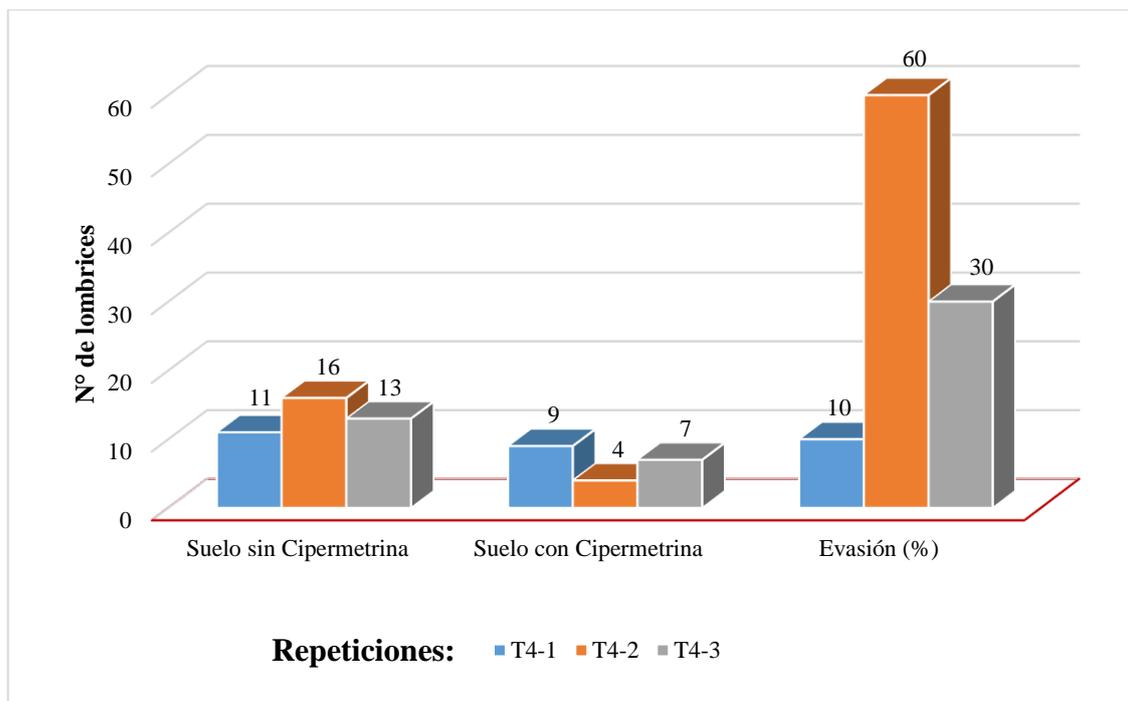


Figura 36. Porcentaje de evasión de *Aptodrilus fuhrmanni* en el Tratamiento 4.
Fuente: Elaboración propia.

3.4.5. Muestra control

En la muestra control, los resultados fueron totalmente distinto a los demás tratamientos, tal como lo muestran la Tabla 28 y Figura 37. En esta evaluación se observó que las lombrices presentaron un comportamiento totalmente pasivo sin una actitud de evasión, esto se debe a que no se utilizó ninguna concentración de cipermetrina, simplemente en cuanto tuvieron la oportunidad de estar en la superficie del suelo, se introdujeron en ella sin ninguna dificultad, esto sucedió en ambas cámaras de la caja control. El porcentaje de evasión que presento esta prueba fue de cero (control= 0 %), es decir no hubo evasión alguna.

Tabla 28

Porcentaje de evasión de lombrices en la muestra control

Nº Caja	Muestra	Nº Lombrices	Evasión (%)
Control	Suelo sin cipermetrina – cámara 01	10	0
	Suelo sin cipermetrina – cámara 02	10	

Fuente: Elaboración propia.

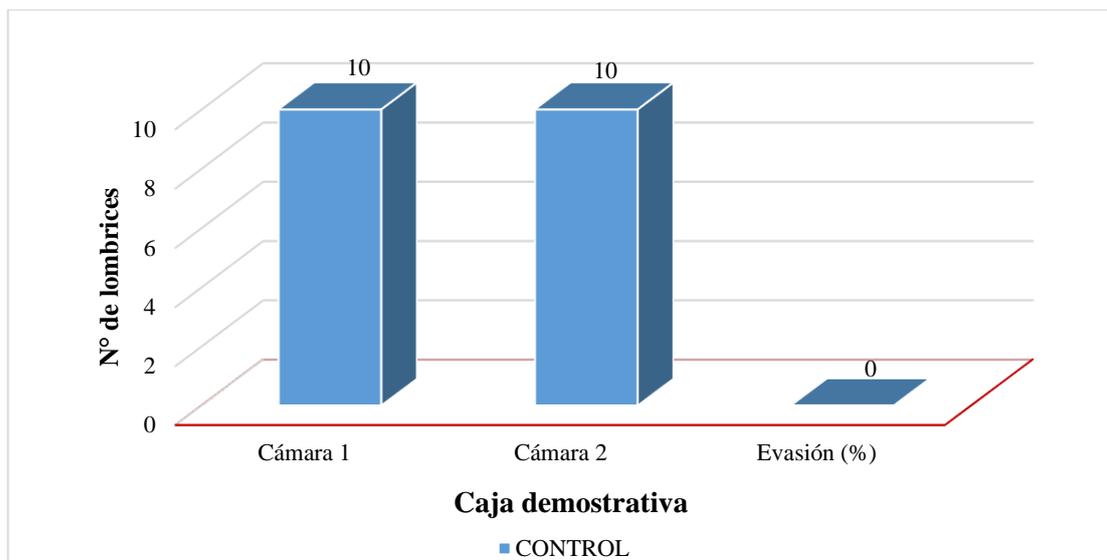


Figura 37. Porcentaje de evasión de *Aptodrilus fuhrmanni* en la muestra control.
Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos de las evaluaciones estadísticas de los bioensayos de evasión se muestran en el Apéndice 6. En la Tabla 29 se muestran los porcentajes de evasión obtenido de todos los tratamientos.

Tabla 29

Porcentaje de evasión de los tratamientos y sus repeticiones

Concentración (mg.kg ⁻¹)	Tratamiento	Repetición	Nº de lombrices		Evasión (%)
			SSC	SCC	
0	Control		10	10	0
		T1-1	15	5	50
625	T1	T1-2	12	8	20
		T1-3	10	10	0
		T2-1	12	8	20
1 250	T2	T2-2	11	9	10
		T2-3	14	6	40
		T3-1	12	8	20
2 500	T3	T3-2	14	6	40
		T3-3	14	6	40
		T4-1	11	9	10
5 000	T4	T4-2	16	4	60
		T4-3	13	7	30

Fuente: Elaboración propia.

3.5. Evaluación de Riesgo Ambiental

Para determinar el Riesgo Ambiental de la cipermetrina se halló los valores del TER agudo, donde se tuvo en cuenta la DL_{50} obtenidos en los bioensayos de toxicidad que fue de 1 360,23 $mg.kg^{-1}$ y del TER crónico o subletal, donde se utilizó los valores encontrados de la NOEC que fue de 625 $mg.kg^{-1}$ y el LOEC cuyo resultado fue de 1 250 $mg.kg^{-1}$ respectivamente. La concentración ambiental prevista (PEC) encontrada en la literatura para la cipermetrina y que se utilizó fue de 0,0592 (Arrázola, 2016).

Para hallar la Toxicidad por Exposición agudo (TERa) se aplicó la fórmula antes mencionada en la metodología, para lo cual se seleccionó el valor de la DL_{50} (1 360,23 $mg.kg^{-1}$) y se dividió por la concentración ambiental prevista (PEC) (0,0592), obteniéndose un resultado de 22 976,86, lo cual indica una baja toxicidad ya que el resultado es mayor a 10 y no significaría un riesgo para el ambiente. La toxicidad por exposición crónico (TERc) se realizó bajo la misma fórmula donde se seleccionó los valores de NOEC (625 $mg.kg^{-1}$) y LOEC (1 250 $mg.kg^{-1}$) y se dividió por la concentración ambiental prevista (PEC). Los resultados obtenidos de NOEC y LOEC fueron de 10 557,43 y 21 114,86 respectivamente. Los datos del TERc también indican una baja toxicidad ya que los resultados son mayores que 5, por lo tanto, tampoco significaría un riesgo para el ambiente (Arrázola, 2016).

En la Tabla 30 se muestran los resultados de la evaluación del Riesgo ambiental para la cipermetrina, donde se analizaron los efectos agudos utilizando los valores del CL_{50} encontrado y los efectos subletales usando los valores de NOEC y LOEC.

Tabla 30

Valores de PEC y TER de la cipermetrina

Parámetro	Valor (mg.kg⁻¹)	PEC	Resultado
TERa (DL ₅₀)	1 360,23		22 976,86
TERc (NOEC)	625	0,0592 (Arrázola, 2016)	10 557,43
TERc (LOEC)	1 250		21 114,86

Nota: PEC = concentración ambiental prevista; TERa = Toxicidad aguda por exposición; TERc = Toxicidad por exposición crónica; DL₅₀ = dosis letal media; NOEC = Concentración sin efecto observado; LOEC = Concentración más baja donde se observa efecto. *Fuente:* Elaboración propia basado en Arrázola (2016).

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN

4.1. Análisis de las características fisicoquímicas del suelo.

Se realizaron los análisis fisicoquímicos de las muestras de suelo tomadas del Fundo “La loma” con la finalidad de conocer determinados parámetros como el porcentaje de materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico, pH, etc. Hartnik y Stryrshave (2008) establecieron que estos parámetros resultan ser importantes para la bioacumulación y toxicidad de cualquier compuesto (plaguicidas) que sea introducido al suelo; determinando así, el nivel de biodisponibilidad y toxicidad para los diversos organismos edáficos como las lombrices de tierra, hormigas, bacterias, etc. En ese sentido, está establecido que la cantidad de M.O. presente en el suelo determina la toxicidad (DL_{50}/CL_{50}) a la que pueden estar expuestos las “lombrices de tierra” (Arrázola, 2016). La M.O. del suelo presenta una gran capacidad de absorción, y es conocido que la cipermetrina se adhiere fuertemente en ella; en tal sentido, la cantidad de este parámetro está directamente relacionado con la absorción del compuesto y mientras esta sea mayor, la absorción será mayor (Alves *et al.*, 2013).

El suelo utilizado para los bioensayos de toxicidad de esta investigación presentó un porcentaje en materia orgánica de 3,802 %, lo cual lo clasifica en un nivel alto, esto se debe a que fueron extraídos de un fundo cafetalero con estatus orgánico; mientras que Hartnik y Stryrshave (2008) y Peña (2018), obtuvieron 5,2 y 5,5 %, respectivamente; razón por la cual, se presentó una absorción considerable del contaminante (cipermetrina) en las partículas del suelo, permitiendo así que el insecticida no esté disponible en el agua del suelo en concentraciones elevadas, reduciendo la absorción a través de la piel de la lombriz *Aptodrilus fuhrmanni* (Arrázola, 2016). Asimismo, en cuanto al pH de las muestras de suelo (5,66), Arrázola (2016) determina que este parámetro no guarda una correlación entre el nivel de absorción de la cipermetrina y el potencial de hidrogeno del suelo; sin embargo, el pH del suelo presenta una incidencia indirecta en la absorción de este contaminante; es decir, este resulta ser importante, afectando la biodisponibilidad de nutrientes presentes en el suelo,

la presencia de otros factores como la materia orgánica, arcilla y elementos importantes disponibles como el N, P, K, etc. y por consiguiente la calidad de crecimiento de las plantaciones agrícolas de corto, mediano y largo plazo.

La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) también juega un rol importante en la absorción de la cipermetrina, guardando la misma correlación con el porcentaje de materia orgánica; es decir, mientras la CIC del suelo sea mayor, la absorción de sustancias tóxicas (plaguicidas) presentes en el suelo, también será mayor; por lo tanto, la exposición de las “lombrices de tierra” vía dérmica o ingestión será mínima (Peña, 2018). Arrázola (2016) obtuvo una CIC de 7,77 meq.100 g⁻¹ para suelo artificial, Peña (2018) encontró un valor de 9,6 meq.100 g⁻¹ tanto para suelo artificial y agrícola; asimismo, Hartnik y Stryrshave (2008), obtuvieron una CIC de 10,6 meq.100 g⁻¹ para sus muestras utilizadas. En el suelo orgánico de la presente investigación, se obtuvo una CIC de 10,92 meq.100 g⁻¹, encontrándose en un nivel medio, al igual que las muestras utilizadas por Hartnik y Stryrshave (2008), los cuales también fueron determinantes para que la DL₅₀ fuera superior a los 1 000 mg.kg⁻¹.

4.2. Determinación de la toxicidad aguda de cipermetrina sobre *Aptodrilus fuhrmanni*

En los bioensayos de toxicidad aguda realizados sobre *Aptodrilus fuhrmanni*, según los resultados se pudo constatar que la cipermetrina (campal 250 CE) presentó efectos en la mortalidad y lesiones de estas especies edáficas (ver Apéndice 7 y 8). El resultado obtenido de la DL₅₀ de la cipermetrina en la presente investigación fue de 1 360,23 mg.kg⁻¹ y un valor de NOEC de 625 mg.kg⁻¹ (Tabla 27), en exposiciones durante 14 días, con “lombrices de tierra” *Aptodrilus fuhrmanni*; los cuales coinciden con otras investigaciones de toxicidad realizadas como el estudio de Wang *et al.* (2012) quienes encontraron un valor de la CL₅₀ de 1 272 mg.kg⁻¹ para la cipermetrina, utilizando *Eisenia foetida* en suelo artificial (10 % de turba de esfagno molido, 20 % arcilla y 70 % arena fina) en exposiciones de 14 días. Asimismo, Hartnik y Stryrshave (2008) en pruebas de toxicidad realizados en dos tipos de suelos con diferente contenido de materia orgánica (1,39 % y 5,5 %), utilizando la *Eisenia foetida* como organismo de prueba, obtuvieron resultados de la CL₅₀ superiores a los 1 000 mg.kg⁻¹ en exposiciones durante 14 días; esto se debió a que se trataba de un mismo destino metabólico; es decir, utilizaron la misma especie de lombriz para ambos tipos de suelos, donde a pesar de la diferencia en el porcentaje de materia orgánica, los valores de toxicidad

no variaron entre sí. Saxena *et al.* (2014) en pruebas con suelo artificial (30 % estiércol de vaca, 20 % arcilla y 50 % arena fina), donde utilizaron como bioindicadores a *Eisenia foetida* y *Mataphire posthuma*, hallaron para la cipermetrina, un CL₅₀ de 551,14 mg.kg⁻¹ y 9,83 mg.kg⁻¹, a los 14 días de exposición; determinando que la especie *Mataphire posthuma* presentó una mayor sensibilidad al insecticida en pruebas de toxicidad que la *Eisenia foetida*.

Peña (2018), en su investigación obtuvo para alfa-cipermetrina como resultado un DL₅₀ de 274,82 mg.kg⁻¹ y un NOEC de 100 mg.kg⁻¹, en exposiciones durante 14 días, utilizando como organismo de prueba a la *Eisenia foetida*; Arrázola (2016) encontró un valor de CL₅₀ de 341,1 mg.kg⁻¹ y un resultado de NOEC de 75 mg.kg⁻¹ en *Eisenia foetida*. Asimismo, en otras investigaciones los resultados obtenidos están por debajo de los 100 mg.kg⁻¹, como es el caso de Zhou *et al.* (2008) quienes obtuvieron una CL₅₀ de 84,14 mg.kg⁻¹, en suelo artificial (70 % de arena, 20 % de arcilla y 10 % de turba de esfagno), utilizando como organismo de prueba la *Eisenia andrei* en exposiciones durante 14 días; Zhou *et al.* (2011) en pruebas de toxicidad aguda realizados con suelo artificial (70 % de arena, 20 % de arcilla y 10 % de turba de esfagno), utilizando como organismo de prueba a la *Eisenia andrei*, obtuvieron un CL₅₀ de 86,04 mg.kg⁻¹ en exposiciones durante 14 días, donde también demostraron una relación dosis – respuesta entre la mortalidad de *Eisenia andrei* y la concentración del insecticida. Por otro lado, el resultado de la DL₅₀ de la presente investigación cumple con lo determinado en estudios anteriores y se encuentra dentro del rango, el cual debe ser mayor a 100 mg.kg⁻¹ (Arrázola, 2016).

Los resultados obtenidos en todas estas investigaciones muestran que la toxicidad de la cipermetrina tanto para *Aptodrilus fuhrmanni*, *Eisenia foetida* y *Eisenia andrei* fue bajo y demuestran que este tipo de sustancias agrícolas son más difíciles de absorber por el intestino (toxicidad aguda), que por cualquier otro mecanismo de ingreso como la cutícula (Wang *et al.*, 2012). La absorción baja del insecticida cipermetrina en todos estos casos se debió principalmente a una mayor presencia de materia orgánica (M.O.) en las muestras de suelos utilizados, permitiendo que la sustancia de prueba se una con más fuerza a las partículas del suelo, lo que llevó a una menor biodisponibilidad de la cipermetrina; es decir, el agua de los poros que están en contacto directo con las “lombrices de tierra”, presentaron menores concentraciones de cipermetrina, donde la biocumulacion y toxicidad del insecticida

disminuyeron debido a la presencia medio - alta en el contenido de M.O. en el suelo. En tal sentido, la absorción mediante el agua de los poros del suelo representa la principal vía de absorción de las “lombrices de tierra” ya sea para ser tomada por medio de la cutícula (piel) o la ingestión, (Hartnik y Stryrishaive, 2008).

Otro de los factores que determina la exposición de las “lombrices de tierra” epigeas y endógenas a diferentes niveles de toxicidad (DL₅₀) es la forma de la sustancia química y la concentración aplicada. Con respecto a la cipermetrina usada para esta investigación, por tratarse de un concentrado emulsionante, fue necesario diluirlo con agua destilada, lo cual incrementó la expansión de la sustancia hacia todas las partículas del suelo; pero debido a la alta presencia de M.O. la exposición de *Aptodrilus fuhrmanni* fue menor. Otros estudios como el de Arrazola (2016), donde utilizó un concentrado emulsionante de alfa-cipermetrina, quedó demostrado que al ser diluido en agua este se encontraba con más disposición en el agua del suelo y sus partículas, permitiendo que la exposición de la *Eisenia fétida* al contaminante sea mayor, ya que la absorción fue baja, debido a que el porcentaje de M.O. presente era medio – bajo. Hartnik y Stryrishaive (2008) afirmaron que la disponibilidad de los insecticidas en fase acuosa, son captadas con más facilidad por la “lombriz de tierra” a través de la ingestión de su alimento o la cutícula (piel).

Según la World Health Organization [WHO] (1989), la cipermetrina es fotodegradable a la luz del sol o degradable por acción de algunos microorganismos; en tal sentido, sus efectos en el suelo resulten ser limitados. La degradación en el suelo se produce cuando se da la escisión del enlace éster, para luego dar lugar a la formación del ácido 3-fenoxibenzoico (CPA), el ácido ciclopropanocarboxílico (PBA) y dióxido de carbono. Cuando la cipermetrina se aplica en dosis recomendadas en la etiqueta y de acuerdo con la práctica agrícola, los niveles de toxicidad en el suelo y las aguas superficiales son muy bajos e insignificantes, con una vida promedio que puede variar de 2 a 4 semanas, por ello es poco probable que la cipermetrina pueda tener algún efecto sobre el medio ambiente; sin embargo, cuando se realiza una sobre pulverización o un derrame de cipermetrina, esta puede llegar a comprometer la existencia de algunas especies edáficas como la lombriz de tierra (*Aptodrilus fuhrmanni*) o causar problemas ambientales mayores (WHO, 1989). La toxicidad significativamente menor de la cipermetrina para la “lombriz de tierra” *Aptodrilus fuhrmanni*

se debió también al rápido metabolismo de esta sustancia por parte de estos organismos antes de que llegue a la célula nerviosa, donde ejerce su mayor toxicidad o se une de forma reversible al receptor y pueda distribuirse entre los receptores y otros tejidos (Hartnik y Stryrshave, 2008).

En esta investigación también se ha identificado diversos factores tales como la humedad, temperatura, pH y el tiempo de exposición (14 días), tal como lo menciona Alves *et al.* (2013) en las evaluaciones toxicológicas que realizó con “lombrices de tierra”, donde afirma que estos factores también intervienen en la modificación de la DL₅₀; los tres primeros son condicionantes para que las lombrices puedan cumplir sus funciones de supervivencia bajo condiciones similares al de su hábitat natural. Se realizaron ajustes en la humedad del suelo cada dos días para mantener una humedad de 70 - 80 %, con una temperatura ambiente de 22 ± 2 °C; por su parte Arrázola (2016) y Peña (2018), también realizaron ajustes en la humedad, a fin de mantener estos parámetros estables. En cuanto al pH, este se mantuvo dentro de los niveles identificados en la caracterización (5,66), al igual que en las demás investigaciones, ya que según Arrazola (2016), este parámetro no tiene incidencia directa en la absorción o disponibilidad del compuesto. Asimismo, en cuanto al método desarrollado en esta investigación, Wang *et al.* (2012) establece que las pruebas de toxicidad en suelos (natural/artificial) resulta ser más representativa del entorno natural de las “lombrices de tierra”, donde los insecticidas utilizados son absorbidos principalmente por el intestino en este método; en tal sentido, estas pruebas son las más adecuadas cuando se evalúa la toxicidad de estas sustancias sobre estos organismos y los datos de toxicidad aguda pueden ser utilizados en la evaluación de riesgos ecológicos en el ecosistema del suelo.

4.3. Evaluación de la evasión para cipermetrina sobre *Aptodrilus fuhrmanni*

Los resultados observados en la presente investigación con respecto a la evasión de *Aptodrilus fuhrmanni* a los suelos contaminados con cipermetrina (insecticida campal 250 CE), mostraron un porcentaje promedio positivo en todos los tratamientos (T1= 23,3 %, T2= 23,3 %, T3= 33,3 % y T4= 33,3 %) en un periodo de 3 días; es decir, las lombrices evadieron a las diferentes dosis establecidas del contaminante aplicado a cada uno de los tratamientos y sus respectivas repeticiones, a diferencia del tratamiento control donde en ambas cámaras hubo una distribución de 50/50 %. Los resultados del ANOVA mostraron un porcentaje de

evasión promedio de 0,863 ($p>0,05$); esto implica que no existió un efecto significativo de la cipermetrina sobre la evitación de *Aptodrilus fuhrmanni* y tampoco diferencias significativas entre el porcentaje de evitación y el incremento de las concentraciones de cipermetrina. Estos resultados tienen una similitud a lo obtenido por Arrázola (2016) quien registró un porcentaje positivo de evasión (7,14 %) para alfa-cipermetrina sobre *Eisenia foetida*, en un tiempo de 48 horas, a una concentración de 68,22 mg.L⁻¹, donde el resultado de las pruebas estadísticas mostraron un valor de 0,400 ($p>0,05$), lo cual indica que la evasión no es significativa y no existe una relación entre la evasión y la presencia del tóxico.

De Sousa y De Andréa (2011) obtuvieron un 60 % y 40 % de evasión para cipermetrina sobre *Eisenia andrei* en tres muestras de suelo estudiados en un tiempo de 48 horas, estos resultados demostraron que los suelos tratados con cipermetrina suelen ser evitados por “lombrices de tierra” (*Eisenia andrei*), ya que el número de estos individuos en el suelo control fue significativamente mayor ($p<0,05$) que en las condiciones tratadas (C1, C2 y C3); sin embargo, para los tres suelos los resultados indicaron que no existe diferencia significativa entre el porcentaje de evitación y el aumento de las concentraciones ($p=0,333$ y 0,080). Zhou *et al.* (2011) y Zhou *et al.* (2008) obtuvieron un efecto significativo de la cipermetrina sobre el comportamiento de evasión de la *Eisenia foetida*, en las concentraciones mayores (20, 40 y 60 mg.kg⁻¹); los resultados de la distribución de las “lombrices de tierra” indicaron que el número de individuos en el suelo control fue mayor que los suelos tratados con cipermetrina.

La evasión de las “lombrices de tierra” en todas las investigaciones antes mencionadas, independientemente de la especie, se debe a que estos organismos presentan una gran cantidad de quimiorreceptores (sistema sensorial) en la superficie de todo su cuerpo y a la producción de neurotransmisores como la acetilcolina, los cuales les permiten producir una respuesta de evitación frente a la presencia de contaminantes (insecticidas) que resulten siendo una amenaza para su supervivencia (Zhou *et al.*, 2011; Piola, 2011). Los resultados de esta investigación muestran un rechazo a la cipermetrina por parte de las lombrices *Aptodrilus fuhrmanni*, ya que en todos los tratamientos quedó evidenciado que estos organismos evaden los suelos contaminados con cipermetrina y prefieren los suelos sin contaminar para el desarrollo de sus funcionalidades, las evaluaciones arrojan como

resultado que si se presenta un efecto subletal en las lombrices, el cual a largo plazo podría significar una afección en la calidad del suelo por la migración de estas especies a sitios donde no haya presencia de sustancias tóxicas (De Sousa y De Andréa, 2011).

La exposición de las “lombrices de tierra” a determinados contaminantes como insecticidas, puede ser un causante para que estos individuos adquieran un comportamiento de evasión, el cual podría significar una modificación en la abundancia y diversidad de especies de lombrices, lo que podría condicionar las posibilidades de supervivencia debido a la exposición en condiciones de campo (Piola, 2011). Además, es preciso mencionar que estos individuos cumplen diversas funciones que resultan ser determinantes para mantener el equilibrio ecosistémico, ya que participan activamente en el ciclado de nutrientes que estas plantaciones necesitan, contribuyen a mantener una humedad óptima de los suelos, permitiendo así la porosidad y aireación requerida para el desarrollo de otros individuos que también intervienen en el desarrollo de los ciclos biogeoquímicos (Ríos, 2005).

4.4. Evaluación de Riesgo Ambiental

Los resultados obtenidos en cuanto a la evaluación del riesgo ambiental en esta investigación, utilizando los bioensayos de toxicidad aguda para la cipermetrina y de acuerdo con la normativa de la Unión Europea, el valor del TER agudo fue de 22 976,86, el cual, según esta normativa establecida, este compuesto formulado no significaría un riesgo para el ambiente, ya que dicho valor es mayor a 10, lo que indica que existe una baja toxicidad del contaminante, bajo estas condiciones de evaluación. Por otro lado, los resultados del TER crónico para la cipermetrina tanto del NOEC y LOEC fueron de 10 557,43 y 21 114,86 respectivamente, los cuales significarían que tampoco existe un riesgo ambiental del insecticida, ya que los valores obtenidos fueron mayores a cinco (5). Arrázola (2016) en su proyecto de investigación, utilizando la misma normativa europea, obtuvo un TER agudo de 5 761,82 para la alfa-cipermetrina (piretroide); el cual, según los parámetros establecidos, tampoco implicaría un riesgo ambiental del contaminante, al igual que lo obtenido en la presente investigación. Los valores del TER crónico del NOEC y LOEC fueron de 1 266,89 y 3 800,67 respectivamente.

Zhou *et al.* (2008) en una investigación realizada para determinar el riesgo ambiental de la cipermetrina, utilizó un reglamento para la evaluación de riesgos ambientales de plaguicidas de la República de China basado en la toxicidad de la dosis letal media (DL_{50}), el cual establece lo siguiente: un $DL_{50} < 1 \text{ mg.kg}^{-1}$ es considerado altamente tóxico; un DL_{50} entre $1-10 \text{ mg.kg}^{-1}$ presenta una toxicidad mediana; un $DL_{50} > 10 \text{ mg.kg}^{-1}$ presentan una toxicidad baja y un valor de la DL_{50} superiores a los $1\ 000 \text{ mg.kg}^{-1}$ resultan ser inofensivos para las “lombrices de tierra”. En ese sentido, Zhou *et al.* (2008) en sus pruebas de toxicidad encontró un valor de CL_{50} de $84,14 \text{ mg.kg}^{-1}$ cuyo valor lo clasifica dentro de los insecticidas con una toxicidad baja. De acuerdo con esta clasificación, los resultados de los bioensayos de toxicidad obtenidos en esta investigación, clasifican a la cipermetrina en una categoría inofensiva para el medio ambiente, ya que el valor de la DL_{50} supera los $1\ 000 \text{ mg.kg}^{-1}$.

Peña (2018) utilizando la metodología propuesta por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA), encontró resultados para la evaluación de riesgo ambiental de la alfa-cipermetrina, un ratio de concentración ambiental estimada y dosis letal media (PEC/DL_{50}) por debajo de uno ($CR < 1$) en tres escenarios planteados, simulando tres aplicaciones del insecticida en el cultivo de papa (dosis recomendada = 5 g.ha^{-1} ; doble de la dosis = 10 g.ha^{-1} y triple de la dosis = 15 g.ha^{-1}); los cuales, dichos resultado indicaron que el uso de este insecticida no representaría un riesgo para el ecosistema terrestre. Sin embargo, en un ratio de concentración ambiental estimada y concentración prevista sin efecto ($PEC/PNEC$) obtuvo un valor mayor a uno ($CR > 1$), lo cual indicó que la cipermetrina si representa un riesgo ambiental para el ecosistema terrestre. Las evaluaciones de este método arrojaron este resultado porque dentro de su diseño consideran un factor de ajuste de seguridad que son utilizados para la evaluación de riesgos a la salud humana, basado en el principio de precaución; es decir, si hubiese la presunción de que un producto químico podría causar daños, debe aplicarse los controles respectivos al momento de la comprensión científica (Hickey, 2010).

Por lo expuesto anteriormente, los resultados obtenidos basados en los datos de toxicidad aguda, indican que el uso del insecticida cuyo ingrediente activo es la cipermetrina, no representaría un riesgo para el ecosistema terrestre bajo las condiciones antes mencionados, donde diversos parámetros como el porcentaje de M.O., el tipo de sustancia utilizada y la

acción de los organismos vivos del suelo como la “lombriz de tierra” *Aptodrilus fuhrmanni*, son los que determinan los niveles de riesgo ambiental a los que puede estar expuesto los ecosistemas terrestres (Zhou *et al.*, 2011) ; asimismo, es preciso mencionar que las evaluaciones desarrolladas bajo este criterio (toxicidad aguda) no determina las consecuencias que pudieran presentarse en un lapso de tiempo mucho mayor al establecido durante esta investigación (Arrázola, 2016).

La evaluación de riesgo ambiental es considerada una de las herramientas más efectiva y utilizadas en los bioensayos de toxicidad, ya que brinda datos objetivos y verdaderos, que pueden servir para la toma de decisiones en cuanto a políticas ambientales a nivel local, regional, nacional e internacional; además es preciso mencionar que estos ensayos al ser realizados en los laboratorios, favorece a mantener las condiciones uniformes donde únicamente influye la concentración del plaguicida (Peña, 2018). Una de las desventajas que se ha identificado es la heterogeneidad del suelo y la falta de las interacciones ecológicas.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

- Los bioensayos de toxicidad aguda presentaron efectos tóxicos letales en la supervivencia de las “lombrices de tierra” *Aptodrilus fuhrmanni* frente a la cipermetrina, en todos los tratamientos (T1= 23,33 %; T2= 53,33 %; T3= 66,67 % y T4= 85 %), observándose una relación dosis – respuesta entre la mortalidad de los organismos y las concentraciones del insecticida ($p < 0,05$).
- Los resultados determinaron que la cipermetrina (CAMPAL 250 CE) demostró tener un efecto tóxico bajo, sobre *Aptodrilus fuhrmanni* basado en los valores de la dosis letal media obtenido ($DL_{50} = 1\ 360,23\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) en exposiciones durante 14 días.
- Los análisis de los bioensayos de evasión de *Aptodrilus fuhrmanni*, en todos los tratamientos arrojaron porcentajes positivos (T1= 23,3 %, T2= 23,3 %, T3= 33,3 % y T4= 33,3 %) mostrando un comportamiento de intolerancia o repelencia frente a la presencia de la cipermetrina,
- Los resultados de la Evaluación de Riesgo Ambiental de la cipermetrina utilizando los bioensayos de toxicidad aguda, arrojaron que el insecticida no representa un riesgo para el ambiente, dado que los valores del TER agudo son mayores a 10 (TER= 22 976,86). Por otro lado, utilizando la toxicidad crónica, los valores del TER crónico no son menores a 5, (NOEC y LOEC fueron de 10 557,43 y 21 114,86), por lo que tampoco significaría un riesgo ambiental.

CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES

- Realizar más investigaciones para la identificación de las especies de lombrices de tierra que predominan en los suelos tropicales, en específico en la zona del alto mayo, ya que el *Aptodrilus fuhrmanni* es una especie con poca información y que hay estudios que solo determinan su distribución y que abundan en suelos andinos de Perú, Colombia y Chile.
- Evaluar la cipermetrina en otros invertebrados terrestres como termitas, hormigas, escarabajos, etc., para determinar los efectos de este contaminante sobre estas poblaciones. Además, esto nos permitirá saber si esta sustancia significaría una amenaza para estos individuos, ya que en estos lugares (distrito de Soritor) se utiliza con mucha frecuencia la cipermetrina, incluso en concentraciones que superan las dosis recomendadas por el fabricante.
- Realizar evaluaciones de toxicidad crónica con la especie *Aptodrilus fuhrmanni* para verificar los efectos de la cipermetrina y de otros contaminantes sobre el crecimiento y la reproducción de esta especie.

REFERENCIAS

- Alves, P. R. L., Cardoso, E. J., Martínez, A. M., Sousa, J. P., y Pasini, A. (2013). Earthworm Ecotoxicological Assessments of Pesticides Used to Treat Seeds Under Tropical Conditions. *Chemosphere*. 90(11), 2674-2682. <https://scihub.se/https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.11.046>
- Araneda, G. A. D. (2016). *Uso de la lombriz de tierra como organismo indicador del impacto de Pesticidas en el agro-sistema*. (Tesis de grado). Universidad de Concepción, Chile. http://repositorio.udec.cl/bitstream/11594/2130/3/Tesis_Uso_de_la_lombriz_de_tierra.Image.Marked.pdf
- Arrázola, V. E. M. (2016) *Evaluación del riesgo ambiental de la mezcla de Alfa-Cipermetrina e Imidacloprid sobre la lombriz de tierra (Eisenia foetida)* (Tesis de grado). Universidad Científica del Sur, Lima, Perú. https://repositorio.cientifica.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12805/247/TL_Arrazola_V%c3%a1squez.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ávila, R. M. C. (2015). *Determinación de Cipermetrina mediante cromatografía de gases en cultivos de tomate de árbol (Solanum betaceum Cav) en la comunidad de Tababela-Pichincha – Ecuador* (Tesis de grado). Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/6431/1/T-UCE-0008-088.pdf>
- Barbaran, C. S. J. (2017). *Reducción del Cromo en suelos contaminados por agroquímicos utilizando lombrices de tierra (Eisenia foetida) en el Centro Poblado Huarabi – Canta;2017* (Tesis de grado). Universidad Cesar Vallejo, Lima, Perú. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/3495/Barbaran_CSJ.pdf?sequence=6&isAllowed=y
- Berto, O. M. R. (2017). *Evaluación de la contaminación del suelo producida por la acción de los insecticidas empleados en el cultivo de granadilla en la microcuenca San Alberto – Oxapampa*. (Tesis de grado). Universidad Nacional del Callao, Lima, Perú. http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/3249/Berto%20Osorio_TITULO%20AMBIENTAL_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- BIO LATINA (2010). Guía de las normas básicas para la agricultura orgánica. *Bio Latina. Perú* <http://biolatina.com.pe/wp-content/uploads/2019/02/GNP-COM-Guia-COMPARACIO%CC%81N-BL-CEE-USDA.pdf>

- Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes (2009). Cipermetrina. *Guía de Productos Fitosanitarios – CASAFE – Edición 2009*. ISBN: 987-21871-0-X - Inscripción CESSI: 298368.
- Centro Internacional de Agricultura Tropical e Instituto de Biología y Fertilidad de Suelos Tropicales (2011). Protocolo de muestreo para la macrofauna del suelo. *Grupo de América Latina*. https://suelosandinos.files.wordpress.com/2015/09/ciat-tsbflac-procedimiento_muestreo-macrofauna_suelo-jun-2011.pdf
- Cepeda, R. C. A., y Carlosama, C. J. (2016). *Determinación de la Concentración Letal 50(CI50) en la lombriz californiana, Eisenia foetida (Lombricidae) de dos fungicidas de uso agrícola con el mismo principio activo (Clorotalonil)*. (Tesis de grado). Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2478/2016jonathancarlosama.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Cerdán, C. C. R. (2007). *Conocimiento local sobre servicios ecosistémicos de caficultores del Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca, Costa Rica*. (Tesis de maestría). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza – CATIE, Costa Rica. <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A1884e/A1884e.pdf>
- Cuevas, D. M. C., Ferrera, C. R., Roldán, M. A., y Rodríguez, V. R. (2008). Ensayo de Toxicidad Subcrónica con la Lombriz de Tierra *Eisenia andrei*. *Ensayo para suelos*. <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/573/cap17.pdf>
- De la Rosa, A. D. (2013). Una agricultura a la medida de cada suelo: desde el conocimiento científico y la experiencia práctica a los sistemas de ayuda a la decisión. *Discurso pronunciado en el acto de su recepción como Académico Numerario a la Real Academia Sevillana de Ciencias*. <https://digital.csic.es/bitstream/10261/77729/1/Una%20agricultura%20a%20la%20medida%20de%20cada%20suelo.pdf>
- De Silva, P. M. C. y Van Gestel, C. A. (2009). Comparative Sensitivity of *Eisenia andrei* and *Perionyx excavatus* in Earthworm Avoidance Tests Using Two Soil Types in the Tropics. *Chemosphere*. 77(11), 1609 – 1613. <https://scihub.se/https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.09.034>
- De Sousa, A. P. A., y De Andréa, M. M. (2011). Earthworm (*Eisenia andrei*) Avoidance of Soils Treated with Cypermethrin. *Sensors*. 11(12), 11056-11063. doi:10.3390/s111211056

- Dhananjayan, V., Jayanthi, P., Jayakumar, S., y Ravichandran, B. (2020). Agrochemicals Impacto on Ecosystem and Bio-monitoring. *In Resources Use Efficiency in Agriculture*. pp 349-388. https://doi.org/10.1007/978-981-15-6953-1_11
- Espinoza, N. O. y Bustos O. E. (2015). Toxicidad y riesgo ambiental por efecto de insecticidas organofosforados sobre reproductor macho de lombriz de tierra (*Eisenia foetida*). *International Journal of medical and surgical sciences*. 2(4): 723-729.
- Fauchald, K. (1997). Filo Anélida (Anlneida): Los Gusanos Segmentados. *The Polichaete Worms*. Capítulo 13. <http://www.turismocientifico.cl/admin/apps/filemanager/repository/%C3%A1reas%20del%20conocimiento/Fauna%20y%20dina%CC%81micas%20poblacionales/Invertebrados/Capi%CC%81tulo%2013%20Annelidos.pdf>
- Feijoo, M. A., Quintero, V. H., Fragoso, C., y Moreno, A. G. (2004). Patrón de distribución y listado de especies de las lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta) en Colombia. *Acta Zoológica Mexicana*. 20(2), 197-220. <http://www.scielo.org.mx/pdf/azm/v20n2/v20n2a13.pdf>
- Fernández, A. M. (2009). *Estudio del comportamiento Fotoquímico y Determinación de Compuestos Fitosanitarios en Matrices Medioambientales Y Agroalimentarias mediante técnicas avanzadas de Extracción y Microextracción*. (Tesis doctoral). Universidad de Santiago de Compostela, Galicia, España. https://minerva.usc.es/xmlui/bitstream/handle/10347/2586/9788498872484_content.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Gallardo, L. J., Gonzales, H. M. I., y Pérez, G. C. (1982). *La materia orgánica del suelo. Su importancia en suelos naturales y cultivados*. Instituto de Orientación y Asistencia Técnica del Oeste. ISBN: 84-00-05098-3. Depósito legal: S. 360-1982.
- Gardi, C., Angelini, M., Barceló, S., Comerma, J., Cruz Gaistardo, C., Encina Rojas, A., Jones, A., Krasilnikov, P., Mendonca Santos Brefin, M. L., Montanarella, L., Muniz Ugarte, O., Schad, P., Vara Rodriguez, M. I., y Vargas, R. (2014). *Atlas de Suelos de América Latina y el Caribe*. Comisión europea, Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, L-2995, Luxembourg, 176 pp. DOI: 10.2788/37334
- Gómez, H. A. P. (2014). *Evaluación de la toxicidad de suelos mediante un bio-ensayo con la lombriz de tierra Eisenia fétida*. (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Bogotá, Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/48558/822152.2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Guamialamá, G. M. D. A. (2018). *Formulación de un insecticida a base de Cipermetrina para el tratamiento de libros del área histórica de la Universidad Central del Ecuador*. (Tesis de grado). Universidad Central Del Ecuador, Quito, Ecuador. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/16688/1/T-UCE-0008-CQU-037.pdf>
- Guanche, G. A. (2015). Las lombrices y la agricultura. *Información Técnica*. file:///C:/Users/PROFESOR/Downloads/LAS%20LOMBRICES%20Y%20LA%20AGRICULTURA%20INFORMACION%20T%C3%93CNICA.%20Mayo%20Arturo%20Guanche%20Garc%C3%ADa.pdf
- Hartnik, T. y Styrišave, B. (2008). Impact of biotransformation and bioavailability on the toxicity of the insecticides α -Cypermethrin and Chlorfenvinphos in earthworm. *Journal of agricultural and food chemistry*. 56(22), 11057-11064. Recuperado de <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1021/jf8017904>
- Hernández, S. R., Fernández, C. C. y Baptista, L. P. (2014). Metodología de la investigación (6 edición ed.). *México DF: McGraw Hill*. ISBN: 978-1-4562-2396-0.
- Hickey, G. (2010). *Ecotoxicological risk assessment: developments in PNEC estimation*. (Doctoral dissertation). Durham University, England. <http://etheses.dur.ac.uk/344/1/thesis.pdf>
- Huamán, S. M. A. y Barón, S. A. (2015). *Efecto de los sistemas productivos de café (Coffea arabica. L) orgánico y convencional sobre los macroinvertebrados edáficos en el Caserío San Vicente, Distrito de Jepelacio – San Martín 2014*. (Tesis de Grado). Universidad Nacional de San Martín, Moyobamba, Perú. <http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/178/6051613.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2014). Bioindicadores: Guardianes de nuestro futuro ambiental. *El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR)*. (Primera edición). ISBN: 978-607-8429-05-9.
- Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (2015). Semana de la Ciencia y Tecnología Jornada de Puertas Abiertas INIA Tacuarembó 20 de mayo de 2015. *INIA Tacuarembó* <http://inia.uy/Documentos/P%C3%BAblicos/INIA%20Tacuaremb%C3%B3/2015/El%20Suelo%2020de%20mayo.pdf>
- Jordán, L. A (2006). Manual de Edafología. *Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química. Agrícola de la Universidad de Sevilla*. <http://files.infoagroconstanza.webnode.es/200000017-c2dccc3d62/edafologia%20del%20suelo.pdf>

- Mendoza, E. C., González-Ramírez, C., Martínez-Saldaña, M. C., Avelar-González, F. J., Valdivia-Flores, A. G., Aldana-Madrid, M. L. y Jaramillo-Juárez, F. (2015). Estudio de exposición a Malatión y Cipermetrina y su relación con el riesgo de daño renal en habitantes del municipio de Calvillo Aguascalientes, México. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*. 46(3), 62-72. ISSN: 1870-0195.
- Ministerio de Agricultura y Riego (2017a). Línea Base del sector café en el Perú. *Documento de trabajo*. <https://www.midagri.gob.pe/portal/download/2017/pncafe/sector-cafe-peru.pdf>
- Ministerio de Agricultura y Riego (2017b). Muestreo de suelos. *Hoja Divulgativa N°01-2017*. http://pgc-snia.inia.gob.pe:8080/jspui/bitstream/inia/45/1/HD-1-2017-Muestreo_de_suelos.pdf
- Moreno, J. M. L. (2017). *Evaluación de la toxicidad y mortalidad de Carbofuran y Carbendazim empleando como bioindicador Eisenia andrei*. (Tesis de grado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Ibarra. <https://dspace.pucesi.edu.ec/bitstream/11010/119/1/1.-TESIS%20MAURA%20LIZBETH%20MORENO%20JURADO.pdf>
- Moscoso, C. R. V. (2014). *Determinación de la toxicidad por aluminio del efluente de la planta potabilizadora del Cebollar en el río Tomebamba, utilizando bioensayos ecotoxicológicos*. (Tesis de maestría). Universidad de Cuenca, Ecuador. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/20392/1/TESIS.pdf>
- Neoagrum (2016). CAMPAL 250 CE. *Ficha técnica Neoagrum*. [https://neoagrum.com.pe/assets/files/fichas-tecnicas/FT%20-%20CAMPAL%20250%20CE%20\(02\).pdf](https://neoagrum.com.pe/assets/files/fichas-tecnicas/FT%20-%20CAMPAL%20250%20CE%20(02).pdf)
- Neoagrum (2017). CAMPAL 250 CE. *Hoja de seguridad Neoagrum*. <https://neoagrum.com.pe/assets/files/hojas-de-seguridad/HS%20-%20CAMPAL%20250CE%20-%20Rainbow.pdf>
- Organización Mundial de la Salud (1993). Cipermetrina. Guía para la Salud y la Seguridad. *Guía de Salud y Seguridad N° 22*. ISBN: 92 4 154344 2. ISSN: 0259-7268.
- Paredes, C. D. E. (2014). *Influencia de la materia orgánica, utilizado en la producción de humus de lombriz, Eisenia foetida, en el vivero, parque zoológico turístico nacional quistococha, Iquitos- Perú*. (Tesis de grado). Universidad Nacional de La Amazonia Peruana. Iquitos, Perú.

https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12737/4277/Dina_Tesis_Titulo_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Paredes, E. C. E. (2016). *Riesgo Ecológico del Sulfato de Bario*. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2716/T01-P3-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Peña, C. K. D. (2018) *Evaluación de riesgo ambiental de los pesticidas Metamidofos, Alfa-Cipermetrina y su mezcla en Eisenia andrei*. (Tesis de grado). Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima – Perú. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3529/pe%c3%b1a-cordova-katherin-deira.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- Piola, L. (2011) *Ensayos ecotoxicológicos para la evaluación del impacto de plaguicidas en suelos agrícolas de Argentina*. (Tesis Doctoral). Facultad de Ciencias Exactas, Universidad de Buenos Aires, Argentina. https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis_n4887_Piola.pdf
- Raudes, M. y Sagastume, N. (2009). Manual Conservación de Suelos. Programa para la Agricultura Sostenible en Laderas de América Central. Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria. Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano, Honduras. 75 p. https://www.se.gob.hn/media/files/media/Modulo_3_Manual_Conservacion_de_Suelos..pdf
- Ríos, S. Y. (2005). Importancia de las lombrices en la agricultura. *Sistemas integrados de producción con no rumiantes*. <https://lombriz.mx/img/contenido/descargasfile/1.pdf>
- Rivas, E. I. P. (2015). *Diseño, desarrollo y evaluación de una formulación de Microcápsulas del piretroide Cipermetrina*. (Tesis doctoral). Universidad Complutense Madrid, España. Recuperado de <https://eprints.ucm.es/38740/1/T37569.pdf>
- Ruppert, E. E. y Barnes, R. D. (1996). Zoología de los Invertebrados. Sexta edición, editorial McGraw-Hill interamericana. *México DF*, 883-835. ISBN 968-25-2452-0. ISBN 0-03-026668-8 (Edición original).
- Saxena, P. N., Gupta, S. K., y Murthy, R. C. (2014). Comparative toxicity of Carbaryl, Carbofuran, Cypermethrin and Fenvalerate in *Metaphire posthuma* and *Eisenia fetida* – A possible mechanism. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 100, 218-225. <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2013.11.006>

- Schaefer, M. (2003). Behavioural endpoints in earthworm ecotoxicology. Evaluation of different test systems in soil toxicity assessment. *Journal of Soils and Sediments*. 3(2), 79-84. DOI: <http://dx.doi.org/10.1065/jss2003.02.066>
- Selles, V. S. G., Ferreyra, E. R., Ahumada, B. R., Santelices, S. M., García-Huidobro, P. J., y Ruiz, S. R. (2006). Lombrices de tierra como agentes mejoradores de las propiedades físicas del suelo en huertos frutales. *Boletín INIA N° 140*. ISSN: 0717-4829.
- Tecuapetla, V. M. G. (2014). *Ecotoxicidad producida por agroquímicos empleados en el cultivo de Gerbera jamesonii en invernadero, en Villa Guerrero, estado de México*. (Tesis de maestría). Universidad Autónoma del Estado de México, México. <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/14895/Tesis.417957.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Wang, Y., Cang, T., Zhao, X., Yu, R., Chen, L., Wu, C., y Wang, Q. (2012). Comparative acute Toxicity of Twenty – four Insecticides to Earthworm, *Eisenia fetida*. *Ecotoxicology and environmental safety*. 79, 122-128. <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2011.12.016>
- World Health Organization (1989). Cypermethrin. *Environmental Health Criteria* 82. Geneva. ISBN 92 4 154282 9. ISSN 020-86X.
- Zhou, S., Duan, C., Michelle, W. H. G., Yang, F., y Wang, X. (2011). Individual and comvined toxics effects of Cypermethrin and Chlorpyrifos on earthworm. *Journal of Environmental Sciences*. 23(4), 676-680. [https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(10\)60462-7](https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1016/S1001-0742(10)60462-7)
- Zhou, S., Duan, C., Wang, X., Wong, H. G. M., Yu, Z., y Fu, H. (2008). Assessing Cypermethrin – contaminated soil with three different earthworm test methods. *Journal of Environmental Sciences*. 20(11), 1381-1385. [https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(08\)62236-6](https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1016/S1001-0742(08)62236-6)

TERMINOLOGÍA

Agricultura orgánica. Actividad agrícola que es producida y procesada de manera sostenible, bajo una gestión adecuada de los procesos biológicos, sin el uso y aplicación de productos químicos de síntesis como fertilizantes, pesticidas, etc., en todo el proceso de producción, basándose solamente en el manejo de recursos propios del sistema ecológico (BIO LATINA, 2010).

Anélidos. Son un grupo de invertebrados conocidos popularmente como gusanos, comprende unas 8 700 especies, su cuerpo es blando y segmentado con unas estructuras en forma de páas (quetas) que utilizan para deslizarse. Este grupo incluye lombrices de tierra (Paredes, 2014).

Bioensayo. Consiste en la exposición de organismos vivos (lombriz de tierra) o un tejido vivo, como agente de prueba, frente a la presencia o concentración de un compuesto químico contaminante, por un tiempo estimado para evaluar los efectos tóxicos de este, tales como mortalidad, inmovilidad, inhibición del crecimiento, reproducción, desarrollo sexual, etc., sobre estos individuos (Moreno, 2017).

Ciclos biogeoquímicos. Son procesos naturales de la materia donde se produce un intercambio de diferentes elementos químicos entre el ambiente natural y los seres vivos, a través de diferentes procesos de transporte, producción y descomposición, el cual permite el reciclaje de los nutrientes disponibles en la biosfera (De la Rosa, 2013).

Dosis letal (DL₅₀). Es la dosis individual de una sustancia (insecticida), cuya exposición de la población animal (lombriz de tierra), bajo cualquier vía ya sea por contacto ingestión o inyección, provoca la muerte del 50 % del total de individuos (Espinoza y Bustos, 2015).

Ecotoxicología. Es la ciencia que estudia los efectos tóxicos de las sustancias químicas y agentes físicos en los organismos vivos, a nivel de poblaciones y comunidades dentro de ecosistemas definidos, incluyendo las vías de transferencia de los agentes y sus interacciones con el medio ambiente, para definir las consecuencias en términos de las reacciones de los ecosistemas o componentes representantes de tales sistemas (Moscoso, 2014).

Evaluación de Riesgo Ambiental. Proceso mediante el cual se determina la existencia de una amenaza y los posibles impactos negativos dentro de los ecosistemas, como consecuencia de la exposición a productos tóxicos ajenos, presentes en un determinado lugar, comprometiendo la calidad de los recursos naturales (Arrázola, 2016).

Humus. El humus es materia orgánica en estado avanzado de descomposición por acción de diferentes organismos vivos, de consistencia masiva amorfa, homogénea y color oscuro (Raudes y Sagastume, 2009, pg. 33).

Pesticidas. Un pesticida es una mezcla de sustancias o elementos cuya finalidad es el control de una plaga de cualquier cualidad, que puede ser cualquier organismo vivo, y que este represente daño o amenaza ante cualquier cultivo o plantación, incluso para los seres humanos y algunas especies de animales, significando pérdidas económicas y/o transferencia de ciertos patógenos. Cabe resaltar que un pesticida puede ser de origen natural o sintético (Fernández, 2009).

Servicios ecosistémicos. Son aquellos servicios que aporta el ecosistema a los seres humanos, los cuales resultan propios del funcionamiento de estos, sin embargo, brindan beneficio y bienestar (salud y economía) mejorando la calidad de vida de las personas (Gardi *et al.*, 2014).

Toxicidad. Es una medida usada para proporcionar información para la evaluación ecológica de los efectos de los contaminantes, a través de estudios con organismos en laboratorio, en condiciones controladas y estandarizadas para la determinación de respuestas, y poder establecer la relación de sus efectos sobre la abundancia, producción y persistencia de las poblaciones y ecosistemas (Moscoso, 2014).



INFORME DE DETERMINACIÓN DE ESPECIES

Por medio del presente, se informa los resultados de la determinación hasta nivel de especie de las muestras enviadas para tal fin, provenientes de la localidad de **Soritor, Distrito de Moyobamba, Región de San Martín**, colectados por **Nelson Mendoza Cartegana**, a una altitud de **875 msnm**.

Clase.- Clitellata Michaelsen, 1919

Subclase.- Oligochaeta Grube, 1850

Orden.- Crassiclitellata Jemieson, 1988

Familia.- Rhinodrillidae Benhan, 1890

Género.- *Aptodrilus* Cognetti, 1904

Especie.- *Aptodrilus cf. fuhrmanni* Michaelsen, 1917

Determinado por.- Rubén A. Guzmán Pittman

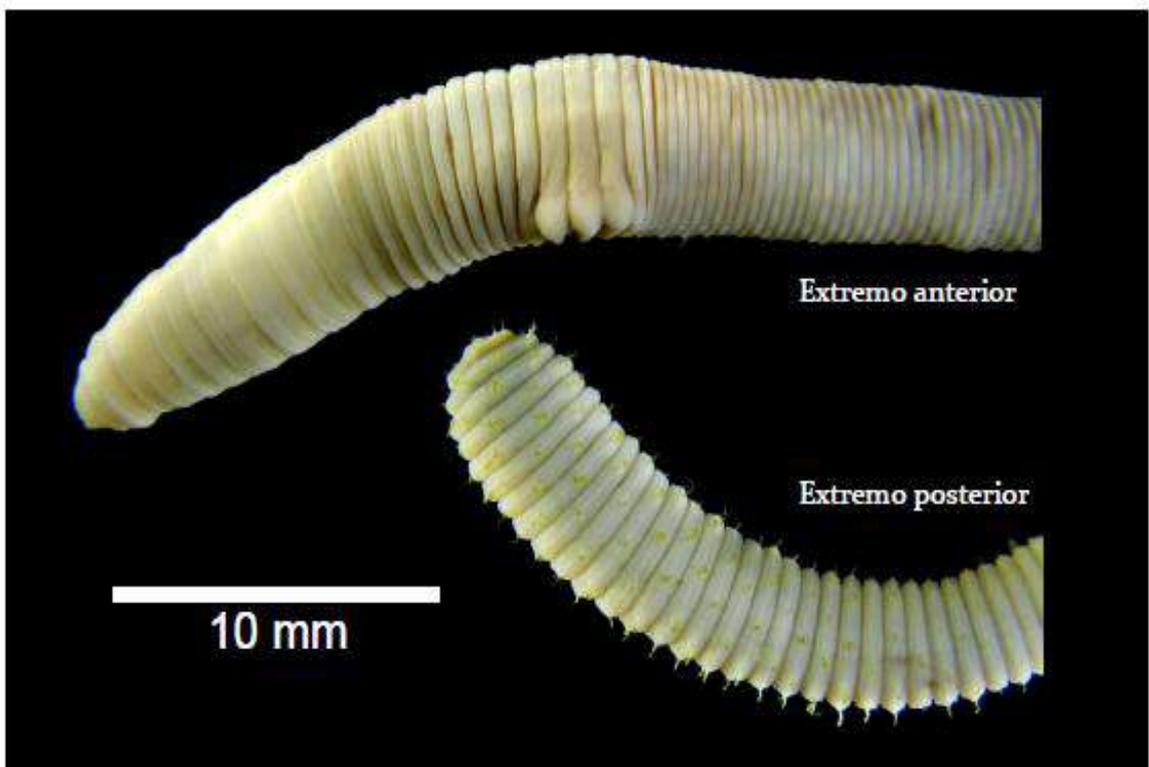
NOTA.- No se tienen reportes detallados de Oligochaeta para Perú, por lo que se tuvo que revisar las descripciones originales de cada especie, por lo que es muy probable que corresponda a la especie *Aptodrilus fuhrmanni* (Michaelsen, 1917) basados en su morfología y distribución.

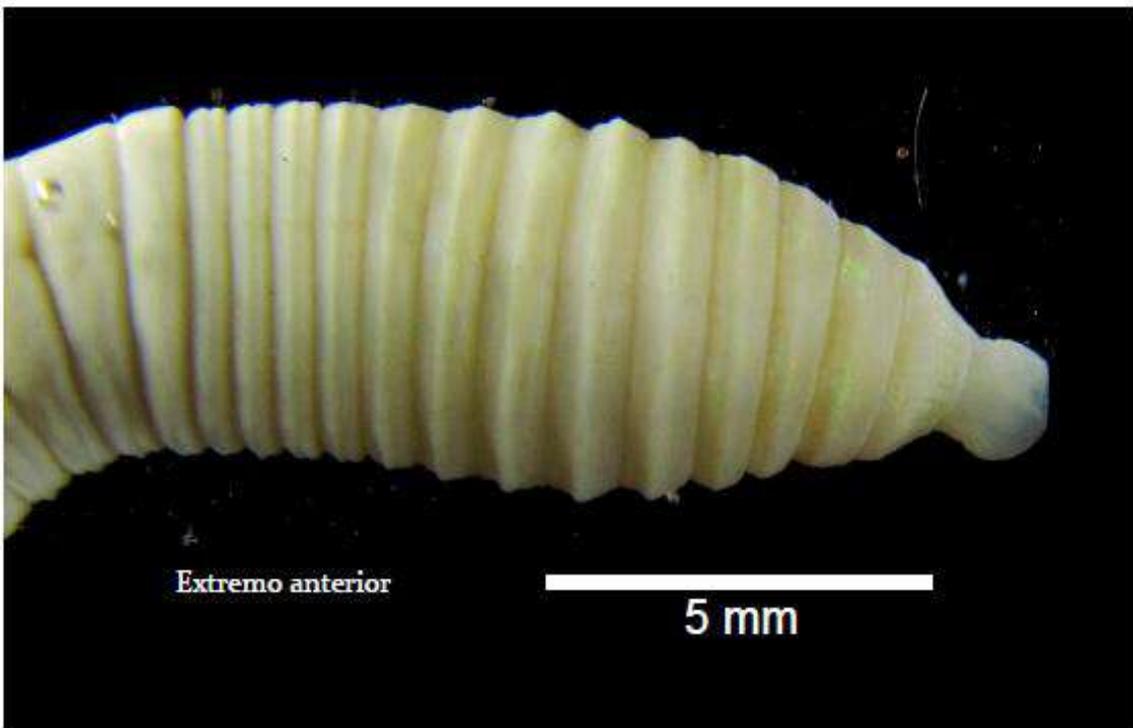
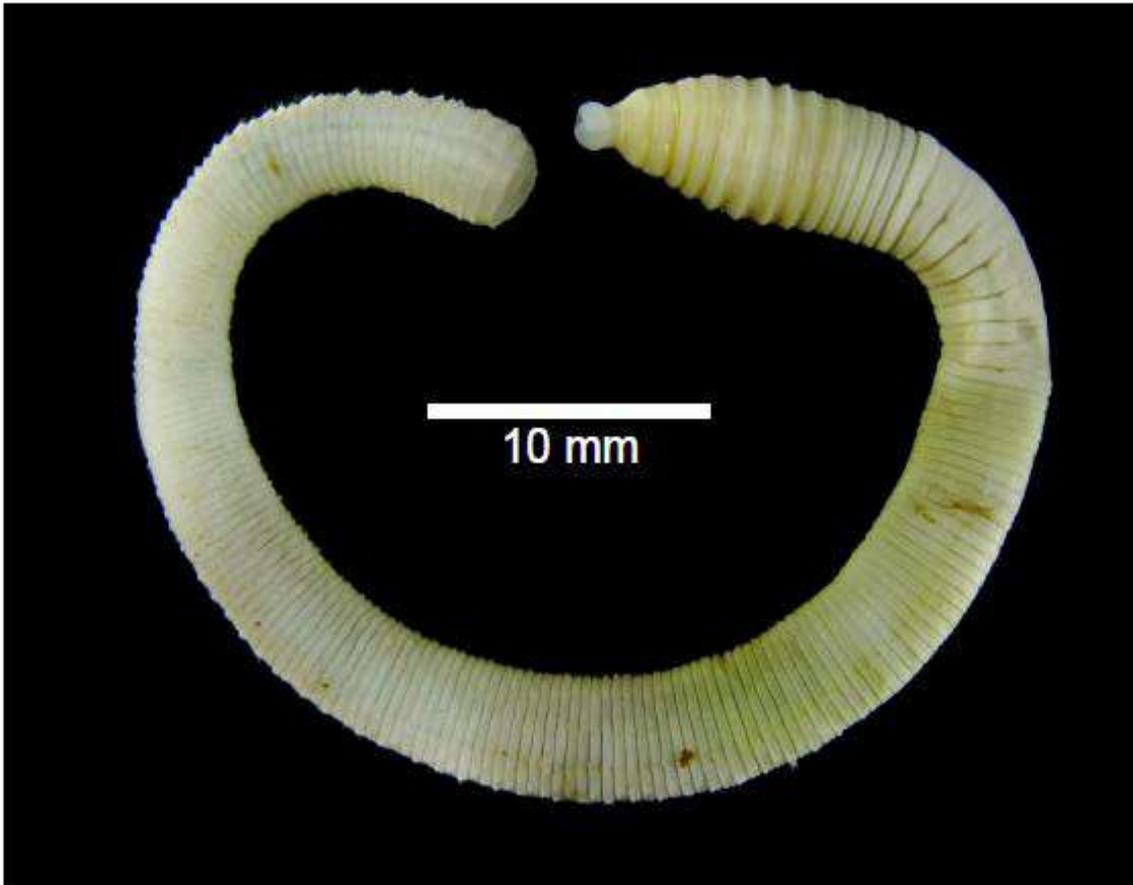


Lima, 22 de Octubre de 2020

Anexo.-
Fotografías con escala


RUBÉN A. GUZMÁN PITTMAN
Responsable en Línea
Asociación Científica para
la Conservación de la
Biodiversidad





Apéndice 3. Ficha técnica del insecticida campal ® 250 CE

	FICHA TÉCNICA	Revisión: 02 Aprobado: JR Fecha: 18-07-16 Página 1 de 2
	CAMPAL® 250CE	

Producto	:	CAMPAL® 250 CE
Ingrediente activo	:	Cipermetrina
Concentración	:	250 g/L
Formulación	:	Concentrado Emulsionable
Clase de uso	:	Insecticida Agrícola
Grupo Químico	:	Piretroide
Registro	:	235-96-AG-SENASA
Titular y Distribuidor	:	Neoagrum S.A.C.

TOXICOLOGÍA DEL PRODUCTO

CAMPAL® 250 CE es un insecticida agrícola categorizado como MODERADAMENTE PELIGROSO.

MECANISMO Y MODO DE ACCIÓN

CAMPAL® 250 CE es un insecticida, que actúa por contacto e ingestión. Afecta las posturas de los insectos por contacto y las larvas por contacto e ingestión. Es activo contra un amplio número de especies de plagas.

CAMPAL® 250 CE altera el flujo de iones sodio en el sistema nervioso, perturba la transmisión de estímulos, causando espasmos musculares, parálisis y la muerte posterior de la plaga.

CAMPAL® 250 CE es un producto de baja toxicidad al hombre y animales de sangre caliente. Tiene persistencia prolongada.

CONSIDERACIONES PARA LA APLICACIÓN

- CAMPAL® 250 CE es un insecticida de aplicación foliar. La aplicación será determinada en función del estado fenológico del cultivo, la presencia de la plaga y las condiciones ambientales. Se recomienda no realizar más de tres aplicaciones por campaña. No ingresar al campo tratado antes de las 24 horas.
- Aplicar a primeras horas de la mañana o por la tarde.
- Usar equipo de protección personal durante la manipulación, mezcla y aplicación del producto.
- Asegurar que la aplicación del producto sea uniforme, verificando que los equipos de aplicación se encuentren debidamente calibrados.
- Rotar con productos de diferente modo de acción para evitar el desarrollo de resistencia de la plaga objetivo.

COMPATIBILIDAD

CAMPAL® 250 CE es compatible con la mayoría de plaguicidas de uso común excepto con aguas carbonatadas y los de reacción alcalina. Se recomienda realizar una prueba previa de compatibilidad.

FITOTOXICIDAD

CAMPAL® 250 CE no es fitotóxico en los cultivos recomendados si se siguen las recomendaciones dadas en la etiqueta.

	FICHA TÉCNICA	Revisión: 02 Aprobado: JR Fecha: 18-07-16 Página 2 de 2
		

CUADRO DE USOS

CULTIVO	PLAGA		DOSIS		P.C. (días)	L.M.R. (ppm)
	NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	mL/200 L	L/ha		
ALCACHOFA	Gusano perforador	<i>Heliothis virescens</i>	200	0.4	15	2
ALGODÓN	Arrebiatado	<i>Dysdercus peruvianus</i>	150 - 200	0.3 - 0.4	14	-
	Gusano rosado	<i>Pectinophora gossypiella</i>	50 - 150	0.1 - 0.3		
CEBOLLA	Trips	<i>Thrips tabaci</i>	400	1.0	7	0.01
ESPÁRRAGO	Gusano del follaje	<i>Copitarsia</i> spp.	250	0.5	15	0.5
PALTO	Trips	<i>Thrips tabaci</i>	200	1.0	7	0.05
	Gusano del cesto	<i>Oiketicus kirbyi</i>	300	1.5		
	Trips del palto	<i>Heliothrips haemorrhoidalis</i>	250	1.25		
PAPA	Mosca minadora	<i>Liriomyza huidobrensis</i>	100 - 166	0.3 - 0.5	12	0.5
PIMIENTO	Gusano perforador de frutos	<i>Heliothis virescens</i>	200	0.4	2	0.5
	Mosca minadora	<i>Liriomyza huidobrensis</i>	250	0.5		
TOMATE	Polilla o Barrenador de los brotes	<i>Scrobipalpula absoluta</i>	100 - 125	0.4 - 0.5	12	0.5

PC: Periodo de Carencia (días).

LMR: Limite máximo de residuo (ppm: partes por millón).

REGISTROS Y TOLERANCIAS DE RESIDUOS

Para informarse sobre los límites máximos de residuos (LMR) o tolerancias establecidas en los principales cultivos, visite los siguientes links.

EU Pesticide Database: (Comunidad Europea)

<http://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/eu-pesticides-database/public/?event=homepage&language=EN>

Environmental Protection Agency: (Estados Unidos)

http://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?c=ecfr&sid=1c8cd959ef0d373fb7620f42c8445cca&tpl=/ecfrbrowse/Title40/40cfr180_main_02.tpl

TELÉFONOS DE EMERGENCIA

CICOTOX: 328-7700

ESSALUD: 411-8000 (opción 4)

CISPROQUIM: 0800-50847

MANEJO Y DISPOSICION DE DESECHOS Y ENVASES VACIOS

- Después de usar el contenido, enjuague tres veces el envase y vierta la solución en la mezcla de aplicación y luego inutilícelo, triturándolo o perforándolo y deposítelo en el lugar destinado por las autoridades locales para este fin.
- Realizar obligatoriamente el triple lavado del presente envase.
- Enviar el envase triple lavado al centro de acopio autorizado.



PRESENTACIONES COMERCIALES

CAMPAL® 250 CE cuenta con registro para las siguientes presentaciones: 250 mL, 500 mL, 1 L, 25 L, 100 L, 200 L.

Apéndice 4. Hoja de seguridad del insecticida campal ® 250 CE

	HOJA DE SEGURIDAD	Revisión: 00 Aprobado: JR Fecha: 06-07-17 Página 1 de 4
	CAMPAL® 250CE	

I. IDENTIDAD DEL PRODUCTO Y DE LA EMPRESA

Nombre del Producto	CAMPAL 250 CE
Nº Registro	235-96-AG-SENASA
Nombre Común	Cypermethrin
Nombre Químico	(RS)-alpha-cyano-3-phenoxybenzyl-(1RS,3RS,1RS,3SR)-3-(2,2-dichlorovinyl)-2,2-dimethylcyclopropane carboxylate
Tipo de Formulación	Concentrado emulsionable (EC)
Clase de Uso	Insecticida Agrícola

Formulado por:	Importado y Distribuido por:
SHANDONG WEIFANG RAINBOW CHEMICAL CO., LTD.	NEOAGRUM S.A.C.
6th Floor, Gaoxinjishuchuangye Centre, Shunhua Road 750#, Jinan, Shandong.	Pj. Camino de Acceso N°2-Urb Cajamarquilla. Lurigancho - Lima - Perú.

TELEFONOS DE EMERGENCIA:
 CICOTOX: 328-7700
 ESSALUD: 411-8000 (opción 4)
 CISPROQUIM: 0800-50847

II. COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN DE LOS COMPONENTES

<u>Composición</u>	<u>CAS No.</u>	<u>Content</u>
Cypermethrin	52315-07-8	250 g/L
Aditivos	--	c.s.p. 1 L

Información del ingrediente activo:

Grupo Químico:	Piretroide
Peso molecular:	416.3 g/mol
Coef. de partición octanol-agua:	6.6 a pH7 a 25°C
Presión de vapor:	1.9 x10 ⁻⁷ Pa a 20°C
Solubilidad en agua:	0.004 mg/l a 20°C a pH 7

III. IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

Categoría toxicológica	Moderadamente peligroso. Dañino - Franja Amarilla.
Riesgo para la Salud:	Es nocivo por ingestión, absorción e inhalación. Es irritante demal y ocular

IV. MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

- En caso de ingestión, no provoque el vómito ni administre nada a la persona, a menos que así lo indique un profesional de la salud.
- En caso de contacto con los ojos, lavarlos con abundante agua fresca por 15 minutos.
- En caso de contacto con la piel, quitarse la ropa contaminada y lavarse con abundante agua y jabón.
- En caso de inhalación, colocar a la víctima en una zona ventilada. Aplicar respiración artificial, si la respiración es deficiente o ha cesado.
- Antídoto: Tratamiento sintomático.

V. MEDIDAS CONTRA INCENDIOS

Agentes de extinción	Utilice medios de extinción apropiados para los combustibles en la zona. Polvo químico seco (PQS AB), CO ₂ , espuma o agua aplicada como neblina. Aproximarse siempre a favor del viento.
Protección Personal	Ver sección VIII.
Peligros durante la combustión	Se pueden generar gases tóxicos durante la combustión. Ver sección X.

VI. MEDIDAS A TOMAR EN CASO DE PÉRDIDAS ACCIDENTALES

Medidas de Protección Personal:	Ver sección VIII.
Precauciones para evitar la contaminación	No contaminar cursos o fuentes de agua ni la red de alcantarillado. Descontaminar los equipos y herramientas de limpieza.
Métodos de limpieza	En caso de derrame o fuga, controle el derrame en su origen. Absorber el producto derramado utilizando arena o tierra húmeda. Recoger con pala y colocar en un recipiente cerrado y rotulado, para su posterior disposición. Eliminar los restos de acuerdo a lo dispuesto por las autoridades competentes. Lavar con agua y detergente el piso contaminado, evitando que el agua escurra; recogerla con material absorbente.

VII. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

Precauciones de manipulación:	Evite contacto con la piel y los ojos. No beba, coma ni fume cuando use el producto. Mantener fuera del alcance de niños y animales, almacenar alejado de alimentos, bebidas y piensos, y lugares de alimentación de animales. No comer beber o fumar durante la manipulación. Usar equipo de protección personal apropiado.
Precauciones de almacenamiento	Conservar en el envase original en lugar fresco, seco y ventilado; bajo llave. No guardarlo exponiendo a la luz solar prolongada. No guardar con alimentos, semillas o animales.
Estabilidad de almacenamiento:	El producto es estable al conservarse en su empaque original sellado y bajo condiciones normales de almacenamiento.

VIII. CONTROL DE EXPOSICIÓN Y MEDIDAS DE PROTECCIÓN PERSONAL

Protección respiratoria	Usar protector facial y mascarilla.
Protección de las manos	Utilizar guantes resistentes a químicos. Lave la parte externa de los guantes con agua y jabón antes de su retirada. Inspeccione regularmente si hay fugas.
Protección de los ojos	Utilizar gafas de seguridad y mascarilla.
Protección a la piel:	Lavar las manos y las zonas expuestas al producto, después de la manipulación y cambiar la ropa. Lavarse antes de beber, comer, fumar o ir al baño.

IX. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Aspecto	Líquido
Color:	Amarillo a marrón claro (ámbar)
Olor:	Inodoro.
Densidad	0.950 – 0.970 g/mL a 20 °C
pH	4.0-6.0
Persistencia en espuma:	Máx 25ml después de 1 minuto.
Inflamabilidad	No inflamable
Explosividad	No explosivo
Corrosividad	No corrosivo

X. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Condiciones a evitarse	Exposición a temperaturas extremas.
Incompatibilidad	Incompatible con ácidos fuertes y productos de reacción alcalina

XI. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

Toxicidad oral aguda	DL50 en ratas: 1250 mg/kg
Toxicidad dermal aguda	DL50 en ratas: >4000 mg/kg
Toxicidad por inhalación:	CL50 (4h) En ratas: 5mg/L de aire
Irritación dermal	En conejos: Moderadamente irritante
Irritación ocular	En conejos: Moderadamente irritante
Sensibilización dérmica	En cobayos: No sensibilizante

XII. INFORMACIÓN ECOTOXICOLÓGICA

Toxicidad en aves LD ₅₀ oral en Patos Mallard:	2000mg/Kg.
Toxicidad en peces LC ₅₀ (96 h) para <i>Trucha Arcoiris</i> :	0.69 µg /L.
Toxicidad en Daphnia EC ₅₀ <i>Daphnia magna</i> (48h):	0.15 µg /L.
Toxicidad en algas: <i>Selenastrum capricornotum</i> (EC ₅₀ /72 h):	6.32 µg/L
Toxicidad en abejas : DL ₅₀ (contacto) :	0.025 ug / abeja
DL ₅₀ (agudo) :	0.033 ug / abeja
Toxicidad en lombriz de tierra: CL ₅₀ (14días) :	100mg/kg

XIII. CONSIDERACIONES PARA LA DISPOSICIÓN DEL PRODUCTO

Con los restos de la aplicación o sobrantes del producto no contaminar las fuentes de agua lagos, ríos, estanques o arroyos con los desechos, envases vacíos.

Después de usar el contenido destruya el envase y deposítelo en los sitios destinados por las autoridades locales para este fin.

XIV. INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE

Número ONU:	2902/3082
Grupo de embalaje:	III.
Clase de riesgo:	6.1
Clase de riesgo para el medio ambiente	9

XV. INFORMACIÓN REGLAMENTARIA

Frases R

- R22 - Nocivo por ingestión
- R37 - Irrita las vías respiratorias.
- R48 - Riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada.
- R51 - Tóxico para organismos acuáticos.
- R54/55/57 - Tóxico para flora, fauna y abejas.

Frases S

- S1/2 - Mantener bajo llave y fuera del alcance de los niños.
- S3/9/14/49 - Mantener en su envase original en un lugar fresco y bien ventilado y lejos de materiales incompatibles por el fabricante.
- S13 - Mantener alejado de alimentos y bebidas.
- S20/21 - No comer, ni beber, ni fumar durante su utilización
- S23 - No respirar los gases/humos/vapores/aerosoles (especificados por el proveedor).
- S24/25 - Evitar el contacto con los ojos y la piel.
- S29/35 - No arrojar los residuos por el desagüe; eliminar los residuos del producto con todas las precauciones posibles.
- S36/37/39 - Usar equipo de protección adecuado.
- S45 - En caso de accidente o malestar, acuda inmediatamente al médico.
- S57 - Utilice un envase de seguridad adecuado para evitar la contaminación del medio ambiente.
- S60 - Este material y su contenido deben ser eliminados como residuo peligroso.

XVI. INFORMACIÓN ADICIONAL

La información presente en este documento intenta aportar recomendaciones de carácter general respecto a la salud y la seguridad en base a nuestro conocimiento sobre la manipulación, el almacenamiento y el uso del producto. Los datos consignados en esta Hoja de Seguridad provienen de fuentes confiables y está a su vez desarrollada por personal capacitado. El uso de la información y de los productos está fuera del control del proveedor, por lo tanto la Empresa no se responsabilizará por su mal uso de las mismas. Determinar las condiciones del manejo y uso seguro del producto es responsabilidad del usuario.

A. Evaluación de muerte de *Aptodrilus fuhrmanni*

➤ **Estadísticos descriptivos para la variable muerte**

En la Tabla 1 se aprecia un incremento en el porcentaje de mortalidad de *Aptodrilus fuhrmanni* a medida que la concentración de la cipermetrina aumenta; en la concentración de 625 mg.kg⁻¹ alcanza una mortalidad promedio del 23,3 % y en la concentración de 5 000 mg.kg⁻¹, la mortalidad fue del 85,0 %, siendo el mayor alcanzado. En términos de variabilidad, la más alta se encuentra en la dosis de 1 250 mg.kg⁻¹ (66,7 %) (Figura 1).

Tabla 1

*Estadísticos descriptivos del porcentaje de muertes de *Aptodrilus fuhrmanni* por dosis de cipermetrina*

Dosis	Repeticiones	Media (%)	Desviación estándar (%)	Valor mínimo (%)	Valor máximo (%)
625 mg.kg ⁻¹	3	23,3	7,64	15	30
1 250 mg.kg ⁻¹	3	53,3	12,58	40	65
2 500 mg.kg ⁻¹	3	66,7	10,41	55	75
5 000 mg.kg ⁻¹	3	85,0	5,00	80	90

Fuente: Elaboración propia.

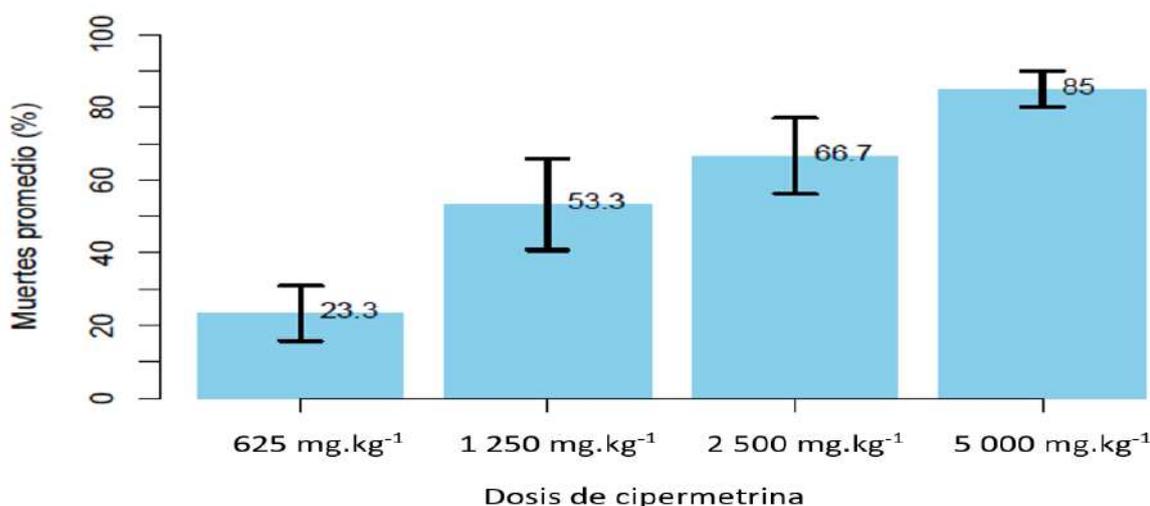


Figura 1. Porcentaje promedio de muertes de *Aptodrilus fuhrmanni* por dosis de cipermetrina. Fuente: Elaboración propia.

Nota: I=conocidas como barras de error, representan la variabilidad de los datos.

En el gráfico de caja y bigotes (Figura 2) se observa que los Tratamientos 1, 2 y 3 presentan una distribución asimétrica negativa ya que la mediana está más cerca del cuartil 3 (Q3); es decir que los datos inferiores a la mediana están más dispersos hacia abajo; sin embargo, el Tratamiento 1 presenta menos dispersión de sus datos. En el Tratamiento 4 se puede observar una distribución simétrica, ya que la mediana (85 %) está en el centro de la caja; además los datos se encuentran menos dispersos en comparación con los demás Tratamientos.

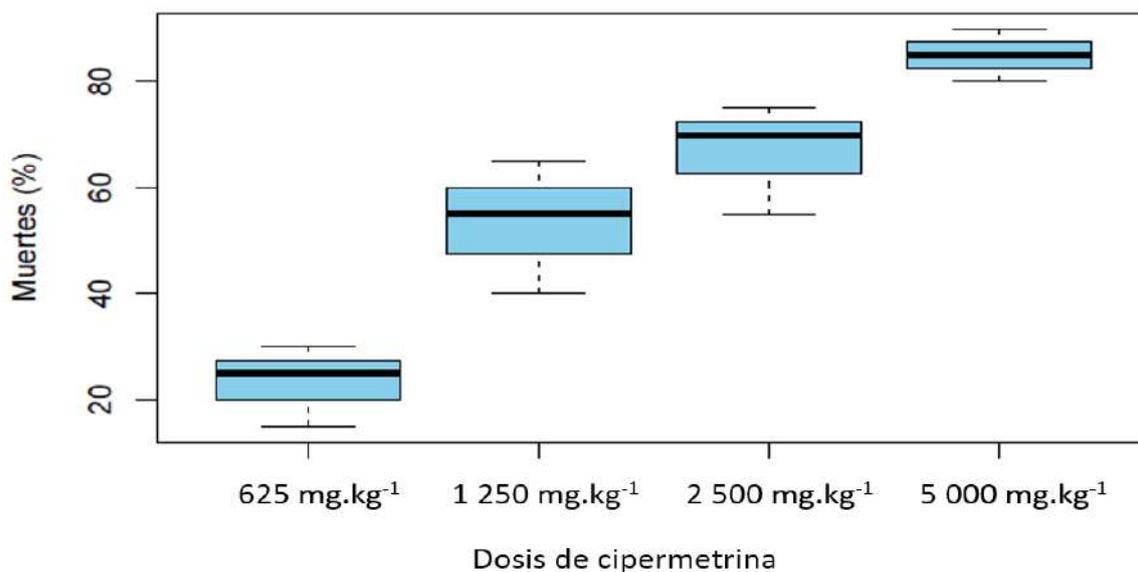


Figura 2. Porcentaje de muertes de *Aptodrilus fuhrmanni* por dosis de cipermetrina.

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Un boxplot representa la dispersión de los datos, además detecta datos atípicos.

➤ Prueba de normalidad (Shapiro – Wilk)

Los resultados de la Tabla 2 indican que los datos sobre el porcentaje de muertes de *Aptodrilus fuhrmanni* se aproximan a una distribución normal ($p > 0,05$), ya que el nivel de significancia obtenido es de 0,561; supuesto que se requiere para el uso del análisis de varianza (ANOVA) paramétrico.

Tabla 2

Prueba de normalidad sobre las muertes de *Aptodrilus fuhrmanni* por dosis de Cipermetrina

Variable	Prueba de normalidad Shapiro - Wilk		
	Estadístico	Grados de libertad	Significancia
Muerte de Lombriz	0,945	12	0,561

Nota: La prueba de normalidad plantea que los datos proceden de una distribución normal, como hipótesis nula. Fuente: Elaboración propia.

➤ **Prueba de homogeneidad de varianzas (Levene)**

Otro supuesto que deben de cumplir los datos para el uso del ANOVA paramétrico es el de homogeneidad de varianzas. En la Tabla 3 se muestra que los datos sobre el porcentaje de muertes de *Aptodrilus fuhrmanni* presentan varianzas iguales estadísticamente ($p > 0,05$); es decir, el nivel de significancia es 0,467.

Tabla 3

Prueba de homogeneidad sobre las muertes de Aptodrilus fuhrmanni por dosis de Cipermetrina

Prueba de Homogeneidad de Varianza			
Estadístico de Levene	gl1	gl2	Significancia
0,936	3	8	0,467

Nota: La prueba de homogeneidad plantea que los datos presentan la misma varianza en cada grupo, como hipótesis nula. gl= grados de libertad. *Fuente:* Elaboración propia.

➤ **Análisis de varianza (ANOVA)**

Según los resultados de la Tabla 4, el porcentaje de muertes promedio de *Aptodrilus fuhrmanni* son diferentes ($p < 0,05$) en al menos una de las dosis de cipermetrina, por lo tanto, se acepta la hipótesis alterna. Esto implica que existe un efecto significativo de la cipermetrina sobre la sobrevivencia de *Aptodrilus fuhrmanni*.

Tabla 4

Análisis de varianza (ANOVA) sobre las muertes de Aptodrilus fuhrmanni por dosis de Cipermetrina

ANOVA de un factor					
Variable dependiente: Muerte de Lombriz					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Significancia
Inter-grupos	6 072,917	3	2 024,306	23,14	0,000269
Intra-grupos	700	8	87,500		
Total	6 772,917	11			

Nota: El ANOVA plantea que el promedio es igual en cada grupo, como hipótesis nula. gl= grados de libertad. *Fuente:* Elaboración propia.

➤ **Pruebas post hoc - Comparaciones múltiples (Tukey)**

Los análisis de comparaciones múltiples realizado entre los tratamientos (T1= 625 mg.kg⁻¹, T2= 1 250 mg.kg⁻¹, T3= 2 500 mg.kg⁻¹ y T4= 5 000 mg.kg⁻¹) muestran los intervalos de confianza de las diferencias de medias entre cada una de las dosis (Tabla 5 y Figura 3). Los resultados indican que, en la mayoría de los casos, existe diferencia significativa ($p < 0,05$) entre el porcentaje promedio de muertes de *Aptodrilus fuhrmanni* debidas a la cipermetrina, a excepción de los casos T3 – T2 y T4 – T3, donde no se presentan diferencias, debido a que los valores son mayores ($p > 0,05$).

Tabla 5

Análisis de comparaciones múltiples sobre las muertes de Aptodrilus fuhrmanni por dosis de Cipermetrina

Tratamiento	Diferencia de medias	Sig.	Intervalo de confianza al 95 %	
			Límite inferior	Límite superior
T2-T1	30,00000	0,018	54,45837	5,541633
T3-T1	43,33333	0,002	67,79170	18,874966
T4-T1	61,66667	0,000	86,12503	37,208299
T3-T2	13,33333	0,363	37,79170	-11,125034
T4-T2	31,66667	0,014	56,12503	7,208299
T4-T3	18,33333	0,154	42,79170	-6,125034

Nota: La prueba de comparaciones múltiples compara la diferencia promedio de dos grupos. Considerando un nivel de significancia del 5 %, dicha significancia es significativa, cuando p_{adj} es menor que 0,05.

Fuente: Elaboración propia.

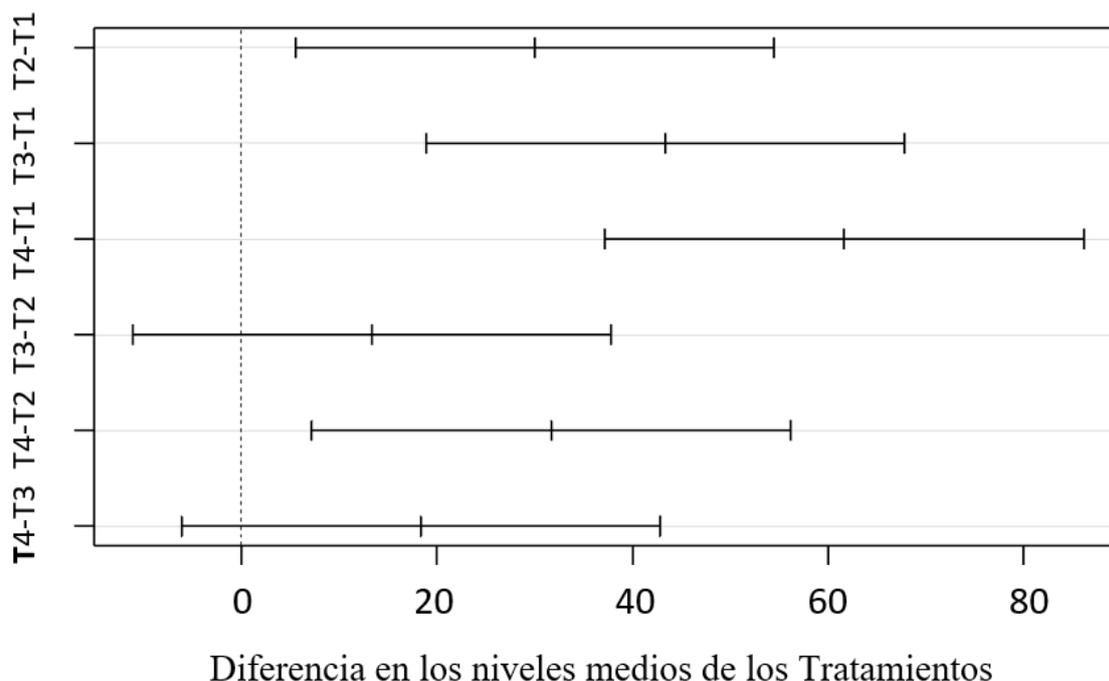


Figura 3. Comparaciones múltiples sobre las muertes de *Aptodrilus fuhrmanni* por dosis de cipermetrina. Fuente: Elaboración propia.

Nota: La prueba de comparaciones múltiples compara la diferencia promedio de dos grupos. Dicha significancia es significativa, cuando el intervalo de confianza no abarca al cero.

B. Evaluación de lesiones de *Aptodrilus fuhrmanni*

Además de la mortalidad de las “lombrices de tierra” *Aptodrilus fuhrmanni*, también se determinaron otros puntos finales como las lesiones de estos individuos (quemadura, blanqueamiento, adelgazamiento y enrollamiento) que presentaron como resultado de la exposición a cuatro diferentes dosis de cipermetrina (625, 1 250, 2 500 y 5 000 mg.kg⁻¹). La evaluación de las lesiones se realizó en las lombrices que sobrevivieron a los bioensayos de toxicidad aguda.

➤ Estadísticos descriptivos para la variable lesiones

En la Tabla 6 y Figura 4 se aprecia una disminución en el porcentaje de lesionados de *Aptodrilus fuhrmanni* de 7 a 14 días por dosis de cipermetrina. Los resultados muestran que los tres primeros tratamientos (T1= 625, T2= 1 250 y T3= 2 500 mg.kg⁻¹) mantienen el mismo porcentaje de lombrices lesionadas (6,7 %) entre el día 7 y 14. Algo distinto sucede en el tratamiento T4, donde el promedio de lombrices lesionadas entre el día 7 y 14 es de 3,3 %, y es el que presenta mayor variabilidad en comparación a los demás tratamientos.

Tabla 6

Estadísticos descriptivos de la disminución en el porcentaje de lesionados de Aptodrilus fuhrmanni de 7 a 14 días por dosis de cipermetrina

Dosis	Repeticiones	Media (%)	Desviación estándar (%)	Valor mínimo (%)	Valor máximo (%)
625 mg.kg ⁻¹	3	6,7	2,89	5	10
1 250 mg.kg ⁻¹	3	6,7	5,77	0	10
2 500 mg.kg ⁻¹	3	6,7	2,89	5	10
5 000 mg.kg ⁻¹	3	3,3	2,89	0	5

Fuente: Elaboración propia.

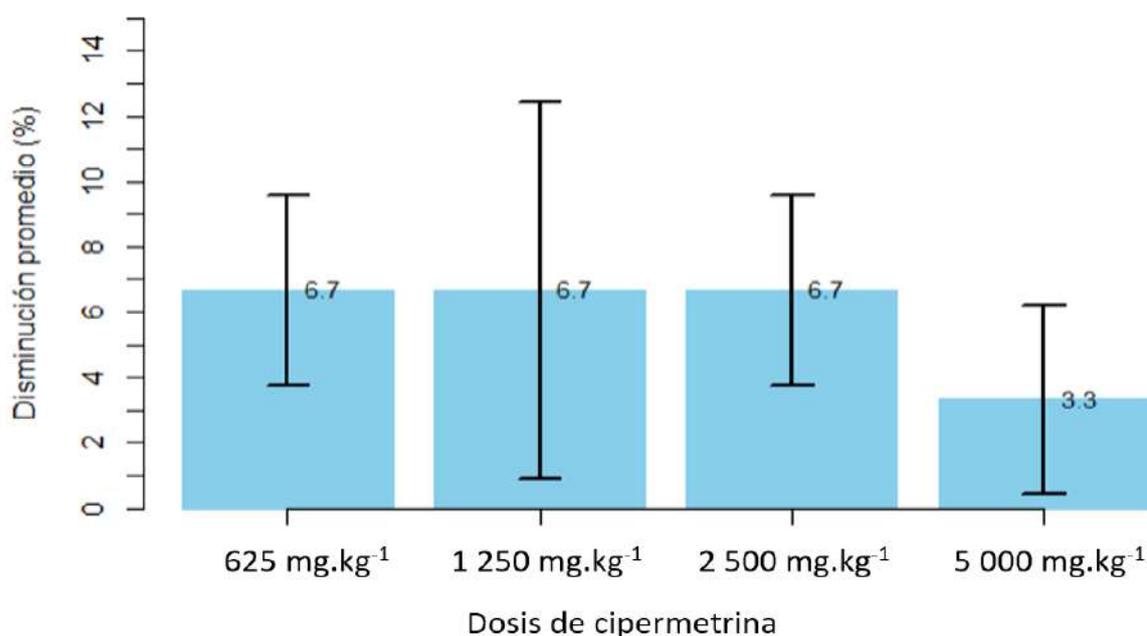


Figura 4. Disminución promedio en el porcentaje de lesionados de *Aptodrilus fuhrmanni* de 7 a 14 días por dosis de cipermetrina. Fuente: Elaboración propia.

Nota: I=conocidas como barras de error, representan la variabilidad de los datos.

En la gráfica de caja y bigotes (Figura 5) se aprecia que en los tratamientos T1 y T3, el 75 % de los datos están distribuidos solamente en el cuartil 2 y 3 (Q2 y Q3), donde la mediana alcanzada es del 5 % y presentan una asimetría positiva. En los tratamientos T2 y T4, el 75 % de los datos están distribuidos solamente en el cuartil 1 y 2 (Q1 y Q2), presentando una asimetría negativa, pero con distinto resultado de la mediana (T2= 10 y T4= 5)

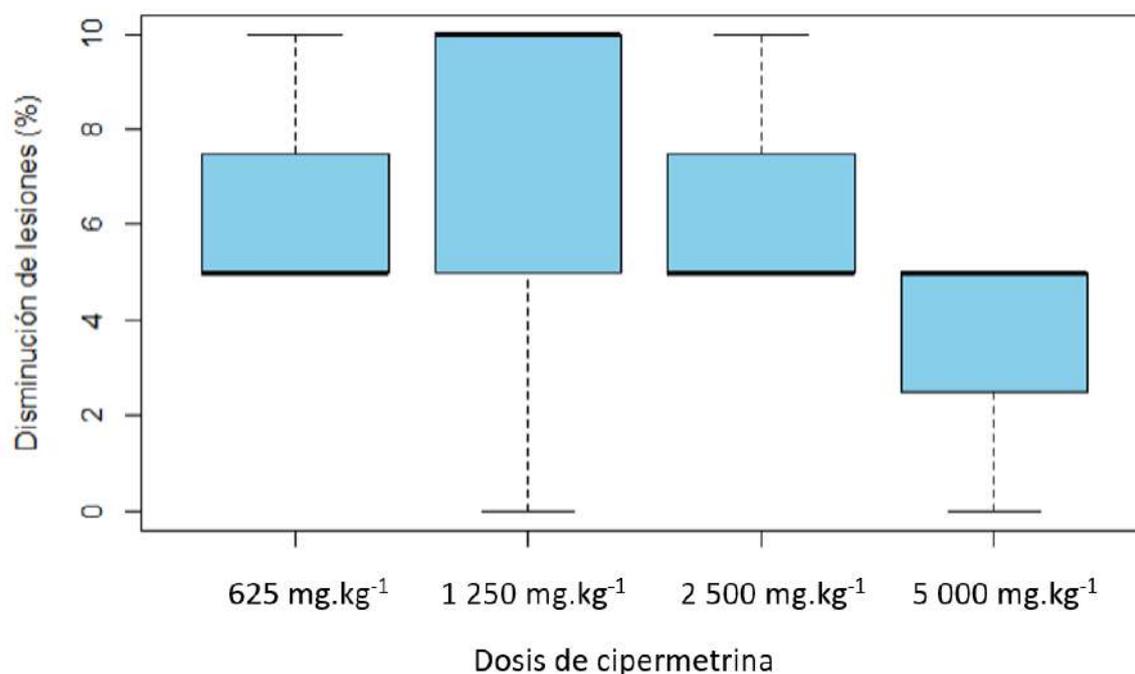


Figura 5. Disminución en el porcentaje de lesionados de *Aptodrilus fuhrmanni* de 7 a 14 días por dosis de cipermetrina. Fuente: Elaboración propia.

Nota: Un boxplot representa la dispersión de los datos, además detecta datos atípicos.

➤ Prueba de normalidad (Shapiro – Wilk)

Los resultados de la Tabla 7 indican que los datos sobre la disminución en el porcentaje de lesionados de *Aptodrilus fuhrmanni* no se aproximan a una distribución normal, ya que el nivel de significancia es de 0,015 ($p < 0,05$); supuesto que se requiere para el uso del análisis de varianza (ANOVA) paramétrico; como no se cumple, se va a utilizar un ANOVA no paramétrico (Kruskal-Wallis) que compara las medianas.

Tabla 7

Prueba de normalidad sobre la disminución en el porcentaje de lesionados de *Aptodrilus fuhrmanni* de 7 a 14 días por dosis de Cipermetrina

Variable	Prueba de normalidad Shapiro - Wilk		
	Estadístico	Grados de libertad	Significancia
Lesiones de Lombriz	0,818	12	0,015

Nota: La prueba de normalidad plantea que los datos proceden de una distribución normal, como hipótesis nula. Fuente: Elaboración propia.

➤ **Prueba de homogeneidad de varianzas (Levene)**

Otro supuesto que deben de cumplir los datos para el uso del ANOVA paramétrico es el de homogeneidad de varianzas. En la Tabla 8 se muestra que los datos sobre el porcentaje de lesiones de *Aptodrilus fuhrmanni* de 7 a 14 días presenta varianzas iguales estadísticamente ($p > 0,05$); es decir, el nivel de significancia es 0,931.

Tabla 8

Prueba de homogeneidad sobre la disminución en el porcentaje de lesionados de Aptodrilus fuhrmanni de 7 a 14 días por dosis de Cipermetrina

Prueba de Homogeneidad de Varianza			
Estadístico de Levene	gl1	gl2	Significancia
0,143	3	8	0,931

Nota: La prueba de homogeneidad plantea que los datos presentan la misma varianza en cada grupo, como hipótesis nula. gl= grados de libertad. *Fuente:* Elaboración propia.

➤ **Análisis de varianza no paramétrico (Kruskal – Wallis)**

La Tabla 9 muestra que la disminución mediana de lesionados de *Aptodrilus fuhrmanni* es no significativa ($p > 0,05$) del día 7 al 14, es decir, la disminución de lesionados no es significativamente relevante en ese periodo de tiempo.

Tabla 9

Análisis de varianza (ANOVA) sobre la disminución en el porcentaje de lesionados de Aptodrilus fuhrmanni de 7 a 14 días por dosis de cipermetrina

Kruskal – Wallis Prueba de suma de rangos		
Kruskal - Wallis Chi-cuadrado	gl	Significancia
0,83394	3	0,8413

Nota: El ANOVA a través de Kruskal-Wallis, plantea que la mediana es igual en cada grupo; como hipótesis nula. Prueba no paramétrica que se usa cuando no se cumple el supuesto de normalidad. gl= grados de libertad. *Fuente:* Elaboración propia.

Apéndice 6. Evaluaciones estadísticas de las pruebas de evasión

➤ Estadísticos descriptivos para la variable evasión

En la Tabla 1 se aprecia que un ligero incremento del porcentaje de evasión de *Aptodrilus fuhrmanni* entre las concentraciones 625 y 1 250 mg.kg⁻¹, que resultó en 23,3 %, y las concentraciones 2 500 y 5 000 mg.kg⁻¹, cuyo porcentaje obtenido fue de 33,3 %. En cuanto a la variabilidad, las dos últimas concentraciones fueron las más altas (Figura 1). El experimento consistió en cuatro dosis diferentes a base de cipermetrina para la evaluación de la evasión de *Aptodrilus fuhrmanni*.

Tabla 1

Estadísticos descriptivos del porcentaje de evasión de Aptodrilus fuhrmanni por dosis de cipermetrina

Dosis	Repeticiones	Media (%)	Desviación Estándar (%)	Valor mínimo (%)	Valor máx (%)
625 mg.kg ⁻¹	3	23,3	25,17	0	50
1 250 mg.kg ⁻¹	3	23,3	15,28	10	40
2 500 mg.kg ⁻¹	3	33,3	11,55	20	40
5 000 mg.kg ⁻¹	3	33,3	25,17	10	60

Fuente: Elaboración propia.

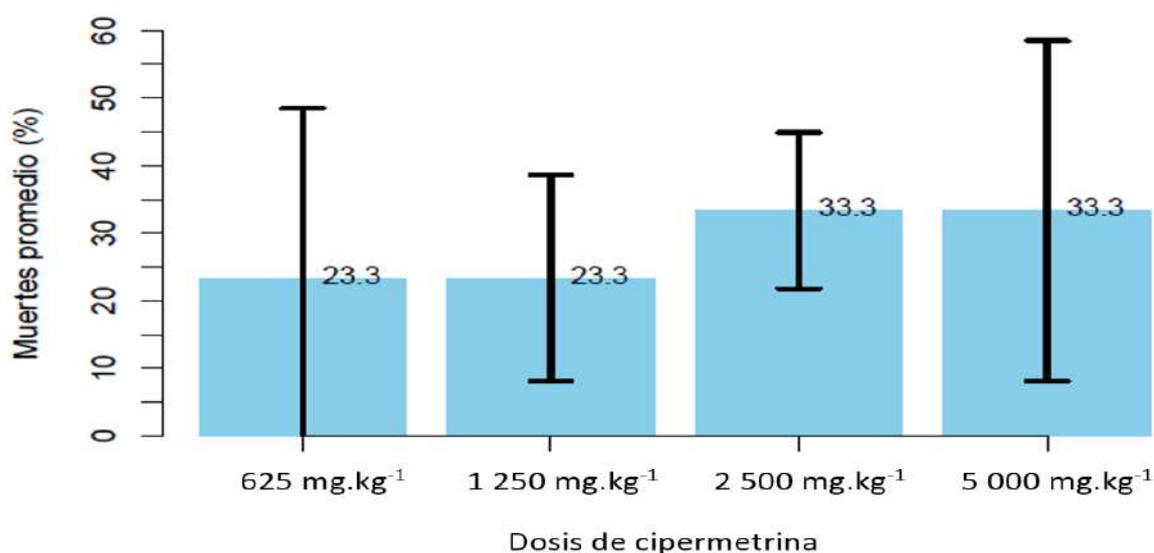


Figura 1. Porcentaje promedio de evasión de *Aptodrilus fuhrmanni* por dosis de cipermetrina. Fuente: Elaboración propia.

Nota: I=conocidas como barras de error, representan la variabilidad de los datos.

En el gráfico de caja y bigotes (Figura 2) se observa que en los tratamientos T1 y T4, los porcentajes están más dispersos y presentan una asimetría positiva, ya que la media se aproxima más hacia el cuartil 1 (Q1); a diferencia del tratamiento T2 que presenta menor variabilidad ya que los datos tienen menor dispersión, con una asimetría positiva. En el tratamiento 3 (T3 =2 500 mg.kg⁻¹) la mediana es mayor que en los demás tratamientos con un 40 % de evasión, donde además presenta una distribución asimétrica negativa.

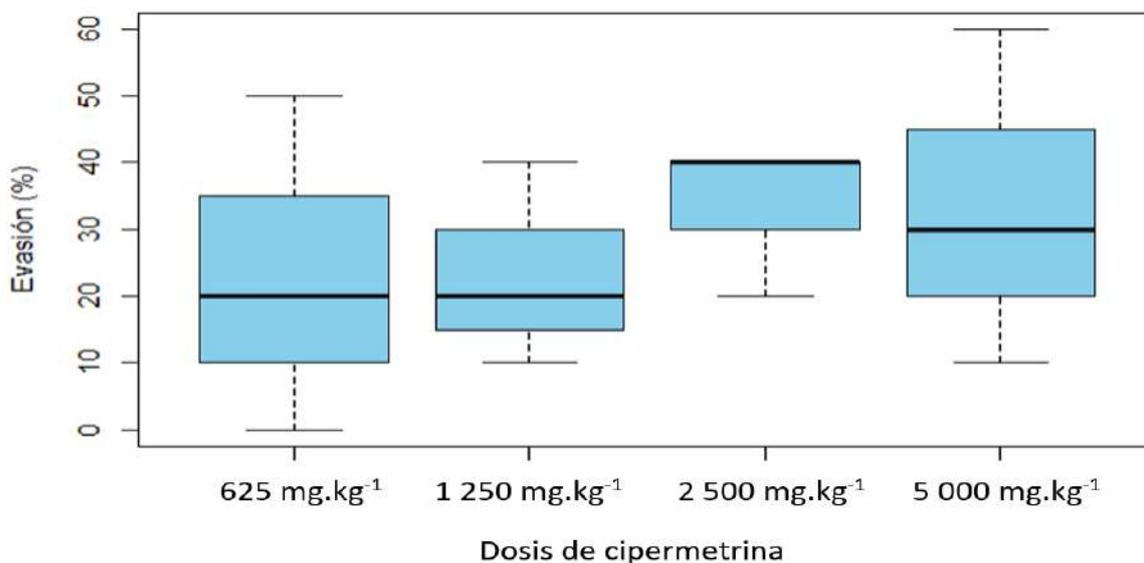


Figura 2. Porcentaje de evasión de *Aptodrilus fuhrmanni* por dosis de cipermetrina.

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Un boxplot representa la dispersión de los datos, además detecta datos atípicos.

➤ Prueba de normalidad (Shapiro – Wilk)

Los resultados de la Tabla 2 indican que los datos sobre el porcentaje de evasión de *Aptodrilus fuhrmanni* se aproximan a una distribución normal ($p > 0,05$), ya que el nivel de significancia obtenido es de 0,784, supuesto que se requiere para el uso del análisis de varianza (ANOVA) paramétrico.

Tabla 2

Prueba de normalidad sobre la evasión de *Aptodrilus fuhrmanni* por dosis de Cipermetrina

Variable	Prueba de normalidad Shapiro - Wilk		
	Estadístico	Grados de libertad	Significancia
Evasión de Lombriz	0,960	12	0,784

Nota: La prueba de normalidad plantea que los datos proceden de una distribución normal, como hipótesis nula. Fuente: Elaboración propia.

➤ **Prueba de homogeneidad de varianzas (Levene)**

Otro supuesto que deben de cumplir los datos para el uso del ANOVA paramétrico es el de homogeneidad de varianzas. En la Tabla 3 se muestra que los datos sobre el porcentaje de evasión de *Aptodrilus fuhrmanni* presentan varianzas iguales estadísticamente ($p > 0,05$); es decir, el nivel de significancia es 0,599.

Tabla 3

Prueba de homogeneidad sobre la evasión de Aptodrilus fuhrmanni por dosis de Cipermetrina

Prueba de Homogeneidad de Varianza			
Estadístico de Levene	gl1	gl2	Significancia
0,660	3	8	0,599

Nota: La prueba de homogeneidad plantea que los datos presentan la misma varianza en cada grupo, como hipótesis nula. *Fuente:* Elaboración propia.

➤ **Análisis de varianza (ANOVA)**

Según los resultados de la Tabla 4, el porcentaje de evasión promedio de *Aptodrilus fuhrmanni* son iguales ($p > 0,05$); es decir, el nivel de significancia es 0,863, por lo tanto, se acepta la hipótesis nula. Esto implica que no existe un efecto significativo de la cipermetrina sobre la evasión de *Aptodrilus fuhrmanni*.

Tabla 4

Análisis de varianza (ANOVA) sobre la evasión de Aptodrilus fuhrmanni por dosis de Cipermetrina

ANOVA de un factor					
Variable dependiente: Evasión de Lombriz					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Significancia
Inter-grupos	300	3	2 024,30	0,245	0,863
Intra-grupos	3 266,67	8	408,33		
Total	3 566,67	11			

Nota: El ANOVA plantea que el promedio es igual en cada grupo, como hipótesis nula. gl= grados de libertad. *Fuente:* Elaboración propia.

Apéndice 7. Imágenes de *Aptodrilus fuhrmanni* muertas en las pruebas de toxicidad aguda







Apéndice 8. Imágenes de *Aptodrilus fuhrmanni* lesionadas en las pruebas de toxicidad







