



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA ACADÉMICO DE BIOLOGÍA



TESIS

**Eficiencia de cuatro consorcios de bacterias intestinales de larvas de
Hermetia illucens en la remoción de endosulfán en suelo contaminado**

Para optar el Título profesional de Licenciada en
Ciencias Biológicas - Biología

Autor:

Bach. Panta Carrasco Karla Victoria

Asesora:

Dra. Carreño Farfán Carmen Rosa

Co-asesora:

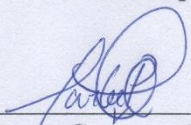
Lic. Sánchez Purihuamán Marilín Nicoll

LAMBAYEQUE, PERÚ

2026

Eficiencia de cuatro consorcios de bacterias intestinales de larvas de
Hermetia illucens en la remoción de endosulfán en suelo contaminado

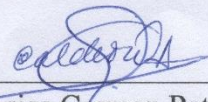
Presentado por:


Bach. Panta Carrasco Karla Victoria
Autor

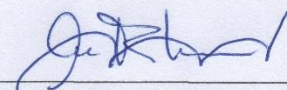
Para optar el Título profesional de Licenciada en
Ciencias Biológicas - Biología general

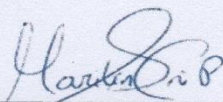
Aprobado por:


Dr. Villanueva Aguilar Carlos Eduardo
Presidente


Dra. Calderón Arias Carmen Patricia
Secretaria


MSc. Velásquez Carol Juan Miguel
Vocal


Dra. Carreño Farfán Carmen Rosa
Asesora


Lic. Sánchez Purihuamán Marilín Nicoll
Co-Asesora

ACTA DE SUSTENTACIÓN



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 59-2026 / FCCBB-UI

Siendo las 11:00 horas del día 07 de octubre de 2026, en la Sala de Sesiones - Sustentaciones de la Facultad de Ciencias Biológicas se reunieron los miembros del Jurado designado mediante **Resolución N° 213-2025-FCCBB/D de fecha 26 de mayo de 2025 y aprobado mediante Resolución N° 411-2025-FCCBB/D de fecha 27 de agosto de 2025**, conformado por:

Dr. Carlos Eduardo Villanueva Aguilar- Presidente
Dra. Carmen Patricia Calderón Arias- Secretaria
Mg. Juan Miguel Velásquez Caro- Vocal
Dra. Carmen Rosa Carreño Farfán- Asesora

con la finalidad de evaluar la sustentación de tesis titulada: **Eficiencia de cuatro consorcios de bacterias intestinales de larvas de *Hermetia illucens* en la remoción de endosulfán en suelo contaminado**, presentado por la Bachiller **KARLA VICTORIA PANTA CARRASCO**.

Sustentación autorizada mediante **RESOLUCIÓN N°334-2026-FCCBB-D Lambayeque, 05 de octubre de 2026** la misma que tuvo una duración de 30 minutos y luego de absueltas las preguntas y observaciones de los miembros del jurado; se procedió a la calificación respectiva, obteniendo 19 puntos que equivale al calificativo de Muy Bueno.

Por lo que la sustentante queda **APTA** para obtener el Título Profesional de **Licenciada en Ciencias Biológicas – Biología** de acuerdo con la Ley Universitaria 30220 y la normatividad vigente de la Facultad de Ciencias Biológicas y la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Siendo las 12:00pm horas se dio por concluido el presente acto académico, dándose conformidad al presente acto, con la firma de los miembros del jurado.

Dr. Carlos Eduardo Villanueva Aguilar
Presidente

Dra. Carmen Patricia Calderón Arias
Secretaria

Mg. Juan Miguel Velásquez Caro
Vocal

Dra. Carmen Rosa Carreño Farfán
Asesora

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo, Dra. Carmen Rosa Carreño Farfán, usuario revisor del informe de tesis titulado: Eficiencia de cuatro consorcios de bacterias intestinales de larvas de *Hermetia illucens* en la remoción de endosulfán en suelo contaminado, Cuyo autor es, Bach. Karla Victoria Panta Carrasco con DNI: 75223222; declaro que la evaluación realizada por el Programa informático, ha arrojado un porcentaje de similitud de 10 %, verificable en el Resumen de Reporte automatizado de similitudes que se acompaña.

El suscrito analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas dentro del porcentaje de similitud permitido no constituyen plagio y que el documento cumple con la integridad científica y con las normas para el uso de citas y referencias establecida en los protocolos respectivos. Se cumple con adjuntar el Recibo Digital a efecto de la trazabilidad respectiva del proceso.

Lambayeque, 05 de agosto del 2026



Dra. Carreño Farfán Carmen Rosa
Asesora
DNI: 16494424

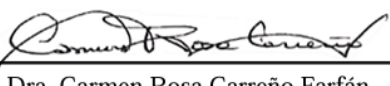
Eficiencia de cuatro consorcios de bacterias intestinales de larvas de *Hermetia illucens* en la remoción de endosulfán en suelo contaminado

INFORME DE ORIGINALIDAD

10%	10%	2%	2%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	5%
2	repositorio.unprg.edu.pe Fuente de Internet	3%
3	www.revista.unam.mx Fuente de Internet	<1%
4	docs.rs Fuente de Internet	<1%
5	worldwidescience.org Fuente de Internet	<1%
6	stacks.cdc.gov Fuente de Internet	<1%
7	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1%
8	Josep-Maria Sirvent, Loreto Vidaur, María García, Patricia Ortiz, Jordi de Batlle, Montserrat Motjé, Alfons Bonet. "Colonization of the medial lumen is a risk factor for catheter-related bloodstream infection", Intensive Care Medicine, 2006 Publicación	<1%
9	Submitted to Universidad del Valle de Guatemala Trabajo del estudiante	<1%
10	L. F. Capitán-Vallvey, C. Cano-Raya, C. Esparza del Valle, M. D. Fernández Ramos et al. "A MULTILAYER OPTICAL TEST STRIP FOR COPPER DETERMINATION IN HUMAN PLASMA", Analytical Letters, 2002 Publicación	<1%


 Dra. Carmen Rosa Carreño Farfán
 DNI: 16494424
 ASESORA

11	1library.co Fuente de Internet	<1 %
12	repository.javeriana.edu.co Fuente de Internet	<1 %
13	sistema.atenaeditora.com.br Fuente de Internet	<1 %
14	www.tdx.cat Fuente de Internet	<1 %
15	Jorge Poveda Arias. "The microorganisms associated with insects and their application in agriculture", Revista Digital Universitaria, 2019 Publicación	<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 15 words

Excluir bibliografía

Activo



Dra. Carmen Rosa Carreño Farfán
DNI: 16494424
ASESORA



Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Karla Victoria Panta Carrasco
 Título del ejercicio: Quick Submit
 Título de la entrega: Eficiencia de cuatro consorcios de bacterias intestinales de larvas de *Hermetia illucens* en la remoción de endotoxinas en suelo contaminado
 Nombre del archivo: Karla_Panta_Carrasco_Tesis_para_turnitin.pdf
 Tamaño del archivo: 1.92M
 Total páginas: 53
 Total de palabras: 13,804
 Total de caracteres: 71,247
 Fecha de entrega: 18-jun-2026 11:22a. m. (UTC-0500)
 Identificador de la entrega: 2985600013



Derechos de autor 2026 Turnitin. Todos los derechos reservados.


 Dra. Carmen Rosa Carreño Farfán
 DNI: 16494424
 ASESORA

DEDICATORIA

A Dios, Por acompañarme en cada paso que doy y permitirme estar cumpliendo una de mis metas. Gracias por enseñarme a ser paciente y perseverante, por demostrarme que tus tiempos son perfectos y que cada prueba tuvo su propósito. Hoy comprendo que este logro no habría sido posible sin tu amor y tu infinita misericordia.

A mi madre, Luz Maribel, por ser mi apoyo incondicional en mi vida, gracias por todo el amor, los sacrificios y esfuerzos que has hechos por nosotros. De ti aprendí a ser valiente, perseverante y luchadora ante las adversidades. Te admiro profundamente y me siento muy orgullosa de ser tu hija, Te amo mucho Mami.

A mi padre, Carlos Edgardo, por acompañarme a lo largo de mi vida y por el esfuerzo constante que has realizado para salir adelante junto a nuestra familia. Gracias por todo el apoyo que nos has brindado, a que hoy pueda cumplir este sueño. Este logro también es fruto de tu trabajo y dedicación.

A mis hermanos, Carlos Andres y Edu, gracias por acompañarme a lo largo de este camino y por ser mis compañeros. Gracias por sus palabras de aliento, por su apoyo y por estar siempre a mi lado. Su cariño y compañía ha sido una fuente de fortaleza para seguir adelante.

A mi abuelito, Jacinto Panta, por el amor que siempre has demostrado a nuestra familia y por el apoyo emocional que me has brindado a lo largo de mi vida. Gracias por creer siempre en mí, por mirarme con admiración y siempre sentirte orgulloso de tu nieta. Tus palabras, tu cariño y tu confianza han sido una fuente de motivación para seguir adelante. Este logro también es tuyo.

A mi familia gatuna, Niebla, Chicorita, Bella, Salomé, Sherpier, Copito; mi Nieblita, quien llegó a mi vida durante mi etapa universitaria y se convirtió en mi compañera de cada madrugada de estudio, ella no se iba a dormir hasta que yo también lo hiciera, acompañándome silenciosamente en cada desvelo, ese amor y esa compañía también se reflejaron en sus hijitos, mis bebés, quienes llenaron mi vida de alegría junto con sus hermanitos, Sherpier y Copito, que desde donde estén siempre vivirán en mi corazón. A mis pequeñas, gracias por estar presentes en cada desvelo, en cada emoción y en cada momento importante. Su amor incondicional, expresado sin palabras, ha llenado de alegría nuestro hogar y ha sido un refugio en los días difíciles. Las amaré por siempre.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por su guía divina, por no desampararme en los días grises, por ayudarme y utilizar de instrumento a personas que me ayudaron en este proceso.

A mis padres, por ser el pilar fundamental que hizo posible la culminación de esta tesis. Gracias papitos por su amor, paciencia y apoyo incondicional durante todo este proceso. Les agradezco profundamente por acompañarme en la crianza de nuestra "avispa", por ayudarme a construir las jaulas y por compartir conmigo cada desafío que implicó mantener la crianza para experimento. Este logro también es fruto de su esfuerzo y dedicación.

A mis hermanos, Carlos Andres, gracias por acompañarme en las jornadas de laboratorio y en las instalaciones del área experimental. Gracias por tu ayuda, por las risas, por motivarme y por hacer realidad mi tesis. Edu, gracias por tu apoyo durante la etapa experimental, por ayudarme a contar y medir las semillas y por estar siempre dispuesto a colaborar, aun cuando todos estábamos cansados.

A mi Asesora, Dra. Carmen Carreño Farfán, por su compromiso, dedicación y valiosa orientación durante el desarrollo de esta tesis. Gracias por cada una de sus enseñanzas, por sus observaciones y correcciones, y por compartir conmigo sus conocimientos en microbiología, los cuales fueron fundamentales para la realización de esta investigación. Le agradezco profundamente por su tiempo y la disposición que siempre me brindó para guiar este trabajo. Su exigencia, experiencia y compromiso fueron esenciales para que esta tesis pueda servir como base y de aporte para futuras investigaciones.

A mi profesora, Dra. Carmen Patricia Calderón Arias, muchas gracias por el cariño, la dedicación y la pasión con la que nos compartió sus conocimientos en cada clase. Gracias por cada salida de campo, que despertó en mí un profundo amor por la naturaleza y por los insectos. Le agradezco profundamente por haber contribuido en mi formación académica y por cada uno de sus consejos de vida. Asimismo, le agradezco por haberme apoyado durante la crianza de *Hermetia illucens*, un proceso que representó un gran desafío, pero que, gracias al esfuerzo y la perseverancia, nos permitió obtener resultados muy favorables. Gracias por inspirarme, por confiar en mí y por ser parte fundamental de mi formación como bióloga.

Al Lic. Alex Díaz, del área de Botánica, por haberme brindado todas las facilidades para utilizar el estereoscopio digital y permitirme observar de cerca los ciclos biológicos de *Hermetia illucens*. Fue una experiencia fascinante y emocionante apreciar cada una de sus etapas de desarrollo y observar y medir las estructuras tan diminutas que resultan imposibles de distinguir a simple vista. Gracias por su apoyo y disposición durante esta parte de la investigación.

Agradezco también al área de Microbiología por haberme brindado el espacio necesario para realizar mi experimental, a los señores del servicio técnico, muchas gracias por haberme dado la mano con esterilizaciones y facilidades de ambientes.

Finalmente, expreso mi más sincero agradecimiento a todas las personas que fueron parte de esta investigación y que de manera directa o indirecta contribuyeron con mi investigación. Su apoyo, confianza y colaboración fueron fundamentales para alcanzar este logro. Estaré infinitamente agradecida con cada uno de ustedes.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT	xv
INTRODUCCIÓN	16
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO	18
1.1. Antecedentes	18
1.2. Base teórica.....	22
1.3. Bases Conceptuales (Operacionalización de variables).....	29
CAPÍTULO II. DISEÑO METODOLÓGICO	30
2.1 Tipo de investigación.....	30
2.2 Diseño de contrastación de la hipótesis.....	30
2.3 Población, muestra.....	39
2.4 Técnica, instrumento, equipos y materiales	39
2.4.1 Técnica	39
2.4.2. Instrumento	40
2.4.3. Equipos.....	40
2.4.4. Materiales	40
CAPÍTULO III. RESULTADOS.....	41
CAPITULO IV. DISCUSIÓN.....	63
CAPITULO V. CONCLUSIONES.....	67
CAPITULO VI. RECOMENDACIONES	68
REFERENCIAS.....	69
ANEXOS.....	79

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de variables	29
Tabla 2 Estadios diferenciados durante el ciclo de vida de <i>H. illucens</i> en una crianza masiva, Lambayeque 2025.....	42
Tabla 3 Características de morfotipos de colonias de bacterias intestinales enriquecidas con endosulfán, por 28 días, Lambayeque 2025.....	49
Tabla 4 Morfotipos de colonias bacterianas según larvas de <i>H. illucens</i> de procedencia, Lambayeque 2025.....	50
Tabla 5 Frecuencia de morfotipos de colonias bacterianas aisladas del intestino de larvas de <i>H. illucens</i> , Lambayeque 2025.....	51
Tabla 6 Rango de la densidad óptica del medio sales minerales suplementado con endosulfán cultivado con bacterias intestinales de <i>H. illucens</i> , Lambayeque 2025.....	53
Tabla 7 Densidad óptica del medio sales minerales con endosulfán cultivado con bacterias intestinales de <i>H. illucens</i> seleccionadas, Lambayeque, 2025.....	53
Tabla 8 Características fenotípicas diferenciales de los géneros identificados en las bacterias tolerantes al endosulfán seleccionados, Lambayeque 2025.....	55
Tabla 9 Consorcios bacterianos formulados con las bacterias degradadoras de endosulfán seleccionadas.....	56
Tabla 10 Nivel de toxicidad del suelo contaminado con endosulfán y biorremediado durante 0 – 12 días con consorcios bacterianos.....	60
Tabla 11 Nivel de toxicidad del suelo contaminado con endosulfán y biorremediado durante 15 – 27 días con consorcios bacterianos.....	61
Tabla 12 Eficiencia de remoción de endosulfán en suelo por consorcios de bacterias intestinales de larvas de <i>H. illucens</i>	62

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Bolsita de malla milimétrica de tul (a) y recipiente de crianza de larvas de <i>H. illucens</i> cubierto con una malla de tul (b), Lambayeque 2025.....	32
Figura 2 Recipiente de crianza con larvas de <i>H. illucens</i> del estadio pre - pupa, Lambayeque 2025.....	32
Figura 3 Jaula de crianza (a) y acondicionamiento para la oviposición del estadio adulto de <i>H. illucens</i> (b), Lambayeque 2025.....	33
Figura 4 Cosecha de posturas de <i>H. illucens</i> , Lambayeque 2025.....	33
Figura 5 Suelo experimental acondicionado en macetas en el invernadero, Lambayeque 2025.....	37
Figura 6 Inóculos bacterianos con concentración celular estandarizada con el nefelómetro de Mcfarland, Lambayeque 2025.	37
Figura 7 Suelo contaminado con endosulfán, bacterias y consorcios bacterianos acondicionado para el ensayo de fitotoxicidad, Lambayeque 2025.....	38
Figura 8 Posturas de <i>H. illucens</i> vistas al estereoscopio (400 X), Lambayeque 2025.	42
Figura 9 Larvas en fase neonato de <i>H. illucens</i> vistas al estereoscopio (400 X), Lambayeque 2025.....	43
Figura 10 Larva del estadio 1 de <i>H. illucens</i> vistas al estereoscopio (400 X), Lambayeque 2025.....	43
Figura 11 Larvas del estadio 2 de <i>H. illucens</i> vistas al estereoscopio (400 X), Lambayeque 2025.....	44
Figura 12 Larvas del estadio 3 de <i>H. illucens</i> vistas al estereoscopio (400 X), Lambayeque 2025.....	44
Figura 13 Larvas del estadio 4 de <i>H. illucens</i> vistas al estereoscopio (400 X), Lambayeque 2025.....	45
Figura 14 Larvas del estadio 5 de <i>H. illucens</i> vistas al estereoscopio (400 X), Lambayeque 2025.....	45
Figura 15 Observación directa de pre – pupa de <i>H. illucens</i> , Lambayeque 2025.	46
Figura 16 Observación directa de pupa de <i>H. illucens</i> , Lambayeque 2025.....	46
Figura 17 Observación microscópica (40 X) de morfotipos de colonias de bacterias aisladas del intestino de larvas de <i>H. illucens</i> , Lambayeque 2025.....	48
Figura 18 Porcentaje de bacterias intestinales de <i>H. illucens</i> tolerantes a diferentes concentraciones de endosulfán, Lambayeque2025.....	51

Figura 19 Bacterias intestinales de larvas de <i>H. illucens</i> cultivadas en medio sales minerales con 10 mg L ⁻¹ (a); 15 mg L ⁻¹ (b); 20 mg L ⁻¹ (c); 25 mg L ⁻¹ (d); 30 mg L ⁻¹ (e); 35 mg L ⁻¹ (f) y 40 mg L ⁻¹ (g) del insecticida, Lambayeque 2025.	52
Figura 20 Número de semillas de <i>R. sativus</i> L. germinados en suelo experimental colectado a las 0 – 27 días después de la aplicación de endosulfán, bacterias y consorcios bacterianos. ...	57
Figura 21 Longitud radicular de semillas de <i>R. sativus</i> L. germinados en suelo experimental a los 0 - 27 días después de la aplicación de endosulfán, bacterias y consorcios bacterianos. ..	59

RESUMEN

Los pesticidas son utilizados para controlar o eliminar los insectos- plaga, sin embargo; el 0,1 % del producto alcanza el organismo objetivo; el 30 - 50 % se deposita en el suelo durante la aspersión y 30 - 50 % permanece en el aire, contaminando el ambiente y los alimentos. El objetivo de la investigación fue: Determinar la eficiencia de cuatro consorcios de bacterias intestinales de larvas de *Hermetia illucens* en la remoción de endosulfán en suelo contaminado. Se describió el ciclo de vida de *H. illucens* en una crianza masiva, se diferenciaron a nivel morfológico las bacterias tolerantes al endosulfán, aislados del intestino de las larvas, con tolerancia al endosulfán y potencial para la degradación del insecticida; se seleccionaron las bacterias según el crecimiento en el insecticida como fuente de carbono; se identificó a nivel fenotípico el género de cuatro bacterias seleccionadas y se comparó la eficiencia de cuatro consorcios de bacterias intestinales en la remoción del insecticida. En el ciclo de vida de *H. illucens* durante 64 – 66 días se identificaron los estadios de postura, larva (L1 - L5), pre – pupa, pupa y adulto. Se diferenciaron bacterias Gram positivas (13,95 %) y Gram negativas (86,05 %), con potencial para la degradación. Entre las bacterias tolerantes (40 mg L⁻¹) se seleccionaron los aislamientos 80, 71, 60, 43 con los mayores valores de densidad óptica (4, 994 – 5, 284) y se identificaron los géneros *Pseudomonas* (80, 71), *Klebsiella* (60) y *Enterobacter* (43). La eficiencia en la remoción de endosulfán en suelo contaminado fue mayor con los consorcios bacterianos 1 (*Pseudomonas* sp. 80 + *Pseudomonas* sp. 71 + *Klebsiella* sp. 60) y 3 (*Klebsiella* sp. 60 + *Enterobacter* sp. 43 + *Pseudomonas* sp. 80) con los que se alcanzó un nivel bajo de fitotoxicidad después de 6 días con una eficiencia de la remoción de 64 y 60 % respectivamente y se determinó la eficiencia en la remoción del insecticida.

Palabras claves: Remediación, endosulfán, *Hermetia illucens*, bacterias intestinales.

ABSTRACT

Pesticides are used to control or eliminate insect pests; however, only 0.1% of the product reaches the target organism, 30 - 50% is deposited in the soil during spraying, and 30 - 50% remains in the air, contaminating the environment and food. The objective of this research was to determine the efficiency of four consortia of gut bacteria from *Hermetia illucens* larvae in removing endosulfan from contaminated soil. The life cycle of *H. illucens* was described in a mass rearing system. Endosulfan-tolerant bacteria isolated from the larval gut were morphologically differentiated, exhibiting both endosulfan tolerance and the potential for insecticide degradation. Bacteria were selected based on their growth in the insecticide as a carbon source. The genera of four selected bacteria were phenotypically identified, and the efficiency of the four gut bacterial consortia in insecticide removal was compared. During the 64–66 day life cycle of *H. illucens*, the egg-laying, larval (L1 – L5), pre-pupal, pupal, and adult stages were identified. Gram-positive (13,95%) and Gram-negative (86,05%) bacteria with degradation potential were differentiated. Among the tolerant bacteria (40 mg L⁻¹), isolates 80, 71, 60, and 43 with the highest optical density values (4.994–5.284) were selected, and the genera *Pseudomonas* (80, 71), *Klebsiella* (60), and *Enterobacter* (43) were identified. The efficiency of endosulfan removal from contaminated soil was highest with bacterial consortia 1 (*Pseudomonas* sp. 80 + *Pseudomonas* sp. 71 + *Klebsiella* sp. 60) and 3 (*Klebsiella* sp. 60 + *Enterobacter* sp. 43 + *Pseudomonas* sp. 80), which achieved a low level of phytotoxicity after 6 days with removal efficiencies of 64% and 60%, respectively. The insecticide removal efficiency was also determined.

Keywords: Remediation, endosulfan, *Hermetia illucens*, gut bacteria.

INTRODUCCIÓN

Los pesticidas son sustancias químicas utilizadas para controlar, prevenir o eliminar alguna “plaga”. El 33 % de los pesticidas aplicados son insecticidas, el 40 % herbicidas, el 10 % fungicidas y 17 % incluyen varias categorías (Glinski et al., 2018). La producción global de pesticidas se incrementó en 11 % desde 0,2 millones de toneladas (MT) en 1 950 a más de 5 MT en el 2 000 (Carvalho, 2017) y fue de 4 088 Gg año⁻¹ en el 2016 (Fahmy et al., 2022). El 85 % de los pesticidas se aplican en la agricultura y el resto en programas de salud para controlar vectores de patógenos (Kim et al., 2017). En el 2022 en el mundo se aplicaron más de 2,7 MT de pesticidas en los suelos agrícolas (FAO, 2022). Se ha determinado que el 30 - 50 % del pesticida se deposita en el suelo durante el proceso de aspersión (Kashyap et al., 2024); 30 - 50 % permanece en el aire (Boonupara et al., 2023); el 0,1 % del producto alcanza el organismo objetivo y el resto contamina el ambiente y los alimentos (Balakrishnan et al., 2025). Los pesticidas impactan el aire (Tames et al., 2020), suelo (Bhandari et al., 2020) y agua (López et al., 2024), a través de los procesos de lixiviación, flujo, percolación y pulverización (Nsibande y Forbes, 2016).

Los insecticidas son clasificados en organoclorados, organofosforados, piretroides, carbamatos, triazinas y azoles (Dhakal et al., 2025; Tudi et al., 2022). Los organoclorados como el DDT fueron los primeros insecticidas utilizados y debido a su elevada persistencia y fácil diseminación fueron reemplazados por los organofosforados y carbamatos (Goff & Giraudo, 2019); sin embargo, los residuos de los organoclorados se encuentran en lugares donde ya no son aplicados (Hou et al., 2026; Sharma et al., 2022) y debido a su baja solubilidad y lipofilidad permanecen sin desintegrarse en el tejido adiposo (Tawar et al., 2022), pasan al feto a través de la placenta y se encuentran en la leche de las madres (Qi et al., 2022). El endosulfán es un organoclorado (6,7,8,9,10,10- hexacloro- 1,5, 5a, 6, 9, 9a- hexahidro- 6,9- metano- 2,3,4 – venzo – dioxatien – 3 – Oksit CAS N° 115- 29- 7) que tiene dos isómeros (alfa endosulfán o isómero I y beta endosulfán o isómero II) en su composición (7:3). Es comercializado como Thiodan, Ciclocian y Parrisulfon, entre otros (Nath et al., 2020). Ambos isómeros y los productos de su degradación son tóxicos, el beta – endosulfán es más persistente y el alfa endosulfán es más volátil y con una rápida tasa de degradación, pero es más tóxico (Bilgin & Sanin, 2020).

El uso del endosulfán (C₉ H₆ O₃ Cl₆ S) ha sido restringido en muchos países desde el 2 010 (Vandenberg et al., 2020); no obstante, todavía es utilizado en los países de desarrollo. Está considerado como un contaminante orgánico persistente debido a su alta toxicidad

(Clase II – World Health Organization, WHO), bioacumulación, residualidad en el suelo y diseminación a grandes distancias. La degradación de este insecticida es muy lenta, con un promedio de 6 años (Qi et al., 2022) y los productos de la degradación inicial son muy tóxicos (Hou et al., 2026; Sharma et al., 2022).

Las larvas de *Hermetia illucens* (Linnaeus, 1758. Diptera: Stratiomyidae) o mosca “soldado negra” nativa de las regiones subtropicales y templadas consumen diversos sustratos orgánicos (Martínez et al., 2024) y los transforman en biomasa y otros productos de interés económico (Caltzontzin et al., 2021). Asimismo, las bacterias intestinales de las larvas de esta mosca pueden degradar plásticos derivados del petróleo (Wang et al., 2024), antibióticos (Liu et al., 2021) y pueden ser utilizadas para la biorremediación (Cao et al., 2024), biotransformación de toxinas (Niermans et al., 2024) y producción de plásticos biodegradables o polihidroxialcanoatos (Martinez-Herrera., 2020). En este contexto, las bacterias del intestino de las larvas de *H. illucens* deben ser caracterizadas en forma aislada y como consorcios microbianos, con la perspectiva de obtener inoculantes para ser utilizados en la aceleración de la degradación del endosulfán.

El problema de la investigación fue: ¿Cuál es la eficiencia de cuatro consorcios de bacterias intestinales de larvas de *Hermetia illucens* en la remoción de endosulfán en suelo contaminado? La hipótesis fue: La eficiencia de los consorcios de bacterias intestinales de larvas de *H. illucens* es mayor de 40 % en la remoción de endosulfán en suelo contaminado.

El objetivo general fue: Determinar la eficiencia de cuatro consorcios de bacterias intestinales de larvas de *H. illucens* en la remoción de endosulfán en suelo contaminado. Los objetivos específicos fueron: Seleccionar a nivel morfológico las bacterias intestinales de larvas de *H. illucens* con tolerancia al endosulfán y potencial para la degradación del insecticida; seleccionar las bacterias degradadoras del endosulfán, según el crecimiento en el insecticida como fuente de carbono; identificar a nivel fenotípico el género de cuatro bacterias degradadoras de endosulfán seleccionadas y comparar la eficiencia de cuatro consorcios de bacterias intestinales formulados para la remoción de endosulfán en suelo contaminado.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

Aborisade et al. (2024) evaluaron el potencial para la degradación del endosulfán en bacterias aisladas del suelo, donde no se aplicó el insecticida recientemente. El suelo se mantuvo con 20 % de humedad, durante 2 semanas, en oscuridad y luego se mezcló con una solución 10 ppm de endosulfán, durante cinco veces, con intervalos de 1 semana. Las bacterias se enriquecieron en medio sales minerales con endosulfán con fuente de carbono, en tres subcultivos, a 27 °C, 100 rpm, en periodos de 1 semana (0,75 y 7,5 mg L⁻¹ endosulfán) y se aislaron en el medio sales minerales agarizado. Las bacterias se consideraron degradadoras de endosulfán por el crecimiento en el medio con 7,5 mg L⁻¹ del insecticida, a 100 rpm y la densidad óptica se determinó cada 3 días, durante 15 días. Se aislaron tres bacterias que desarrollaron en el medio sales minerales con endosulfán como fuente de carbono y alcanzaron los mayores valores en la densidad óptica (600 nm) de 0,51; 0,52 y 0,59 a los 9 días. Las bacterias identificadas como *Achromobacter spanius*, *Pseudomonas alkylphenolica* y *Sphingomonas oligophenolica* se calificaron como degradadoras del endosulfán contaminante del suelo.

Estrada – Gamboa et al. (2023) investigaron la degradación del fungicida clorotalonil y del insecticida clorpirifos por bacterias aisladas de suelos agrícolas. Los microorganismos se enriquecieron en medio mineral con 20 mg L⁻¹ de uno de los insecticidas, a 120 rpm, 30 °C, durante 7 días, por dos veces consecutivas y se aislaron en agar Luria – Bertani. Las bacterias degradadoras de los insecticidas se cultivaron en medio suplementado con uno de los insecticidas a 30 °C, 120 rpm, por 16 días y se determinó la densidad óptica (DO₆₀₀) para comparar la cinética microbiana. Se aislaron dos bacterias en el medio con clorotalonil y una bacteria en el medio con clorpirifos como fuente de carbono, siendo identificadas como *Enterobacter cloacae*, *Ochrobactrum anthropi* y *Stenotrophomonas maltophilia*, respectivamente. Se determinó crecimiento de las bacterias con clorotalonil, con un valor máximo de 0,17 (DO₆₀₀) después de 16 días. Con clorpirifos se observó aumento exponencial desde el día 7 hasta el 14, con un valor máximo de 0,22 (DO₆₀₀) a los 14 días. Se concluyó que *S. maltophilia* presenta potencial para la biorremediación de suelos contaminados con clorpirifos.

Lara - Moreno et al. (2022) estudiaron la biomedicación de suelo contaminado con el herbicida trifluralin (TFL), utilizando las técnicas de bioestimulación (NS), bioaumentación: con un consorcio microbiano (NMC), con siete bacterias aisladas (MMC), con un consorcio

constituido por bacterias calificadas como degradadoras (ABC) y mejoramiento de la biodisponibilidad con ciclodextrina (RAMEB). Los microorganismos se enriquecieron en medio sales minerales con $0,5 \text{ g L}^{-1}$ del herbicida, $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 150 rpm , por 7 días. El ensayo de degradación se realizó en frascos color ámbar en 25 g de suelo previamente autoclavado, al que se le agregaron 10 mL de TFL en acetona y luego 75 g de suelo hasta alcanzar 50 mg Kg^{-1} . Los tratamientos fueron: T1 suelo contaminado + NS; T2 suelo contaminado + NS + RAMEB; T3 suelo contaminado + NS + NT; T4 suelo contaminado + NS + ABC; T5 suelo contaminado + NS + bacterias en forma individual; T6 suelo contaminado + NS + RAMEB + *Arthrobacter aursecus*. La degradación del TFL fue de 34% (T1), 62% (T2), 74% (T3); $2,3 - 55 \%$ con cada una de las siete bacterias y alcanzó 88% con T6, tratamiento considerado como la mejor opción para la biorremediación.

Sakthivel et al. (2022) estudiaron la biodegradación de endosulfán por *Pseudomonas* sp. Las bacterias se aislaron de suelo contaminado con pesticidas y se identificaron a nivel molecular. La degradación del insecticida se evaluó en 100 mL de medio de sales minerales en $10 - 50 \text{ mgL}^{-1}$ endosulfán pH $7,0$; con 10% de inóculo ($108 - 109 \text{ UFC mL}^{-1}$), a 125 rpm , durante 14 días. En la optimización del proceso se estudió el pH ($6,7,8$), temperatura ($25 - 45 \text{ }^{\circ}\text{C}$) y la velocidad de agitación ($100 - 200 \text{ rpm}$). Cada 48 horas se midió la densidad óptica y la concentración del insecticida mediante cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas GC-MS). Se aisló e identificó *Pseudomonas* sp. MSCAS- BT01, cuyo crecimiento y actividad degradativa se establecieron a pH $7,0$. La degradación se incrementó conforme a la concentración del endosulfán, siendo mayor con 40 mg L^{-1} . A los 14 días de incubación, en el espectro no se observaron picos a $195,09 \text{ m/Z}$, evidenciando la degradación del insecticida. Se demostró que *Pseudomonas* sp. MSCAS- BT01 tiene potencial para la biorremediación de suelo contaminado con endosulfán.

Fahmy et al. (2022) estudiaron las condiciones óptimas para la degradación de los pesticidas profenofos (PFS), cipermetrina (CYP), carbofurán (CFN), malatión (MLN), clorantranilipol (CAP) y flubendiamida (FBD) por bacterias aisladas de muestras de suelo, hojas y agua contaminadas con pesticidas. Los microorganismos se enriquecieron en medio sales minerales con 40 mg L^{-1} de los pesticidas, a $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$, a 150 rpm , por 1 semana. El crecimiento bacteriano con los insecticidas como fuente de carbono (50 mg L^{-1}) se evaluó a $25,30,35$ y $40 \text{ }^{\circ}\text{C}$; con un pH de $6, 7, 8$ y 9 ; con $0, 0,5, 2,5$ y $5,0 \%$ Na Cl, durante $3, 7, 11$ y 16 días, a 150 rpm . Asimismo, se cuantificó el dióxido de carbono producido (CAP - FBD), a pH $7,0$; $35 \text{ }^{\circ}\text{C}$; con $0,5 \%$ Na Cl, durante 11 días. Se aislaron e identificaron *Bacillus subtilis*, *B. pumilus*, *B. mojavensis*, *B. paramycoides*, *P. aeruginosa* y *Alcaligenes aquatilis*. Las

condiciones óptimas para la degradación de CAP – FBD correspondieron al pH 7,0; 30 – 35 °C y 0 – 0,5 Na Cl. Las seis bacterias en consorcio alcanzaron 1,553 mg CO₂, durante 16 días, con una eficacia 99,6 %, bajo las condiciones óptimas determinadas.

Pipit et al. (2021) determinaron el efecto de la bioaumentación en la biorremediación de suelo contaminado con endosulfán. Suelo agrícola con pH 7 y con 20 % de humedad se depositó en biorreactores (15 x 10 x 40 cm) en los que se diferenciaron las capas superficial, media y profunda. El suelo se contaminó con endosulfán (2 mg) se inoculó con un consorcio de las bacterias *Bordetella* sp., *Bordetella petrii* y *Achromobacter xylosoxidans* y cada 5 días se colectaron muestras para cuantificar el insecticida y calcular el porcentaje de remoción. Transcurridos 30 días, el 99 % del alfa y beta endosulfán fue removido de la capa más profunda del suelo, donde la población de bacterias superó a la de las otras capas. La tasa de utilización del sustrato (q) en la cepa profunda del suelo fue de 0,0003 – 0,0009 h⁻¹, con una tasa específica de crecimiento (u) de 0,00030 – 0,00154 h⁻¹, valores que permitieron estimar, que utilizando la técnica de lanfarming con el consorcio bacteriano se requieren 457,7 horas o 20 días para degradar 99 % del endosulfán. Se concluyó que la bioaumentación favorece la biorremediación del suelo contaminado.

Wu et al. (2021) estudiaron la degradación del lindano y endosulfán por bacterias aisladas de suelos agrícolas. El enriquecimiento de los microorganismos se realizó en 120 mL⁻¹ de medio sales minerales con 30 g de suelo tamizado y 10 mg L⁻¹ de uno de los insecticidas como fuente de carbono. En el primer enriquecimiento a 30 °C, 150 rpm periódicamente se determinó la remoción y los insecticidas fueron nuevamente adicionados cuando se alcanzaron 2 mg L⁻¹. En el segundo enriquecimiento 45 mL⁻¹ del medio se cultivaron en 120 mL⁻¹ de medio nuevo con 30 mg L⁻¹ del insecticida correspondiente. Se instalaron 20 cultivos de enriquecimiento durante 164 días (primer enriquecimiento) y 84 días (segundo enriquecimiento). En el primer enriquecimiento, la remoción del lindano fue de 40,4 – 67,8 %, la del alfa endosulfán de 62,2 – 90,1 % y la del beta endosulfán de 60 %. En el segundo enriquecimiento la remoción del lindano fue de 69,1 – 73,9 %, del alfa endosulfán de 58,4 – 74,0 % y la del beta endosulfán de 55 %. Predominaron *Rhodanobacter lindaniclasticus* y *Pandoraea thiooxydans*, con potencial para la degradación del lindano y endosulfán.

Zaffar et al. (2021) estudiaron la cinética de la degradación de endosulfán por un cultivo mixto de *Pseudomonas* sp. EN-1, *Enterobacter* sp. TAH y *Stenotrophomonas maltophilia* EN-2. Se determinó la actividad enzimática hidrolítica en el extracto libre de células bacterianas (CFE) y la lectura se realizó en el espectrofotómetro a 245 nm cada 10 minutos. En el ensayo de degradación 0,5 % del inóculo mixto (1:1:1) se cultivó en 25 mL de medio sales

minerales con 5, 25, 50, 75 y 100 mg L⁻¹ de endosulfán como fuente de carbono, a 32 °C, 220 rpm, durante 4 días. Cada 24 horas se determinó la biomasa celular y la concentración de endosulfán mediante gravimetría y GC – MS respectivamente. En el ensayo de la actividad enzimática el 92 % del endosulfán se eliminó después 90 minutos. En el ensayo de degradación 90 % del alfa endosulfán y 95 % del beta endosulfán, se eliminaron después de 96 horas. Asimismo, se identificó el metabolito endodiol, pero no el endosulfán sulfato. En la cinética se obtuvo una μ máxima de 0,9 h⁻¹ y una K_s de 7,9 mg L⁻¹ valores que evidenciaron la rapidez de la degradación por la interacción sinérgica de las bacterias en el consorcio. Se demostró la efectividad del consorcio bacteriano en la degradación del endosulfán.

Zamule et al. (2021) investigaron la degradación de los insecticidas Thiamethoxan (THM) e Imidacloprid (IMI) por *P. putida*, *P. fluorescens*, *P. aeruginosa*, *Alcaligenes faecalis*, *Streptococcus lactis* y *Escherichia coli*. Los tratamientos correspondieron a: control medio mínimo (T1), IMI como fuente de carbono (T2), IMI como fuente de nitrógeno y THM como fuente de carbono (T3) y THM como fuente de nitrógeno. Las bacterias se cultivaron a 30 °C y la densidad óptica (600 nm) se determinó durante 5 días (IMI) y 21 días (THM). La cinética de remoción de THM (70 mg L⁻¹) en medio acuoso se determinó durante 24 días (*Pseudomonas* spp. y *A. faecalis*) y 14 días (*E. coli* y *S. lactis*). Las tres especies de *Pseudomonas* mostraron crecimiento con THM con fuente de carbono y nitrógeno y *P. putida* alcanzó la mayor densidad óptica con THM como fuente de nitrógeno. La reducción de THM fue de 67 % (*P. fluorescens*), 65 % (*P. putida*), 52 % (*P. aeruginosa*), 39 % (*A. faecalis*), 60 % (*E. coli*) y 12 % (*S. lactis*). Se concluyó que estas bacterias tienen potencial para remediación de suelos contaminados con THM.

Nath et al. (2020) investigaron la tolerancia al arsénico y endosulfán en bacterias aisladas en cuerpos de aguas contaminados con el metal pesado y pesticidas. El agua se filtró y alícuotas se sembraron en agar nutritivo con arsenato. Las bacterias aisladas se cultivaron en agar nutritivo con 2 - 10 mg mL⁻¹ arsenato, a 37 °C por 24 horas y se determinó la concentración mínima inhibitoria (MIC) mediante el cultivo en caldo con 0,09 - 48 mM arsenato y la densidad óptica a 590 nm. Asimismo, se determinó la MIC en agar nutritivo con 1 - 8 mg L⁻¹ de endosulfán. Se aislaron diez bacterias que desarrollaron con arsenato, entre las que 90 % correspondió a formas Gram negativas y 10 % a Gram positivas y la MIC fue de 3 mg L⁻¹. Las bacterias aisladas desarrollaron con endosulfán y la MIC fue de 1,25 mM. Siete bacterias desarrollaron en la mezcla de arsénico y endosulfán y se identificaron como *B. paramycoides* y *B. cereus*, calificadas con potencial para la descontaminación de aguas impactadas con arsénico y endosulfán.

Bilgin & Sanin (2020) evaluaron la degradación de endosulfán por consorcios de bacterias aisladas de suelos agrícolas. Las bacterias se enriquecieron por dos veces consecutivas en caldo sales minerales con $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ endosulfán, a 100 rpm, durante 5 días. Los consorcios de bacterias se inocularon en reactores con 600 mL de caldo sales minerales; pH 6,5 y 8,4, con endosulfán como fuente de carbono y con (4 mg L^{-1}) y sin glucosa como fuente externa. El crecimiento microbiano se monitoreó mediante la densidad óptica (600 nm) y se analizó la concentración del endosulfán mediante cromatografía de gases acoplada a un detector con captura de electrones. Las bacterias del consorcio se identificaron como *Afipia genosp*, *Sphingomonas yanoikuyae* y *Methylobacterium rhodesianum*. En el proceso degradativo no se detectó endosulfán sulfato. La fase lag presentó menor tiempo en presencia de la glucosa y fue menor de 2 días con el pH 6,5. El 59 % del endosulfán fue degradado a pH 6,5 por 25 días y el 98 % del endosulfán total fue removido a pH 8,4 en el mismo periodo. Se demostró la degradación del insecticida por el consorcio bacteriano investigado.

Onder & Dermirci (2019) investigaron la eficiencia de *Ochrobactrum thiophenivorans* y *Sphingomonas melonis* en la biorremediación de suelo contaminado por Imidacloprid. El ensayo se realizó en suelo acondicionado en botellas de plástico y contaminado con 1 600 ppm del insecticida. Los tratamientos correspondieron a control (T1), *O. thiophenivorans* (T2) *S. melonis* (T3) y consorcio de las dos bacterias (T4). Las bacterias se inocularon, cada 24 horas se agregaron 200 mL de agua destilada y durante 14 días se colectaron muestras para determinar la concentración del insecticida, carbono orgánico (COD) y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5). La concentración del insecticida disminuyó de $1 600 \text{ mg L}^{-1}$ a niveles no detectables con T2, T3 y T4 en comparación de 600 mg L^{-1} en el control. La COD después de 14 días y la DBO5 después de 7 días se redujeron en 96, 2 y 96, 8 % respectivamente. La mayor rapidez en la reducción de los parámetros evaluados se alcanzó con T4, resultados que evidenciaron el potencial del consorcio bacteriano para la biorremediación de suelo contaminado con el insecticida.

1.2. Base teórica

Las nuevas tecnologías promueven la circularidad de los residuos, mejoran el bienestar de la población, favorecen la limpieza y el saneamiento del agua, la generación de un valor agregado, el crecimiento económico y de esta manera contribuyen con los objetivos del Desarrollo sostenible (Del Hierro et al., 2021). La biotecnología presenta ramas, asociadas a colores. La biotecnología blanca se refiere a los productos y procesos industriales que se usan

en la actualidad y que son poco eficientes o generan contaminación. Se enfoca en el desarrollo de procesos y productos biotecnológicos de calidad, económicos y sustentables a través de enzimas, microorganismos y plantas. La biotecnología gris corresponde a la biorremediación o uso de organismos vivos para remover y degradar los contaminantes del ambiente. Se incluye el cometabolismo, la biotransformación, el biotratamiento y la modelación biogeoquímica (Acosta & Castañón, 2022).

La biotecnología violeta se refiere a los mecanismos requeridos para establecer y mantener la seguridad ante los elementos peligrosos. La biotecnología azul es la utilización de los organismos marinos y sus derivados. La biotecnología verde busca aumentar la resistencia de los cultivos agrícolas a las condiciones ambientales, incrementar el contenido nutricional y acelerar el crecimiento. La biotecnología amarilla se refiere al uso de los organismos vivos o partes de ellos para obtener productos alimenticios y desarrollar servicios. La biotecnología dorada corresponde a la informática para procesar la información en forma rápida y entendible y a la nanotecnología o uso de organismos y materiales muy pequeños. La biotecnología roja utiliza células para investigar, producir y diagnosticar y busca aumentar la esperanza de vida de los humanos. La biotecnología café se encarga de la investigación de las plantas modificadas a nivel genético para resistir las sequías (Acosta & Castañón, 2022; Del Hierro et al., 2021).

Los insectos son el grupo de animales con mayor diversidad, supervivencia y ubicuidad. Los insectos son utilizados como biofertilizantes, alimento para humanos y animales, para la obtención de biopolímeros como la quitina, enzimas, Biodiésel y otras aplicaciones, por lo que se califican como una biorrefinería o herramienta con potencial en la economía circular. Los insectos presentan la ventaja de minimizar el espacio y los insumos requeridos para la crianza y obtención de proteína. Los más utilizados como alimento (entomofagia) pertenecen a las órdenes Coleóptera, Lepidóptera, Himenóptera, Ortóptera, Hemíptera, Isóptera, Odonata, Díptera, Dictióptera y Megaloptera. Los insectos también se utilizan como modelos de comportamiento animal, genética, biología molecular e investigación sobre plaguicidas, incluyendo a *Drosophila melanogaster* “mosca de la fruta”, *Periplaneta americana* “cucaracha americana”, *Locusta migratoria* “langosta”, *Manduca sexta* “gusano del tabaco”, *Bombyx mori* “gusano de la seda”, *Tenebrio molitor* “gusano de la harina” y *Aedes aegypti* “mosquito” entre otros (Caltzontzini et al., 2021).

El sistema digestivo de los insectos consiste de un tubo que se extiende desde la boca hasta el ano y es un nicho ecológico rico en nutrientes donde se encuentran microorganismos endosimbiontes o microbiota intestinal, con importantes funciones simbióticas que complementan la nutrición del hospedero, facilitan la descomposición de la dieta y

proporcionan protección frente a los patógenos. La composición y actividad del microbiota intestinal depende del genoma, nutrición y estilo de vida de los insectos (Ángel & Galián, 2022). La microbiota intestinal presenta una amplia diversidad y se ha estimado que su número es diez veces mayor que el total de células del propio insecto. Estos microorganismos colonizan el intestino del insecto después de ingresar a través de la comida, aunque también pueden ser transmitidos en forma vertical, por coprofagia o mediante los huevos. La relación que mantienen con el hospedero puede ser comensalismo, parasitismo y mutualismo (Poveda, 2019).

Hermetia illucens (Linnaeus, 1758. Orden: Diptera, Familia: Stratiomyidae) de la sub familia Hermetinae denominada en forma común mosca soldado negra es clasificada como un insecto saprofítico que se alimenta de material en descomposición. Las larvas consumen residuos de alimentos, rastrojo de los cultivos agrícolas, animales muertos y estiércol de animales y su contenido de proteína (40 %) y grasa (35 %) justifica su uso en la alimentación (Mazza et al., 2020). Las larvas de *H. illucens* constituyen una herramienta valiosa para disminuir la contaminación en el ambiente, debido a su capacidad para convertir los residuos orgánicos en biomasa proteica. Estas larvas tienen la ventaja de tolerar elevada concentración de metales pesados y antibióticos, capacidad atribuida a los microorganismos intestinales, enzimas y al propio metabolismo (Cao et al., 2024; Vandeweyer et al., 2023). Los microorganismos del intestino tienen potencial biotecnológico que aún no ha sido investigado en su totalidad, pero se ha reportado que pueden convertir los residuos en biomasa proteica (Mazza et al., 2020), degradar los plásticos derivados del petróleo (Wang et al., 2024), biorremediar ambientes contaminados (Cao et al., 2024), transformar toxinas producidas por hongos (Niermans et al., 2024), producir antibióticos (Martínez et al., 2024) y polihidroxicanoatos (Martínez - Herrera, 2020).

Los pesticidas son clasificados según el potencial de peligro en clases (números romanos) y categorías (letras). La clase IA es extremadamente peligrosa, la clase IB es altamente peligrosa, clase II es Moderadamente peligrosa (Endosulfán), la clase III es ligeramente peligrosa y la clase U no presenta evidencia de toxicidad (Kasyap et al., 2024). Los pesticidas según sus constituyentes químicos mayoritarios se agrupan en tres categorías: organoclorados, organofosforados y carbamatos. Los organofosforados y los piretroides son los insecticidas más utilizados en el mundo y los organoclorados son los más persistentes (López - Benítez et al., 2024; Parra et al., 2022). Los organoclorados (OCP) constituidos por carbono, hidrógeno y cloro son los contaminantes persistentes más tóxicos y presentan riesgo por su capacidad de movilizarse en el ambiente y su potencial de bioacumulación. Los

organoclorados son agrupados en: (1) Difenil alifáticos (diclorodifeniltricloroetano, DDT; diclorodifenildicloroetano, DDD); (2) ciclodienos (endosulfán, heptaclor, aldrin, dieldrin, endrin) y (3) ciclohexanos (hexaclorociclohexano) (López- Benitez et al., 2024).

Los organoclorados son persistentes y difíciles de degradar y presentan potencial de bioacumulación y biomagnificación. Los síntomas agudos a su exposición son irritación dérmica, temblor, dolor de cabeza, problemas respiratorios y náuseas. Los síntomas asociados a la exposición crónica son cáncer, defectos en los recién nacidos, daño neurológico, alteración del sistema inmune, enfermedades respiratorias y enfermedad de Parkinson (Kashyap et al., 2024). El endosulfán es un insecticida de la familia química ciclodieno. Es un éster ácido cíclico sulfuroso cuya formula química es $C_9H_6O_3Cl_6S$ y el peso molecular es de 407 g/mol (Goff & Giraudo, 2019). El endosulfán (6,7,8,9,10,10 - hexacloro - 1,5, 5a,6,9, 9a-hexahidro-6,9-metanol - 2,4,3 benzodiox-ateipina 3-óxido), está en uso desde 1 950 y su uso ha sido restringido desde el 2 010 (Vandenberg et al., 2020); no obstante, todavía es utilizado en los países de desarrollo. Ha sido clasificado en la clase II (Moderadamente peligroso) por la World Health Organization (WHO) y en la clase I (altamente tóxico) por la US EPA y EU (Sharma et al., 2022). El endosulfán se bioacumula y se biomagnifica en la cadena alimenticia, con alto riesgo en los consumidores (Hernández et al., 2020).

El endosulfán es comercializado en una mezcla de dos formas isoméricas: α y β endosulfán (3:1) denominados también isómeros I y II respectivamente. Se utiliza con alta eficiencia y bajo costo para el control de insectos plaga en cultivos alimenticios (fruta, vegetales), no alimenticios como el tabaco y algodón y como preservantes de la madera. Es semivolátil y relativamente persistente con una vida media de 6 años (Hou et al., 2026; Qi et al., 2022).

Los residuos del endosulfán pueden estar sujetos a la sorción por las partículas del suelo o la disipación por factores biológicos y fisicoquímicos. La sorción afecta la movilidad en el suelo y depende del contenido de materia orgánica, arcilla, pH, temperatura y capacidad de intercambio catiónico. La disipación es el factor que más contribuye a la persistencia en el suelo y está asociada a la hidrólisis, oxidación - oxidación, fitodegradación o factores bióticos como la descomposición, microbiana. Los residuos del endosulfán no sujetos a sorción y disipación pueden permanecer libres en la solución del suelo y pueden ser absorbidos por las raíces de las plantas (Hwang & Kim, 2022; Hwang et al., 2017). Los metabolitos del endosulfán son el endosulfán sulfato, endosulfán diol, endosulfán éter, endosulfán hidroxiéter, endosulfán alcohol y endosulfán lactona. El metabolito primario es el endosulfán sulfato (Sathiskumar et al., 2021).

Los isómeros alfa y beta endosulfán se han detectado y cuantificado en el aire, suelo, sedimentos, agua, tejidos vegetales, especies acuáticas, pájaros, animales terrestres y humanos (Sathishkumar et al., 2021). En Pakistán, en el 40,7 % de los trabajadores de la industria de pesticidas se detectaron y se cuantificaron hasta ocho insecticidas y la concentración máxima ($0,051 \text{ ug mL}^{-1}$) correspondió al endosulfán (Hayat et al., 2019). En suelos agrícolas de Argentina se cuantificaron $1,57 - 4,22 \text{ ng g}^{-1}$ de organoclorados, entre los que predominaron el endosulfán (alfa y beta) y el metabolito de la degradación denominado endosulfán sulfato, que alcanzó 30 % de la concentración total en la capa superficial (0 - 5 centímetros) y disminuyó en las capas más profundas. El endosulfán se encontró en adultos, pupas y larvas de la familia Scarabaeidae y en adultos de *Lumbricus* sp. (Lupi et al., 2019). En Brasil se evaluaron 34 muestras de leche de infantes hospitalizados y se determinó la presencia ($408,44 \text{ ng g}^{-1}$) de organoclorados como endosulfán I (Souza et al., 2020). El endosulfán (isómeros I y II) se utilizó como insecticida y acaricida en los cultivos de *Glycine* sp. “soya” y *Gossypium* sp. “algodón” y en el 2013 su uso fue prohibido; no obstante, concentraciones altas de este pesticida todavía son encontradas en los alimentos y ambiente (Sathishkumar et al., 2021; Hayat et al., 2019).

En China, el endosulfán fue prohibido en 2019; sin embargo, en el 2022, en el suero de humanos habitantes de áreas cercanas a la producción y uso del insecticida se cuantificaron $10,45 - 500,54 \text{ ng g}^{-1}$ del isómero I y $27,50 - 220,54 \text{ ng g}^{-1}$ del isómero II. En el suelo se cuantificaron $0,06 - 41,13 \text{ ng g}^{-1}$; en el aire $49,55 - 355,05 \text{ ng g}^{-1}$ del isómero I, en comparación con $0,50; 3,76 - 42,18$ y $0,14 \text{ ng g}^{-1}$ del isómero II respectivamente; valores que evidenciaron la persistencia del insecticida en el ambiente y la necesidad de disminuir la concentración de una manera segura (Hou et al., 2026).

En linfocitos humanos expuestos a los isómeros del endosulfán se determinó aumento de la apoptosis y senescencia de las células CD8 y NK, así como de la producción de citoquinas, evidenciando el impacto del insecticida en el sistema inmune en la mayoría de los agricultores con exposición crónica (Téllez - Bañuelos et al., 2019). En células epiteliales humanas, el endosulfán indujo alteraciones en los biomarcadores de las células cancerosas de la próstata, así como también promovió a la migración e invasión de estas células (Wang et al., 2020). La exposición oral al endosulfán en ratones Balb/c afectó el hígado y riñón, causó infertilidad, daño en el ADN y mutaciones en las células germinales (Sharma et al. 2022). En ratones Swiss albinos el insecticida causó degeneración de los órganos reproductivos de hembras y machos (Priya et al., 2024). El endosulfán inhibió el crecimiento de *Eisenia foetida*, a dosis mínimas afectó la ultraestructura del núcleo celular, las microvellosidades, la estructura

de cutícula y el daño se incrementó conforme la dosis y el tiempo de exposición (Shi et al., 2020). El endosulfán afecta de forma negativa plantas, algas, peces, crustáceos, moluscos, anfibios, reptiles, pájaros, insectos, nemátodos, bacterias y mamíferos incluyendo al humano (Sathishkumar et al., 2021).

En la superficie del suelo, la vida media del endosulfán es de 60 - 800 días y en el agua es de 6 años (Hernández et al., 2020). Este insecticida se bioacumula y biomagnifica (Sathishkumar et al., 2021) y su persistencia en el suelo evidencia el potencial para la contaminación de los cuerpos de agua, por lo que debe ser removido en el menor tiempo posible. En la naturaleza se encuentran microorganismos como bacterias de los géneros *Sphigomonas* (Aborisade et al., 2024), *Pseudomonas* (Sakthivel et al., 2022), *Achromobacter* (Pipit et al., 2021), *Pandoraea* (Wu et al., 2021), *Enterobacter* (Zaffar et al., 2021), *Klesiella* (Rani et al., 2019 a) y *Methylobacterium*, que tienen la capacidad para degradar el endosulfán (Kumar et al., 2026); no obstante, para ser utilizadas en la biorremediación de suelos contaminados, se requieren especies eficientes, para que su aplicación sea viable desde el punto de vista técnico y económico. Asimismo, las bacterias degradadoras deben utilizar la vía hidrolítica y no la vía oxidativa en la que se produce endosulfán sulfato que es muy tóxico para los seres vivos (Bilgin & Sanin, 2020).

La biorremediación es una tecnología propuesta para eliminar o reducir los contaminantes en el ambiente. Se fundamenta en el uso de entes biológicos como bacterias, algas, hongos y plantas para “limpiar el ambiente”. La versatilidad metabólica de los organismos, especialmente de los microorganismos es utilizada para la degradación de los contaminantes como los insecticidas, que son utilizados en su mayoría como fuente de carbono y energía para su crecimiento y reproducción, con la consecuente mineralización hasta dióxido de carbono y agua (Tang et al., 2017). La biorremediación se enmarca en los objetivos 2, 12 y 17 del desarrollo sostenible de la Organización de las Naciones Unidas, ONU (Del Hierro et al., 2021).

Los microorganismos pueden utilizar el endosulfán como fuente de carbono, de azufre o de ambos. Este insecticida puede ser degradado en aerobiosis y anaerobiosis, mediante reacciones de oxidación o hidrolíticas hasta endosulfán sulfato o endosulfán diol, respectivamente. Las enzimas microbianas son las únicas responsables de la oxidación del endosulfán y la hidrólisis enzimática, pero también la hidrólisis alcalina del endosulfán o endosulfán sulfato puede originar endosulfán diol (Singh et al., 2019). El endosulfán sulfato es muy tóxico y puede ser oxidado hasta endosulfán monoalcohol. El endosulfán puede ser biodegradado en las vías oxidativa e hidrolítica. En la oxidativa se produce endosulfato o

endosulfán sulfato, que es muy tóxico. En la vía hidrolítica, el azufre del endosulfán se utiliza para el crecimiento microbiano y se forma endosulfán monoaldehído el cual posteriormente es oxidado a endosulfán hidroxietéer (Bilgin & Sanin, 2020).

Las bacterias reportadas como degradadoras del endosulfán son *Delftia lacustris* y *Klebsiella aerogenes* (Rani et al., 2019 a), *Bordetella petrii*, *Bordetella* sp. y *Achromobacter xylosoxidans* (Pipit et al., 2021), *Pseudomonas* sp. (Sakthivel et al., 2022), *Afipia genosp*, *S. yanoikuyae* y *Methylobacterium rhodesianum* (Bilgin & Sanin, 2020), *P. alkylphenolica*, *Sphingomonas* sp. (Aborisade et al., 2024), *Rhodanbacter lindaniclasticus* y *Pandoraea thiooxydans* (Wu et al., 2021), *Stenotrophomonas maltophilia* y *Enterobacter* sp. (Zaffar et al., 2021).

1.3. Bases Conceptuales (Operacionalización de variables)

Tabla 1
Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Indicadores	Escala de medición
Dependiente			
Eficiencia en la remoción de endosulfán	Porcentaje de la concentración inicial del contaminante que es removido o reducido después de un determinado tratamiento. Se calcula midiendo el influente y efluente, mediante técnicas analíticas (Inarmal & Moodley, 2025; Mazhandu & Mashifana, 2024).	Fitotoxicidad del suelo biorremediado	De razón
		Remoción del endosulfán	De razón
Independiente			
Consorcios de bacterias	Microorganismos procariotas unicelulares que en conjunto presentan potencial para uso biotecnológico (Vera et al., 2021).	Densidad óptica (600 nm)	De razón
		Tiempo para la utilización de endosulfán como fuente de carbono y energías	De razón

CAPÍTULO II. DISEÑO METODOLÓGICO

2.1 Tipo de investigación

La investigación fue explicativa.

2.2 Diseño de contrastación de la hipótesis

La hipótesis se contrastó con el diseño experimental completamente aleatorio (DCA) con nueve tratamientos, tres repeticiones por tratamiento y un total de 27 unidades experimentales (Hernández et al., 2014).

2.2.1 Selección morfológica de bacterias intestinales de larvas de *H. illucens* con tolerancia al endosulfán y con potencial para la degradación del insecticida, Lambayeque 2025

En una crianza a nivel de laboratorio se obtuvieron larvas de *H. illucens* de cuyo intestino se aislaron bacterias tolerantes al endosulfán. La crianza de *H. illucens* se inició con 5 g de posturas que fueron obtenidos en la empresa: “BSF Logistics” de Lima (Anexo 1). Las posturas se colocaron en una bolsita de malla milimétrica de tul (0,5 mm de abertura), acondicionada a un soporte de madera (50 cm de largo × 13 cm de ancho) para fijarla al recipiente de crianza (37 de alto x 65 de largo x 45 cm de ancho, material polipropileno, marca Bm plast), en cuya base se depositó una mezcla de 500 g de alimento (250 g de alimento de inicio de pollos Avemicyn+A - Purina en 250 mL de agua). A continuación, los recipientes de crianza se taparon con una malla de tul y se ubicaron en un ambiente ventilado (Figura 1), con un rango de temperatura de 25 - 30 °C y humedad de 50 - 70 %, valores que se controlaron con un termohigrómetro (HTC - 2). La temperatura promedio registrada en el periodo de crianza (abril a julio) fue de 23 - 27 °C (temperatura máxima), 18 – 21 °C (temperatura mínima), con una humedad máxima de 86 % y mínima de 47 % (Anexos 2, 3).

Transcurridos 3 - 5 días las posturas eclosionaron y las larvas cayeron directamente al recipiente de crianza, donde se les suministraron residuos orgánicos conformados por frutas, verduras frescas y restos de alimentos cocidos (Anexo 4). Después de 36 - 46 días se colectaron las larvas del estadio pre - pupal, caracterizadas por la presencia de residuos polvorientos y se acondicionaron en otro recipiente de crianza (37 de alto x 65 de largo x 45 cm de ancho, material polipropileno, marca Bm plast) que estaba dentro de una jaula de crianza de madera (100 alto x 75 largo x 75 ancho cm) cubierto con un tul (1 mm de abertura) y una manga de tul para el acceso (10x 10 cm) y la manipulación de los estadios pre - pupa, pupa y adulto (Figura 2).

Después de 64 – 66 días del acondicionamiento de las posturas, aparecieron los adultos, para los cuales se colocó un recipiente circular de plástico (capacidad de 0,5 L) donde se depositó un paño amarillo (20 x 18 cm marca Scotch-Brite) embebido con una mezcla de agua y miel al 10 %, como atrayente visual y después de 2 días a los adultos se les asperjó agua, con el objetivo de incentivar al apareamiento. Transcurridos 1 - 2 días de la aspersión, se acondicionaron dentro de la jaula de madera casilleros de cartón de huevos (15 x 15 cm, material pulpa de papel con agua), sobre los cuales se dispusieron seis tallos de *Lactuca sativa* “lechuga” y dos mazorcas *Zea mays* “maíz amarillo”, que sirvieron como sustratos para la oviposición (Figura 3).

La cosecha de posturas se realizó 2 días después de cada oviposición, para lo cual se colectaron los tallos y mazorcas, con ayuda de un desarmador pequeño en punta plana (1,4 mm, marca Stanley) se removieron cuidadosamente las posturas (Figura 4) y se colocaron directamente en la bolsita de malla milimétrica de tul previamente acondicionada en el recipiente de crianza. Las larvas (L5) de la generación F2, se utilizaron para la obtención de bacterias intestinales.

Figura 1

*Bolsita de malla milimétrica de tul (a) y recipiente de crianza de larvas de *H. illucens* cubierto con una malla de tul (b), Lambayeque 2025.*

**Figura 2**

*Recipiente de crianza con larvas de *H. illucens* del estadio pre - pupa, Lambayeque 2025.*



Figura 3

Jaula de crianza (a) y acondicionamiento para la oviposición del estadio adulto de H. illucens (b), Lambayeque 2025.

**Figura 4**

Cosecha de posturas de H. illucens, Lambayeque 2025.



Las larvas (L5: 15,0 - 22,0 mm) de *H. illucens* se llevaron a congelación (- 4°C) durante 15 minutos se desinfectaron por inmersión en etanol 75 % por 1 minuto (Caruajulca-Marin, et al., 2025), lavado con solución de NaCl (p/v), por dos veces consecutivas (Tan et al., 2021) y secado con papel filtro previamente esterilizado y se acondicionaron en placas de Petri, donde con una pinza se presionó el área del ano para extraer el intestino, macerarlo y depositarlo en 100 mL de medio sales minerales (MSM) con 10 mg L⁻¹ de endosulfán como fuente de carbono, para el enriquecimiento de las bacterias (Aborisade et al., 2024). El insecticida utilizado fue Thiodan 35 EC, que es un concentrado emulsionable con 350 gL⁻¹ de endosulfán (Anexo 5). La incubación se realizó a 30 °C, con agitación constante (100 rpm), por 7 días y este proceso de enriquecimiento fue repetido por cuatro veces, para lo cual 5 mL del medio sales minerales cultivado fueron llevados a 95 mL de medio sales minerales suplementado con endosulfán.

Transcurridas las cuatro transferencias, las bacterias se aislaron en el medio mínimo de sales agarizado suplementado con endosulfán (10 mg L⁻¹) y cicloheximida (100 mg L⁻¹) para inhibir el crecimiento fúngico (Anexo 6). y se incubaron a 30 °C, durante 2 - 7 días. Las colonias bacterianas desarrolladas se cultivaron por duplicado en el mismo medio y en agar nutritivo, a 30 °C, durante 24 horas, se realizaron coloraciones de Gram para diferenciar las formas Gram positivas y Gram negativas de bacterias tolerantes al endosulfán y con potencial para la degradación del insecticida.

2.2.2 Selección de bacterias degradadoras del endosulfán según el crecimiento en el insecticida como fuente de carbono, Lambayeque 2025

Las bacterias degradadoras de endosulfán fueron aquellas que presentaron crecimiento con el insecticida como fuente de carbono y fueron seleccionadas con base a la densidad óptica (600 nm) y la viabilidad después de los 30 días. Las bacterias se cultivaron en 8 mL de medio mínimo de sales líquido suplementado con 10 mg L⁻¹ (Anexo 6) del insecticida a 30 °C, durante 96 horas. Después de la incubación se determinó la densidad óptica en el espectrofotómetro de luz visible (600 nm) y las bacterias que alcanzaron una densidad óptica mayor a la del control no inoculado se cultivaron en caldo mínimo de sales suplementado con 15 mg L⁻¹ del insecticida, bajo similares condiciones.

Las bacterias se cultivaron en forma sucesiva (0,5 % inóculo) en el caldo mínimo de sales suplementado con 20; 25; 30; 35; y 40 mg L⁻¹ del insecticida (Zaffar et al., 2021). El cultivo de cada bacteria se realizó por triplicado, se incubó a 30 °C y se consideró para el control de medio mínimo de sales con diferentes concentraciones del insecticida no inoculado. En cada concentración del insecticida se determinó la viabilidad de las bacterias mediante la

siembra de agar nutritivo. Transcurridos 30 días del cultivo de las bacterias con 40 mg L⁻¹ del insecticida se realizó el aislamiento en agar nutritivo y se consideraron viables las bacterias que desarrollaron colonias en el menor tiempo posible. Se seleccionaron las cuatro bacterias con la mayor densidad óptica del medio mínimo de sales suplementado con la mayor concentración del insecticida.

2.2.3 Identificación fenotípica del género de cuatro bacterias degradadoras de endosulfán seleccionadas, Lambayeque 2025

La identificación fenotípica del género de las cuatro bacterias seleccionadas se realizó considerando las características morfológicas, bioquímicas y fisiológicas según el Manual de Bergey de Bacteriología Sistemática (Holt et al., 1994). Se realizaron las pruebas de motilidad, catalasa, oxidasa, Voges Proskauer, hidrólisis de la urea, caseína, gelatina y almidón, reducción de nitrato, utilización de citrato como fuente de carbono y energía, crecimiento con y sin oxígeno, crecimiento a pH 5,0 - 10, con 0 - 10 % NaCl, a 20 - 60 °C (Muro del Valle et al., 2024; Calderón et al., 2024)

2.2.4 Comparación de la eficiencia de cuatro consorcios de bacterias formulados para la remoción de endosulfán en suelo contaminado

La eficiencia de cuatro consorcios de bacterias en la remoción de endosulfán en suelo contaminado se determinó de manera indirecta mediante la comparación de la toxicidad del suelo tratado con semillas de *Raphanus sativus* L. “rabanito” en condiciones *in vitro* y de manera directa con la disminución del insecticida en el suelo contaminado en condiciones de invernadero. Las cuatro bacterias degradadoras de endosulfán seleccionadas se combinaron en cuatro grupos de tres bacterias o consorcios bacterianos y el ensayo se realizó bajo un diseño completamente aleatorio (DCA), con diez tratamientos, que incluyeron dos tratamientos suelo no contaminado con el insecticida (T0) y suelo contaminado con el insecticida y no inoculado (T1). Los nueve tratamientos restantes correspondieron al suelo contaminado con endosulfán e inoculado con la bacteria 1 (T2), bacteria 2 (T3), bacteria 3 (T4), bacteria 4 (T5), Consorcio A: B1+B2+B3 (T6), Consorcio B: B2+B3+B4 (T7), Consorcio C: B3+B4+B1 (T8) y Consorcio D: B4+B2+B1 (T9) (Tabla 2). A cada tratamiento le correspondieron tres repeticiones, con un total de 27 unidades experimentales o microcosmos edáficos.

En un campo agrícola no cultivado por un periodo de 3 meses, se colectaron 250 kg de suelo, se tamizaron (malla 2 mm), se homogenizaron (Muro del Valle et al., 2024) y se tomó una muestra representativa (2 kg) para el análisis correspondiente. El resto del suelo se acondicionó en bolsas de tela, cada una con 8 kg, se esterilizó por tres veces consecutivas con intervalos de 24 horas, a 121 °C durante 1 hora (Rani et al., 2019 a), después el suelo se

contaminó con endosulfán y se acondicionó en macetas de polipropileno de 10 kg de capacidad, las cuales constituyeron los microcosmos edáficos.

El inóculo se obtuvo con las bacterias cultivadas en agar nutritivo (20 placas de Petri por bacteria), a 30 °C, durante 20 horas. La biomasa bacteriana desarrollada se colectó en buffer fosfato (pH 6,8), se centrifugó y se resuspendió en el mismo buffer por dos veces consecutivas para remover remanentes del medio de cultivo (Zaffar et al., 2021) y la concentración celular se estandarizó hasta una densidad óptica (DO_{590}) de 0,8 (Rani et al., 2019 a). Se obtuvieron 1080 mL de inóculo de cada bacteria seleccionada. El inóculo de los consorcios bacterianos correspondió a la mezcla de 180 mL de cada una de las tres bacterias seleccionadas constituyentes, con un total de 540 mL por consorcio (Figuras 5, 6). De esta manera, se obtuvieron 540 mL de inóculo de cada bacteria y 540 mL de inóculo de cada consorcio bacteriano.

El suelo (8 kg) de 27 microcosmos se contaminó con 0,1824 ml de endosulfán con 200 mL de agua para obtener una concentración de 40 mg kg⁻¹ del insecticida (Anexo 6). El suelo se cubrió por 24 horas, se humedeció y se aplicaron 180 mL del inóculo correspondiente (2, 25%). A partir de las 0 horas y cada 3 días se colectaron 10 gramos de suelo por cada tratamiento durante 27 días para la evaluación de fitotoxicidad.

a. Ensayo de fitotoxicidad

En el ensayo de fitotoxicidad se utilizaron semillas de rabanito en las que se verificó la germinación de 99 – 100 % (Brito et al., 2016). En placas de Petri (tres por tratamiento) se depositaron los 10 gramos de suelo, se acondicionaron 30 semillas y se agregaron 3 mL de agua destilada (Figura 7). Las placas de Petri se cubrieron con papel de aluminio y se mantuvieron en la incubadora a 30 °C hasta por 192 horas. A partir de las 48 horas y cada 24 horas se contaron y extrajeron las semillas germinadas, se midió la longitud de las radículas emergidas y con los valores obtenidos se calcularon los porcentajes de germinación relativa (PGR), el porcentaje de crecimiento relativo de la radícula (CRR) y el índice de germinación (IG):

Figura 5

Suelo experimental acondicionado en macetas en el invernadero, Lambayeque 2025.

**Figura 6**

Inóculos bacterianos con concentración celular estandarizada con el nefelómetro de Mcfarland, Lambayeque 2025.



Figura 7

Suelo contaminado con endosulfán, bacterias y consorcios bacterianos acondicionado para el ensayo de fitotoxicidad, Lambayeque 2025



$$PGR = \frac{\text{Número de semillas germinadas en el suelo contaminado}}{\text{Número de semillas germinadas en el testigo}} \times 100$$

$$CRR = \frac{\text{Longitud promedio de radículas en el suelo contaminado}}{\text{Longitud promedio de radículas en el testigo}} \times 100$$

$$IG = \frac{PGR \times CRR}{100}$$

El nivel de fitotoxicidad del suelo fue establecido con base al índice de germinación (Muro del Valle et al., 2024) y fue calificado como bajo ($IG \geq 80 \%$), moderado ($80 \% > IG > 50 \%$) y severo ($IG \leq 50\%$) (Maquén-Perleche et al., 2023).

El suelo de los dos tratamientos donde se determinó la menor fitotoxicidad (nivel bajo) en el menor tiempo posible y el suelo no biorremediado (control) se analizaron en el laboratorio Ecosfera Solutions S.A.C., donde se cuantificó el endosulfán residual mediante cromatografía de gases acoplada a espectrofotometría de masas (GC- MS).

La eficiencia de remoción de endosulfán se calculó según Pipit et al. (2021):

$$\text{Tasa de remoción} = \frac{Co - Ca}{Co} \times 100$$

Donde:

Co: Concentración inicial

Ca: Concentración final

2.2.5 Análisis estadístico de los datos

Los valores del número de semillas germinadas y longitud de las radículas de *Raphanus sativus* durante de 27 días en el suelo biorremediado se analizaron para investigar la normalidad y la homogeneidad de varianzas, así como también las diferencias entre los tratamientos y la significancia entre ellos, $p < 0,05$ (Hernández et al., 2014), mediante el análisis de varianza de una vía (ANOVA) y la prueba de comparaciones múltiples de Tukey, respectivamente. El análisis estadístico se realizó con el software SPSS 22.00 para Windows.

2.3 Población, muestra

La población y muestra de estudio fueron 27 unidades experimentales distribuidas en nueve tratamientos y tres repeticiones.

2.4 Técnica, instrumento, equipos y materiales

2.4.1 Técnica

Técnica cuantitativa de tipo experimental.

2.4.2. Instrumento

Ficha de recolección de datos.

2.4.3. Equipos

Espectrofotómetro de luz visible JENWAY 6300; microscopio óptico (Microscopio binocular Nikon ECLIPSE E100); estereoscopio binocular (EUROTECH - NSZ-405D); incubadora Memmert, 20 - 80 °C; autoclave (EUROTECH LDZX-50B); refrigeradora (MABE RMP410FZPC).

2.4.4. Materiales

Larvas de *H. illucens*, suelo agrícola, semillas de *Raphanus sativus* L. “rabanito”, Thiodan 35 EC.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Selección morfológica de bacterias intestinales de larvas de *H. illucens* con tolerancia al endosulfán y con potencial para la degradación del insecticida, Lambayeque 2025

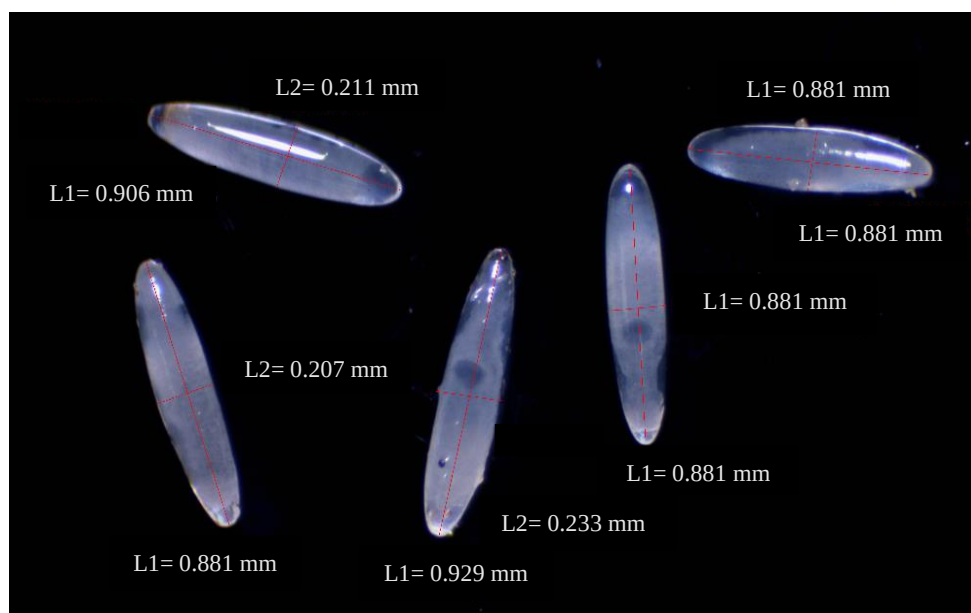
En el ciclo de *H. illucens* (64 – 66 días) se diferenciaron los estadíos de postura, larva, pre - pupa, pupa y adulto (Figura 8, tabla 2, anexo 7). Las posturas presentaron una forma elíptica y una longitud promedio de 0,89 mm (0,93 - 0,85 mm). Su coloración inicial fue blanco pálido, con las horas se tornó amarillo pálido y eclosionaron a los 3 – 5 días. Las larvas presentaron un cuerpo alargado cilíndrico, ligeramente aplanado dorsoventralmente y semisegmentado, con bandas transversales visibles en los últimos estadíos. La capsula cefálica se observó más endurecida y pigmentada con el avance del desarrollo. El cambio de tegumento de translúcido a pardo oscuro correspondió con la madurez larval y la aproximación a la fase de pre – pupa.

Se identificaron el estadío neonato y cinco estadíos larvales diferenciados por la longitud corporal y los cambios en la coloración y motilidad (Tabla 2, anexo 7). El estadío neonato, presentó una longitud promedio de 0,89 mm (0,83 – 0,93 mm), con un cuerpo translúcido y movimientos lentos. El estadío larval de 3 - 5 días (larva 1) presentó una longitud promedio de 1,41 mm (1,08 – 1,91 mm), con una coloración blanco translúcido y mayor movimiento; el estadío larval de 6 - 10 días (larva 2) presentó una longitud promedio de 3,35 mm (3,03 – 3,93 mm), de color crema y con mayor movilidad (Figuras 9 ,10). El estadío larval de 11 - 15 días (larva 3) presentó una longitud promedio de 5,00 mm (4,25 – 5,88 mm), con una coloración beige claro y una movilidad mayor que la larva de 16 - 25 días (larva 4) presentó una longitud promedio de 7,47 mm (6,30 – 9,35 mm), con el tegumento color beige amarillento intenso y una motilidad moderada. Finalmente, el estadío larval de 26 - 35 días (larva 5), alcanzó una longitud promedio de 17,49 mm (10,74 – 24,00 mm) con el tegumento color beige oscuro y la motilidad disminuida (Figuras 11 a 14).

Después del quinto estadío, las larvas entraron en la fase de pre – pupa (Figura 15), caracterizada por el cese en la alimentación y la búsqueda de zonas secas para contraerse lateralmente y enterrarse o fijarse antes de pupar. En esta fase, se observó un acortamiento relativo del cuerpo, un tegumento más oscuro y firme y la longitud promedio fue de 19,20 mm (17 - 22 mm). La pupa (Figura 16) presentó una estructura oscura y compacta, sin movimiento, con una longitud promedio de 18,33 mm (16 - 20 mm).

Figura 8

Posturas de H. illucens vistas al estereoscopio (400 X), Lambayeque 2025.

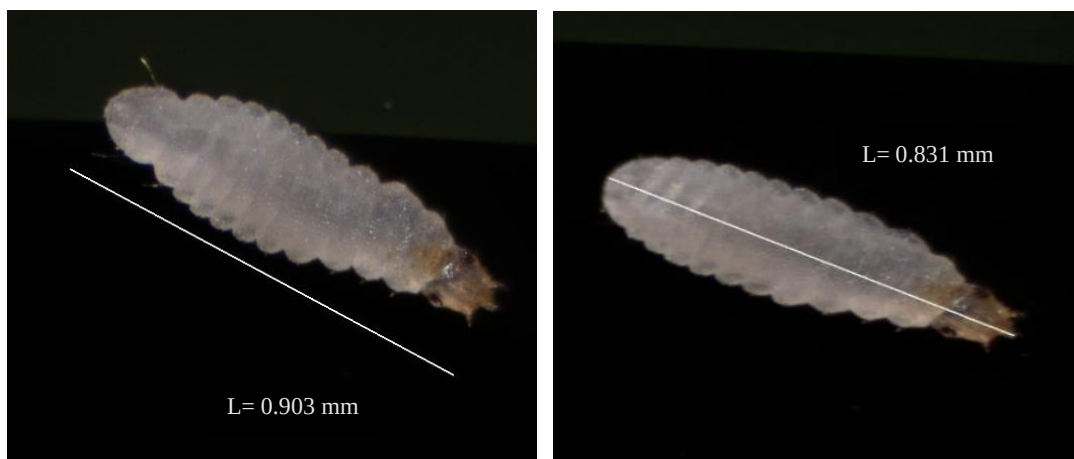
**Tabla 2**

Estadíos diferenciados durante el ciclo de vida de H. illucens en una crianza masiva, Lambayeque 2025

Estadíos	Tiempo (días)	Longitud (mm)	Color del tegumento	Motilidad
Neonato	1 - 2	0,83 – 0,93	Translúcido	Lento
Larva 1	3 - 5	1,08 – 1,91	Blanco translúcido	Rápida
Larva 2	6 - 10	3,03 – 3,93	Crema	Rápida
Larva 3	11 - 15	4,25 – 5,88	Crema amarillento	Rápida
Larva 4	16 – 25	6,30 – 9,35	Beige amarillento	Moderado
Larva 5	26 - 35	10,74 – 24,00	Beige oscuro	Baja
Pre - pupa	36 - 46	17,0 – 22,00	Marrón oscuro	Baja
Pupa	47- 57	16,0 – 20,00	Marrón muy oscuro	Nula
Adulto	64 - 66	14,0 – 25,00	Negro	Rápida

Figura 9

Larvas en fase neonato de H. illucens vistas al estereoscopio (400 X), Lambayeque 2025.

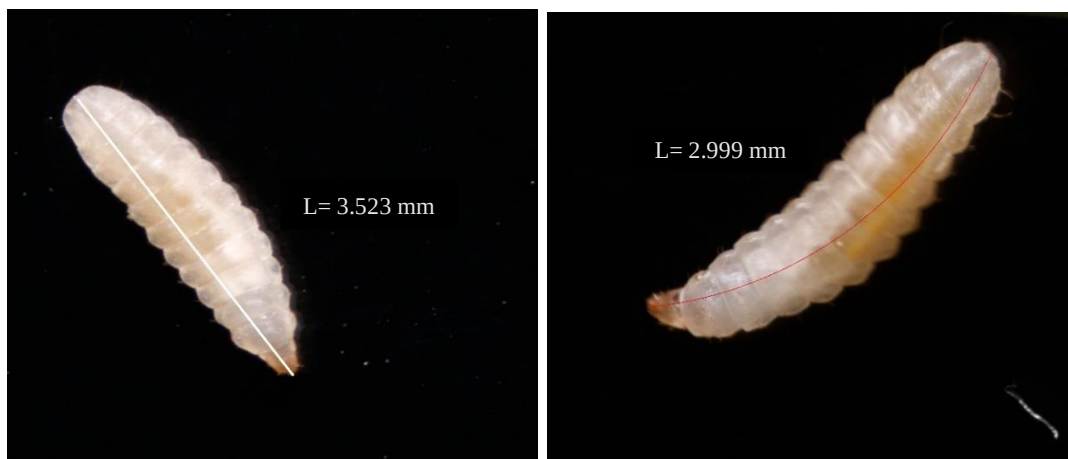
**Figura 10**

Larva del estadio 1 de H. illucens vistas al estereoscopio (400 X), Lambayeque 2025.



Figura 11

Larvas del estadio 2 de *H. illucens* vistas al estereoscopio (400 X), Lambayeque 2025.

**Figura 12**

Larvas del estadio 3 de *H. illucens* vistas al estereoscopio (400 X), Lambayeque 2025.

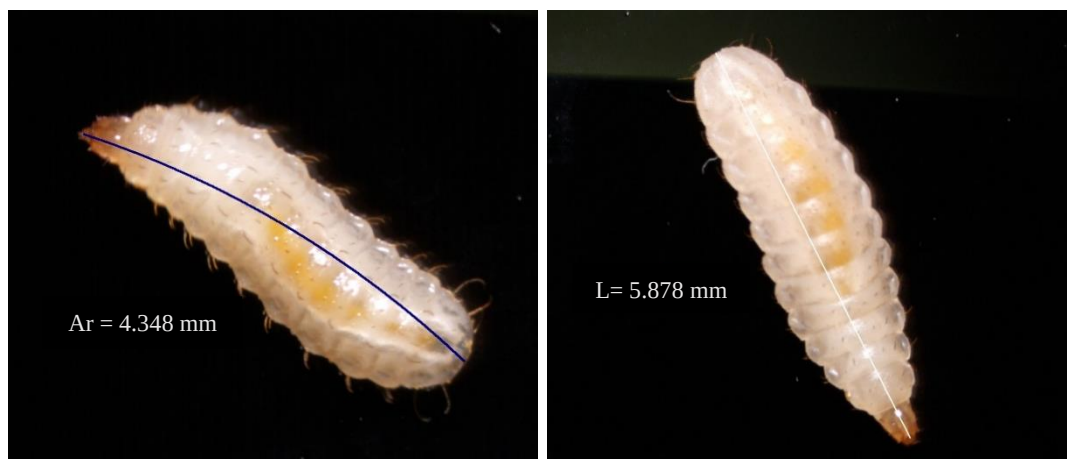
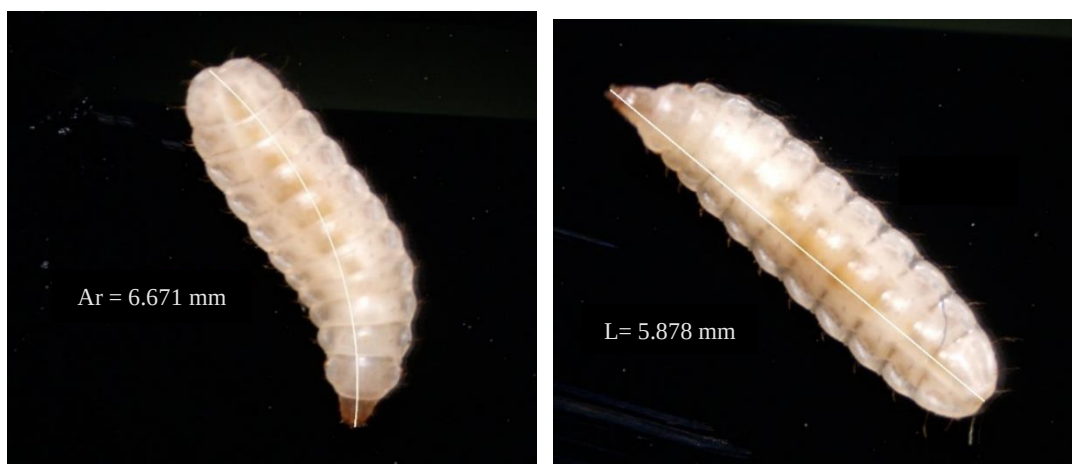


Figura 13

Larvas del estadio 4 de *H. illucens* vistas al estereoscopio (400 X), Lambayeque 2025.

**Figura 14**

Larvas del estadio 5 de *H. illucens* vistas al estereoscopio (400 X), Lambayeque 2025.



Figura 15

Observación directa de pre – pupa de H. illucens, Lambayeque 2025.

**Figura 16**

Observación directa de pupa de H. illucens, Lambayeque 2025.



Durante la crianza, en las larvas se observó un comportamiento alimentario activo, especialmente en los estadios intermedio 3 y 4 (11 - 25 días), donde al consumo del sustrato fue mayor. En el estadio larval 5 (26 - 35 días) y durante la pre – pupa, las larvas redujeron su ingesta de alimento y mostraron una tendencia a desplazarse a zonas secas del recipiente, iniciando el inicio del proceso de metamorfosis. Los adultos emergieron después de 64 – 66 días y mostraron una actividad explorativa y de vuelo limitado durante 24 – 48 horas.

Las colonias de las bacterias aisladas del intestino del estadio larval 5, previamente enriquecidas con endosulfán (10 mg L^{-1}) durante 28 días y calificadas como tolerantes al insecticida, se agruparon en nueve morfotipos (Figura 17, tablas 3 a 5, anexo 8) entre los cuales el predominante (34,88 %) fue el 1. En este contexto, a partir del intestino de 44 larvas se obtuvieron 86 cultivos puros de bacterias, a razón de 1 – 4 bacterias por intestino (Tabla 4), que correspondieron a formas Gram negativas (74 = 86,04 %) y Gram positivas (12 = 13,95 %).

3.2. Bacterias tolerantes al endosulfán seleccionadas según el crecimiento en el insecticida como fuente de carbono, Lambayeque 2025

Las bacterias tolerantes al endosulfán seleccionadas (Figura 18, anexo 9) fueron aquellas que presentaron una densidad óptica mayor a la del control y correspondieron al 66 % (10 mg L^{-1} del insecticida); 58 % (15 mg L^{-1} del insecticida); 50 % (20 mg L^{-1} del insecticida); 42 % (25 mg L^{-1} del insecticida); 37 % (30 mg L^{-1} del insecticida); 9 % (35 mg L^{-1} del insecticida) y 8 % (40 mg L^{-1} del insecticida). En el cultivo de las bacterias seleccionadas con diferentes concentraciones del insecticida, se observó coloración en el medio sales minerales (Figura 19) diferenciándose el verde claro, marrón claro, amarillo claro, anaranjado claro con 10; 15 y 20 mg L^{-1} de endosulfán; marrón claro lechoso, verde claro lechoso con 25 y 30 mg L^{-1} de endosulfán; marrón oscuro lechoso, verde oscuro lechoso con 35 y 40 mg L^{-1} de endosulfán.

La densidad óptica de las bacterias tolerantes al endosulfán osciló entre 1,542 - 5,024 (mínima) y 2,412 - 5,620 (máxima) en comparación con el control con 1,530 y 5,344 respectivamente (Tabla 6, anexo 9). Las bacterias tolerantes a la mayor concentración de endosulfán (40 mg L^{-1}) durante 30 días fueron siete y cuatro de éstas se seleccionaron por alcanzar los mayores valores en la densidad óptica durante el crecimiento en medio sales minerales con el insecticida como fuente de carbono.

Figura 17

Observación microscópica (40 X) de morfotipos de colonias de bacterias aisladas del intestino de larvas de H. illucens, Lambayeque 2025.



Tabla 3

Características de morfotipos de colonias de bacterias intestinales enriquecidas con endosulfán, por 28 días, Lambayeque 2025

Morfotipos	Macroscópico					Microscópico		
	Tamaño	Forma	Borde	Elevación	Color	Aspecto	Célula	Coloración de Gram
1	Mediana	Circular	Entero	Convexa	Amarillo-verdoso	Liso	Bacilo	Negativa
2	Grande	Circular	Irregular	Convexa	Verdoso	Rugoso	Bacilo	Negativa
3	Mediana	Circular	Entero	Convexa	Blanco	Liso	Bacilo	Positiva
4	Grande	Irregular	Lobulado	Plana	Blanco-grisáceo	Rugoso	Bacilo	Negativa
5	Grande	Circular	Entero	Convexa	Crema	Liso	Bacilo	Negativa
6	Mediana	Circular	Entero	Convexa	Crema	Mucoso	Bacilo	Negativa
7	Grande	Circular	Entero	Convexa	Blanca	Mucoso	Bacilo	Negativa
8	Grande	Irregular	Dentado	Plana	Crema	Rugoso	Bacilo	Positiva
9	Grande	Circular	Lobulado	Convexa	Blanco	Rugoso	Bacilo	Negativo

Tabla 4

Morfotipos de colonias bacterianas según larvas de H. illucens de procedencia, Lambayeque 2025

N° de larva	Morfotipos de colonias	N° de larva	Morfotipos de colonias
1	2	23	2, 1
2	3, 2, 1	24	7, 2
3	6, 3	25	4, 1
4	4, 1	26	2, 3
5	2, 1	27	9, 2
6	3, 2	28	3, 1
7	1, 2	29	1
8	5, 3	30	2, 1
9	6	31	2
10	2, 1, 7	32	1
11	8, 2	33	7, 2
12	1	34	2, 1, 7
13	2, 1	35	5, 2
14	1	36	1, 6
15	2, 1	37	1, 8
16	1	38	1
17	2, 1	39	2
18	1, 2	40	1, 8, 2, 6
19	7, 2	41	2, 1, 6
20	6, 1	42	6, 8, 1
21	3, 9	43	1, 8, 1
22	1, 2	44	2, 1

Tabla 5

Frecuencia de morfotipos de colonias bacterianas aisladas del intestino de larvas de *H. illucens*, Lambayeque 2025

Morfotipos de colonias	Cultivos de bacterias	
	N°	%
1	30	34,88
2	26	30,33
3	7	8,13
4	2	2,32
5	2	2,32
6	7	8,13
7	5	5,81
8	5	5,81
9	2	2,32

Figura 18

Porcentaje de bacterias intestinales de *H. illucens* tolerantes a diferentes concentraciones de endosulfán, Lambayeque 2025

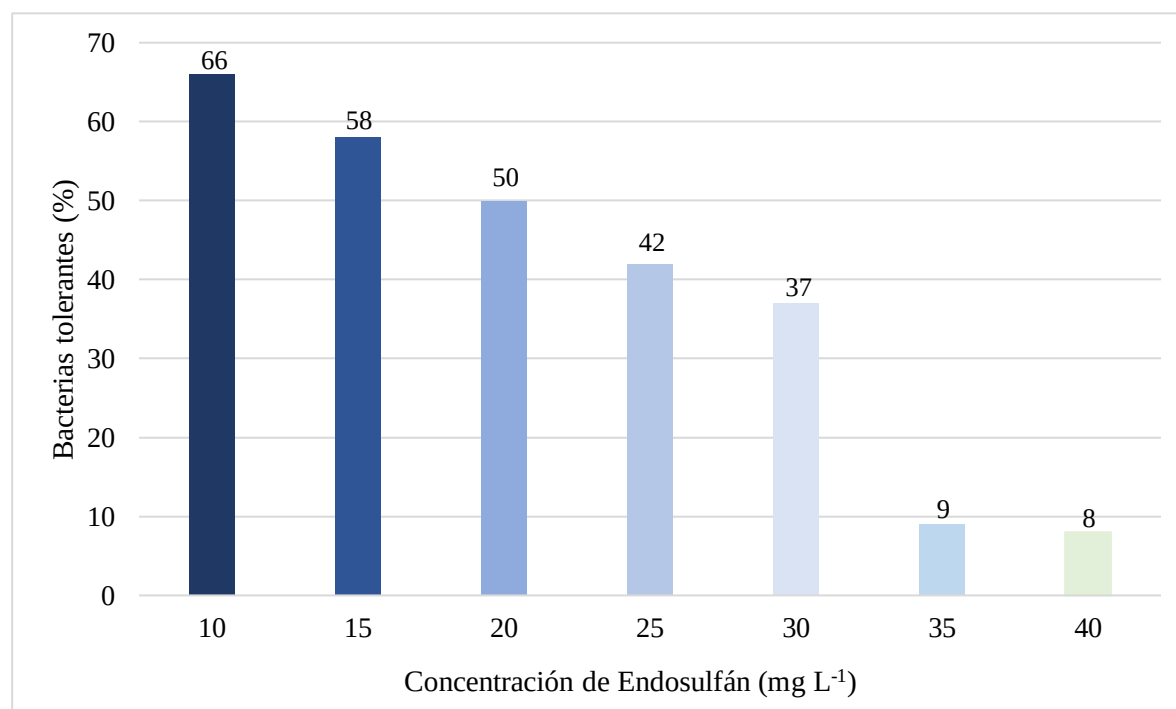


Figura 19

Bacterias intestinales de larvas de H. illucens cultivadas en medio sales minerales con 10 mg L^{-1} (a); 15 mg L^{-1} (b); 20 mg L^{-1} (c); 25 mg L^{-1} (d); 30 mg L^{-1} (e); 35 mg L^{-1} (f) y 40 mg L^{-1} (g) del insecticida, Lambayeque 2025.

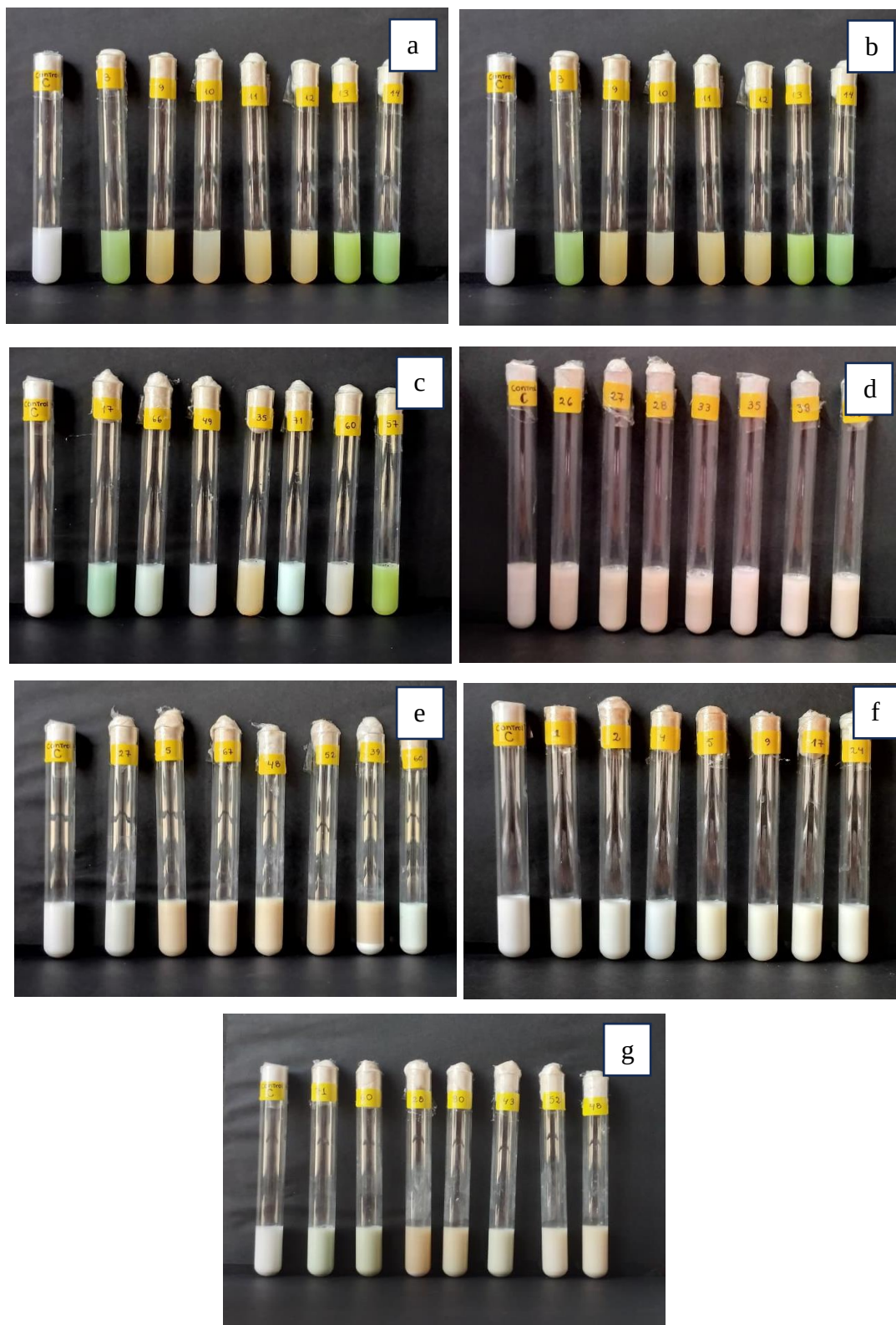


Tabla 6

Rango de la densidad óptica del medio sales minerales suplementado con endosulfán cultivado con bacterias intestinales de H. illucens, Lambayeque 2025

Concentración de Endosulfán (mg L ⁻¹)	Tratamientos	Densidad óptica (600nm)	
		Mínima	Máxima
10	Control	1,530	1,610
10	Bacterias intestinales	1,542	2,412
15	Control	1,806	1,908
15	Bacterias intestinales	1,813	2,585
20	Control	2,127	2,156
20	Bacterias intestinales	2,462	2,941
25	Control	3,298	3,370
25	Bacterias intestinales	3,884	3,932
30	Control	3,520	3,598
30	Bacterias intestinales	3,562	4,178
35	Control	4,396	5,344
35	Bacterias intestinales	5,024	5,620
40	Control	4,688	5,126
40	Bacterias intestinales	4,962	5,284

Tabla 7

Densidad óptica del medio sales minerales con endosulfán cultivado con bacterias intestinales de H. illucens seleccionadas, Lambayeque, 2025

Endosulfán (mg L ⁻¹)	Densidad óptica (600 nm)			
	Bacteria 80	Bacteria 71	Bacteria 60	Bacteria 43
10	2,106	1,903	1,912	1,615
15	2,320	2,185	2,355	2,304
20	2,619	2,526	2,795	2,864
25	3,110	3,358	3,384	3,440
30	3,670	3,772	3,908	3,922
35	5,620	5,448	5,512	5,164
40	4,994	5,284	5,204	5,100

3.3. Género identificado a nivel fenotípico en cuatro bacterias degradadoras de endosulfán seleccionadas, Lambayeque 2025

Las bacterias degradadoras de endosulfán seleccionadas se identificaron en los géneros *Pseudomonas* (bacterias 80 y 71), *Klebsiella* (bacteria 60) y *Enterobacter* (bacteria 43) según las pruebas bioquímicas y fisiológicas diferenciales (Tabla 8).

3.4. Eficiencia de cuatro consorcios de bacterias formulados para la remoción de endosulfán en suelo contaminado

La eficiencia de *Pseudomonas* sp. 80, *Pseudomonas* sp. 71, *Klebsiella* sp. 60 y *Enterobacter* sp. 43 en la remoción de endosulfán en suelo contaminado se determinó de manera indirecta con la reducción de la fitotoxicidad y de manera directa con la disminución del insecticida en el suelo contaminado, bajo un ensayo con diseño experimental completamente aleatorio y nueve tratamientos (Tabla 9, anexo 10).

En el suelo contaminado con endosulfán (0 – 27 días) el número de semillas germinadas disminuyó a 6 – 24 en comparación con el control agua destilada con 30 semillas germinadas (Figura 20, anexo 10). En el suelo contaminado, al inicio de la biorremediación (0 días), el número de semillas germinadas disminuyó a 10,000 – 12,333 con las bacterias con forma independiente (T2 a T5) y 12 – 15 con los consorcios bacterianos (T6 a T9). El número de semillas germinadas aumentó en forma gradual, conforme transcurrió el tiempo y después de 12 días fue de 17,000 – 28,000 semillas germinadas con las bacterias en forma independientemente y 15,333 – 29,333 semillas con los consorcios bacterianos. Transcurridos 15 días, el número de semillas germinadas en el suelo biorremediado con los consorcios bacterianos 1 y 3 (T6 y T8) fue de 30 semillas, semejante al control con agua destilada y superior a las bacterias de forma independiente con 21,667 – 28,000 semillas germinadas y al control endosulfán con 19 semillas germinadas.

En el suelo colectado inmediatamente después (0 días) de la aplicación del insecticida endosulfán, bacterias y consorcios bacterianos, el número de semillas germinadas disminuyó respecto al control con agua destilada (30 semillas) y fue de 6 semillas (T1 control endosulfán), 10,000 – 12,333 (T2, T3, T4, T5: bacterias independientes) y 12,333 – 15,000 (T6, T7, T8, T9: consorcios bacterianos). En el suelo colectado después (3 días) de la aplicación del endosulfán, bacterias y consorcios bacterianos, el número de semillas germinadas disminuyó respecto al control de agua destilada (30 semillas) y fue de 13 semillas (T1 control endosulfán), 10,333 – 14,000 semillas (T2, T3, T4, T5: bacterias independientes) y 10 – 16 semillas (T6, T7, T8, T9: Consorcios bacterianos).

Tabla 8

Características fenotípicas diferenciales de los géneros identificados en las bacterias tolerantes al endosulfán seleccionados, Lambayeque 2025

Pruebas diferenciales	<i>Pseudomonas</i> sp. 80	<i>Pseudomonas</i> sp. 71	<i>Klebsiella</i> sp. 60	<i>Enterobacter</i> sp. 43
Reacción a la coloración de Gram	Gram (-)	Gram (-)	Gram (-)	Gram (-)
Catalasa	+	+	+	+
Oxidasa	+	+	-	-
Motilidad	+	+	-	+
Fermentación de glucosa (TSI)	K/K	K/K	A/A	A/A
Descarboxilación de la lisina (LIA)	-	-	+	+
Producción de indol	-	-	-	-
Reducción de nitratos	-	+	+	+
Hidrólisis de urea	+	-	+	-
Hidrolisis de almidón	-	-	-	-
Utilización de citrato	+	+	+	+
Hidrólisis de gelatina	+	+	-	+
Fluorescencia en agar King B	+	+	-	-
Formación de acetoína (VP)	-	-	+	+
Rojo de metilo (RM)	-	-	-	+

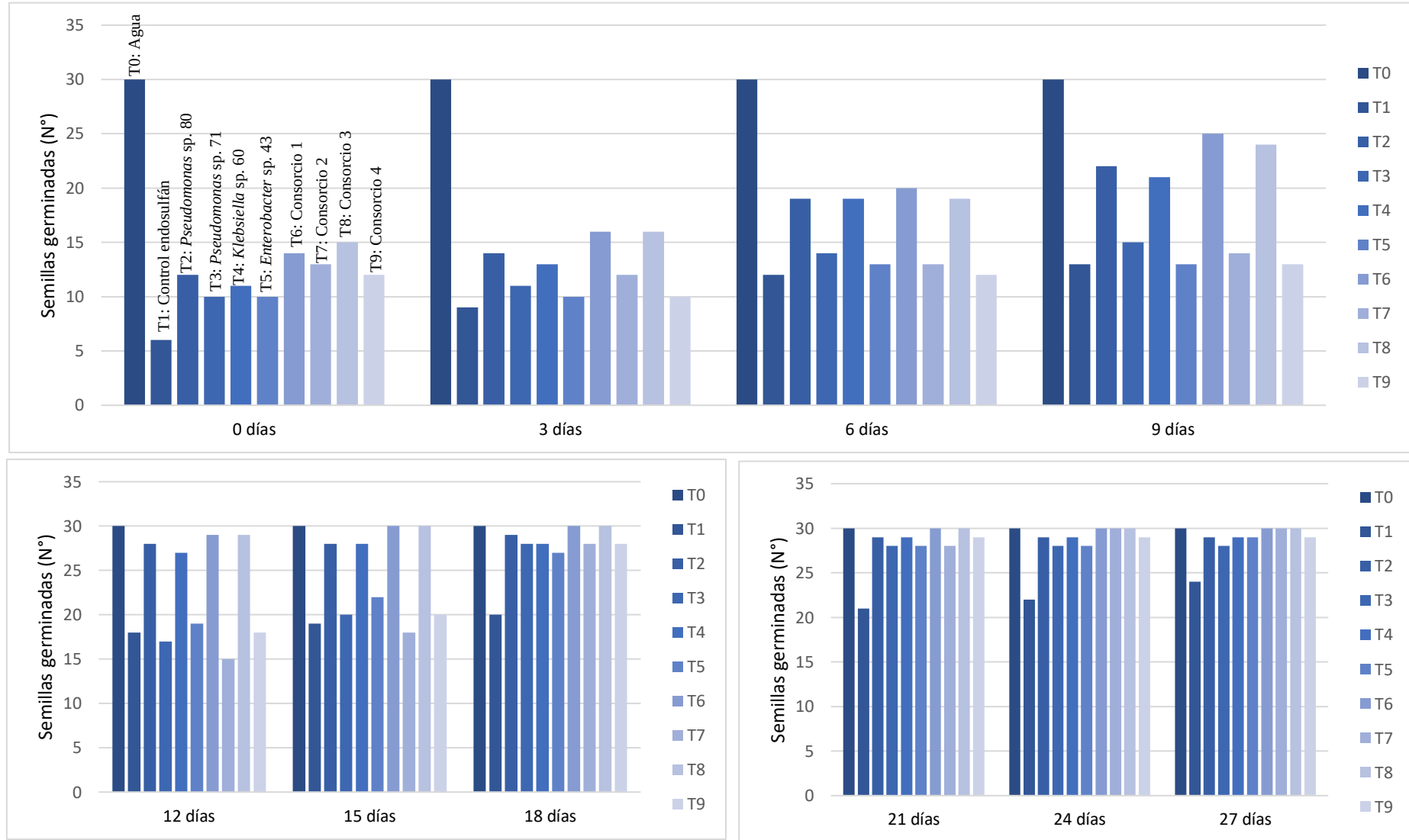
Tabla 9

Consortios bacterianos formulados con las bacterias degradadoras de endosulfán seleccionadas

Tratamientos	Bacterias
T0 Control agua destilada	Ninguna
T1 Control suelo contaminado con endosulfán	Ninguna
T2 Suelo contaminado + Bacteria 1	<i>Pseudomonas</i> sp. 80
T3 Suelo contaminado + Bacteria 2	<i>Pseudomonas</i> sp. 71
T4 Suelo contaminado + Bacteria 3	<i>Klebsiella</i> sp. 60
T5 Suelo contaminado + Bacteria 4	<i>Enterobacter</i> sp. 43
T6 Suelo contaminado + Consorcio bacteriano 1	<i>Pseudomonas</i> sp. 80 + <i>Pseudomonas</i> sp. 71 + <i>Klebsiella</i> sp. 60
T7 Suelo contaminado + Consorcio bacteriano 2	<i>Pseudomonas</i> sp. 71 + <i>Klebsiella</i> sp. 60 + <i>Enterobacter</i> sp. 43
T8 Suelo contaminado + Consorcio bacteriano 3	<i>Klebsiella</i> sp. 60 + <i>Enterobacter</i> sp. 43 + <i>Pseudomonas</i> sp. 80
T9 Suelo contaminado + Consorcio bacteriano 4	<i>Enterobacter</i> sp. 43 + <i>Pseudomonas</i> sp. 71 + <i>Pseudomonas</i> sp. 80

Figura 20

Número de semillas de *R. sativus* L. germinados en suelo experimental colectado a las 0 – 27 días después de la aplicación de endosulfán, bacterias y consorcios bacterianos.



En el suelo colectado después de la aplicación del insecticida (0 días) y las bacterias en forma independiente (T2, T3, T4, T5), el número de semillas germinadas fue menor que en el control agua destilada (30 semillas) y a los 15 días fue de 19 (T1 contaminado con endosulfán) y 20 – 28 (T2, T3, T4, T5); a los 18 días fue de 20 (T1) y 27 – 29 (T2, T3, T4, T5); a los 21 días fue de 21 (T1) y 28 – 29 (T2, T3, T4, T5); a los 24 días fue de 22 (T1) y 28 – 29 (T2, T3, T4, T5) y a los 27 días fue de 24 (T1) y 28 -29 (T2, T3, T4, T5).

Transcurridos 15 días con el suelo contaminado y con la aplicación de consorcios bacterianos 1 (T6) y 3 (T8) el número de semillas germinadas fue igual al control agua destilada (30 semillas) y superior al control endosulfán (19 semillas). A diferencia, en el suelo contaminado y con la aplicación de los consorcios bacterianos 2 (T7) y 4 (T9) el número de semillas germinadas fue menor que el control agua destilada (30 semillas). Con T7 fue de 18 (15 días) y 28 (18 y 21 días). A su vez, con T9 fue de 20 (15 días), 28 (18 días) y 29 semillas (21, 24 y 27 días) (Figura 20, anexo 10).

En el suelo contaminado con endosulfán y no inoculado con bacterias (0 – 27 días) la longitud de la radícula de las semillas de rabanito germinadas disminuyó a 1,033 – 1,467 cm, en comparación con el control agua destilada con 1,333 – 1,567 cm (Figura 21, anexo 11). Por lo contrario, la longitud radicular de las semillas germinadas aumentó en comparación con el control agua destilada y fue de 1,467 – 1,933 cm con las bacterias en forma independiente (T2 a T5) y 1,500 – 2,000 cm con los consorcios bacterianos.

El nivel de fitotoxicidad del suelo contaminado con endosulfán (T1) fue severo hasta los 18 días, en comparación con el suelo biorremediado con los consorcios bacterianos 1 y 3 (T6 y T8) que presentó un nivel moderado de fitotoxicidad a los 0 – 3 días y un nivel bajo de fitotoxicidad a los 6 días de iniciada la biorremediación. El nivel de fitotoxicidad del suelo biorremediado con las bacterias en forma independiente fue bajo después de 12 días (T2, T4) y 18 días (T3, T5) de iniciada la biorremediación. El suelo biorremediado con los consorcios bacterianos 2 y 4 (T7 y T9) presentó baja fitotoxicidad después de 18 días de iniciada la biorremediación (Tablas 10, 11).

La prueba de comparaciones de Tukey demostró que después de 6 días de la inoculación bacteriana, el menor número de semillas germinadas (12) correspondió a T1 en comparación con T0 (30). Las semillas germinadas con T6, T2 y T4 fueron 20, 19 y 19 respectivamente sin diferencias significativas entre ellos, pero si con los demás tratamientos. Asimismo, la menor longitud (1,267 cm) de la radícula de las semillas germinadas correspondió con T1 sin diferencias significativas T0 (1,367) pero si con los demás tratamientos (Anexo 12).

Figura 21

Longitud radicular de semillas de *R. sativus* L. germinados en suelo experimental a los 0 - 27 días después de la aplicación de endosulfán, bacterias y consorcios bacterianos.

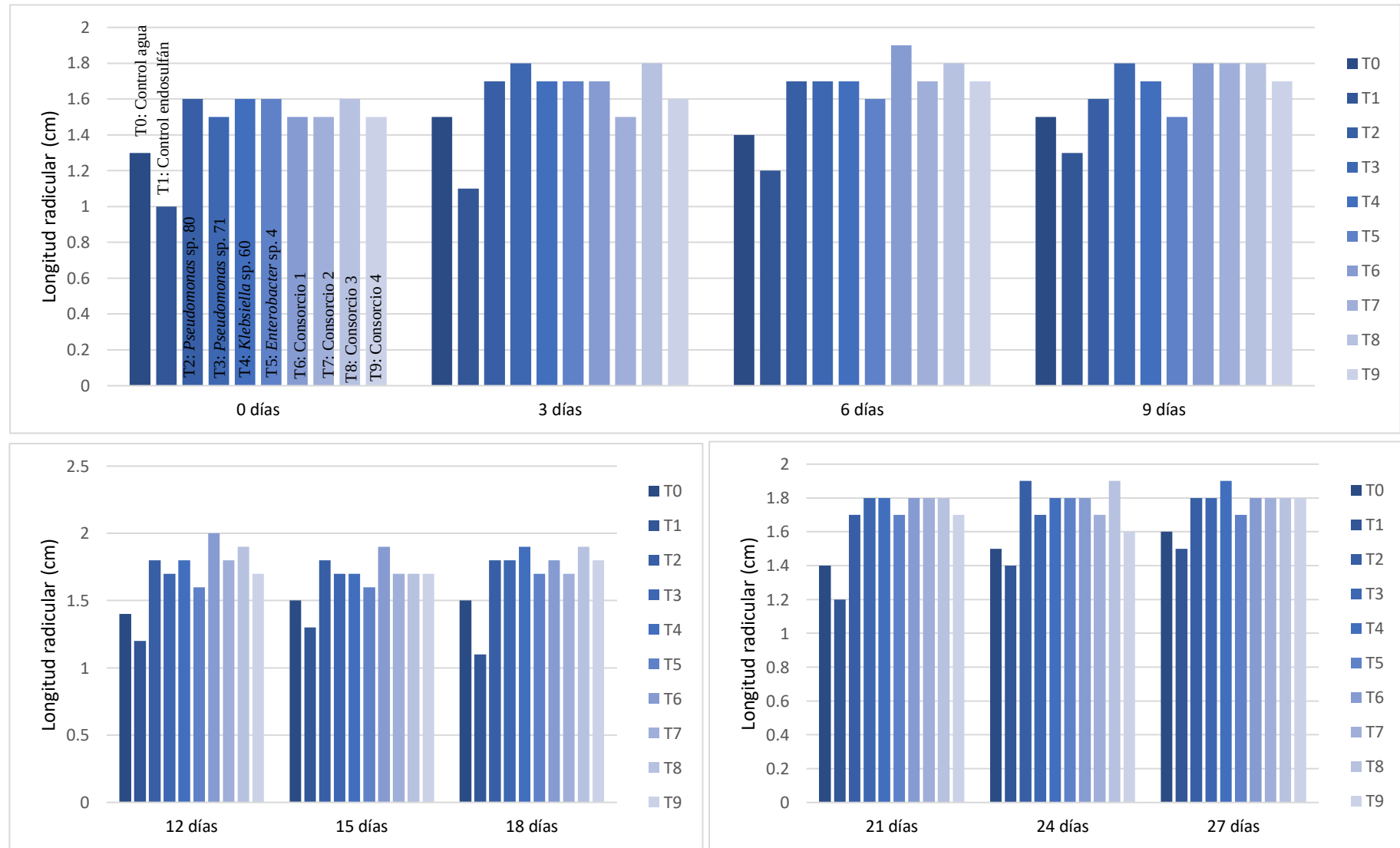


Tabla 10

Nivel de toxicidad del suelo contaminado con endosulfán y biorremediado durante 0 – 12 días con consorcios bacterianos

Tratamientos	Índice de germinación, IG/ Nivel de fitotoxicidad/ días de biorremediación									
	0		3		6		9		12	
	IG*	Nivel	IG	Nivel	IG	Nivel	IG	Nivel	IG	Nivel
T1	15	Severo	31	Severo	37	Severo	49	Severo	48	Severo
T2	49	Severo	52	Moderado	76	Moderado	78	Moderado	120	Bajo
T3	38	Severo	44	Severo	56	Moderado	60	Moderado	68	Moderado
T4	45	Severo	49	Severo	76	Moderado	79	Moderado	115	Bajo
T5	41	Severo	37	Severo	49	Severo	43	Severo	72	Moderado
T6	53	Moderado	60	Moderado	85	Bajo	100	Bajo	138	Bajo
T7	50	Severo	40	Severo	52	Moderado	56	Moderado	64	Moderado
T8	61	Moderado	64	Moderado	81	Bajo	96	Bajo	131	Bajo
T9	43	Severo	35	Severo	48	Severo	49	Severo	72	Moderado

*T1: Control suelo contaminado con endosulfán; T2: *Pseudomonas* sp. 80; T3: *Pseudomonas* sp. 71; T4: *Klebsiella* sp. 60; T5: *Enterobacter* sp. 43; T6: *Pseudomonas* sp. 80 + *Pseudomonas* sp. 71 + *Klebsiella* sp. 60; T7: *Pseudomonas* sp. 71 + *Klebsiella* sp. 60 + *Enterobacter* sp. 43; T8: *Klebsiella* sp. 60 + *Enterobacter* sp. 43 + *Pseudomonas* sp. 80; T9: *Enterobacter* sp. 43 + *Pseudomonas* sp. 71 + *Pseudomonas* sp. 80.

Tabla 11

Nivel de toxicidad del suelo contaminado con endosulfán y biorremediado durante 15 – 27 días con consorcios bacterianos.

Tratamientos	Índice de germinación, IG/ Nivel de fitotoxicidad/ días de biorremediación									
	15		18		21		24		27	
	IG*	Nivel	IG	Nivel	IG	Nivel	IG	Nivel	IG	Nivel
T1	48	Severo	48	Severo	60	Moderado	68	Moderado	75	Moderado
T2	112	Bajo	116	Bajo	117	Bajo	122	Bajo	108	Bajo
T3	75	Moderado	112	Bajo	120	Bajo	105	Bajo	105	Bajo
T4	105	Bajo	118	Bajo	124	Bajo	116	Bajo	114	Bajo
T5	78	Moderado	102	Bajo	113	Bajo	112	Bajo	102	Bajo
T6	126	Bajo	120	Bajo	128	Bajo	120	Bajo	106	Bajo
T7	68	Moderado	105	Bajo	120	Bajo	113	Bajo	112	Bajo
T8	113	Bajo	84	Bajo	128	Bajo	126	Bajo	112	Bajo
T9	75	Moderado	112	Bajo	117	Bajo	122	Bajo	108	Bajo

*T1: Control suelo contaminado con endosulfán; T2: *Pseudomonas* sp. 80; T3: *Pseudomonas* sp. 71; T4: *Klebsiella* sp. 60; T5: *Enterobacter* sp. 43; T6: *Pseudomonas* sp. 80 + *Pseudomonas* sp. 71 + *Klebsiella* sp. 60; T7: *Pseudomonas* sp. 71 + *Klebsiella* sp. 60 + *Enterobacter* sp. 43; T8: *Klebsiella* sp. 60 + *Enterobacter* sp. 43 + *Pseudomonas* sp. 80; T9: *Enterobacter* sp. 43 + *Pseudomonas* sp. 71 + *Pseudomonas* sp. 80.

La remoción del endosulfán fue de 64 % con el consorcio bacteriano 1 y de 60 % con el consorcio bacteriano 3, en comparación con 5 % en el suelo no inoculado. La eficiencia de remoción del endosulfán fue de 0,247 mg kg⁻¹/h con el consorcio bacteriano 1; 0,236 mg kg⁻¹ /h con el consorcio bacteriano 3 en comparación con 0,014 mg kg⁻¹ /h con el suelo no inoculado (Tabla 12).

Tabla 12

Eficiencia de remoción de endosulfán en suelo por consorcios de bacterias intestinales de larvas de H. illucens

Tratamientos	Endosulfán (mg kg ⁻¹)			
	0 horas	144 horas	Remoción (%)	Eficiencia de remoción mg kg ⁻¹ /h
T1 Suelo con endosulfán	40,0	38,0	5	0, 014
T6: Consorcio bacteriano 1 *	40,0	14,4	64	0,247
T8: Consorcio bacteriano 3 **	40,0	16,0	60	0,236

*T6: *Pseudomonas* sp. 80 + *Pseudomonas* sp. 71 + *Klebsiella* sp. 60

**T8: *Klebsiella* sp. 60 + *Enterobacter* sp. 43 + *Pseudomonas* sp. 80

CAPITULO IV. DISCUSIÓN

La duración del ciclo de vida (posturas – adulto) de *H. illucens* fue de 64 - 66 días, tiempo mayor a 41 – 58 días reportado por Pérez – Pacheco et al. (2022) y Khyade (2021) en crianzas de *H. illucens*, a una temperatura ambiental de 28 - 30 °C, a diferencia del rango 20, 46 – 23, 75 °C en la presente investigación. Los cinco estadios larvarios diferenciados en el ciclo de *H. illucens* coinciden con el reporte Sivanantharaja & Gnaneswaran (2018), quienes determinaron que todas las larvas presentaron una longitud promedio de 2,35 mm (larva 1); 6,45 mm (larva 2); 10,26 mm (larva 3) 15,92 mm (larva 4) y 17, 34 mm (larva 5). Los estadios larvales se observaron durante 35 días a diferencia de 20 - 22 días reportados por Pérez – Pacheco et al. (2022) y Khyade (2021), tiempo relacionado con la diferencia en la temperatura ambiental y sustratos consumidos (Pérez – Pacheco et al., 2022).

El sistema digestivo de los insectos consiste en un tubo que se extiende desde la boca hasta el ano y es un nicho ecológico rico en nutrientes, donde se encuentra una microbiota que complementa la nutrición del hospedero, facilita la degradación de la dieta y proporciona protección frente a los patógenos (Ángel & Galian, 2022). La relación que los microorganismos intestinales mantienen con el hospedero puede ser comensalismo, parasitismo y mutualismo (Poveda, 2019). Las larvas de *H. illucens* toleran elevada concentración de metales pesados, antibióticos y contaminantes, capacidad atribuida a los microorganismos intestinales, enzimas y al propio metabolismo (Cao et al., 2024). Los microorganismos intestinales de *H. illucens* pueden degradar los plásticos derivados del petróleo (Wang et al., 2024) y biorremediar ambientes contaminados (Cao et al., 2024), por lo que se consideraron adecuados para investigar la degradación del endosulfán.

Diversas investigaciones reportaron el aislamiento de bacterias degradadoras de endosulfán en muestras de suelo agrícola (Kumari et al., 2024), suelo rizosférico (Rani et al 2019 a), suelo (Pipit et al., 2021) y agua de río (Nath et al., 2020). También se reportaron bacterias degradadoras de otros insecticidas, aisladas de larvas de insectos como *Nilaparvata lugens*, *Ectropis grisescens*, *Bombyx mori* y *Plutella xylostella* resistentes al neonicotinoide imidacloprid (Chowdary et al., 2026), piretroide bifenthrin (Li et al., 2024) y organofosforado clorpirifos (Chen et al., 2020, Xia et al., 2018) respectivamente.

La tolerancia al endosulfán en las bacterias intestinales de larvas de *H. illucens* se determinó por la viabilidad después del enriquecimiento con 10 mg L⁻¹ durante 28 días, al igual que en los reportes de Bilgin & Sanin (2020) con 0,1mg L⁻¹; Aborisabe et al. (2024) con 7,5 mg L⁻¹ y Wu et al. (2021) con 30 mg L⁻¹ del endosulfán. El aislamiento de las bacterias

tolerantes al endosulfán fue favorecido por el enriquecimiento de los microorganismos con el insecticida, debido a que con esta técnica microbiológica se reducen o eliminan los microorganismos no degradadores y por lo contrario se incrementan los degradadores de los contaminantes investigados (Cabeza - Vasquez et al., 2025). El aislamiento de los microorganismos y la caracterización es fundamental para el entendimiento de las características morfológicas, fisiológicas y bioquímicas y su posterior uso biotecnológico (Aborisade et al., 2024; Tusher et al., 2021).

Las bacterias degradadoras de endosulfán fueron aquellas en la que se demostró crecimiento, evidenciado por el aumento de la DO₆₀₀ del medio mínimo de sales suplementado con el insecticida, en comparación con el control, al igual que en las investigaciones de Aborisade et al. (2024), Sakthivel et al. (2022) y Bilgin & Sanin (2020). El aumento de la DO₆₀₀ se relaciona con el crecimiento y diversidad bacteriana (Kumari et al., 2024) pero también con la disminución del endosulfán y ésta a su vez con el pH del medio de cultivo (Bilgin & Sanin, 2020). El endosulfán es utilizado por los microorganismos como fuente de carbono (Aborisade et al., 2024), como fuente de azufre en un medio deficiente de este nutriente (Zaffar et al., 2021) o como fuente de carbono y azufre (Sakthivel et al., 2022; Singh et al., 2019). La concentración de 10 - 40 mg L⁻¹ de endosulfán evaluada con las bacterias degradadoras se encontró en el rango 5 - 100 mg L⁻¹ reportado por Zaffar et al (2021); sin embargo, estos investigadores suplementaron el medio con 1% de glucosa, a diferencia de la presente investigación, en donde el insecticida fue la única fuente de carbono.

Los microorganismos pueden degradar el endosulfán mediante las vías oxidativa e hidrolítica. En la vía oxidativa se forma sulfato de endosulfán y en la vía hidrolítica se genera endodiol (Zaffar et al., 2021). El sulfato de endosulfán es muy tóxico (Bilgin & Sanin, 2020), por lo que las bacterias seleccionadas para la biorremediación de ambientes contaminados deben degradar el insecticida mediante la hidrólisis y aquellas son las que *in vitro* toleran elevadas concentraciones del contaminante. En la vía hidrolítica, el azufre del endosulfán se utiliza para el crecimiento microbiano y se forma endosulfán monohaldehído, que posteriormente es oxidado a endosulfán hidroxiéter (Bilgin & Sanin, 2020) y endosulfán lactona (Singh et al, 2019).

Los géneros identificados en las bacterias degradadoras de endosulfán seleccionadas fueron reportados previamente por Aborisade et al. (2024), Sakthivel et al. (2022) y Zaffar et al. (2021) con *Pseudomonas* spp.; Rani et al. (2019 a) con *Klebsiella* sp. y Zaffar et al. (2021) con *Enterobacter* sp.

La remoción (90 - 98 %) del endosulfán (5 – 100 mg L⁻¹) por diversas bacterias, en medio líquido y con agitación constante se ha reportado después de 4 días (Zaffar et al., 2021), 14 días (Sakthivel et al., 2022) y 25 días (Bilgin & Sanin, 2020). El tiempo requerido es corto para la remoción del insecticida en medio líquido, porque el contaminante está disponible. A diferencia, en el suelo se han reportado tiempos de 30 a 120 días para 81 – 90 % de remoción (Zaffar et al., 2021). El endosulfán se encuentra bajo los estados libre y coloidal. La remoción de las partículas libres es muy fácil, en comparación con los coloides que se adhieren al suelo y como consecuencia disminuye la biodisponibilidad (Zaffar et al., 2021). Los residuos del endosulfán puede estar sujetos a la sorción, pueden permanecer libres en la solución del suelo y pueden ser absorbidos por las raíces de las plantas (Hwang & Kim, 2022).

El número de semillas de *R. sativus* germinadas y la longitud radicular disminuidos en comparación con el control agua destilada, evidenció la toxicidad con el suelo contaminado con endosulfán no inoculado, al igual que el reporte de Rani et al. (2019 b) con plantas de *Helianthus annuus* en suelo con 50 mg L⁻¹ de endosulfán. Después de 120 días los investigadores demostraron reducción de la longitud (72 %) y peso (84 %) de raíces, altura (67,8 %), peso del follaje (77 %), contenido de clorofila (79 %) y proteína (69,6 %). El endosulfán es un insecticida organoclorado (carbono, hidrógeno, cloro), grupo calificado como uno de los contaminantes persistentes más tóxicos y con potencial de bioacumulación y biomagnificación (López- Benítez et al., 2024). El endosulfán afecta de forma negativa a las plantas, algas, peces, crustáceos, moluscos, anfibios, reptiles, pájaros, insectos, bacterias y mamíferos incluyendo al humano (Sathishkumar et al., 2021).

El incremento de la longitud de la radícula de las semillas germinadas en el suelo con endosulfán e inoculado con las bacterias de forma independiente (1,5 – 1,9 cm) y con los consorcios bacterianos (1,5 – 2,0 cm) demostró efecto promotor de crecimiento por las bacterias investigadas, coincidiendo con el reporte de Rani et al. (2019 a, b). Los investigadores evaluaron la fitorremediación (*H. annuus*) de un suelo contaminado con endosulfán (50 mg L⁻¹) y después de 120 días determinaron que con la inoculación de *D. lacustres* y *K. aerogenes* además de la reducción (83,9 %) del insecticida, disminuyó el impacto negativo en las plantas registrándose inhibición de 42, 5 – 52,2 % (longitud de raíces); 32, 0 – 40, 2 % (altura); 23,2 – 68,5 % (peso de raíces); 34,6 – 56,3 % (peso de follaje) y 61,3 – 67,8 (contenido de clorofila en comparación con 72,2; 67,8; 84,4; 76,7 y 79,0 % de inhibición respectivamente en el control no inoculado. Estos resultados se asociaron con la actividad *in vitro* de las bacterias, que en presencia del insecticida solubilizaron fosfato produjeron ácido indolacético, sideróforos, cianuro de hidrogeno y amoniaco.

La mayor disminución de la fitotoxicidad en el menor tiempo, del suelo inoculado con los consorcios bacterianos 1 y 3 en comparación con las bacterias en forma independiente, evidenció la superioridad de los organismos asociados, debido a la acción sinérgica que complementa y aumenta la actividad enzimática, acelerando la degradación de los contaminantes (Cabeza – Vásquez et al., 2025). La disminución de la fitotoxicidad del suelo después de 6 días se relacionó en la remoción del insecticida que fue de 64 % (consorcio bacteriano 1) y 60 % (consorcio bacteriano 3), en comparación con el control no inoculado. La eficiencia de remoción del insecticida (60 – 64 %) después de 6 días, fue inferior a 83,9 y 90,8 % alcanzado con el consorcio *Delftia lacustris* y *K. aerogenes* en suelos contaminados con endosulfán (50 y 5 mg kg⁻¹ respectivamente) en un mayor tiempo de 120 días (Rani et al., 2019 a).

El endosulfán es biotransformado en metabolitos como el endosulfán diol, endosulfán lactona y endosulfán éter que son menos tóxicos que el insecticida original (Aljabri, 2025), aseveración que explica la disminución de la toxicidad o un nivel bajo después 6 días a pesar que todavía se cuantificó el endosulfán (14,4 – 16,0 %), aunque en menor concentración que en el control no inoculado (38 mg kg⁻¹).

Dos de los consorcios de bacterias investigadas no disminuyeron la fitotoxicidad en menor tiempo que las bacterias en forma independiente, resultado que puede ser explicado por una relación antagónica que desfavorece la degradación de los contaminantes (Cabeza – Vásquez et al., 2025). También es posible que con estos consorcios las bacterias degraden el endosulfán mediante la vía oxidativa que genera endosulfán sulfato, que es muy tóxico, a diferencia de la vía hidrolítica que origina metabolitos no tóxicos (Bilgin & Sanin, 2020).

La biorremediación mediante el uso de bacterias intestinales de *H. illucens* para degradar el endosulfán tiene potencial para mitigar el impacto ambiental del insecticida (Kumari et al., 2024). Los resultados de la investigación demostraron que los consorcios bacterianos 1 y 3 presentaron potencial para la remoción del contaminante del suelo por los que deberán ser investigados en condiciones de campo, con fluctuaciones en las condiciones ambientales (pH, temperatura, humedad, materia orgánica, aeración) y competencia en los microorganismos nativos (Dhakal et al., 2025; Kumari et al., 2024).

CAPITULO V. CONCLUSIONES

5.1. En el intestino de larvas de *H. illucens* se aislaron y diferenciaron 86 bacterias Gram positivas (13,95 %) y Gram negativas (86,05 %), tolerantes al endosulfán y con potencial para la degradación del insecticida.

5.2. Las bacterias tolerantes a la mayor concentración de endosulfán (40 mg L⁻¹) durante 30 días fueron siete y se seleccionaron los aislamientos 80, 71, 60, 43 por alcanzar los mayores valores de densidad óptica (4, 994 – 5, 284) durante el crecimiento en medio sales minerales con endosulfán como fuente de carbono.

5.3. Las bacterias degradadoras de endosulfán seleccionadas se identificaron los géneros *Pseudomonas* (bacterias 80, 71), *Klebsiella* (bacteria 60) y *Enterobacter* (bacteria 43).

5.4. La eficiencia en la remoción de endosulfán en suelo contaminado fue mayor con los consorcios bacterianos 1 (*Pseudomonas* sp. 80 + *Pseudomonas* sp. 71 + *Klebsiella* sp. 60) y 3 (*Klebsiella* sp. 60 + *Enterobacter* sp. 43 + *Pseudomonas* sp. 80) con los que se alcanzó un nivel bajo de fitotoxicidad después de 6 días, en comparación con el control con nivel severo de fitotoxicidad. La eficiencia de la remoción de endosulfán fue de 64 % (consorcio 1) y 60 % (consorcio 3) después de 6 días de la inoculación bacteriana.

CAPITULO VI. RECOMENDACIONES

Identificar a nivel molecular las bacterias constituyentes de los consorcios bacterianos 1 y 3.

Diferenciar la concentración residual de los isómeros I y II del endosulfán en el suelo biodegradado por los consorcios bacterianos 1 y 3.

Determinar la eficiencia de los consorcios bacterianos 1 y 3 de la remoción de endosulfán en parcelas demostrativas de suelos de campos agrícolas contaminados.

REFERENCIAS

- Aborisade, W., Ajao, A., Ntagbu, F., & Bale, S. (2024). Isolation and screening for potential endosulfan-degrading bacteria from soil. *Dutse Journal of Pure and Applied Sciences*, 10(2a), 70 – 79. <https://doi.org/10.4314/dujopas.v10i2a.7>
- Acosta, R., & Castañón, J. (2022). Las tendencias, perspectivas, áreas y colores de la biotecnología. *Revista Digital Universitaria*, 23(4), <http://doi.org/10.22201/cuaieed.16076079e.2022.23.4.10>
- Aljabri, M. (2025). *Recent advances in pesticide bioremediation: Integrating microbial, phytoremediation, and biotechnological strategies – A comprehensive review. Environmental Pollutants and Bioavailability*, 37(1), 2554173. <https://doi.org/10.1080/26395940.2025.2554173>
- Ángel, A., & Galián, J. (2022). Estudio de la microbiota del insecto *Tenebrio molitor* en diferentes condiciones de luz y con dos dietas basadas en subproductos de la industria alimentaria. *Anales de Veterinaria de Murcia*, 36. <https://doi.org/10.6018/analesvet.535101>
- Balakrishnan, P., Thirunavukarasu, K., Tamizhmani, P., Michael, A., & Velusamy, T. (2025). Toxicological impact of chronic chlorpyrifos exposure: DNA damage and epigenetic alterations induces neoplastic transformation of liver cells. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 746, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2025.151287>
- Bhandari, G., Atreya, K., Scheepers, P., & Geissen, V. (2020). Concentration and distribution of pesticide residues in soil: Non-dietary human health risk assessment. *Chemosphere*, 253, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126594>
- Bilgin, A., & Sanin, S. L. (2020). Isolation and identification of endosulfan degrading native bacterial consortium from agricultural soils. *Waste and Biomass Valorization*, 11(7), 3303 – 3313. <https://doi.org/10.1007/s12649-019-00662-5>
- Boonupara, T., Udomkun, P., Khan, E., & Kajitvichyanukul, P. (2023). Airborne pesticides from agricultural practices: A critical review of pathways, influencing factors, and human health implications. *Toxics*, 11(10), 858 – 888. <https://doi.org/10.3390/toxics11100858>
- Brito, H., Viteri, R., Guevara, L., & Villacrés, M. (2016). Obtención de compost a partir de residuos sólidos orgánicos generados en el mercado mayorista del cantón Riobamba.

- European Scientific Journal*, 12(29), 76-94.
<https://doi.org/https://doi.org/10.19044/esj.2016.v12n29p76>
- Cabeza-Vásquez, H., Reaño-Segundo, Y., Sánchez-Purihuamán, M., Barturen-Quispe, A., Caro-Castro, J., Vásquez-Llanos, S., Villanueva-Aguilar, C., & Carreño-Farfán, C. (2025). *Degradación de polietileno de baja densidad (LDPE) por consorcios de Chryseobacterium sp. y Methylobacterium spp. aislados de un vertedero de residuos sólidos. Applied and Environmental Soil Science*. <https://doi.org/10.1155/aess/9895980>
- Calderón, C., Calle, K., Carreño, C., Estela, C., CarBajol, F., Barturén, A., & Purihuamán, M. (2024). Efecto de bacterias rizosféricas de *Prosopis limensis* Benth. en el desarrollo de *Solanum lycopersicum* bajo estrés salino. *Bioagro*, 36(1), 49 - 60.
<http://www.doi.org/10.51372/bioagro361.5>
- Caltzontzin, V., Romero, H., Gutiérrez, C., García, J., & Feregino, A. (2021). Perspectiva ética sobre el uso de insectos en proyectos de investigación. *Digital Ciencia Agro*, 14(2), 60 - 69. <https://revistas.uaq.mx/index.php/ciencia/article/view/625>
- Cao, Q., Liu, C., Chen, L., Qin, Y., Wang, T., & Wang, C. (2024). Synergistic impacts of antibiotics and heavy metals on *Hermetia illucens*: Unveiling dynamics in larval gut bacterial communities and microbial metabolites. *Journal of Environmental Management*, 365. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.121632>
- Caruajulca-Marin, L., Huamán-Ventura, K., Sánchez-Purihuamán, M., Caro-Castro, J., Barturén-Quispe, A., Vásquez-Llanos, S., & Carreño-Farfán, C. (2025). *Klebsiella pneumoniae* isolated from the intestines of *Tenebrio molitor* larvae (Coleoptera: Tenebrionidae) that consume expanded polystyrene. *Ambiente & Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 20(1). <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.3037>
- Carvalho F. (2017). Pesticides, environment, and food safety. *Food and Energy Security*, 6(2), 48-60. <https://doi.org/10.1002/fes3.108>
- Chen, B., Zhang, N., Xie, S., Zhang, X., He, J., Muhammad, A., Sun, C., Lu, X., & Shao, Y. (2020). Gut bacteria of the silkworm *Bombyx mori* facilitate host resistance against the toxic effects of organophosphate insecticides. *Environmental Pollution*, 143, 105886. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105886>
- Chowdary, D. D., Sridhar, Y., Rao, G. R., Sheshu Madhav, M., Latha, P. C., Malathi, V. M., Padmakumari, A. P., & Sundaram, R. M. (2026). *Diversity of culturable gut bacteria associated with brown planthopper, Nilaparvata lugens (Stål) and their role in*

- imidacloprid degradation. Scientific Reports. Advance online publication.*
<https://doi.org/10.1038/s41598-026-41348-y>
- Del Hierro, A., Anrango, M., Ortiz, D., & Sánchez, L. (2021) Captura y cría de la mosca soldado negra (*Hermetia Illucens*) para la biodegradación de desechos orgánicos en Puerto Quito, Ecuador. *Ecuadorian Science Journal*, 5, 341 - 354
- Dhakal, G., Thapa Magar, S., & Fujino, T. (2025). Pesticide degradation by soil bacteria: Mechanisms, bioremediation strategies, and implications for sustainable agriculture. *Environments*, 12(12), 492. <https://doi.org/10.3390/environments12120492>
- Estrada-Gamboa, J., Umaña-Castro, R., Sancho-Blanco, C., & Orozco-Aceves, M. (2023). Aislamiento e identificación y caracterización de cepas bacterianas con potencial de degradación de los plaguicidas clorotalonil y clorpirifos. *Uniciencia*, 37(1), 1-16. <https://doi.org/10.15359/RU.37-1.26>
- Fahmy, M., Salem, S., Qattan, S., Abourehab, M., Ashkan, M., Al-Quwaie, D., Abd El-Fattah, H., & Akl, B. (2022). Biodegradation of chlorantraniliprole and flubendiamide by some bacterial strains isolated from different polluted sources. *Processes*, 10(12), 1-19. <https://doi.org/10.3390/pr10122527>
- Food and Agriculture Organization [FAO]. (2022). *Pesticides use, pesticides trade and pesticides indicators*. FAO. <https://www.fao.org/3/cc0918en/cc0918en.pdf>.
- Glinski, D., Purucker, S., Van, R., Black, M., & Henderson, W. (2018). Analysis of pesticides in surface water, stemflow, and throughfall in an agricultural area in South Georgia, USA. *Chemosphere*, 209, 496-507. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.06.116>
- Goff, G. L., & Giraudo, M. (2019). Effects of pesticides on the environment and insecticide resistance, in Olfactory concepts of insect control-alternative to insecticides. *Springer International*, 1, 51–78. <https://hal.inrae.fr/hal-03296417>
- Hayat, K., Afzal, M., Aqueel, M., Ali, S., Saeed, M., Qureshi, A., Ullah, M., Khan, Q., Naseem, M., Ashfaq, U., & Damalas, C. (2019). Insecticide toxic effects and blood biochemical alterations in occupationally exposed individuals in Punjab, Pakistan. *Science of the Total Environment*, 655, 102 - 111. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.175>
- Hernández, M., López, E., Jaramillo, M., & Posada, A. (2020). Identificación de microorganismos biorremediadores de suelos agrícolas del norte de Antioquia para degradación del clorpirifos. *Revista Politécnica*, 16(32), 96 – 110. <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v16n32a9>

- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la Investigación* (6 ed.). México: Mc Graw, Hill Interamericana Editores S.A.
<https://www.uncuyo.edu.ar/ices/libro-metodologia-de-la-investigacion-6ta-edicion>
- Holt, J., Krieg, N., Sneath, P., Staley, J. & Williams, S. (1994). *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*. (9th ed.). Lippincott Williams & Wilkins
- Hou, L., Fan, Y., Guo, C., Wu, Y., Wang, Y., Wei, Y., & Jin, J. (2026). Environmental fate and human bioaccumulation of endosulfan after its prohibition: Evidence from exposure assessment and molecular docking analyses. *Emerging Contaminants*, 12(2), 100661. <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2026.100661>
- Hwang, J., & Kim, J. (2022). Uptake of endosulfan isomers from soils by leafy vegetable lettuce: A comparative study between model-predicted and field-experimented results. *Science of the Total Environment*, 844, 1 - 10. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2022.157056>
- Hwang, J., Lee, S., & Kim, J. (2017). Comparison of theoretical and experimental values for plant uptake of pesticide from soil. *Plos One*, 12(2), 1 - 13. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0172254>
- Inarmal, N., & Moodley, B. (2025). Removal efficiencies and environmental risk assessment of selected pharmaceuticals and metabolites at a wastewater treatment plant in Pietermaritzburg, South Africa. *Environmental Monitoring and Assessment*, 197, Article 102. <https://doi.org/10.1007/s10661-024-13515-z>
- Kashyap, U., Garg, S., & Arora, P. (2024). Pesticide pollution in India: Environmental and health risks, and policy challenges. *Toxicology Reports*, 13, 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2024.101801>
- Khyade, V. B. (2021). *Rearing the black soldier fly, Hermetia illucens (Linnaeus) (Diptera: Stratiomyidae) in local environmental conditions of Baramati (India)*. *Uttar Pradesh Journal of Zoology*, 42(5), 64–72. <https://www.mbimph.com/index.php/UPJOZ/article/view/2000>
- Kim, K., Kabir, E., & Ara, S. (2017). Exposure to pesticides and the associated human health effects. *Science of the Total Environment*, 575, 525 - 535. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.009>
- Kumar, A., Solanki, M. K., Kumar, M., Kaushik, A., Arya, A., Saikia, M., Gaur, V. K., Singh, R. P., Singh, S. K., Singh, V. K., & Dufossé, L. (2026). *The microbial strategies for the management of chemical pesticides: A comprehensive review*. *Current Research in Microbial Sciences*, 10, 100519. <https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2025.100519>

- Kumari, A., Kumar, T., Kumar, A., Kumar, A., & Deokant. (2024). Isolation and identification of endosulfan-degrading bacteria from agriculture land: A potential bioremediation approach. *International Journal of Agricultural Technology*, 20(6), 2379–2392.
- Lara- Moreno, A., Morillo, E., Merchán, F., Madrid, F., & Villaverde, J. (2022). Bioremediation of a trifluralin contaminated soil using bioaugmentation with novel isolated bacterial strains and cyclodextrin. *Science of the Total Environment*, 840, 1 - 8. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156695>
- Li, X., Fang, T., Gao, T., Gui, H., Chen, Y., Zhou, L., Zhang, Y., Yang, Y., Xu, L., & Long, Y. (2024). Widespread presence of gut bacterium *Glutamicibacter ectropisis* sp. nov. confers enhanced resistance to the pesticide bifenthrin in tea pests. *Science of the Total Environment*, 955, 176784. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176784>
- Liu, C., Yao, H., & Wang, C. (2021). Black soldier fly larvae can effectively degrade oxytetracycline bacterial residue by means of the gut bacterial community. *Frontiers in Microbiology*, 12, 1 - 13. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.663972>
- López, A., Ruiz, P., Fuentes, E., Yusá, V., Dualde, P., Miralles, P., & Coscollá, C. (2024). Simultaneous direct determination of glyphosate and AMPA in the ambient air and inhalation risk assessment in a Mediterranean region (Spain). *Atmospheric Environment*, 317. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2023.120204>
- López-Benítez, A., Guevara-Lara, A., Domínguez-Crespo, M., Andraca-Adame, J., & Torres-Huerta, A. (2024). Concentrations of organochlorine, organophosphorus, and pyrethroid pesticides in rivers worldwide (2014–2024): A Review. *Sustainability*, 16(18), 1-29. <https://doi.org/10.3390/su16188066>
- Lupi, L., Bedmar, F., Wunderlin, D., & Miglioranza, K. (2019). Levels of organochlorine pesticides in soils, mesofauna and streamwater from an agricultural watershed in Argentina. *Environmental Earth Sciences*, 78(18), 1 - 9. <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8579-3>
- Maquén-Perleche, J., Aldana-Carbonel, S., Suárez-Muguerza, L., Sánchez-Purihuamán, M. N., Caro-Castro, J., y Carreño-Farfán, C. (2023). Biofertilizer based on fish waste increases the yield of *Vigna unguiculata* L. Walp, *Zea mays* L., and the rhizospheric microbiota. *Scientia agropecuaria*, 14(4), 529–538. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2023.044>
- Martínez, P., Zárate, X., & Chávez, V. (2024). Bacterias aisladas de insectos como fuente de nuevos antibióticos. *Milenaria, Ciencia y Arte*, 13(23), 12 - 14. <https://www.milenaria.umich.mx/ojs/index.php/milenaria/article/view/467/227>

- Martínez-Herrera, R., Castro-Cantú, B., Luna-Santillana, E., Quintero-Zapata, I., Gandarilla-Pacheco, F., Almaguer-Cantú, V., & Alemán-Huerta, M. (2020). Producción de biopolímeros tipo polihidroxibutirato a partir de cepas bacteriana aisladas de la Hemolinfa de larvas de *Hermetia illucens* (Linnaeus, 1758. Diptera: Stratiomyidae). *Entomología Mexicana*, 7, 301 – 305. <https://acaentmex.org/entomologia/revista/2020/EC/Em%20EC%20301-305.pdf>
- Mazhandu, Z., & Mashifana, T. (2024). Active pharmaceutical contaminants in drinking water: Myth or fact? *DARU Journal of Pharmaceutical Sciences*, 32(2), 925–945. <https://doi.org/10.1007/s40199-024-00536-9>
- Mazza, L., Xiao, X., Rehman, K., Cai, M., Zhang, D., Fasulo, S., Tomberlin, J., Zheng, L., Soomro, A., Yu, Z., & Zhang, J. (2020). Management of chicken manure using black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) larvae assisted by companion bacteria. *Waste Management*, 102, 312 - 318. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.10.055>
- Muro del Valle, S., Mago, A., Carreño, C., Sánchez-Purihuamán, M., Caro, J., & CarBajol, M. (2024). Association between weeds and plant growth-promoting rhizobacteria in the phytoremediation of lead-contaminated soil. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 77(2), 10667-10677. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v77n2.108353>
- Nath, A., Srivastavab, A., Mithilesha, N., Khanb, A., Chandc, G., & Singhb P. (2020) Development of bacterial consortium tolerant to arsenic and endosulfan by isolating bacteria from arsenic contaminated water bodies in bihar, India. *World Journal of Pharmaceutical Research*, 9(14), 694 - 714. [Doi.org/10.20959/wjpr202014-19072](https://doi.org/10.20959/wjpr202014-19072)
- Niermans, K., Hoek- van den Hil, E., Van der Fels-Klerx, H., & Van Loon, J. (2024). The role of larvae of black soldier fly and house fly and of feed substrate microbes in biotransformation of aflatoxin B1. *Ecotoxicology and environmental safety*, 279. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.116449>
- Nsibande, S., & Forbes, P. (2016). Detección de fluorescencia de pesticidas mediante materiales de puntos cuánticos: una revisión. *Elsevier*, 945, 9 - 22. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2016.10.002>
- Onder, G., & Demirci, U. (2019). Statistical evaluation of the bioremediation performance of *Ochrobactrum thiophenivorans* and *Sphingomonas melonis* bacteria on Imidacloprid insecticide in artificial agricultural field. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 18(2), 395 – 402. <https://doi.org/10.1007/s40201-019-00391-w>
- Parra, L., González, R., Castillo, C., Melchor, E., Sosa, J., & Bilal, M. (2022). Highly hazardous pesticides and related pollutants: toxicological, regulatory, and analytical

- aspects. *Science of the Total Environment*, 807. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151879>
- Pérez-Pacheco, R., Hinojosa-Garro, D., Ruíz-Ortíz, F., Camacho-Chab, J. C., Ortega-Morales, B. O., Alonso-Hernández, N., Fonseca-Muñoz, A., Landero-Valenzuela, N., Loeza-Concha, H. J., Diego-Nava, F., Arroyo-Balán, F., & Granados-Echegoyen, C. A. (2022). Growth of the black soldier fly *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) on organic-waste residues and its application as supplementary diet for Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (Perciformes: Cichlidae). *Insects*, 13(4), 326. <https://doi.org/10.3390/insects13040326>
- Pipit, A., Ratnaningsih, & Rinanti, A. (2021). Endosulfan insecticide removal planning with bioaugmentation-landfarming bioremediation method. *IOP Conference series: Earth and Environmental Science*, 894(1), 1 - 6. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/894/1/012042>
- Poveda, J. (2019). Los microorganismos asociados a los insectos y su aplicación en la agricultura. *Revista Digital Universitaria*, 20(1), 1 – 14. <https://doi.org/10.22201/codeic.16076079e.2019.v20n1.a2>
- Priya, A., Ali, M., Srivastava, A., Kumar, R., & Ghosh, A. K. (2024). Endosulfan induces reproductive & genotoxic effect in male and female Swiss albino mice. *Laboratory Animal Research*, 40(1), 1 - 10. <https://doi.org/10.1186/s42826-024-00208-4>
- Qi, S., Xu, X., Ma, W., Deng, S., Lian, Z., & Yu, K. (2022). Effects of organochlorine pesticide residues in maternal body on infants. *Frontiers in Endocrinology* 13, 1 - 15. <https://doi.org/10.3389/fendo.2022.890307>
- Rani, R., Kumar, V., Gupta, P., & Chandra, A. (2019 a). Effect of endosulfan tolerant bacterial isolates (*Delftia lacustris* IITISM30 and *Klebsiella aerogenes* IITISM42) with *Helianthus annuus* on remediation of endosulfan from contaminated soil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 168, 315–323. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.10.059>
- Rani, R., Kumar, V., Usmani, Z., Gupta, P., & Chandra, A. (2019 b). Influence of plant growth promoting rhizobacterial strains *Paenibacillus* sp. IITISM08, *Bacillus* sp. PRB77 and *Bacillus* sp. PRB101 using *Helianthus annuus* on degradation of endosulfan from contaminated soil. *Chemosphere*, 225, 479–489. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.03.037>
- Sakthivel, S., Dhanapal, A., Palaniswamy, R., Dhandapani, S., & Kathiravan, M. (2022). Biodegradation of endosulfan - a chlorinated cyclodiene pesticide by indigenous

- Pseudomonas* sp. MSCAS BT01. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 194(6), 2747 - 2761. <https://doi.org/10.1007/s12010-022-03869-w>
- Sathishkumar, P., Govarthanan, M., Mohan, K., Ganesan, A., Mohd, A., & Gu, F. (2021). Persistence, toxicological effect and ecological issues of endosulfan – a review. *Journal of Hazardous Materials*, 416, 1 - 37. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125779>
- Sharma, A., Kaninathan, A., Dahal S., Kumari, S., Choudhary, B., & Raghavan S. (2022) Exposure to endosulfan can cause long term effects on general biology, including the reproductive system of mice. *Frontiers in Genetics*, 15, 1 - 15. <https://doi.org/10.3389/fgene.2022.1047746>
- Shi, Y., Shi, Y., & Zheng, L. (2020). Individual and cellular responses of earthworms (*Eisenia foetida*) to endosulfan at environmentally related concentrations. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 74, 1 - 9. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2019.103299>
- Singh, N., Sharma, R., & Singh, D. (2019). Identification of enzyme(s) capable of degrading endosulfan and endosulfan sulfate using in silico techniques. *Enzyme and Microbial Technology*, 124, 32 - 40. <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2019.01.003>
- Sivanantharaja, A., & Gnaneswaran, R. (2018). *Biology of the black soldier fly, Hermetia illucens* (Linnaeus) (Diptera: Stratiomyidae) in Jaffna, Sri Lanka. *International Journal of Entomology Research*, 3(6), 18–22. <https://www.entomologyjournals.com/assets/archives/2018/vol3issue6/3-5-29-236.pdf>
- Souza, R., Portella, R., Almeida, P., Pinto, C., Gubert, P., Santos da Silva, J., Nakamura, T., & Do Rego, E. (2020). Human milk contamination by nine organochlorine pesticide residues (OCPs). *Journal of Environmental Science and Health - Part B Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*, 55(6), 530–538. <https://doi.org/10.1080/03601234.2020.1729630>
- Tames, F., Miglioranza, K., Rodríguez, M., & Carreras, H. (2020). Indoor persistent organic pollutants in agricultural areas from Argentina. *Wiley*, 30(4), 725–734. <https://doi.org/10.1111/ina.12649>
- Tan, K., Mohd, A., Razak, A., & Mohd, N. (2021). *Bacillus megaterium*: a potencial and an efficient bio-degrader of polystyrene. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 64, 1 - 12. <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2021190321>
- Tang, W., Ji, H., & Hou, X. (2017). Research progress of microbial degradation of organophosphorus pesticide. *Progress in Applied Microbiology*, 1(1), 29-35. <https://www.ipinde xing.com/article/24362>

- Tawar, N., Banerjee, B., Madhu, S., Agrawal, V., & Gupta, S. (2022). Association of organochlorine pesticides with genetic markers of endoplasmic reticulum stress in Type 2 Diabetes Mellitus: A Case–Control Study Among the North-Indian Population. *Frontiers in Endocrinology*, 13, 1-10. <https://doi.org/10.3389/fendo.2022.841463>
- Téllez-Bañuelos, M., González, S., Ortiz, P., Rosas, V., Gómez, J., & Haramati, J. (2019). Low-dose endosulfan inhibits proliferation and induces senescence and pro-inflammatory cytokine production in human lymphocytes, preferentially impacting cytotoxic cells. *Journal of Immunotoxicology*, 16(1), 173 - 181. <https://doi.org/10.1080/1547691X.2019.1668513>
- Tudi M., Li H., Li H., Wang L., Lyu J., Yang L., Tong S., Yu Q., Ruan H., Atabila A., Phung D., Sadler R., & Connell D. (2022). Exposure routes and health risks associated with pesticide application. *Toxics*, 10, 353-375. <https://doi.org/10.3390/toxics10060335>
- Tusher, T. R., Shimizu, T., Inoue, C., & Chien, M. F. (2021). Isolation and characterization of novel bacteria capable of degrading 1,4-dioxane in the presence of diverse co-occurring compounds. *Microorganisms*, 9(5), 1–14. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9050887>
- Vandenberg, L., Najmi, A., & Mogus, J. (2020). Agrochemicals with estrogenic endocrine disrupting properties: Lessons Learned. *Molecular and Cellular Endocrinology*, 518. [10.1016/j.mce.2020.110860](https://doi.org/10.1016/j.mce.2020.110860)
- Vandeweyer, D., Bruno, D., Bonelli, M., IJdema, F., Lievens, B., Crauwels, S., Casartelli, M., Tettamanti, G., & De Smet, J. (2023). Bacterial biota composition in gut regions of black soldier fly larvae reared on industrial residual streams: Revealing community dynamics along its intestinal tract. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1286435. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1286435>
- Vera, V., Choque, B., Soto, K., Solórzano, G., & Huayllani, B. (2021). Aislamiento de enterobacterias de *Tenebrio molitor* (coleoptera: tenebrionidae) como organismos degradadores del poliestireno expandido bajo condiciones de laboratorio. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(6), 11169 - 11185. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i6.1160
- Wang, J., Liu, C., Cao, Q., Li, Y., Chen, L., Qin, Y., Wang, T., & Wang, C. (2024). Enhanced biodegradation of microplastic and phthalic acid ester plasticizer: The role of gut microorganisms in black soldier fly larvae. *Science of the Total Environment*, 924. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171674>

- Wang, Y., Guo, Y., Hu, Y., Sun, Y., & Xu, D. (2020). Endosulfan triggers epithelial-mesenchymal transition via PTP4A3-mediated TGF- β signaling pathway in prostate cancer cells. *Science of the Total Environment*, 731, 1 - 7. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139234>
- Wu, S., Gao, J., & Chang, B. (2021). Isolation of lindane- and endosulfan-degrading bacteria and dominance analysis in the microbial communities by culture-dependent and independent methods. *Microbiological Research*, 251. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2021.126817>
- Xia, X., Sun, B., Gurr, G. M., Vasseur, L., Xue, M., & You, M. (2018). Gut microbiota mediate insecticide resistance in the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.). *Frontiers in Microbiology*, 9, 25. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00025>
- Zaffar, H., Fareed, A., Riaz, S., Ali, M., Ahmed, R., Rashid, A., Kamran-ui-Hassan Naqvi, S., & Alam, T. (2021). Kinetic modeling of endosulfan degradation by mixed bacterial culture. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 30(6), 1–14. <https://doi.org/10.1080/15320383.2021.1897082>
- Zamule, S., Dupre, C., Mendola, M., Widmer, J., Shebert, J., Roote, C., & Das, P. (2021). Bioremediation potential of select bacterial species for the neonicotinoid insecticides, thiamethoxam and imidacloprid. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 209, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111814>

ANEXOS

Anexo 1

*Folleto informativo de la empresa “BSF logistics” comercializadora de posturas de *H. illucens*.*



Anexo 2

Promedio de temperatura registrada por la Estación Meteorológica de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad “Pedro Ruíz Gallo” Lambayeque 2025

Meses	Temperatura promedio (°C)		
	Máxima	Mínima	Promedio
Abril	27	21	23, 75
Mayo	26	19	22, 12
Junio	24	19	21, 55
Julio	23	18	20, 46

Anexo 3

Promedio de humedad registrada por la Estación Meteorológica de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad “Pedro Ruíz Gallo” Lambayeque 2025

Meses	Humedad promedio (%)		
	Máxima	Mínima	Promedio
Abril	84	47	66, 58
Mayo	85	51	67, 74
Junio	83	54	68,36
Julio	86	52	68,53

Anexo 4

Alimentos constituyentes de la dieta alimentaria de larvas de H. illucens, Lambayeque 2025

Residuos orgánicos	Nombre científico	Nombre común
Frutas	<i>Musa paradisiaca</i>	Plátano
	<i>Malus domestica</i>	Manzana
	<i>Citrus reticulata</i>	Mandarina
	<i>Citrus sinensis</i>	Naranja
	<i>Citrus aurantifolia</i>	Limón
	<i>Persea Americana</i>	Palta
	<i>Ananas comosus</i>	Piña
	<i>Passiflora edulis</i>	Maracuyá
	<i>Fragaria chiloensis</i>	Fresa
	<i>Diospyros kaki</i> L. f	Kaki
	<i>Actinidia deliciosa</i>	Kiwi
	<i>Cucumis sativus</i>	Pepinillo
Verduras	<i>Solanum lycopersicum</i>	Tomate
	<i>Cucurbita moschata</i>	Zapallo
	<i>Apium graveolens</i>	Apio
	<i>Manihot esculenta</i>	Yuca
	<i>Zingiber officinale</i>	Kiόν
	<i>Zea mays</i>	Choclo
	<i>Allium cepa</i>	Cebolla
Restos alimenticios cocidos	<i>Daucus carota</i>	Zanahoria
	<i>Oryza sativa</i>	Arroz
	<i>Solanum tuberosum</i>	Papa
	<i>Gallus gallus domesticus</i>	Pollo
	<i>Bos taurus</i>	Carne
	-	Pan
	-	Pastas

Anexo 5

Bayer CropScience
HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

**THIODAN 35 EC**

Versión 1 / E
102000000892

1/8
Fecha de revisión: 12.08.2005
Fecha de impresión: 05.05.2009

1. IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA O PREPARADO Y DE LA SOCIEDAD O EMPRESA**Información del producto**

Marca	THIODAN 35 EC
Código del producto (UVP)	05936705
Utilización	Insecticida
Compañía	Bayer S. A. Av. Santa Teresa 2.245 c/ Aviadores del Chaco Teléfono: 595 21 617 3500 - Fax: 595 21 617 3501 Asunción - Paraguay
Proveedor	Bayer S. A. Rua Verbo Divino, 1207 Bloco B – Térreo Chácara Santo Antonio CEP 04719-002 San Pablo/SP - Brasil Tel: 0 800 0115560 Email: telebayercropscience@bayercropscience.com Tel de emergencia: 0 800 7010450

2. COMPOSICIÓN / INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES**Naturaleza química**

Concentrado emulsionable (EC)
Endosulfan 350 g/l

Componentes peligrosos

Nombre químico	N° CAS / N° EINECS	Símbolo(s)	Frase(s) - R	Concentración [%]
Endosulfan	115-29-7 204-079-4	T, N	R24/25, R36, R50/53	34,00
Nafta disolvente (petróleo), fracción aromática ligera		Xn, N	R10, R37, R51/53, R65, R66, R67	> 40,00 - < 60,00
Tetrapropilen benceno sulfonato cálcico	11117-11-6 234-360-7	C	R21, R34, R52/53	< 3,00
2-Metilpropan-1-ol	78-83-1 201-148-0	Xi	R10, R37/38, R41, R67	< 2,00

3. IDENTIFICACION DE LOS PELIGROS**Advertencia de riesgo para el hombre y para el medio ambiente**

Inflamable.
Tóxico en contacto con la piel.
Tóxico por ingestión.
Irrita la piel.
Riesgo de lesiones oculares graves.
Muy tóxico para los organismos acuáticos, puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático.
Nocivo: si se ingiere puede causar daño pulmonar.



THIODAN 35 EC

Versión 1 / E
102000000892

2/8

Fecha de revisión: 12.08.2005
Fecha de impresión: 05.05.2009

4. PRIMEROS AUXILIOS

Inhalación

En caso de accidente por inhalación, alejar a la víctima de la zona contaminada y mantenerla en reposo. Llame inmediatamente al médico.

Contacto con la piel

Quítese inmediatamente la ropa contaminada. Lávese inmediatamente con jabón y agua abundante. Llame inmediatamente al médico.

Contacto con los ojos

En caso de contacto con los ojos, lávenlos inmediata y abundantemente con agua y acúdase a un médico.

Ingestión

En caso de ingestión, acuda inmediatamente al médico y muéstrela la etiqueta o el envase. Inducir vómito si el paciente está totalmente consciente, han pasado menos de 2 horas desde la ingestión y no se puede obtener ayuda médica fácilmente. (el vómito no debe llegar al tracto respiratorio) Enjuagar la boca cuidadosamente y a fondo con agua.

Notas para el médico

Síntomas

Local: irritación grave, Sistémico: mareos, dolor de cabeza, ataxia, náusea, vómitos, dolor abdominal, inconsciencia, convulsiones

Riesgos

Puede haber efectos neurológicos retrasados, incluyendo edema cerebral.
En caso de ingestión o vómitos, peligro de aspiración pulmonar.
NO confundir con compuestos organofosforados!

Tratamiento

Auxilios elementales, descontaminación y tratamiento sintomático.
Se deberá aplicar intubación endotraqueal y hacer un lavado gástrico, seguidos de administración de carbón animal y después de una solución acuosa de sulfato de magnesio o de sodio al 30%.
Controlar: sistemas respiratorio, cardíaco, riñón, hígado y sistema nervioso central.
Control de electrocardiograma.
Control de electroencefalograma.
Eliminación por diuresis alcalina forzada.
Tratamiento de las convulsiones con fenobarbital y, según caso, con diazepam por vía intravenosa; gluconato cálcico 10% por vía intravenosa.
Contraindicados: derivados de adrenalina, derivados de morfina, atropina, obidoxima.

5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

Medios de extinción adecuados

Espuma
Dióxido de carbono (CO₂)
Polvo seco
Agua pulverizada

Peligros específicos para la lucha contra el fuego

En caso de incendio puede(n) desprenderse:
Monóxido de carbono (CO)
Óxidos de azufre
Ácido clorhídrico (HCl)

Equipo de protección especial para los bomberos



THIODAN 35 EC

Versión 1 / E
102000000892

3/8
Fecha de revisión: 12.08.2005
Fecha de impresión: 05.05.2009

En caso de fuego, protéjase con un equipo respiratorio autónomo.
Llevar ropa de protección total.

Información adicional

El agua de extinción debe recogerse por separado, no debe penetrar en el alcantarillado.
Si no se puede retirar el producto de la zona de incendio, refrigerar con agua los envases y reducir el calor para evitar que aumente la presión en los envases.

6. MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL

Precauciones personales

Utilícese equipo de protección individual.
Evacuar el personal a zonas seguras.

Precauciones para la protección del medio ambiente

No echar al agua superficial o al sistema de alcantarillado sanitario.

Métodos de limpieza

Recoger con material absorbente (p. ej. arena, tierra de infusorios, absorbente universal).
Llevar a eliminar en recipientes provistos de cierre seguro.

Consejos adicionales

Indicaciones relativas a manipulación segura, ver apartado 7.
Indicaciones relativas al equipo de protección individual, ver apartado 8.
Indicaciones relativas a eliminación de residuos, ver apartado 13.
Verificar también la existencia de procedimientos internos en el centro de trabajo.

7. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

Manipulación

Consejos para una manipulación segura
Asegúrese una ventilación apropiada.

Indicaciones para la protección contra incendio y explosión

El producto es inflamable.
Manténgase separado del calor y de las fuentes de ignición.

Indicaciones para la protección contra incendio y explosión

El producto no es sensible a impacto y/o fricción y por lo tanto, no provoca explosiones.

Almacenamiento

Exigencias técnicas para almacenes y recipientes

Cerrar los recipientes herméticamente y mantenerlos en lugar seco, fresco y bien ventilado.
Mantener alejado de la luz directa del sol.
Proteger de las heladas.

Indicaciones para el almacenamiento conjunto

Manténgase separado de alimentos, bebidas y piensos.

Estabilidad en almacén

Tiempo de almacenamiento	24 Meses
Temperatura de almacenamiento	25 °C
Otros datos	Almacenar a temperatura entre 0 y 30 °C, máx. 50 °C.

Materiales adecuados

Vidrio
Botellas de polietileno con revestimiento interior de poliamida (coex)



THIODAN 35 EC

Versión 1 / E
102000000892

4/8
Fecha de revisión: 12.08.2005
Fecha de impresión: 05.05.2009

Acero pintado al horno
Material no adecuado
Poliétileno, goma

8. CONTROLES DE LA EXPOSICIÓN Y PROTECCIÓN PERSONAL

Componentes con valores límite a controlar en el lugar de trabajo

Componentes	No. CAS	Parámetros de control	Puesto al día	Base
Endosulfan	115-29-7	0,1 mg/m ³ (VLA-ED)	2004	VLA (ES)
2-Metilpropan-1-ol	78-83-1	154 mg/m ³ / 50 ppm (VLA-ED)	2004	VLA (ES)

Disposiciones de ingeniería

Ver apartado 7; no se requieren medidas adicionales.

Protección personal

Protección respiratoria Durante corte tiempo puede utilizarse equipo respiratorio con filtro combinado A-P3.

Protección de las manos Guantes desechables de PVC.
Caucho nitrilo.

Protección de la piel y del cuerpo Ropa ligera de protección, de PVC.

Medidas de higiene
No comer o beber, ni fumar durante el trabajo.
Lavarse las manos y la cara antes de los descansos y después del trabajo.

Medidas de protección
Evitar contacto con piel y ojos.

9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Aspecto

Estado físico Líquido
Color De pardo claro a pardo oscuro
Olor Aromático

Datos de Seguridad

Punto de inflamación 48 °C copa cerrada
Temperatura de autoignición 435 °C a 1.000 hPa92/69/EWG, A.15

Densidad aprox. 1,07 g/cm³ a 20 °C
Solubilidad Soluble en hidrocarburos aromáticos
Hidrosolubilidad Emulsionable
Viscosidad, cinemática 2,01 mm²/s a 40 °C
Tensión superficial 28,9 mN/m a 40 °C
Sensibilidad al impacto No sensible al impacto
Explosividad No explosivo

Bayer CropScience
HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD



THIODAN 35 EC

Versión 1 / E
10200000892

5/8
Fecha de revisión: 12.08.2005
Fecha de impresión: 05.05.2009

10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Productos de descomposición peligrosos	Óxidos de azufre compuestos de cloro
Reacciones peligrosas	Estable bajo las condiciones de almacenamiento recomendadas.

11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

Toxicidad oral aguda	DL ₅₀ (rata) 40 mg/kg
Toxicidad oral aguda	DL ₅₀ (conejo) 34 mg/kg
Toxicidad dérmica aguda	DL ₅₀ (rata) 266 mg/kg Se realizó el ensayo con un producto formulado de características similares.
Irritación de la piel	Irritante (conejo) Se realizó el ensayo con un producto formulado de características similares.
Irritación de los ojos	Riesgo de lesiones oculares graves. (conejo) Se realizó el ensayo con un producto formulado de características similares.
Sensibilización	No sensibilizante (conejo de indias) OCDE Línea Directriz de Prueba 406, Prueba de Buehler Se realizó el ensayo con un producto formulado de características similares.

12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA

Efectos ecotoxicológicos

Toxicidad para peces	CL ₅₀ (Trucha arco iris (<i>Oncorhynchus Mykiss</i>)) 2,1 µg/l Tiempo de exposición: 96 h Se realizó el ensayo con un producto formulado de características similares.
Toxicidad para dafnia	CE ₅₀ (Dafnia Magna) 0,004 mg/l Tiempo de exposición: 48 h Se realizó el ensayo con un producto formulado de características similares.
Toxicidad para las algas	(<i>Scenedesmus Subspicatus</i>) > 0,56 mg/l Tiempo de exposición: 72 h El valor indicado corresponde a la materia activa técnica endosulfan.

13. CONSIDERACIONES SOBRE LA ELIMINACIÓN

Producto

No eliminar el desecho en el alcantarillado.
Debe incinerarse en una planta incineradora adecuada que esté en posesión de un permiso otorgado por las autoridades competentes.

Bayer CropScience
HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD



THIODAN 35 EC

Versión 1 / E
102000000892

6/8
Fecha de revisión: 12.08.2005
Fecha de impresión: 05.05.2009

Envases contaminados

Enjuagar los recipientes vacíos con agua y usar esta agua de limpieza para preparar el caldo de pulverización.
Perforar el envase para evitar su reutilización.
Los envases vacíos deben ser reciclados o eliminados como residuo.
Envases/embalajes que no pueden ser limpiados deben ser eliminados de la misma forma que el producto contenido.

14. INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE

ADR/RID/ADNR

N° ONU	2995
Etiquetas	6.1 (3)
Grupo embalaje	II
N° de peligro	63
Descripción de los productos	UN 2995 PLAGUICIDA ÓRGANOCOLORADO LÍQUIDO TÓXICO, INFLAMABLE (Endosulfan, disolvente nafta (Petróleo) fracción aromática ligera en solución)

IMDG

N° ONU	2995
Clase	6.1
Grupo embalaje	II
EmS	F-E , S-D
Contaminante marino	Contaminante del mar
Descripción de los productos	PLAGUICIDA LIQUIDO, TOXICO , A BASE DE COMPUESTOS ORGANOCOLORADOS, INFLAMABLE (Endosulfan, disolvente nafta (Petróleo) fracción aromática ligera en solución) ORGANOCHLORINE PESTICIDE, LIQUID, TOXIC, FLAMMABLE (Endosulfan, solvent naphtha (Petroleum) light aromatic solution)

IATA

N° ONU	2995
Clase	6.1
Grupo embalaje	II
Descripción de los productos	PLAGUICIDA ORGANICO CLORADO, LIQUIDO, TOXICO, INFLAMABLE (Endosulfan, disolvente nafta (Petróleo) fracción aromática ligera en solución) ORGANOCHLORINE PESTICIDE, LIQUID, TOXIC, FLAMMABLE (Endosulfan, solvent naphtha (Petroleum) light aromatic solution)

15. INFORMACIÓN REGLAMENTARIA

Clasificación y etiquetado según Directivas CE sobre preparados peligrosos 1999/45/CE, y sus

Bayer CropScience
HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD



THIODAN 35 EC

Versión 1 / E
10200000892

7/8
Fecha de revisión: 12.08.2005
Fecha de impresión: 05.05.2009

enmiendas.

Clasificación:

Requiere etiqueta

Componentes determinantes del peligro para el etiquetado:

- Endosulfan
- Nafta Disolvente (petróleo), fracción aromática ligera

Símbolo(s)

T	Tóxico
N	Peligroso para el medio ambiente

Frase(s) - R

R10	Inflamable.
R24/25	Tóxico en contacto con la piel y por ingestión.
R38	Irrita la piel.
R41	Riesgo de lesiones oculares graves.
R50/53	Muy tóxico para los organismos acuáticos, puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático.
R65	Nocivo: si se ingiere puede causar daño pulmonar.

Frase(s) - S

S26	En caso de contacto con los ojos, lávense inmediata y abundantemente con agua y acúdase a un médico.
S35	Elimínense los residuos del producto y sus recipientes con todas las precauciones posibles.
S36/37/39	Úsense indumentaria y guantes adecuados y protección para los ojos/la cara.
S45	En caso de accidente o malestar, acúdase inmediatamente al médico (si es posible, muéstrese la etiqueta).
S57	Utilícese un envase de seguridad adecuado para evitar la contaminación del medio ambiente.

Etiquetado adicional

A fin de evitar riesgos para las personas y el medio ambiente, siga las instrucciones de uso.

Etiquetado adicional

Restringido a usos profesionales.

Información adicional

Clasificación OMS: Ib (Altamente peligroso)

Medidas preventivas de medicina laboral

Deben tenerse en cuenta las limitaciones vigentes para el empleo de jóvenes en determinadas tareas: 94/33/EC

16. OTRA INFORMACIÓN

Información adicional

Texto de las frases R mencionadas en la Sección 2:

R10	Inflamable.
R21	Nocivo en contacto con la piel.
R24/25	Tóxico en contacto con la piel y por ingestión.
R34	Provoca quemaduras.
R36	Irrita los ojos.
R37	Irrita las vías respiratorias.
R37/38	Irrita las vías respiratorias y la piel.

Bayer CropScience
HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD



THIODAN 35 EC

Versión 1 / E
102000000892

8/8
Fecha de revisión: 12.08.2005
Fecha de impresión: 05.05.2009

R41	Riesgo de lesiones oculares graves.
R50/53	Muy tóxico para los organismos acuáticos, puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático.
R51/53	Tóxico para los organismos acuáticos, puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático.
R52/53	Nocivo para los organismos acuáticos, puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático.
R65	Nocivo: si se ingiere puede causar daño pulmonar.
R66	La exposición repetida puede provocar sequedad o formación de grietas en la piel.
R67	La inhalación de vapores puede provocar somnolencia y vértigo.

Esta información se basa en el estado actual de nuestros conocimientos. Su objetivo es describir nuestros productos desde el punto de vista de la seguridad, por lo que no garantiza propiedades concretas de los productos.

La información incluida en esta Ficha de Datos de Seguridad es conforme a las disposiciones de la Directiva 1991/155/CE y sus actualizaciones posteriores. Esta ficha de datos de seguridad complementa a las instrucciones técnicas para el usuario, pero no las reemplaza. Los datos que contiene están basados en el conocimiento disponible sobre el producto concernido, en la fecha de revisión indicada. Se advierte encarecidamente a los usuarios de los posibles riesgos que supone usar un producto con otros propósitos distintos para los que había sido creado. La información dada es conforme a las disposiciones reglamentarias comunitarias en vigor. Se requiere de los destinatarios de esta ficha que observen cualquier requisito reglamentario nacional adicional.

Los cambios desde la última versión serán destacados en el margen. Esta versión reemplaza todas las versiones anteriores. Adaptación del original ENDOSULFAN EC 352 G U-WW, versión 1 / E 102000000892.

Anexo 6

Medios de cultivo

Medio sales minerales (MSM) con 10 mg L⁻¹ de endosulfán (en Zaffar et al., 2021)

Componentes	gL ⁻¹
NH ₄ NO ₃	1,0
Nitrato de amonio	
KH ₂ PO ₄	5,0
Fosfato monopotásico	
K ₂ HPO ₄	1,5
Fosfato dipotásico	
Mg cl ₂	0,1
Cloruro de magnesio	
(Fe SO ₄ 7H ₂ O)	0,1
Sulfato ferroso heptahidratado	
Na cl	1,0
Cloruro de sodio	
Agua destilada	1 000 mL

*pH 7

Agar sales minerales con 10 mg L⁻¹ de endosulfán (en Zaffar et al., 2021)

Componentes	gL ⁻¹
NH ₄ NO ₃	1,0
Nitrato de amonio	
KH ₂ PO ₄	5,0
Fosfato monopotásico	
K ₂ HPO ₄	1,5
Fosfato dipotásico	
Mg cl ₂	0,1
Cloruro de magnesio	
(Fe SO ₄ 7H ₂ O)	0,1
Sulfato ferroso heptahidratado	
Na cl	1,0
Cloruro de sodio	
Endosulfán	0,1
Agar agar	20
Agua destilada	1 000 mL

*pH7

Agar nutritivo (AN) (en Aborisade et al., 2022)

Componentes	gL ⁻¹
Peptona	5,0
Extracto de carne	3,0
Agar	15,0
Agua destilada	1000 mL

*pH7

A) Cálculo para la preparación de las diferentes concentraciones con Thiodan 35 EC.

Insecticida: 350 gL^{-1}

Volumen final del caldo mínimo de sales por botella: $200 \text{ mL} = 0,2 \text{ L}$

Ecuación utilizada: $C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$

$$V_1 = \frac{C_2 \times V_2}{C_1}$$

C_1 = Concentración del insecticida comercial (gL^{-1})

V_1 = Volumen de Thiodan a utilizar (mL)

C_2 = Concentración final de Thiodan deseada (gL^{-1})

V_2 = Volumen final del caldo mínimo de sales (L)

(Conversión: $350 \text{ g L}^{-1} \times 1000 = 350000 \text{ mg L}^{-1}$)

1. Cálculos por concentración:

1.1 Preparación de 10 mg L^{-1} de endosulfán:

$$V_1 = \frac{(10 \text{ mg L}^{-1}) (0,2 \text{ L})}{350000 \text{ mg L}^{-1}}$$

$$V_1 = 0,0000057 \text{ L}$$

$$V_1 = 0,0057 \text{ mL}$$

1.2 Preparación de 15 mg L^{-1} de endosulfán:

$$V_1 = \frac{(15 \text{ mg L}^{-1}) (0,2 \text{ L})}{350000 \text{ mg L}^{-1}}$$

$$V_1 = 0,00000857 \text{ L}$$

$$V_1 = 0,00857 \text{ mL}$$

1.3 Preparación de 20 mg L^{-1} de endosulfán:

$$V_1 = \frac{(20 \text{ mg L}^{-1}) (0,2 \text{ L})}{350000 \text{ mg L}^{-1}}$$

$$V_1 = 0,0000114 \text{ L}$$

$$V_1 = 0,0114 \text{ mL}$$

1.4 Preparación de 25 mg L⁻¹ de endosulfán:

$$V1 = \frac{(25 \text{ gL}^{-1}) (0,2 \text{ L})}{350000 \text{ mg L}^{-1}}$$

$$V1 = 0,0000142 \text{ L}$$

$$V1 = 0,01428 \text{ mL}$$

1.5 Preparación de 30 mg L⁻¹ de endosulfán:

$$V1 = \frac{(30 \text{ mg L}^{-1}) (0,2 \text{ L})}{350000 \text{ mg L}^{-1}}$$

$$V1 = 0,0000171 \text{ L}$$

$$V1 = 0,0171 \text{ mL}$$

1.6 Preparación de 35 mg L⁻¹ de endosulfán:

$$V1 = \frac{(35 \text{ mg L}^{-1}) (0,2 \text{ L})}{350000 \text{ mg L}^{-1}}$$

$$V1 = 0,00002 \text{ L}$$

$$V1 = 0,02 \text{ mL}$$

1.7 Preparación de 40 mg L⁻¹ de endosulfán:

$$V1 = \frac{(40 \text{ mg L}^{-1}) (0,2 \text{ L})}{350000 \text{ mg L}^{-1}}$$

$$V1 = 0,0000228 \text{ L}$$

$$V1 = 0,0228 \text{ mL}$$

1.8 Contaminación de 8 Kg de suelo con 40 mg kg⁻¹ de endosulfán:

Para 1 Kg de suelo: 0,0228

Para 8 Kg de suelo: 0,1824

Anexo 7

Promedio de medidas de los diferentes estadios de H. illucens, Lambayeque 2025

Estadios	Mínimo (mm)	Máximo (mm)	Promedio (mm)
Postura	0,85	0,93	0,89
Larva neonata	0,83	0,93	0,89
Larva 1	1,08	1,91	1,41
Larva 2	3,03	3,93	3,35
Larva 3	4,25	5,88	5,00
Larva 4	6,30	9,35	7,47
Larva 5	10,74	24,00	17,49
Pre - pupa	17,00	22,00	19,20
Pupa	16,00	20,00	18,33
Adulto	14,00	25,00	15,64

*Análisis de 25 individuos por cada estadio de desarrollo

Anexo 8

Cultivos de bacterias intestinales de larvas de H. illucens según el morfotipo de colonia, Lambayeque 2025

Morfotipo	N ° de cultivo de bacterias
1	4, 6, 11, 18, 19, 24, 27, 29, 30, 31, 32, 33, 36, 39, 41, 44, 46, 47, 49, 52, 59, 61, 62 ,66, 68, 72, 75, 81, 84, 85
2	2, 8, 9, 12, 14, 20, 21, 23, 25, 26, 28, 35, 45, 48, 54, 57, 60, 65, 67, 69, 70, 71, 74, 80, 83, 86
3	10, 15, 22, 34, 38, 77, 82
4	3, 5
5	78, 79
6	17, 37, 42, 50, 55, 58, 63
7	1, 13, 56, 73, 76
8	40, 43, 51, 53, 64
9	7, 16

Anexo 9

Densidad óptica (DO₆₀₀) de medio sales minerales con endosulfán cultivado con bacterias intestinales de larvas de *H. illucens*, Lambayeque 2025

Densidad óptica sin corregir (nm)							
Bacterias (Código)	10	15	20	25	30	35	40
80	2,106	2,320	2,619	3,310	3,670	5,620	4,994
71	1,903	2,185	2,526	3,358	3,772	5,448	5,284
60	1,912	2,355	2,795	3,384	3,908	5,512	5,204
43	1,615	2,304	2,864	3,440	3,922	5,164	5,100
77	1,677	2,381	2,765	3,486	3,990	5,220	5,176
82	1,917	2,353	2,691	3,777	3,918	5,444	5,004
83	2,067	1,981	2,500	3,440	3,884	5,024	4,962
81	1,914	2,384	2,604	3,864	4,028	4,144	-
55	1,860	2,245	2,797	3,422	3,968	4,360	-
45	2,134	2,297	2,462	3,570	3,952	-	-
48	2,007	2,393	2,464	3,518	3,964	-	-
47	1,652	2,302	2,542	3,346	3,886	-	-
79	1,620	2,466	2,686	3,446	3,868	-	-

87	1,861	2,292	2,687	3,884	3,974	-	-
56	2,067	2,433	2,582	3,402	3,852	-	-
38	1,899	2,416	2,862	3,392	3,634	-	-
73	1,999	2,375	2,515	3,456	3,562	-	-
9	1,612	2,313	2,585	3,932	4,096	-	-
27	1,948	2,453	2,711	3,748	3,812	-	-
26	1,907	2,374	2,864	3,634	3,820	-	-
1	1,954	2,257	2,862	3,368	4,014	-	-
22	2,143	2,302	2,560	3,284	3,658	-	-
84	2,255	2,425	2,764	3,374	3,754	-	-
46	2,114	2,422	2,713	3,330	3,838	-	-
67	1,892	2,446	2,766	3,446	4,068	-	-
39	1,729	2,187	2,765	3,322	4,178	-	-
5	2,064	2,289	2,800	3,290	3,988	-	-
52	1,860	2,410	2,642	3,482	3,848	-	-
2	1,968	2,313	2,661	3,300	3,942	-	-
69	1,692	2,319	2,941	3,412	3,692	-	-
61	1,781	2,220	2,765	3,694	3,680	-	-
28	1,887	2,143	2,464	3,364	4,030	-	-
25	1,907	2,309	2,711	3,336	3,238	-	-
64	1,622	2,532	2,800	3,544	3,280	-	-

19	1,700	1,936	2,566	3,582	3,368	-	-
58	1,924	2,341	2,599	3,404	3,386	-	-
62	1,615	2,325	2,766	2,804	-	-	-
41	2,048	2,125	2,623	2,876	-	-	-
4	1,828	2,307	2,826	2,678	-	-	-
54	1,803	2,335	2,619	2,864	-	-	-
21	1,788	2,398	2,642	3,024	-	-	-
74	1,713	2,189	2,640	3,006	-	-	-
31	1,961	2,585	2,623	2,590	-	-	-
8	1,544	1,847	2,095	-	-	-	-
23	1,542	1,857	2,066	-	-	-	-
49	1,597	1,813	2,099	-	-	-	-
68	1,879	1,953	2,042	-	-	-	-
10	1,785	1,866	2,021	-	-	-	-
65	1,590	1,912	2,092	-	-	-	-
36	1,583	1,844	2,512	-	-	-	-
14	1,879	1,726	-	-	-	-	-
15	1,576	1,644	-	-	-	-	-
20	1,572	1,767	-	-	-	-	-
50	1,585	1,782	-	-	-	-	-
44	2,246	1,711	-	-	-	-	-

7	1,594	1,723	-	-	-	-	-
3	1,563	1,800	-	-	-	-	-
72	1,369	-	-	-	-	-	-
59	1,452	-	-	-	-	-	-
29	1,237	-	-	-	-	-	-
86	1,522	-	-	-	-	-	-
32	1,372	-	-	-	-	-	-
78	1,459	-	-	-	-	-	-
18	1,500	-	-	-	-	-	-
75	1,477	-	-	-	-	-	-
12	1,015	-	-	-	-	-	-
11	1,485	-	-	-	-	-	-
13	1,002	-	-	-	-	-	-
16	1,525	-	-	-	-	-	-
70	1,452	-	-	-	-	-	-
63	1,522	-	-	-	-	-	-
40	1,175	-	-	-	-	-	-
6	1,132	-	-	-	-	-	-
42	1,520	-	-	-	-	-	-
66	1,516	-	-	-	-	-	-
35	1,471	-	-	-	-	-	-

37	1,608	-	-	-	-	-	-
53	1,502	-	-	-	-	-	-
24	1,465	-	-	-	-	-	-
34	1,066	-	-	-	-	-	-
33	1,426	-	-	-	-	-	-
30	1,489	-	-	-	-	-	-
51	1,739	-	-	-	-	-	-
57	1,098	-	-	-	-	-	-
76	1,516	-	-	-	-	-	-
17	1,458	-	-	-	-	-	-

ANEXO 10

Número promedio de semillas germinadas en el suelo experimental contaminado con endosulfán y biorremediación durante 0 – 27 días

Tratamientos	Longitud radicular / días									
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27
T0	30,000 a	30,000 a	30,000 a	30,000 a	30,000 a	30,000 a	30,000 a	30,000 c	30,000 a	30,000 a
T1	6,333 f	13,000 c	12,00 f	13,000 e	18,000 b	19,000 bc	20,000 c	21,000 b	22,000 b	24,000 b
T2	12,333 d	14,000 c	19,333 bc	22,333 cd	28,000 a	28,000 a	29,000 ab	29,000 a	29,000 a	29,000 a
T3	10,333 e	11,333 de	14,000 d	15,000 e	17,000 b	20,000 bc	28,000 ab	28,000 a	28,000 a	28,000 a
T4	11,333 de	13,000 c	19,333 bc	21,000 d	27,000 a	28,000 a	28,000 ab	29,000 a	29,000 a	29,000 a
T5	10,000 e	10,333 ef	13,333 de	13,000 e	19,667 b	21,667 b	27,000 ab	28,000 a	28,000 a	29,000 a
T6	14,333 bc	16,333 b	20,333 b	25,000 b	29,333 a	30,000 a	30,000 a	30,000 a	30,000 a	30,000 a
T7	13,000 cd	11,667 d	13,000 def	14,000 e	15,333 b	18,000 c	28,000 ab	28,000 a	30,000 a	30,000 a
T8	15,000 b	16,333 b	19,000 c	24,000 bc	29,000 a	30,000 a	20,000 c	30,000 a	30,000 a	30,000 a
T9	12,333 d	10,000 f	12,333 ef	13,000 e	18,000 b	20,000 bc	28,000 ab	29,000 a	29,000 a	29,000 a

*Promedio de tres repeticiones, cada una de 30 semillas

ANEXO 11

Longitud promedio de radícula de semillas germinadas en el suelo experimental contaminado con endosulfán y biorremediación durante 0 – 27 días

Longitud radicular / días										
Tratamientos	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27
T0	1,333 c	1,500 d	1,367 c	1,467 c	1,433 e	1,500 e	1,500 b	1,433 c	1,467 d	1,567 cd
T1	1,033 d	1,100 e	1,267 c	1,267 d	1,167 f	1,233 f	1,067 c	1,167 d	1,367 d	1,467 d
T2	1,633 a	1,667 bc	1,667 b	1,633 b	1,767 c	1,833 ab	1,833 a	1,733 ab	1,900 a	1,767 b
T3	1,467 bc	1,767 ab	1,667 b	1,767 ab	1,700 cd	1,667 cd	1,767 a	1,767 ab	1,667 c	1,767 b
T4	1,633 a	1,733 ab	1,700 ab	1,700 ab	1,767 c	1,700 bcd	1,933 a	1,800 ab	1,733 bc	1,933 a
T5	1,600 ab	1,700 ab	1,600 b	1,467 c	1,567 de	1,567 de	1,733 ab	1,733 ab	1,833 ab	1,700 bc
T6	1,467 bc	1,700 ab	1,800 a	1,833 a	1,967 a	1,933 a	1,767 a	1,833 a	1,767 abc	1,733 b
T7	1,500 ab	1,467 d	1,667 b	1,800 a	1,800 bc	1,733 bc	1,733 ab	1,767 ab	1,767 abc	1,800 ab
T8	1,633 a	1,800 a	1,800 a	1,833 a	1,933 ab	1,667 cd	1,867 a	1,833 a	1,900 a	1,833 ab
T9	1,500 ab	1,567 cd	1,667 b	1,700 ab	1,667 cd	1,700 bcd	1,733 ab	1,677 b	1,867 ab	1,800 ab

*Promedio de tres repeticiones, cada una de 30 semillas

ANEXO 12

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DÍA 0

1. PRUEBA DE NORMALIDAD
(SHAPIRO-WILK)

Tratamiento	Estadístico W	p-valor	¿Es Normal?
BACT 1	0.75	0	No ($p < 0.05$)
BACT 2	0.75	0	No ($p < 0.05$)
BACT 3	0.75	0	No ($p < 0.05$)
BACT 4			Sin varianza (valores idénticos)
CONS 1	0.75	0	No ($p < 0.05$)
CONS 2	1	1	Si ($p > 0.05$)
CONS 3	1	1	Si ($p > 0.05$)
CONS 4	0.75	0	No ($p < 0.05$)
ENDOSULFÁN	0.75	0	No ($p < 0.05$)
T0			Sin varianza (valores idénticos)

2. PRUEBA DE
HOMOCEDASTICIDAD (LEVENE)

Prueba	Valor F	p-valor	Resultado
Levene (Homocedasticidad)	0.5556	0.8167	Homocedástico ($p > 0.05$)

3. ANÁLISIS DE VARIANZA
(ANOVA)

Origen Variación	GL	Suma Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	p-valor
Tratamiento	9	1069.5	118.83	297.083	0
Residuales	20	8	0.4		

4. CLD (Post-Hoc: Tukey HSD)

Tratamiento	Media	Desv. Estándar	Media $\pm$ DE	Letra CLD
T0	30	0	30 $\pm$ 0	a
CONS 3	15	1	15 $\pm$ 1	b
CONS 1	14.333	0.577	14.333 $\pm$ 0.577	bc
CONS 2	13	1	13 $\pm$ 1	cd
BACT 1	12.333	0.577	12.333 $\pm$ 0.577	d
CONS 4	12.333	0.577	12.333 $\pm$ 0.577	d
BACT 3	11.333	0.577	11.333 $\pm$ 0.577	de
BACT 2	10.333	0.577	10.333 $\pm$ 0.577	e
BACT 4	10	0	10 $\pm$ 0	e
ENDOSULFÁN	6.333	0.577	6.333 $\pm$ 0.577	f

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DÍA 3

1. PRUEBA DE NORMALIDAD (SHAPIRO-WILK)

Tratamiento	Estadístico W	p-valor	¿Es Normal?
BACT 1	0.75	0	Sin varianza (valores idénticos)
BACT 2			No ($p < 0.05$)
BACT 3	0.75	0	Sin varianza (valores idénticos)
BACT 4			No ($p < 0.05$)
CONS 1	0.75	0	No ($p < 0.05$)
CONS 2	0.75	0	No ($p < 0.05$)
CONS 3	0.75	0	No ($p < 0.05$)
CONS 4	0.75	0	Sin varianza (valores idénticos)
ENDOSULFÁN			Sin varianza (valores idénticos)
T0	0.75	0	Sin varianza (valores idénticos)
			Sin varianza (valores idénticos)

2. PRUEBA DE HOMOCEDASTICIDAD (LEVENE)

Prueba	Valor F	p-valor	Resultado
Levene (Homocedasticidad)	0.5556	0.8167	Homocedástico ($p > 0.05$)

3. ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA)

Origen Variación	GL	Suma Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	p-valor
Tratamiento	9	921.87	102.43	614.578	0
Residuales	20	3.33	0.17		

4. CLD (Post-Hoc: Tukey HSD)

Tratamiento	Media	Desv. Estándar	Media $\pm$ DE	Letra CLD
T0	30	0	30 $\pm$ 0	a
CONS 1	16.333	0.577	16.333 $\pm$ 0.577	b
CONS 3	16.333	0.577	16.333 $\pm$ 0.577	b
BACT 1	14	0	14 $\pm$ 0	c
BACT 3	13	0	13 $\pm$ 0	c
ENDOSULFÁN	13	0	13 $\pm$ 0	c
CONS 2	11.667	0.577	11.667 $\pm$ 0.577	d
BACT 2	11.333	0.577	11.333 $\pm$ 0.577	de
BACT 4	10.333	0.577	10.333 $\pm$ 0.577	ef
CONS 4	10	0	10 $\pm$ 0	f

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DÍA 6

1. PRUEBA DE NORMALIDAD (SHAPIRO-WILK)

Tratamiento	Estadístico W	p-valor	¿Es Normal?
BACT 1	0.75	0	No ($p < 0.05$)
BACT 2			Sin varianza (valores idénticos)
BACT 3	0.75	0	No ($p < 0.05$)
BACT 4	0.75	0	No ($p < 0.05$)
CONS 1	0.75	0	No ($p < 0.05$)
CONS 2			Sin varianza (valores idénticos)
CONS 3			Sin varianza (valores idénticos)
CONS 4	0.75	0	No ($p < 0.05$)
ENDOSULFÁN			Sin varianza (valores idénticos)
T0			Sin varianza (valores idénticos)

2. PRUEBA DE HOMOCEDASTICIDAD (LEVENE)

Prueba	Valor F	p-valor	Resultado
Levene (Homocedasticidad)	0.5556	0.8167	Homocedástico ($p > 0.05$)

3. ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA)

Origen Variación	GL	Suma Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	p-valor
Tratamiento	9	838.53	93.17	559.022	0
Residuales	20	3.33	0.17		

4. CLD (Post-Hoc: Tukey HSD)

Tratamiento	Media	Desv. Estándar	Media $\pm$ DE	Letra CLD
T0	30	0	30 $\pm$ 0	a
CONS 1	20.333	0.577	20.333 $\pm$ 0.577	b
BACT 1	19.333	0.577	19.333 $\pm$ 0.577	bc
BACT 3	19.333	0.577	19.333 $\pm$ 0.577	bc
CONS 3	19	0	19 $\pm$ 0	c
BACT 2	14	0	14 $\pm$ 0	d
BACT 4	13.333	0.577	13.333 $\pm$ 0.577	de
CONS 2	13	0	13 $\pm$ 0	def
CONS 4	12.333	0.577	12.333 $\pm$ 0.577	ef
ENDOSULFÁN	12	0	12 $\pm$ 0	f

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DÍA 9

1. PRUEBA DE NORMALIDAD (SHAPIRO-WILK)

Tratamiento	Estadístico W	p-valor	¿Es Normal?
BACT 1	0.75	0	No ($p < 0.05$)
BACT 2	1	1	Si ($p > 0.05$)
BACT 3	1	1	Si ($p > 0.05$)
BACT 4			Sin varianza (valores idénticos)
CONS 1	1	1	Si ($p > 0.05$)
CONS 2	1	1	Si ($p > 0.05$)
CONS 3	1	1	Si ($p > 0.05$)
CONS 4	1	1	Si ($p > 0.05$)
ENDOSULFÁN			Sin varianza (valores idénticos)
T0			Sin varianza (valores idénticos)

2. PRUEBA DE HOMOCEDASTICIDAD (LEVENE)

Prueba	Valor F	p-valor	Resultado
Levene (Homocedasticidad)	1.2857	0.3038	Homocedástico ($p > 0.05$)

3. ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA)

Origen Variación	GL	Suma Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	p-valor
Tratamiento	9	1038.3	115.37	182.158	0
Residuales	20	12.67	0.63		

4. CLD (Post-Hoc: Tukey HSD)

Tratamiento	Media	Desv. Estándar	Media $\pm$ DE	Letra CLD
T0	30	0	30 $\pm$ 0	a
CONS 1	25	1	25 $\pm$ 1	b
CONS 3	24	1	24 $\pm$ 1	bc
BACT 1	22.333	0.577	22.333 $\pm$ 0.577	cd
BACT 3	21	1	21 $\pm$ 1	d
BACT 2	15	1	15 $\pm$ 1	e
CONS 2	14	1	14 $\pm$ 1	e
BACT 4	13	0	13 $\pm$ 0	e
CONS 4	13	1	13 $\pm$ 1	e
ENDOSULFÁN	13	0	13 $\pm$ 0	e

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DÍA 12

1. PRUEBA DE NORMALIDAD (SHAPIRO-WILK)

Tratamiento	Estadístico W	p-valor	¿Es Normal?
BACT 1	1	1	Si ($p > 0.05$)
BACT 2	1	1	Si ($p > 0.05$)
BACT 3	1	1	Si ($p > 0.05$)
BACT 4	0.75	0	No ($p < 0.05$)
CONS 1	0.75	0	No ($p < 0.05$)
CONS 2	0.75	0	No ($p < 0.05$)
CONS 3	1	1	Si ($p > 0.05$)
CONS 4	1	1	Si ($p > 0.05$)
ENDOSULFÁN	0.8929	0.3631	Si ($p > 0.05$)
T0			Sin varianza (valores idénticos)

2. PRUEBA DE HOMOCEDASTICIDAD (LEVENE)

Prueba	Valor F	p-valor	Resultado
Levene (Homocedasticidad)	0.7111	0.6928	Homocedástico ($p > 0.05$)

3. ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA)

Origen Variación	GL	Suma Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	p-valor
Tratamiento	9	980.53	108.95	50.284	0
Residuales	20	43.33	2.17		

4. CLD (Post-Hoc: Tukey HSD)

Tratamiento	Media	Desv. Estándar	Media $\pm$ DE	Letra CLD
T0	30	0	30 $\pm$ 0	a
CONS 1	29.333	0.577	29.333 $\pm$ 0.577	a
CONS 3	29	1	29 $\pm$ 1	a
BACT 1	28	2	28 $\pm$ 2	a
BACT 3	27	2	27 $\pm$ 2	a
BACT 4	19	1.732	19 $\pm$ 1.732	b
CONS 4	18	1	18 $\pm$ 1	b
ENDOSULFÁN	18	2.646	18 $\pm$ 2.646	b
BACT 2	17	1	17 $\pm$ 1	b
CONS 2	15.333	0.577	15.333 $\pm$ 0.577	b

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DÍA 15

1. PRUEBA DE NORMALIDAD (SHAPIRO-WILK)

Tratamiento	Estadístico W	p-valor	¿Es Normal?
BACT 1	0.75	0	No ($p < 0.05$)
BACT 2	1	1	Si ($p > 0.05$)
BACT 3			Sin varianza (valores idénticos)
BACT 4	0.9643	0.6369	Si ($p > 0.05$)
CONS 1			Sin varianza (valores idénticos)
CONS 2	1	1	Si ($p > 0.05$)
CONS 3			Sin varianza (valores idénticos)
CONS 4	0.75	0	No ($p < 0.05$)
ENDOSULFÁN	0.75	0	No ($p < 0.05$)
T0			Sin varianza (valores idénticos)

2. PRUEBA DE HOMOCEDASTICIDAD (LEVENE)

Prueba	Valor F	p-valor	Resultado
Levene (Homocedasticidad)	0.679	0.7189	Homocedástico ($p > 0.05$)

3. ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA)

Origen Variación	GL	Suma Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	p-valor
Tratamiento	9	720.03	80	68.575	0
Residuales	20	23.33	1.17		

4. CLD (Post-Hoc: Tukey HSD)

Tratamiento	Media	Desv. Estándar	Media $\pm$ DE	Letra CLD
CONS 1	30	0	30 $\pm$ 0	a
CONS 3	30	0	30 $\pm$ 0	a
T0	30	0	30 $\pm$ 0	a
BACT 1	28	1.732	28 $\pm$ 1.732	a
BACT 3	28	0	28 $\pm$ 0	a
BACT 4	21.667	1.528	21.667 $\pm$ 1.528	b
BACT 2	20	1	20 $\pm$ 1	bc
CONS 4	20	1.732	20 $\pm$ 1.732	bc
ENDOSULFÁN	18.667	1.155	18.667 $\pm$ 1.155	bc
CONS 2	18	1	18 $\pm$ 1	c

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DÍA 18

1. PRUEBA DE NORMALIDAD (SHAPIRO-WILK)

Tratamiento	Estadístico W	p-valor	¿Es Normal?
BACT 1	1	1	Si ($p > 0.05$)
BACT 2	1	1	Si ($p > 0.05$)
BACT 3	1	1	Si ($p > 0.05$)
BACT 4	1	1	Si ($p > 0.05$)
CONS 1			Sin varianza (valores idénticos)
CONS 2			Sin varianza (valores idénticos)
CONS 3	1	1	Si ($p > 0.05$)
CONS 4	1	1	Si ($p > 0.05$)
ENDOSULFÁN	1	1	Si ($p > 0.05$)
T0			Sin varianza (valores idénticos)

2. PRUEBA DE HOMOCEDASTICIDAD (LEVENE)

Prueba	Valor F	p-valor	Resultado
Levene (Homocedasticidad)	1.3333	0.2815	Homocedástico ($p > 0.05$)

3. ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA)

Origen Variación	GL	Suma Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	P-valor
Tratamiento	9	370.8	41.2	58.857	0
Residuales	20	14	0.7		

4. CLD (Post-Hoc: Tukey HSD)

Tratamiento	Media	Desv. Estándar	Media $\pm$ DE	Letra CLD
CONS 1	30	0	30 $\pm$ 0	a
T0	30	0	30 $\pm$ 0	a
BACT 1	29	1	29 $\pm$ 1	ab
BACT 2	28	1	28 $\pm$ 1	ab
BACT 3	28	1	28 $\pm$ 1	ab
CONS 2	28	0	28 $\pm$ 0	ab
CONS 4	28	1	28 $\pm$ 1	ab
BACT 4	27	1	27 $\pm$ 1	b
CONS 3	20	1	20 $\pm$ 1	c
ENDOSULFÁN	20	1	20 $\pm$ 1	c

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DÍA 21

1. PRUEBA DE NORMALIDAD (SHAPIRO-WILK)

Tratamiento	Estadístico W	p-valor	¿Es Normal?
BACT 1	1	1	Si ($p > 0.05$)
BACT 2	1	1	Si ($p > 0.05$)
BACT 3			Sin varianza (valores idénticos)
BACT 4			Sin varianza (valores idénticos)
CONS 1			Sin varianza (valores idénticos)
CONS 2	1	1	Si ($p > 0.05$)
CONS 3			Sin varianza (valores idénticos)
CONS 4	1	1	Si ($p > 0.05$)
ENDOSULFÁN	1	1	Si ($p > 0.05$)
T0			Sin varianza (valores idénticos)

2. PRUEBA DE HOMOCEDASTICIDAD (LEVENE)

Prueba	Valor F	p-valor	Resultado
Levene (Homocedasticidad)	2.2222	0.0658	Homocedástico ($p > 0.05$)

3. ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA)

Origen Variación	GL	Suma Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	p-valor
Tratamiento	9	190.8	21.2	42.4	0
Residuales	20	10	0.5		

4. CLD (Post-Hoc: Tukey HSD)

Tratamiento	Media	Desv. Estándar	Media $\pm$ DE	Letra CLD
CONS 1	30	0	30 $\pm$ 0	a
CONS 3	30	0	30 $\pm$ 0	a
T0	30	0	30 $\pm$ 0	a
BACT 1	29	1	29 $\pm$ 1	a
BACT 3	29	0	29 $\pm$ 0	a
CONS 4	29	1	29 $\pm$ 1	a
BACT 2	28	1	28 $\pm$ 1	a
BACT 4	28	0	28 $\pm$ 0	a
CONS 2	28	1	28 $\pm$ 1	a
ENDOSULFÁN	21	1	21 $\pm$ 1	b

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DÍA 24

1. PRUEBA DE NORMALIDAD (SHAPIRO-WILK)

Tratamiento	Estadístico W	p-valor	¿Es Normal?
BACT 1	1	1	Si ($p > 0.05$)
BACT 2			Sin varianza (valores idénticos)
BACT 3	1	1	Si ($p > 0.05$)
BACT 4	1	1	Si ($p > 0.05$)
CONS 1			Sin varianza (valores idénticos)
CONS 2			Sin varianza (valores idénticos)
CONS 3			Sin varianza (valores idénticos)
CONS 4	1	1	Si ($p > 0.05$)
ENDOSULFÁN	1	1	Si ($p > 0.05$)
T0			Sin varianza (valores idénticos)

2. PRUEBA DE HOMOCEDASTICIDAD (LEVENE)

Prueba	Valor F	p-valor	Resultado
Levene (Homocedasticidad)	2.2222	0.0658	Homocedástico ($p > 0.05$)

3. ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA)

Origen Variación	GL	Suma Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	p-valor
Tratamiento	9	157.5	17.5	35	0
Residuales	20	10	0.5		

4. CLD (Post-Hoc: Tukey HSD)

Tratamiento	Media	Desv. Estándar	Media $\pm$ DE	Letra CLD
CONS 1	30	0	30 $\pm$ 0	a
CONS 2	30	0	30 $\pm$ 0	a
CONS 3	30	0	30 $\pm$ 0	a
T0	30	0	30 $\pm$ 0	a
BACT 1	29	1	29 $\pm$ 1	a
BACT 3	29	1	29 $\pm$ 1	a
CONS 4	29	1	29 $\pm$ 1	a
BACT 2	28	0	28 $\pm$ 0	a
BACT 4	28	1	28 $\pm$ 1	a
ENDOSULFÁN	22	1	22 $\pm$ 1	b

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DÍA 27

1. PRUEBA DE NORMALIDAD (SHAPIRO-WILK)

Tratamiento	Estadístico W	p-valor	¿Es Normal?
BACT 1	1	1	Si ($p > 0.05$)
BACT 2	1	1	Si ($p > 0.05$)
BACT 3			Sin varianza (valores idénticos)
BACT 4	1	1	Si ($p > 0.05$)
CONS 1			Sin varianza (valores idénticos)
CONS 2			Sin varianza (valores idénticos)
CONS 3			Sin varianza (valores idénticos)
CONS 4	1	1	Si ($p > 0.05$)
ENDOSULFÁN	1	1	Si ($p > 0.05$)
T0			Sin varianza (valores idénticos)

2. PRUEBA DE HOMOCEDASTICIDAD (LEVENE)

Prueba	Valor F	p-valor	Resultado
Levene (Homocedasticidad)	2.4444	0.0461	Heterocedástico ($p < 0.05$)

3. ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA)

Origen Variación	GL	Suma Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	p-valor
Tratamiento	9	88.8	9.87	12.333	0
Residuales	20	16	0.8		

4. CLD (Post-Hoc: Games-Howell (vía Tukey CLD))

Tratamiento	Media	Desv. Estándar	Media $\pm$ DE	Letra CLD
CONS 1	30	0	30 $\pm$ 0	a
CONS 2	30	0	30 $\pm$ 0	a
CONS 3	30	0	30 $\pm$ 0	a
T0	30	0	30 $\pm$ 0	a
BACT 1	29	1	29 $\pm$ 1	a
BACT 3	29	0	29 $\pm$ 0	a
BACT 4	29	1	29 $\pm$ 1	a
CONS 4	29	1	29 $\pm$ 1	a
BACT 2	28	1	28 $\pm$ 1	a
ENDOSULFÁN	24	2	24 $\pm$ 2	b

NÁLISIS ESTADÍSTICO DÍA 0

1. PRUEBA DE NORMALIDAD (SHAPIRO-WILK)

Tratamiento	Estadístico W	p-valor	¿Es Normal?
BACT 1	0.75	0	No ($p < 0.05$)
BACT 2	0.75	0	No ($p < 0.05$)
BACT 3	0.75	0	No ($p < 0.05$)
BACT 4			Sin varianza (valores idénticos)
CONS 1	0.75	0	No ($p < 0.05$)
CONS 2			Sin varianza (valores idénticos)
CONS 3	0.75	0	No ($p < 0.05$)
CONS 4			Sin varianza (valores idénticos)
ENDOSULFÁN	0.75	0	No ($p < 0.05$)
T0	0.75	0	No ($p < 0.05$)

2. PRUEBA DE HOMOCEDASTICIDAD (LEVENE)

Prueba	Valor F	p-valor	Resultado
Levene (Homocedasticidad)	0.3333	0.9531	Homocedástico ($p > 0.05$)

3. ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA)

Origen Variación	GL	Suma Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	p-valor
Tratamiento	9	0.92	0.1	43.873	0
Residuales	20	0.05	0		

4. CLD (Post-Hoc: Tukey HSD)

Tratamiento	Media	Desv. Estándar	Media $\pm$ DE	Letra CLD
BACT 1	1.633	0.058	1.633 $\pm$ 0.058	a
BACT 3	1.633	0.058	1.633 $\pm$ 0.058	a
CONS 3	1.633	0.058	1.633 $\pm$ 0.058	a
BACT 4	1.6	0	1.6 $\pm$ 0	ab
CONS 2	1.5	0	1.5 $\pm$ 0	ab
CONS 4	1.5	0	1.5 $\pm$ 0	ab
BACT 2	1.467	0.058	1.467 $\pm$ 0.058	bc
CONS 1	1.467	0.058	1.467 $\pm$ 0.058	bc
T0	1.333	0.058	1.333 $\pm$ 0.058	c
ENDOSULFÁN	1.033	0.058	1.033 $\pm$ 0.058	d

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DÍA 3

1. PRUEBA DE NORMALIDAD (SHAPIRO-WILK)

Tratamiento	Estadístico W	p-valor	¿Es Normal?
BACT 1	0.75	0	No ($p < 0.05$)
BACT 2	0.75	0	No ($p < 0.05$)
BACT 3	0.75	0	No ($p < 0.05$)
BACT 4			Sin varianza (valores idénticos)
CONS 1			Sin varianza (valores idénticos)
CONS 2	0.75	0	No ($p < 0.05$)
CONS 3			Sin varianza (valores idénticos)
CONS 4	0.75	0	No ($p < 0.05$)
ENDOSULFÁN			Sin varianza (valores idénticos)
T0			Sin varianza (valores idénticos)

2. PRUEBA DE HOMOCEDASTICIDAD (LEVENE)

Prueba	Valor F	p-valor	Resultado
Levene (Homocedasticidad)	0.5556	0.8167	Homocedástico ($p > 0.05$)

3. ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA)

Origen Variación	GL	Suma Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	p-valor
Tratamiento	9	1.17	0.13	77.778	0
Residuales	20	0.03	0		

4. CLD (Post-Hoc: Tukey HSD)

Tratamiento	Media	Desv. Estándar	Media $\pm$ DE	Letra CLD
CONS 3	1.8	0	1.8 $\pm$ 0	a
BACT 2	1.767	0.058	1.767 $\pm$ 0.058	ab
BACT 3	1.733	0.058	1.733 $\pm$ 0.058	ab
BACT 4	1.7	0	1.7 $\pm$ 0	ab
CONS 1	1.7	0	1.7 $\pm$ 0	ab
BACT 1	1.667	0.058	1.667 $\pm$ 0.058	bc
CONS 4	1.567	0.058	1.567 $\pm$ 0.058	cd
T0	1.5	0	1.5 $\pm$ 0	d
CONS 2	1.467	0.058	1.467 $\pm$ 0.058	d
ENDOSULFÁN	1.1	0	1.1 $\pm$ 0	e

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DÍA 6

1. PRUEBA DE NORMALIDAD (SHAPIRO-WILK)

Tratamiento	Estadístico W	p-valor	¿Es Normal?
BACT 1	0.75	0	No ($p < 0.05$)
BACT 2	0.75	0	No ($p < 0.05$)
BACT 3			Sin varianza (valores idénticos)
BACT 4			Sin varianza (valores idénticos)
CONS 1			Sin varianza (valores idénticos)
CONS 2	0.75	0	No ($p < 0.05$)
CONS 3			Sin varianza (valores idénticos)
CONS 4	0.75	0	No ($p < 0.05$)
ENDOSULFÁN	0.75	0	No ($p < 0.05$)
T0	0.75	0	No ($p < 0.05$)

2. PRUEBA DE HOMOCEDASTICIDAD (LEVENE)

Prueba	Valor F	p-valor	Resultado
Levene (Homocedasticidad)	0.4444	0.8942	Homocedástico ($p > 0.05$)

3. ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA)

Origen Variación	GL	Suma Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	p-valor
Tratamiento	9	0.81	0.09	44.889	0
Residuales	20	0.04	0		

4. CLD (Post-Hoc: Tukey HSD)

Tratamiento	Media	Desv. Estándar	Media $\pm$ DE	Letra CLD
CONS 1	1.8	0	1.8 ± 0	a
CONS 3	1.8	0	1.8 ± 0	a
BACT 3	1.7	0	1.7 ± 0	ab
BACT 1	1.667	0.058	1.667 ± 0.058	b
BACT 2	1.667	0.058	1.667 ± 0.058	b
CONS 2	1.667	0.058	1.667 ± 0.058	b
CONS 4	1.667	0.058	1.667 ± 0.058	b
BACT 4	1.6	0	1.6 ± 0	b
T0	1.367	0.058	1.367 ± 0.058	c
ENDOSULFÁN	1.267	0.058	1.267 ± 0.058	c

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DÍA 9

1. PRUEBA DE NORMALIDAD
(SHAPIRO-WILK)

Tratamiento	Estadístico W	p-valor	¿Es Normal?
BACT 1	0.75	0	No ($p < 0.05$)
BACT 2	0.75	0	No ($p < 0.05$)
BACT 3			Sin varianza (valores idénticos)
BACT 4	0.75	0	No ($p < 0.05$)
CONS 1	0.75	0	No ($p < 0.05$)
CONS 2			Sin varianza (valores idénticos)
CONS 3	0.75	0	No ($p < 0.05$)
CONS 4			Sin varianza (valores idénticos)
ENDOSULFÁN	0.75	0	No ($p < 0.05$)
T0	0.75	0	No ($p < 0.05$)

2. PRUEBA DE
HOMOCEDASTICIDAD (LEVENE)

Prueba	Valor F	p-valor	Resultado
Levene (Homocedasticidad)	0.3333	0.9531	Homocedástico ($p > 0.05$)

3. ANÁLISIS DE VARIANZA
(ANOVA)

Origen Variación	GL	Suma Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	p-valor
Tratamiento	9	0.97	0.11	46.095	0
Residuales	20	0.05	0		

4. CLD (Post-Hoc: Tukey HSD)

Tratamiento	Media	Desv. Estándar	Media $\pm$ DE	Letra CLD
CONS 1	1.833	0.058	1.833 $\pm$ 0.058	a
CONS 3	1.833	0.058	1.833 $\pm$ 0.058	a
CONS 2	1.8	0	1.8 $\pm$ 0	a
BACT 2	1.767	0.058	1.767 $\pm$ 0.058	ab
BACT 3	1.7	0	1.7 $\pm$ 0	ab
CONS 4	1.7	0	1.7 $\pm$ 0	ab
BACT 1	1.633	0.058	1.633 $\pm$ 0.058	b
BACT 4	1.467	0.058	1.467 $\pm$ 0.058	c
T0	1.467	0.058	1.467 $\pm$ 0.058	c
ENDOSULFÁN	1.267	0.058	1.267 $\pm$ 0.058	d

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DÍA 12

1. PRUEBA DE NORMALIDAD (SHAPIRO-WILK)

Tratamiento	Estadístico W	p-valor	¿Es Normal?
BACT 1	0.75	0	No ($p < 0.05$)
BACT 2			Sin varianza (valores idénticos)
BACT 3	0.75	0	No ($p < 0.05$)
BACT 4	0.75	0	No ($p < 0.05$)
CONS 1	0.75	0	No ($p < 0.05$)
CONS 2			Sin varianza (valores idénticos)
CONS 3	0.75	0	No ($p < 0.05$)
CONS 4	0.75	0	No ($p < 0.05$)
ENDOSULFÁN	0.75	0	No ($p < 0.05$)
T0	0.75	0	No ($p < 0.05$)

2. PRUEBA DE HOMOCEDASTICIDAD (LEVENE)

Prueba	Valor F	p-valor	Resultado
Levene (Homocedasticidad)	0.2222	0.9874	Homocedástico ($p > 0.05$)

3. ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA)

Origen Variación	GL	Suma Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	p-valor
Tratamiento	9	1.54	0.17	64.181	0
Residuales	20	0.05	0		

4. CLD (Post-Hoc: Tukey HSD)

Tratamiento	Media	Desv. Estándar	Media $\pm$ DE	Letra CLD
CONS 1	1.967	0.058	1.967 $\pm$ 0.058	a
CONS 3	1.933	0.058	1.933 $\pm$ 0.058	ab
CONS 2	1.8	0	1.8 $\pm$ 0	bc
BACT 1	1.767	0.058	1.767 $\pm$ 0.058	c
BACT 3	1.767	0.058	1.767 $\pm$ 0.058	c
BACT 2	1.7	0	1.7 $\pm$ 0	cd
CONS 4	1.667	0.058	1.667 $\pm$ 0.058	cd
BACT 4	1.567	0.058	1.567 $\pm$ 0.058	de
T0	1.433	0.058	1.433 $\pm$ 0.058	e
ENDOSULFÁN	1.167	0.058	1.167 $\pm$ 0.058	f

1. PRUEBA DE NORMALIDAD (SHAPIRO-WILK)

Tratamiento	Estadístico W	p-valor	¿Es Normal?
BACT 1	0.75	0	No ($p < 0.05$)
BACT 2	0.75	0	No ($p < 0.05$)
BACT 3			Sin varianza (valores idénticos)
BACT 4	0.75	0	No ($p < 0.05$)
CONS 1	0.75	0	No ($p < 0.05$)
CONS 2	0.75	0	No ($p < 0.05$)
CONS 3	0.75	0	No ($p < 0.05$)
CONS 4			Sin varianza (valores idénticos)
ENDOSULFÁN	0.75	0	No ($p < 0.05$)
T0	0.75	0	No ($p < 0.05$)

2. PRUEBA DE HOMOCEASTICIDAD (LEVENE)

Prueba	Valor F	p-valor	Resultado
Levene (Homocedasticidad)	0.2222	0.9874	Homocedástico ($p > 0.05$)

3. ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA)

Origen Variación	GL	Suma Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	p-valor
Tratamiento	9	1.02	0.11	42.569	0
Residuales	20	0.05	0		

4. CLD (Post-Hoc: Tukey HSD)

Tratamiento	Media	Desv. Estándar	Media $\pm$ DE	Letra CLD
CONS 1	1.933	0.058	1.933 $\pm$ 0.058	a
BACT 1	1.833	0.058	1.833 $\pm$ 0.058	ab
CONS 2	1.733	0.058	1.733 $\pm$ 0.058	bc
BACT 3	1.7	0	1.7 $\pm$ 0	bcd
CONS 4	1.7	0	1.7 $\pm$ 0	bcd
BACT 2	1.667	0.058	1.667 $\pm$ 0.058	cd
CONS 3	1.667	0.058	1.667 $\pm$ 0.058	cd
BACT 4	1.567	0.058	1.567 $\pm$ 0.058	de
T0	1.467	0.058	1.467 $\pm$ 0.058	e
ENDOSULFÁN	1.233	0.058	1.233 $\pm$ 0.058	f

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DÍA 18

1. PRUEBA DE NORMALIDAD (SHAPIRO-WILK)

Tratamiento	Estadístico W	p-valor	¿Es Normal?
BACT 1	0.75	0	No ($p < 0.05$)
BACT 2	0.75	0	No ($p < 0.05$)
BACT 3	0.75	0	No ($p < 0.05$)
BACT 4	0.75	0	No ($p < 0.05$)
CONS 1	0.9643	0.6369	Si ($p > 0.05$)
CONS 2	0.75	0	No ($p < 0.05$)
CONS 3	0.75	0	No ($p < 0.05$)
CONS 4	0.75	0	No ($p < 0.05$)
ENDOSULFÁN	0.75	0	No ($p < 0.05$)
T0	1	1	Si ($p > 0.05$)

2. PRUEBA DE HOMOCEDASTICIDAD (LEVENE)

Prueba	Valor F	p-valor	Resultado
Levene (Homocedasticidad)	0.3259	0.9562	Homocedástico ($p > 0.05$)

3. ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA)

Origen Variación	GL	Suma Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	p-valor
Tratamiento	9	1.66	0.18	26.328	0
Residuales	20	0.14	0.01		

4. CLD (Post-Hoc: Tukey HSD)

Tratamiento	Media	Desv. Estándar	Media $\pm$ DE	Letra CLD
BACT 3	1.933	0.058	1.933 $\pm$ 0.058	a
CONS 3	1.867	0.058	1.867 $\pm$ 0.058	a
BACT 1	1.833	0.058	1.833 $\pm$ 0.058	a
BACT 2	1.767	0.115	1.767 $\pm$ 0.115	a
CONS 1	1.767	0.153	1.767 $\pm$ 0.153	a
BACT 4	1.733	0.058	1.733 $\pm$ 0.058	ab
CONS 2	1.733	0.058	1.733 $\pm$ 0.058	ab
CONS 4	1.733	0.058	1.733 $\pm$ 0.058	ab
T0	1.5	0.1	1.5 $\pm$ 0.1	b
ENDOSULFÁN	1.067	0.058	1.067 $\pm$ 0.058	c

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DÍA 21

1. PRUEBA DE NORMALIDAD (SHAPIRO-WILK)

Tratamiento	Estadístico W	p-valor	¿Es Normal?
BACT 1	0.75	0	No ($p < 0.05$)

BACT 2	0.75	0	No ($p < 0.05$)
BACT 3			Sin varianza (valores idénticos)
BACT 4	0.75	0	No ($p < 0.05$)
CONS 1	0.75	0	No ($p < 0.05$)
CONS 2	0.75	0	No ($p < 0.05$)
CONS 3	0.75	0	No ($p < 0.05$)
CONS 4	0.75	0	No ($p < 0.05$)
ENDOSULFÁN	0.75	0	No ($p < 0.05$)
T0	0.75	0	No ($p < 0.05$)

2. PRUEBA DE HOMOCEDASTICIDAD (LEVENE)

Prueba	Valor F	p-valor	Resultado
Levene (Homocedasticidad)	0.1111	0.999	Homocedástico ($p > 0.05$)

3. ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA)

Origen Variación	GL	Suma Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	p-valor
Tratamiento	9	1.22	0.14	45.136	0
Residuales	20	0.06	0		

4. CLD (Post-Hoc: Tukey HSD)

Tratamiento	Media	Desv. Estándar	Media $\pm$ DE	Letra CLD
CONS 1	1.833	0.058	1.833 $\pm$ 0.058	a
CONS 3	1.833	0.058	1.833 $\pm$ 0.058	a
BACT 3	1.8	0	1.8 $\pm$ 0	ab
BACT 2	1.767	0.058	1.767 $\pm$ 0.058	ab
CONS 2	1.767	0.058	1.767 $\pm$ 0.058	ab
BACT 1	1.733	0.058	1.733 $\pm$ 0.058	ab
BACT 4	1.733	0.058	1.733 $\pm$ 0.058	ab
CONS 4	1.667	0.058	1.667 $\pm$ 0.058	b
T0	1.433	0.058	1.433 $\pm$ 0.058	c
ENDOSULFÁN	1.167	0.058	1.167 $\pm$ 0.058	d

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DÍA 24

1. PRUEBA DE NORMALIDAD (SHAPIRO-WILK)

Tratamiento	Estadístico W	p-valor	¿Es Normal?
BACT 1			Sin varianza (valores idénticos)
BACT 2	0.75	0	No ($p < 0.05$)
BACT 3	0.75	0	No ($p < 0.05$)

BACT 4	0.75	0	No ($p < 0.05$)
CONS 1	0.75	0	No ($p < 0.05$)
CONS 2	0.75	0	No ($p < 0.05$)
CONS 3			Sin varianza (valores idénticos)
CONS 4	0.75	0	No ($p < 0.05$)
ENDOSULFÁN	0.75	0	No ($p < 0.05$)
T0	0.75	0	No ($p < 0.05$)

2. PRUEBA DE HOMOCEDASTICIDAD (LEVENE)

Prueba	Valor F	p-valor	Resultado
Levene (Homocedasticidad)	0.2222	0.9874	Homocedástico ($p > 0.05$)

3. ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA)

Origen Variación	GL	Suma Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	p-valor
Tratamiento	9	0.89	0.1	36.889	0
Residuales	20	0.05	0		

4. CLD (Post-Hoc: Tukey HSD)

Tratamiento	Media	Desv. Estándar	Media $\pm$ DE	Letra CLD
BACT 1	1.9	0	1.9 $\pm$ 0	a
CONS 3	1.9	0	1.9 $\pm$ 0	a
CONS 4	1.867	0.058	1.867 $\pm$ 0.058	ab
BACT 4	1.833	0.058	1.833 $\pm$ 0.058	ab
CONS 1	1.767	0.058	1.767 $\pm$ 0.058	abc
CONS 2	1.767	0.058	1.767 $\pm$ 0.058	abc
BACT 3	1.733	0.058	1.733 $\pm$ 0.058	bc
BACT 2	1.667	0.058	1.667 $\pm$ 0.058	c
T0	1.467	0.058	1.467 $\pm$ 0.058	d
ENDOSULFÁN	1.367	0.058	1.367 $\pm$ 0.058	d

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DÍA 27

1. PRUEBA DE NORMALIDAD (SHAPIRO-WILK)

Tratamiento	Estadístico W	p-valor	¿Es Normal?
BACT 1	0.75	0	No ($p < 0.05$)
BACT 2	0.75	0	No ($p < 0.05$)
BACT 3	0.75	0	No ($p < 0.05$)
BACT 4			Sin varianza (valores idénticos)
CONS 1	0.75	0	No ($p < 0.05$)

CONS 2			Sin varianza (valores idénticos)
CONS 3	0.75	0	No ($p < 0.05$)
CONS 4			Sin varianza (valores idénticos)
ENDOSULFÁN	0.75	0	No ($p < 0.05$)
T0	0.75	0	No ($p < 0.05$)

2. PRUEBA DE HOMOCEDASTICIDAD (LEVENE)

Prueba	Valor F	p-valor	Resultado
Levene (Homocedasticidad)	0.3333	0.9531	Homocedástico ($p > 0.05$)

3. ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA)

Origen Variación	GL	Suma Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	p-valor
Tratamiento	9	0.48	0.05	23	0
Residuales	20	0.05	0		

4. CLD (Post-Hoc: Tukey HSD)

Tratamiento	Media	Desv. Estándar	Media $\pm$ DE	Letra CLD
BACT 3	1.933	0.058	1.933 $\pm$ 0.058	a
CONS 3	1.833	0.058	1.833 $\pm$ 0.058	ab
CONS 2	1.8	0	1.8 $\pm$ 0	ab
CONS 4	1.8	0	1.8 $\pm$ 0	ab
BACT 1	1.767	0.058	1.767 $\pm$ 0.058	b
BACT 2	1.767	0.058	1.767 $\pm$ 0.058	b
CONS 1	1.733	0.058	1.733 $\pm$ 0.058	b
BACT 4	1.7	0	1.7 $\pm$ 0	bc
T0	1.567	0.058	1.567 $\pm$ 0.058	cd
ENDOSULFÁN	1.467	0.058	1.467 $\pm$ 0.058	d