

UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ
EXTENSIÓN EL CARMEN

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

Creada Ley No 10 – Registro Oficial 313 de noviembre 13 de 198

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO AGROPECUARIO**

**USO DE MICROORGANISMOS BENÉFICOS EN CAMA DE
POLLOS DE ENGORDE EN EL CARMEN, MANABÍ.**

AUTOR: AURELIO DAVID PORTILLA CALLE

DOCENTE TUTOR: ING. JANETH ROCÍO JÁCOME GÓMEZ, PhD.

EL CARMEN, 2026.

	NOMBRE DEL DOCUMENTO:	CÓDIGO: PAT-04-F-004
	CERTIFICADO DE TUTOR(A)	
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO BAJO LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	REVISIÓN: 1 Página 1 de 1

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutora de la Extensión El Carmen de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría del estudiante **Aurelio David Potilla Calle**, legalmente matriculado en la carrera de Ingeniería Agropecuaria, período académico 2025 (2), cumpliendo el total de 384 horas, cuyo tema del proyecto es **“Uso de microorganismos benéficos en cama de pollos de engorde en el Carmen, Manabí”**.

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad del mismo, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

El Carmen, 3 de agosto del 2026.



Ing. Janeth Roció Jácome Gómez. PhD

Docente Tutora

Área: Agricultura, Silvicultura, Pesca y Veterinaria

**UNIVERSIDAD LAICA "ELOY ALFARO" DE MANABÍ
EXTENSIÓN EN EL CARMEN**

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

TÍTULO:

**USO DE MICROORGANISMOS BENÉFICOS EN CAMA DE
POLLOS DE ENGORDE EN EL CARMEN, MANABÍ.**

AUTOR: Aurelio David Portilla Calle

TUTORA: Ing. Janeth Roció Jácome Gómez, PhD.

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO AGROPECUARIO**

TRIBUNAL DE TITULACIÓN

MIEMBRO Mg. Tacuri Troya Elizabeth Tell

MIEMBRO Mg. Vera Bravo David Napoleón

MIEMBRO Mg. Mejia Chanaluisa Kleber Fernando



DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, **Aurelio David portilla Calle**, con cédula de ciudadanía **235102576-8**, estudiante de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, Extensión el Carmen, de la Carrera de Ingeniería Agropecuaria, declaro que soy autora de la tesis titulada “**Uso Microorganismos benéficos en cama de pollo de engorde en El Carmen, Manabí**”, esta obra es original y no infringe derechos de propiedad intelectual. Asumo la responsabilidad total en su contenido y afirmo que todos los conceptos, ideas, textos y resultados que no son de mi autoría están debidamente citados y referenciados.

Atentamente,



Aurelio David Portilla Calle.

DEDICATORIA

"La felicidad de tu vida depende de la calidad de tus pensamientos." —

Marco Aurelio

Dedico este triunfo, en primer lugar, a Dios, cuya luz concedió la sabiduría y la fortaleza necesarias para culminar la carrera de Ingeniería Agropecuaria. De manera especial, a mi madre, Nancy Isabel Calle Macas, quien ha sido mi mayor inspiración y apoyo incondicional durante cada etapa de mi vida. Gracias por tus sacrificios, tus consejos, tu amor y tu confianza, que me impulsaron a seguir adelante aun en los momentos más difíciles. Este logro es también fruto de tu esfuerzo y dedicación. Asimismo, agradezco a mis familiares y seres queridos que me brindaron su apoyo y motivación constante. Con gratitud y orgullo, dedico este trabajo como reflejo de la constancia, el compromiso y el deseo de alcanzar mis metas profesionales. Con cariño y gratitud para todos quienes han creído en mí.

Aurelio David Portilla Calle

AGRADECIMIENTO

“El valor de una educación no es el aprendizaje de muchos hechos, sino el entrenamiento de la mente para pensar.” — Albert Einstein

Expreso mi más sincero reconocimiento a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, cuyo compromiso con la excelencia académica y la investigación hizo posible mi crecimiento profesional como Ingeniero Agropecuario. Gracias a sus docentes, infraestructura y recursos científicos, se forjaron las competencias que hoy pongo al servicio de la agricultura sostenible.

Asimismo, manifiesto una profunda gratitud a la Ing. Janeth Rocío Jácome Gómez, Mg., PhD, por su guía experta y su constante apoyo a lo largo de todo el proceso de titulación. Su orientación metodológica, su rigor científico y su confianza inquebrantable fueron fundamentales para la culminación exitosa de este trabajo académico.

AURELIO DAVID PORTILLA CALLE

Índice de Contenido

TRIBUNAL DE TITULACIÓN	¡Error! Marcador no definido.
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	VI
Índice de Tablas.....	X
Índice de Figuras	XI
Índice de Anexos.....	XII
RESUMEN.....	XIII
INTRODUCCIÓN.....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
JUSTIFICACIÓN	4
OBJETIVOS.....	6
HIPÓTESIS	7
CAPITULO I	8
METODOLOGIA	8
1.1 Localización de la unidad experimental.....	8
1.2 Caracterización climatológica de la zona	8
1.3 Métodos	9
1.3.1 Método cuantitativo	9
1.3.2 Método experimental	10
1.4 Variables	11
1.4.1 Variables independientes	11
1.4.2 Variables dependientes	11
1.5 Unidad experimental.....	12
1.6 Análisis estadístico	12
1.7 Diseño experimental.....	13
1.8 Materiales utilizados para la investigación	14
1.8.1 Infraestructura	14
1.8.2 Equipos:	14
1.8.3 Semovientes.....	14
1.8.4 Microorganismos	15
1.8.5 Equipos de Bioseguridad:	15

1.8.6 Insumos:	15
1.9 MANEJO DE LA INVESTIGACIÓN.....	15
1.9.2 Preparación de la cama experimental	15
1.9.3. Manejo de pollos de engorde	16
1.9.4 Determinación del peso de la cama.....	17
1.9.5 Muestreo para análisis microbiológico.....	17
1.9.6 Fase de laboratorio de muestras de <i>Trichoderma spp.</i>	18
1.9.7 Preparación del medio de cultivo.....	18
1.9.8 Periodo de incubación.....	19
1.9.9 Periodo de incubación <i>Trichoderma spp</i>	19
CAPITULO II	20
MARCO TEÓRICO	20
2.1 Avicultura de pollos de engorde.....	20
2.2 Importancia del manejo de la cama avícola.....	21
2.3 Cascarilla de arroz como material de cama avícola.....	22
2.4 Microorganismos en el uso de la avicultura.....	23
2.5 Mecanismos de degradación enzimática	24
2.6 Potencial de biocontrol y mitigación sanitaria de cama en la avicultura	26
2.7 El pH como indicador crítico de estabilidad de la cama en la avicultura	27
2.8 Economía circular en el ecosistema avícola	29
2.9 Marco legal del uso de microorganismos en la avicultura.....	31
2.10 ESTADO DEL ARTE.....	32
CAPITULO III.....	34
DESARROLLO DE LA PROPUESTA.....	34
3.1 Descripción del sistema.....	34
3.2 Presupuesto del sistema experimental	35
3.3 Diseño y selección de tecnologías.....	36
3.3.1 Enfoque tecnológico del sistema productivo	36
3.3.2 Tecnología alimentaria y uso de alimento balanceado comercial	37
3.3.3 Tecnología biológica basada en <i>Trichoderma spp.</i>	37
3.3.4 Tecnología de aplicación del microorganismo	38
3.3.6 Aporte tecnológico a la sostenibilidad del sistema.....	39
3.3.7 Plan de implementación.....	39

CAPITULO IV	40
4.1 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	40
4.2 Temperatura de la cama de pollos de engorde	40
4.3 Comportamiento semanal de la temperatura de la cama	42
4.4 Potencial de Hidrógeno (pH) de la cama.....	43
4.5 Comportamiento semanal de la temperatura de la cama	44
4.6 Presencia de dípteros (<i>Musca domestica</i>)	46
4.7 Variación semanal de la presencia de dípteros (<i>Musca domestica</i>).....	47
4.8 Calidad física de la cama	48
4.9 Supervivencia del hongo <i>Trichoderma</i> spp.....	50
4.10 Ganancia de peso.....	51
4.11 Conversión alimenticia	53
CAPITULO V.....	55
5.1 CONCLUSIONES.....	55
5.2 RECOMENDACIONES.....	56
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
ANEXOS	64

Índice de Tablas

Tabla 1. Características meteorológicas de la localidad.....	9
Tabla 2. Esquema de análisis de la varianza (ANOVA)	13
Tabla 3. Distribución de los tratamientos aplicados con <i>Trichoderma spp.</i> en camas de cascarilla de arroz para pollos de engorde Ross 308.....	13
Tabla 4. Tratamientos y dosis de aplicación de <i>Trichoderma spp.</i> en camas de pollos de engorde.	16
Tabla 5. Rangos de pH y su Impacto en la Estabilidad de la Cama Avícola	29
Tabla 6. Parámetros para la gestión circular y valorización de residuos avícolas.....	31
Tabla 7. Costos de implementación del sistema experimental para la producción de pollos de engorde.....	36
Tabla 8. Actividades realizadas en la investigación de inclusión de <i>Trichoderma spp</i>	39
Tabla 9. Temperatura de cama bajo diferentes niveles de inclusión de <i>Trichoderma spp</i>	40
Tabla 10. Potencial de hidrógeno (pH) de la cama en pollos de engorde bajo diferentes niveles de inclusión de <i>Trichoderma spp.</i>	43
Tabla 11. Presencia de dípteros (<i>Musca domestica</i>) en la cama de pollos de engorde bajo diferentes niveles de inclusión de <i>Trichoderma spp.</i>	46
Tabla 12. Indicadores de calidad física de la cama de pollos de engorde bajo diferentes niveles de inclusión de <i>Trichoderma spp.</i>	48
Tabla 13. Indicadores de calidad física de la cama de pollos de engorde bajo diferentes niveles de inclusión de <i>Trichoderma spp.</i>	50
Tabla 14. Ganancia de peso de pollos de engorde bajo diferentes niveles de inclusión de <i>Trichoderma spp.</i> en la cama.....	52
Tabla 15. Conversión alimenticia de pollos de engorde bajo diferentes niveles de inclusión de <i>Trichoderma spp.</i> en la cama	53

Índice de Figuras

Figura 1. Ubicación de la granja experimental “Río Suma”	8
Figura 2. <i>Efecto de Trichoderma</i> spp. sobre la temperatura de la cama por semana	42
Figura 3. <i>Efecto de Trichoderma</i> spp. sobre el pH de la cama por semana	45
Figura 4. Variación semanal de la presencia de dípteros (<i>Musca domestica</i>).....	47

Índice de Anexos

Anexo 1. Proceso de limpieza y desinfección de las instalaciones avícolas previo al inicio del experimento.....	64
Anexo 2. Adecuación y división del galpón experimental según tratamientos establecidos	64
Anexo 3. Instalación y verificación del sistema de ventilación para el control ambiental del galpón	64
Anexo 4. Recepción y acondicionamiento inicial de pollos de engorde en el galpón experimental	65
Anexo 5. Preparación y dosificación de <i>Trichoderma</i> spp. en solido según tu tratamiento	65
Anexo 6. Pesaje óptimo de cascarilla en cama para distribución, según su tratamiento.....	65
Anexo 7. Medición diaria de pH y temperatura en cama, con el potenciómetro	66
Anexo 8. Volteo de cama, para evitar compactación por humedad.....	66
Anexo 9. Peso de costras al finalizar, la etapa de crianza de pollos	66
Anexo 10. Preparación de muestras en laboratorio.....	67
Anexo 11. Muestras listas en cajas petri para ser analizadas	67
Anexo 12. Observación de viabilidad del hongo <i>Trichoderma</i> spp, por medio de microscopio	67

RESUMEN

La calidad de la cama avícola constituye un factor de importancia en la producción de pollos de engorde, debido a su influencia sobre el bienestar de las aves. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de diferentes niveles de inclusión de *Trichoderma* spp. en la cama avícola sobre sus características físicas y microbiológicas, así como sobre el desempeño productivo de pollos de engorde. Se empleó un Diseño Completamente al Azar (DCA), con tres tratamientos de inclusión de *Trichoderma* spp. (0,5 %, 1,0 % y 1,5 %) y un testigo sin aplicación del microorganismo, con tres repeticiones. Se utilizaron 96 pollos de la línea Ross 308, distribuidos en 12 unidades experimentales durante cinco semanas y media. Se evaluaron la temperatura, el pH, el incremento del peso de la cama, la formación de costras, la proporción de cama suelta, la presencia de *Musca domestica*, la supervivencia de *Trichoderma* spp., la ganancia de peso y la conversión alimenticia. Los datos fueron analizados mediante análisis de varianza y prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0,05$), utilizando InfoStat.

Los resultados no mostraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos para las variables evaluadas. Sin embargo, el tratamiento T3 con 1,5 % de *Trichoderma* spp. presentó tendencias favorables, observándose menor temperatura al finalizar el periodo experimental, menores valores de pH, menor incremento del peso de la cama, menor formación de costras y menor presencia de *Musca domestica* respecto a los demás tratamientos. Además, registró la mayor concentración de *Trichoderma* spp., con $4,92 \times 10^6$ conidios mL⁻¹, evidenciando la permanencia del microorganismo en la cama avícola. Asimismo, presentó la mayor ganancia de peso y mejor conversión alimenticia. Estos resultados permiten considerar la inclusión de *Trichoderma* spp. al 1,5 % como una alternativa biotecnológica con potencial para el manejo de la cama avícola en la producción de pollos de engorde.

Palabras clave:

Trichoderma spp., cama avícola, pollos de engorde, *Musca domestica*, cascarilla de arroz.

ABSTRACT

Poultry litter quality is a critical factor in broiler production because of its direct influence on bird welfare and productive performance. The objective of this study was to evaluate the effect of different inclusion levels of *Trichoderma* spp. in poultry litter on its physical and microbiological characteristics, as well as on the productive performance of broiler chickens. A Completely Randomized Design (CRD) was used, consisting of three *Trichoderma* spp. inclusion levels (0.5%, 1.0%, and 1.5%) and a control treatment without microorganism application, with three replicates per treatment. A total of 96 Ross 308 broiler chickens were distributed among 12 experimental units and reared for five and a half weeks. The variables evaluated included litter temperature, pH, litter weight gain, crust formation, proportion of loose litter, presence of *Musca domestica*, survival of *Trichoderma* spp., body weight gain, and feed conversion ratio. Data were analyzed using analysis of variance (ANOVA) and Tukey's multiple comparison test ($\alpha = 0.05$) with InfoStat software. The results showed no statistically significant differences among treatments for the evaluated variables. Nevertheless, the T3 treatment, containing 1.5% *Trichoderma* spp., exhibited favorable trends, including lower litter temperature at the end of the experimental period, lower pH values, reduced litter weight gain, less crust formation, and a lower presence of *Musca domestica* compared with the other treatments. Furthermore, T3 recorded the highest concentration of *Trichoderma* spp., reaching 4.92×10^6 conidia mL⁻¹, demonstrating the persistence of the microorganism in the poultry litter. This treatment also achieved the greatest body weight gain and the best feed conversion ratio. These findings suggest that the inclusion of *Trichoderma* spp. at 1.5% represents a promising biotechnological alternative for poultry litter management in broiler production systems.

Keywords: *Trichoderma* spp., poultry litter, broiler chickens, *Musca domestica*, rice husk.

INTRODUCCIÓN

A nivel global, la avicultura se ha consolidado como un pilar indiscutible para la seguridad alimentaria, sustentada en su elevada tasa de conversión alimenticia y en la producción acelerada de proteína animal de alto valor. Esta agilidad para responder a la demanda de una población en expansión explica por qué la FAO (2023) la cataloga entre las actividades agropecuarias más dinámicas y accesibles. Para Ecuador, la actividad reviste un carácter estratégico a escala nacional; datos de Jácome-Gómez et al. (2022) sitúan la producción por encima de las 494 mil toneladas anuales de carne, sosteniendo una población que superó los 263 millones de pollos en el 2020.

Es por eso que, en la provincia de Manabí, la cascarilla de arroz constituye uno de los materiales más utilizados para la elaboración de las camas avícolas debido a su disponibilidad y bajo costo (Gómez 2022). No obstante, durante el ciclo productivo este material acumula excretas, plumas, restos de alimento y humedad, modificando progresivamente sus características físicas y biológicas como resultado, pueden presentarse variaciones en la temperatura y el pH, formación de costras superficiales y proliferación de insectos, factores que deterioran el ambiente del galpón y comprometen tanto el bienestar de las aves como la eficiencia del sistema productivo (FAO, 2023)

Como respuesta a este desafío, la incorporación de microbiota benéfica ha cobrado fuerza en la optimización de los residuos avícolas. En este ámbito, *Trichoderma* spp. sobresale por su marcada plasticidad para colonizar sustratos orgánicos, acelerar la descomposición de la materia mediante la síntesis enzimática y reactivar el reciclaje de nutrientes (Lima et al., 2024). A estas virtudes degradativas se suma su potencial como

biocontrolador, una propiedad clave para estabilizar la carga microbiológica del medio y frenar la proliferación de patógenos o microorganismos indeseables (Valverde Bravo, 2023)

La calidad de la cama influye directamente en el bienestar de las aves y en la eficiencia del sistema de producción (Ritz et al., 2017). Variables como la temperatura y el pH condicionan el ambiente donde permanecen los pollos durante su ciclo de engorde, mientras que la presencia de moscas incrementa el riesgo de dispersión de agentes patógenos (Rossler et al., 2018). Además, la permanencia y viabilidad de *Trichoderma* spp. después de su incorporación resulta esencial para mantener su actividad biológica y favorecer la degradación continua de la materia orgánica, permitiendo evaluar su adaptación a las condiciones propias del sistema de producción avícola (Lima et al., 2024).

En ambientes tropicales e instalaciones de alta densidad, la acumulación de humedad en la cama se convierte en un factor crítico al disparar los niveles de amoníaco y favorecer la proliferación microbiana (Boussaada et al., 2022)

Esta alteración del microclima avícola incrementa patologías como la pododermatitis plantar, comprometiendo tanto el confort de las aves como los parámetros zootécnicos del lote (Vergara et al., 2025). El problema se extiende al ámbito económico: el residuo pierde valor para su posterior valorización agrícola como subproducto y se registran pérdidas financieras asociadas a bajas por mortalidad y descarte de canales (Devia, 2023).

A pesar de la importancia del manejo microbiológico de la cama, la mayoría de las investigaciones se ha orientado al empleo de tratamientos químicos o a la evaluación de otros materiales de cama, mientras que el potencial de los microorganismos benéficos ha recibido menor atención (Govea Párraga, 2022). En consecuencia, persiste un vacío de conocimiento respecto a las dosis más adecuadas para mejorar las propiedades físicas y microbiológicas del sustrato en la producción de pollos de engorde (Miller Lima, 2022).

En respuesta a esta problemática, la presente investigación tiene como objetivo evaluar el efecto de diferentes concentraciones de *Trichoderma* spp. aplicadas en la cama de cascarilla de arroz sobre las características físicas y microbiológicas durante el ciclo productivo de pollos de engorde en El Carmen, Manabí.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Si bien el sector avícola resulta fundamental en el abastecimiento global de proteína animal, el incremento de sus volúmenes productivos exige resolver la gestión de subproductos como la cama avícola, cuya acumulación compromete la sostenibilidad del sistema (FAO, 2023)

Las excretas y la materia orgánica en presencia de humedad no solo aceleran la generación de amoníaco, sino que consolidan un nicho para agentes patógenos que comprometen la respuesta sanitaria y zootécnica de la parvada (Nguyen, 2026)

Sumado a esta complicación sanitaria, el agotamiento de sustratos clásicos como la viruta de madera fuerza la adopción de alternativas regionales que aseguren estabilidad funcional y viabilidad financiera (Siaka, 2024)

Con una producción que sobrepasa las 494 mil toneladas anuales de carne de pollo, la avicultura en Ecuador representa un motor clave para la soberanía alimentaria y el sector agropecuario (Jácome, 2022). En las cuencas arroceras, la alta disponibilidad y el bajo costo de la cascarilla de arroz la convierten en la opción preferente para conformar las camas de los galpones (Ben Larbi, 2022).

Sin embargo, el deterioro del lecho es constante durante la crianza: la acumulación de excretas, restos de alimento, plumas y agua modifica la estabilidad física del sustrato, además de su pH y temperatura (Bolan et al., 2010)

Este desequilibrio no solo invalida la reutilización de la cama, sino que dispara los riesgos biológicos en la parvada, destacando la marcada presencia de *Escherichia coli* reportada en instalaciones tradicionales (Lozano Devia, 2023).

Esta problemática se intensifica en el cantón El Carmen, provincia de Manabí, donde las condiciones de temperatura y humedad propias del clima tropical aceleran el deterioro de la cama de cascarilla de arroz (Jácome, 2022)

Como consecuencia, se incrementa la formación de amoníaco, la compactación del sustrato y la aparición de lesiones como la pododermatitis plantar y las quemaduras de tarso, afectando el bienestar de las aves y ocasionando pérdidas económicas por el aumento de la mortalidad y el decomiso de canales (Lima, 2022)

Estas limitaciones evidencian la necesidad de implementar estrategias que permitan conservar la calidad física y microbiológica de la cama durante el ciclo productivo. Con base en lo expuesto, se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuál es el efecto de diferentes concentraciones de *Trichoderma* spp aplicadas en la cama de cascarilla de arroz sobre las características físicas y microbiológicas de la cama utilizada en la producción de pollos de engorde en el cantón El Carmen, provincia de Manabí?

JUSTIFICACIÓN

Optimizar los procesos productivos en la avicultura resulta indispensable para cubrir la demanda de proteína animal sin comprometer la sostenibilidad. Sin embargo, deficiencias

en la gestión del material de cama suelen generar acumulaciones de humedad y gas amoníaco, perjudicando la respuesta fisiológica y productiva del lote (Miller Lima, 2022)

Desde el punto de vista teórico, la investigación amplía el conocimiento sobre la interacción entre la cascarilla de arroz y los microorganismos eficientes en la estabilización de las camas avícolas; ya que, estos agentes biológicos contribuyen a regular los procesos del nitrógeno y reducir la emisión de gases nocivos, además de favorecer el control de microorganismos patógenos, aportando evidencia para el desarrollo de estrategias de manejo más eficientes (Devia, 2023).

En el ámbito metodológico, el estudio aplica un diseño experimental con protocolos estandarizados para evaluar parámetros zootécnicos y ambientales bajo condiciones controladas. Como señalan (Gómez, 2022).

Este tipo de diseño permite comparar objetivamente la eficacia de la cama avícola, mientras que el monitoreo sistemático de variables ambientales fortalece la confiabilidad y replicabilidad de los resultados (Nguyen, 2026).

La relevancia práctica radica en la generación de alternativas que mejoren la eficiencia productiva y el bienestar animal, debido a que el uso de cascarilla de arroz y tratamientos biológicos pueden reducir optimizar las condiciones del galpón y disminuir los costos asociados al empleo de materiales convencionales (Párraga, 2022).

Desde la perspectiva social, la investigación favorece una producción avícola más segura y responsable al contribuir al control de bacterias multirresistentes, reducir la emisión de gases y mejorar las condiciones laborales de los operarios (Bravo, 2023).

Los principales beneficiarios serán los pequeños y medianos avicultores, quienes dispondrán de alternativas sostenibles que incrementen su competitividad y promuevan una

producción de alimentos inocuos, tal como destacan Miller Lima (2022) y Jácome-Gómez et al. (2022).

La presente investigación se justifica por su aporte científico, metodológico, productivo y ambiental al sector avícola. La evaluación de diferentes niveles de inclusión de *Trichoderma* spp. en camas de cascarilla de arroz permitirá generar información técnica sobre su efecto en las características físicas y microbiológicas de la cama, así como en el desempeño productivo de los pollos de engorde. Los resultados contribuirán al desarrollo de estrategias de manejo más sostenibles, orientadas a mejorar la calidad de la cama, favorecer el bienestar animal y optimizar el aprovechamiento de los recursos disponibles en la zona. Además, la información obtenida servirá como referencia para productores, estudiantes e investigadores interesados en la aplicación de microorganismos benéficos dentro de sistemas avícolas bajo condiciones tropicales como las del cantón El Carmen, provincia de Manabí.

OBJETIVOS

i) Objetivo general

Evaluar el uso de microorganismos benéficos en cama de pollos de engorde en El Carmen, Manabí.

ii) Objetivos específicos

- Analizar el efecto de la aplicación de *Trichoderma* spp. sobre las características físicas, químicas y biológicas de la cama de pollos de engorde de los tratamientos en estudio, considerando la temperatura, el pH, la formación de costras y la presencia de moscas.
- Determinar la habilidad de supervivencia del *Trichoderma* spp. en los tratamientos.

- Calcular los parámetros productivos como ganancia de peso y conversión alimenticia en los tratamientos en estudio.

HIPÓTESIS

Hipótesis alternativa (H_a):

La aplicación de *Trichoderma* spp. en cama con cascarilla de arroz, en el manejo de pollos de engorde reduce los daños físicos de la cama y se mantiene la supervivencia del *Trichoderma* spp

Hipótesis nula (H_0):

La aplicación de *Trichoderma* spp. en camas de cascarilla de arroz utilizadas en la crianza de pollos de engorde no reduce los daños físicos de la cama ni mantiene la supervivencia de *Trichoderma* spp.

CAPITULO I

METODOLOGIA

1.1 Localización de la unidad experimental

La investigación se realizó en la Granja Experimental “Río Suma” ($0^{\circ}15'34.2''$ S; $79^{\circ}27'04''$ O), en la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, extensión El Carmen, en el área del proyecto avícola donde se realizó el manejo de cama en pollos de engorde para la investigación.

Figura 1. *Ubicación de la granja experimental “Río Suma”*



Fuente. Google Maps (2024).

1.2 Caracterización climatológica de la zona

Las principales variables climáticas en el área de estudio (Tabla 1) fueron obtenidas a partir del registro del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), específicamente para la provincia de Manabí, en el cantón El Carmen.

Tabla 1. *Características meteorológicas de la localidad*

Características	El Carmen
Clima	Trópico Húmedo
Temperatura (°C)	24
Humedad Relativa (%)	86
Heliofanía (Horas luz año ⁻¹)	1026,2
Precipitación media anual (mm)	2659
Altitud (msnm)	249

Nota: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI, 2022)

1.3 Métodos

1.3.1 Método cuantitativo

La presente investigación se desarrolló bajo el método cuantitativo, debido a que permitió obtener información objetiva mediante la medición de las variables establecidas para cada tratamiento. Durante el desarrollo del ensayo se registraron datos correspondientes a las características físicas de la cama de pollos de engorde, como la temperatura, el pH, la formación de costras, la presencia de larvas y moscas, además de la supervivencia *Trichoderma* spp. Asimismo, se evaluaron los parámetros productivos de las aves, específicamente la ganancia de peso y la conversión alimenticia. Los datos obtenidos fueron procesados mediante procedimientos estadísticos con el propósito de determinar el efecto de los tratamientos y dar respuesta a los objetivos planteados en la investigación. Tal como menciona Kaur, (2024) al definir al método cuantitativo como un proceso sistemático que utiliza técnicas matemáticas y análisis estadísticos para resumir datos, identificar patrones o tendencias y probar hipótesis de manera empírica, lo que permite generalizar los hallazgos a poblaciones más grandes.

1.3.2 Método experimental

La investigación utilizó el método experimental porque implicó la manipulación deliberada de la variable independiente, correspondiente a las dosis de *Trichoderma spp.*, con el fin de evaluar su efecto sobre las variables de respuesta. Durante el desarrollo del ensayo se mantuvieron constantes las condiciones de manejo para garantizar que los cambios observados fueran consecuencia de los tratamientos aplicados y no de factores externos. Al hablar de método experimental Em (2024), menciona que se usa con el objetivo principal de determinar relaciones de causa y efecto entre variables mediante la manipulación de una variable independiente y la observación de su impacto en una o más variable/s dependiente/s bajo condiciones controladas.

El valor observado de la variable evaluada de cada tratamiento y repetición. la fórmula del modelo estadístico correspondiente al Diseño Completamente al Azar (DCA) puede presentarse de la siguiente manera:

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

donde:

- Y_{ij} = valor observado de la variable evaluada (temperatura de la cama, pH, número de moscas, peso de la cama, peso de las costras, concentración de conidios de *Trichoderma spp.*, ganancia de peso o conversión alimenticia) correspondiente al tratamiento i en la repetición j.
- μ = media general de la población.
- τ_i = efecto del tratamiento i, correspondiente a las diferentes concentraciones de *Trichoderma spp.* (T1 = 0,5 %; T2 = 1,0 %; T3 = 1,5 %; T4 = testigo).

- ε_{ij} = error experimental asociado a cada observación, asumido con distribución normal e independencia.

Según Awasthi (2021), se han reportado aplicaciones de inoculantes microbianos al 0,5 % y 1 % en residuos orgánicos y compostajes enriquecidos, así como el uso de *Trichoderma spp.* en materiales compuestos por estiércoles, residuos agrícolas y cascarilla de arroz, demostrando su capacidad para promover la descomposición de compuestos celulósicos y lignocelulósicos. Por tal motivo, se seleccionaron las concentraciones de 0,5 %, 1,0 % y 1,5 % con el fin de evaluar la respuesta dosis dependiente del microorganismo en la cama de pollos de engorde y determinar el nivel de inclusión más eficiente bajo las condiciones del estudio

- **T1:** *Trichoderma spp.* al 0.5 %
- **T2:** *Trichoderma spp.* al 1 %
- **T3:** *Trichoderma spp.* al 1.5 %
- **T4:** Testigo (sin aplicación)

1.4 Variables

1.4.1 Variables independientes

- Porcentaje de inoculación del hongo *Trichoderma spp.* en cama de pollos de engorde.

1.4.2 Variables dependientes

1. Temperatura de la cama de pollos de engorde (°C)
2. Potencial de Hidrógeno (pH) de la cama de pollos de engorde.
3. Presencia de moscas
4. Peso de costras en cama

5. Concentración del hongo *Trichoderma* spp.
6. Ganancia de peso.
7. conversión alimenticia en pollos de engorde.

1.5 Unidad experimental

La unidad experimental estuvo conformada por 12 unidades experimentales con un total de 96 aves evaluadas durante el periodo experimental con un peso inicial uniforme, los cuales fueron manejados bajo las mismas condiciones ambientales, sanitarias y de alimentación.

1.6 Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis estadístico mediante análisis de varianza (ANOVA), correspondiente al Diseño Completamente al Azar, con el fin de determinar la existencia de diferencias significativas entre tratamientos. Cuando se detectaron diferencias estadísticas, las medias fueron comparadas mediante la prueba de Tukey al 5 % de probabilidad ($p \leq 0,05$)

El análisis estadístico se realizó utilizando un software especializado para análisis de datos experimentales. Los resultados se expresaron como media $\pm$ error estándar, evaluándose previamente los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. Los cálculos se efectuaron con el paquete estadístico InfoStat®, versión 2021, lo que permitió identificar las dosis por *trichoderma* spp, que produjeron diferencias estadísticamente en las variables.

Tabla 2. *Esquema de análisis de la varianza (ANOVA)*

Fuente de variación	Grados de libertad
Total	11
Tratamientos	3
Error	8

1.7 Diseño experimental

El ensayo se estableció mediante un Diseño Completamente al Azar (DCA), conformado por tres tratamientos y un testigo, para un total de 12 unidades experimentales cada unidad experimental estuvo constituida por ocho pollos de engorde, obteniéndose un total de 96 aves distribuidas aleatoriamente entre los tratamientos, los pollos permanecieron durante los primeros 10 días de edad en un área común destinada a la fase de adaptación posteriormente, fueron asignados aleatoriamente a las unidades experimentales correspondientes, procurando mantener la misma proporción de machos y hembras en cada repetición. Los tratamientos consistieron en la aplicación de diferentes concentraciones de *Trichoderma* spp. sobre la cama de cascarilla de arroz.

Tabla 3. *Distribución de los tratamientos aplicados con Trichoderma spp. en camas de cascarilla de arroz para pollos de engorde Ross 308.*

Tratamiento	Porcentaje de inoculación (%)	Dosis aplicada en cama	Descripción
T1	0,5 %	54 g/ m ²	Se incorporo 54 gramos de <i>trichoderma</i> spp en cama de cascarilla de arroz en 1m ² del tratamiento
T2	1,0 %	108 g/ m ²	Se incorporo 108 gramos de <i>trichoderma</i> spp en cama de cascarilla de arroz en 1m ² del tratamiento

Tratamiento	Porcentaje de inoculación (%)	Dosis aplicada en cama	Descripción
T3	1,5 %	162 g/ m ²	Se incorporo 162 gramos de trichoderma spp en cama de cascarilla de arroz en 1m ² del tratamiento
T4	0,0 %	0 g / m ²	No contiene <i>trichoderma</i> spp. Testigo.

1.8 Materiales utilizados para la investigación

- Cajas Petri
- cinta
- Estilete

1.8.1 Infraestructura

- Galpón avícola con divisiones de investigación con sistema de bioseguridad.

1.8.2 Equipos:

- Bebederos
- Comederos de bandeja
- Ventilador de 3 aspas
- Cascarilla de arroz
- Gramera
- Balanza
- Termohigrómetro
- Libreta y esfero

1.8.3 Semovientes

- Pollos Ross 308

1.8.4 Microorganismos

- Cepa de *Trichoderma spp.*

1.8.5 Equipos de Bioseguridad:

- Botas, guantes, mascarillas, amonio cuaternario desinfección constante.

1.8.6 Insumos:

- Alimento balanceado
- Electrolitos
- Agua destilada
- Agar

1.9 MANEJO DE LA INVESTIGACIÓN

1.9.1 Distribución de los pollos en la investigación

Para el desarrollo del ensayo se utilizaron 96 pollos de engorde de la línea genética (Ross 308), con un peso inicial comprendido entre 54 g por ave. Cada unidad experimental estuvo conformada por ocho aves, distribuidas en una proporción de cinco machos y tres hembras, manteniendo una densidad de alojamiento de ocho pollos por metro cuadrado.

Como material de cama se utilizó cascarilla de arroz, aplicándose 10,8 kg por metro cuadrado con una profundidad de 10 cm en cada unidad experimental. los tratamientos evaluados correspondieron a diferentes porcentajes de aplicación de *Trichoderma spp.* en sólido sobre la cama.

1.9.2 Preparación de la cama experimental

La cascarilla de arroz correspondiente a cada repetición se colocó en un recipiente limpio con capacidad de 60 litros, asegurando que cada tratamiento contara con su propio recipiente para evitar la contaminación cruzada. Posteriormente, se incorporó *Trichoderma*

spp. en estado sólido (inóculo seco) sobre la cascarilla de arroz, de acuerdo con la concentración establecida para cada tratamiento. La distribución de las concentraciones correspondientes a cada tratamiento se presenta en la Tabla 4.

Tabla 4. *Tratamientos y dosis de aplicación de Trichoderma spp. en camas de pollos de engorde.*

Tratamiento	Dosis de <i>Trichoderma</i> spp.	Equivalencia por m ² de cama
T1	0.50%	54 g/m ² × 10.8 kg de cama/m ²
T2	1.00%	108 g/m ² × 10.8 kg de cama/m ²
T3	1.50%	162 g/m ² × 10.8 kg de cama/m ²
T4	0 %	Sin aplicación de <i>Trichoderma</i> spp.

Posteriormente, la mezcla se homogenizó manualmente hasta lograr una distribución uniforme del microorganismo en toda la masa de cascarilla de arroz. Este procedimiento se realizó de forma independiente para cada una de las tres repeticiones y de manera aleatoria de tratamientos experimentales.

Una vez preparada la cama, las aves fueron alojadas en sus respectivas unidades experimentales para iniciar el periodo de evaluación.

1.9.3. Manejo de investigación de pollos de engorde

Durante las cinco semanas y media del ensayo todas las unidades experimentales recibieron las mismas condiciones de manejo, alimentación y suministro de agua, variando únicamente la concentración de aplicada a la cama.

Con el propósito de evitar la compactación del sustrato y favorecer la aireación, la cama fue removida manualmente dos veces al día y cada tratamiento contaba con su propio removedor de cama para que no haya incidencia de contaminación cruzada

Las mediciones tomadas de temperatura y potencial de hidrógeno (pH) también se realizaron diariamente en dos horarios establecidos a las 08:00 am horas en la mañana y en la tarde 16:00 pm horas.

La temperatura y potencial de hidrogeno fue registrada simultáneamente mediante un potenciómetro digital, introduciendo el electrodo en diferentes puntos de cada unidad experimental para obtener un valor representativo de toda la cama.

El número de moscas presentes en cada unidad experimental se determinó mediante conteo directo mediante una captura de imagen durante un intervalo fijo de tiempo, efectuando el registro diariamente bajo las mismas condiciones de observación para todos los tratamientos.

1.9.4 Determinación del peso de la cama

Al inicio del experimento se registró el peso inicial de la cama correspondiente a cada unidad experimental (10,8 kg).

Al finalizar la etapa de engorde se realizó nuevamente el peso de la cama para determinar la variación de peso ocasionada por la acumulación de humedad, excretas, restos de alimento y otros materiales presentes durante el ciclo productivo, posteriormente se separaron las costras superficiales formadas sobre la cama y se determinó su peso utilizando una balanza digital.

1.9.5 Muestreo para análisis microbiológico

Una vez concluido el periodo fase de campo, se procedió al muestreo de la cama correspondiente a cada unidad experimental.

Con el propósito de obtener una muestra representativa, se recolectó material de varios puntos distribuidos dentro de cada repetición tomando una cantidad 500 g por muestra, formando una muestra compuesta para cada unidad experimental de los tratamientos.

Posteriormente, las muestras fueron identificadas, colocadas en recipientes estériles y transportadas al Laboratorio de Microbiología de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM) para el análisis de supervivencia y viabilidad.

1.9.6 Fase de laboratorio de muestras de *Trichoderma* spp.

Para la fase de laboratorio, se preparó una suspensión inicial disolviendo 10 gramos de cascarilla de arroz en 90 mililitros de agua destilada estéril. A partir de esta solución madre, se tomó un mililitro para sembrarlo en las cajas Petri con medio de cultivo agar, esparciendo el inóculo de manera uniforme con la ayuda *Trichoderma* spp. de una espátula estéril para garantizar la observación de la supervivencia de las colonias.

En total se procesaron 12 muestras, correspondientes a las tres repeticiones de cada uno de los tres tratamientos experimentales que contenía *Trichoderma* spp.

1.9.7 Preparación del medio de cultivo.

La preparación del medio de cultivo se realizó utilizando Agar Papa Dextrosa (PDA), siguiendo las especificaciones del fabricante, las cuales establecen una concentración de 39 g de medio por cada litro de agua destilada. Considerando que para el análisis microbiológico se emplearon 12 cajas Petri estériles y que cada una fue llenada con aproximadamente 20 ml de medio, se preparó un volumen total de 240 ml de PDA. Para ello, se pesaron 9,36 g de PDA y se disolvieron en 240 ml de agua destilada.

Posteriormente, la mezcla se sometió a esterilización en autoclave a 121 °C y 15 lb de presión durante 15 minutos. Una vez finalizado el proceso y cuando el medio alcanzó una

temperatura adecuada para su manipulación, se distribuyeron aproximadamente 20 ml en cada una de las 12 cajas Petri estériles. Finalmente, las cajas fueron dejadas en reposo hasta la solidificación completa del medio, para posteriormente ser utilizadas en la siembra y evaluación de la viabilidad de *Trichoderma* spp. obtenida de las muestras de cama avícola.

1.9.8 Periodo de incubación

El periodo de incubación fue de 6 días, durante el cual se verificó el desarrollo de colonias características del microorganismo. las muestras de cama avícola obtenidas en la fase de campo fueron evaluadas individualmente, de cada muestra compuesta se pesó 1g, utilizando una balanza digital, el cual fue transferido a un recipiente estéril que contenía 9 ml de agua destilada estéril.

1.9.9 Periodo de incubación *Trichoderma* spp

Posteriormente, la mezcla fue homogenizada mediante agitación constante con el fin de desprender y dispersar los conidios y demás estructuras fúngicas presentes en la cama, obteniéndose una suspensión homogénea adecuada para el análisis microbiológico posterior.

Finalizado el periodo de incubación, se realizó la observación macroscópica de las colonias desarrolladas sobre el medio PDA para confirmar la presencia de *Trichoderma* spp se preparó una suspensión a partir de las colonias obtenidas y se efectuó el recuento microscópico mediante una cámara de Neubauer.

Para ello, utilizando una pipeta estéril de 1ml, se depositó una alícuota de la suspensión sobre la cámara de conteo y se procedió al recuento de los conidios presentes en los cuadrantes seleccionados mediante observación microscópica

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Avicultura de pollos de engorde

La avicultura de pollos de engorde constituye uno de los métodos de cría animal más eficientes, proporcionando seguridad nutricional a gran escala debido a su rápido crecimiento y bajos costos productivos. Según Miller Lima (2022), estos animales son aves jóvenes originarias de un cruce genético altamente seleccionado para alcanzar una velocidad de crecimiento acelerada en un corto tiempo de desarrollo. Esta industria ha experimentado un crecimiento global masivo, alcanzando cifras de producción de carne superiores a los 133 millones de toneladas anuales, según reportan Bayas Vera y Valverde Bravo (2023). La evolución constante de este sector exige mejoras continuas en términos de genotipo, nutrición, sanidad y manejo técnico de las aves para satisfacer las crecientes demandas del mercado internacional.

En la producción industrial de pollos, el objetivo primordial es alcanzar una ganancia de peso óptima, minimizando la mortalidad para asegurar la rentabilidad económica del ciclo productivo. De acuerdo con Jácome-Gómez et al. (2022), existen factores determinantes más allá del suministro de agua y alimento, como es el caso del material de cama y su manejo técnico. Debido a que las aves pasan la mayor parte de su vida en contacto directo con este sustrato, Bergmann et al. (2017) destacan que se debe procurar una cama de alta calidad que brinde el máximo confort. Un ambiente adecuado permite que los animales expresen su máximo potencial genético, reduciendo niveles de estrés y garantizando el bienestar animal durante las etapas de inicio y engorde.

La expansión de la industria avícola ha llevado a la implementación de sistemas intensivos donde las aves se mantienen en confinamiento bajo condiciones ambientales rígidamente controladas. Lozano Devia (2023) destaca que este incremento productivo responde a una demanda de mercado donde el consumo per cápita de pollo ha alcanzado niveles históricos significativos. En este contexto, Mulder (2020) proyectó que la producción mundial de carne de pollo continuaría aumentando un dos por ciento anual, lo que obliga a reforzar las medidas de bioseguridad frente a diversos patógenos. Por ello, el control de factores fisicoquímicos en los galpones, como el pH y la acumulación de amoníaco derivada de las deyecciones, es crucial para mantener la sanidad del lote.

2.2 Importancia del manejo de la cama avícola

Según Jácome-Gómez et al. (2022), la función primordial del manejo del material de la cama avícola es absorber la humedad de las deyecciones y mantener un ambiente seco que permita a las aves expresar comportamientos naturales sin niveles elevados de estrés. Asimismo, la calidad del sustrato debe garantizar un cojín protector que minimice el riesgo de lesiones, promoviendo el bienestar animal y permitiendo que las aves vivan a la altura de su potencial genético (Ritz et al., 2017).

Las condiciones fisicoquímicas de la cama, tales como el pH, la temperatura y la humedad, influyen directamente en el estado sanitario del lote y la rentabilidad de la explotación, ya que, de acuerdo con Lozano Devia (2023), estos factores ambientales afectan la supervivencia microbiana y pueden favorecer la proliferación de patógenos entéricos si no existe un control riguroso. Por esta razón, Miller Lima (2022) destaca que el manejo de la cama es un aspecto clave del control ambiental, pues un sustrato descuidado puede generar altos niveles de amoníaco que ocasionan problemas respiratorios y disminuyen el rendimiento final de la canal.

Asimismo, la elección del material y la profundidad de la cama tienen un impacto significativo en los índices de ganancia de peso y la eficiencia alimenticia porque el uso de materiales con buena capacidad de absorción es crucial para mitigar la incidencia de pododermatitis plantar, una afección que compromete seriamente el bienestar y la productividad de los pollos (Vergara et al., 2025). En este contexto, Vera Gómez (2022) señala que un comportamiento productivo exitoso depende de un manejo técnico que equilibre la profundidad del material para asegurar la termorregulación de las aves y la correcta aireación del sustrato.

2.3 Cascarilla de arroz como material de cama avícola

La cascarilla de arroz es un subproducto vegetal ampliamente adoptado en la avicultura porque se caracteriza por poseer una notable capacidad de absorción y un bajo contenido de humedad inicial, lo que lo convierte en un sustrato idóneo para proteger a las aves del contacto directo con el suelo frío (Lozano Devia, 2023). Además, su naturaleza ligera y friable facilita el manejo técnico del galpón, permitiendo que los pollos realicen comportamientos naturales como el picoteo y el baño de polvo, factores que son esenciales para reducir los niveles de estrés y garantizar el bienestar animal durante el ciclo productivo (Govea Párraga, 2022).

En términos de salud y productividad, el uso de este sustrato ha demostrado ser superior a otros materiales en la prevención de patologías integumentarias por su efectividad en la prevención de lesiones podales severas, logrando mantener una mayor proporción de aves libres de pododermatitis en comparación con el uso de arena pura (Vergara et al., 2025). Por su parte, Jácome-Gómez et al. (2022) indican que, aunque materiales como la viruta de madera pueden favorecer ligeramente mayores ganancias de peso, la cascarilla permite

alcanzar índices de conversión alimenticia competitivos sin comprometer la integridad sanitaria del lote ni la calidad de la canal al final del proceso.

La gestión de la humedad y la volatilización de gases nocivos son aspectos críticos donde la cascarilla de arroz desempeña un papel regulador fundamental. Según Bayas Vera y Valverde Bravo (2023), este material presenta un pH inicial ligeramente ácido, lo cual es favorable para retrasar la formación de amoníaco volátil derivado de la descomposición de las excretas en la cama. No obstante, para potenciar estos beneficios en condiciones de alta humedad, Nguyen et al. (2026) sugieren que la suplementación de la cascarilla con formulaciones basadas en zeolita puede reducir hasta en un 50% las concentraciones de amoníaco ambiental, mejorando así los biomarcadores de estrés y el rendimiento general de las parvadas.

2.4 Microorganismos en el uso de la avicultura

La integración de microorganismos en la avicultura se ha consolidado como una estrategia biotecnológica fundamental para el control de patógenos y la mejora de la calidad ambiental en los galpones. Es por esta razón que según Bayas Vera y Valverde Bravo (2023), la utilización de "microorganismos eficientes" (ME), que comprenden consorcios de bacterias lácticas, levaduras y hongos fermentadores, permite generar un ambiente equilibrado que favorece el estado sanitario de las aves mediante procesos de exclusión competitiva. Por su parte, Lozano Devia (2023) señala que las camas avícolas actúan como reservorios naturales de una microbiota diverso que puede alcanzar concentraciones de hasta 10¹⁰ UFC/g, lo que hace indispensable el uso de estos agentes biológicos para mitigar la proliferación de bacterias entéricas y optimizar la degradación de los residuos orgánicos acumulados.

El género *Trichoderma* spp. destaca como un agente de biotransformación esencial en el manejo de sustratos avícolas gracias a sus capacidades enzimáticas para degradar materiales lignocelulósicos y detoxificar compuestos complejos, debido a que, este hongo ascomiceto no solo acelera la descomposición de la materia orgánica, sino que también funciona como un agente de control biológico multifuncional capaz de atacar a otros hongos mediante mecanismos de antagonismo (Bayas Vera & Valverde Bravo, 2023). Asimismo, Woo et al. (2022) describen a *Trichoderma* como un microorganismo polivalente que modula la interacción biológica en la cama, promoviendo una agricultura ecosostenible al reducir la necesidad de insumos químicos para el control de olores y patógenos.

La aplicación sistemática de estos microorganismos en las camas de pollos de engorde genera impactos positivos tanto en la sanidad ambiental como en el rendimiento zootécnico de la parvada. Según los hallazgos de Aggarangsi et al. (2021), el pretratamiento de sustratos como la cascarilla de arroz con especies de *Trichoderma longibrachiatum* mejora la digestión anaeróbica de los desechos, facilitando su conversión en subproductos estables. Además, Bayas Vera y Valverde Bravo (2023) demuestran que la inoculación de mezclas de *Trichoderma* spp. y *Bacillus subtilis* logra disminuir las concentraciones de amoníaco volátil por debajo de las 10 ppm, lo que se traduce en una mayor ganancia de peso y un índice de conversión alimenticia más eficiente.

2.5 Mecanismos de degradación enzimática

La degradación enzimática en la cama avícola es un proceso complejo impulsado por la actividad metabólica del microbiota, la cual transforma compuestos orgánicos mediante reacciones bioquímicas específicas. Por ejemplo, la conversión del nitrógeno presente en las deyecciones hacia amoníaco gaseoso es una reacción rápida mediada por la acción de enzimas como la ureasa y la uricasa, que desdoblan el ácido úrico acumulado en el sustrato

(Bayas Vera & Valverde Bravo, 2023). Este mecanismo es altamente sensible a las variaciones del entorno; al respecto, Lozano Devia (2023) destaca que factores fisicoquímicos como el pH alcalino y la humedad elevada son determinantes, ya que una gestión inadecuada de estas variables favorece una actividad enzimática descontrolada, incrementando la volatilización de gases nocivos y comprometiendo la sanidad del galpón.

La integración de microorganismos especializados como *Trichoderma spp.* y *Bacillus subtilis* optimiza estos mecanismos al secretar enzimas capaces de procesar materiales resistentes. De acuerdo con Zin y Badaluddin (2020), el género *Trichoderma* funciona como un agente de biotransformación que secreta un complejo enzimático polivalente, el cual acelera la degradación de la materia orgánica y posee la capacidad de detoxificar compuestos peligrosos en la cama. Complementariamente, Cheng et al. (2021, como se citó en Bayas Vera & Valverde Bravo, 2023) señalan que bacterias como *Bacillus subtilis* potencian este proceso al activar enzimas digestivas e incrementar la solubilidad de minerales, lo que favorece un ambiente biológico equilibrado y mejora el aprovechamiento de los nutrientes disponibles en el ecosistema del galpón.

La aplicación de pretratamientos enzimáticos en sustratos lignocelulósicos, como la cascarilla de arroz, representa una estrategia biotecnológica avanzada para facilitar su descomposición y reutilización que al aplicar el pretratamiento con especies fúngicas como *Trichoderma longibrachiatum* mejora la degradación de polímeros complejos en los desechos de granjas de pollos, rompiendo las estructuras de fibra para facilitar una digestión más estable (Aggarangsi et al., 2021). Asimismo, Nguyen et al. (2026) sostienen que la correcta gestión de estas transformaciones químicas es fundamental para mitigar la formación de amoníaco, asegurando que la calidad del aire y del material de cama promuevan

el bienestar animal y reduzcan los indicadores de estrés fisiológico en las aves durante el ciclo productivo.

2.6 Potencial de biocontrol y mitigación sanitaria de cama en la avicultura

La implementación de estrategias de biocontrol en las camas avícolas se fundamenta en la capacidad de ciertos microorganismos para inhibir el crecimiento de agentes patógenos mediante la exclusión competitiva y la producción de metabolitos secundarios. Es por esto que el uso de consorcios de "microorganismos eficientes" (ME), que incluyen bacterias lácticas y hongos fermentadores, permite establecer un equilibrio microbiológico que limita el desarrollo de bacterias entéricas (Bayas Vera & Valverde Bravo, 2023). Complementariamente, Lozano Devia (2023) destaca que la bioprotección del sustrato es una prioridad sanitaria, dado que las camas actúan como reservorios de bacterias oportunistas que pueden alcanzar concentraciones de 10^{10} UFC/g, poniendo en riesgo tanto la sanidad del lote como la inocuidad alimentaria.

El género *Trichoderma* spp. y bacterias del género *Bacillus* presentan un alto potencial como agentes de mitigación sanitaria debido a sus mecanismos antagonistas polivalentes. De acuerdo con Zin y Badaluddin (2020), *Trichoderma* secreta enzimas que degradan la materia orgánica y posee la cualidad de atacar hongos fitopatógenos mediante micoparasitismo.

Según (Bravo, 2023) señalan que *Bacillus subtilis* refuerza esta acción al producir lipopéptidos que alteran la membrana celular de patógenos, mejorando además la inmunidad de las aves frente a condiciones de estrés calórico que suelen comprometer la barrera intestinal.

La mitigación de gases nocivos, especialmente el amoníaco, es otro eje crítico del biocontrol que impacta directamente en el bienestar integumentario de las aves. Nguyen et

al. (2026) sostienen que la gestión de la calidad del aire mediante suplementos que absorben nitrógeno es fundamental para reducir biomarcadores de estrés fisiológico en los pollos. En este sentido, Bayas Vera y Valverde Bravo (2023) demuestran que la inoculación de microorganismos antagonistas en la cama logra mantener los niveles de amoníaco por debajo de las 10 ppm, lo cual previene la erosión del tejido podal y minimiza la incidencia de pododermatitis severa durante las etapas críticas de engorde.

La biotecnología aplicada a la cama avícola contribuye a la reducción de genes de resistencia antimicrobiana en el entorno rural. En por esto que se advierte que el manejo tradicional sin control microbiológico favorece la persistencia de genes como *blaCTX-M-I* en las poblaciones de *E. coli* (Lozano Devia, 2023). No obstante, Almeida et al. (2022, como se citó en Bayas Vera & Valverde Bravo, 2023) reportan que extractos de hongos como *Paecilomyces* spp. poseen propiedades antimicrobianas naturales que pueden servir como alternativa al uso de antibióticos convencionales, promoviendo un sistema productivo más sostenible y seguro para el consumo humano.

2.7 El pH como indicador crítico de estabilidad de la cama en la avicultura

El potencial de hidrógeno (pH) en la cama avícola es un parámetro fisicoquímico determinante que condiciona la supervivencia del microbiota y la estabilidad química del entorno del galpón. Por estas razones, el pH de este sustrato puede variar desde condiciones ligeramente ácidas (6,0) hasta niveles francamente alcalinos (9,0), rango que favorece la proliferación de la mayoría de los patógenos de interés zootécnico y zoonótico (Lozano Devia, 2023). En este sentido, Bayas Vera y Valverde Bravo (2023) señalan que un pH inicial ligeramente ácido, como el que presenta la cascarilla de arroz (aprox. 6,9), es fundamental para retrasar los procesos de descomposición orgánica; sin embargo, a medida que avanza el

ciclo de vida de las aves, la acumulación de deyecciones ricas en ácido úrico tiende a elevar estos niveles hacia la alcalinidad.

La relación entre el pH y la volatilización de gases nocivos, especialmente el amoníaco (NH_3), representa uno de los desafíos más críticos para el bienestar animal. Según Nguyen et al. (2026), la gestión del pH es esencial para mitigar las emisiones de amoníaco, ya que valores elevados de este indicador aceleran la transformación química del nitrógeno presente en las excretas. Complementariamente, Bayas Vera y Valverde Bravo (2023) explican que la volatilización es significativamente menor cuando el pH se mantiene por debajo de 7,0, pero se incrementa de forma exponencial cuando el sustrato supera un pH de 8,0, lo que genera un ambiente tóxico que compromete las mucosas respiratorias y la integridad del tejido podal de los pollos.

La estabilidad microbiológica del sustrato depende de la capacidad del productor para mantener el pH dentro de rangos que limiten el desarrollo bacteriano indeseable, por eso, la aplicación de agentes acidificantes en la cama permite estabilizar el pH entre 5,0 y 7,0, creando un entorno hostil para bacterias urolíticas y patógenos como *Salmonella spp.* y *E. coli* (Lozano Devia, 2023). No obstante, Vera Gómez (2022) destaca que factores como la profundidad de la cama y la humedad ambiental también influyen en este indicador; una cama más profunda y húmeda tiende a generar zonas de compactación anaeróbica que alteran el equilibrio del pH, lo que puede elevar la incidencia de pododermatitis y otras afecciones zootécnicas si no existe un manejo técnico riguroso.

Para resumir la importancia de este indicador, la siguiente tabla resume los niveles críticos de pH identificados en las investigaciones:

Tabla 5. Rangos de pH y su impacto en la estabilidad de la cama avícola

Rango de pH	Estado de Estabilidad	Impacto Sanitario y Ambiental
5,0 - 7,0	Zona Óptima	Inhibe bacterias patógenas y reduce la formación de NH ₃ .
7,0 - 8,0	Zona de Transición	Inicio de volatilización de amoníaco; equilibrio de nitrógeno.
8,0 - 9,0	Zona de Riesgo	Alta proliferación de patógenos y emisiones masivas de gas.
> 9,0	Inestabilidad Crítica	Condiciones de alcalinidad extrema; riesgo alto de lesiones.

Nota. Adaptado de Bayas Vera & Valverde (2023) y Lozano Devia (2023).

2.8 Economía circular en el ecosistema avícola

La integración de principios de economía circular en la industria avícola se manifiesta principalmente en la valorización de subproductos agroindustriales utilizados como materiales de cama, lo que permite cerrar ciclos productivos y reducir el impacto ambiental, como ejemplo, la mayoría de los sustratos empleados para este fin, como la viruta de madera, la cascarilla de arroz y el bagazo de caña, son residuos de otros sectores que encuentran una segunda vida útil al proporcionar confort y aislamiento térmico a las aves (Jácome-Gómez et al., 2022). Esta práctica no solo optimiza el uso de recursos, sino que, como destaca Miller Lima (2022), el aprovechamiento de materiales abundantes y económicos en zonas específicas permite a los productores locales mitigar la escasez de insumos tradicionales, fortaleciendo la sostenibilidad económica del sistema.

La reutilización sistemática de la cama de pollo a lo largo de varios ciclos productivos constituye un pilar fundamental para maximizar la eficiencia operativa y minimizar la

generación de desechos, debido a que el reúso de este material es una estrategia clave para la supervivencia de la industria, ya que reduce la necesidad de adquirir nuevos insumos y disminuye la carga contaminante derivada de la disposición final de residuos orgánicos (Lozano Devia, 2023). Complementariamente, Govea Párraga (2022) señala que esta práctica, cuando se acompaña de un manejo técnico adecuado de desinfección, permite a los avicultores alcanzar índices de productividad competitivos mientras reducen significativamente sus costos operativos, promoviendo un ecosistema productivo más resiliente.

La fase final del ciclo circular avícola transforma la cama agotada (pollinaza) en un insumo de alto valor para otros sistemas agrícolas, actuando como fertilizante orgánico o enmienda de suelos. Según Lozano Devia (2023), la pollinaza procesada es rica en nutrientes esenciales como nitrógeno y fósforo, lo que mejora la porosidad y la capacidad de infiltración del suelo en cultivos de hortalizas y frutas. No obstante, para garantizar la inocuidad en esta transición, Bayas Vera y Valverde Bravo (2023) subrayan la importancia de utilizar microorganismos eficientes que aceleren la biotransformación de estos residuos, eliminando patógenos y reduciendo emisiones nocivas, lo que asegura una agricultura ecosostenible y segura para el consumidor final.

Para asegurar la viabilidad técnica de estas prácticas circulares, se deben monitorear parámetros específicos que garanticen la calidad del material reciclado, tal como se detalla en la siguiente figura:

Tabla 6. *Parámetros para la gestión circular y valorización de residuos avícolas*

Práctica Circular	Parámetro Crítico	Beneficio del Ecosistema
Reciclaje de Cama	Reúso por 2 a 4 ciclos	Reducción de costos de insumos.
Compostaje (Abono)	Temperatura > 60°C	Eliminación de patógenos zoonóticos.
Tratamiento Bio	Dosis 10 cc/L (ME)	Mitigación de NH ₃ y olores.
Profundidad de Cama	10 cm a 15 cm	Equilibrio entre confort y costo.
Secado al Sol	24 horas de exposición	Reducción de carga fúngica inicial.

Nota. Adaptado de Bayas Vera (2023), Lozano Devia (2023), Miller Lima (2022) y Vera Gómez (2022)

2.9 Marco legal del uso de microorganismos en la avicultura

La presente investigación se sustenta en el marco normativo ecuatoriano relacionado con la producción pecuaria, la sanidad animal, la gestión ambiental y el uso responsable de microorganismos benéficos. Estas disposiciones legales garantizan que el desarrollo del estudio se realice bajo principios de sostenibilidad, bioseguridad y protección ambiental.

En el Ecuador, la Ley Orgánica de Sanidad Agropecuaria establece los lineamientos para la prevención, control y erradicación de enfermedades que puedan afectar a los sistemas productivos pecuarios, promoviendo prácticas que salvaguarden la salud animal y humana (Agrocalidad, 2017). Esta normativa respalda el uso de alternativas biológicas que contribuyan a mejorar las condiciones sanitarias en la producción avícola.

Asimismo, el Código Orgánico del Ambiente (COA) regula la gestión adecuada de los residuos generados por las actividades agropecuarias, fomentando su aprovechamiento y minimizando los impactos negativos sobre el ambiente. En este contexto, la reutilización de la cama avícola tratada con microorganismos benéficos se alinea con los principios de prevención de la contaminación y economía circular establecidos en dicha normativa (MAATE, 2018).

El uso de microorganismos como *Trichoderma* spp. se encuentra respaldado por las regulaciones técnicas emitidas por Agrocalidad, las cuales promueven el empleo de insumos biológicos registrados y autorizados, garantizando su inocuidad y eficacia dentro de los sistemas productivos (Agrocalidad, 2020).

Finalmente, esta investigación se articula con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, específicamente el ODS 12, que impulsa modalidades de producción y consumo responsables, y el ODS 13, orientado a la acción por el clima mediante la reducción de emisiones contaminantes, como el amoníaco generado en la producción avícola (ONU, 2023).

2.10 ESTADO DEL ARTE

Zhang et al. (2020) investigaron la eficiencia de *Trichoderma harzianum* en la degradación de residuos vegetales con alta carga lignocelulósica, Los resultados demostraron que el hongo aceleró la maduración del sustrato en un 30% y optimizó la solubilización de fósforo y potasio, mejorando la calidad nutricional del abono final.

Sánchez et al. (2021) analizaron el potencial antagónico de *Trichoderma* spp. frente a patógenos entéricos en camas de aves bajo condiciones tropicales, cuantificando unidades formadoras de colonias (UFC) en laboratorio. El estudio reveló que el hongo inhibe el crecimiento de *Salmonella* spp. y *Escherichia coli* mediante micoparasitismo y antibiosis, logrando una reducción del 85% en microorganismos nocivos al finalizar el ciclo.

Li et al. (2022) investigaron la capacidad de *Trichoderma viride* para desestructurar la cascarilla de arroz, enfocándose en la ruptura de la capa de sílice y lignina que impide la absorción de humedad, que la inoculación microbiológica mejora la estructura de la cama, facilitando el manejo operativo y extendiendo su vida útil. Se recomienda este manejo para optimizar el ambiente productivo en zonas de alta humedad.

Wang et al. (2021) examinaron el efecto de microorganismos benéficos sobre la volatilización del nitrógeno en galpones con alta densidad poblacional. Se determinó que la actividad de *Trichoderma* induce una ligera acidificación del pH de la cama, desplazando el equilibrio químico hacia la forma de amonio (NH_4) y evitando su conversión en amoníaco gaseoso. Los registros mostraron una disminución del 40% en los niveles de NH_3 detectados, lo que se tradujo en una menor incidencia de problemas respiratorios y una mejor conversión alimenticia en las aves.

Gomez et al. (2023) evaluaron el rendimiento productivo de broilers criados sobre camas de cascarilla reutilizadas y tratadas con bio-inóculos fúngicos, comparándolas con camas nuevas el análisis beneficio/costo resultó favorable, ya que el ahorro por no adquirir cascarilla nueva compensó los gastos del tratamiento biológico.

Rodríguez et al. (2020) desarrollaron una investigación sobre la estabilización de camas avícolas en climas húmedos, analizando cómo la aireación influye en la reproducción de *Trichoderma* spp. Se observó que la fase termofílica necesaria para la higienización se alcanzó más rápido en los grupos con inóculo fúngico. Los resultados demostraron que el material resultante posee una relación Carbono/Nitrógeno (C/N) equilibrada, ideal para su aplicación en cultivos de ciclo corto y perennes.

CAPITULO III

DESARROLLO DE LA PROPUESTA

3.1 Descripción del sistema

La investigación se desarrolló bajo un modelo de producción de pollos de engorde, incorporando la aplicación de *Trichoderma* spp. como microorganismo benéfico, con la finalidad de evaluar su influencia en las condiciones sanitarias de la cama y en el desempeño productivo de las aves.

El experimento se llevó a cabo en un galpón avícola previamente preparado, el cual dispuso de ventilación natural adecuada, regulación de la temperatura mediante cortinas laterales y el equipamiento necesario para la crianza de pollos de engorde, como comederos y bebederos acordes a cada etapa productiva. El área fue subdividida en unidades experimentales correspondientes a los distintos tratamientos, asegurando condiciones uniformes de manejo, bioseguridad y bienestar animal.

El manejo sanitario fue de carácter preventivo e incluyó la limpieza y desinfección previa de las instalaciones, la administración de vitaminas y electrolitos durante los primeros días de crianza, así como el control constante de la temperatura y la humedad ambiental. La alimentación se suministró de acuerdo con los requerimientos nutricionales de la fase de engorde, mientras que el agua estuvo disponible de forma permanente.

La aplicación de *Trichoderma* spp. se realizó a partir del día 13 de edad de las aves y se mantuvo hasta la finalización del ensayo. Durante este periodo se evaluaron variables relacionadas con la cama, tales como temperatura, pH, presencia de moscas y peso de costras. Además, cada tratamiento contó con su propio removedor de cama para evitar la

contaminación cruzada entre unidades experimentales y garantizar la confiabilidad de los resultados obtenidos.

Este sistema permitió evaluar la viabilidad técnica del uso de *Trichoderma* spp. como alternativa biológica para el manejo de camas de pollos de engorde, bajo condiciones controladas y replicables.

3.2 Presupuesto del sistema experimental

El presupuesto del sistema experimental contempló los costos vinculados a la adquisición de las aves, el suministro de alimento balanceado, los insumos sanitarios y los elementos de equipamiento requeridos para el manejo eficiente de los pollos de engorde. Para el desarrollo del ensayo se emplearon 96 pollos broiler de la línea Ross, con un valor unitario de USD 0,85, lo que generó una inversión total de USD 81,60.

El mayor componente del gasto estuvo representado por la alimentación, al utilizarse 11,5 sacos de alimento balanceado de 40 kg, con un costo unitario de USD 29,90, alcanzando un monto total de USD 343,85, lo que confirma que este rubro constituye el principal factor de inversión dentro del sistema productivo.

Una vez finalizada la fase experimental y concluida la recolección de datos, los pollos fueron comercializados, permitiendo recuperar parte de la inversión realizada en la adquisición de aves, alimentación e insumos. Los ingresos obtenidos mediante la venta del lote contribuyeron directamente al financiamiento de la investigación, cubriendo una parte importante de los costos generados durante su ejecución.

Tabla 7. Costos de implementación del sistema experimental para la producción de pollos de engorde.

Detalle	Cantidad	P. Unitario	Total
Pollos Broiler Ross	96	\$ 0,85	\$ 81,60
Balanceado de 40 kg	11,5	\$ 29,90	\$ 343,85
Vitamina	1	\$ 3,25	\$ 3,25
Amonio Cuaternario	1	\$ 2,00	\$ 2,00
Creolina	1	\$ 1,50	\$ 1,50
Trampas para moscas	2	\$ 2,00	\$ 4,00
Bombillo de Luz	2	\$ 2,00	\$ 4,00
Comederos 6kg	2	\$ 5,00	\$ 10,00
Bebedores 3Lt	6	\$ 3,25	\$ 19,50
Termohigrómetro	2	\$ 4,95	\$ 9,90
<i>Trichoderma</i> spp	2kg	\$ 20,00	\$ 20,00

3.3 Diseño y selección de tecnologías

3.3.1 Enfoque tecnológico del sistema productivo

El sistema productivo fue diseñado considerando la aplicación de tecnologías avícolas convencionales complementadas con una estrategia de manejo biológico de la cama, basada en la utilización de *Trichoderma* spp. como microorganismo benéfico. Este planteamiento permitió analizar la influencia de distintas dosis del hongo sobre las condiciones físico-químicas de la cama, específicamente el pH y la temperatura, sin alterar el esquema productivo habitual de la crianza de pollos de engorde.

La incorporación de *Trichoderma* spp. se concibió como una alternativa sostenible para mejorar el ambiente del galpón, contribuyendo al equilibrio microbiológico de la cama y al mantenimiento de condiciones favorables para el bienestar de las aves.

3.3.2 Tecnología alimentaria y uso de alimento balanceado comercial

Durante todo el periodo experimental se suministró alimento balanceado comercial formulado para satisfacer los requerimientos nutricionales de los pollos de engorde en la etapa productiva evaluada. El uso de una dieta estandarizada permitió:

- Garantizar un aporte uniforme de nutrientes esenciales, tales como energía, proteína, aminoácidos, vitaminas y minerales.
- Reducir posibles variaciones nutricionales que pudieran afectar los resultados del estudio.
- Asegurar que las diferencias observadas en las variables analizadas estuvieran asociadas exclusivamente a la aplicación de *Trichoderma* spp.

Esta elección tecnológica contribuyó a la validez de los resultados, ya que los cambios en el pH y la temperatura de la cama no estuvieron influenciados por modificaciones en la alimentación de las aves.

3.3.3 Tecnología biológica basada en *Trichoderma* spp.

El uso de *Trichoderma* spp. se seleccionó debido a sus propiedades como microorganismo benéfico, ampliamente reconocido por su capacidad para intervenir en procesos de descomposición de materia orgánica y por su acción reguladora sobre las condiciones del sustrato. En sistemas productivos, este hongo ha demostrado contribuir al control microbiológico y a la mejora de ambientes donde se acumulan residuos orgánicos.

Su aplicación en la cama avícola permitió evaluar su efecto sobre el equilibrio biológico del material de cama, así como su influencia en la estabilización del pH y el control de la temperatura, factores determinantes para la sanidad y el bienestar de los pollos de engorde.

3.3.4 Tecnología de aplicación del microorganismo

La aplicación de *Trichoderma* spp. se realizó directamente sobre la cama de las unidades experimentales, empleando diferentes niveles de inclusión (0,5 %, 1,0 % y 1,5 %), además de un tratamiento testigo sin aplicación. Este método facilitó una distribución homogénea del microorganismo en cada tratamiento.

Entre las principales ventajas de esta tecnología se destacan:

- Simplicidad en el proceso de aplicación bajo condiciones de producción.
- Precisión en la dosificación del microorganismo.
- Adaptabilidad a sistemas avícolas de tipo intensivo.
- Posibilidad de evaluar respuestas diferenciadas según la dosis aplicada.

Las concentraciones utilizadas fueron establecidas con base en criterios técnicos, evitando efectos negativos sobre las aves o sobre el ambiente del galpón.

3.3.5 Tecnología ambiental y condiciones de bienestar animal

El sistema productivo incorporó herramientas básicas para el control ambiental del galpón, incluyendo el uso de termohigrómetros para el seguimiento constante de la temperatura y la humedad relativa. El manejo del microclima se realizó mediante la regulación de cortinas laterales, lo que permitió mantener condiciones adecuadas para el desarrollo de los pollos de engorde.

Estas prácticas ayudaron a minimizar el estrés térmico de las aves y a garantizar que las variaciones registradas en la temperatura de la cama estuvieran relacionadas principalmente con la acción de *Trichoderma* spp. y no con factores ambientales externos.

3.3.6 Aporte tecnológico a la sostenibilidad del sistema

La incorporación de *Trichoderma* spp. en el manejo de la cama avícola representó una estrategia biotecnológica sostenible, al contribuir a la reducción del uso de productos químicos y promover prácticas productivas más eficientes y respetuosas con el ambiente.

3.3.7 Plan de implementación

Tabla 8. Actividades realizadas en la investigación de la incorporación de *Trichoderma* spp

Etapas del proceso	Actividad realizada
Adecuación de instalaciones	Limpieza, desinfección y acondicionamiento del galpón, comederos y bebederos; verificación de ventilación y control ambiental.
División del galpón	Delimitación de áreas independientes para cada tratamiento experimental, evitando la contaminación cruzada.
Recepción de aves	Ingreso del lote de 96 pollos de engorde; verificación del estado sanitario y registro del peso inicial individual.
Adaptación inicial	Colocación de las aves en cunas y suministro de vitaminas y electrolitos del día 1 al día 5 para reducir el estrés.
Manejo general	Registro diario del pH, temperatura, peso de cama de alimento y agua, realizado cada 24 horas a las 8.AM
Control de peso inicial	Monitoreo del peso corporal general hasta el día 12 de edad.
Distribución experimental	Asignación de las aves a los tratamientos (5 machos y 3 hembras por repetición) a partir del día 13.
Aplicación de <i>Trichoderma</i> spp.	Inclusión de <i>Trichoderma</i> spp. A partir del día 13 según los porcentajes establecidos por tratamiento.
Seguimiento productivo	Registro diario de pH, consumo de alimento y consumo de agua desde el día 13 al último día de pollo en pie de cama
Control ambiental	Monitoreo permanente de temperatura y humedad mediante termohigrómetros; regulación por cortinas.
Manejo preventivo	Suspensión del suministro de alimento entre 14:00 y 16:00 h para reducir el estrés térmico, en los últimos días por temas de control temperatura.
Evaluación final	Retiro de aves a la venta y evaluación a las cinco semanas y media de edad y se toma de muestras para determinar si el <i>Trichoderma</i> vivo, soltura de cama.

CAPITULO IV

4.1 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se presentan los resultados obtenidos para las variables evaluadas durante el periodo experimental, con el propósito de determinar el efecto de los diferentes niveles de inclusión de *Trichoderma* spp. sobre las características físicas y microbiológicas de la cama de pollos de engorde. Los resultados se exponen mediante análisis estadísticos y su correspondiente interpretación y discusión.

4.2 Temperatura de la cama de pollos de engorde

El análisis de varianza para la temperatura de la cama no evidenció diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos ($p > 0,05$), indicando que los niveles de inclusión de *Trichoderma* spp. no modificaron esta variable durante el periodo de evaluación. En términos descriptivos, el tratamiento T2 (1,0 % de *Trichoderma* spp.) presentó la menor temperatura (26,40 °C), seguido por T1 (0,5 %) con 26,42 °C, T4 (0 %, testigo) con 26,65 °C y T3 (1,5 %) con 26,76 °C.

Tabla 9. Temperatura de cama bajo diferentes niveles de inclusión de *Trichoderma* spp

Tratamientos	Temperatura (°C)
T2 (1.0% de <i>Trichoderma</i> spp. = 108 g/m ² x 10.8 kg de cama por m ²)	26,40 a
T1 (0.5% de <i>Trichoderma</i> spp. = 54 g/m ² x 10.8 kg de cama por m ²)	26,42 a
T4 (0 % de <i>Trichoderma</i> spp. = 0 g/m ² en 10,8 kg de cama por m ²)	26,65 a
T3 (1.5% de <i>Trichoderma</i> spp. = 162 g/m ² x 10.8 kg de cama por m ²)	26,76 a

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

La ausencia de diferencias significativas indica que la incorporación de *Trichoderma* spp. en los niveles evaluados no generó cambios en la actividad biológica del sustrato capaces de modificar la temperatura de la cama respecto al tratamiento testigo. Aunque se observó una ligera variación entre tratamientos, esta fue de únicamente 0,36 °C entre el valor mínimo y el máximo registrado. Este comportamiento coincide con lo reportado por Brink et al. (2022), quienes al comparar distintos materiales de cama tampoco observaron variaciones significativas en la temperatura.

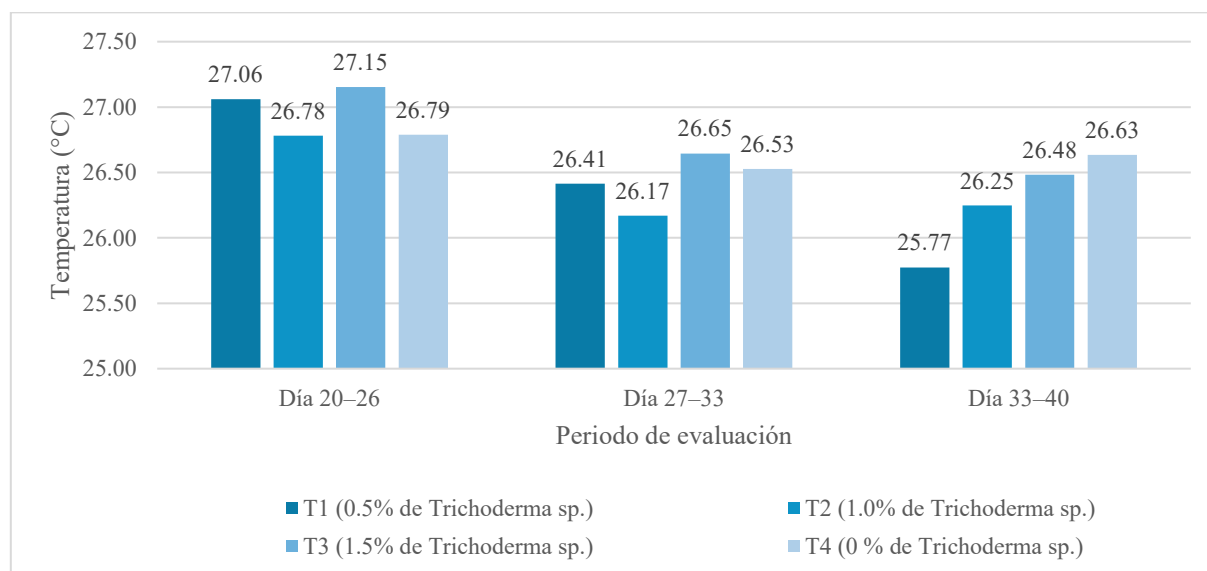
Las temperaturas registradas (26,40–26,76 °C) se mantuvieron dentro del intervalo de 25 a 30 °C recomendado por Popescu et al. (2018) como adecuado para la actividad microbiana en la cama avícola. Según Brink et al. (2022) mantener la temperatura de la cama dentro de este rango favorece un equilibrio en la actividad de los microorganismos responsables de la degradación de la materia orgánica, sin generar un exceso de calor que incremente la volatilización del amoníaco ni temperaturas demasiado bajas que reduzcan la eficiencia de dichos procesos.

Asimismo, estos resultados coinciden con los reportados por Potosí Mite (2022), quien, tras la aplicación de un inoculante biológico en la cama de pollos broiler, registró durante las tres últimas semanas del ciclo de producción temperaturas del galpón comprendidas entre aproximadamente 26 y 28 °C, sin evidenciar alteraciones térmicas atribuibles a la aplicación del inoculante. Esta similitud sugiere que la aplicación de inoculantes biológicos en la cama, independientemente del tipo de microorganismo empleado, no modifica significativamente las condiciones térmicas del sistema de producción cuando se mantienen adecuadas prácticas de manejo.

4.3 Comportamiento semanal de la temperatura de la cama

La Figura 2 muestra la variación semanal de la temperatura de la cama durante el periodo experimental. En los tres periodos de evaluación se observó un comportamiento similar entre los tratamientos, con una ligera reducción general de la temperatura entre el primer y el último periodo, aunque con pequeñas fluctuaciones en algunos tratamientos. Estas variaciones fueron de escasa magnitud y no evidenciaron un patrón diferencial atribuible a los niveles de inclusión de *Trichoderma* spp. Las temperaturas oscilaron entre 25,77 y 27,15 °C, manteniéndose dentro de un intervalo estrecho durante todo el periodo de evaluación, pero con observándose una leve disminución entre el primer y el último periodo en la mayoría de los tratamientos.

Figura 2. Efecto de *Trichoderma* spp. sobre la temperatura de la cama por semana



La ligera variación semanal observada en la presente investigación es consistente con lo reportado por López et al. (2023), quienes registraron variaciones moderadas en la temperatura de la cama entre las últimas semanas, clasificándola como cálida (29,9 °C) y fresca (24,7 °C). De manera similar, Chacón et al. (2023) reportaron un comportamiento

estable de la temperatura de la cama durante el periodo experimental, con valores promedio que variaron ligeramente de aproximadamente 29,5 a 30,0 °C entre los días 21 y 35 de crianza. En conjunto, estos resultados evidencian que la temperatura de la cama suele experimentar fluctuaciones moderadas a lo largo del ciclo productivo, sin presentar cambios bruscos entre los periodos de evaluación.

4.4 Potencial de Hidrógeno (pH) de la cama

El análisis de varianza para el potencial de hidrógeno (pH) de la cama no evidenció diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos ($p > 0,05$). Los valores promedio mostraron que el tratamiento T3 (1,5 % de *Trichoderma* spp.) registró el menor pH (8,21), seguido por T4 (0 %, testigo) con 8,25, T1 (0,5 %) con 8,27 y T2 (1,0 %) con 8,38. La diferencia entre el mayor y el menor valor fue de 0,17 unidades de pH, manteniéndose todos los tratamientos dentro de un rango alcalino.

Tabla 10. *Potencial de hidrógeno (pH) de la cama en pollos de engorde bajo diferentes niveles de inclusión de Trichoderma spp.*

Tratamientos	Nivel de pH (Escala: 0-14)
T3 (1.5% de <i>Trichoderma</i> spp. = 162 g/m ² x 10.8 kg de cama por m ²)	8,21 a
T4 (0 % de <i>Trichoderma</i> spp. = 0 g/m ² en 10,8 kg de cama por m ²)	8,25 a
T1 (0.5% de <i>Trichoderma</i> spp. = 54 g/m ² x 10.8 kg de cama por m ²)	8,27 a
T2 (1.0% de <i>Trichoderma</i> spp. = 108 g/m ² x 10.8 kg de cama por m ²)	8,38 a

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

La ausencia de diferencias significativas entre los tratamientos sugiere que la incorporación de *Trichoderma* spp. en los niveles evaluados no modificó el equilibrio químico del sustrato, manteniendo el pH dentro de un rango alcalino durante el periodo experimental. Un comportamiento similar fue reportado por Bayas y Valverde (2023),

quienes evaluaron la aplicación de *Trichoderma* spp. sobre la cama de pollos de engorde y observaron que el pH presentó ligeras variaciones entre tratamientos, sin diferencias significativas, manteniéndose en un rango ligeramente alcalino durante el ciclo de crianza.

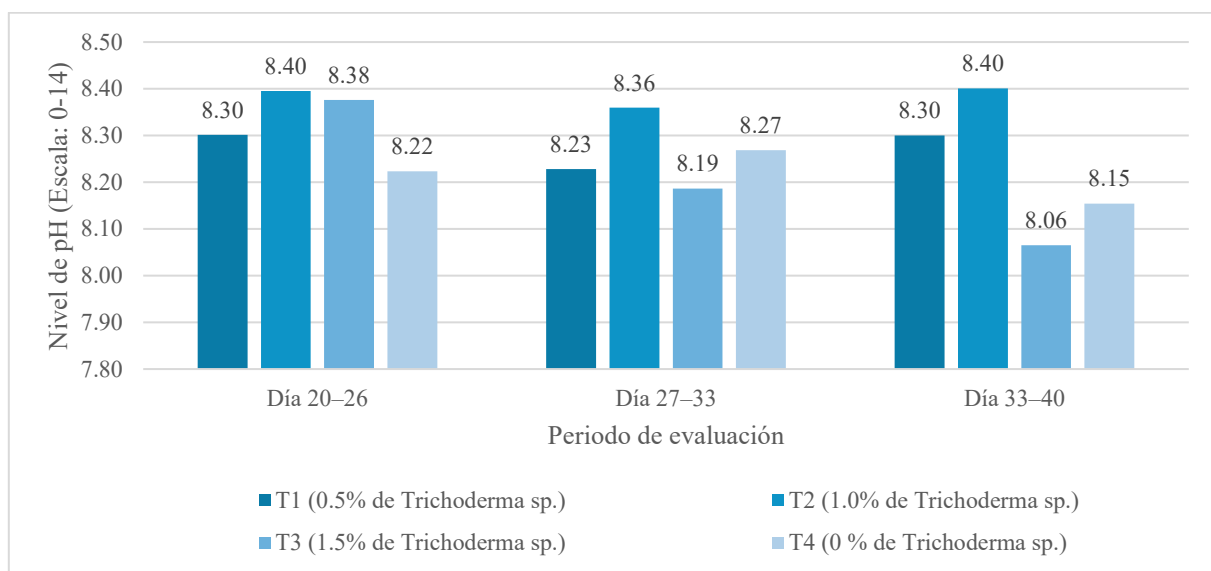
De igual manera, Ortiz et al. (2024) no encontraron diferencias significativas en el pH al comparar distintos aditivos orgánicos incorporados a la cama de pollos de engorde, lo que sugiere que este parámetro presenta una relativa estabilidad frente a modificaciones del sustrato. Asimismo, Aniecevski et al. (2022) encontraron que la aplicación de diferentes dosis de una mezcla de ácidos orgánicos tampoco modificó significativamente el pH de la cama, el cual permaneció dentro de un rango alcalino (8,03–8,69).

Según Soares et al. (2019), durante el proceso de biodegradación la cama de pollos experimenta una alcalinización gradual, con valores de pH que pueden variar desde aproximadamente 6 hasta 9 al finalizar el ciclo de crianza. En este contexto, el mantenimiento de un pH alcalino en la presente investigación podría atribuirse principalmente al proceso natural de biodegradación y descomposición de la materia orgánica acumulada en la cama, más que al efecto de la incorporación de *Trichoderma* spp.

4.5 Comportamiento semanal de pH

La Figura 3 muestra la variación semanal del pH de la cama durante el periodo experimental. En las tres semanas de evaluación se observó un comportamiento similar entre los tratamientos, sin tendencias marcadas de incremento o disminución atribuibles a los diferentes niveles de inclusión de *Trichoderma* spp. Aunque se registraron pequeñas variaciones entre semanas, estas fueron de escasa magnitud, manteniendo el pH dentro de un rango alcalino de 8,06 a 8,40.

Figura 3. Efecto de *Trichoderma* spp. sobre el pH de la cama por semana



Las ligeras variaciones del pH observadas durante el periodo experimental indican que *Trichoderma* spp. no modificó la dinámica química de la cama a lo largo del tiempo. Aunque el tratamiento T3 (1,5 %) presentó una disminución gradual del pH entre la primera y la última semana de evaluación, este comportamiento no fue compartido por los demás tratamientos, los cuales permanecieron relativamente estables o mostraron fluctuaciones de escasa magnitud. Estos resultados difieren parcialmente de los reportados por Brambillasca (2025), quien observó una disminución progresiva del pH durante todo el ciclo de crianza, desde valores cercanos a 9,6 al inicio hasta aproximadamente 8,0 al finalizar el periodo de evaluación. No obstante, en ambos estudios el pH se mantuvo dentro de un intervalo alcalino, lo que refuerza lo señalado previamente acerca de que esta condición es una característica propia de la cama de pollos durante la crianza.

4.6 Presencia de dípteros (*Musca domestica*)

El análisis de varianza para la presencia de moscas evidenció diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos ($p < 0,05$), indicando que los niveles de inclusión de *Trichoderma* spp. influyeron en el número de moscas presentes en la cama durante el periodo de evaluación. El tratamiento T3 (1,5 % de *Trichoderma* spp.) registró la menor presencia de moscas (12,86), seguido por T1 (0,5 %) con 13,38 y T2 (1,0 %) con 15,52, mientras que el tratamiento testigo T4 (0 %) presentó el mayor número de moscas (16,89).

Tabla 11. Presencia de dípteros (*Musca domestica*) en la cama de pollos de engorde bajo diferentes niveles de inclusión de *Trichoderma* spp.

Tratamientos	Presencia de moscas (número)
T3 (1.5% de <i>Trichoderma</i> spp. = 162 g/m ² x 10.8 kg de cama por m ²)	12,86 a
T1 (0.5% de <i>Trichoderma</i> spp. = 54 g/m ² x 10.8 kg de cama por m ²)	13,38 a
T2 (1.0% de <i>Trichoderma</i> spp. = 108 g/m ² x 10.8 kg de cama por m ²)	15,52 b
T4 (0 % de <i>Trichoderma</i> spp. = 0 g/m ² en 10,8 kg de cama por m ²)	16,89 c

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

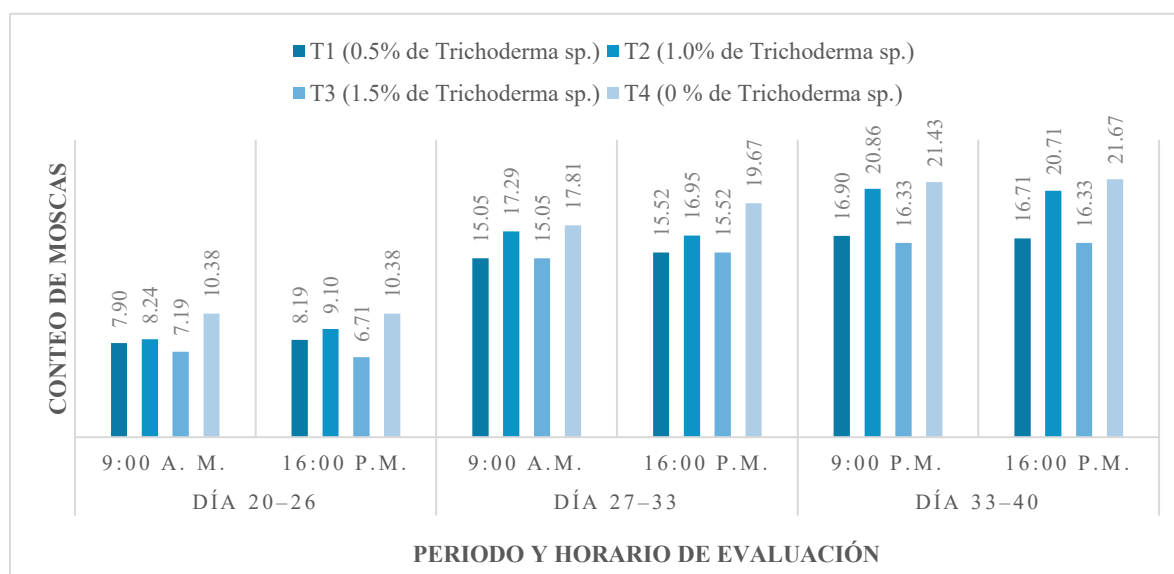
La menor presencia de moscas registrada en los tratamientos con *Trichoderma* spp., particularmente en T3 (1,5 %), en comparación con el testigo, indica que este hongo pudo contribuir a generar condiciones menos favorables para el establecimiento y desarrollo de los dípteros en la cama. Este resultado es consistente con la capacidad documentada de *Trichoderma* spp. para colonizar rápidamente sustratos ricos en materia orgánica y competir con otros microorganismos mediante mecanismos como la producción de metabolitos secundarios, enzimas hidrolíticas y compuestos con actividad antimicrobiana (Alias et al., 2022; Tan et al., 2026). Al acelerar la degradación de la materia orgánica y modificar la microbiota del sustrato, *Trichoderma* podría disminuir la disponibilidad de condiciones

favorables para la oviposición y el desarrollo larvario de *Musca domestica*, reduciendo indirectamente su población.

4.7 Variación semanal de la presencia de dípteros (*Musca domestica*)

La Figura 4 muestra la variación semanal de la presencia de moscas según el horario de evaluación durante el periodo experimental. En las tres semanas de evaluación se observó un comportamiento similar entre los tratamientos, con un incremento gradual del número de moscas conforme avanzó el periodo experimental. Asimismo, los conteos tendieron a ser mayores en las evaluaciones realizadas a las 16:00 h que a las 09:00 h. Aunque se registraron variaciones entre semanas y horarios, estas se mantuvieron dentro de un rango de 6,71 a 21,67 moscas.

Figura 4. Variación semanal de la presencia de dípteros (*Musca domestica*)



materia orgánica y mantener mejores condiciones sanitarias, contribuye a disminuir la proliferación de insectos y otros organismos oportunistas (Ospina-Barrero et al.. 2021). En este sentido, los resultados obtenidos sugieren que la incorporación de *Trichoderma* spp.,

especialmente al nivel de 1,5 %, representa una alternativa con potencial para mejorar la calidad biológica de la cama y reducir la presencia de moscas durante la crianza.

4.8 Calidad física de la cama

El análisis de varianza para los indicadores de calidad física de la cama no evidenció diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos ($p > 0,05$), indicando que los niveles de inclusión de *Trichoderma* spp. no modificaron el incremento del peso de la cama, el peso de las costras ni el peso de la cama suelta durante el periodo de evaluación.

En términos descriptivos, el tratamiento T3 (1,5 % de *Trichoderma* spp.) presentó el menor incremento del peso de la cama (16,75 kg), mientras que T1 (0.5% de *Trichoderma* spp.) registró el mayor peso de cama (20,11 kg). En cuanto al peso de las costras, T3 (1,5 %) presentó el menor valor absoluto (1,08 kg), seguido por T4 (testigo = 1,30 kg), T1 (0.5%) con 1,62 kg y T2 (1.0 %) con 1,73 kg. No obstante, debido a las diferencias en el peso final de la cama entre tratamientos, al expresar estos valores de forma proporcional respecto al peso final se observó que T3 presentó el menor porcentaje de costras (4,04%) y el mayor porcentaje de cama suelta (95,96%), indicando una mayor proporción de cama suelta en relación con el peso total de la cama.

Tabla 12. Indicadores de calidad física de la cama de pollos de engorde bajo diferentes niveles de inclusión de *Trichoderma* spp.

Variables	Tratamientos			
	T1	T2	T3	T4
Incremento peso de cama (kg)	20,11 a	17,24 a	16,75 a	19,51 a
Peso final de cama (kg)	30,91	28,04 a	27,55 a	30,31 a
Peso de costras (kg)	1,62 a	1,73 a	1,08 a	1,30 a
Peso de cama suelta (kg)	29,29 a	26,31 a	26,47 a	29,01 a

Nota: T1 = (0.5% de *Trichoderma* spp. = 54 g/m² x 10.8 kg de cama por m²); T2 (1.0% de *Trichoderma* spp. = 108 g/m² x 10.8 kg de cama por m²); T3 (1.5% de *Trichoderma* spp. =

162 g/m² x 10.8 kg de cama por m²); T4 (0 % de *Trichoderma* spp. = 0 g/m² en 10,8 kg de cama por m²). *Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05).*

La ausencia de diferencias significativas entre los tratamientos indica que la incorporación de *Trichoderma* spp. en los niveles evaluados no modificó las características físicas de la cama durante el periodo experimental. Resultados similares fueron reportados por Govea Párraga (2022), Jácome-Gómez et al. (2022) y Salas Salas (2021), quienes, tras la incorporación de un inoculante microbiológico, registraron pesos de costras entre 1,50 y 1,80 kg y pesos de cama suelta entre 24 y 26 kg, sin encontrar diferencias significativas en la formación de costras ni en la estructura física de la cama.

Al respecto, Brink et al. (2022) señalan que la calidad física de la cama está influenciada principalmente por factores de manejo, como la humedad, el material utilizado, la ventilación y la densidad de alojamiento, más que por la incorporación de microorganismos en las dosis evaluadas. Esto explicaría la ausencia de diferencias significativas observada en el presente estudio ya que las condiciones de manejo probablemente ejercieron una mayor influencia.

4.9 Supervivencia del hongo *Trichoderma* spp.

El análisis de varianza para la concentración de conidios de *Trichoderma* spp. presentó diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos ($p < 0,05$). El tratamiento T3 (1,5 % de *Trichoderma* spp.) presentó la mayor concentración de conidios ($4,92 \times 10^6$ conidios mL^{-1}), diferenciándose significativamente del tratamiento T1 (0,5%), que registró la menor concentración ($1,81 \times 10^6$ conidios mL^{-1}). El tratamiento T2 (1,0%) presentó una concentración intermedia ($3,27 \times 10^6$ conidios mL^{-1}), sin diferencias significativas respecto a T1 ni a T3. Estos resultados sugieren una mayor persistencia o supervivencia de *Trichoderma* spp. en el tratamiento T3 bajo las condiciones del estudio.

Tabla 13. Indicadores de calidad física de la cama de pollos de engorde bajo diferentes niveles de inclusión de *Trichoderma* spp.

Tratamientos	Concentración de conidios ($\times 10^6$ conidios mL^{-1})	
T1 (0.5% de <i>Trichoderma</i> spp. = 54 g/m ² x 10.8 kg de cama por m ²)	$1,81 \times 10^6$	a
T2 (1.0% de <i>Trichoderma</i> spp. = 108 g/m ² x 10.8 kg de cama por m ²)	$3,27 \times 10^6$	ab
T3 (1.5% de <i>Trichoderma</i> spp. = 162 g/m ² x 10.8 kg de cama por m ²)	$4,92 \times 10^6$	b

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

La mayor concentración de conidios observada en el tratamiento con la dosis más alta (1,5 %) de *Trichoderma* spp. sugiere que una mayor cantidad inicial del inoculante favoreció su establecimiento y persistencia en la cama durante el periodo experimental. Este comportamiento indica que la supervivencia del hongo depende, en parte, de la cantidad de propágulos incorporados inicialmente, ya que una mayor densidad de conidios incrementa la probabilidad de colonizar el sustrato y competir con la microbiota nativa presente en la cama.

Estos resultados son consistentes con los reportados por Mena et al. (2023), quienes observaron que *Trichoderma harzianum* produjo elevadas concentraciones de conidios y

mantuvo una viabilidad cercana al 71 % cuando se desarrolló sobre un sustrato orgánico, evidenciando la capacidad del género para persistir en materiales ricos en materia orgánica. Asimismo, Ceballos-Chávez et al. (2025) encontraron que *Trichoderma asperelloides* alcanzó una reproducción conidial del 100 % en diferentes sustratos orgánicos, confirmando que estos materiales favorecen el crecimiento y la producción de propágulos del hongo.

La mayor supervivencia observada en el tratamiento T3 podría explicarse por la elevada capacidad de *Trichoderma* spp. para colonizar residuos orgánicos y utilizar la materia orgánica disponible como fuente de carbono y energía, lo que favorece la producción continua de conidios y su permanencia en el sustrato (Andrade-Hoyos et al., 2023). En términos prácticos, una mayor persistencia del hongo resulta favorable, ya que permite prolongar su actividad biológica durante el ciclo de crianza, incrementando las posibilidades de participar en la degradación de la materia orgánica y en la competencia con otros microorganismos presentes en la cama.

4.10 Ganancia de peso

El análisis de varianza para la ganancia de peso evidenció diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos ($p < 0,05$). La mayor ganancia de peso se registró en los pollos alojados sobre la cama correspondiente al tratamiento T3 (1,5 % de *Trichoderma* spp.), mientras que el menor valor se observó en el tratamiento testigo. Los tratamientos T1 y T2 presentaron valores intermedios, sin diferencias significativas respecto a los demás tratamientos.

Tabla 14. *Ganancia de peso de pollos de engorde bajo diferentes niveles de inclusión de *Trichoderma* spp. en la cama*

Tratamiento	Ganancia de peso (kg)	
T3 (1.5% de <i>Trichoderma</i> spp. = 162 g/m ² x 10.8 kg de cama por m ²)	3,06	a
T2 (1.0% de <i>Trichoderma</i> spp. = 108 g/m ² x 10.8 kg de cama por m ²)	2,90	ab
T1 (0.5% de <i>Trichoderma</i> spp. = 54 g/m ² x 10.8 kg de cama por m ²)	2,85	ab
T4 (0 % de <i>Trichoderma</i> spp. = 0 g/m ² en 10,8 kg de cama por m ²)	2,67	b

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

La mayor ganancia de peso se registró en los pollos alojados sobre la cama correspondiente al tratamiento T3 (1,5 % de *Trichoderma* spp.), mientras que el menor valor se observó en el tratamiento testigo. Este comportamiento coincide con lo reportado por Salas Salas (2021), quien señala que las condiciones de la cama pueden influir en el desempeño productivo de los pollos de engorde, al constituir el ambiente donde las aves permanecen durante todo el ciclo de crianza. Asimismo, Potosí Mite (2022), al evaluar la aplicación del inoculante biológico Soil Activator en la cama de pollos de engorde, reportó mayores ganancias de peso en el tratamiento con el inoculante (2,60–2,95 kg) en comparación con el tratamiento testigo (2,30 kg). De igual manera, Bayas y Valverde (2023), al evaluar microorganismos eficientes aplicados en la cama, observaron que el tratamiento conformado por *Trichoderma* + *Bacillus subtilis* alcanzó un peso vivo superior a 2,70 kg al finalizar el periodo experimental, que representa un peso 10 % mayor que el tratamiento testigo.

Estos resultados pudrían explicarse porque una cama con mejores condiciones físicas, químicas y microbiológicas favorece un ambiente más confortable para las aves, reduciendo la exposición a factores estresantes como la acumulación de amoníaco, el exceso de humedad y la proliferación de microorganismos indeseables; condiciones que contribuyen a mantener el bienestar de los pollos, permitiendo un mejor aprovechamiento del alimento y un adecuado

crecimiento. Sin embargo, dado que el presente estudio no evaluó los mecanismos responsables de la respuesta productiva, no es posible atribuir las diferencias observadas en la ganancia de peso exclusivamente a la inclusión de *Trichoderma* spp.

4.11 Conversión alimenticia

El análisis de varianza para la conversión alimenticia evidenció diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos ($p = 0,01804$). La mejor conversión alimenticia (1,52) se registró en los pollos alojados sobre la cama correspondiente al tratamiento T3 (1,5 % de *Trichoderma* spp.), mientras que el tratamiento testigo presentó la menor eficiencia (1,74) en la utilización del alimento. Los tratamientos T1 (1 % de *Trichoderma* spp.) y T2 (0,5 % de *Trichoderma* spp.) mostraron valores intermedios (1,68) y (1,73) respectivamente, sin diferencias significativas respecto a los demás tratamientos.

Tabla 15. *Conversión alimenticia de pollos de engorde bajo diferentes niveles de inclusión de *Trichoderma* spp. en la cama.*

Tratamientos	Conversión alimenticia	
T4 (0 % de <i>Trichoderma</i> spp. = 0 g/m ² en 10,8 kg de cama por m ²)	1,74	b
T2 (1.0% de <i>Trichoderma</i> spp. = 108 g/m ² x 10.8 kg de cama por m ²)	1,73	ab
T1 (0.5% de <i>Trichoderma</i> spp. = 54 g/m ² x 10.8 kg de cama por m ²)	1,68	ab
T3 (1.5% de <i>Trichoderma</i> spp. = 162 g/m ² x 10.8 kg de cama por m ²)	1,52	a

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

La conversión alimenticia presentó diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, observándose la mejor eficiencia en el tratamiento T3 (1,5 % de *Trichoderma* spp.) y la menor en el tratamiento testigo. Estos resultados son consistentes con los obtenidos por Bayas y Valverde (2023), quienes, al evaluar la aplicación de microorganismos eficientes en la cama de pollos de engorde, reportaron que el tratamiento con *Trichoderma* spp. alcanzó

los menores índices de conversión alimenticia (1,299 en machos y 1,515 en hembras), superando al tratamiento testigo y a otros microorganismos evaluados.

Una posible explicación de este comportamiento es que un ambiente de crianza con mejores condiciones de la cama puede favorecer el bienestar de las aves al disminuir factores de estrés, como el exceso de humedad, la acumulación de amoníaco y el deterioro sanitario del sustrato. En estas condiciones, una mayor proporción del alimento consumido puede destinarse al crecimiento en lugar de emplearse para responder a condiciones ambientales desfavorables.

CAPITULO V

5.1 CONCLUSIONES

La aplicación de *Trichoderma* spp. en la cama de pollos de engorde no modificó significativamente la temperatura, el pH ni los indicadores de calidad física de la cama (incremento de peso, formación de costras y cama suelta). Sin embargo, la dosis de 1,5 % redujo significativamente la presencia de *Musca domestica* ($M = 12,86$), lo que evidencia un efecto favorable sobre la calidad biológica de la cama, aunque sin alterar sus principales características físicas.

La supervivencia de *Trichoderma* spp. en la cama de los pollos de engorde aumentó conforme se incrementó el nivel de inclusión, registrándose concentraciones de $1,81 \times 10^6$, $3,27 \times 10^6$ y $4,92 \times 10^6$ conidios ml^{-1} para los tratamientos con 0,5 %, 1,0 % y 1,5 % de inclusión, respectivamente. Estos resultados evidencian que la dosis del 1,5 % favoreció una mayor persistencia del hongo durante el periodo experimental.

Los parámetros productivos mostraron diferencias entre los tratamientos. El tratamiento con 1,5 % de *Trichoderma* spp. presentó la mayor ganancia de peso (3,06 kg) y la mejor conversión alimenticia (1,52), mientras que el tratamiento testigo registró la menor ganancia de peso (2,67 kg) y la conversión alimenticia menos eficiente (1,74). No obstante, debido a que el estudio no evaluó la relación causal entre las características de la cama y el desempeño productivo de las aves, estos resultados deben interpretarse como diferencias observadas entre tratamientos y no atribuirse exclusivamente a la incorporación de *Trichoderma* spp.

5.2 RECOMENDACIONES

Evaluar niveles de inclusión de *Trichoderma* spp. superiores al 1,5 %, así como diferentes frecuencias y momentos de aplicación durante el ciclo de crianza, con el fin de determinar si es posible mejorar las características físicas de la cama sin afectar las condiciones ambientales del galpón. Asimismo, se sugiere incorporar variables como humedad, concentración de amoníaco y composición microbiológica de la cama para comprender con mayor precisión los cambios en su calidad.

Realizar estudios de mayor duración que evalúen la persistencia de *Trichoderma* spp. durante varios ciclos de reutilización de la cama, así como determinar la dinámica poblacional del hongo bajo diferentes condiciones de manejo y materiales de cama, con el propósito de establecer la dosis y frecuencia de aplicación más eficientes.

Desarrollar investigaciones específicas que analicen la relación entre la incorporación de *Trichoderma* spp. en la cama y los parámetros productivos de los pollos de engorde, incluyendo la evaluación de variables ambientales y fisiológicas que permitan establecer si las diferencias observadas en la ganancia de peso y la conversión alimenticia están asociadas directamente con la calidad de la cama o con otros factores del sistema de producción.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aggarangsi, P., Chaitanoo, N., & Nitayavardhana, S. (2021). Improvement of solid-state anaerobic digestion of broiler farm-derived waste via fungal pretreatment. *Bioresource Technology*, 332, 125146. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125146>
- Awasthi, M. K., Duan, Y., Awasthi, S. K., Liu, T., Zhang, Z., & Wang, Q. (2021). *Influence of microbial inoculants on co-composting of lignocellulosic crop residues with farm animal manure: A review*. *Journal of Environmental Management*, 286, 114088.
- Agrocalidad. (2020). Guía técnica para la producción y uso de *Trichoderma* spp. en sistemas agrícolas. Agencia de Regulación y Control Fito y Zoosanitario, Ecuador.
- Alias, C., Bulgari, D., & Gobbi, E. (2022). It works organic-waste-assisted *Trichoderma* spp. solid-state fermentation on agricultural digestate. *Microorganisms*, 10(1), 164. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10010164>
- Almeida, F., Almeida, L., Calabrese, K., Da Costa, G., De Sousa, J., Do Rosario, A., ... & Silva, J. (2022). Phomoxanthone A, coumpound of endophytic fungi *Paecilomyces* sp. and its potential antimicrobial and antiparasitic. *Antibiotics*, 11(10). <https://doi.org/10.3390/antibiotics11101332>
- Andrade-Hoyos, P., Rivera-Jiménez, M. N., Landero-Valenzuela, N., Silva-Rojas, H. V., Martínez-Salgado, S. J., & Romero-Arenas, O. (2023). Beneficios ecológicos y biológicos del hongo cosmopolita *Trichoderma* spp. en la agricultura: una perspectiva en el campo mexicano. *Revista Argentina de Microbiología*, 55(4), 366-377. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2023.06.005>

- Aniecevski, E., Galli, G. M., Pagnussatt, H., Valentini, F. D. A., Leite, F., Dal Santo, A., & Petrolli, T. G. (2022). Evaluation of the use of organic acids on the physicochemical and microbiological quality of poultry litter. *Research, Society and Development*, 11(3), e31111326501. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i3.26501>
- Bayas Vera, J. E., & Valverde Bravo, B. A. (2023). Efecto de microorganismos eficientes sobre los niveles de amoníaco en la crianza de aves de engorde [Trabajo de integración curricular, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]. Repositorio Digital ESPE. <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/37452>
- Bayas Vera, J. E., & Valverde Bravo, B. A. (2023). Efecto de microorganismos eficientes sobre los niveles de amoníaco en la crianza de aves de engorde. [Trabajo de integración curricular, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]. Repositorio Institucional de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Bergmann, S., Schwarzer, A., Wilutzky, K., Louton, H., Bachmeier, J., Schmidt, P., ... & Rauch, E. (2017). Behavior as welfare indicator for the rearing of broilers in an enriched husbandry environment—A field study. *Journal of Veterinary Behavior*, 19, 90-101. <https://doi.org/10.1016/j.jveb.2017.03.003>
- Brambillasca, S. (2025). Evolution of litter quality on the degree of footpad and skin lesions in broiler chickens. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 33(Supl 1), 335-336. <https://revista.alpaenlinea.org/index.php/alpa/article/view/4054/2503>
- Brink, M., Janssens, G. P. J., Demeyer, P., Bağci, Ö., & Delezie, E. (2022). Ammonia concentrations, litter quality, performance and some welfare parameters of broilers kept on different bedding materials. *British Poultry Science*, 63(6), 768-778. <https://doi.org/10.1080/00071668.2022.2106775>

- Ceballos-Chávez, Á. R., López-Valenzuela, B. E., Valenzuela-Escoboza, F. A., López-Bautista, E., Marquez-Lujan, H. A., & Chávez-García, L. E. (2025). Reproducción conidial de *Trichoderma asperelloides* en medios de cultivo y sustratos orgánicos. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 16(1). <https://doi.org/10.29312/remexca.v16i1.3510>
- Cheng, H., Jiang, S., Hu, J., Mohammed, A., & Yan, F. (2021). *Bacillus subtilis*-Based Probiotic Improves Skeletal Health and Immunity in Broiler Chickens Exposed to Heat Stress. *Animals (Basel)*, 11(6), 1494. <https://doi.org/10.3390/ani11061494>
- CONAVE. (2025). Situación actual del sector avícola ecuatoriano. Corporación Nacional de Avicultores del Ecuador.
- Em, S. (2025). Exploring Experimental Research: Methodologies, Designs, and Applications Across Disciplines. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4801767>
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2023). Gateway to poultry production and products: Poultry production. Roma, Italia: FAO.
- Govea Párraga, G. P. (2022). Comparación de tres tipos de camas en la producción de pollos broiler trabajo experimental de Ingeniería Agropecuaria, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Repositorio Digital ULEAM. <https://repositorio.uleam.edu.ec/handle/123456789/4462>
- Govea Párraga, G. P. (2022). Comparación de tres tipos de camas en la producción de pollos broiler [Tesis de pregrado, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí]. Repositorio Institucional ULEAM. <https://repositorio.uleam.edu.ec/handle/123456789/5171>
- Jácome-Gómez, J. R., Salcán Sánchez, E. J., Zambrano Mendoza, M. E., De la Cruz Chicaiza, M. V., & Macay Anchundia, M. Á. (2022). Efecto de diferentes materiales de cama sobre el comportamiento productivo de pollos de engorde Cobb 500. *Ciencia Latina*

- Revista Científica Multidisciplinar, 6(5), 3868-3881.
https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i5.3362
- Jácome-Gómez, J. R., Sánchez, E. J. S., Mendoza, M. E. Z., De la Cruz Chicaiza, M. V., & Anchundia, M. Á. M. (2022). Efecto de diferentes materiales de cama sobre el comportamiento productivo de pollos de engorde Cobb 500. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(5), 3868-3881.
https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i5.3362
- Kaur, G. (2024). Research Methodology and Statistical Analysis. *International Journal of Science and Research (IJSR)*. <https://doi.org/10.21275/sr24710133153>
- Lima, P. C., Karimian, P., Johnston, E., & Hartley, C. J. (2024). The Use of *Trichoderma* spp. for the Bioconversion of Agro-Industrial Waste Biomass via Fermentation: A Review. *Fermentation*, 10(9), 442. <https://doi.org/10.3390/fermentation10090442>
- López, N., Oliveros, Y., De Basilio, V., Machado, I., & Marquina, J. (2023). Condiciones ambientales y respuesta productiva en pollos de engorde en unidad de ambiente semicontrolado. *Revista Científica*, 23(2), 120-125.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=95926276005>
- Lozano Devia, B. A. (2023). Presencia y resistencia antimicrobiana de *Escherichia coli* en camas de pollos de engorde en producciones avícolas tradicionales Trabajo de grado de Biología, Universidad del Tolima. Repositorio Institucional UT.
<http://repository.ut.edu.co/handle/001/10065>
- Meilander, J., & Caporaso, J. G. (2024). The microbiome science of composting and human excrement composting: A review. *arXiv*.
- Mena, H. C. G., Aguilar, E. E. J., & Intriago, L. M. R. (2023). Efecto de sustratos orgánicos y porcentaje de humedad en la producción de conidios de *Trichoderma* SPP. *Polo del*

<https://www.polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/6210>

- Miller Lima, B. R. (2022). Camas alternativas en la ganancia de peso y mortalidad de pollos Cobb 500 [Tesis de título profesional de Médico Veterinario y Zootecnista, Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac]. Repositorio Digital UNAMBA. <http://repositorio.unamba.edu.pe/handle/UNAMBA/1169>
- Mulder, N. (2020). Perspectivas para la avicultura mundial en el 2020. AviNews. <https://avicultura.info/perspectivas-para-la-avicultura-mundial-en-el-2020/>
- Nguyen, N. T. T., Angkanaporn, K., Nuengjamnong, C., & Buggakupta, W. (2026). Ammonia mitigation and welfare enhancement in broilers using zeolite–clay–rice husk ash bedding supplement. Poultry Science, 105, 106491. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2026.106491>
- Ospina-Barrero, M. A., Borsoi, A., Peñuela-Sierra, L. I. N. A., & Varon-Lopez, M. A. R. Y. E. I. M. Y. (2021). Cama de aves de corral un factor importante en la seguridad alimentaria. Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial, 19(2), 234-250. <https://doi.org/10.18684/bsaa.v19.n2.2021.1451>
- Popescu, S., El Mahdy, C., Diugan, E. A., Petrean, A. B., & Borda, C. (2018). The effect of bedding type on the welfare quality of broiler chickens. Scientific Papers Animal Science and Biotechnologies, 51(1), 86-86. https://www.spasb.ro/index.php/public_html/article/view/1014
- Potosí Mite, C. J. (2022). Aplicación del inoculante biológico en la cama base del galpón de pollos para reducir mortalidad por enfermedades respiratorias en los pollos Broiler. [Trabajo de integración curricular, Universidad Estatal Península de Santa Elena].

- Repositorio Institucional de la Universidad Estatal Península de Santa Elena.
<https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/6996>
- Ritz, C. W., Fairchild, B. D., & Lacy, M. P. (2017). Litter quality and broiler performance (Bulletin 1267). University of Georgia Cooperative Extension.
<https://extension.uga.edu/publications/detail.html?number=B1267>
- Salas Salas, L. A. (2021). Relación de calidad de la cama sobre aspectos sanitarios y productivos en pollo de engorde, un metanálisis [Monografía de pregrado, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia]. Repositorio Institucional UPTC. <https://repositorio.uptc.edu.co/entities/publication/2471d846-8e2b-4a98-b078-135176d83b39>
- Sewenet, H. K. (2019). A Review on Comparison of Complete and Incomplete Block Designs. Journal of Biology, Agriculture and Healthcare.
<https://doi.org/10.7176/jbah/9-9-03>
- Soares, C. E., Dahlke, F., Maiorka, A., Moecke, E. H. S., Dutra, M. O., & Scussel, V. M. (2019). Living organisms and biodegradation changes of poultry litter during breeding and their relation to chicken health and poultry products safety. International Journal of Engineering and Technical Research, 9(11). <https://bit.ly/4xaK9Sj>
- Tan, H., Kang, X., Yin, Q., Meng, K., Yang, H., Ma, L., ... & Lv, Z. (2026). Trichoderma-driven shifts in microbial communities improve spent mushroom substrate composting and disease-suppressive capacity. Bioresource Technology, 134188.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2026.134188>
- Vera Gómez, J. W. (2022). Efecto de la profundidad de cama en el comportamiento productivo de pollos camperos [Trabajo experimental de Ingeniería Agropecuaria,

Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí]. Repositorio Digital ULEAM.
<https://repositorio.uleam.edu.ec/handle/123456789/4464>

Vergara, N., Ríos, N., Solís, C., Vargas, R., & Guerra, R. (2025). Efecto del tipo de cama sobre el desempeño productivo, incidencia de pododermatitis y mortalidad en pollos de engorde. *Investigación Agropecuaria*, 7(2), 57-69.
<https://doi.org/10.48204/j.ia.v7n2.a7492>

Woo, S., Hermosa, R., Lorito, M., & Monte, E. (2022). Trichoderma: un microorganismo polivalente y beneficioso para las plantas para la agricultura ecosostenible. *Nature Reviews Microbiology*, 21. <https://doi.org/10.1038/s41579-022-00819-5>

Zin, N. A., & Badaluddin, N. A. (2020). Biological functions of Trichoderma spp. for agriculture applications. *Annals of Agricultural Sciences*, 65(2), 168-178.
<https://doi.org/10.1016/j.aoas.2020.09.003>

ANEXOS

Anexo 1. *Proceso de limpieza y desinfección de las instalaciones avícolas previo al inicio del experimento*



Anexo 2. *Adecuación y división del galpón experimental según tratamientos establecidos*



Anexo 3. *Instalación y verificación del sistema de ventilación para el control ambiental del galpón*



Anexo 4. *Recepción y acondicionamiento inicial de pollos de engorde en el galpón experimental*



Anexo 5. *Preparación y dosificación de Trichoderma spp. en solido según tu tratamiento*



Anexo 6. *Pesaje óptimo de cascarilla en cama para distribución, según su tratamiento*



Anexo 7. *Medición diaria de pH y temperatura en cama, con el potenciómetro*



Anexo 8. *Volteo de cama, para evitar compactación por humedad*



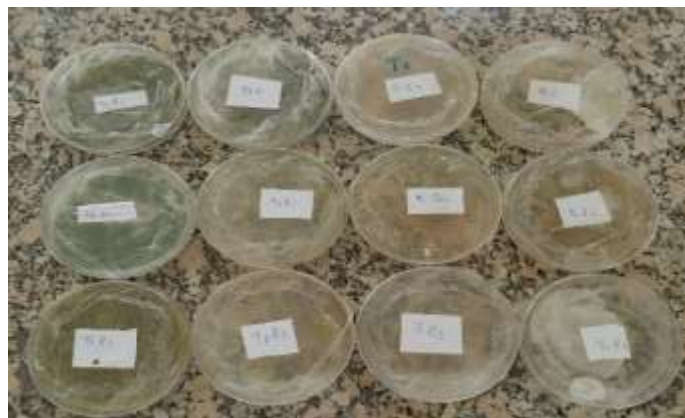
Anexo 9. *Peso de costras al finalizar, la etapa de crianza de pollos*



Anexo 10. *Preparación de muestras en laboratorio.*



Anexo 11. *Muestras listas en cajas petri para ser analizadas*



Anexo 12. *Observación de viabilidad del hongo Trichoderma spp, por medio de microscopio*





TESIS FINAL AURELIO DAVID PORTILLA ULEAM -2026-

ID: 0eb03d6c0a751c21193a2526b31102e90

6%

Textos sospechosos

Nombre del fichero : TESIS FINAL AURELIO DAVID PORTILLA ULEAM -2026-
1.doc
Tamaño del archivo original : 2,64 MB
Número de palabras : 15.933

Depositante : Janseth Jácome Gómez
Fecha de depósito : 1 de agosto de 2026
Tipo de carga : Interfacc
Fecha de fin de análisis : 1 de agosto de 2026

Resumen (sección 1/2)

Localización de los textos sospechosos en el documento :



Incluido en el porcentaje de textos sospechosos :

Similitudes

Pasajes con similitudes a fuentes encontradas en diferentes colecciones.

<1%



Detección de IA

Textos estilísticamente próximos a un texto generado por una IA.

Este índice es un indicador y no una prueba. Comprueba con el autor si domina los conocimientos mencionados en el documento.

6%



Idiomas no reconocidos

Pasajes en los que parte del vocabulario utilizado no forma parte del diccionario de la lengua.
Puede tratarse de un intento del autor de modificar el texto para evitar ser detectado.

2%



No incluido en el porcentaje de textos sospechosos :

Textos entre comillas

Pasajes entre comillas, a menudo indicativos de una cita.

<1%



Janseth Jácome