

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE AGRONOMÍA Y ZOOTECNIA

ESCUELA PROFESIONAL DE ZOOTECNIA



TESIS

**EFFECTO DE LA TRIBUTIRINA SOBRE LOS PARAMETROS
PRODUCTIVOS Y MEDIDAS ALOMETRICAS EN POLLOS
DE LA LINEA COBB 500**

PRESENTADO POR:

BR. LUIGI ANTONIO CONDORI
PACHECO

**PARA OPTAR AL TITULO
PROFESIONAL DE INGENIERO
ZOOTECNISTA**

ASESOR:

MGT. JESUS CAMERO DE LA
CUBA

CUSCO- PERU

2025



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el Asesor Mgt. Jesus Camero De La Cuba
..... quien aplica el software de detección de similitud al
trabajo de investigación/tesis titulada: Efecto de la Tributina
Sobre los parametros productivos y medidas
alometricas en pollos de la linea Cobb 500

Presentado por: Luigi Antonio Condori Pacheco DNI N° 72887980;
presentado por: DNI N°:
Para optar el título Profesional/Grado Académico de Ingeniero Zootecnista

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 2 veces, mediante el
Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de**
Similitud en la UNSAAC y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 9%.

**Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a
grado académico o título profesional, tesis**

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	<u>X</u>
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto
las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 16 de Enero de 2026

Firma

Post firma Jesus Camero De La Cuba

Nro. de DNI 42705425

ORCID del Asesor 0000-0002-5575-0242

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: oid: 27289:546755836

EFECTO DE LA TRIBUTIRINA SOBRE LOS PARAMETROS PRODUCTIVOS Y MEDIDAS ALOMETRICAS EN POLLOS DE LA ...

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:546755836

Fecha de entrega

16 ene 2026, 11:45 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

16 ene 2026, 6:31 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

CORRECCIONES TESIS pos sustentacion- LUIGI final (1) (1) (1).pdf

Tamaño del archivo

2.6 MB

96 páginas

20.757 palabras

117.329 caracteres

9% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

Exclusiones

- N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

- 8%  Fuentes de Internet
- 2%  Publicaciones
- 6%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

DEDICATORIA

A Dios por estar conmigo siempre, por fortalecer mi alma cada día y por haberme dado una vida con tan buenos padres, y brindarme una familia que siempre me ha brindado apoyo, cariño y gentileza.

A mis padres y hermanos por ser el apoyo fundamental de lo que soy, y su incondicional apoyo en todo este tiempo, brindándome de principios, humildad, por ellos agradezco de esta forma consiguiendo mis metas y objetivos, demostrando así mi amor a ellos.

A mis familiares en general que siempre me han apoyado con consejos, cariño, motivación para seguir a cada obstáculo que se pueda presentar en el camino; dedicado también a los que se fueron antes siento una profunda tristeza de no poder contar hoy con ellos, pero feliz de que guían mis pasos desde el cielo mi abuelo Vidal Condori Mora y mi abuela Graciela Farfán Calderón .

AGRADECIMIENTO

A Dios, por guiarme en la vida y brindarme de fuerza cada día; gracias por darme una familia única y un lugar donde vivir.

Al Mgt. Jesús Camero de la Cuba, por la orientación, exigencia que me brindo, por su aporte con su experiencia y conocimiento para la realización de esta tesis.

A Agropecuaria Don Vidal por contribuir en esta investigación con un granito de arena a la industria avícola.

A las personas que formaron mi vida universitaria, por compartir tantos momentos únicos e inolvidables ya que la etapa universitaria es única en toda nuestra vida

ÍNDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	x
RESUMEN	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
CAPITULO I	5
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
1.1 Problema objeto de estudio	5
1.2 Objetivos	7
1.2.1 Objetivo general	7
1.2.2 Objetivo específico	7
1.3 Justificación.....	8
1.4 Hipótesis	10
1.4.1 Hipótesis General.....	10
1.4.2 Hipótesis Específica	10
CAPITULO II	11
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	11

2.1 Antecedentes de la investigación.....	11
2.2 Bases Teóricas	13
2.2.1 Morfología del Aparato Digestivo	13
2.2.2 Microflora Bacteriana del Tracto Gastrointestinal	14
2.2.3 Salud Intestinal	14
2.2.4 Ácidos Orgánicos en la Nutrición Animal.....	15
2.2.5 Ácidos Orgánicos de cadena corta (AOCC).....	15
2.2.5.1 Ácido Butírico.....	16
2.2.6 Butirato de sodio.....	17
2.2.7 El butirato de sodio y sus múltiples efectos	19
2.2.8 Eficacia del butirato en el tracto gastrointestinal	20
2.2.9 Efecto del butirato de sodio sobre el peso relativo del órgano o la longitud del intestino 21	
2.2.10 Efecto del butirato de sodio en la morfología intestinal	22
2.2.11 Efecto del butirato de sodio en las poblaciones bacterianas intestinales	23
2.2.12 Efecto del butirato de sodio en la digestibilidad de los nutrientes	26
2.2.13 Tributirina	26
2.2.14 Mecanismos de Acción.....	27
2.2.15 Impacto en el Rendimiento Productivo	28
2.2.16 Efectos en la Salud Intestinal	28
2.2.17 Comparación con otras formas de butirato	28
2.2.18 Mediciones alométricas en pollos de engorde.....	29

CAPITULO III.....	30
MATERIALES Y MÉTODOS.....	30
3.1. Lugar de ejecución.....	30
3.2. Instalaciones y equipos.....	31
3.3 Animales experimentales	32
3.4 Manejo de los animales.....	33
3.5 Sanidad	33
3.6 Tratamientos.....	34
3.7 Dietas experimentales	34
3.8 Parámetros a evaluar.....	37
3.8.1 Peso vivo y ganancia de peso	37
3.8.2 Consumo de alimento semanal y acumulado.....	37
3.8.3 Conversión alimenticia semanal y acumulada.....	37
3.8.4 Mortalidad	38
3.8.5 Costos de alimentación	38
3.9 Morfometría intestinal	38
3.9.1 Metodología para las mediciones alométricas	39
3.9.2 Mediciones de la morfometría intestinal	40
3.10 Diseño estadístico	42
CAPITULO IV.....	43
RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	43

4.1 Respuesta productiva	43
4.1.1 Peso vivo y ganancia de peso	43
4.1.2 Consumo de alimento.....	47
4.1.3 Conversión alimenticia.....	52
4.1.4 Mortalidad.	56
4.2 Mediciones alométricas.....	59
4.3 Costos de alimentación	63
CAPITULO V	67
CONCLUSIONES	67
RECOMENDACIONES.....	69
BIBLIOGRAFIA.....	70
ANEXOS	76
Anova y prueba de tukey para peso vivo final.....	81
Anova y prueba de tukey para consumo de alimento total	81
Anova y prueba de tukey para conversión de alimento total	82
Ficha técnica de la Tributirina comercial.....	83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Composición porcentual de los ingredientes y valor nutritivo calculado de las dietas experimentales.....	42
Tabla 2: Efecto del uso de la tributirina sobre el peso vivo y ganancia de peso (g/ave).	49
Tabla 3: Efecto del uso de la tributirina sobre el consumo de alimento (g/ave)	53
Tabla 4: Efecto del uso de la tributirina sobre el consumo de alimento (g/ave)	57
Tabla 5: Efecto de la Tributirina sobre el porcentaje de mortalidad (%)	62
Tabla 6: Efecto del uso de la tributirina sobre los parámetros alométricos al día 21	65
Tabla 7: Efecto del uso de la tributirina sobre los parámetros alométricos al día 49	66
Tabla 8: Análisis del mérito económico y costo.....	69
Tabla 9: Peso vivo promedio semanal por tratamiento y repetición (g/ave).....	80
Tabla 10: Consumo de alimento promedio semanal por tratamiento y repetición (g/ave)	81
Tabla 11: Conversión de alimento promedio semanal por tratamiento y repetición	82
Tabla 12: Medidas alométricas por tratamiento al día 21 y 49 (g).....	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Representación esquemática de una molécula de tributirina y su disociación en glicerol y butírico por acción de las lipasas.....	35
Figura 2: Peso semanal y peso final promedio por tratamiento (g/ave)	51
Figura 3: Consumo semanal promedio por tratamiento (g/ave)	56

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Alometría. Relación proporcional entre el crecimiento de diferentes partes del cuerpo y el tamaño total del animal.

Aditivo Alimenticio. Sustancia incorporada en pequeñas cantidades al alimento para mejorar la salud, el rendimiento o la calidad del producto animal.

Ácido Butírico. Ácido graso de cadena corta, fundamental para la salud intestinal de las aves, base de la Tributirina.

Bienestar Animal. Condiciones de manejo que garantizan que las aves se desarrollen sin sufrimiento innecesario, espacio y cuidado sanitario.

Cobb 500. Línea genética comercial de pollos de engorde, reconocida por su rápida ganancia de peso, buen rendimiento en canal y eficiencia alimenticia.

Conversión Alimenticia. Relación entre el alimento consumido y la ganancia de peso obtenida, indicador clave de eficiencia productiva.

Digestibilidad. Capacidad del ave para descomponer y absorber los nutrientes del alimento ingerido.

Fase de Iniciación. Etapa inicial de crianza de pollos (0-21 días), donde el desarrollo del aparato digestivo es crítico.

Fase de Crecimiento. Periodo intermedio de la crianza (22-35 días) caracterizado por una elevada tasa de ganancia de peso.

Fase de Acabado. Última etapa de la crianza de pollos (36 días en adelante), donde se busca maximizar el peso y el rendimiento en canal.

Ganancia de Peso. Incremento de peso corporal en un tiempo determinado, indicador esencial del crecimiento.

Índice de Productividad. Valor que integra parámetros como ganancia de peso, conversión alimenticia, viabilidad y tiempo de crianza.

Medidas Alométricas. Evaluación corporal, en relación con el peso vivo, usadas para describir proporciones de crecimiento.

Microbiota Intestinal. Comunidad de microorganismos presentes en el intestino que influyen en la digestión, salud y respuesta inmunológica del ave.

Parámetros Productivos. Indicadores que reflejan el rendimiento del lote, como consumo de alimento, ganancia de peso, conversión alimenticia, viabilidad y rendimiento en canal.

Rendimiento en Canal. Relación entre el peso de la canal (pollo limpio tras el beneficio) y el peso vivo, refleja la eficiencia de producción de carne.

Sanidad Avícola. Conjunto de medidas preventivas y correctivas para mantener la salud de las aves y evitar pérdidas productivas.

Tributirina. Ester del ácido butírico, usado como aditivo alimenticio, favorece la salud intestinal, mejora la absorción de nutrientes y puede optimizar la conversión alimenticia.

Zootecnia. Ciencia que estudia la cría, manejo y mejoramiento de los animales domésticos para aprovechar sus productos de manera eficiente.

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de la inclusión de tributirina, un éster de ácido butírico, sobre los parámetros productivos, medidas alométricas y rentabilidad en pollos de engorde. Se emplearon 7,500 pollos machos de la línea Cobb 500, de un día de edad y peso promedio inicial de 45 g, distribuidos aleatoriamente en tres tratamientos dietarios: T1 (0.1% de tributirina), T2 (0.05% de tributirina) y T3 (grupo control sin adición), bajo un diseño completamente al azar. El periodo experimental comprendió desde el primer día de edad hasta los 49 días, evaluándose peso vivo, ganancia de peso, consumo de alimento, conversión alimenticia, mortalidad, desarrollo de órganos digestivos y análisis económico. Los resultados indicaron que el tratamiento T1 presentó el mejor desempeño zootécnico, alcanzando un peso vivo final de 3,120.65 g y una ganancia de peso de 3,060.8 g, significativamente superiores a T2 (2,878.5 g) y T3 (2,860.22 g) ($p < 0.05$). Asimismo, T1 mostró el menor consumo acumulado de alimento (5,927.86 g/ave) y la mejor conversión alimenticia (1.94), frente al valor más elevado observado en T3 (2.16). La mortalidad acumulada también fue inferior en T1 (2.27%) respecto al grupo control (4.13%). En cuanto a las medidas alométricas al día 49, el tratamiento con 0.1% de tributirina promovió un mayor desarrollo intestinal (202.31 cm), peso de hígado (55.34 g) y páncreas (5.90 g), evidenciando una mejora en la funcionalidad del aparato digestivo.

Palabras clave: Tributirina, Cobb 500, Productividad, Rentabilidad.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the effect of tributyrin, a butyric acid ester, on productive performance, allometric measures, and economic returns in broiler chickens. A total of 7,500 one-day-old male Cobb 500 broilers, with an average initial weight of 45 g, were randomly assigned to three dietary treatments: T1 (0.1% tributyrin), T2 (0.05% tributyrin), and T3 (control without additive), following a completely randomized design. The experimental period lasted from day 1 to day 49 of age. Productive parameters (body weight, weight gain, feed intake, feed conversion ratio, and mortality), organ development, and economic performance were evaluated.

The results showed that birds in T1 exhibited the best productive performance, with a final body weight of 3,120.65 g and a weight gain of 3,060.8 g, significantly higher than T2 (2,878.5 g) and T3 (2,860.22 g) ($p < 0.05$). Moreover, T1 achieved the lowest cumulative feed intake (5,927.86 g/bird) and the most efficient feed conversion ratio (1.94), compared to the control group (2.16). Cumulative mortality was also lower in T1 (2.27%) than in T3 (4.13%). At day 49, T1 birds exhibited enhanced digestive organ development, including longer intestinal length (202.31 cm), and greater liver (55.34 g) and pancreas (5.90 g) weights. Economically.

Keywords: Tributyrin, Cobb 500, Productive, Profitability.

INTRODUCCIÓN

La avicultura constituye uno de los sectores más dinámicos y productivos de la industria agropecuaria, desempeñando un papel fundamental en la seguridad alimentaria global y en la economía de numerosos países (FAO, 2021). En este ámbito, la línea Cobb 500 se ha posicionado como una de las más utilizadas en la producción de carne de pollo, debido principalmente a su alta eficiencia en la conversión alimenticia, su rápido crecimiento y su excelente rendimiento productivo (Cobb-Vantress, 2020). No obstante, el incremento sostenido en la demanda de productos avícolas, sumado a la necesidad de reducir costos de producción, ha impulsado la búsqueda de estrategias innovadoras que permitan optimizar el rendimiento de las aves sin comprometer su bienestar ni la calidad del producto final.

En este sentido, los aditivos alimenticios han surgido como herramientas prometedoras para mejorar la productividad avícola. Entre ellos, la tributirina, un éster de butirato, ha cobrado relevancia debido a sus efectos beneficiosos sobre la salud intestinal, el metabolismo y el crecimiento de las aves (Zhang *et al.*, 2019). Específicamente, la tributirina actúa como una fuente de butirato, un ácido graso de cadena corta que fortalece la integridad de la mucosa intestinal, mejora la absorción de nutrientes y modula el microbiota intestinal, lo que se traduce en una mayor eficiencia productiva (Guilloteau *et al.*, 2010). En consecuencia, estudios recientes han demostrado que la inclusión de tributirina en la dieta de pollos de engorde puede mejorar significativamente parámetros como la ganancia de peso, la conversión alimenticia y la salud intestinal (Mallo *et al.*, 2012; Wang *et al.*, 2020).

Sin embargo, a pesar de los avances en la investigación, aún persisten vacíos en el conocimiento respecto a los niveles óptimos de inclusión de tributirina y su efecto integral sobre las medidas alométricas y la viabilidad económica en sistemas de producción avícola. Diversos estudios han documentado beneficios productivos asociados a su uso; Zhang *et al.* (2019) reportaron mejoras significativas en la ganancia de peso y una reducción en la conversión alimenticia en pollos de engorde, mientras que Wang *et al.* (2020) evidenciaron un incremento proporcional en el desarrollo de cortes comerciales como la pechuga y los muslos, lo que sugiere un posible efecto sobre la eficiencia biológica del crecimiento.

La inclusión de tributirina en las dietas avícolas busca aportar evidencia científica que respalde la optimización en la respuesta productiva bajo un sistema intensivo, contribuyendo así al avance del conocimiento en el campo de la nutrición animal. Además, los resultados obtenidos podrían tener implicaciones prácticas significativas, ofreciendo a los productores una herramienta efectiva para mejorar la rentabilidad y sostenibilidad de la producción avícola. Finalmente, se espera que este estudio sirva como base para futuras investigaciones que exploren el uso de la tributirina en diferentes etapas de crecimiento, así como su impacto a largo plazo en la salud y calidad de las aves.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Problema objeto de estudio

Uno de los principales desafíos en la producción avícola es la optimización de los parámetros productivos, como la ganancia de peso, el consumo de alimento y la conversión alimenticia. Estos indicadores son cruciales para garantizar la rentabilidad de las granjas, ya que una mejora en la eficiencia alimenticia se traduce directamente en una reducción de costos y un aumento en la producción de carne. No obstante, factores como el estrés oxidativo, la disbacteriosis intestinal y la inflamación de la mucosa intestinal pueden comprometer la absorción de nutrientes, reflejado en la respuesta productiva del ave (Guilloteau *et al.*, 2010). En este escenario, la tributirina emerge como una solución prometedora debido a su capacidad para mejorar la salud intestinal, modular la microbiota y promover la absorción eficiente de nutrientes.

La tributirina, un éster de butirato, actúa como una fuente directa de butirato en el intestino, un ácido graso de cadena corta con propiedades antiinflamatorias, antioxidantes y promotoras del crecimiento de las vellosidades intestinales (Wang *et al.*, 2020). Estas características la convierten en una herramienta efectiva para enfrentar los desafíos en granja, ya que no solo mejora la integridad de la barrera intestinal, sino que también reduce la incidencia de enfermedades digestivas y optimiza la utilización de los nutrientes de la dieta.

Sin embargo, a pesar de estos avances, existen pocos estudios sobre esta molécula de butirato y su influencia en la respuesta productiva y parámetros digestivos, así como en su factibilidad económica en sistemas de producción intensivos. Además, no se ha

establecido con claridad cuál es la concentración óptima de tributirina que maximiza los beneficios productivos sin incrementar significativamente los costos de alimentación.

Estas limitaciones plantean las siguientes interrogantes: ¿Cómo influye la inclusión de tributirina en diferentes niveles de concentración sobre los parámetros productivos en pollos de la línea Cobb 500? Asimismo, ¿Qué efecto tiene la tributirina en las medidas alométricas de las aves, y cuál es su impacto en la factibilidad económica de la producción? La respuesta a estas preguntas no solo permitirá determinar la eficacia de la tributirina como aditivo alimenticio, sino que también proporcionará información valiosa para optimizar su uso en la industria avícola, contribuyendo así a una producción más eficiente, rentable y sostenible.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

- Evaluar el efecto de la inclusión de tributirina en la dieta de pollos Cobb 500 sobre los parámetros productivos y medidas alométricas.

1.2.2 Objetivo específico

- Determinar la respuesta productiva (peso vivo, consumo de alimento, conversión alimenticia, rendimiento en carcasa) por efecto de la inclusión de dos niveles de tributirina en la dieta de pollos Cobb 500.
- Evaluar el efecto de los niveles de tributirina sobre las medidas alométricas en pollos de la línea Cobb 500.
- Estimar los costos de alimentación mediante la relación costo/beneficio para diferentes niveles de inclusión en la dieta.

1.3 Justificación

La industria avícola es uno de los sectores más importantes de la producción pecuaria a nivel mundial, contribuyendo de manera significativa a la seguridad alimentaria y al desarrollo económico de numerosos países (Ravindran, 2013). Sin embargo, este sector enfrenta desafíos críticos, como la necesidad de mejorar la eficiencia en el uso de los recursos alimenticios, reducir los costos de producción y garantizar el bienestar animal, sin comprometer la calidad del producto final (Abdollahi *et al.*, 2013).

En este contexto, la tributirina, un éster de butirato, ha surgido como una alternativa prometedora para abordar estos desafíos, estudios recientes han demostrado que la tributirina mejora la integridad de la mucosa intestinal, promueve la absorción de nutrientes y modula el microbiota intestinal, lo que se traduce en una mayor eficiencia productiva (Mallo *et al.*, 2012; Zhang *et al.*, 2019). Además, su capacidad para reducir la inflamación intestinal y fortalecer la barrera epitelial la convierte en una herramienta efectiva para prevenir enfermedades digestivas, uno de los principales problemas en las granjas avícolas (Guilloteau *et al.*, 2010).

Por tanto, el estudio genera un aporte en los conocimientos sobre el uso de la tributirina en la producción avícola, particularmente en lo que respecta a su participación en la mejora productiva y medidas alométricas, considerando los costos de alimentación. Los resultados obtenidos podrían servir como base para futuras investigaciones que exploren el uso de la tributirina en diferentes etapas de crecimiento, así como su impacto a largo plazo en la salud y calidad de las aves.

Finalmente, desde una perspectiva práctica, este trabajo tiene el potencial de ofrecer una solución viable y rentable para los productores avícolas. Al mejorar los parámetros productivos y reducir los costos asociados a la alimentación y el manejo sanitario, en este contexto, la tributirina podría convertirse en una herramienta clave para garantizar la sostenibilidad y rentabilidad de la industria avícola en el futuro. Esto no solo beneficiaría a los productores, sino que también contribuiría a satisfacer la creciente demanda de proteína animal a nivel global, promoviendo una producción más eficiente y sostenible.

1.4 Hipótesis

1.4.1 Hipótesis General

- La inclusión de tributirina en diferentes niveles de concentración en la dieta de pollos de la línea Cobb 500 mejora significativamente los parámetros productivos, las medidas alométricas y la relación costo/beneficio, en comparación con una dieta control sin este aditivo.

1.4.2 Hipótesis Específica

- La tributirina mejora significativamente la ganancia de peso, la conversión alimenticia y el consumo de alimento en pollos de la línea Cobb 500 en comparación con una dieta control.
- La suplementación con tributirina favorece un desarrollo alométrico equilibrado, evidenciado por un crecimiento proporcional de las partes del cuerpo de los pollos.
- El análisis costo/beneficio de la inclusión de tributirina en la dieta demuestra que su uso es económicamente viable para sistemas intensivos de producción avícola.

CAPITULO II

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Antecedentes de la investigación

Delgado (2021), realizó un estudio para evaluar el efecto de la tributirina y el butirato de sodio en diferentes concentraciones sobre la respuesta productiva y la morfometría intestinal en pollos de carne (Cobb 500) durante las fases de inicio y crecimiento. Los resultados mostraron diferencias significativas en los parámetros productivos, destacando que la tributirina al 0.05% generó mayor ganancia de peso y mejor conversión alimenticia en comparación con los otros tratamientos. Además, la suplementación con tributirina redujo el consumo de alimento y mejoró la eficiencia digestiva, posiblemente debido a su efecto en la disminución del pH intestinal.

Gallardo (2023), investigó el efecto del butirato de sodio sobre los parámetros productivos en pollos de engorde Cobb 500. Las dietas fueron isoenergéticas e isoproteicas, diferenciándose en la inclusión de butirato de sodio: T0 (0%), T1 (0.1%), T2 (0.2%) y T3 (0.3%), administradas en las etapas de inicio, crecimiento y acabado. Los resultados reportaron que la inclusión de 0.3% de butirato de sodio presentó el mejor desempeño productivo, con mayor peso vivo, ganancia de peso y mejor conversión alimenticia, sin afectar el consumo de alimento. Además, este grupo mostró mayor peso en canal, pechuga y muslo más pierna, lo que evidencia el potencial del butirato de sodio para mejorar el rendimiento en pollos de engorde.

Vázquez et al (2019), evaluaron el efecto del butirato sódico parcialmente protegido (BSPP) sobre los parámetros productivos en pollos de engorde Ross y Cobb en cinco granjas comerciales del sureste y occidente de México. Los resultados mostraron que el

grupo con el butirato parcialmente protegido mejoró significativamente el peso final en 6.6% y la ganancia diaria de peso en 3.9 g/día respecto al control. Se concluye que la suplementación con BSPP mejora los parámetros productivos en pollos de engorde bajo condiciones comerciales, lo que sugiere su potencial como aditivo en la alimentación avícola.

Elnesr et al., (2019), analizaron la importancia de la salud intestinal en el rendimiento de las aves y su impacto en la rentabilidad del sector avícola. Diversos estudios han evaluado la inclusión de suplementos dietéticos, como los ácidos orgánicos, destacando el butirato de sodio (SB) por su efecto en la integridad intestinal, medida a través de la altura y relación vellosidad-cripta, así como el número de células caliciformes. En pollos de engorde, la suplementación con 0.5 y 1 g/kg incrementó la longitud de las vellosidades en un 55% y 27% (día 21) y en un 39% y 18% (día 42) en comparación con el grupo control. Además, el butirato de sodio favorece el desarrollo del epitelio intestinal, ya que las células epiteliales lo utilizan como fuente de energía para estimular su diferenciación y proliferación, mejorando la función de la barrera intestinal.

(Montejo et al., 2023), evaluaron la eficiencia del butirato protegido como aditivo en la alimentación de pollos de engorde y su impacto en los parámetros zootécnicos, histopatológicos y mediciones alométricas. El estudio se llevó a cabo con 736 pollos machos Ross 308, distribuidos en cuatro tratamientos con diferentes periodos de suplementación de butirato protegido (T1: sin aditivo; T2: suplementación del día 0 al 7; T3: del día 0 al 21; T4: del día 0 al 42). De acuerdo a lo evaluado no se encontraron diferencias significativas en los parámetros productivos como ganancia de peso, consumo de alimento, conversión alimenticia y medidas alométricas. Sin embargo, el butirato protegido redujo la mortalidad en la fase de engorde, destacando su potencial beneficio

en la salud intestinal y supervivencia de las aves.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Morfología del Aparato Digestivo

El tracto gastrointestinal (TGI) de las aves cumple funciones importantes en la degradación y absorción de nutrientes, esenciales para el crecimiento y mantenimiento fisiológico (Koutsos, 2006). En pollos recién eclosionados, el intestino delgado es inmaduro, experimentando cambios morfológicos acelerados influenciados por factores ambientales, como el acceso al alimento y la temperatura (Uni, 2001). La eficiencia digestiva se optimiza con el desarrollo de estructuras como vellosidades y criptas, cuya integridad depende de la colonización temprana por microbiota benéfica (Xavier, 2010). Estudios demuestran que retrasos en la alimentación post-eclosión reducen el área superficial de las vellosidades y la profundidad de las criptas, especialmente en el yeyuno, lo que incrementa la mortalidad y disminuye el rendimiento productivo (Sell, 1997; Uni *et al.*, 2003).

La maduración del TGI implica incrementos en la longitud y peso del intestino, así como en la actividad enzimática pancreática e intestinal (Ortiz, 2014). La absorción de nutrientes mejora significativamente tras la primera semana de vida, correlacionándose con el aumento en la altura de las vellosidades y la densidad de enterocitos (Tona *et al.*, 2005). Estos cambios morfológicos son sensibles a intervenciones nutricionales, como la suplementación con aditivos que estimulan el desarrollo epitelial (Smirnov *et al.*, 2006). Por ejemplo, dietas ricas en proteínas de alta digestibilidad favorecen la expresión de transportadores de péptidos (PepT1), optimizando la absorción de aminoácidos (Gilbert *et al.*, 2008).

2.2.2 Microflora Bacteriana del Tracto Gastrointestinal

La microbiota intestinal es un componente dinámico que influye en la salud, nutrición e inmunidad de las aves (Yegani & Korver, 2010). Compuesta por 400-500 especies bacterianas, su composición varía según el segmento intestinal, el pH luminal y la dieta (Apajalahti & Kettunen, 2002). Bacterias benéficas, como *Lactobacillus spp.*, ejercen exclusión competitiva contra patógenos, reduciendo la colonización de *Salmonella* y *E. coli* (Gabriel *et al.*, 2006). Esta interacción microbiana es crucial para mantener la integridad de la barrera intestinal y la eficiencia en la absorción de nutrientes (Yegani & Korver, 2010).

Los desequilibrios en la microbiota (disbacteriosis) alteran la digestión, aumentando la excreción de nitrógeno y reduciendo la ganancia de peso (Gauthier, 2002). Factores como el uso de antibióticos o dietas altas en polisacáridos no amiláceos pueden exacerbar estos efectos (Apajalahti & Kettunen, 2002). Estrategias como la suplementación con probióticos o ácidos orgánicos modulan la microbiota, favoreciendo poblaciones bacterianas fermentativas que producen ácidos grasos de cadena corta (AGCC) (Jefo, 2013). Estos metabolitos, como el butirato, son clave para la salud intestinal al estimular la proliferación de enterocitos y regular la inflamación (Guilloteau *et al.*, 2010).

2.2.3 Salud Intestinal

La salud intestinal se define por la funcionalidad óptima del TGI, asegurando una digestión eficiente y resistencia a patógenos (Wielsma, 2015). Estrategias preventivas, como el uso de aditivos, buscan equilibrar la microbiota y fortalecer la barrera epitelial (Smith *et al.*, 1999). Los ácidos orgánicos, por ejemplo, reducen el pH luminal, inhibiendo bacterias patógenas y promoviendo la integridad de las uniones estrechas (Cherrington *et*

al., 1990). Además, estimulan la secreción de mucina, una capa protectora que previene la adhesión de patógenos (Sánchez *et al.*, 2011).

La salud intestinal también depende de la morfología del epitelio: vellosidades largas y criptas superficiales se asocian con mayor área de absorción (Pelicano *et al.*, 2008). En pollos, intervenciones nutricionales tempranas, como la suplementación con tributirina, incrementan la altura de las vellosidades en el duodeno y yeyuno, mejorando la conversión alimenticia (Lum *et al.*, 2018). Estudios en gallinas ponedoras muestran que el butirato de sodio aumenta el grosor de la mucosa intestinal, reduciendo la incidencia de enteritis necrótica (Sánchez *et al.*, 2009).

2.2.4 Ácidos Orgánicos en la Nutrición Animal

Los ácidos orgánicos se utilizan en nutrición animal para mejorar la digestibilidad de nutrientes y controlar patógenos (Shiva, 2007). Su mecanismo incluye la reducción del pH gástrico, lo que favorece la activación de enzimas proteolíticas como la pepsina (Roth, 2000). Además, en forma no disociada, atraviesan membranas bacterianas, alterando el pH intracelular y provocando lisis celular (Cherrington *et al.*, 1990). Entre los ácidos orgánicos de cadena corta (AOCC), el butirato destaca por su rol en la proliferación de enterocitos y la modulación inmune (Guilloteau *et al.*, 2010).

2.2.5 Ácidos Orgánicos de cadena corta (AOCC)

Son metabolitos producidos por la fermentación bacteriana de carbohidratos no digeribles en el intestino (Van Immerseel *et al.*, 2002). Su producción endógena puede potenciarse mediante la inclusión de prebióticos y probióticos en la dieta, los cuales estimulan la actividad de la microbiota anaeróbica intestinal (Santomá *et al.*, 2006). Sin embargo, para

garantizar su eficacia en segmentos distales del tracto gastrointestinal, como el colon, es necesario administrarlos en formas protegidas (ej., recubrimientos lipídicos) que eviten su absorción prematura en el duodeno (Gálfe, 2011).

El ácido butírico, en particular, presenta desafíos prácticos debido a su olor penetrante y alta volatilidad, lo que ha impulsado el desarrollo de alternativas como ésteres (tributirina) o sales (butirato de sodio) para facilitar su manejo en dietas comerciales (Wielsma, 2015). Estudios en aves demuestran que estas formas protegidas mejoran la biodisponibilidad del butirato, optimizando su acción en la mucosa intestinal sin afectar la palatabilidad del alimento (Lum *et al.*, 2018). Además, los AOCC ejercen efectos sistémicos, como la regulación del metabolismo energético y la modulación de la respuesta inflamatoria, lo que amplía su aplicación más allá de la salud digestiva (Guilloteau *et al.*, 2010).

2.2.5.1 Ácido Butírico

El ácido butírico destaca entre los AOCC por su papel crítico en el mantenimiento de la integridad intestinal y la homeostasis inmunológica (Guilloteau *et al.*, 2010). Como principal fuente de energía para los colonocitos, estimula la proliferación y diferenciación de las células epiteliales, aumentando la longitud de las vellosidades y reduciendo la profundidad de las criptas (Kotunia *et al.*, 2004). Este efecto morfológico se traduce en una mayor superficie de absorción de nutrientes, mejorando parámetros productivos como la ganancia de peso y la conversión alimenticia en pollos (Mallo, 2012).

Además de su función trófica, el butirato ejerce actividad antimicrobiana selectiva, inhibiendo patógenos como *Salmonella spp.* y *Clostridium perfringens* mediante la

acidificación del lumen intestinal y la interferencia con su metabolismo energético (Sánchez *et al.*, 2011). Estudios *in vivo* en gallinas ponedoras han demostrado que la suplementación con butirato de sodio incrementa la producción de mucina, reforzando la barrera epitelial y reduciendo la incidencia de enteritis (Sánchez *et al.*, 2009). En pollos de engorde, su administración en forma de tributirina (éster de glicerol) muestra ventajas técnicas, como estabilidad térmica y liberación controlada en el íleon, lo que maximiza su eficacia sin comprometer la calidad organoléptica del alimento (Ros, 2015).

2.2.6 Butirato de sodio

El butirato es un metabolito natural presente en fluidos y tejidos biológicos, cuya ausencia en la sangre periférica sugiere un metabolismo acelerado en la pared intestinal y/o el hígado (Ortiz, 2014). En el tracto gastrointestinal, ejerce acciones directas (en el intestino grueso) e indirectas (en el intestino delgado), influyendo en procesos de desarrollo y reparación tisular. Desde una perspectiva fisiológica, la mejora del rendimiento productivo asociada al consumo de butirato exógeno puede atribuirse a cuatro mecanismos interrelacionados: (1) incremento en la digestibilidad de nutrientes, (2) estimulación de la secreción de enzimas digestivas pancreáticas e intestinales, (3) modulación de la microbiota luminal, y (4) fortalecimiento de la barrera epitelial y regulación de la respuesta inmunitaria (Ortiz, 2014).

De igual forma, ha demostrado efectos bactericidas contra bacterias gramnegativas (Fernández, 2009) y grampositivas (Jerzsele, 2011), especialmente cuando se combina con aceites esenciales, además de impactos fisiológicos significativos (Guilloteau, 2010). Estos efectos incluyen: regulación de la integridad de la barrera intestinal, reducción de patógenos luminales, síntesis de mucina, modulación de la respuesta inmune y regulación

de procesos celulares en el epitelio intestinal, como la apoptosis, la proliferación y la diferenciación celular (Guilloteau, 2010). Adicionalmente, actúa como fuente energética para colonocitos y enterocitos mediante la producción de ATP, optimizando la función metabólica intestinal (Guilloteau, 2010).

La maduración del epitelio intestinal derivada de su uso incrementa la superficie de absorción, lo que favorece la digestión y asimilación de nutrientes (Pluske, 1996). En pollos de engorde, este mecanismo se traduce en una mejora de la digestibilidad dietética y una reducción significativa en los índices de conversión alimenticia (Mallo, 2010).

No obstante, estudios en aves revelan resultados heterogéneos según la dosis, mientras que la inclusión de butirato de sodio a 0.5-1 g/tonelada no altera el rendimiento productivo frente a dietas control, dosis elevadas (1 -2 g/ton) disminuyen la ganancia diaria de peso durante todas las fases de crecimiento (Edmonds *et al.*, 2014). Estos hallazgos subrayan la importancia de optimizar las concentraciones de butirato para maximizar sus beneficios sin incurrir en efectos contraproducentes (Jankowski *et al.*, 2012).

El butirato es la fuente de energía más importante de los colonocitos, regula la diferenciación y proliferación del epitelio gastrointestinal y potencia la apoptosis en las células genéticamente alteradas (Leu *et al.*, 2009). Además, desempeña un amplio papel en la homeostasis intestinal, incluido el apoyo a la función de barrera intestinal (Hodin, 2000).

Se sabe que los agentes antimicrobianos, como el butirato de sodio, disminuyen los niveles del patógeno intestinal, lo que a su vez reduce la presencia de toxinas que causan alteraciones en la morfología del intestino (vellosidades y criptas). Por otro lado, es de especial interés debido a sus diversos efectos positivos sobre los tejidos intestinales y la salud intestinal generando un aumento tanto la profundidad de las criptas como la altura de las vellosidades.

La inclusión de butirato de sodio en la dieta durante todo el periodo de crecimiento muestra un impacto positivo en los índices fisiológicos y la salud intestinal de las aves (Elnesr *et al.*, 2019).

2.2.7 El butirato de sodio y sus múltiples efectos

El butirato sodio es un ácido graso de cadena corta (AGCC) que tiene efectos a nivel molecular, celular y tisular, cuando el ácido butírico pierde su ion H se convierte en ion butirato. El butirato sódico es la sal sódica del ácido butírico (BA), que contiene un átomo de Na en lugar del H del grupo -OH. El butirato de sodio se utilizó como fuente de ácido butírico, conocido por sus efectos beneficiosos en el intestino, ya que es sólido, estable y mucho menos oloroso (Jiang *et al.*, 2019). En general, la ventaja de la sal sobre los ácidos libres es que es inodora y facilita el proceso de fabricación de piensos debido a su carácter sólido y menos volátil. El butirato desempeña un papel en la estimulación del desarrollo del epitelio intestinal (Hu & Guo, 2007) y en la disminución de las bacterias patógenas (Fernández *et al.*, 2009).

El modo de acción empieza al llegar al proventrículo del ave, liberando rápidamente la primera fracción (ion Na), debido al bajo pH, la otra fracción (butirato) se convierte

rápida en la forma no disociada, denominada ácido butírico. Esta forma es la que responde a la acción antimicrobiana, ya que es fuertemente lipofílica y puede difundirse a través de la membrana bacteriana.

La adición de butirato de sodio a las dietas avícolas puede reducir el pH gástrico, acelerando la conversión de pepsinógeno en pepsina, lo que mejora la tasa de absorción de nutrientes como proteínas, aminoácidos y minerales (Youn *et al.*, 2005). Este pH bajo destruye las bacterias patógenas mediante el agotamiento de la energía metabólica y la reducción del metabolismo de la membrana celular, la salida de fluidos celulares y el bloqueo del uso de nutrientes (Kirchgessner & Roth, 1982). Por lo tanto, el principal objetivo de la suplementación dietética con butirato de sodio es mantener la buena salud del intestino de las aves de corral disminuyendo el nivel de bacterias patógenas.

2.2.8 Eficacia del butirato en el tracto gastrointestinal

El intestino delgado desempeña un papel fundamental en la digestión y absorción de nutrientes (Svihus, 2013), donde el ciego es el principal lugar de fermentación de nutrientes no absorbidos y de mantenimiento del equilibrio de la microbiota intestinal (Svihus *et al.*, 2013). En este contexto, las investigaciones han demostrado que la liberación temprana de productos como el butirato de sodio en el intestino delgado puede aumentar la digestibilidad de los nutrientes y estimular el desarrollo de las vellosidades, ya que el tiempo de liberación posterior en el ciego tiene un efecto inhibitorio sobre las bacterias patógenas intestinales (Fernández *et al.*, 2009; Guilloteau *et al.*, 2010).

(Liu *et al.*, 2017) afirmaron que la liberación tras la ingestión, de 30 min a 2,5 h es el tiempo adecuado para los productos encapsulados que mejoran la digestibilidad de los nutrientes y estimulan el desarrollo de células epiteliales en el intestino delgado, siendo

este tiempo un rango óptimo de estos productos que se centran en el control bacteriano del intestino posterior.

De igual forma, el butirato se absorbe fácilmente en el tracto gastrointestinal superior (GI) (el buche) cuando se administra en forma de sal libre (Wielen, 2002). La sal de ácido butírico necesita estar en un estado no disociado antes de llegar al intestino posterior para ejercer su efecto antimicrobiano (Warnecke & Gill, 2005). Por tanto, el recubrimiento del ácido butírico en la dieta del pollo protege de la colonización cecal de *Salmonella*, la forma habitual de proteger el butirato de sodio de la absorción temprana en el tracto gastrointestinal es utilizar grasa vegetal para encapsular el butirato de sodio y controlar su tiempo de liberación, la protección de la grasa vegetal permite que el butirato alcance las partes distales del tracto gastrointestinal (Smith *et al.*, 2012).

2.2.9 Efecto del butirato de sodio sobre el peso relativo del órgano o la longitud del intestino

La inclusión de butirato de sodio aumenta el peso intestinal, ya que genera un mayor crecimiento en el diámetro y longitud del intestino al suplementarlo en dietas de pollos frente a dietas control (Aghazadeh & Tahayazdi, 2012). La suplementación dietética con butirato de sodio aumenta significativamente la longitud y el peso de los segmentos intestinales de los pollos de engorde a los 21 y 42 d en comparación con el control (Wu *et al.*, 2018).

Por otro lado, la longitud relativa del duodeno no estaría influenciada por la suplementación con butirato de sodio en diferentes edades, pero las longitudes relativas del intestino delgado y yeyuno fueron más largas con butirato de sodio en el día 14 en comparación con el control (Chamba *et al.*, 2014).

También se han registrado intestinos delgados más largos (Aghazadeh & Tahayazdi, 2012) y más pesados (Adil *et al.*, 2011) con butirato de sodio. Por otro lado, un alto nivel de butirato de sodio mejoró la longitud del yeyuno y del intestino delgado (Mahdavi & Torki, 2009). Además, (Reilly *et al.*, 1995) afirmaron que el butirato de sodio aumenta el flujo sanguíneo al intestino delgado, lo que conduce a un mejor crecimiento y oxigenación de los tejidos.

2.2.10 Efecto del butirato de sodio en la morfología intestinal

La digestión y la absorción de nutrientes dependen de las vellosidades intestinales (Awad *et al.*, 2015), la altura de las vellosidades está relacionada con la superficie de contacto con los nutrientes, una mayor altura de las vellosidades mejora su función y, por tanto, crecimiento del ave. En este contexto, estudios anteriores, evidencias que el butirato de sodio mejora la altura de las vellosidades en las partes del intestino (duodeno, yeyuno e íleon) en relación con el tratamiento de control. En principio, el aumento de la altura de las vellosidades y la disminución de la profundidad de las criptas en el intestino delgado se utilizaron como signos de salud intestinal, ya que ambos son indicadores de una correcta absorción de nutrientes (Chiang *et al.*, 2010).

Por consiguiente, el aumento de la superficie de las vellosidades es significativo y puede correlacionarse con una mayor tasa de proliferación de las células de la mucosa (Abdelqader & Fataftah, 2016). La suplementación con butirato de sodio se relacionó con una mejora de las mediciones morfológicas intestinales en comparación con el control (Hassanin *et al.*, 2015). Se ha descrito que el butirato de sodio es útil para el mantenimiento de la estructura de las vellosidades intestinales, esta mejora de la estructura epitelial puede participar en el mantenimiento de la integridad epitelial

intestinal al disminuir las roturas de la barrera mucosa, que limitan el paso de antígenos lumenales al torrente sanguíneo (Söderholm & Perdue, 2006).

(Elnesr *et al.*, 2019) encontraron un mejor crecimiento de las vellosidades intestinales en la codorniz alimentada con dieta con butirato de sodio en comparación con la codorniz alimentada con dieta sin butirato de sodio (Wu *et al.*, 2018). La adición de butirato de sodio a las dietas avícolas puede estimular la restitución de la célula epitelial intestinal y favorecer el crecimiento de la mucosa intestinal (Hu & Guo, 2007). (Elnesr *et al.*, 2019) sugirieron que la acción del butirato de sodio en la mejora del estado del intestino puede deberse a que el butirato estimula el flujo sanguíneo intestinal y la síntesis de hormonas gastrointestinales, además, aumenta la secreción de péptidos que conducen a una mayor proliferación de enterocitos para mejorar la reparación de la mucosa dañada y aumentar la altura de las vellosidades.

2.2.11 Efecto del butirato de sodio en las poblaciones bacterianas intestinales

Los intestinos de las aves tienen tanto bacterias beneficiosas (lactobacilos grampositivos o bifidobacterias) para la salud como bacterias patógenas potenciales (*Escherichia coli*, *Clostridium spp.* o *Salmonella*). Por lo general, las bacterias buenas representan al menos el 85% del total de bacterias (Chamba *et al.*, 2014), el equilibrio bacteriano entre el número de bacterias malas y bacterias beneficiosas en el intestino es vital para el huésped, y cualquier influencia negativa en la salud intestinal del pollo suele proceder del desequilibrio microbiano en el intestino (Choct, 2009). El equilibrio de la microbiota intestinal en el pollo es esencial para obtener el máximo rendimiento del crecimiento y la salud intestinal, este equilibrio es decisivo para la homeostasis intestinal y las funciones normales (defensivas y digestivas) del intestino (Sugi, 2016). Algunos suplementos

dietéticos pueden modificar las poblaciones microbianas del intestino, concomitantemente con el crecimiento de bacterias beneficiosas (Adil & Magray, 2012).

En tal sentido, el butirato de sodio posee propiedades antimicrobianas debido a su importante papel en el intestino de las aves mediante el control de la población de bacterias patógenas y la inducción de bacterias beneficiosas. La adición de butirato de sodio en la dieta puede tener un efecto favorable en la salud de las aves al reducir las bacterias patógenas, aumentando los recuentos viables de *Bifidobacterium* y *Lactobacillus* (Abdelqader & Fataftah, 2016).

(Makled *et al.*, 2019) afirmaron que el butirato de sodio mostró impactos beneficiosos en la microbiota intestinal de pollos de engorde tipo carne en el día 21 a través de una reducción relativa de *E. coli ileal* y un aumento en el recuento de lactobacilos ileales en comparación con el control. En las aves, el butirato tiene un impacto directo sobre la secreción de mucina, principalmente por su acción bactericida sobre los enteropatógenos (Gram positivos como *Clostridium spp.* y Gram negativos como: *Salmonella spp.* y *E. coli*) (Immerseel *et al.*, 2006).

Asimismo, la suplementación con butirato de sodio en la dieta inicial de pollos de engorde redujo las infecciones por *Salmonella Enteritidis* en el día 27 (Fernández *et al.*, 2009). Investigaciones han revelado la acción antimicrobiana del butirato frente a patógenos avícolas (*Clostridium perfringens* y *Salmonella typhimurium*) tanto en ensayos in vivo como in vitro y han examinado su uso en dietas avícolas como posible alternativa a los antibióticos promotores del crecimiento (Leeson *et al.*, 2005).

El Butirato de sodio reduce la colonización bacteriana de la pared intestinal, como resultado los microbios patógenos producen menos compuestos tóxicos, por lo que causan menos daño a las células epiteliales del intestino (Antongiovanni *et al.*, 2009), cuando está presente en el tracto intestinal inferior, puede eliminar la colonización de bacterias perjudiciales, deteniendo la expresión génica responsable de la invasión de los epitelios, ya que sus efectos se inducen a través de la activación de receptores específicos en las células epiteliales (Kulkarni *et al.*, 2007).

(Gantois *et al.*, 2006), afirmaron que el butirato regula la expresión génica de la patogenicidad de Salmonella, lo que pone de manifiesto uno de los mecanismos causantes de la reducción de la invasión de las células epiteliales intestinales. La suplementación con butirato de sodio redujo la fragmentación del ADN intestinal provocada por la infección de enteritis necrótica (Eshak *et al.*, 2016).

La suplementación con butirato de sodio en la dieta de pollos de engorde mejoró significativamente la comunidad microbiana intestinal y la diversidad (Wu *et al.*, 2018), además, los investigadores han demostrado que el butirato aumenta la resistencia a la Salmonella enteritidis en pollos mediante síntesis de varios péptidos de defensa del huésped (HDP), esto son péptidos antimicrobianos y una parte crítica de la inmunidad innata (Brogden *et al.*, 2003). Así pues, el butirato ayuda al sistema inmunitario de las aves de corral y muestra actividad contra ciertas bacterias patógenas intestinales, siendo recomendado para la mayoría de las bacterias comunes que afectan a la salud intestinal de las aves.

2.2.12 Efecto del butirato de sodio en la digestibilidad de los nutrientes

El butirato de sodio como aditivo alimentario en las dietas avícolas puede ser un enfoque para mejorar la digestibilidad ileal de las proteínas de fuentes poco digeribles (Qaisrani *et al.*, 2015). El uso de butirato protegido aumentó la digestibilidad ileal de la treonina, la serina y la prolina, en pollos de 42 en comparación con el control (Liu *et al.*, 2017), esta mejora podría atribuirse a un buen estado de salud del intestino grueso o a una mayor superficie de las vellosidades. Además, estos efectos positivos de la suplementación con butirato de sodio pueden deberse a una mejor digestión y absorción de nutrientes, como consecuencia del aumento de la secreción de enzimas pancreáticas, y por sus efectos sobre la mucosa intestinal y su acción antimicrobiana (Adil *et al.*, 2010).

Así pues, el butirato de sodio podría ser una alternativa potencial para mejorar la salud intestinal y sustituir a los antibióticos en la industria avícola. La salud del tracto gastrointestinal contribuye al rendimiento y la salud general de las aves de corral, el butirato de sodio desempeña un papel importante en el mantenimiento de la integridad de la mucosa intestinal, como demuestra la mejora de la histomorfometría intestinal. Por otro lado, el butirato de sodio mejoró la comunidad microbiana intestinal, por lo tanto, es bactericida y estimulante del desarrollo del epitelio intestinal.

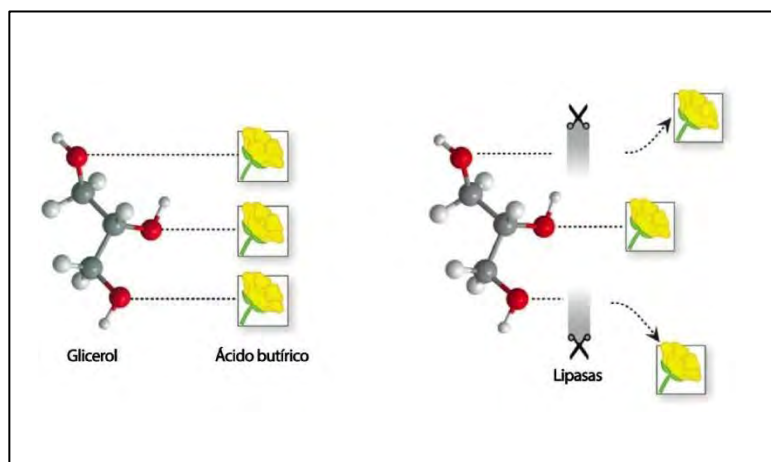
2.2.13 Tributirina

La tributirina, un éster de ácido butírico, se ha posicionado como una alternativa eficaz en nutrición avícola debido a su estabilidad química y capacidad para liberar butirato de manera controlada en el intestino delgado (Wang *et al.*, 2020). Su estructura molecular, compuesta por glicerol y tres grupos de butirato, le confiere resistencia al pH gástrico y

a altas temperaturas durante el procesamiento de alimentos, lo que maximiza su biodisponibilidad en segmentos intestinales clave (Immerseel *et al.*, 2002).

La tributirina consiste en moléculas de ácido butírico unidas a una de glicerol mediante un proceso de esterificación, a cada glicerol se pueden unir hasta 3 moléculas de ácido butírico, formando las tributirinas. Las tributirinas de hecho son triglicéridos, moléculas muy estables frente a pH, temperatura y humedad, por tanto, muy estables durante el proceso de fabricación del alimento y el tránsito digestivo hasta llegar al intestino delgado. En el intestino delgado se disocian por la acción de las lipasas pancreáticas, como resultado de la acción de las lipasas, liberan ácido butírico y glicerol en el intestino donde son absorbidas por los enterocitos.

Figura 1: Representación esquemática de una molécula de tributirina y su disociación en glicerol y butírico por acción de las lipasas.



Fuente: Adaptado de Wang *et al.* (2020).

2.2.14 Mecanismos de Acción

La hidrólisis de la tributirina por lipasas pancreáticas libera ácido butírico, el cual actúa como fuente energética para enterocitos, estimulando la proliferación celular y mejorando la relación altura de vellosidad/profundidad de cripta (Guilloteau *et al.*, 2010). Este efecto morfológico incrementa la superficie de absorción de nutrientes, optimizando la digestibilidad de proteínas y lípidos hasta en un 7% en pollos (Wang *et al.*, 2020).

Además, modula la microbiota intestinal, inhibiendo patógenos como *Clostridium perfringens* mediante acidificación luminal ($\text{pH} < 6.0$) y exclusión competitiva (Sánchez *et al.*, 2011).

2.2.15 Impacto en el Rendimiento Productivo

Estudios en condiciones comerciales destacan que la suplementación con tributirina (0.05-0.1% en dieta) incrementa la ganancia diaria de peso (GDP) en un 12-15% y reduce la conversión alimenticia (CA) en un 8%, en comparación con dietas control (Mallo *et al.*, 2012). En un ensayo con 4,400 pollos Ross 308, la inclusión de 500 g/TM de tributirina mejoró el peso final en 8-12% y mostró un retorno de inversión (ROI) de hasta 1:12.22, subrayando su rentabilidad (Jansen *et al.*, 2021).

2.2.16 Efectos en la Salud Intestinal

La tributirina fortalece la barrera epitelial al estimular la síntesis de mucina y proteínas de unión estrecha (occludina, claudina-3), reduciendo la permeabilidad intestinal y la translocación bacteriana (Zhang *et al.*, 2019). En modelos de desafío con *Eimeria*, pollos suplementados con tributirina (400 mg/kg) presentaron menor excreción de ooquistes y ausencia de lesiones hemorrágicas, evidenciando su potencial como alternativa a los antibióticos (Wang *et al.*, 2020).

2.2.17 Comparación con otras formas de butirato

A diferencia del butirato de sodio, que pierde hasta el 40% de su actividad por volatilización, la tributirina mantiene su estabilidad en dietas peletizadas, ofreciendo una concentración de butirato del 53% frente al 24% del butirato sódico (Lum *et al.*, 2018). En pollos Cobb 500, la tributirina al 0.05% superó al butirato de sodio (0.1%) en ganancia de peso (+15%) y eficiencia alimenticia (CA: 1.45 vs. 1.58) (Delgado Palma, 2021).

2.2.18 Mediciones alométricas en pollos de engorde

Las mediciones alométricas constituyen una herramienta esencial en la evaluación del crecimiento y desarrollo de órganos en pollos de engorde, permitiendo determinar la relación entre el peso de órganos específicos y el peso vivo total del ave. Este enfoque facilita la interpretación del estado nutricional y la eficiencia de las dietas, aspectos críticos para optimizar el rendimiento productivo en avicultura.

Diversos estudios han empleado procedimientos estandarizados para obtener mediciones alométricas precisas. Por ejemplo, (Klasing, 1998) y (Leeson & Summers, 2005) describen métodos de necropsia que aseguran la extracción cuidadosa de órganos como el hígado, bazo, molleja, páncreas, intestino y Bursa de Fabricius, eliminando el tejido adiposo y otras adherencias que podrían sesgar las mediciones. Posteriormente, cada órgano se pesa utilizando balanzas digitales con alta precisión (± 1 gramo) y se expresa su peso como un porcentaje del peso vivo del ave, lo cual permite comparaciones entre diferentes grupos experimentales.

La medición del intestino también es fundamental, ya que su morfometría que incluye la longitud total y el diámetro en puntos representativos se ha correlacionado con la capacidad de absorción de nutrientes y, por ende, con el rendimiento productivo (Li & Qiu, 2018; Zhao & Wang, 2019). Además, la integración de suplementos dietéticos, como el butirato de sodio, ha demostrado influir positivamente en la estructura intestinal, evidenciado por incrementos en la altura de las vellosidades y mejoras en la relación vellosidad-cripta (Liu & Li, 2021).

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

La presente investigación se desarrolló en las instalaciones de la granja Avícola Agropecuaria Don Vidal, ubicada en el distrito de Santa Ana, provincia de La Convención, departamento del Cusco, a una altitud de 1,100 m.s.n.m. La zona presenta un clima tropical húmedo con temperaturas promedio anuales de 22 °C, humedad relativa del 75%, y precipitaciones concentradas entre los meses de noviembre a marzo, se localiza a una altitud aproximada de 1,050 metros sobre el nivel del mar, con coordenadas geográficas de 12°51'48" de latitud sur y 72°41'34" de longitud oeste. Esta ubicación se encuentra en la vertiente oriental de la cordillera de los Andes, en transición hacia la llanura amazónica, y se sitúa dentro de la unidad fisiográfica de la cuenca alta del río Urubamba.

El área presenta un clima tropical húmedo, con temperaturas promedio anuales cercanas a los 22 °C, alta humedad relativa y precipitaciones estacionales. Estas condiciones geoclimáticas son propicias para el desarrollo de actividades agropecuarias, incluida la producción avícola intensiva. Durante el desarrollo del experimento (octubre a noviembre de 2024), se registraron temperaturas diarias promedio de entre 21 y 26 °C, condiciones favorables para la crianza de pollos de engorde bajo sistema intensivo.

3.2. Materiales y equipos

Se utilizaron los siguientes equipos y materiales:

- Balanza digital de precisión (± 1 g) para medición de peso corporal y órganos.
- Termohigrómetro digital para el control ambiental.
- Cinta métrica flexible para mediciones intestinales.
- Mezcladora vertical de alimentos (1,000 kg).
- Implementos de limpieza, registradores manuales y fichas técnicas.
- Insumos para formulación de raciones experimentales (maíz, soya, aditivos y suplementos).
- Producto aditivo evaluado: ProPhorce SR 130® (tributirina 60%).

3.2. Instalaciones y equipos

La investigación se llevó a cabo en las instalaciones de la granja Avícola Agropecuaria Don Vidal, utilizando tres galpones comerciales diseñados para la crianza intensiva de pollos de engorde. Cada galpón contaba con una superficie de 360 m² y una capacidad instalada para 2,500 aves, cantidad que fue empleada íntegramente para cada tratamiento del estudio (Anexo 9).

Dentro de cada galpón se establecieron tres unidades experimentales de 120 m² cada una, correspondientes a las tres repeticiones por tratamiento, distribuidas de forma independiente y manejadas técnicamente como bloques separados. Esta distribución espacial permitió garantizar la replicación adecuada y el control de las condiciones ambientales. Las infraestructuras presentaban un diseño funcional con piso de concreto, techo de madera recubierto con calaminas de polipropileno y paredes laterales cerradas con mallas metálicas, protegidas adicionalmente con malla de pescador y mantas de rafia

negra, que actuaban como cortinas móviles para regular la ventilación, reducir la incidencia de vientos y evitar el ingreso de animales externos.

Durante la primera semana, se utilizaron bebederos tipo “tongo” y comederos tipo bandeja, los cuales fueron reemplazados progresivamente por bebederos automáticos y comederos lineales de aluminio, adaptados al tamaño y consumo de las aves. El acondicionamiento térmico se realizó mediante campanas de gas, manteniendo una temperatura inicial de recepción de 32 °C, con ajustes semanales conforme al crecimiento de los animales. Para el control de las condiciones ambientales, se utilizó un termohigrómetro digital, lo que permitió monitorear en tiempo real la temperatura y humedad relativa dentro de cada unidad experimental.

3.3 Animales experimentales

Para la fase experimental se utilizaron una población de 7500 pollos BB machos de un día de edad, con peso promedio de 45 g, de la línea genética COBB 500, que fueron obtenidos de la incubadora Produss San Fernando de la Ciudad de Lima. Las aves seleccionadas fueron distribuidas al azar en tres tratamientos con 3 repeticiones, empleándose en cada unidad experimental 833 pollos, obteniendo un total de 9 corrales experimentales. Esta condición se mantuvo inalterable en todos los tratamientos durante el desarrollo del experimento.

3.3.1. Población y muestra

La población experimental estuvo conformada por 7,500 pollos machos de la línea genética Cobb 500, de un día de edad, provenientes de la planta incubadora Produss San Fernando (Lima). Las aves fueron distribuidas equitativamente en tres galpones

experimentales, asignándose 2,500 aves por tratamiento, bajo condiciones homogéneas de manejo, alimentación y bioseguridad.

Para la evaluación de los parámetros productivos (peso vivo y ganancia de peso), se realizó un muestreo aleatorio simple, seleccionando 50 aves por tratamiento, extraídas de forma proporcional en las tres repeticiones de cada grupo experimental. El muestreo se ejecutó sin seguimiento individual, es decir, las aves no fueron marcadas ni identificadas a lo largo del ensayo, siendo reemplazadas aleatoriamente en cada semana de evaluación. En total, se recolectaron 150 registros productivos semanales (50 por tratamiento), lo que permitió estimar con representatividad el comportamiento zootécnico promedio de las aves sometidas a cada nivel de inclusión de tributirina, asegurando la confiabilidad estadística de los datos.

3.4 Manejo de los animales

La presentación física del alimento utilizado en el experimento fue en harina. El suministro de alimento era todos los días, evitando que los comederos estén vacíos. El alimento se proporcionó dos veces al día, llevando el control de alimento residual semanal. El cambio de agua se realizó de forma diaria previa limpieza de los bebederos.

3.5 Sanidad

Previo al inicio del experimento, se llevó a cabo la limpieza y desinfección tanto del galpón como de los equipos utilizados. Los pollos fueron vacunados contra la enfermedad de Marek en la planta de incubación. Durante el desarrollo del estudio, se aplicó la vacuna contra la enfermedad de Gumboro por vía ocular a los 8 días de edad, y a los 14 días se administró la vacuna contra Newcastle-Bronquitis por vía oral a través del agua de bebida.

Se realizó un monitoreo diario del comportamiento de las aves, con especial atención a posibles problemas de manejo y la presencia de fauna no deseada, como aves silvestres o roedores. La recolección de heces se efectuó una vez por semana, mientras que la limpieza general de las instalaciones se realizó cada dos días. Además, durante todo el experimento se garantizó la higiene de los bebederos y comederos, asegurando condiciones óptimas para el bienestar y desarrollo de los pollos.

3.6 Tratamientos

Los tratamientos evaluados fueron los siguientes:

- Tratamiento 1: Dieta con inclusión de Tributirina (0.1%).
- Tratamiento 2: Dieta con inclusión de Tributirina (0.05%).
- Tratamiento 3: Dieta control

Producto Evaluado

Tributirina comercial (Prophorce SR 130), es un producto de nueva generación basados en ácido butírico. Es un avance lógico después de las sales de ácido butírico y los productos protegidos. Se compone de tributirina al 60% (combinación de di glicérido 5% y triglicéridos 55% de ácido butírico) esto es ácido butírico unido a glicerol por enlaces covalente. La dosis en alimento de pollos es de 0.25 – 1 Kg/Tm.

3.7 Dietas experimentales

Las dietas experimentales correspondientes a las diferentes fases de crianza fueron formuladas mediante programación lineal al mínimo costo, utilizando criterios de optimización nutricional que permitieran satisfacer los requerimientos establecidos para la línea genética Cobb 500, tanto en términos de macronutrientes (energía, proteína, fibra)

como de micronutrientes esenciales (vitaminas y minerales).

El alimento y el agua fueron suministrados ad libitum durante todo el ensayo. Para fines de control del consumo, se registró semanalmente la cantidad total de alimento ofrecido y el remanente no consumido en cada unidad experimental.

La composición porcentual de ingredientes, el perfil nutricional teórico estimado y los resultados del análisis proximal de las dietas experimentales se presentan en la Tabla 2. La elaboración de las raciones se realizó en la Planta de Alimentos de la Agropecuaria Don Vidal, empleando una mezcladora vertical con capacidad de 1,000 kg, con un tiempo de mezclado de 15 minutos por lote. La incorporación de los microinsumos (vitaminas, minerales, aditivos) se efectuó de manera manual, a fin de asegurar una distribución homogénea dentro del total de la mezcla.

Tabla 2: Composición porcentual de los ingredientes y valor nutritivo calculado de las dietas experimentales.

Insumos	Pre inicio	Inicio	Crecimiento	Acabado
	1-7 días	8-21 días	22-35 días	36-49 días
Maíz amarillo duro	579.450	616.800	626.580	678.860
Torta de soya 44%	307.940	243.390	188.770	124.300
Hrn. Integral soya	60.000	100.000	150.000	165.820
Bicarbonato sodio	2.000	2.000	1.000	1.000
DI metionina	3.880	3.540	3.060	2.420
Hel lisina	3.510	3.340	2.800	2.510
Treonina	2.215	1.724	1.000	1000
Cloruro colina	1.000	1.000	0.500	0.500
Valina	4.670	2.220	1.378	0.366
Sal común	3.980	3.730	2.884	2.630
Fosfato	17.000	5.960	4.980	4.370
Secuestrante micotoxinas	3.000	2.500	2.000	2.000
Antifungico	1.000	1.000	1.000	1.000
Coccidiostato	0.600	0.600	0.500	0.500
Premezcla vitaminico mineral	2.000	1.500	1.500	1.000
Pigmentante	0.000	0.000	0.500	0.500
Fitasa	0.150	0.150	0.150	0.150
Carbonato calcio fino	9.820	9.420	9.380	9.000
Control	0.000	0.000	0.000	0.000
T2 (tributirina 0.05%)	0.500	0.500	0.500	0.500
T3 (tributirina 0.10%)	1.000	1.000	1.000	1.000
TOTAL	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00
VALOR NUTRICIONAL (calculado)				
Nutrientes	Pre-inicio	Inicio	Crecimiento	Acabado
	1-10 días	11-21 días	22-35 días	36-45 días
Energía metabolizable	2.89	3.00	3.07	3.15
Proteína	21.50	20.00	19.07	17.04
Calcio	0.96	0.80	0.75	0.73
Fosforo	0.55	5.00	0.40	0.35
Lisina dig. Aves	1.30	1.22	1.10	0.96
Metionina dig. Aves	0.68	0.63	0.58	0.49
Treonina dig. Aves	0.91	0.82	0.73	0.65

3.8 Parámetros a evaluar

3.8.1 Peso vivo y ganancia de peso

Las aves fueron pesadas tomando una muestra de 50 aves por repetición a su llegada y posteriormente se realizó de manera semanal. La ganancia de peso se determinó semanalmente por la diferencia entre el peso final y el inicial (Anexo 1).

$$\text{Ganancia de peso (g/a/semana)} = \text{Peso final (g)} - \text{Peso inicial (g)}$$

3.8.2 Consumo de alimento semanal y acumulado

El consumo de alimento se registró semanalmente por cada repetición, consistió en anotar la cantidad de alimento ofrecido al inicio de la semana de cada una de las bandejas y luego al finalizar la semana se pesaba dichas bandejas (Anexo 2).

$$\text{Consumo de alimento (g/ave/semana)} = \frac{\text{Consumo de alimento semanal (g)}}{\text{Nº pollos}}$$

3.8.3 Conversión alimenticia semanal y acumulada

Se determinará en base a los datos obtenidos sobre el consumo de alimento y peso vivo, se calculará la conversión alimenticia semanal y acumulada.

$$\text{Conversión alimenticia semanal} = \frac{\text{Consumo de alimento semanal (g)}}{\text{Ganancia de peso semanal (g)}}$$

$$\text{Conversión alimenticia acumulada} = \frac{\text{Consumo de alimento acumulado (g)}}{\text{Ganancia de peso total (g)}}$$

3.8.4 Mortalidad

Se registró diariamente de cada unidad experimental y luego se obtuvo el porcentaje de la mortalidad semanal y acumulada.

$$\text{Mortalidad semanal (\%)} = \frac{\text{Número de aves muertas} \times 100\%}{\text{Número Total de Aves}}$$

3.8.5 Costos de alimentación

Se determinó el costo del alimento para cada tratamiento considerando el consumo de alimento promedio de 42 días y el precio de cada ración por etapa de crianza.

$$\text{Costo de alimento} = AT(i) \times BT(i)$$

Donde:

A: Total consumido por etapa

B: Precio del alimento por etapa

T(i): Tratamientos 1, 2,3.

3.9 Morfometría intestinal

La medición alométrica en pollos es una herramienta clave para evaluar el crecimiento y el desarrollo de órganos en relación con el peso vivo, lo cual se ha abordado en diversos estudios (Baker, 1979; Klasing, 1998; Sklan, 2001). Estas investigaciones han demostrado que la relación entre el peso de órganos específicos como el hígado, bazo, molleja, intestino, páncreas y la Bursa de Fabricius y el peso corporal total es un indicador confiable del estado nutricional y del rendimiento productivo de las aves.

En este estudio, se adoptaron los métodos descritos en trabajos previos para realizar mediciones alométricas en pollos a los días 21 y 42 de edad. Tras un ayuno previo adecuado, se procedió al sacrificio y necropsia de una muestra representativa, extrayéndose los órganos de interés con cuidado para eliminar tejido adiposo y adherencias. Cada órgano se pesó utilizando balanzas digitales de alta precisión (± 1 g), y las mediciones se expresaron como porcentaje del peso vivo del ave, permitiendo compararlas con los patrones alométricos reportados en la literatura.

Adicionalmente, el intestino fue extendido sobre una superficie plana y se midió su longitud total con cinta métrica flexible, además de tomar medidas de diámetro en distintos segmentos para evaluar su morfometría. Estos procedimientos, alineados con los métodos descritos por (Baker, 1979), (Klasing, 1998) y (Sklan, 2001), aseguran la obtención de datos consistentes y comparables, fundamentales para interpretar el impacto de las estrategias nutricionales sobre el crecimiento y la eficiencia productiva en pollos de engorde.

3.9.1 Metodología para las mediciones alométricas

1. Selección de la muestra y preparación previa

Selección de Aves: Se seleccionaron de forma aleatoria aves representativas de cada tratamiento a los días 21 y 42, siguiendo recomendaciones de muestreo en avicultura (Klasing, 1998; Leeson & Summers, 2005).

Ayuno Previo: Las aves se sometieron a un ayuno de 8 a 12 horas antes del sacrificio para vaciar el tracto gastrointestinal y minimizar residuos en las mediciones.

2 beneficio y necropsia

Se procedió al beneficio de las aves considerando el protocolo de beneficio en aves.

Antes de la necropsia, se medirá el peso vivo final de cada ave con una balanza digital de alta precisión (± 1 g).

2. Extracción y preparación de los órganos

Extracción: Inmediatamente después del sacrificio, se realizó una necropsia sistemática para extraer los órganos de interés: Hígado, bazo, molleja y páncreas.

Intestino: Se extrae el intestino delgado (desde el duodeno hasta el íleon). Limpieza:

Cada órgano se limpia cuidadosamente para eliminar tejido adiposo y adherencias, garantizando mediciones precisas.

3. Mediciones y cálculos alométricos

Peso de los Órganos: Cada órgano se pesó inmediatamente utilizando una balanza digital.

Cálculo del peso relativo: se calculó el peso relativo de cada órgano con la siguiente fórmula:

$$\text{Peso relativo (\%)} = \left[\frac{\text{Peso del órgano (g)}}{\text{Peso vivo (g)}} \right] \times 100$$

Registro: Los datos de peso se registraron individualmente para cada ave y se calcularán promedios para cada tratamiento.

3.9.2 Mediciones de la morfometría intestinal

Extensión del intestino: el intestino extraído se extendió cuidadosamente sobre una superficie plana sin ejercer tensión excesiva.

Medición de Longitud: Se midió la longitud total del intestino usando una cinta

métrica flexible y se registrará en centímetros.

Medición del diámetro: en segmentos representativos (proximal, medio y distal), se midió el diámetro del intestino para evaluar la morfometría, utilizando un calibrador digital o una regla milimétrica.

Interpretación: Se comparó las relaciones alométricas obtenidas entre los distintos tratamientos y momentos de muestreo (días 21 y 42) para evaluar el impacto de las estrategias nutricionales sobre el crecimiento orgánico.

3.10 Diseño estadístico

Para el análisis de los datos correspondientes a los parámetros productivos (peso vivo, ganancia de peso, consumo de alimento y conversión alimenticia), así como de las variables morfométricas intestinales, se empleó un Diseño Completamente al Azar (DCA), considerando como único factor de variación el tratamiento dietario. El modelo estadístico aplicado fue un modelo aditivo lineal, expresado de la siguiente forma, según la formulación propuesta por Calzada (1982):

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

Dónde:

Y_{ij} = valor de la variable respuesta al aplicar el i -ésimo tratamiento en la j -ésima repetición.

μ = Promedio General

T_i = Efecto del i -ésimo tratamiento

ε_{ij} = Error Experimental

Posteriormente, se aplicó la prueba de comparación múltiple de Tukey para identificar diferencias significativas entre los tratamientos cuando se detectaron efectos globales significativos ($p < 0.05$). Todo el procesamiento y análisis de los datos se realizó utilizando el software estadístico InfoStat versión 2022, el cual permitió validar los supuestos del modelo y ejecutar los contrastes estadísticos correspondientes.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Respuesta productiva

4.1.1 Peso vivo y ganancia de peso

En la Tabla 2 se presentan los valores promedios de peso vivo (g/ave) de los pollos de engorde a lo largo de siete semanas, según los tratamientos evaluados. Se observó que los grupos alimentados con dietas suplementadas con tributirina (T1: 0.1% y T2: 0.05%) presentaron una tendencia a lograr pesos superiores en comparación con el grupo control (T3) en la mayoría de las semanas evaluadas.

El análisis de varianza (ANOVA) reveló diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) en todas las semanas, lo que indica que la inclusión de tributirina en la dieta influyó en la ganancia de peso de los pollos de engorde. La prueba de comparación de medias de Tukey mostró que los pollos del grupo T1 (0.1% de tributirina) alcanzaron pesos significativamente mayores en comparación con el grupo control (T3) a lo largo del periodo de estudio. Por otro lado, el grupo T2 (0.05% de tributirina) presentó una tendencia intermedia, diferenciándose significativamente del control en varias semanas, aunque sin alcanzar los valores del grupo T1 en algunas de ellas.

Desde la primera semana, se observó una diferencia significativa en el peso corporal de las aves del tratamiento T1 respecto al grupo control, mientras que el grupo T2 mostró un valor intermedio sin diferencias significativas respecto a los otros dos grupos. En la segunda y tercera semana, los tratamientos con tributirina (T1 y T2)

evidenciaron valores significativamente superiores al control ($p < 0.05$), lo que sugiere un efecto positivo temprano del aditivo sobre el crecimiento de las aves.

Los resultados obtenidos muestran que, en el transcurso del periodo experimental (49 días), se evidenció una respuesta diferenciada en la ganancia de peso final entre los tratamientos evaluados. En particular, el tratamiento T1 (dieta con tributirina al 0.1%) alcanzó la mayor ganancia de peso total (3060.8 ± 225.6 g), seguido por T2 (tributirina al 0.05%; 2878.5 ± 255.9 g, “b”), mientras que el grupo control T3 presentó la menor ganancia (2860.22 ± 170.10 g, “a”). Estas diferencias fueron estadísticamente significativas ($p < 0.05$) según el análisis de varianza y la prueba de Duncan, lo que indica que la suplementación con tributirina influye de manera positiva en el crecimiento de los pollos Cobb 500.

Tabla 2: Efecto del uso de la tributirina sobre el peso vivo y ganancia de peso (g/ave).

Parámetros	TRATAMIENTOS		
	T1	T2	T3
Peso inicial	59.83 a $\pm$ 4.5	59.02 a $\pm$ 4.24	58.60 a $\pm$ 4.39
Peso final a la 1 semana (07 días)	179.65 a $\pm$ 16.08	189.62 b $\pm$ 23.28	197.40 c $\pm$ 21.11
Peso final a la 2 semana (14 días)	457.08 c $\pm$ 46.68	447.06 a $\pm$ 36.15	450.42 b $\pm$ 44.66
Peso final a la 3 semana (21 días)	875.00 c $\pm$ 60.00	810.00 a $\pm$ 55.00	860.00 b $\pm$ 58.00
Peso final a la 4 semana (28 días)	1270.00 b $\pm$ 95.00	1220.00 a $\pm$ 90.00	1290.00 c $\pm$ 88.00
Peso final a la 5 semana (35 días)	2441.48 b $\pm$ 240.47	2447.42 c $\pm$ 238.21	2390.71 a $\pm$ 228.02
Peso final a la 6 semana (42 días)	2750.00 c $\pm$ 210.00	2700.00 b $\pm$ 225.00	2650.00 a $\pm$ 200.00
Peso final a la 7 semana (49 días)	3120.65 c $\pm$ 226.87	2937.52 b $\pm$ 255.56	2918.83 a $\pm$ 170.02
Ganancia de peso total	3060.8 c $\pm$ 225.6	2878.5 b $\pm$ 255.9	2860.22 a $\pm$ 170.10

Valores son promedio de 3 repeticiones (48 aves cada una) por tratamiento.

a,b,c; Letras diferentes en cada fila indican diferencia estadística ($p < 0.05$)

T1: Dieta con inclusión de Tributirina (0.10%).

T2: Dieta con inclusión de Tributirina (0.05%).

T3: Dieta control

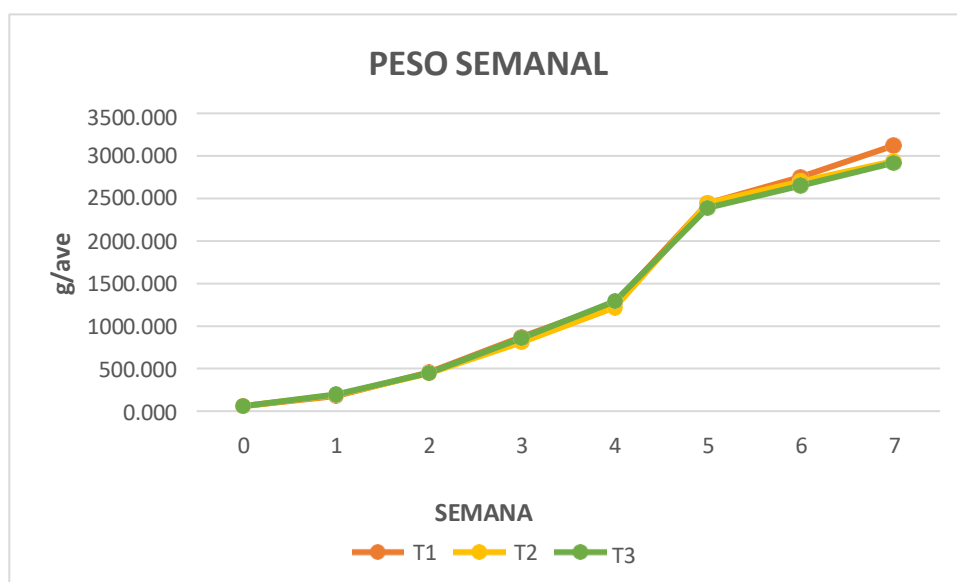
La mejora en el rendimiento productivo observada en T1 se puede explicar en función de los efectos beneficiosos del ácido butírico liberado a partir de la tributirina. (Guilloteau et al., 2010) describen que el ácido butírico favorece la integridad de la mucosa intestinal y estimula la proliferación de enterocitos, lo que incrementa la capacidad de absorción de nutrientes esenciales para el crecimiento. De igual manera, (Mallo et al., 2012) reportaron que la suplementación con butirato mejora la conversión alimenticia y la ganancia de peso en pollos, hallazgos que coinciden con lo observado en nuestro estudio, en el que la dosis del 0.1% resultó ser la más eficaz.

Por otra parte, (Delgado, 2021) encontró que niveles inferiores de tributirina (0.05%) generaban mejoras en algunos parámetros productivos, pero que la respuesta se maximiza a concentraciones del 0.1%. En nuestro estudio, T2 mostró una ganancia intermedia, lo que sugiere que, si bien la tributirina al 0.05% tiene un efecto positivo, no alcanza la magnitud de respuesta que se observa con la dosis más alta. Estos resultados también están en consonancia con lo reportado por (Gallardo, 2023), quien destacó que la inclusión de butirato o sus derivados a niveles adecuados mejora significativamente el rendimiento productivo.

Adicionalmente, estudios recientes han enfatizado el papel del ácido butírico en la modulación de la microbiota intestinal. (Wang et al., 2020) demostraron que la suplementación con butirato no solo mejora la absorción de nutrientes, sino que también favorece la proliferación de bacterias beneficiosas, lo cual repercute en una mejor salud intestinal y, por ende, en una mayor eficiencia productiva. Este mecanismo puede explicar en parte la superior ganancia de peso observada en el grupo T1.

El efecto acumulativo positivo de la tributirina al 0.1% sobre la ganancia de peso final es de gran relevancia en el contexto de la producción avícola, ya que una mayor ganancia de peso se traduce en una mayor rentabilidad. Jansen et al. (2021) han señalado que la optimización de los parámetros productivos mediante aditivos dietéticos puede mejorar significativamente el retorno de inversión en sistemas de producción intensiva. Por tanto, la inclusión de tributirina en la formulación de las dietas no solo mejora la respuesta biológica de las aves, sino que también ofrece ventajas económicas para el productor.

Figura 2: Peso semanal y peso final promedio por tratamiento (g/ave).



La Figura 2, muestra la evolución del peso semanal de las aves bajo los tres tratamientos experimentales (T1, T2 y T3) durante un período de siete semanas. Se observa un patrón de crecimiento progresivo en todas las condiciones, con diferencias en la ganancia de peso a partir de la segunda semana.

En las primeras semanas, el peso de las aves en los tres tratamientos muestra una tendencia similar, con ligeras diferencias entre los grupos. Sin embargo, a partir de la tercera semana, los tratamientos comienzan a diferenciarse de manera más notable.

Al final del período experimental (semana 7), el grupo T1 presenta el mayor peso final, seguido por T2 y T3, lo que sugiere un efecto positivo de la inclusión de tributirina en la dieta sobre el crecimiento de las aves.

El incremento de peso observado en T1 podría estar relacionado con el papel de la tributirina en la mejora de la digestibilidad de los nutrientes y la eficiencia de conversión alimenticia, lo que ha sido reportado en estudios previos (Cowan et al., 2020; Wang et al., 2021). Adicionalmente, el efecto positivo en T1 coincide con hallazgos en los que la suplementación de ácidos grasos de cadena corta y tributirina ha mostrado un impacto favorable en la microbiota intestinal y la absorción de energía (Zhang et al., 2019).

Los resultados reflejan que la inclusión de tributirina en la dieta tiene un efecto positivo sobre el crecimiento de las aves, particularmente cuando se emplea en concentraciones del 0.1%. Sin embargo, es necesario evaluar otros factores, como la eficiencia alimenticia y la salud intestinal, para comprender mejor los mecanismos subyacentes a estas diferencias.

4.1.2 Consumo de alimento

En la Tabla 3, se presentan los valores promedios de consumo de alimento (g/ave) en pollos de engorde a lo largo de seis semanas de evaluación. Se observó que el Tratamiento 1 (T1: 0.1% tributirina) registró los menores valores de consumo en comparación con los tratamientos T2 (0.05% tributirina) y T3 (control). En particular, el consumo total de alimento fue significativamente inferior en T1 (5927.86 ± 210.52 g/ave), seguido por T2 (6023.28 ± 235.78 g/ave) y T3 (6178.00 ± 245.36 g/ave), lo

que sugiere que la inclusión de tributirina en la dieta puede modular la ingesta alimenticia en función del nivel de inclusión.

Tabla 3: Efecto del uso de la tributirina sobre el consumo de alimento (g/ave)

Parámetros	TRATAMIENTOS		
	T1	T2	T3
Consumo de alimento 1 semana	161.99 a $\pm$ 15.25	162.10 a $\pm$ 20.23	161.53 a $\pm$ 14.25
Consumo de alimento 2 semana	426.69 a $\pm$ 45.50	433.07 b $\pm$ 48.63	434.83 c $\pm$ 49.52
Consumo de alimento 3 semana	648.85 b $\pm$ 53.69	641.74 a $\pm$ 58.23	648.00 b $\pm$ 53.21
Consumo de alimento 4semana	1007.42 a $\pm$ 92.68	1046.46 c $\pm$ 95.26	1023.07 b $\pm$ 93.82
Consumo de alimento 5 semana	1247.68 a $\pm$ 100.2	1249.88 a $\pm$ 98.25	1398.12 b $\pm$ 100.41
Consumo de alimento 6 semana	1200.77 a $\pm$ 102.25	1237.44 c $\pm$ 105.26	1223.82 b $\pm$ 123.23
Consumo de alimento 7 semana	1234.47 a $\pm$ 101.25	1252.59 b $\pm$ 106.25	1288.63 c $\pm$ 110.23
Consumo total	5927.86 a $\pm$ 210.52	6023.28 b $\pm$ 235.78	6178.00 c $\pm$ 245.36

a,b,c; Letras diferentes en cada fila indican diferencia estadística ($p < 0.05$)

T1: Dieta con inclusión de Tributirina (0.10%).

T2: Dieta con inclusión de Tributirina (0.05%).

T3: Dieta control

A partir de la segunda semana, se evidenció una tendencia en la que los pollos del Tratamiento 3 (control) registraron los mayores consumos, mientras que el grupo con 0.1% de tributirina (T1) mantuvo los valores más bajos en la mayoría de las semanas evaluadas. Esta diferencia fue más marcada en la quinta semana, donde T3 presentó un consumo significativamente superior (1398.12 ± 100.41 g/ave) en comparación con T1 y T2 (1247.68 ± 100.2 y 1249.88 ± 98.25 g/ave, respectivamente).

Estos resultados concuerdan con lo reportado por (Mallo et al., 2012), quienes indicaron que la suplementación con tributirina puede mejorar la eficiencia alimenticia sin necesidad de aumentar el consumo de alimento, debido a su impacto positivo en la digestión y absorción de nutrientes. De manera similar, (Bedford & Gong, 2018) señalaron que la inclusión de ácidos grasos de cadena corta, como el butirato derivado de la tributirina, optimiza la utilización de los nutrientes y reduce

el requerimiento energético para el mantenimiento, lo que podría explicar el menor consumo observado en T1.

Además, (Wang et al., 2020) describieron que la suplementación con butirato puede estimular la expresión de genes involucrados en el transporte de nutrientes en el epitelio intestinal, favoreciendo una absorción más eficiente. Esta hipótesis se refuerza con los hallazgos de (Moquet et al., 2016), quienes observaron que dietas enriquecidas con tributirina promovieron una mayor integridad de las vellosidades intestinales, aumentando la digestibilidad sin necesidad de incrementar el consumo de alimento.

Por lo tanto, la reducción en la ingesta observada en T1 no necesariamente indica un menor desempeño productivo, sino una mejor eficiencia en el aprovechamiento de los nutrientes. Este aspecto es relevante en la industria avícola, donde estrategias nutricionales dirigidas a mejorar la conversión alimenticia pueden traducirse en una mayor rentabilidad y sostenibilidad del sistema productivo (Lu et al., 2022; Hu et al., 2023).

Además, la reducción en el consumo de alimento observada en el Tratamiento 1 (0.1% de tributirina) podría estar relacionada con los efectos fisiológicos de la tributirina en la microbiota intestinal y la integridad de la mucosa digestiva. (Panda et al., 2009) señalaron que la inclusión de butirato en la dieta mejora la morfología intestinal, aumentando la altura de las vellosidades y reduciendo la profundidad de las criptas, lo que favorece la absorción de nutrientes sin necesidad de incrementar el consumo de alimento. Este efecto ha sido corroborado por (Hou et al., 2021), quienes encontraron que la suplementación con tributirina promueve el desarrollo del

epitelio intestinal, permitiendo una mayor eficiencia en la utilización de los nutrientes y, en consecuencia, una reducción en el consumo de alimento.

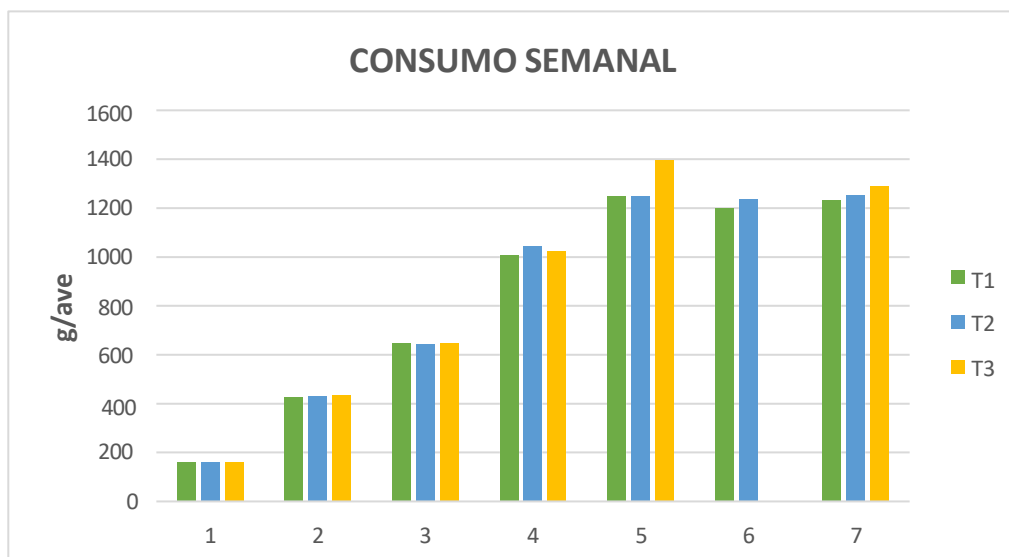
En este sentido, los resultados del presente estudio sugieren que la tributirina podría estar actuando como un modulador del metabolismo energético y la eficiencia digestiva en los pollos de engorde. (Guilloteau et al., 2010) indicaron que los ácidos grasos de cadena corta, como el butirato derivado de la tributirina, pueden influir en la expresión de genes involucrados en el metabolismo lipídico y proteico, optimizando la conversión alimenticia sin requerir un mayor consumo de alimento. Esta hipótesis se ve reforzada por los hallazgos de (Qaisrani et al., 2015), quienes observaron que dietas suplementadas con butirato mejoraron la retención de nitrógeno y la digestibilidad de la materia seca en pollos de engorde.

A nivel productivo, la reducción en el consumo de alimento en el tratamiento con 0.1% de tributirina podría representar un beneficio económico, ya que el costo de alimentación constituye uno de los principales factores en la rentabilidad de la producción avícola. Según (Aar et al., 2017), la mejora en la eficiencia alimenticia generada por la suplementación con ácidos grasos de cadena corta puede traducirse en una reducción de los costos de producción sin afectar el rendimiento de los animales.

Por otro lado, es importante destacar que, si bien el Tratamiento 1 mostró el menor consumo total de alimento, la variación en las semanas intermedias sugiere que el efecto de la tributirina sobre la ingesta podría depender de factores adicionales como la edad de las aves, la adaptación metabólica y la interacción con otros componentes de la dieta. Estudios previos, como los de (Mallo et al., 2012) y (Bedford &

Apajalahti,2018), han indicado que el impacto del butirato en la alimentación de pollos de engorde puede variar según la composición de la dieta y el microbiota presente en el tracto digestivo.

Figura 3: Consumo semanal promedio por tratamiento (g/ave)



En la Figura 3, se presenta la evolución del consumo de alimento (g/ave) en los tratamientos experimentales T1, T2 y T3 a lo largo de las siete semanas de evaluación. Los datos sugieren que la inclusión de tributirina en la dieta influye en la ingesta de alimento a lo largo del ciclo productivo. En las primeras semanas, el consumo se mantiene homogéneo entre tratamientos, mientras que, en las semanas finales, el grupo con mayor inclusión de tributirina (T3) presentó un mayor consumo total de alimento. Esto podría estar relacionado con una mayor eficiencia digestiva o una mayor demanda energética en este grupo. Estos hallazgos serán discutidos en relación con los parámetros productivos y la eficiencia de conversión alimenticia en los siguientes apartados.

Los resultados obtenidos confirman que la inclusión de tributirina en la dieta de pollos de engorde puede influir en el consumo de alimento, reduciendo la ingesta sin

comprometer el desarrollo productivo de las aves. Estos hallazgos son consistentes con la literatura científica previa y sugieren que el uso de tributirina como aditivo en la alimentación avícola podría representar una estrategia efectiva para mejorar la eficiencia alimenticia y optimizar.

4.1.3 Conversión alimenticia.

El análisis de varianza (ANOVA) realizado para la conversión alimenticia durante las siete semanas de evaluación evidenció diferencias significativas ($p < 0.05$) en algunos periodos, lo que sugiere que la inclusión de tributirina en la dieta influyó en la eficiencia de conversión del alimento. En la primera semana, se encontraron diferencias significativas entre T1 (1.17 ± 0.011) y T3 (1.35 ± 0.058), mientras que T2 (1.24 ± 0.062) presentó un valor intermedio. Este resultado indica que la inclusión de tributirina al 0.1% favorece una mayor eficiencia en el aprovechamiento del alimento en las primeras etapas de crecimiento, posiblemente debido a su efecto sobre la salud intestinal y la absorción de nutrientes (Guilloteau et al., 2010).

Tabla 4: Efecto del uso de la tributirina sobre el consumo de alimento (g/ave)

Parámetros	TRATAMIENTOS		
	T1	T2	T3
Conversión de alimento 1 semana	1.17 a ± 0.011	1.24 ab ± 0.062	1.35 b ± 0.058
Conversión de alimento 2 semana	1.54 a ± 0.062	1.68 a ± 0.076	1.72 a ± 0.041
Conversión de alimento 3 semana	1.56 a ± 0.047	1.77 a ± 0.015	1.59 b ± 0.078
Conversión de alimento 4semana	2.59 a ± 0.085	2.02 a ± 0.034	2.28 a ± 0.047
Conversión de alimento 5 semana	2.22 a ± 0.052	2.43 a ± 0.053	2.11 a ± 0.075
Conversión de alimento 6 semana	2.01 a ± 0.054	2.12 ab ± 0.08	3.06 b ± 0.048
Conversión de alimento 7 semana	1.82 a ± 0.047	2.72 a ± 0.074	2.50 a ± 0.064
Conversión de alimento total	1.94 a ± 0.045	2.09 b ± 0.021	2.16 b ± 0.08

a,b,c; Letras diferentes en cada fila indican diferencia estadística ($p < 0.05$)

T1: Dieta con inclusión de Tributirina (0.10%).

T2: Dieta con inclusión de Tributirina (0.05%).

T3: Dieta control

En la segunda y tercera semana, no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, con valores de conversión que oscilaron entre 1.54 y 1.77 ($p > 0.05$). Esto sugiere que, durante estas etapas, la capacidad digestiva de los pollos se estabiliza y la tributirina no genera un efecto diferencial marcado sobre la conversión alimenticia (Mallo et al., 2012).

Sin embargo, en la sexta semana, se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos, donde T1 (2.01 ± 0.054) y T2 (2.12 ± 0.08) registraron valores significativamente menores en comparación con T3 (3.06 ± 0.048). Estos resultados sugieren que la tributirina mejora la eficiencia alimenticia en etapas avanzadas del crecimiento, probablemente debido a su impacto en la digestión y absorción de nutrientes a nivel intestinal (Wang et al., 2020). Finalmente, en la séptima semana, no se evidenciaron diferencias significativas entre los tratamientos ($p > 0.05$), con valores de conversión que oscilaron entre 1.82 y 2.72. Esto indica que el efecto de la tributirina sobre la conversión alimenticia tiende a disminuir en la última fase del crecimiento.

Para el caso de conversión alimenticia total se reportaron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados ($p < 0.05$), donde el T1 (1.94 ± 0.045) presentó un valor significativamente menor en comparación con T2 (2.09 ± 0.021) y T3 (2.16 ± 0.08), lo que sugiere que la suplementación con tributirina al 0.1% optimiza la conversión alimenticia a lo largo del ciclo productivo. La reducción en la conversión alimenticia en T1 puede atribuirse a la capacidad de la tributirina para mejorar la digestibilidad de los nutrientes, favorecer la salud intestinal y reducir la carga de microorganismos patógenos en el tracto digestivo (Lu et al., 2022).

Estos hallazgos son consistentes con estudios previos que reportan mejoras en la conversión alimenticia cuando se utilizan ácidos grasos de cadena corta y sus derivados en la alimentación aviar (Leeson & Summers, 2005). La eficiencia alimenticia observada en T1 sugiere que la tributirina al 0.1% es una alternativa viable para mejorar la rentabilidad en la producción de pollos de engorde, reduciendo la cantidad de alimento necesario por unidad de ganancia de peso.

Desde un punto de vista fisiológico, la mejora en la conversión alimenticia podría explicarse por el efecto del butirato sobre la morfología intestinal, ya que se ha demostrado que este compuesto estimula el desarrollo de las vellosidades y la expresión de transportadores de nutrientes en el epitelio intestinal, incrementando así la eficiencia de absorción (Moquet et al., 2021). Además, (Guilloteau et al., 2010) indicaron que el butirato contribuye a la regulación del microbioma intestinal, favoreciendo el crecimiento de bacterias benéficas y reduciendo la colonización por patógenos, lo que puede traducirse en una menor demanda energética para respuestas inmunitarias y una mayor disponibilidad de energía para el crecimiento.

Los resultados obtenidos en este estudio son consistentes con investigaciones previas que han evaluado el impacto de los ácidos grasos de cadena corta y sus derivados sobre el rendimiento productivo en aves de corral. De acuerdo con (Zhang et al., 2021), la suplementación con butirato en dietas avícolas mejora la eficiencia alimenticia al promover la proliferación de enterocitos y la integridad de la mucosa intestinal, lo que optimiza la absorción de nutrientes y reduce las pérdidas energéticas.

Asimismo, las diferencias observadas en la conversión alimenticia pueden estar relacionadas con el efecto de la tributirina sobre la actividad enzimática y la

regulación del metabolismo energético. En este sentido, (Moquet et al., 2021) demostraron que el butirato de glicerol estimula la producción de enzimas digestivas en el páncreas, facilitando la descomposición de macronutrientes y mejorando su biodisponibilidad. Estos mecanismos pueden explicar la menor conversión alimenticia observada en el tratamiento con 0.1% de tributirina, lo que sugiere una mayor eficiencia en la utilización del alimento.

Por otro lado, el efecto de la tributirina sobre la microbiota intestinal también ha sido reportado como un factor determinante en la mejora del rendimiento productivo. Estudios realizados por (Guilloteau et al., 2010) y (Bedford & Gong, 2018) señalan que los ácidos grasos de cadena corta, como el butirato, desempeñan un papel clave en la modulación de la flora intestinal, favoreciendo el crecimiento de bacterias beneficiosas como *Lactobacillus* y *Bifidobacterium*, al tiempo que inhiben el desarrollo de microorganismos patógenos. Este equilibrio microbiano podría haber contribuido a una mejor salud intestinal en los pollos alimentados con tributirina, reflejándose en una conversión alimenticia más eficiente.

Desde una perspectiva económica y ambiental, la reducción en la conversión alimenticia observada con la inclusión de tributirina puede tener implicaciones positivas para la producción avícola. Una menor conversión alimenticia implica un mejor aprovechamiento del alimento, reduciendo la cantidad de insumos necesarios para obtener un peso corporal determinado y disminuyendo la excreción de nutrientes no absorbidos en las excretas, lo que a su vez minimiza el impacto ambiental de la producción avícola (Leeson & Summers, 2005).

En conclusión, los resultados del presente estudio confirman que la inclusión de tributirina en niveles de hasta 0.1% mejora significativamente la conversión

alimenticia en pollos de engorde. Esto respalda su uso como aditivo nutricional para optimizar la eficiencia del alimento y mejorar la sostenibilidad en la producción avícola. No obstante, futuras investigaciones podrían evaluar la interacción de la tributirina con otros aditivos funcionales, así como su efecto sobre la calidad de la canal y la composición de la carne, a fin de determinar su impacto integral en el desempeño productivo y la calidad final del producto avícola.

4.1.4 Mortalidad.

El análisis de la mortalidad en los tratamientos evaluados muestra que la inclusión de tributirina en la dieta influyó en la reducción de los porcentajes de mortalidad en comparación con el grupo control. Se observó que el tratamiento con el mayor nivel de tributirina (T1: 0.1%) presentó los valores más bajos de mortalidad durante todas las semanas del ensayo, con un acumulado total del 2.27%. En contraste, el grupo con menor inclusión de tributirina (T2: 0.05%) registró una mortalidad total del 3.34%, mientras que el grupo control (T3: sin tributirina) presentó la mayor mortalidad con un 4.13%.

Durante las primeras tres semanas del ensayo, la mortalidad en los tres tratamientos se mantuvo baja y sin diferencias marcadas, con valores inferiores al 0.51%. Sin embargo, a partir de la cuarta semana, se evidenció un aumento progresivo de la mortalidad, particularmente en el grupo control, lo que sugiere que la suplementación con tributirina pudo haber contribuido a mejorar la salud general de las aves y, por ende, su tasa de supervivencia. Este efecto puede atribuirse a las propiedades del butirato como fuente de energía para los enterocitos y su capacidad para modular la microbiota intestinal, reduciendo el riesgo de enteritis necrótica y otras enfermedades digestivas, como lo reportaron Bedford y Gong (2018).

Tabla 5: Efecto de la Tributirina sobre el porcentaje de mortalidad (%)

Parámetros	T1	T2	T3
Mortalidad 1 semana	0.08	0.10	0.12
Mortalidad 2 semana	0.09	0.11	0.15
Mortalidad 3 semana	0.10	0.12	0.51
Mortalidad 4semana	0.50	0.81	0.85
Mortalidad 5 semana	0.50	0.53	1.00
Mortalidad 6 semana	0.50	0.82	1.00
Mortalidad 7 semana	0.50	0.85	0.50
Mortalidad total	2.27	3.34	4.13

T1: Dieta con inclusión de tributirina (0.10%).

T2: Dieta con inclusión de tributirina (0.05%).

T3: Dieta control

Los resultados obtenidos en este estudio son consistentes con los hallazgos de (Zhang et al., 2021), quienes indicaron que la inclusión de butirato en la dieta de pollos de engorde disminuye significativamente la mortalidad, debido a su papel en la regulación de la respuesta inmune y la mejora de la integridad intestinal. (Moquet et al., 2021) también reportaron que la suplementación con tributirina redujo la incidencia de trastornos gastrointestinales y mejoró la resistencia a patógenos entéricos, lo que contribuyó a una menor tasa de mortalidad en aves de corral.

Desde una perspectiva productiva, la reducción en la mortalidad asociada con la inclusión de tributirina representa una ventaja económica para la industria avícola, ya que disminuye las pérdidas por descarte de animales y mejora la rentabilidad del sistema de producción. Adicionalmente, la menor mortalidad implica un mejor bienestar animal, lo que podría estar alineado con las nuevas tendencias de producción avícola enfocadas en prácticas sostenibles y en la reducción del uso de antibióticos como promotores de crecimiento (Guilloteau et al., 2010).

La reducción en la mortalidad también implica una mejora en la uniformidad del lote, factor determinante en la eficiencia del procesamiento industrial y en la comercialización de las aves. Investigaciones previas han demostrado que la mortalidad elevada está asociada con mayores costos de producción, debido a la necesidad de ajustes en la alimentación, eliminación de aves enfermas y mayores pérdidas económicas por descarte (Guilloteau et al., 2010). En este sentido, (Zhang et al., 2021) indicaron que la inclusión de butirato en dietas avícolas reduce la incidencia de enteritis necrótica, enfermedad que afecta la conversión alimenticia y puede incrementar la mortalidad hasta en un 50% en lotes no tratados.

Desde el punto de vista del bienestar animal, la menor mortalidad puede estar relacionada con una mejor absorción de nutrientes y una mayor capacidad de respuesta inmunológica de las aves suplementadas con tributirina. Se ha documentado que los ácidos grasos de cadena corta, como el butirato, modulan la expresión de genes involucrados en la respuesta inflamatoria, reduciendo el estrés oxidativo y promoviendo una mayor resiliencia ante desafíos sanitarios (Moquet et al., 2021).

Por otro lado, la tributirina se ha posicionado como una alternativa viable a los antibióticos promotores de crecimiento (APC), cuyo uso ha sido restringido en varias regiones debido a la creciente preocupación por la resistencia antimicrobiana (Bedford & Gong, 2018). En estudios recientes, (Liu et al., 2022) evidenciaron que la suplementación con tributirina mejora la función de la barrera intestinal y la integridad de las vellosidades intestinales, favoreciendo una mayor absorción de nutrientes y, en consecuencia, un mejor desempeño productivo y menor incidencia de enfermedades.

4.2 Mediciones alométricas

El análisis de los parámetros alométricos en pollos de engorde a los días 21 y 49 muestra una evolución significativa en el desarrollo de los órganos evaluados, influenciado por la suplementación con tributirina. En general, la inclusión de este aditivo ha sido reportada en diversos estudios como un modulador clave en el crecimiento intestinal, la eficiencia alimenticia y el desarrollo de órganos digestivos y metabólicos (Liu et al., 2022; Khan et al., 2022).

A los 21 días, se observó que la suplementación con butirato protegió el desarrollo del intestino delgado, aumentando la relación altura de vellosidades/profundidad de criptas en el duodeno, yeyuno e íleon, lo que se asocia con una mayor capacidad de absorción de nutrientes (Liu et al., 2022). Además, el incremento de la actividad enzimática (α -amilasa, lipasa y tripsina) sugiere un mejor aprovechamiento de los nutrientes desde edades tempranas, lo que favorece la ganancia de peso corporal y el desarrollo de órganos relacionados con la digestión y el metabolismo.

Para el día 49, se evidenció un aumento considerable en el peso de los órganos en los tratamientos con tributirina en comparación con el grupo control. En particular, el hígado y la vesícula aumentaron su masa, lo que puede estar relacionado con el mayor metabolismo lipídico y la producción de ácidos biliares, favoreciendo la digestión de lípidos y la eficiencia alimenticia. Esta relación ha sido documentada en estudios previos donde la suplementación con butirato mejora la función hepática y la respuesta antioxidante en pollos de engorde (Khan et al., 2022).

Asimismo, el intestino delgado mostró una mayor longitud en los tratamientos con butirato, lo que concuerda con hallazgos previos que indican que este aditivo favorece la proliferación celular en el epitelio intestinal, aumentando la capacidad de absorción de nutrientes y promoviendo el crecimiento general del ave (Liu et al., 2022). Este efecto también puede estar relacionado con la modulación del microbioma intestinal, ya que se ha demostrado que el butirato incrementa la abundancia de bacterias beneficiosas como *Firmicutes* y *Lactobacillus*, que contribuyen a la salud intestinal y la eficiencia digestiva (Khan et al., 2022).

En cuanto al desarrollo del bazo y el corazón, se observaron variaciones menores entre tratamientos, lo que sugiere que estos órganos pueden no ser tan sensibles a la suplementación con tributirina como el hígado y el intestino. Sin embargo, la literatura reporta que el butirato tiene efectos positivos en la respuesta inmune y la homeostasis metabólica, lo que podría explicar las diferencias en la ganancia de peso entre tratamientos (Liu et al., 2022).

Tabla 6: Efecto del uso de la tributirina sobre los parámetros alométricos al día 21

Tratamiento	Peso Vivo (g)	Hígado y Vesícula (g)	Bazo (g)	Molleja (g)	Corazón (g)	Peso Intestino (g)	Páncreas (g)	Longitud Intestino (cm)
T3	1290.74	36.17	2.10	33.27	8.56	59.89	3.19	161.94
T2	1357.12	38.23	3.03	35.65	6.85	76.44	3.63	179.56
T1	1265.78	38.94	3.09	35.86	6.31	76.94	3.99	183.74

Tabla 7: Efecto del uso de la tributirina sobre los parámetros alométricos al día 49

Tratamiento	Peso Vivo (g)	Hígado y Vesícula (g)	Bazo (g)	Molleja (g)	Corazón (g)	Peso Intestino (g)	Páncreas (g)	Longitud Intestino (cm)
T3	2791.68	51.89	3.57	62.79	15.39	124.94	5.31	184.49
T2	3080.38	54.25	3.69	64.56	14.52	129.95	5.90	190.21
T1	3185.12	55.34	3.72	65.61	13.75	130.02	5.90	202.31

Otro aspecto relevante es la relación entre el crecimiento del páncreas y el metabolismo enzimático en respuesta a la inclusión de tributirina. A los 21 días, se observó un incremento en el peso del páncreas en los tratamientos con mayores niveles de tributirina, lo que coincide con estudios que indican que este aditivo promueve la producción de enzimas pancreáticas clave como la lipasa y la proteasa, favoreciendo una digestión más eficiente de lípidos y proteínas (Zhang et al., 2023). Para el día 49, el páncreas continuó desarrollándose proporcionalmente al peso vivo del ave, lo que sugiere que la suplementación con tributirina mantiene un efecto sostenido en la funcionalidad digestiva.

En cuanto al peso de la molleja, se observó una tendencia al incremento conforme avanzaba la edad del ave. Aunque este órgano es fundamental en la trituración del alimento, su crecimiento podría estar relacionado con el impacto del butirato en la motilidad gastrointestinal y en la modulación del pH intestinal, factores que contribuyen a una mayor eficiencia digestiva (Hu et al., 2024). Además, el aumento del tamaño de la molleja podría estar vinculado a una mejor retención y procesamiento del alimento, optimizando la conversión alimenticia, como ha sido reportado en estudios previos sobre el uso de ácidos grasos de cadena corta en la nutrición avícola.

El análisis comparativo del peso del corazón mostró diferencias entre los días 21 y 49, aunque su incremento fue menos pronunciado en comparación con otros órganos. Esto sugiere que el efecto de la tributirina sobre el sistema cardiovascular podría no ser tan determinante como en el intestino y el hígado. Sin embargo, algunos estudios han señalado que el butirato puede mejorar la eficiencia metabólica del miocardio, al modular la utilización de sustratos energéticos y reducir el estrés oxidativo en células cardíacas (Wang et al., 2023).

Por último, la longitud del intestino presentó un aumento progresivo a lo largo del crecimiento de los pollos de engorde, siendo significativamente mayor en los tratamientos con tributirina. Esta observación es consistente con la literatura, donde se ha demostrado que el butirato estimula la proliferación celular en el epitelio intestinal, promoviendo un desarrollo más eficiente de la mucosa y facilitando una mayor absorción de nutrientes (Khan et al., 2022).

En síntesis, la comparación de los parámetros alométricos entre los días 21 y 49 confirma que la inclusión de tributirina genera un efecto positivo sobre el desarrollo de los órganos digestivos y metabólicos en pollos de engorde. Estos hallazgos refuerzan la evidencia de que el butirato es un aditivo con un alto potencial para mejorar la eficiencia productiva en la avicultura, favoreciendo no solo el crecimiento, sino también la salud intestinal y la funcionalidad metabólica del ave.

4.3 Costos de alimentación

El análisis de los costos de alimentación y rentabilidad en pollos de engorde con diferentes niveles de inclusión de tributirina (0.10%, 0.05% y tratamiento control) permitió evidenciar el impacto económico de este aditivo en la producción avícola.

Los costos de alimentación, calculados en función del consumo total de alimento por cada tratamiento, muestran una tendencia creciente desde T1 (S/17.31) hasta T3 (S/17.46). Esta diferencia, aunque mínima, indica que la inclusión del 0.10% de tributirina permitió una reducción del costo total de alimentación en comparación con el tratamiento control, lo que sugiere una mayor eficiencia en la conversión del alimento en peso vivo. Esta tendencia se debe a que el butirato de tributirina ha sido reconocido por mejorar la digestibilidad de los nutrientes y la salud intestinal de las aves, promoviendo una mejor asimilación del alimento (Moquet et al., 2018; Zhang et al., 2020).

En cuanto al peso vivo final, se observó que los pollos alimentados con 0.10% de tributirina (T1) alcanzaron el mayor peso (3120.65 g), seguidos por los del tratamiento con 0.05% (2878.50 g) y, finalmente, el tratamiento control (2860.22 g). Esta mejora en el rendimiento productivo de T1 permitió obtener el mayor precio de venta (S/29.65), lo que generó una ganancia neta superior (S/12.34), en comparación con T2 (S/9.97) y T3 (S/9.71).

El análisis del costo-beneficio refleja que, por cada sol invertido en alimentación, el tratamiento T1 generó un retorno de S/1.71, superando a T2 (S/1.57) y T3 (S/1.55). Estos resultados sugieren que la inclusión del 0.10% de tributirina optimiza la eficiencia económica del sistema de producción, lo cual concuerda con estudios previos que

reportan mejoras en la conversión alimenticia y aumento del peso vivo mediante el uso de butiratos en dietas para aves (Kaczmarek et al., 2016; Hu et al., 2022).

Tabla 8: Análisis del mérito económico y costo.

Parámetros Evaluados	T1	T2	T3
Peso Vivo (g)	3120.65	2878.50	2860.22
Precio de Venta (S/9.50 /kg)	S/29.65	S/27.35	S/27.17
Consumo de Alimento Total (g)	5936.45	6031.82	6190.52
Costo Preinicio (S/)	0.48	0.48	0.48
Costo Inicio (S/)	3.12	3.11	3.11
Costo Crecimiento (S/)	6.49	6.60	6.95
Costo Acabado (S/)	6.82	6.94	6.98
Costo Total de Alimentación (S/)	17.31	17.38	17.46
Ganancia Neta (Ingreso - Costo Alimentación) (S/)	12.34	9.97	9.71
Costo-Beneficio (Retorno por cada S/1 invertido en alimentación)	1.71	1.57	1.55

T1: Dieta con inclusión de tributirina (0.10%).

T2: Dieta con inclusión de tributirina (0.05%).

T3: Dieta control

Por otro lado, los resultados obtenidos demuestran que la inclusión de tributirina en la dieta de pollos de engorde mejora la eficiencia alimenticia y la rentabilidad del sistema productivo. La reducción del costo total de alimentación en T1 (S/17.31) en comparación con T2 (S/17.38) y T3 (S/17.46) sugiere que el uso de tributirina en niveles del 0.10% optimiza el aprovechamiento de los nutrientes, permitiendo obtener un mejor desempeño productivo con un menor costo de insumos.

Estos hallazgos coinciden con estudios previos que han evaluado el impacto de los butiratos en la alimentación avícola. Por ejemplo, (Moquet et al., 2018) indicaron que la suplementación con butiratos mejora la digestión y absorción de nutrientes, promoviendo

un crecimiento más eficiente en aves de corral. Asimismo, (Zhang et al., 2020) señalaron que el butirato favorece la integridad de la mucosa intestinal, lo que se traduce en una mejor conversión alimenticia.

Desde el punto de vista económico, el análisis de costo-beneficio confirma que la inclusión de 0.10% de tributirina en la dieta de pollos de engorde genera un mayor retorno por cada sol invertido en alimentación (S/1.71), en comparación con los tratamientos T2 (S/1.57) y T3 (S/1.55). Este resultado es crucial para los productores avícolas, ya que demuestra que la inversión en aditivos nutricionales específicos puede generar beneficios económicos significativos a largo plazo.

Además, el mayor peso vivo alcanzado en el tratamiento con 0.10% de tributirina (3120.65 g) permitió obtener un mayor ingreso por ave vendida (S/29.65), lo que refleja una ventaja competitiva en términos de rentabilidad. Esto sugiere que la tributirina no solo influye en el rendimiento biológico de los animales, sino que también mejora la eficiencia económica del sistema productivo.

Finalmente, la reducción del consumo de alimento en T1 en comparación con T3, sin afectar negativamente el crecimiento, indica que la tributirina favoreció un mejor aprovechamiento de los nutrientes, lo que podría estar relacionado con su efecto sobre la integridad intestinal y la modulación de la microbiota (Liu et al., 2021). Esto no solo tiene implicaciones económicas favorables, sino que también puede contribuir a una producción más sostenible al reducir el desperdicio de alimento.

La industria avícola busca continuamente estrategias para mejorar la eficiencia en el uso del alimento y reducir los costos de producción. En este contexto, la suplementación con butiratos representa una alternativa viable para mejorar la conversión alimenticia y la salud intestinal de las aves, factores que contribuyen directamente al rendimiento productivo y la rentabilidad del negocio.

Los resultados obtenidos en este estudio respaldan la viabilidad de incluir tributirina en dietas comerciales para pollos de engorde, particularmente en sistemas donde el costo del alimento representa el mayor porcentaje del gasto total de producción. La capacidad de este aditivo para mejorar la conversión alimenticia y reducir el costo total de alimentación podría tener implicaciones importantes en la sostenibilidad de la producción avícola a nivel industrial.

CAPITULO V

CONCLUSIONES

1. Efecto sobre los parámetros productivos:

- La inclusión de tributirina al 0.1% (T1) en la dieta de pollos de engorde Cobb 500 mejoró significativamente los indicadores productivos, evidenciando un mayor peso vivo final (3120.65 g) y ganancia de peso total (3060.8 g) en comparación con el tratamiento control (T3: 2860.22 g). Asimismo, se observó una reducción en el consumo de alimento (5927.86 g/ave) y una mejora en la conversión alimenticia (1.94 vs. 2.16), lo que refleja una mayor eficiencia en la utilización de los nutrientes. Además, la mortalidad acumulada fue menor en T1 (2.27%) frente al grupo control (4.13%), lo que sugiere un efecto positivo sobre la salud intestinal y la resiliencia fisiológica de las aves.

2. Medidas alométricas:

- Los resultados alométricos demostraron que los pollos suplementados con tributirina (T1) desarrollaron significativamente sus órganos digestivos, destacando una mayor longitud intestinal (202.31 cm) y un mayor peso relativo del hígado (55.34 g) respecto al tratamiento control (184.49 cm y 51.89 g, respectivamente). Estos hallazgos respaldan el efecto beneficioso del butirato liberado por la tributirina, promoviendo la proliferación de vellosidades intestinales, mejorando la superficie absorbente y favoreciendo la modulación enzimática para una digestión más eficiente.

3. Viabilidad económica:

Desde un enfoque económico, el tratamiento con 0.1% de tributirina (T1) presentó la mejor rentabilidad, con una relación beneficio/costo de S/1.71 por sol invertido y una ganancia neta de S/12.34, superando al tratamiento control (S/1.55). La mejora en la eficiencia alimenticia, el aumento del peso final y la reducción en la mortalidad contribuyeron a un mejor desempeño económico del sistema, lo que justifica la inclusión de tributirina como una estrategia nutricional viable y rentable en sistemas de producción avícola intensiva.

RECOMENDACIONES

1. Incluir tributirina al 0.1% en dietas de pollos Cobb 500 para optimizar el peso vivo, la conversión alimenticia y la rentabilidad económica, especialmente en sistemas de producción intensiva.
2. Analizar el efecto de la tributirina en otras líneas genéticas (Ross 308, Hubbard) y especies avícolas (gallinas ponedoras, pavos), así como en etapas específicas (inicio, crecimiento, acabado).
3. Estudiar el impacto en la calidad de la carne (perfil lipídico, textura) y parámetros inmunológicos (respuesta a vacunas, niveles de anticuerpos).
4. Combinar tributirina con otros aditivos (probióticos, prebióticos, enzimas) para potenciar sinérgicamente la salud intestinal y la eficiencia alimenticia.
5. Realizar investigaciones con el uso de otros ácidos orgánicos de cadena corta como alternativa a los promotores de crecimiento.

BIBLIOGRAFIA

- Abdelqader, I., & Al-Fataftah, M. (2016). Efecto del butirato dietético sobre la microbiota intestinal y el crecimiento en pollos de engorde.
- Abdollahi, M. R., Ravindran, V., & Svihus, B. (2013). Paletización de dietas para pollos de engorde: Una visión general con énfasis en la calidad y el valor nutricional de los pellets. *Ciencia y Tecnología de Alimentos para Animales*, 179(1-4), 1-23.
- Apajalahti, J., & Kettunen, A. (2002). Microbiota y su papel en el tracto gastrointestinal de las aves. *Revista de Investigación Avícola Aplicada*, 11(4), 453-463.
- Bedford, M. R., & Gong, J. (2018). Implicaciones del butirato y sus derivados para la salud intestinal y el rendimiento en aves de corral. *Revista Mundial de Ciencias Avícolas*
- Cherrington, C. A., Hinton, M., Mead, G. C., & Chopra, I. (1990). Organic acids: Chemistry, antibacterial
- Cobb-Vantress. (2020). Cobb 500: Suplemento nutricional y para el rendimiento de pollos de engorde
- Delgado Palma, D. (2021). Comparativo entre la Tributirina y Butirato sódico sobre la respuesta productiva y la morfometría de vellosidades intestinales en pollos de carne [Tesis de pregrado]. Repositorio Institucional, Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Edmonds, M. S., Izat, A. L., & Colibao, P. (2014). Efectos del butirato de sodio en la dieta sobre el rendimiento de los pollos de engorde.
- Elnesr, S. S., Alagawany, M., Elwan, H. A. M., Farag, M. R., & Fathi, M. A. (2019). Ampliando horizontes en la suplementación con butirato de sodio en la salud y nutrición de las aves de corral.

Eshak, M. G., Elmenawey, M. A., Atta, A., Gharib, H. B., Shalaby, B., & Awaad, M. H. FAO. (2021). El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Organización de las

Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

Fernández-Rubio, C. (2009). Actividad antimicrobiana del butirato contra patógenos gramnegativos.

Gabriel, I., Mallet, S., & Leconte, M. (2006). Microflora of the digestive tract: Critical factors and consequences for poultry. *World's Poultry Science Journal*, 62(3), 499–511.

Gálfe, P. (2011). Butirato y su papel en la salud intestinal. *Revista de Ciencia Animal*.
Gallardo Yarleque, F. (2023). Impacto del butirato en la respuesta productiva en pollos de engorde. *Revista de Nutrición Avícola*.

Gauthier, R. (2002). Intestinal health, the key to productivity (The case of organic acids). *Proceedings of the 12th European Poultry Conference*, 1–6.

Gilbert, E. R., Li, H., Emmerson, D. A., Webb, K. E., Jr., & Wong, E. A. (2008). Developmental regulation of nutrient transporter and enzyme mRNA abundance in the small intestine of broilers. *Poultry Science*, 87(12), 2600–2610.

Guilloteau, P., et al. (2010). Butirato e intestino: Modulación de la función intestinal en la salud y la enfermedad.

Guilloteau, P., Martin, L., Eeckhaut, V., Ducatelle, R., Zabielski, R., & Van Immerseel, F. (2006). Del intestino a los tejidos periféricos: Los múltiples efectos del butirato.

Guilloteau, P., Martin, L., Eeckhaut, V., Ducatelle, R., Zabielski, R., & Van Immerseel, F. (2010). From the gut to the peripheral tissues: The multiple effects of butyrate. *Nutrition Research Reviews*, 23(2), 366–384.

Hu, C., Wang, L., Li, L., & Zhang, Y. (2024). Efectos de la suplementación con butirato en la morfología intestinal, la actividad enzimática digestiva y la composición de la microbiota en pollos de engorde.

- Hu, X., Guo, Y., & Zhang, Z. (2022). Efectos de la suplementación con butirato en el crecimiento y la salud intestinal de pollos de engorde.
- Hu, Z., & Guo, Y. (2007). Efectos de la suplementación dietética con butirato de sodio sobre la estructura morfológica intestinal, la función de absorción y la flora intestinal en pollos. *Ciencia y Tecnología de la Alimentación Animal*.
- Jansen, M., Lensing, M., & van der Klis, J. D. (2021). Viabilidad económica de la tributirina en la producción de pollos de engorde.
- Jerzsele, Á. (2011). Eficacia del butirato de sodio combinado con aceites esenciales contra bacterias grampositivas. *Revista de Fisiología y Nutrición Animal*.
- Kaczmarek, S. A., Barri, A., Hejdysz, M., & Rutkowski, A. (2016). Efecto de diferentes dosis de ácido butírico recubierto sobre el crecimiento y la utilización de energía en pollos de engorde.
- Khan, A., Khan, M. Z., & Wang, C. (2022). La suplementación con butirato mejora la salud intestinal y el crecimiento del ganado: una revisión. *Biomoléculas*, 15(1), 85.
- Koutsos, E. A. (2006). Morfología y fisiología del tracto digestivo de las aves de corral.
- Liu, L., Chen, L., & Zhang, H. (2017). El butirato de sodio químicamente protegido mejora el crecimiento, el desarrollo temprano y la función del intestino delgado en pollos de engorde, como un sustituto eficaz de los antibióticos.
- Lum, J., Smith, A., & Johnson, B. (2018). Efectos comparativos del butirato de sodio y la tributirina en el rendimiento de los pollos de engorde.
- M'Sadeq, S. A., Wu, S., Swick, R. A., & Choct, M. (2018). La tributirina dietética reduce la enteritis necrótica en pollos de engorde.
- Mahdavi, R., & Torki, M. (2009). Estudio sobre el periodo de uso de ácido butírico protegido en la dieta, su impacto en el rendimiento, las características de la canal, los niveles séricos de metabolitos y la respuesta inmunitaria humoral de pollos de engorde.

- Mallo, J. J. (2010). Impacto del butirato de sodio en la conversión alimenticia de pollos de engorde.
- Montejo, L., Balvin, D., & Restrepo, G. M., & Ruiz, J. D. (2023). Eficiencia de la inclusión de butirato protegido en la dieta de pollos de engorde y su impacto en parámetros zootécnicos, histopatológicos y mediciones alométricas.
- Moquet, P. C. A., Salazar-Villanea, S., den Hartog, L. A., & Verstegen, M. W. (2018). Butirato y su papel en la función intestinal y la salud de los pollos de engorde. *Revista Mundial de Ciencias Avícolas*, 74(3), 419-432.
- Oliveira, M., Pelicano, E., & Paul, P. (2008). Efectos sinérgicos de los ácidos orgánicos y los prebióticos en la salud intestinal de los pollos de engorde. *Ciencia y Tecnología de la Alimentación Animal*, 145(1-4), 123-135.
- Ortiz, L. T. (2014). Mecanismos fisiológicos del butirato exógeno en el ganado. *Ciencia y Tecnología de Alimentos para Animales*.
- Pluske, J. R. (1996). Desarrollo epitelial y absorción de nutrientes en monogástricos. Ros, J. (2015). Tributirina: Una nueva fuente de ácido butírico para la nutrición animal. *rendimiento de pollos de engorde infectados con enteritis necrótica mediante análisis de expresión génica.*
- Revista de Investigación Avícola Aplicada*, 15(2), 243-255.
- Leeson, S., & Summers, J. D. (2005). Nutrición avícola comercial. *Revista de Nutrición Animal*.
- Sánchez, C. J., Fernández-Rubio, C., & Cuesta, A. (2011). Actividad antimicrobiana de los glicéridos de butirato contra *Salmonella* spp.
- Sell, D. R. (1997). Compensatory growth in poultry: A review. *Poultry Science*, 76(8), 1301–1307.
- Sharma, N., Choct, M., & Wu, S. B. (2009). Efectos de la tributirina en la calidad de la carne y la salud intestinal de pollos de engorde.

- Smirnov, A., Tako, E., Ferket, P. R., & Uni, Z. (2006). Mucin gene expression and mucin content in the chicken intestinal goblet cells are affected by in ovo feeding of carbohydrates. *Poultry Science*, 85(4), 669–673.
- Smith, M. W., Mitchell, M. A., & Peacock, M. A. (1999). Effects of genetic selection on growth rate and intestinal structure in the domestic fowl (*Gallus domesticus*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 123(1), 71–78.
- Tona, K., Onagbesan, O., De Ketelaere, B., Decuyper, E., & Bruggeman, V. (2005). Effects of age of broiler breeders and egg storage on egg quality, hatchability, chick quality, chick weight, and chick posthatch growth to forty-two days. *Journal of Applied Poultry Research*, 14(1), 10–16.
- Uni, Z., Smirnov, A., & Sklan, D. (2003). Pre- and posthatch development of goblet cells in the broiler small intestine: Effect of delayed access to feed. *Poultry Science*, 82(2), 320–327.
- Van Immerseel, F., De Buck, J., & Haesebrouck, F. (2002). Bacterias anaerobias productoras de ácido butírico como un nuevo enfoque probiótico para el tratamiento de la enfermedad inflamatoria intestinal.
- Vázquez-Mendoza, O. V., Zárate-Domínguez, J., & Vázquez-Mendoza, P. (2019). Efecto del Butirato Sódico parcialmente protegido en parámetros productivos de pollos de engorde en granjas comerciales del sureste y occidente de México.
- Wang, J., Li, Y., & Wang, X. (2020). Efectos de la tributirina en el rendimiento del crecimiento, las características de la canal y la salud intestinal de pollos de engorde.
- Wang, X., Zhao, Y., & Chen, J. (2023). Impacto de los ácidos grasos de cadena corta en la función cardíaca y la salud metabólica de las aves de corral.
- Wang, Y., et al. (2020). Suplementación dietética de butirato en aves de corral: Efectos

sobre el desarrollo intestinal y el crecimiento. Ciencia y Tecnología de Alimentos para Animales.

- Wielsma, J. (2015). Managing gut health – a key challenge in ABF broiler production. The Poultry Site. Recuperado de <https://www.thepoultrysite.com/articles/managing-gut-health-a-key-challenge-in-abf-broiler-production>
- Yegani, M., & Korver, D. R. (2010). Factors affecting intestinal health in poultry. Poultry Science, 87(10), 2052–2063.
- Zhang, B., Lv, Z., & Li, G. (2020). La suplementación con butirato mejora la función de la barrera intestinal, modula la microbiota intestinal y mejora el rendimiento en pollos de engorde. Nutrición Animal, 6(4), 404–411.
- Zhang, H., Sun, J., & Liu, X. (2023). Adaptaciones pancreáticas a la suplementación con butirato en dietas para pollos de engorde: Efectos sobre la actividad enzimática digestiva y la absorción de nutrientes.
- Zhang, W. H., Jiang, Y., Zhu, Q. F., Gao, F., Dai, S. F., Chen, J., & Zhou, G. H. (2019). El butirato de sodio mantiene el rendimiento del crecimiento regulando la respuesta inmunitaria en pollos de engorde.
- Zhang, X., et al. (2019). Impacto de los aditivos a base de butirato en la salud intestinal y el rendimiento en aves de corral.

ANEXOS

ANEXO 1:

Tabla 9: Peso vivo promedio semanal por tratamiento y repetición (g/ave)

TRATAMIENTO	REPETICION	PESO INICIAL	SEMANA						
			1	2	3	4	5	6	7
T1	T1-R1	60.63	181.50	458.81	871.19	1317.50	1893.19	2550.44	3198.81
	T1-R2	61.38	180.50	469.25	850.56	1252.44	1764.19	2407.19	3120.50
	T1-R3	57.63	176.94	443.19	906.38	1241.31	1849.44	2366.81	3042.63
T2	T2-R1	58.50	193.13	457.81	830.50	1355.31	1887.00	2562.63	3032.25
	T2-R2	57.81	181.06	444.31	820.81	1300.94	1936.25	2464.88	2815.25
	T2-R3	60.75	194.69	439.06	776.19	1332.13	1753.38	2314.75	2965.06
T3	T3-R1	58.94	197.31	435.06	893.38	1294.44	2020.25	2509.69	2931.00
	T3-R2	59.81	192.31	462.00	872.88	1348.81	2018.13	2348.69	2913.25
	T3-R3	57.06	202.56	454.19	820.19	1300.56	1904.81	2313.75	2912.25

T1: Dieta con inclusión de Tributirina (0.10%).

T2: Dieta con inclusión de Tributirina (0.05%).

T3: Dieta control

ANEXO 2

Tabla 10: Consumo de alimento promedio semanal por tratamiento y repetición (g/ave)

TRATAMIENTO	REPETICION	SEMANA							
		1	2	3	4	5	6	7	TOTAL
T1	T1-R1	162.00	427.00	649.70	1011.40	1248.30	1202.20	1235.20	5935.80
	T1-R2	161.85	426.58	648.64	1000.50	1247.52	1200.10	1238.20	5923.39
	T1-R3	162.12	426.50	648.20	1010.35	1247.22	1200.00	1230.00	5924.39
T2	T2-R1	162.50	433.60	642.10	1047.30	1244.90	1239.60	1250.00	6020.00
	T2-R2	162.00	432.60	641.25	1045.50	1246.50	1238.52	1254.42	6020.79
	T2-R3	161.80	433.00	641.87	1046.58	1258.23	1234.21	1253.35	6029.04
T3	T3-R1	163.10	434.80	647.80	1022.90	1396.10	1218.70	1285.00	6168.40
	T3-R2	160.24	435.50	648.20	1023.54	1400.00	1220.56	1284.57	6172.61
	T3-R3	161.25	434.20	648.00	1022.78	1398.25	1232.20	1296.32	6193.00

T1: Dieta con inclusión de Tributirina (0.10%).

T2: Dieta con inclusión de Tributirina (0.05%).

T3: Dieta control

ANEXO 3

Tabla 11: Conversión de alimento promedio semanal por tratamiento y repetición.

TRATAMIENTO	REPETICION	SEMANA							
		1	2	3	4	5	6	7	TOTAL
T1	T1-R1	1.340	1.540	1.576	2.266	2.168	1.829	1.905	1.891
	T1-R2	1.359	1.477	1.701	2.490	2.438	1.866	1.736	1.936
	T1-R3	1.359	1.602	1.399	3.017	2.051	2.319	1.820	1.985
T2	T2-R1	1.207	1.638	1.723	1.996	2.341	1.835	2.662	2.024
	T2-R2	1.314	1.643	1.703	2.178	1.962	2.343	3.580	2.183
	T2-R3	1.208	1.772	1.904	1.883	2.987	2.199	1.927	2.076
T3	T3-R1	1.179	1.829	1.413	2.550	1.923	2.490	3.050	2.148
	T3-R2	1.209	1.615	1.578	2.151	2.092	3.692	2.275	2.163
	T3-R3	1.108	1.726	1.770	2.129	2.314	3.013	2.166	2.169

T1: Dieta con inclusión de Tributirina (0.10%).

T2: Dieta con inclusión de Tributirina (0.05%).

T3: Dieta control

ANEXO 4

Tabla 12: Medidas alométricas por tratamiento al día 21 y 49 (g)

TRATAMIENTOS	DIA 21					
T3	Peso vivo	1156.2	1298.52	1299.25	1310.52	1389.23
T3	Higado y vesicula	35.020	36.230	35.800	37.580	36.210
T3	Baso	2.120	2.050	2.100	2.100	2.130
T3	Molleja	32.250	33.140	32.560	34.890	33.520
T3	Corazon	8.230	8.240	9.020	8.340	8.980
T3	Peso intestino	72.560	72.350	73.210	73.890	7.420
T3	Pancreas	3.200	2.980	3.050	3.240	3.500
T3	longitud del intestino (cm)	161.580	162.300	163.250	160.230	162.350
T2	Peso vivo	1366.25	1251.48	1270.58	1471.89	1425.38
T2	Higado y vesicula	38.56	37.89	38.25	38.24	38.21
T2	Baso	2.98	3.05	3.1	2.95	3.08
T2	Molleja	36.05	34.56	36.21	35.89	35.54
T2	Corazon	6.50	6.80	7.02	6.89	7.05
T2	Peso intestino	76.25	75.89	76.24	76.8	77.02
T2	Pancreas	4.05	3.12	3.64	3.54	3.78
T2	longitud del intestino (cm)	180.23	178.25	1.79.85	180.21	179.25
T1	Peso vivo	1240.52	1235.68	1315.82	1230.87	1306
T1	Higado y vesicula	39.21	38.52	38.74	39.05	39.20
T1	Baso	3.00	3.05	3.12	3.21	3.08
T1	Molleja	35.89	36.24	36.89	35.21	35.06
T1	Corazon	6.18	6.32	6.45	6.40	6.20
T1	Peso intestino	77.52	76.21	76.48	76.98	77.52
T1	Pancreas	3.89	4.12	3.86	3.95	4.12
T1	longitud del intestino (cm)	185.21	182.36	184.65	184.23	182.24

TRATAMIENTO	DIA 49							
T3	Peso vivo	2585.26	2580.21	2839.65	2880.24	2980.52	2976.24	2882.63
T3	Higado y vesicula	50.25	51.24	52.68	54.87	52.36	52.36	51.48
T3	Baso	3.50	3.80	3.47	3.87	3.68	3.48	3.21
T3	Molleja	63.21	62.14	61.24	63.05	62.55	61.78	62.58
T3	Corazon	15.85	15.24	15.2	15.34	15.84	15.24	15.98
T3	Peso intestino	120.35	123.87	124.56	124.78	121.3	125.74	126.95
T3	Pancreas	5.25	5.23	5.55	5.41	5.21	5.18	5.34
T3	longitud del intest	185.69	180.54	184.55	187.2	185.21	182.2	184.21
T2	Peso vivo	3028.23	2977.53	2998.54	3258.54	2990.24	3050.54	3260.54
T2	Higado y vesicula	54.21	54.28	54.69	54.63	53.48	54.78	53.69
T2	Baso	3.8	3.65	3.54	3.64	3.87	3.56	3.78
T2	Molleja	64.58	63.85	64.51	65.02	64.89	64.21	64.87
T2	Corazon	14.52	14.58	14.28	14.89	15.21	14.98	14.21
T2	Peso intestino	127.85	128.65	129.32	130.05	131.25	129.65	127.89
T2	Pancreas	5.89	6.00	5.98	5.57	5.87	5.92	6.05
T2	longitud del intest	195.55	187.23	183.21	182.54	190.36	188.36	198.24
T1	Peso vivo	3322.52	3152.25	3158.95	3252.58	3154.52	3005.26	3154.78
T1	Higado y vesicula	55.23	55.48	55.78	54.98	56.21	55.48	55.24
T1	Baso	3.85	3.72	3.65	3.78	3.62	3.71	3.7
T1	Molleja	65.2	64.21	66.32	65.48	66.77	65.78	65.48
T1	Corazon	14.23	13.52	13.65	13.33	12.98	13.54	14.01
T1	Peso intestino	130.21	129.85	129.56	130.25	130.1	129.98	130.24
T1	Pancreas	6.21	5.58	5.69	5.78	6.11	5.96	5.98
T1	longitud del intest	198.85	205.21	201.11	200.52	210.24	198.55	204.21

	Peso de carcasa		
		1	2
T1	Peso pecho	856 g	840 g
	Peso alas	501 g	442 g
	Peso piernas	1059 g	878 g
	Peso 1 pierna	530 g	427 g
T2	Peso pecho	630 g	775 g
	Peso alas	424 g	435 g
	Peso piernas	755 g	788 g
	Peso 1 pierna	383 g	395 g
T3	Peso pecho	642 g	680 g
	Peso alas	386 g	407 g
	Peso piernas	735 g	791 g
	Peso 1 pierna	386 g	404 g

ANEXO 5

Anova y prueba de tukey para peso vivo final

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ²	Aj	CV
PESO FINAL	9	0.67	0.56	2.63	

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	74613.19	2	37306.59	6.03	0.0366
TRATAMIENTO	74613.19	2	37306.59	6.03	0.0366
Error	37100.85	6	6183.47		
Total	111714.04	8			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=196.99938

Error: 6183.4746 gl: 6

TRATAMIENTO Medias n E.E.

T3	2918.83	3	45.40	A
T2	2937.52	3	45.40	A B
T1	3120.65	3	45.40	B

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

ANEXO 6

Anova y prueba de tukey para consumo de alimento total

Variable	N	R ²	R ²	Aj	CV
Consumo total	9	0.99	0.99	0.15	

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	95616.37	2	47808.18	583.72	<0.0001
TRAT	95616.37	2	47808.18	583.72	<0.0001
Error	491.41	6	81.90		
Total	96107.78	8			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=22.67235

Error: 81.9023 gl: 6

TRAT Medias n E.E.

T1	5927.86	3	5.23	A
T2	6023.28	3	5.23	B
T3	6178.00	3	5.23	C

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

ANEXO 7

Anova y prueba de tukey para conversión de alimento total

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R²</u>	<u>R² Aj</u>	<u>CV</u>
CONVERSION TOTAL	9	0.82	0.76	2.60

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo	0.08	2	0.04	13.65	0.0058
TRATA	0.08	2	0.04	13.65	0.0058
Error	0.02	6	2.9E-03		
Total	0.10	8			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.13465

Error: 0.0029 gl: 6

TRATA Medias n E.E.

T1	1.94	3	0.03	A
T2	2.09	3	0.03	B
T3	2.16	3	0.03	B

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

Ficha técnica de la Tributirina comercial.

ProPhorce™ SR 130

Unrivaed butyric acid power

Ficha técnica

Composición	Unidades	Valor típico ¹		
Tri y di-glicéridos de ácido butírico	peso %	62%		
Silica	peso %	<38%		
Glycerin	peso %	<1.00%		
Características	Unidades	Valor típico ²		
Ác. Butírico (hidrolizado)	peso %	53%		
Aspecto	Polvo blanco-amarillento			
Valor nutricional	Valor calculado ¹			
E. neta cerdos (CVB)	MJ/kg	10.67		
E. metabol. aves (CVB)	MJ/kg	13.56		

1. Valores típicos son a título informativo y no son parte de las especificaciones del producto.

2. Métodos analíticos disponibles por petición.

Recomendaciones de uso

Tipo de producción	Kg/MT pienso			
Avicultura de carne	0.25-1.0			
Ponedoras/Reproductoras	0.5-1.0			
Lechones	1.0-2.0			
Cerdas	1.0	Lactación		
Terberos	1-4			

ANEXO 9

Material fotográfico



Instalaciones de la granja Avícola Agropecuaria Don Vidal



Pesaje de pollos línea genética COBB 500



Medición alométrica en pollos (hígado, bazo, molleja, intestino, páncreas y la bursa de fabricio y el peso corporal)



Peso del pollo por partes (pechuga, muslo, ala, pierna)