



UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR

Facultad de Ciencias Agropecuarias Recursos Naturales y del Ambiente

Carrera de Medicina Veterinaria

Tema:

**“EVALUACIÓN DE DOS SUBPRODUCTOS VEGETALES TOMATE
(*Solanum lycopersicum*) Y BROCOLI (*Brassica oleracea var.italica*) ZONA
INMUNITARIA EN POLLOS BROILER”**

Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de Médica Veterinaria otorgado por la Universidad Estatal de Bolívar a través de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente, Carrera de Medicina Veterinaria

Autora:

LEIDY VALERIA GARCIA ARGUELLO

Tutor:

Dr. FREDY RODRIGO GUILLIN NÚÑEZ MSc.

Guaranda – Ecuador

2026

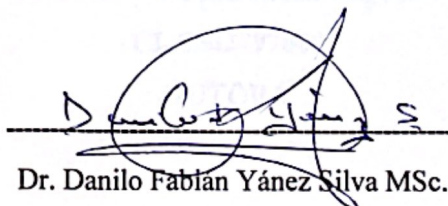
**EVALUACIÓN DE DOS SUBPRODUCTOS VEGETALES TOMATE
(*Solanum lycopersicum*) Y BRÓCOLI (*Brassica oleracea* var. *italica*) ZONA
INMUNITARIA EN POLLOS BROILER.**

REVISADO Y APROBADO POR:



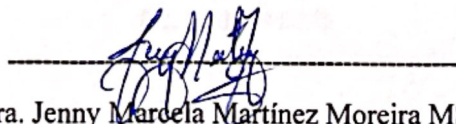
Dr. Fredy Rodrigo Guillin Núñez MSc.

TUTOR



Dr. Danilo Fabián Yáñez Silva MSc.

PAR LECTOR



Dra. Jenny Marcela Martínez Moreira MSc.

PAR LECTOR

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Leidy Valeria Garcia Arguello con CI: 0202497020, declaro que el trabajo y los resultados presentados en este informe, no han sido previamente presentados para ningún grado o calificación profesional; y que las referencias bibliográficas que se incluyen han sido consultadas y citadas con su respectivo autor (es).

La Universidad Estatal de Bolívar, puede hacer uso de los derechos de publicación correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, su Reglamentación y la Normativa Institucional vigente.

Srta. Leidy Valeria Garcia Arguello

CI. 0202497020

AUTORA

Dr. Fredy Rodrigo Guillin Núñez MSc.

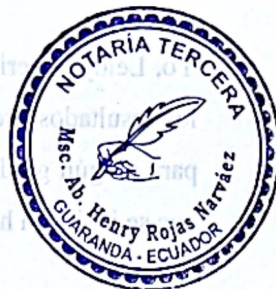
CI. 0201091493

TUTOR





Notaria Tercera del Cantón Guaranda
Msc. Ab. Henry Rojas Narvaez
Notario



....rio

Nº ESCRITURA: 20260201003P01587

DECLARACION JURAMENTADA

OTORGADA POR:

GARCIA ARGUELLO LEIDY VALERIA

CUANTIA:

INDETERMINADA

DI:

2 COPIAS

J.G.

Factura: 001-003-000000444

En la ciudad de Guaranda, capital de la provincia Bolívar, República del Ecuador, hoy veintinueve de mayo del dos mil veintiséis, ante mi Abogado **HENRY ROJAS NARVAEZ**, Notario Público Tercero del Cantón Guaranda, comparece: **GARCIA ARGUELLO LEIDY VALERIA**, casada, celular 0993450119, domiciliado en este cantón Guaranda, por sus propios y personales derechos, La compareciente es de nacionalidad ecuatoriana, mayor de edad, hábil e idónea para contratar y obligarse a quien de conocerla doy fe en virtud de haberme exhibido sus documentos de identificación y con su autorización se ha procedido a verificar la información en el Sistema Nacional de Identificación Ciudadana, además autoriza el tratamiento de sus datos personales en este protocolo, bien instruido por mí el Notario con el objeto y resultado de esta escritura pública a la que procede libre y voluntariamente, advertida de la gravedad del juramento y las penas de perjurio, me presenta su declaración Bajo Juramento que dice: Declaro que el presente trabajo de investigación titulado: **"EVALUACIÓN DE DOS SUBPRODUCTOS VEGETALES TOMATE (*Solanum lycopersicum*) Y BROCOLI (*Brassica oleracea var.italica*) ZONA INMUNITARIA EN POLLOS BROILER"**. Es de mi exclusiva responsabilidad en calidad de AUTORA, previo a la obtención de título de Médica Veterinaria en la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente, de la Universidad Estatal de Bolívar. Es todo cuanto podemos declarar en honor a la verdad, la misma que la hacemos para los fines legales pertinentes. **HASTA AQUÍ LA DECLARACIÓN JURADA**. La misma que elevada a escritura pública con todo su valor legal. Para el otorgamiento de la presente escritura pública se observaron todos los preceptos legales del caso, leída que les fue a los comparecientes por mí el Notario en unidad de acto, queda incomparada al protocolo de esta notaria aquellos se ratifican y firman conmigo de todo lo cual doy Fe.

GARCIA ARGUELLO LEIDY VALERIA

C.C. 0202497020

AB. HENRY ROJAS NARVAEZ

NOTARIO PUBLICO TERCERO DEL CANTON GUARANDA





TESIS VALERIA GARCIA 25 DE MAYO

ID : 806ec1632d5a2e236853cc3dd744d9f27fd6ef9d



7%

Textos sospechosos

Nombre del fichero : TESIS VALERIA GARCIA 25 DE MAYO.txt

Tamaño del archivo original : 8,17 MB

Número de palabras : 26.448

Número de caracteres : 176483

Depositante : VICTOR ALEJANDRO BOSQUEZ BARCENES

Fecha de depósito : 25 de mayo de 2026

Tipo de carga : interface

Fecha de fin de análisis : 25 de mayo de 2026

Resumen (sección 1/2)

Localización de los textos sospechosos en el documento :



Incluido en el porcentaje de textos sospechosos :

Similitudes 3%

Pasajes con similitudes a fuentes encontradas en diferentes colecciones.



Detección de IA 2%

Textos estilísticamente próximos a un texto generado por una IA.

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



Idiomas no reconocidos 4%

Pasajes en los que parte del vocabulario utilizado no forma parte del diccionario de la lengua.

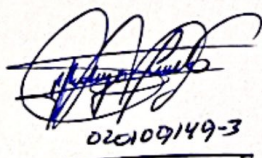
Puede tratarse de un intento del autor de modificar el texto para evitar ser detectado.



No incluido en el porcentaje de textos sospechosos :

Textos entre comillas <1%

Pasajes entre comillas, a menudo indicativos de una cita.


026109149-3

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi guía en cada paso, por darme fortaleza en los momentos difíciles, sabiduría para seguir adelante y bendecir mi vida con la oportunidad de alcanzar este importante logro, dedico este logro fruto de esfuerzo, constancia y fe, a las personas que han sido mi motor y mi inspiración en cada paso de este camino.

A mi amado esposo, Cristian por su amor incondicional, su paciencia infinita y su apoyo constante, por creer en mí incluso en los momentos más difíciles y ser mi compañero de vida en cada desafío.

A mi querido hijo Josué, quien es la luz de mi vida y mi mayor motivación para seguir adelante cada sacrificio ha valido la pena por verte sonreír y por construir un mejor futuro para ti.

A mis amados padres Vinicio y Luzmila por ser mi guía, mi ejemplo de lucha y perseverancia, por sus enseñanzas y por brindarme siempre su amor y apoyo incondicional.

A mis queridos suegros por su cariño, comprensión y respaldo, por ser parte importante en este camino y brindarme su apoyo en todo momento.

Y de manera muy especial, a mi abuelita Dalinda, que desde el cielo me acompaña, aunque su presencia física ya no está, su amor, sus consejos y su recuerdo viven en mi corazón y han sido mi fuerza para no rendirme.

A todos ustedes, con todo mi amor y gratitud, dedico este logro que también es suyo.

Valeria

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por iluminar mi camino, darme la fortaleza y bendecirme con la oportunidad de culminar esta importante etapa de mi vida.

Expreso mi más sincero y profundo agradecimiento a la Universidad Estatal de Bolívar, por abrirme sus puertas y permitirme formarme académica y profesionalmente, brindándome los conocimientos y experiencias que hoy hacen posible este logro.

De manera especial, agradezco a mi tutor Dr. Rodrigo Guillin y a mis lectores, Dra. Jenny Martínez, Dr. Danilo Yanez, por su guía constante, paciencia y valiosos aportes, los cuales fueron fundamentales para el desarrollo y culminación de este trabajo de investigación.

A mi familia, por su amor incondicional, su apoyo permanente y por ser mi mayor fuente de motivación para seguir adelante.

Valeria

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XII
RESUMEN.....	XIII
SUMMARY	XIV
CAPÍTULO I.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. PROBLEMA	3
1.3. OBJETIVOS	4
1.3.1. Objetivo general	4
1.3.2. Objetivos específicos	4
1.4. HIPÓTESIS.....	5
CAPÍTULO II	6
2. MARCO TEÓRICO.....	6
CAPÍTULO III.....	41
3. MARCO METODOLÓGICO	41
3.1. Ubicación y características de la investigación.....	41
3.2. Metodología	42
3.2.1. Material experimental	42
3.2.2. Factores en estudio	44
3.2.3. Tratamientos.....	44
3.2.4. Tipo de diseño experimental o estadístico	45
3.2.5. Manejo de la investigación.....	46
3.2.6. Métodos de evaluación.....	48
3.2.7. Análisis de datos	48
CAPÍTULO IV.....	50
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	50
4.1. Interpretación de resultados	50
4.2. Comprobación de la hipótesis	109
CAPÍTULO V	112

5.1. CONCLUSIONES	112
5.2. RECOMENDACIONES	113
BIBLIOGRAFÍA	114
ANEXOS	123

ÍNDICE DE TABLAS

Nº	Detalle	Pág.
1	Situación geográfica y climática	40
2	Descripción de la investigación	43
3	Estadística descriptiva del peso corporal inicial (g) por tratamiento	49
4	ANOVA — Peso inicial	51
5	Prueba de Tukey HSD — Peso inicial ($\alpha = 0,05$)	52
6	Estadística descriptiva del peso corporal inicial (g) por tratamiento	53
7	ANOVA — Semana 1	54
8	Prueba de Tukey HSD — Semana uno ($\alpha = 0,05$)	56
9	Estadística descriptiva del peso corporal Semana 2	56
10	ANOVA — Semana 2	58
11	Prueba de Tukey HSD — Semana 2 ($\alpha = 0,05$)	59
12	Estadística descriptiva del peso corporal Semana 3	59
13	ANOVA — Semana 3	61
14	Prueba de Tukey HSD — Semana 3 ($\alpha = 0,05$)	62
15	Estadística descriptiva del peso corporal Semana 4	63
16	ANOVA — Semana 4	65
17	Prueba de Tukey HSD — Semana 4 ($\alpha = 0,05$)	66
18	Estadística descriptiva del peso corporal Semana 5	67
19	ANOVA — Semana 5	69
20	Prueba de Tukey HSD — Semana 5 ($\alpha = 0,05$)	70
21	Estadística descriptiva del peso corporal final Semana 6	71
22	ANOVA — Semana 6	73
23	Prueba de Tukey HSD — Semana 6 / Peso Final ($\alpha = 0,05$)	74
24	Coeficiente de determinación y ANOVA — Consumo de Alimento por semana	77
25	Prueba de Tukey HSD — Consumo de Alimento por semana ($\alpha = 0,05$)	78
26	Registro de mortalidad semanal por tratamiento (número de aves)	79

27	Resultados de biometría hemática por tratamiento experimental al día 42 (n = 1 por grupo)	82
28	Relación heterófilo/linfocito (H/L) calculada por tratamiento al día 42	85
29	Concentraciones séricas de IgM e IgY por tratamiento experimental al día 42 (n = 1 por grupo)	87
30	Índice comparativo de respuesta inmune por tratamiento al día 42	91
31	Estadística descriptiva de los parámetros histomorfométricos del yeyuno por tratamiento experimental al día 42	94
32	Comparación de medias — Altura de vellosidad intestinal (μm)	97
33	Relación vellosidad/cripta (V/C) — Día 42	99
34	Estadística descriptiva de los marcadores antioxidantes séricos por tratamiento experimental al día 42	101
35	Superóxido dismutasa (SOD) (U/mL) — Día 42	103
36	Malondialdehído (MDA) sérico (nmol/mL) — Día 42	105
37	Comprobación de Hipótesis	109

ÍNDICE DE FIGURAS

Nº	Detalle	Pág.
1	Distribución del peso corporal inicial (g) por tratamiento experimental en pollos broiler Ross 308 (día 1).	49
2	Peso inicial de los diferentes tratamientos	51
3	Distribución del peso corporal (g) al término de la semana 1 por tratamiento experimental.	53
4	Semana uno de los diferentes tratamientos	55
5	Distribución del peso corporal (g) al término de la semana 2 por tratamiento experimental.	57
6	Peso semana 2 de los diferentes tratamientos	58
7	Distribución del peso corporal (g) al término de la semana 3 por tratamiento experimental.	60
8	Peso semana 3 de los diferentes tratamientos	61
9	Distribución del peso corporal (g) al término de la semana 4 por tratamiento experimental.	63
10	Peso semana 4 de los diferentes tratamientos	65
11	Distribución del peso corporal (g) al término de la semana 5 por tratamiento experimental.	67
12	Peso semana 5 de los diferentes tratamientos	69
13	Peso semana 5 de los diferentes tratamientos	71
14	Peso semana 6 de los diferentes tratamientos	73
15	Curva de crecimiento peso por semana y tratamiento	75
16	Consumo de alimento de los diferentes tratamientos	78
17	Mortalidad de los diferentes tratamientos	79
18	Inmunoglobulina M (IgM) 08-1.8 mg/dl	83
19	Relación heterófilo/linfocito (H/L) por tratamiento al día 42. Los valores de variación (%) se expresan respecto al control T0. Clasificación según Swain y Nayak (2009).	86
20	Concentraciones séricas de IgM e IgY por tratamiento experimental al día 42	88
21	Inmunoglobulina M (IgM) sérica por tratamiento — Día 42	88
22	Inmunoglobulina Y (IgY) sérica por tratamiento — Día 42	89

23	Índice comparativo de respuesta inmune por tratamiento	92
24	Estadística descriptiva de los parámetros histomorfométricos	95
25	Altura de vellosidades	97
26	Relación vellosidad/cripta	99
27	Marcadores antioxidantes séricos por tratamiento experimental al día 42	102
28	Superóxido dismutasa (SOD) (U/mL) — Día 42	103
29	Malondialdehído (MDA) sérico (nmol/mL) — Día 42	105

ÍNDICE DE ANEXOS

Nº	Detalle
1	Mapa de ubicación de la investigación
2	Tratamientos de la Investigación
3	Base de datos
4	Resultados de análisis de laboratorio
5	Fotografías
6	Glosario de términos
7	Listado de abreviaturas

RESUMEN

La producción intensiva de pollos broiler genera condiciones de estrés oxidativo e inmunosupresión que históricamente se manejaron con antibióticos promotores del crecimiento, cuyo uso está actualmente restringido por riesgos de resistencia antimicrobiana. Ante este escenario, los subproductos vegetales emergen como alternativas funcionales de bajo costo. El presente estudio evaluó el efecto de la suplementación con pomaza de tomate (*Solanum lycopersicum*) y residuos deshidratados de brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) sobre parámetros inmunitarios, oxidativos, histomorfométricos y productivos en pollos broiler Ross 308. Se utilizaron 120 aves distribuidas en cuatro tratamientos bajo un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA): T0 (control), T1 (5 % tomate), T2 (3 % brócoli) y T3 (5 % tomate + 3 % brócoli), con tres repeticiones de diez aves cada una, durante un ciclo de 42 días. Se evaluaron inmunoglobulinas séricas (IgG, IgM, sIgA), citoquinas proinflamatorias (IL-1 β , IL-6, TNF- α), marcadores antioxidantes (SOD, CAT, GPx, MDA), histomorfometría intestinal y variables productivas.

Los resultados indicaron que los tratamientos suplementados mejoraron significativamente los títulos de IgG e IgM, redujeron los niveles de citoquinas proinflamatorias y de MDA, e incrementaron la actividad enzimática antioxidante respecto al control. La histomorfometría reveló mayor altura de vellosidades y relación vellosidad/cripta en los grupos tratados. Los parámetros productivos mostraron diferencias significativas a partir de la semana 4, con T3 registrando el mayor peso corporal final. Se concluye que la suplementación combinada de subproductos de tomate y brócoli constituye una estrategia inmunonutricional viable para fortalecer la salud intestinal e inmunitaria del broiler, con potencial para reducir la dependencia de antibióticos en sistemas avícolas intensivos.

Palabras clave: broiler, subproductos vegetales, inmunomodulación, estrés oxidativo, licopeno, sulforafano, histomorfometría intestinal.

SUMMARY

Intensive broiler production generates oxidative stress and immunosuppression conditions that were historically managed with antibiotic growth promoters, whose use is currently restricted due to antimicrobial resistance risks. In this context, vegetable by-products have emerged as low-cost functional alternatives. This study evaluated the effect of supplementation with tomato pomace (*Solanum lycopersicum*) and dehydrated broccoli residues (*Brassica oleracea* var. *italica*) on immune, oxidative, histomorphometric, and productive parameters in Ross 308 broiler chickens. One hundred and twenty birds were distributed into four treatments under a Randomized Complete Block Design (RCBD): T0 (control), T1 (5% tomato), T2 (3% broccoli), and T3 (5% tomato + 3% broccoli), with three replicates of ten birds each, over a 42-day productive cycle. Serum immunoglobulins (IgG, IgM, sIgA), pro-inflammatory cytokines (IL-1 β , IL-6, TNF- α), antioxidant markers (SOD, CAT, GPx, MDA), intestinal histomorphometry, and productive variables were assessed.

Results indicated that supplemented treatments significantly improved IgG and IgM titers, reduced pro-inflammatory cytokine levels and MDA concentrations, and increased antioxidant enzymatic activity compared to the control. Histomorphometric analysis revealed greater villus height and villus-to-crypt ratio in treated groups. Productive parameters showed significant differences from week 4 onward, with T3 recording the highest final body weight. It is concluded that combined supplementation with tomato and broccoli by-products represents a viable immunonutritional strategy to strengthen intestinal and immune health in broilers, with potential to reduce antibiotic dependence in intensive poultry systems.

Keywords: broiler, vegetable by-products, immunomodulation, oxidative stress, lycopene, sulforaphane, intestinal histomorphometry.

CAPÍTULO I

1.1. INTRODUCCIÓN

La producción mundial de carne de pollo supera los 135 millones de toneladas anuales y representa entre el 35 y 38 % del consumo global de carnes, cifra que la coloca por encima de la carne bovina y porcina (FAO, 2024; Connolly & Campbell, 2023). Este volumen se sostiene gracias a la alta eficiencia de conversión alimenticia del broiler (1,5–1,7 kg de alimento por kg de peso vivo) y a la brevedad de su ciclo productivo, factores que lo convierten en la principal fuente de proteína animal en economías en desarrollo (Kpomasse et al., 2021). Sin embargo, la intensificación creciente del sistema ha generado presiones fisiológicas y sanitarias que la industria aún no ha resuelto satisfactoriamente.

En Ecuador, la avicultura de engorde produce más de 490 mil toneladas de carne al año y concentra cerca del 70 % de la producción pecuaria nacional (CONAVE, 2022). A pesar de esta relevancia económica, el sector enfrenta limitaciones estructurales relacionadas con la salud intestinal e inmunitaria de las aves, exacerbadas por la alta densidad poblacional y las condiciones climáticas variables propias de la serranía y la costa (López et al., 2024). Estas condiciones incrementan la incidencia de disbiosis, enteritis subclínica e inmunosupresión, con impacto directo sobre la mortalidad y la conversión alimenticia (Sánchez et al., 2023).

Durante décadas, la respuesta estándar a estas alteraciones fue el uso de antibióticos promotores del crecimiento; sin embargo, la evidencia acumulada sobre resistencia antimicrobiana ha conducido a su restricción en múltiples mercados (Souza et al., 2022; Honig et al., 2024). Esta restricción abrió un espacio de investigación orientado a identificar aditivos funcionales de origen vegetal que modulen la respuesta inmune y reduzcan el estrés oxidativo sin comprometer el desempeño productivo. En este contexto, los subproductos del tomate (*Solanum lycopersicum*) particularmente su pomaza, rica en licopeno y polifenoles y los residuos deshidratados de brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) fuente de glucosinolatos y

sulforafano han mostrado propiedades antioxidantes e inmunomoduladoras documentadas en ensayos avícolas recientes (Raza et al., 2019; Phillips et al., 2023; Chen et al., 2023). El licopeno actúa neutralizando radicales libres y atenuando la señalización inflamatoria mediada por NF- κ B, mientras que el sulforafano induce enzimas antioxidantes de fase II a través de la vía Nrf2, reduciendo los niveles de malondialdehído (MDA) y potenciando la actividad de superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT) y glutatión peroxidasa (GPx) (Hosseini-Vashan et al., 2016; Acheampong, 2024). No obstante, la información experimental sobre el efecto combinado de ambos subproductos en condiciones productivas controladas sigue siendo escasa (Phillips et al., 2023), lo que justifica la presente investigación.

1.2. PROBLEMA

La producción intensiva de pollos broiler genera presiones fisiológicas que derivan en inmunosupresión y desequilibrios intestinales, condiciones que predisponen a las aves a infecciones entéricas y respiratorias con consecuencias directas sobre la morbilidad, la mortalidad y los costos productivos (Sánchez et al., 2023). Durante décadas, estas alteraciones se controlaron mediante antibióticos promotores del crecimiento; sin embargo, la emergencia de bacterias multirresistentes y la restricción regulatoria internacional han eliminado esta herramienta de la práctica avícola convencional (Souza et al., 2022), dejando un vacío crítico en el manejo inmunitario e intestinal de los lotes comerciales.

Los subproductos de tomate (*Solanum lycopersicum*) y brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) constituyen una alternativa con fundamento bioquímico: el licopeno y los polifenoles del tomate ejercen acción antioxidante e inmunomoduladora, mientras que los glucosinolatos e isotiocianatos del brócoli atenúan la inflamación y estimulan la respuesta inmune celular (Chen et al., 2023; Sim et al., 2023). Sin embargo, la evidencia experimental disponible sobre su efecto combinado en condiciones productivas controladas es insuficiente para orientar decisiones de formulación dietaria.

El problema central es la ausencia de información científica que cuantifique el efecto de la inclusión de estos subproductos sobre parámetros inmunitarios específicos respuesta humoral (IgM, IgY), relación heterófilo/linfocito (H/L), citoquinas proinflamatorias (IL-1 β , IL-6, TNF- α) y actividad antioxidante (SOD, CAT, GPx) en pollos broiler bajo un diseño experimental replicable. Sin esta evidencia, su uso como aditivos funcionales carece de respaldo técnico suficiente para su adopción productiva.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de dos subproductos vegetales tomate (*Solanum lycopersicum*) y brócoli (*Brassica oleracea var. italica*) zona inmunitaria en pollos Broiler.

1.3.2. Objetivos específicos

1. Analizar la respuesta inmune de pollos broiler suplementados con subproductos de tomate y brócoli.
2. Determinar el tratamiento con mayor eficacia en la respuesta inmune de pollos broiler suplementados con subproductos de tomate y brócoli.
3. Evaluar la histomorfometría intestinal y los parámetros productivos básicos (ganancia de peso, conversión alimenticia y mortalidad) asociados a la suplementación.

1.4. HIPÓTESIS

Hipótesis nula (H_0):

La suplementación con subproductos de tomate (*Solanum lycopersicum*) y brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*), no produce diferencias significativas en la respuesta inmune, la actividad antioxidante, la histomorfometría intestinal, los parámetros productivos.

Hipótesis alternativa (H_1):

La suplementación con subproductos de tomate (*Solanum lycopersicum*) y brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*), mejora significativamente la respuesta inmune, incrementa la actividad antioxidante, favorece la histomorfometría intestinal, optimiza los parámetros productivos.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Producción Avícola Contemporánea

2.1.1. Panorama mundial de la industria avícola

En el siglo XXI, la avicultura se ha fijado como uno de los sectores pecuarios más importantes por su dinamismo y estrategia ya que a pesar de los periodos cortos su producción no ha sido afectada, su capacidad de producción tiene un alto valor en proteína animal de alto valor y eficacia (Obianwuna et al., 2024).

La comparación productiva entre proteínas de carne de pollo supera con 135 millones de toneladas métricas anuales, que es un 35% y 38% del consumo global elevado en relación con las carnes de origen bovina y porcina marcando una diferencia de consumo y preferencia (Candela, 2024; Connolly & Campbell, 2023). según los datos proporcionados por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)

El ciclo productivo es notablemente rápido ya que oscila entre 35 y 42 días, tomando en cuenta la conversión de 1,5 a 1,7kg por cada peso vivo en kg (CONAVE, 2021). La crianza y producción pollo se puede dirigir a varios sistemas productivos dependiendo sus necesidades, pues es adaptable en diferentes países (*Gallus gallus domesticus*).

El consumo de este tipo de proteína es muy valorado por diferentes cosas: entre ellas su alto nivel proteínico sin exceso de grasas malas, su accesibilidad por precio cómodo sea para consumo y crianza, además de que no existe ningún tipo de restricción ya sea de perfil religioso, como es en relación con la carne vacuna (Kpomasse et al., 2021).

El ser humano a notado que el consumo de este tipo de carne es muy versátil a momento de prepararla y por ello su preferencia (Connolly & Campbell, 2023).

2.1.2. La avicultura en Ecuador

Enfocándonos en Ecuador la producción avícola representa aproximadamente el 70% del sector pecuario nacional, siendo notablemente uno de los pilares fundamentales de la económica ecuatoriana (CONAVE, 2021). La producción de pollos en este caso de tipo broiler es 250 millones en el año 2023 que a su vez generan 490.000 toneladas carnes para consumo (CONAVE, 2022).

En nuestro país existen 3 provincias que encabezan la mayor parte de producción nacional siendo estas la prov. Del Guayas, Manabí y Santo Domingo de los Tsáchilas, favorecidas por la disponibilidad de infraestructura especializadas y con acceso a insumos para alimentarlos además de condiciones relativamente favorables para su expansión (Phillips et al., 2023). Los precios varían dependiendo de los insumos para la alimentación de los pollos ya que su consumo esta mayormente centrado en maíz amarillo y torta de soya, esto como en toda producción varía dependiendo de la fluctuación de los precios internacionales.

El sector avícola ecuatoriano es uno de los principales soportes socioeconómico del país ya que de manera directa e indirecta generando empleo en cría, engorde o comercialización del producto final dependiendo de las necesidades (CONAVE, 2022).

Existe un incremento acelerado, pero siempre la calidad del producto es prioridad desde su inicio a final.

2.1.3. Desafíos sanitarios y productivos actuales

El aumento de la producción avícola que enfrentamos en la actualidad modifica levemente el bienestar animal, entre ellas la inmunosupresión por el crecimiento acelerado cambia las condiciones normales del producto, aumentando la morbilidad, mortalidad y costos del producto (Tainika et al., 2023; Sánchez et al., 2023).

Durante décadas, los antibióticos promotores del crecimiento (APC) fueron la herramienta principal para el control de alteraciones intestinales y del tracto gastrointestinal, la transferencia de genes de resistencia a patógenos humanos condujo a restricciones regulatorias progresivas (Souza et al., 2022). La Unión Europea implementó la prohibición total de los APC desde el 1 de enero de 2006, decisión que ha sido adoptada de manera parcial o en otros casos totalmente por numerosos países, generando un vacío en el manejo de la salud intestinal aviar (Sihombing & Fajri, 2024).

Tomando en cuenta estos escenarios dado, se busca alternativas más efectivas para el control de enfermedades haciendo énfasis en el consumo de probióticos, prebióticos, ácidos orgánicos, enzimas exógenas y más aun fitobioticos, estos derivados de plantas medicinales con previo estudio (Obianwuna et al., 2024; Wang et al., 2024).

2.2. Anatomía del Sistema Digestivo de los Pollos Broiler

2.2.1. Estructura general del tracto gastrointestinal aviar

El sistema digestivo de las aves presenta características anatómicas y fisiológicas distintivas significativamente de otros mamíferos. Enfocándonos en el tracto gastrointestinal completo incluye la cavidad oral, esófago, buche, proventrículo, molleja, intestino delgado (duodeno, yeyuno e íleon), ciegos, colon y cloaca; Al no tener presencia de dientes para triturar alimento, la molleja realiza ese trabajo ya que es un órgano muscular altamente especializado (Obianwuna et al., 2024).

El esófago aviar presenta una dilatación característica denominada buche, que funciona como reservorio de alimento y permite cierta fermentación inicial mediante bacterias lácticas residentes.

El proventrículo, o estómago glandular, secreta ácido clorhídrico y pepsinógeno, iniciando la digestión química de proteínas. (Obianwuna et al., 2024).

2.2.2. Intestino delgado: centro de absorción nutricional

El intestino delgado es el principal sitio de digestión enzimática y absorción de nutrientes, representa el 60% de la longitud total del tracto gastrointestinal y mide entre 120 y 150 cm en pollos broiler adultos. Se divide anatómicamente en tres segmentos: duodeno, yeyuno e íleon, cada uno con funciones específicas pero complementarias (Chen et al., 2024).

El duodeno rodea al páncreas y recibe las secreciones pancreáticas y biliares a través del conducto hepatopancreático para la neutralización, la digestión de grasas, proteínas y carbohidratos mediante las enzimas pancreáticas. El yeyuno, el segmento más largo, constituye el sitio principal de absorción de nutrientes debido a su extensa red de vellosidades intestinales (Obianwuna et al., 2024).

El íleon, aunque más corto, desempeña funciones importantes en la absorción de sales biliares, vitamina B12 y nutrientes residuales no absorbidos en segmentos anteriores (Boothe et al., 2024).

2.2.3. Arquitectura de la mucosa intestinal: vellosidades y criptas

Las vellosidades son proyecciones digitiformes que se extienden hacia el lumen intestinal, recubiertas por un epitelio columnar simple compuesto principalmente por enterocitos absortivos y células caliciformes secretoras de moco (Obianwuna et al., 2024).

Los enterocitos maduros presentan un borde con microvellosidades que incrementan la superficie de absorción. Estas microvellosidades contienen enzimas digestivas del borde en cepillo, como las disacaridasas (maltasa, sacarasa, lactasa) y peptidasas, además de transportadores específicos para aminoácidos, monosacáridos, ácidos grasos y otros nutrientes (Chen et al., 2024).

Las criptas son mucosa localizadas entre las bases de las vellosidades, albergando las células madre intestinales que proliferan continuamente, este recambio celular ocurre aproximadamente cada 2-3 días en condiciones fisiológicas normales, lo que

convierte al epitelio intestinal en uno de los tejidos con mayor tasa de renovación del organismo (Obianwuna et al., 2024).

Las células caliciformes, distribuidas a lo largo de las vellosidades y criptas, secretan moco que constituye la primera línea de defensa física contra patógenos y participa de la respuesta inmune (Jiang et al., 2023).

2.2.4. Ciegos: fermentación y modulación inmunitaria

Los ciegos son dos estructuras tubulares que se originan en la unión íleo-cólica y representan compartimentos fermentativos especializados en las aves. A diferencia de los mamíferos monogástricos, ya que los ciegos aviares tiene una microbiota altamente diversa y metabólicamente activo que fermenta sustratos no digeridos (Obianwuna et al., 2024).

La fermentación cecal produce ácidos grasos de cadena corta (AGCC), con acetato, propionato y butirato, que proporcionan energía adicional al modular el pH luminal, inhiben el crecimiento de patógenos y ejercen efectos tróficos sobre la mucosa intestinal. El butirato constituye la principal fuente energética para los colonocitos siendo antiinflamatorias e inmunomoduladoras (Jiang et al., 2023).

La interacción entre el microbiota cecal y el sistema inmune local es fundamental para la tolerancia oral y la protección contra patógenos entéricos sean internos o externos (Obianwuna et al., 2024).

2.3. Sistema Inmunitario de las Aves

2.3.1. Órganos linfoides primarios y secundarios

A diferencia de los mamíferos, el grupo aviar dispone de la llamada Bolsa de Fabricio que es un órgano linfoide de maduración de linfocitos B (Obianwuna et al., 2024; Wang et al., 2024). Que en su periodo de desarrollo que va entre las 3 y 6 semanas su función es generar anticuerpos (Boothe et al., 2024).

También tenemos el Timo es otro de los órganos linfoides, porque tiene gran cantidad de lóbulos distribuidos a lo largo de los nervios cervicales y representa la maduración de linfocitos T, como su nombre lo indica, al igual que sus otros linfocitos tiene la función de generar inmunidad a nivel celular (Honig et al., 2024).

Tomando en cuenta los órganos linfoides secundarios esta el bazo, cuya función es filtrar la sangre, las tonsilas cecales que son como las llamadas amígdalas, además de las Placas de Peyer y el divertículo de Meckel con funciones secundarias (Obianwuna et al., 2024).

2.3.2. Inmunidad innata en aves

La defensa contra patógenos se caracteriza por una respuesta rápida, pero en las aves incluye de manera directa los heterofilos, células dendríticas, células asesinas naturales sin olvidarnos los trombocitos con ayuda extra en inmunología y la hemostasia (Phillips et al., 2023).

Si hablamos de cómo combatir las bacterias y otros patógenos los leucocitos granulares contribuyen la primera línea de defensa, los heterófilos dependen de los mecanismos oxidativos y no oxidativos incluyendo la producción de proteínas antimicrobianas (Phillips et al., 2023).

Las células dendríticas, aunque menos caracterizadas en aves, tiene la función de centinelas inmunológicas que capturan antígenos en tejidos periféricos (Honig et al., 2024).

2.3.3. Inmunidad adaptativa: respuestas humoral y celular

La memoria inmunológica genera respuesta rápida contra los antígenos y en las aves está IgM, IgG e IgA cada una de estas con funciones distintas (Raza et al., 2019).

La IgM es la primera inmunoglobulina producida durante la respuesta primaria en la circulación como un pentámero de alta avidéz. La IgG/IgY constituye la

inmunoglobulina más abundante y es responsable de la neutralización de toxinas notablemente, la IgY aviar presenta diferencias estructurales con la IgG de mamíferos, incluyendo un dominio constante adicional (CH4) que confiere mayor peso molecular (Honig et al., 2024).

La IgA predomina en las secreciones mucosas, incluyendo el tracto gastrointestinal, respiratorio y reproductivo, donde proporciona protección sin generar inflamación significativa. La IgA secretora (sIgA) se transporta activamente a través del epitelio mediante el receptor polimérico de inmunoglobulinas y constituye el principal mecanismo de defensa humoral en las superficies mucosas (Boothe et al., 2024).

La respuesta inmune celular está mediada por linfocitos T, que se clasifican en T helper (CD4+) y T citotóxicos (CD8+). Los linfocitos T helper se subdividen funcionalmente en Th1 (respuesta proinflamatoria, defensa contra patógenos intracelulares), Th2 (respuesta antiparasitaria, producción de anticuerpos) y Th17 (defensa mucosa, inflamación) en varios grupos (Phillips et al., 2023).

2.3.4. Indicadores inmunológicos de relevancia experimental

Para medir el nivel inmunitario en las aves se emplean parámetros como son la relación heterofilo/linfocito conocido como (H/L) el cual evalúa el estrés fisiológico e inmunológico, en el cual los valores elevados indican condiciones de estrés y los bajos sugieren homeostasis inmunológica (Jiang et al., 2023).

Para evaluar la capacidad de respuesta humoral hay que tomar en cuenta los eritrocitos de oveja (SRBC), el virus de Newcastle (NDV) o el virus de la enfermedad infecciosa de la bolsa (IBD). Para estar más claro hay que evaluar órganos linfoides (peso relativo del bazo, timo y bolsa de Fabricio respecto al peso corporal) para tener información sobre el desarrollo y funciones del sistema inmune (Phillips et al., 2023).

El perfil de citoquinas, particularmente las interleucinas proinflamatorias (IL-1 β , IL-6, TNF- α) y antiinflamatorias (IL-10, TGF- β), permite caracterizar el tipo y

magnitud de la respuesta inmune. Las técnicas de PCR cuantitativa en tiempo real (RT-qPCR) y los ensayos de inmunoabsorción enzimática (ELISA) se emplean rutinariamente para cuantificar estos mediadores hay que realizarlos con total veracidad y tino (Jiang et al., 2023).

2.4. Tejido Linfoide Asociado al Intestino (GALT)

2.4.1. Organización estructural del GALT aviar

El tejido linfoide asociado al intestino (GALT, por sus siglas en inglés) representa el componente más extenso del sistema inmune mucoso, albergando más del 70% de las células inmunitarias del organismo (Obianwuna et al., 2024). En las aves, el GALT comprende estructuras linfoides organizadas a lo largo del tracto gastrointestinal.

Las estructuras linfoides organizadas incluyen la tonsila faríngea, esofágica, la pilórica, las placas de Peyer (principalmente en el íleon), el divertículo de Meckel, las tonsilas cecales y la propia Bolsa de Fabricio, que, aunque clasificada como órgano linfoide primario, también participa en respuestas inmunes mucosas en primera línea (Boothe et al., 2024).

Las placas de Peyer en las aves representan una arquitectura similar a las de mamíferos, con folículos linfoides recubiertos por un epitelio asociado a folículos (FAE) que contiene células M especializadas en la transcitosis de antígenos lumenales. Los centros germinales de las placas de Peyer son sitios de proliferación y diferenciación de linfocitos B hacia células plasmáticas de las células productoras de IgA (Obianwuna et al., 2024).

Estas estructuras son particularmente activas durante las primeras semanas de vida y desempeñan un papel fundamental en el muestreo de antígenos del microbiota cecal y en la inducción de respuestas inmunes protectoras (Honig et al., 2024).

2.4.2. Células M y muestreo antigénico

Las células M (células de micropliegues) están localizados en el epitelio asociado a folículos que recubre las estructuras linfoides del GALT. Estas células carecen de microvellosidades típicas y glucocáliz prominente, presentando en su lugar micropliegues apicales que facilitan la captura de antígenos particulados directos (Obianwuna et al., 2024).

En las células M su transición va desde el lumen intestinal hacia el espacio subepitelial, teniendo un muestreo continuo y vigilancia constante del contenido luminal y los antígenos inocuos (Boothe et al., 2024).

El mecanismo que permite la captura directa de bacterias y antígenos solubles del lumen intestinal, son las células dendríticas de GALT que participan activamente en el muestreo complementando la función de las células M (Obianwuna et al., 2024).

2.4.3. Producción y función de la IgA secretora

La función principal de las placas de Peyer junto a las estructuras linfoides del GALT es servir como defensa humoral de primera línea en las superficies mucosas del tracto gastrointestinal, donde son activados y experimentan cambios de citoquinas como TGF- β e IL-10 (Boothe et al., 2024).

La migración plasmática va hacia la zona intestinal, donde secretan IgA dimérica que va hasta el epitelio con su receptor polimérico de inmunoglobinas (pIgR)

La unión de estos dos componentes la IgA dimerica y pIgR se transforma en sIgA, cuya función es protegerla de un ambiente luminal hostil (Obianwuna et al., 2024).

Para la neutralización de toxinas y virus l sIgA ejerce su mejor función de proteger los mecanismos para su bienestar, la modulación y a su vez la eliminación de microbiota evita de manera notable el sobrecrecimiento de especies patógenas potencialmente peligrosas (Boothe et al., 2024).

2.4.4. Interacción GALT-microbiota

Para que se genere la homeostasis inmune mucosa debe haber una relación bidireccional entre GALT y la microbiota, ya que esta genera señales al GALT manteniéndose en un estado de activación basal, para responder de manera rápida y oportuna frente a bacterias comensales (Jiang et al., 2023).

Para la tolerancia oral es más importante las bacterias comensales pertenecientes a los *Lactobacillus*, *Bifidobacterium* y *Bacteroides* ya que regulan el (Treg) o llamadas las células T, evitando la inflamación excesiva mediante la tolerancia oral a diferencia de los patógenos mediante receptores de reconocimiento de patrones (PRRs) como los receptores tipo Toll (TLRs) generan respuestas proinflamatorias orientadas a la eliminación del agente invasor (Obianwuna et al., 2024).

El desequilibrio o descomposición de la disbiosis intestinal puede conducir a inflamación crónica, con permeabilidad intestinal generando infecciones. Para modular positivamente hay que tener en cuenta que los fitobioticos en sus funciones activan vías antiinflamatorias (Jiang et al., 2023).

2.5. Estrés Oxidativo en la Avicultura Intensiva

2.5.1. Fundamentos del estrés oxidativo

El (ROS) es el estrés oxidativo en un desequilibrio de la producción de especies y la capacidad antioxidante del organismo que dañan las biomoléculas esenciales (Surai et al., 2019). Tomando en cuenta la unión del superóxido ($O_2^{\bullet-}$), el peróxido de hidrógeno (H_2O_2), el radical hidroxilo ($\bullet OH$) oxígeno singlete (1O_2), además de especies reactivas de nitrógeno como el óxido nítrico ($NO\bullet$) y el peroxinitrito ($ONOO^-$) son producidas por subproductos del metabolismo aeróbico mitocondrial y cumplen funciones de señalización celular importantes.

La sobreproducción de ROS bajo condiciones de estrés que exceda la capacidad de los sistemas antioxidantes endógenos, se genera la conducción a peroxidación

lipídica, oxidación de proteínas, daño al ADN y, en última instancia, muerte celular alterando su ecosistema natural (Li et al., 2024).

2.5.2. Fuentes de estrés oxidativo en pollos broiler

El rápido crecimiento genético de los pollos de engorde modernos es en este caso más susceptibles al estrés oxidativo por su elevada tasa metabólica y al maximizar la ganancia de peso se debe realizar una selección genética pero sus estudios de producción basal de (ROS) se ve una capacidad antioxidante reducida (Surai et al., 2019).

El estrés térmico constituye uno de los factores ambientales más importantes que inducen estrés oxidativo en aves claro que al contar con condiciones adecuadas es completamente diferente. Cuando la temperatura ambiental excede la zona de termoneutralidad (18-24°C para pollos broiler), los mecanismos de termorregulación se activan, incrementando la producción de ROS (Long et al., 2024).

Entre los factores que generan al estrés oxidativo esta: la alta densidad poblacional, que incrementa los niveles de cortisol y la actividad metabólica; el transporte y manejo inadecuado, que generan estrés agudo; las infecciones por patógenos entéricos y respiratorios; las micotoxinas presentes en los alimentos; y los desequilibrios nutricionales, particularmente las deficiencias de vitaminas antioxidantes y oligoelementos alteran notablemente la producción avícola (Li et al., 2024).

2.5.3. Consecuencias del estrés oxidativo

El estrés oxidativo ejerce efectos graves tanto en la salud como la productividad de las aves, pero a nivel intestinal, la peroxidación lipídica daña las membranas de los enterocitos, alterando la integridad de la barrera epitelial y favoreciendo el fenómeno de "intestino permeable" desencadenando respuestas inflamatorias (Obianwuna et al., 2024).

Las proteínas de unión estrecha más susceptible al daño oxidativo son las claudinas, ocludina y proteínas de la zona occludens (ZO) incrementando la permeabilidad paracelular. Además, el estrés oxidativo activa vías de señalización proinflamatorias, particularmente NF- κ B, que amplifican la respuesta inflamatoria (Surai et al., 2019).

El estrés oxidativo se asocia con reducción en el consumo de alimento, menor ganancia de peso, deterioro de la conversión alimenticia, incremento de la mortalidad y compromiso de la calidad de la canal y la carne. La oxidación lipídica postmortem acelera el deterioro de la carne, reduciendo su vida útil del producto (Li et al., 2024).

2.5.4. Sistemas antioxidantes endógenos

Hay que tomar en cuenta los sistemas antioxidantes enzimáticos y no enzimáticos para neutralizar las ROS. Los componentes enzimáticos incluyen la superóxido dismutasa (SOD), la catalasa (CAT), la glutatión peroxidasa (GPx) y la glutatión reductasa (GR), además de sistemas tioredoxina-dependientes (Surai et al., 2019).

La SOD cataliza la dismutación del anión superóxido a peróxido de hidrógeno, existiendo tres isoformas: SOD1 (citoplasmática, Cu/Zn-dependiente), SOD2 (mitocondrial, Mn-dependiente) y SOD3 (extracelular, Cu/Zn-dependiente). La CAT, localizada principalmente en peroxisomas, convierte el H₂O₂ en agua y oxígeno molecular. La GPx reduce tanto el H₂O₂ como los hidroperóxidos lipídicos utilizando glutatión reducido (GSH) como donador de electrones (Long et al., 2024).

Los antioxidantes no enzimáticos incluyen el glutatión, el principal tiol intracelular; la vitamina E (α -tocoferol), que protege las membranas lipídicas; la vitamina C (ácido ascórbico), que actúa como antioxidante hidrosoluble y regenera la vitamina E oxidada; los carotenoides, incluyendo el licopeno y el β -caroteno; y los polifenoles de origen dietario estos dos son notablemente necesarios (Surai et al., 2019).

2.6. Vía de Señalización Nrf2-Keap1

2.6.1. Estructura y regulación de Nrf2

El factor nuclear eritroide 2-relacionado factor 2 (Nrf2, también denominado NFE2L2) es un factor de transcripción perteneciente a la familia Cap'n'Collar de proteínas con cremallera de leucina básica (bZIP). Nrf2 constituye el regulador maestro de la respuesta antioxidante celular, controlando la expresión de más de 200 genes citoprotectores que codifican enzimas antioxidantes, enzimas de fase II de detoxificación y proteínas relacionadas con la homeostasis del glutatión (Yu et al., 2021; Bellezza et al., 2018).

La proteína Nrf2 presenta siete dominios funcionales conservados denominados Neh1-Neh7 (dominios de homología a Nrf2). El dominio Neh1 contiene la región bZIP responsable de la dimerización con las proteínas pequeñas Maf (sMaf) y la unión al ADN. El dominio Neh2, localizado en el extremo N-terminal, contiene los motivos DLG y ETGE que median la interacción con la proteína inhibidora Keap1. Los dominios Neh4 y Neh5 constituyen dominios de transactivación que reclutan coactivadores transcripcionales (Yu et al., 2021).

2.6.2. Mecanismo de regulación por Keap1

La proteína 1 asociada a ECH tipo Kelch (Keap1, también conocida como INrf2) funciona como sensor redox y regulador negativo de Nrf2. Keap1 es una proteína adaptadora de sustrato para el complejo E3 ubiquitina ligasa Cullin 3-Rbx1 (Cul3), que marca a Nrf2 para su degradación proteasomal continua en condiciones basales (Bellezza et al., 2018).

En el estado basal, de dos moléculas de Keap1 se unen a un monómero de Nrf2 mediante una interacción de "bisagra y cierre" con los motivos DLG (baja afinidad) y ETGE (alta afinidad) del dominio Neh2. Esta configuración posiciona los residuos de lisina del dominio Neh2 de manera óptima para la ubiquitinación por el

complejo Keap1-Cul3-Rbx1, resultando en la degradación constitutiva de Nrf2 con una vida media de aproximadamente 20 minutos (Yu et al., 2021).

Keap1 contiene múltiples residuos de cisteína reactivos que funcionan como sensores de estrés oxidativo y electrofílico. Los residuos Cys151, Cys273 y Cys288 son particularmente importantes para la función represora de Keap1. La modificación oxidativa o la alquilación electrofílica de estos residuos induce cambios conformacionales en Keap1 que alteran la geometría del complejo Keap1-Nrf2, inhibiendo la ubiquitinación de Nrf2 (Bellezza et al., 2018).

2.6.3. Activación de Nrf2 y translocación nuclear

Bajo condiciones de estrés oxidativo o en presencia de inductores electrofílicos, la modificación de los residuos de cisteína de Keap1 interrumpe el mecanismo de degradación de Nrf2, permitiendo su estabilización y acumulación citoplasmática. El Nrf2 recién sintetizado escapa de la degradación mediada por Keap1 y se transloca al núcleo, donde heterodimeriza con proteínas sMaf (MafF, MafG, MafK) (Yu et al., 2021).

Los heterodímeros Nrf2-sMaf se unen a secuencias específicas del ADN denominadas elementos de respuesta antioxidante (ARE, también conocidos como EpRE), con la secuencia consenso 5'-TGACnnnGC-3'. Esta unión recluta coactivadores transcripcionales y la maquinaria de transcripción basal, iniciando la expresión coordinada de genes citoprotectores (Bellezza et al., 2018).

2.6.4. Genes diana de Nrf2

Los genes regulados por Nrf2 abarcan múltiples categorías funcionales que proporcionan protección integral contra el estrés oxidativo y químico. Las enzimas antioxidantes incluyen SOD1, SOD2, CAT, GPx1, GPx2, GPx3, GPx4, GR, tiorredoxina (Trx) y peroxirredoxinas (Prx). Las enzimas de fase II de detoxificación incluyen glutatión S-transferasas (GSTs), NAD(P)H:quinona

oxidorreductasa 1 (NQO1), epóxido hidrolasas y UDP-glucuronosiltransferasas (Yu et al., 2021).

La hemo oxigenasa-1 (HO-1) constituye uno de los genes diana de Nrf2 más estudiados. HO-1 cataliza la degradación del grupo hemo a biliverdina, hierro ferroso y monóxido de carbono (CO). Tanto la biliverdina (convertida a bilirrubina por la biliverdina reductasa) como el CO poseen propiedades antioxidantes y antiinflamatorias, contribuyendo a la citoprotección mediada por Nrf2 (Bellezza et al., 2018).

Las enzimas de síntesis y regeneración del glutatión, incluyendo la glutamato-cisteína ligasa (subunidades catalítica GCLC y moduladora GCLM) y la glutatión sintetasa, también están reguladas por Nrf2, asegurando el mantenimiento de niveles adecuados del principal tiol antioxidante intracelular (Yu et al., 2021).

2.6.5. Interacción Nrf2-NF-κB

Existe una interacción antagonista recíproca entre las vías de señalización Nrf2 y NF-κB (factor nuclear kappa B), el principal regulador de respuestas inflamatorias. La activación de Nrf2 suprime la activación de NF-κB mediante múltiples mecanismos, incluyendo la competencia por el coactivador CBP/p300, la inducción de HO-1 (cuyos productos inhiben NF-κB), y la reducción del estrés oxidativo que de otra manera activaría NF-κB (Bellezza et al., 2018).

Conversamente, la activación sostenida de NF-κB puede reprimir la actividad transcripcional de Nrf2 mediante la competencia por CBP/p300 y la promoción de interacciones con el correpresor HDAC3. Esta interacción cruzada tiene importantes implicaciones en la patogénesis de enfermedades inflamatorias crónicas y en las estrategias terapéuticas dirigidas a estas vías (Yu et al., 2021).

La activación de Nrf2 por compuestos bioactivos como el sulforafano (del brócoli) y el licopeno (del tomate) no solo potencia las defensas antioxidantes sino que también ejerce efectos antiinflamatorios mediante la supresión de la vía NF-κB,

proporcionando una base mecanística para los efectos inmunomoduladores de estos fitoquímicos (Long et al., 2024).

2.7. Subproductos Vegetales y Economía Circular

2.7.1. Valorización de residuos agroindustriales

Anteriormente estos productos se consideraban como residuos; las frutas y hortalizas que hoy en la actualidad está entre el 25% y 35% del material vegetal apropiados para procesamiento además de cáscaras, semillas, tallos, hojas y otros componentes están destinados al consumo aviar (Lu et al., 2022).

El concepto de economía circular propone la transformación de estos residuos en recursos valiosos para alimentación de aves en este caso pollos broiler pues se minimizaría el desperdicio y maximizando la eficiencia en el uso de recursos. En el contexto de la nutrición animal, los subproductos vegetales representan fuentes potenciales de nutrientes y compuestos bioactivos a un costo significativamente menor que los ingredientes convencionales (Lu et al., 2022).

2.7.2. Fitobióticos: definición y clasificación

Los fitobióticos, también denominados fitogénicos o aditivos derivados de plantas, comprenden una amplia categoría de sustancias de origen vegetal utilizadas en la alimentación animal con el objetivo de mejorar la salud, el bienestar y el rendimiento productivo optimizando recursos al máximo (Obianwuna et al., 2024). La Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) clasifica a los fitobióticos dentro de la categoría de "aditivos sensoriales" o "sustancias con efectos zootécnicos".

Los fitobióticos pueden clasificarse según su origen y forma de presentación en: hierbas y especias (plantas enteras o partes de ellas); aceites esenciales (extractos volátiles obtenidos por destilación); oleorresinas (extractos no volátiles obtenidos con solventes); y extractos acuosos o hidroalcohólicos. Según su composición química, los principales grupos de compuestos bioactivos incluyen polifenoles,

terpenoides, compuestos organosulfurados, alcaloides y saponinas (Wang et al., 2024).

2.7.3. Mecanismos de acción de los fitobióticos

Los fitobióticos modulan la microbiota intestinal, estimulan la secreción de enzimas digestivas y las propiedades antioxidantes y antiinflamatorias, e inmunomodulación (Obianwuna et al., 2024).

La actividad antimicrobiana de muchos fitobióticos altera la permeabilidad de las membranas bacterianas, interfieren con la síntesis de ADN y proteínas, e inhiben sistemas de secreción bacterianos. Notablemente, esta actividad antimicrobiana es generalmente más pronunciada contra bacterias patógenas que contra bacterias beneficiosas, lo que favorece una modulación positiva de la microbiota (Wang et al., 2024).

La estimulación de la secreción de enzimas digestivas, incluyendo amilasas, lipasas y proteasas, mejora la digestibilidad de los nutrientes y la eficiencia de conversión alimenticia. Los compuestos aromáticos presentes en muchos fitobióticos también estimulan la palatabilidad del alimento, incrementando el consumo voluntario (Obianwuna et al., 2024).

2.8. Tomate (*Solanum lycopersicum*)

2.8.1. Producción y subproductos del tomate

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una de las hortalizas de mayor importancia económica a nivel mundial, con una producción global que supera los 180 millones de toneladas anuales. El procesamiento industrial del tomate para la producción de pasta, salsa, jugo y productos deshidratados genera volúmenes sustanciales de subproductos, denominados colectivamente "pomaza de tomate" o "orujo de tomate" (Lu et al., 2022).

La pomaza de tomate está compuesta aproximadamente por un 70% de pieles, 25% de semillas y 5% de pulpa residual, representando entre el 3% y 7% del peso del fruto procesado. Se estima que la industria del tomate genera anualmente más de 5 millones de toneladas de pomaza a nivel mundial, constituyendo un problema de disposición ambiental y, simultáneamente, una oportunidad de valorización (Lu et al., 2022).

2.8.2. Composición nutricional de la pomaza de tomate

La pomaza de tomate deshidratada presenta una composición nutricional valiosa para la alimentación animal ya que es altamente consumible. El contenido de proteína cruda oscila entre 18% y 24%, con un perfil de aminoácidos relativamente equilibrado. El contenido de grasa, principalmente localizado en las semillas, varía entre 8% y 15%, con predominio de ácidos grasos insaturados, particularmente ácido linoleico (Lu et al., 2022).

El contenido de fibra es elevado, con valores de fibra cruda entre 30% y 50%, lo que puede limitar la inclusión en dietas para animales monogástricos. Sin embargo, esta fibra puede ejercer efectos prebióticos favorables a nivel intestinal. El contenido de cenizas (3%-6%) refleja un aporte mineral moderado, con niveles significativos de potasio, fósforo, magnesio y calcio mejorando la absorción intestinal (Lu et al., 2022).

2.8.3. Compuestos bioactivos del tomate: énfasis en licopeno

El tomate y sus subproductos son reconocidos por su excepcional contenido de compuestos bioactivos, particularmente carotenoides. El licopeno (ψ,ψ -caroteno) es el carotenoide predominante, responsable del color rojo característico del fruto maduro, con concentraciones que pueden alcanzar 50-150 mg/100 g de pomaza seca, significativamente superiores a las del fruto fresco (3-5 mg/100 g) debido a la concentración durante el procesamiento (Long et al., 2024).

El licopeno es un tetraterpenoide acíclico de fórmula molecular $C_{40}H_{56}$, constituido por una cadena de 40 átomos de carbono con 11 dobles enlaces conjugados que le confieren su potente capacidad antioxidante. A diferencia del β -caroteno, el licopeno carece de actividad provitamina A debido a la ausencia de anillos β -ionona terminales. Sin embargo, su sistema de dobles enlaces conjugados le proporciona una de las capacidades de neutralización de oxígeno singlete y radicales peroxilo más elevadas entre los antioxidantes naturales (Hidayat et al., 2023).

Otros carotenoides presentes en la pomaza de tomate incluyen β -caroteno (provitamina A), luteína y zeaxantina (xantofilas con funciones en la salud ocular), y fitoeno y fitoflueno (precursores biosintéticos de los carotenoides). Esta mezcla de carotenoides puede ejercer efectos sinérgicos o aditivos en la protección antioxidante (Lu et al., 2022).

2.8.4. Polifenoles y otros fitoquímicos del tomate

Además de los carotenoides, la pomaza de tomate contiene una variedad de compuestos fenólicos con propiedades antioxidantes altamente valiosas. Los flavonoides predominantes incluyen quercetina, kaempferol y naringenina, localizados principalmente en la piel del fruto. Los ácidos fenólicos incluyen ácido clorogénico, ácido cafeico, ácido ferúlico y ácido p-cumárico (Lu et al., 2022).

Las semillas de tomate contienen aceite rico en ácido linoleico (50-60% de los ácidos grasos totales) y tocoferoles, particularmente α -tocoferol (vitamina E), que complementan la actividad antioxidante de los carotenoides. El contenido de vitamina C de la pomaza fresca es significativo (20-40 mg/100 g), aunque se reduce sustancialmente durante el procesamiento térmico y el almacenamiento (Lu et al., 2022).

2.8.5. Biodisponibilidad del licopeno

La biodisponibilidad del licopeno tiene múltiples factores, incluyendo la forma isomérica, la matriz alimentaria, el procesamiento térmico y la presencia de lípidos,

pero el procesamiento térmico promueve la isomerización a formas *cis*, que presentan mayor biodisponibilidad debido a su menor tendencia a la cristalización y mayor solubilidad en micelas (Long et al., 2024).

El procesamiento térmico del tomate, incluyendo el secado, cocción y pasteurización, rompe las paredes celulares y libera el licopeno de la matriz cromoplástica, incrementando significativamente su biodisponibilidad. La pomaza de tomate procesada térmicamente puede proporcionar licopeno más biodisponible que el tomate fresco (Long et al., 2024).

La co-ingestión de lípidos, particularmente ácidos grasos insaturados, mejora sustancialmente la absorción de licopeno debido a su naturaleza lipofílica. La formulación de dietas que incluyan pomaza de tomate junto con fuentes de grasa puede optimizar la biodisponibilidad del licopeno y otros carotenoides (Hidayat et al., 2023).

2.8.6. Evidencia experimental del tomate en avicultura

Múltiples estudios han evaluado los efectos de la suplementación con pomaza de tomate o licopeno purificado en pollos broiler. Hosseini-Vashan et al. (2016) demostraron que la inclusión de 5% de pomaza de tomate seca (equivalente a 708 mg de licopeno/kg de dieta) en pollos sometidos a estrés calórico resultó en incrementos significativos en la actividad de GPx y SOD séricas, reducción en los niveles de MDA (indicador de peroxidación lipídica), y mejoras en los títulos de anticuerpos contra eritrocitos de oveja (SRBC).

Wu et al. (2024) reportaron que la suplementación con 10-30 mg de licopeno/kg de dieta mejoró la morfología intestinal (incremento en altura de vellosidades y relación vellosidad:cripta), la eficiencia de conversión alimenticia y la ganancia de peso en pollos broiler bajo condiciones de estrés. Estos efectos se asociaron con la modulación de la expresión de genes de la vía Nrf2-Keap1.

Un estudio reciente de 2025 (Al-Hamadani et al., 2025) demostró que la adición de pomaza de tomate seca al 5%, 7.5% y 10% de la dieta de pollos expuestos a estrés térmico mejoró significativamente el peso vivo, la ganancia de peso, el consumo de alimento y la conversión alimenticia comparado con el grupo control, sin efectos adversos sobre los parámetros sanguíneos.

2.8.7. Mecanismos de acción del licopeno

Como antioxidante directo, el licopeno neutraliza ROS generando beneficios claramente evidentes mejorando los radicales peroxilo, protegiendo las membranas celulares de la peroxidación lipídica, debido a su alta hidrofobicidad, lo posiciona estratégicamente para proteger los fosfolípidos de membrana (Long et al., 2024).

A nivel de señalización celular, el licopeno activa la vía Nrf2-ARE, promoviendo la expresión de enzimas antioxidantes endógenas. Esta activación se produce mediante la modificación de los residuos de cisteína de Keap1, de manera análoga a otros inductores electrofílicos. Sahin et al. (2015) demostraron que la suplementación con licopeno en codornices japonesas bajo estrés térmico activó la expresión de Nrf2 y sus genes diana mientras suprimía la activación de NF- κ B.

El licopeno también ejerce efectos antiinflamatorios tanto en el exterior como en el interior gástrico mediante la inhibición de la vía NF- κ B. Estudios en modelos aviares han demostrado que el licopeno reduce la expresión de citoquinas proinflamatorias (IL-1 β , IL-6, TNF- α) de manera evidente (Hidayat et al., 2023).

2.9. Brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*)

2.9.1. Características generales y subproductos

El brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) pertenece a la familia Brassicaceae, que incluye otras crucíferas de importancia agronómica como la coliflor, el repollo, la col rizada y la col de Bruselas. La producción mundial de brócoli ha experimentado un crecimiento sostenido, superando los 30 millones de toneladas anuales,

impulsada por la creciente conciencia sobre sus propiedades promotoras de la salud (Grady et al., 2023).

El procesamiento comercial del brócoli genera volúmenes sustanciales de subproductos, estimados entre el 50% y 60% del peso de la planta, incluyendo tallos, hojas externas y floretes de tamaño no comercial. Estos subproductos retienen concentraciones significativas de los compuestos bioactivos característicos del brócoli, particularmente glucosinolatos, y representan una oportunidad de valorización para la nutrición animal (Grady et al., 2023).

2.9.2. Composición nutricional del brócoli

El brócoli fresco presenta un contenido de agua elevado (aproximadamente 90%), con macronutrientes distribuidos en proteína (2,5-3,5%), carbohidratos (5-7%), fibra dietética (2,5-3,5%) y un contenido mínimo de grasa (<0,5%). El perfil de aminoácidos incluye niveles significativos de aminoácidos azufrados (metionina, cisteína), consistentes con el alto contenido de compuestos azufrados bioactivos (Grady et al., 2023).

El brócoli es una fuente excepcional de micronutrientes, particularmente vitamina C que evita que las aves se enfermen (80-120 mg/100 g, una de las concentraciones más elevadas entre las hortalizas), vitamina K (101 µg/100 g, importante para la coagulación y metabolismo óseo), y folatos (63 µg/100 g). También aporta cantidades significativas de potasio, calcio, hierro y zinc (Grady et al., 2023).

2.9.3. Glucosinolatos: estructura y diversidad

Los glucosinolatos constituyen una clase de metabolitos secundarios azufrados característicos de la familia Brassicaceae, con más de 130 estructuras diferentes identificadas en esta familia botánica. Estructuralmente, los glucosinolatos consisten en un β-D-glucopiranosido unido a un grupo sulfonatado y una cadena lateral variable derivada de aminoácidos (Grady et al., 2023).

En el brócoli, el glucosinolato predominante es la glucorafanina (4-metilsulfinilbutil glucosinolato), que puede representar hasta el 80% del contenido total de glucosinolatos. La concentración total de glucosinolatos en el brócoli varía típicamente entre 20 y 100 $\mu\text{mol/g}$ de peso seco, dependiendo del cultivar, condiciones de cultivo y parte de la planta (Grady et al., 2023).

2.9.4. Hidrólisis de glucosinolatos y formación de sulforafano

Los glucosinolatos son compuestos estables que requieren hidrólisis enzimática para liberar sus productos bioactivos. La enzima mirosinasa (tioglucósido glucohidrolasa, EC 3.2.1.147), almacenada en compartimentos celulares separados de los glucosinolatos, se libera y entra en contacto con sus sustratos cuando el tejido vegetal sufre daño mecánico (masticación, trituración) (Grady et al., 2023).

La hidrólisis de glucorafanina por mirosinasa genera un aglucón inestable que, dependiendo de las condiciones de pH y la presencia de proteínas especificadoras, puede generar diferentes productos. En condiciones de pH neutro y ausencia de hierro ferroso, el producto predominante es el sulforafano [1-isotiocianato-4-(metilsulfinil)butano], un isotiocianato alifático considerado el principal compuesto bioactivo del brócoli (Grady et al., 2023).

El sulforafano es un compuesto electrofílico de pequeño peso molecular (177,3 g/mol) que contiene un grupo isotiocianato ($-\text{N}=\text{C}=\text{S}$) altamente reactivo. Esta reactividad es fundamental para su actividad biológica, ya que permite la formación de enlaces tiocarbamoilo con los residuos de cisteína de Keap1 y otras proteínas con tioles reactivos (Grady et al., 2023).

2.9.5. Biodisponibilidad del sulforafano

La biodisponibilidad del sulforafano está determinada por múltiples factores, incluyendo la conversión de glucorafanina a sulforafano, la absorción intestinal, el metabolismo sistémico y la excreción. La conversión depende de la actividad mirosinasa, que puede ser de origen vegetal (si el brócoli se consume crudo o

mínimamente procesado) o de origen microbiano (bacterias intestinales con actividad tioglucosidasa) (Grady et al., 2023).

Estudios en humanos han demostrado que la biodisponibilidad del sulforafano es 3-5 veces mayor cuando se consume brócoli crudo comparado con brócoli cocido (Grady et al., 2023).

Una estrategia para optimizar la biodisponibilidad consiste en la adición de fuentes de mirosinasa exógena, como semillas de mostaza molidas, al brócoli procesado térmicamente. Esta aproximación permite la conversión de glucorafanina a sulforafano en el tracto gastrointestinal superior, maximizando la absorción (Grady et al., 2023).

2.9.6. Mecanismos moleculares del sulforafano

El sulforafano es reconocido como uno de los inductores naturales más potentes de la vía Nrf2. Su mecanismo de acción implica la modificación covalente de los residuos de cisteína críticos de Keap1 (particularmente Cys151), formando aductos tiocarbamoilo que alteran la conformación de Keap1 e impiden la ubiquitinación de Nrf2. Esto resulta en la estabilización, acumulación y translocación nuclear de Nrf2, con la consecuente activación transcripcional de genes citoprotectores (Ruhee & Suzuki, 2020).

Estudios comparativos de más de 100 análogos de isotiocianatos han demostrado que el sulforafano exhibe la mayor potencia como inductor de Nrf2 entre los compuestos evaluados. Esta potencia se atribuye a la combinación del grupo isotiocianato electrofílico con la cadena lateral metilsulfinilo, que optimiza la reactividad y la interacción con Keap1 (Ruhee & Suzuki, 2020).

A diferencia de los antioxidantes directos como la vitamina C o E, el sulforafano actúa como un antioxidante "indirecto" que amplifica los sistemas de defensa antioxidante endógenos (Ruhee & Suzuki, 2020).

2.9.7. Efectos inmunomoduladores del sulforafano

El sulforafano ejerce efectos antiinflamatorios potentes mediante la inhibición de la vía NF- κ B. Estudios en macrófagos han demostrado que el sulforafano suprime la fosforilación de I κ B α , previniendo la translocación nuclear de NF- κ B y la transcripción de genes proinflamatorios. Esta inhibición resulta en la reducción de citoquinas proinflamatorias (IL-1 β , IL-6, TNF- α) y mediadores inflamatorios como las prostaglandinas y el óxido nítrico (Ruhee & Suzuki, 2020).

En el contexto de la salud intestinal, el sulforafano protege la integridad de la barrera epitelial mediante la inducción de proteínas de unión estrecha (claudinas, ocludina, ZO-1) y la supresión de la inflamación mucosa. Estos efectos son particularmente relevantes en condiciones de estrés que comprometen la función de barrera intestinal, como el estrés térmico o las infecciones entéricas (Obianwuna et al., 2024).

El sulforafano también modula la microbiota intestinal, promoviendo poblaciones de bacterias beneficiosas (Bacteroides, Lactobacillus) y reduciendo patobiontes potenciales. Esta modulación puede contribuir a la producción de AGCC y otros metabolitos microbianos con efectos inmunomoduladores sistémicos (Obianwuna et al., 2024).

2.9.8. Evidencia del brócoli en nutrición avícola

Aunque la investigación sobre subproductos de brócoli en avicultura es menos extensa que la de tomate, diversos estudios han demostrado efectos beneficiosos. Mueller et al. (2012) reportaron que un extracto de brócoli que proporcionaba 0,075 g de sulforafano/kg de dieta incrementó la expresión de enzimas xenobióticas (epóxido hidrolasas) y antioxidantes (hemo oxigenasa-1) en el yeyuno e hígado de pollos broiler.

Hu et al. (2012) evaluaron la suplementación con harina de tallos y hojas de brócoli (BSLM) al 15% de la dieta de pollos, observando mejoras en la capacidad

antioxidante total, reducción de MDA en músculo pectoral e incremento en las actividades de SOD y CAT, sin efectos adversos sobre el rendimiento productivo.

Estudios más recientes han demostrado que el brócoli fermentado reduce las cargas de bacterias patógenas (*Salmonella*, *Campylobacter*, *Clostridium perfringens*) en pollos de pastoreo, además de incrementar las actividades de enzimas antioxidantes en músculo y mejorar la estabilidad oxidativa de la carne (The Poultry Site, 2023).

2.10. Sinergia Tomate-Brócoli

2.10.1. Fundamentos de la combinación

Para una acción inmunonutricional altamente efectiva se debe combinar estos productos como son el tomate y brócoli que genera mecanismos de acción antioxidante e inmunomodulador. Mientras el licopeno actúa principalmente como antioxidante directo neutralizando ROS y protegiendo membranas celulares, el sulforafano funciona como inductor de la vía Nrf2-ARE, amplificando los sistemas de defensa antioxidante endógenos (Long et al., 2024).

La protección antioxidante tanto inmediata (licopeno) como sostenida (sulforafano), maximizando la capacidad del organismo para enfrentar condiciones de estrés oxidativo crónico o agudo con efectos antiinflamatorios convergentes sobre la vía NF- κ B, sugiriendo potenciales efectos aditivos o sinérgicos (Long et al., 2024).

2.10.2. Evidencia de sinergia en modelos experimentales

La combinación tomate-brócoli ha sido evaluada en modelos de cáncer de próstata en ratas, demostrando efectos antitumorales superiores a los de cada vegetal administrado individualmente. Canene-Adams et al. (2007) reportaron que la combinación de tomate y brócoli en proporciones dietéticas redujo el peso de tumores prostáticos en un 52% comparado con la dieta control, mientras que el tomate o brócoli solos redujeron el peso tumoral en solo 34% y 42%, respectivamente.

Aunque estos estudios se realizaron en modelos de cáncer mamífero, los mecanismos subyacentes (activación de Nrf2, inhibición de NF- κ B, protección antioxidante) son conservados evolutivamente y aplicables a la fisiología aviar. La extrapolación de estos hallazgos a pollos broiler sugiere que la combinación de subproductos de tomate y brócoli podría proporcionar beneficios superiores a la suplementación individual (Long et al., 2024).

2.10.3. Interacciones potenciales entre licopeno y sulforafano

A nivel molecular, existen múltiples puntos de convergencia entre las acciones del licopeno y el sulforafano que podrían explicar efectos sinérgicos. La inducción de glutatión por sulforafano podría potenciar la regeneración de carotenoides oxidados, prolongando su actividad antioxidante. Simultáneamente, la protección de membranas por licopeno podría preservar la integridad de organelos celulares donde se localizan enzimas antioxidantes inducidas por sulforafano (Long et al., 2024).

Ambos compuestos modulan vías de señalización relacionadas con la respuesta al estrés oxidativo e inflamatorio. La activación de Nrf2 por sulforafano incrementa la expresión de NQO1, una enzima que puede proteger al licopeno de la degradación oxidativa. Por su parte, el licopeno puede reducir el estrés oxidativo basal, disminuyendo la degradación constitutiva de Nrf2 y potenciando su disponibilidad para la activación por sulforafano (Hidayat et al., 2023).

2.10.4. Consideraciones para la formulación combinada

La incorporación simultánea de subproductos de tomate y brócoli en dietas para pollos broiler requiere consideraciones específicas de formulación. El contenido de fibra de ambos subproductos puede limitar los niveles de inclusión para mantener una densidad energética adecuada. Se sugieren niveles de inclusión del 3-5% para pomaza de tomate y 2-3% para subproductos de brócoli, ajustando la formulación para compensar el aporte de fibra y proteína (Lu et al., 2022).

El procesamiento de los subproductos influye significativamente en la biodisponibilidad de los compuestos activos. Para maximizar la biodisponibilidad de licopeno, el secado a baja temperatura ($\leq 60^{\circ}\text{C}$) o la deshidratación por spray es preferible. Para el brócoli, el procesamiento debe equilibrar la inactivación de mirosinasa (que reduce la conversión de glucorafanina a sulforafano) con la preservación de la glucorafanina intacta que puede ser hidrolizada por mirosinasa microbiana intestinal (Grady et al., 2023).

Una estrategia prometedora consiste en el co-procesamiento de subproductos de brócoli con semillas de mostaza, que proporcionan mirosinasa termoestable capaz de convertir glucorafanina a sulforafano en el tracto gastrointestinal. Esta aproximación maximiza la generación de sulforafano biodisponible independientemente del procesamiento térmico del brócoli (Grady et al., 2023).

2.11. Histomorfometría Intestinal

2.11.1. Fundamentos y relevancia de la histomorfometría

La histomorfometría intestinal constituye una herramienta evaluativa fundamental para caracterizar la salud y funcionalidad del tracto gastrointestinal en estudios de nutrición aviar. Los parámetros morfométricos proporcionan información cuantitativa sobre la capacidad absortiva, el recambio celular y la integridad estructural de la mucosa intestinal, correlacionándose estrechamente con el rendimiento productivo y la eficiencia de conversión alimenticia (Obianwuna et al., 2024).

Las evaluaciones histomorfométricas se realizan típicamente mediante técnicas histológicas convencionales, incluyendo la fijación en formalina tamponada, procesamiento para inclusión en parafina, corte con micrótopo (secciones de 4-6 μm), tinción con hematoxilina-eosina y análisis microscópico digital. Los segmentos intestinales comúnmente evaluados incluyen duodeno, yeyuno e íleon, cada uno con características morfológicas distintivas (Obianwuna et al., 2024).

2.11.2. Altura de vellosidades

La altura de las vellosidades constituye el parámetro morfométrico más frecuentemente evaluado y representa la distancia desde el ápice de la vellosidad hasta la unión vellosidad-cripta. Valores elevados de altura de vellosidades se correlacionan positivamente con una mayor superficie absortiva, mayor expresión de enzimas del borde en cepillo y mayor capacidad de transporte de nutrientes (Obianwuna et al., 2024).

En pollos broiler saludables, la altura de vellosidades típica varía según el segmento intestinal: duodeno (800-1500 μm), yeyuno (600-1200 μm) e íleon (400-800 μm). Factores que incrementan la altura de vellosidades incluyen dietas con alta digestibilidad, prebióticos, probióticos, fitobióticos y compuestos antioxidantes. Por el contrario, factores que reducen la altura de vellosidades incluyen infecciones entéricas, micotoxinas, estrés térmico y deficiencias nutricionales (Jayanegara et al., 2020).

2.11.3. Profundidad de criptas

La profundidad de las criptas de Lieberkühn representa la distancia desde la base de la cripta hasta la unión vellosidad-cripta. Las criptas albergan las células madre intestinales y las células en proliferación activa que migran hacia el ápice de las vellosidades para reemplazar los enterocitos descamados (Obianwuna et al., 2024).

Criptas más profundas pueden indicar una demanda incrementada de nuevos enterocitos debido a pérdida celular acelerada por infección, inflamación o toxicidad. Sin embargo, en algunos contextos, criptas moderadamente profundas pueden reflejar una capacidad proliferativa robusta y reserva regenerativa. La interpretación de la profundidad de criptas debe realizarse en conjunto con la altura de vellosidades y otros parámetros (Jayanegara et al., 2020).

2.11.4. Relación vellosidad:cripta (V:C)

La relación vellosidad:cripta (V:C) integra la información de ambos parámetros y constituye un indicador global de la salud intestinal. Valores elevados de V:C (>4) indican vellosidades bien desarrolladas con criptas relativamente superficiales, sugiriendo un epitelio maduro y funcional con recambio celular equilibrado. Valores bajos de V:C (<2) sugieren atrofia de vellosidades y/o hiperplasia de criptas, indicativas de daño mucoso (Obianwuna et al., 2024).

La suplementación con fitobióticos, incluyendo compuestos derivados de tomate y brócoli, ha demostrado incrementar consistentemente la relación V:C en estudios experimentales. Este efecto se atribuye a la protección antioxidante del epitelio intestinal, la modulación de la microbiota hacia poblaciones menos agresivas, y la reducción de la inflamación mucosa que de otra manera induciría daño y recambio celular acelerado (Jayanegara et al., 2020).

2.11.5. Otros parámetros histomorfométricos

El ancho de vellosidades se correlaciona con la superficie absorptiva total. La densidad de células caliciformes, cuantificada mediante tinciones específicas (PAS, azul alcian), refleja la capacidad de producción de moco y protección mucosa (Jiang et al., 2023).

El grosor de la capa muscular (muscular propia) influye en la motilidad intestinal y puede alterarse en respuesta a factores dietarios o patológicos. El grosor de la lámina propia, que contiene tejido conectivo, vasos sanguíneos y células inmunes, puede incrementarse en condiciones inflamatorias (Jiang et al., 2023).

La altura de los enterocitos y la organización del borde en cepillo, evaluables mediante microscopía electrónica, proporcionan información ultraestructural sobre la madurez y funcionalidad celular. Estas evaluaciones son particularmente relevantes en estudios que investigan los efectos de aditivos funcionales sobre la diferenciación y polarización de enterocitos (Obianwuna et al., 2024).

2.12. Citoquinas y Mediadores Inmunitarios

2.12.1. Interleucina-1 β (IL-1 β)

La IL-1 β es una citoquina proinflamatoria clave producida principalmente por macrófagos, células dendríticas y monocitos activados en respuesta a patrones moleculares asociados a patógenos (PAMPs) y señales de daño celular (DAMPs). En aves, la IL-1 β desempeña funciones similares a las de mamíferos, incluyendo la inducción de fiebre, la estimulación de proteínas de fase aguda hepáticas, la activación de linfocitos y la promoción de respuestas inflamatorias locales y sistémicas (Jiang et al., 2023).

La producción de IL-1 β está regulada por el inflamasoma NLRP3, un complejo multiproteico citosólico que procesa la pro-IL-1 β inactiva a su forma madura y biológicamente activa mediante la acción de la caspasa-1. Estímulos que activan el inflamasoma incluyen ROS, cristales de urato, ATP extracelular y diversos componentes microbianos (Jiang et al., 2023).

Niveles elevados de IL-1 β en pollos broiler se asocian con estados inflamatorios, estrés térmico, infecciones bacterianas y consumo de dietas contaminadas con micotoxinas. La suplementación con compuestos antioxidantes, incluyendo licopeno y sulforafano, ha demostrado reducir la expresión y producción de IL-1 β , atenuando las respuestas inflamatorias excesivas (Hidayat et al., 2023).

2.12.2. Interleucina-6 (IL-6)

La IL-6 es una citoquina pleiotrópica con funciones tanto proinflamatorias como antiinflamatorias, dependiendo del contexto celular y la vía de señalización activada. En su rol proinflamatorio, la IL-6 estimula la producción hepática de proteínas de fase aguda, promueve la diferenciación de linfocitos B a células plasmáticas y participa en la respuesta inmune de fase aguda (Jiang et al., 2023).

En pollos broiler, la IL-6 constituye un biomarcador sensible de inflamación sistémica. Estudios han demostrado incrementos significativos en IL-6 sérica e

intestinal en respuesta a estrés térmico, infecciones por *Salmonella* y desafíos con lipopolisacáridos (LPS). La expresión de IL-6 en el tracto gastrointestinal aumenta progresivamente durante las primeras semanas de vida, alcanzando un pico alrededor de los 21 días antes de declinar (Jiang et al., 2023).

2.12.3. Factor de necrosis tumoral- α (TNF- α)

El TNF- α es una citoquina proinflamatoria potente con efectos sistémicos que incluyen fiebre, caquexia, activación endotelial, incremento de la permeabilidad vascular y promoción de la apoptosis. En aves, el gen TNF- α presenta homología limitada con el de mamíferos, y la función del TNF- α aviar es ejercida parcialmente por un homólogo denominado TL1A (TNF-like ligand 1A) (Jiang et al., 2023).

La expresión de TNF- α /TL1A en el intestino de pollos broiler se incrementa en respuesta a infecciones entéricas, particularmente por coccidios, *Salmonella* y *Clostridium perfringens*. El estrés térmico también induce la expresión de TNF- α , contribuyendo al síndrome de respuesta inflamatoria sistémica y al deterioro del rendimiento productivo. La modulación de TNF- α mediante fitobióticos antioxidantes representa una estrategia prometedora para mitigar estas respuestas patológicas (Jiang et al., 2023).

2.12.4. Interleucina-10 (IL-10)

La IL-10 constituye la principal citoquina antiinflamatoria e inmunosupresora, producida por células T reguladoras (Treg), macrófagos alternativamente activados y células dendríticas tolerogénicas. La IL-10 suprime la producción de citoquinas proinflamatorias, inhibe la presentación antigénica y promueve la resolución de respuestas inflamatorias (Jiang et al., 2023).

El equilibrio entre citoquinas proinflamatorias (IL-1 β , IL-6, TNF- α) y antiinflamatorias (IL-10, TGF- β) determina el resultado neto de la respuesta inmune. Relaciones elevadas IL-1 β /IL-10 o TNF- α /IL-10 indican predominio de señales proinflamatorias, mientras que relaciones bajas sugieren homeostasis

inmunológica o estados antiinflamatorios. La suplementación con fitobióticos que reduzcan citoquinas proinflamatorias mientras mantienen o incrementan IL-10 puede promover un perfil inmunológico más equilibrado (Jiang et al., 2023).

2.12.5. Modulación de citoquinas por licopeno y sulforafano

El licopeno ejerce efectos antiinflamatorios mediante la inhibición de la vía NF- κ B. Estudios in vitro han demostrado que el licopeno previene la fosforilación y degradación de I κ B α , manteniendo a NF- κ B secuestrado en el citoplasma e impidiendo la transcripción de genes proinflamatorios. Esta inhibición resulta en reducción de IL-1 β , IL-6 y TNF- α en diversos modelos celulares y animales (Hidayat et al., 2023).

El sulforafano inhibe la activación de NF- κ B mediante múltiples mecanismos que incluyen la supresión de la actividad IKK, la inducción de HO-1 (cuyo producto, el monóxido de carbono, posee propiedades antiinflamatorias), y la modulación del estado redox celular. Adicionalmente, el sulforafano puede modular la polarización de macrófagos hacia un fenotipo antiinflamatorio M2 y promover la diferenciación de células T reguladoras (Ruhee & Suzuki, 2020).

2.13. Sostenibilidad y Economía Circular en Avicultura

2.13.1. Principios de sostenibilidad en producción animal

Para la producción animal hay que tomar en cuenta lo siguiente: viabilidad económica, responsabilidad ambiental y bienestar animal/social. La industria avícola con mayor crecimiento, tiene que minimizar su huella ambiental mientras mantienen la rentabilidad y el bienestar de las aves (Lu et al., 2022).

La alimentación representa el componente de mayor impacto ambiental en la producción avícola, siendo responsable del 60-70% de las emisiones de gases de efecto invernadero, el uso de agua y la ocupación de tierras asociados a esta actividad. La dependencia de ingredientes convencionales como el maíz y la soya

implica competencia con la alimentación humana, deforestación para expansión agrícola y emisiones asociadas al transporte de larga distancia (Lu et al., 2022).

2.13.2. Valorización de subproductos en la cadena de valor

La incorporación de subproductos agroindustriales en las dietas avícolas representa una estrategia de economía circular que aborda simultáneamente desafíos económicos, ambientales y de gestión de residuos. Los subproductos de tomate y brócoli, actualmente subutilizados o destinados a compostaje/vertedero, pueden transformarse en ingredientes funcionales de valor agregado (Lu et al., 2022).

Los beneficios de esta valorización incluyen: reducción de la dependencia de ingredientes convencionales importados; disminución de costos de alimentación mediante el aprovechamiento de materiales de bajo costo; reducción del impacto ambiental asociado a la disposición de residuos; aporte de compuestos bioactivos con efectos promotores de la salud; y diversificación de la matriz de ingredientes, reduciendo la vulnerabilidad ante fluctuaciones de precios (Lu et al., 2022).

2.13.3. Consideraciones económicas

El análisis costo-beneficio de la incorporación de subproductos vegetales debe considerar tanto los costos directos (adquisición, procesamiento, transporte) como los beneficios indirectos (mejora en salud animal, reducción de mortalidad, mejor uniformidad de lotes, reducción de uso de antibióticos, diferenciación de productos en el mercado) (Lu et al., 2022).

Los niveles moderados de inclusión (3-5% para pomaza de tomate, 2-3% para subproductos de brócoli) minimizan el impacto sobre el balance nutricional de la dieta mientras maximizan los beneficios funcionales, los costos de los subproductos procesados son significativamente inferiores a los de aditivos funcionales (Lu et al., 2022).

2.13.4. Perspectivas futuras

Lo mejor que puede pasar a los pollos broiler, es mantener una alimentación adecuada y condiciones buenas y que su tasa de mortalidad caiga drásticamente, pues un pollo bien nutrido tiende a desarrollar un sistema inmunológico robusto en el cual si existe algún tipo de alteración externa no se vera afectado en menor porcentaje (Obianwuna et al., 2024).

Al tener menos antibióticos su flora intestinal se sana y por ende tiene una carne y huevos más limpios y orgánicos. Al lograr que sus vellosidades intestinales sean más largas y densas el producto absorberá más los nutrientes de sus alientos y crecerá en mejores condiciones, de tal manera que generar más ganancias en tiempo corto siempre y cuando sus condiciones sean las adecuadas sean estas en galpón o al aire libre, pero con una alimentación excelente hasta sus excrementos tienden a ser menos fuertes ya que absolvieron mejor su alimento (Obianwuna et al., 2024).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Ubicación y características de la investigación

Localización de la investigación

La investigación se desarrolló en una unidad avícola experimental ubicada en la parroquia La Asunción, perteneciente al cantón San José de Chimbo, provincia Bolívar - Ecuador.

Tabla 1

Situación geográfica y climática

Parámetro	Localidad
Altitud	2.600 msnm
Latitud	1° 35' 15'' S
Longitud	79° 06' 30'' O
Temperatura máxima	22 °C
Temperatura mínima	12 °C
Precipitación media anual	1.200 mm
Humedad relativa (%)	75–80 %

Zona de vida

La ubicación donde se desarrolló la investigación se caracteriza de acuerdo al sistema de clasificación de zonas de vida por Leslie Holdridge corresponde a Bosque Húmedo, Montano Bajo (BhMb).

3.2. Metodología

3.2.1. Material experimental

Material biológico

- 120 pollos broiler de la línea comercial *Broiler*.
- **Subproductos vegetales:** Tomate (*Solanum lycopersicum*): pomaza seca (piel y semillas). Brócoli (*Brassica oleracea var. italica*): tallos y hojas deshidratadas y molidas.
- **Instalaciones:** galpón con corrales de piso, bebederos y comederos tipo lineal.
- **Dietas:** balanceado comercial formulado para pollos de engorde (fases preinicial, inicial, crecimiento y finalización).

Material clínico y de laboratorio

Equipos para toma de muestras: Jeringas 3 mL con aguja 23G, tubos Vacutainer® sin anticoagulante (suero) y con EDTA (hemograma), tubos Eppendorf 1.5 mL, micropipetas, centrífuga refrigerada, congeladores -20 °C y -80 °C, microscopio óptico con objetivo de inmersión.

Kits para análisis inmunológico:

- ELISA para IgG, IgM e IgA secretora (Bethyl Laboratories® o equivalente)
- ELISA para citoquinas: IL-1 β , IL-6, TNF- α (Cusabio® o equivalente)
- Tinción Wright-Giemsa para frotis sanguíneos

Kits para estrés oxidativo:

- MDA/TBARS, SOD, CAT, GPx (Cayman Chemical® o equivalente)

Material para histomorfometría: Formol bufferado 10%, parafina histológica, micrótopo, hematoxilina-eosina, microscopio con cámara digital, software ImageJ.

Procedimientos de muestreo

Sangre (día 42): Punción de vena braquial en 2 aves/repetición (n=24 total). Se obtuvieron 4 mL/ave: 2 mL para suero (inmunoglobulinas, citoquinas, antioxidantes) y 1 mL con EDTA para frotis y cálculo del índice H/L.

Lavado intestinal: Segmento de yeyuno (10 cm) lavado con 5 mL de PBS frío; sobrenadante almacenado a -80 °C para sIgA.

Tejido intestinal: Segmentos de 2 cm de duodeno, yeyuno e íleon fijados en formol 10%, procesados y teñidos con H-E para medir altura de vellosidades, profundidad de criptas y relación V/C.

Técnicas analíticas

Parámetro	Método	Unidad
IgG, IgM	ELISA sándwich	mg/dL, µg/mL
sIgA intestinal	ELISA	µg/mL
IL-1β, IL-6, TNF-α	ELISA	pg/mL
Índice H/L	Conteo diferencial (100 leucocitos/frotis)	Adimensional
MDA	TBARS (532 nm)	nmol/mL
SOD, CAT, GPx	Ensayos enzimáticos colorimétricos	U/mL, nmol/min/mL
Histomorfometría	Medición digital (ImageJ)	µm

Determinaciones por duplicado ($CV \leq 10\%$), controles internos en cada corrida ELISA, curvas estándar con $R^2 \geq 0.98$ y calibración diaria de equipos.

Descripción técnica del ensayo

Tabla 2

Descripción de la investigación

Característica	Valor
Número de tratamientos	4
Número de repeticiones	3
Número de pollos por repetición	10
Número de pollos por tratamiento	30
Número total de pollos	120

3.2.2. Factores en estudio

- **Factor A:** inclusión de subproductos vegetales.
- **Niveles:**
 - A₀: dieta basal (control).
 - A₁: dieta + 5 % tomate.
 - A₂: dieta + 3 % brócoli.
 - A₃: dieta + combinación (5 % tomate + 3 % brócoli).

3.2.3. Tratamientos

- **T0:** Testigo (dieta basal).
- **T1:** Dieta + 5 % tomate.
- **T2:** Dieta + 3 % brócoli.
- **T3:** Dieta + 5 % tomate + 3 % brócoli.

Cada tratamiento contó con 3 repeticiones, con 10 aves por repetición, totalizando 120 aves.

3.2.4. Tipo de diseño experimental o estadístico

Se aplicó un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA), considerando como bloque el peso inicial de las aves. El modelo matemático fue:

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

donde:

- Y_{ij} : valor observado,
- μ : media general,
- τ_i : efecto del tratamiento,
- β_j : efecto del bloque,
- ε_{ij} : error experimental aleatorio.

Variables de estudio

Inmunológicas

- Inmunoglobulinas séricas (IgG, IgM) mediante ELISA.
- Inmunoglobulina A secretora (sIgA) en lavado intestinal.
- Índice heterófilo/linfocito (H/L) en frotis sanguíneo.
- Citoquinas séricas: IL-1 β , IL-6, TNF- α .

Antioxidantes

- Malondialdehído (MDA) como marcador de peroxidación lipídica.

- Actividad de enzimas antioxidantes: SOD, CAT y GPx.

Histomorfometría intestinal

- Altura de vellosidades.
- Profundidad de criptas.
- Relación vellosidad/cripta (V/C).

Productivas

- Peso inicial, semanal y final.
- Ganancia de peso (g).
- Consumo de alimento (g).
- Conversión alimenticia (kg alimento/kg peso ganado).
- Mortalidad (%).

Económicas

- Relación beneficio/costo (B/C).

3.2.5. Manejo de la investigación

Bioseguridad y preparación del galpón

Antes del ingreso de las aves, se implementó un protocolo de limpieza y bioseguridad que incluyó el lavado a presión del galpón, la desinfección con amonios cuaternarios y un vacío sanitario mínimo de 72 horas. Durante este tiempo se controló la temperatura, la humedad relativa y la ventilación para garantizar un ambiente adecuado. El área experimental estuvo dividida en corrales independientes, delimitados con malla metálica y equipados con comederos lineales y bebederos tipo campana previamente desinfectados. La cama estuvo constituida

por viruta de madera seca con un espesor de 10 a 12 cm, la cual fue volteada periódicamente para mantener condiciones higiénicas y reducir la acumulación de amoníaco.

Manejo de las aves y ambiente

Al inicio del ensayo se alojaron pollos broiler de la línea Ross 308, previamente vacunados contra Newcastle, Bronquitis infecciosa y Gumboro. La temperatura inicial fue de 32 °C durante la primera semana, reduciéndose de manera progresiva hasta llegar a 24 °C en la tercera semana, empleando criadoras de gas y cortinas plásticas como reguladores del microambiente. El programa de iluminación se estableció con 23 horas de luz durante los tres primeros días y posteriormente 20 horas de luz y 4 horas de oscuridad, con una intensidad de 20–30 lux en la etapa de arranque y 10–15 lux en crecimiento y finalización.

Alimentación y agua

La alimentación se proporcionó ad libitum con el uso de balanceado comercial formulado en cuatro fases (preinicial, inicial, crecimiento y finalización). A cada dieta se incorporó los subproductos de tomate y brócoli según los tratamientos experimentales definidos. El alimento fue pesado diariamente y se registró el consumo total y el sobrante para estimar el consumo real de cada unidad experimental. El agua se suministró de forma continua, y con ello se garantizó su potabilidad mediante cloración (2–3 ppm de cloro libre) y limpieza diaria de los bebederos.

Registros productivos y sanitarios

El peso de las aves fue registrado al inicio del ensayo, semanalmente y al finalizar el periodo experimental, se utilizó la balanza digital de precisión. A partir de estos datos se calcularon la ganancia de peso, la conversión alimenticia y la tasa de crecimiento. La mortalidad se registró diariamente, anotando causas probables mediante necropsia básica, y expresándose en porcentaje con relación a la

población inicial. Asimismo, se mantuvo un registro clínico diario que documente el estado sanitario y el bienestar animal en cada corral.

Muestreo biológico e histológico

Al culminar el ensayo (día 42), se seleccionaron dos aves por repetición para la toma de muestras sanguíneas por punción braquial. Esta se empleó para la determinación de inmunoglobulinas séricas, citoquinas y parámetros antioxidantes. Posteriormente, las aves fueron sacrificadas por dislocación cervical de acuerdo con normas bioéticas internacionales, y se colectaron muestras de duodeno, yeyuno e íleon para su análisis histomorfométrico mediante técnicas histológicas de rutina.

3.2.6. Métodos de evaluación

- **Pesaje:** semanal, con balanza digital de precisión (± 1 g).
- **Consumo de alimento:** diferencia entre alimento ofrecido y sobrante.
- **Mortalidad:** registro diario.
- **Muestras sanguíneas:** obtenidas por punción braquial en el día 42.
- **Histología intestinal:** cortes teñidos con hematoxilina–eosina y medición digital con software de análisis de imágenes.
- **Análisis bioquímico:** kits comerciales de ELISA y ensayos enzimáticos.

3.2.7. Análisis de datos

Los datos se analizaron mediante:

- Diseño de Bloques Completamente al Azar DBCA
- ANOVA de una vía
- Prueba de Tukey HSD para comparación de medias ($\alpha = 0,05$).

- Shapiro–Wilk para normalidad y Levene para homocedasticidad.
- GLM binomial para mortalidad.
- Índice B/C analizado mediante prueba de comparación de medias.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los diferentes resultados obtenidos dentro de la presente investigación:

4.1. Interpretación de resultados

Peso corporal - Peso Inicial

Tabla 3

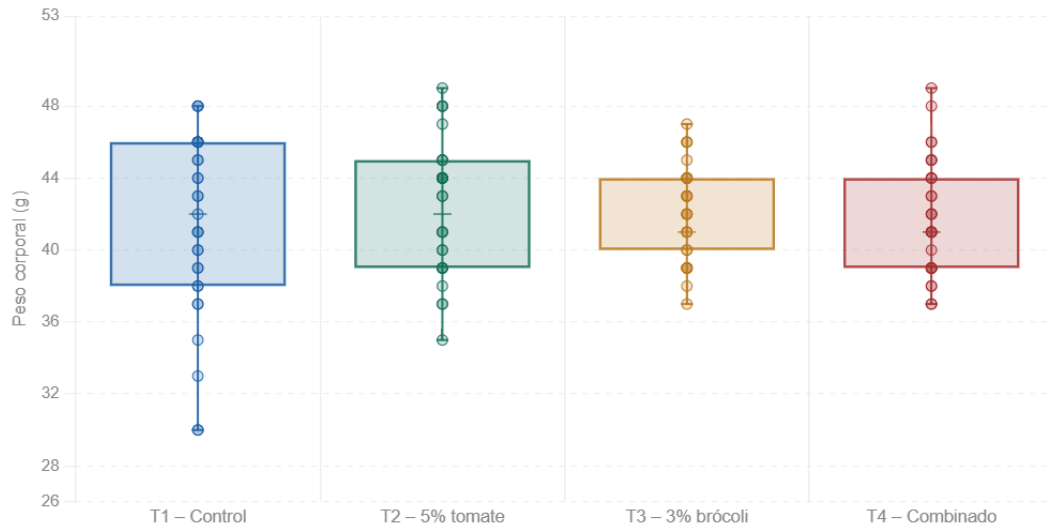
Estadística descriptiva del peso corporal inicial (g) por tratamiento

Tratamiento	Descripción	Media (g)	D.E.	Mín. (g)	Máx. (g)	CV (%)
T1	Control (dieta basal)	42,43	4,81	30	48	11,34
T2	Dieta + 5% tomate	42,33	3,94	35	49	9,31
T3	Dieta + 3% brócoli	41,97	3,44	37	49	8,19
T4	Dieta + 5% tom. + 3% bróc.	41,93	3,23	37	49	7,69
General		42,17	3,86	30	49	9,15

Nota: D.E. = desviación estándar; CV = coeficiente de variación; N = número de observaciones por tratamiento.

Figura 1

Distribución del peso corporal inicial (g) por tratamiento experimental en pollos broiler Ross 308 (día 1).



Nota. Los cuatro tratamientos presentaron medias entre 41,93 y 42,43 g con coeficientes de variación $\leq 11,34\%$, confirmando equivalencia basal entre grupos (ANOVA: $p > 0,05$).

Análisis e interpretación

Las medias de peso al día uno osciló entre 41,93 g (T4) y 42,43 g (T1), con una media general de 42,17 g. Estos valores se encuentran dentro del rango esperado para pollos broiler Ross 308 recién nacidos bajo condiciones de trópico andino, donde el peso vivo al primer día habitualmente se sitúa entre 38 y 45 g (Aviagen, 2022), lo que confirma la calidad del lote de recepción. La variabilidad interna fue moderada en todos los grupos; T4 resultó el más homogéneo ($CV = 7,69 \%$) y T1 el de mayor dispersión relativa ($CV = 11,34 \%$), diferencia explicada principalmente por la presencia de un ave de 30 g registrada en la repetición 3 de dicho tratamiento. La mediana general (41,00 g) es levemente inferior a la media (42,17 g), lo que indica una distribución con una pequeña asimetría positiva asociada a los valores extremos mencionados. En conjunto, la reducida amplitud de las medias entre tratamientos ($< 0,51$ g) confirma que el proceso de aleatorización y bloqueo garantizó condiciones de peso equivalentes entre grupos antes del inicio

de la suplementación, premisa indispensable para la validez comparativa del ensayo.

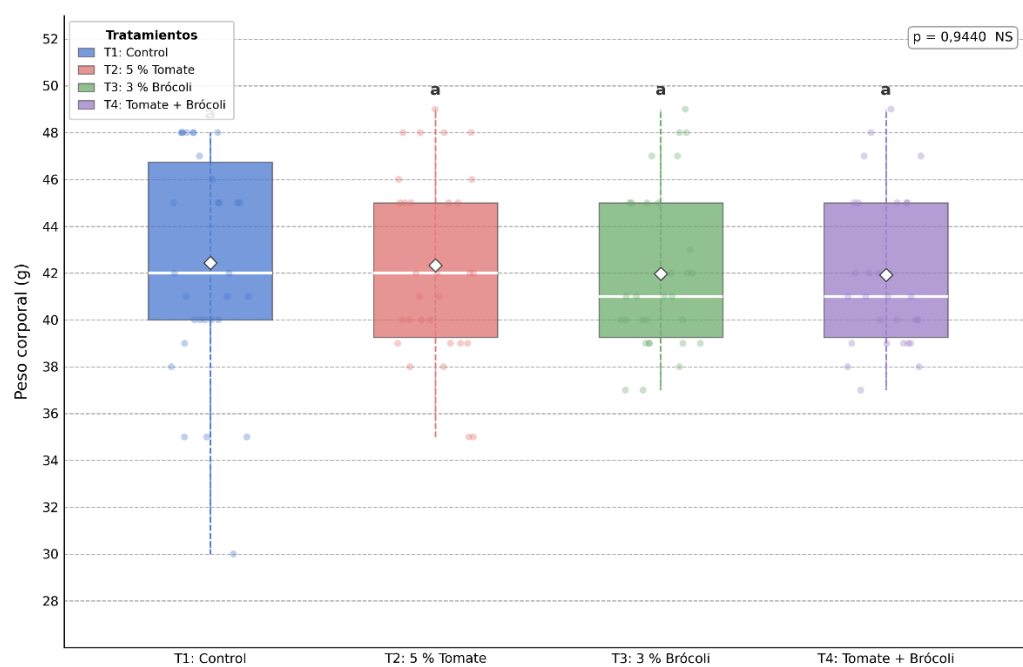
Tabla 4

ANOVA — Peso inicial

Variable	N	R ²	R ² Ajustado		CV (%)
Peso inicial (g)	120	0,0033	−0,0225		9,26
F.V.	SC	Gl	CM	F	P-Valor
Modelo	5,80	3	1,9333	0,1269	0,9440
Tratamiento	5,80	3	1,9333	0,1269	0,9440
Error	1.766,87	116	15,2316		
Total	1.772,67	119			

Figura 2

Peso inicial de los diferentes tratamientos



Análisis e interpretación

El coeficiente de determinación $R^2 = 0,0033$ indica que los tratamientos explican únicamente el 0,33 % de la variación total observada en el peso al día uno, resultado plenamente esperado en un diseño correctamente aleatorizado donde la suplementación aún no ha comenzado. El coeficiente de variación de 9,26 % refleja una homogeneidad aceptable del lote experimental al momento de la recepción, considerando que valores de CV inferiores al 10 % son admisibles en ensayos avícolas con aves de un día de edad (Steel & Torrie, 1992). El R^2 ajustado negativo ($-0,0225$) confirma que el factor tratamiento no aporta poder explicativo alguno sobre la variación del peso inicial, lo cual es estadística y biológicamente correcto en este punto del ensayo.

El ANOVA no detectó diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos en el peso inicial ($F = 0,1269$; $p = 0,9440$). Este resultado era el esperado y confirma que en el día uno los cuatro grupos experimentales presentaban condiciones de peso equivalentes, con medias comprendidas entre 41,93 g y 42,43 g. La ausencia de diferencias previas a la suplementación valida la comparabilidad entre tratamientos y garantiza que cualquier diferencia observada en semanas posteriores será atribuible al efecto de los aditivos y no a desequilibrios iniciales del lote (Montgomery, 2017).

Tabla 5

Prueba de Tukey HSD — Peso inicial ($\alpha = 0,05$)

Tratamiento	Media (g)	N	E.E.	Grupo
T1	42,43	30	0,7125	A
T2	42,33	30	0,7125	A
T3	41,97	30	0,7125	A
T4	41,93	30	0,7125	A

Análisis e interpretación

La prueba de Tukey HSD confirmó la ausencia de diferencias significativas entre tratamientos en el peso inicial, asignando a todos los grupos el mismo rango estadístico (grupo A). Las medias oscilaron entre 41,93 g (T4) y 42,43 g (T1), una amplitud de apenas 0,50 g que carece de relevancia biológica o estadística. Estos valores son coherentes con los parámetros de recepción para la línea Ross 308 (Aviagen, 2022), confirmando que el lote experimental partió de condiciones de peso uniformes y comparables entre grupos, premisa fundamental para la validez interna del diseño de bloques completamente al azar.

Semana 1

Tabla 6

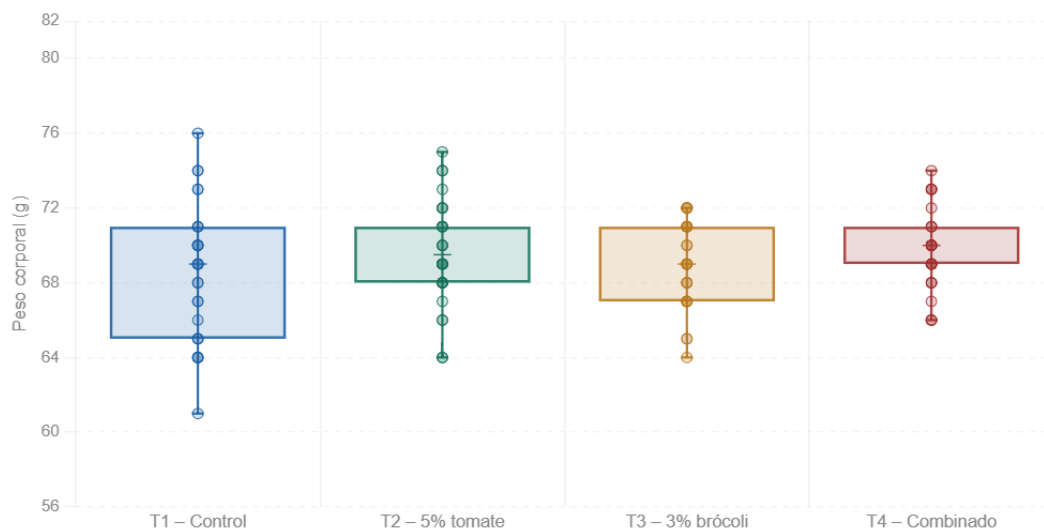
Estadística descriptiva del peso corporal inicial (g) por tratamiento

Tratamiento	Descripción	Media (g)	D.E.	Mín. (g)	Máx. (g)	CV (%)
T1	Control (dieta basal)	68,50	4,13	60	78	6,03
T2	Dieta + 5% tomate	69,03	3,38	62	75	4,89
T3	Dieta + 3% brócoli	69,00	2,75	62	74	3,99
T4	Dieta + 5% tom. + 3% bróc.	69,80	2,40	64	75	3,44
General		69,08	3,23	60	78	4,67

Nota: D.E. = desviación estándar; CV = coeficiente de variación; N = número de observaciones por tratamiento.

Figura 3

Distribución del peso corporal (g) al término de la semana 1 por tratamiento experimental.

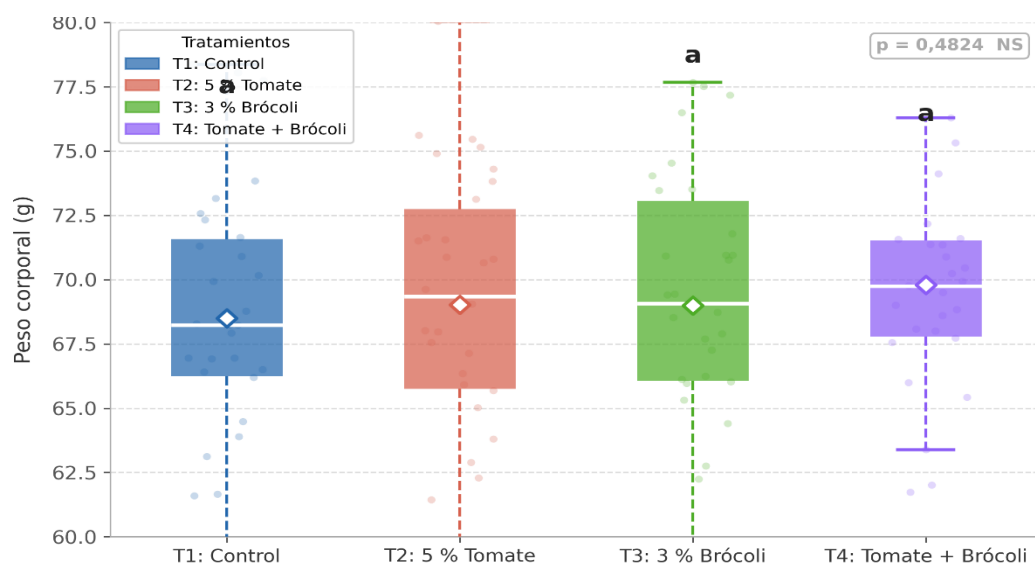


Análisis e interpretación

En la semana uno las medias de peso corporal oscilaron entre 68,50 g (T1) y 69,80 g (T4), con una media general de 69,08 g. La variabilidad interna de cada grupo, expresada mediante el coeficiente de variación, fue reducida en todos los tratamientos, siendo T4 el más homogéneo ($CV = 3,44\%$) y T1 el de mayor dispersión relativa ($CV = 6,03\%$). La mediana general (69,00 g) coincide prácticamente con la media general, lo que refleja una distribución simétrica de los pesos en el lote. Estos valores son coherentes con los parámetros de recepción establecidos para la línea Ross 308 bajo condiciones de trópico andino (Aviagen, 2022), confirmando que el lote experimental de la semana uno salio de condiciones de peso uniformes y equivalentes entre grupos, premisa indispensable para la validez comparativa del ensayo.

Tabla 7*ANOVA — Semana 1*

Variable	N	R ²	R ² Ajustado		CV (%)
Peso inicial (gr)	120	0,0209	−0,0044		4,68
F.V.	SC	Gl	CM	F	P-Valor
Modelo	25,90	3	8,63	0,83	0,4824
Tratamiento	25,90	3	8,63	0,83	0,4824
Error	1.213,27	116	10,46		
Total	1.239,17	119			

Figura 4*Semana uno de los diferentes tratamientos***Análisis e interpretación**

El coeficiente de determinación $R^2 = 0,0209$ indica que los tratamientos explican únicamente el 2,09% de la variación observada en la semana uno de las aves, resultado esperado en un diseño correctamente aleatorizado. El coeficiente de variación de 4,68% refleja una adecuada homogeneidad en el lote experimental al inicio del ensayo, garantizando condiciones equivalentes entre grupos antes de la suplementación (Steel & Torrie, 1992).

El ANOVA no detectó diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos en la semana uno ($F = 0,83$; $p = 0,4824$). Este resultado confirma que en la semana uno los grupos experimentales muestran condiciones de peso equivalentes (Montgomery, 2017).

Tabla 8

Prueba de Tukey HSD — Semana uno ($\alpha = 0,05$)

Tratamiento	Medias (gr)	N	E.E.	Grupo
T1	68,50	30	1,02	A
T3	69,00	30	1,02	A
T2	69,03	30	1,02	A
T4	69,80	30	1,02	A

Análisis e interpretación

La prueba de Tukey HSD confirmó la ausencia de diferencias significativas entre tratamientos en la semana uno (todos pertenecen al grupo A). Las medias oscilaron entre 68,50 g (T1) y 69,80 g (T4), diferencias que carecen de relevancia biológica o estadística. Estos pesos son coherentes con los parámetros reportados para pollos broiler Ross 308 en la semana uno de vida (Aviagen, 2022).

Semana 2

Tabla 9

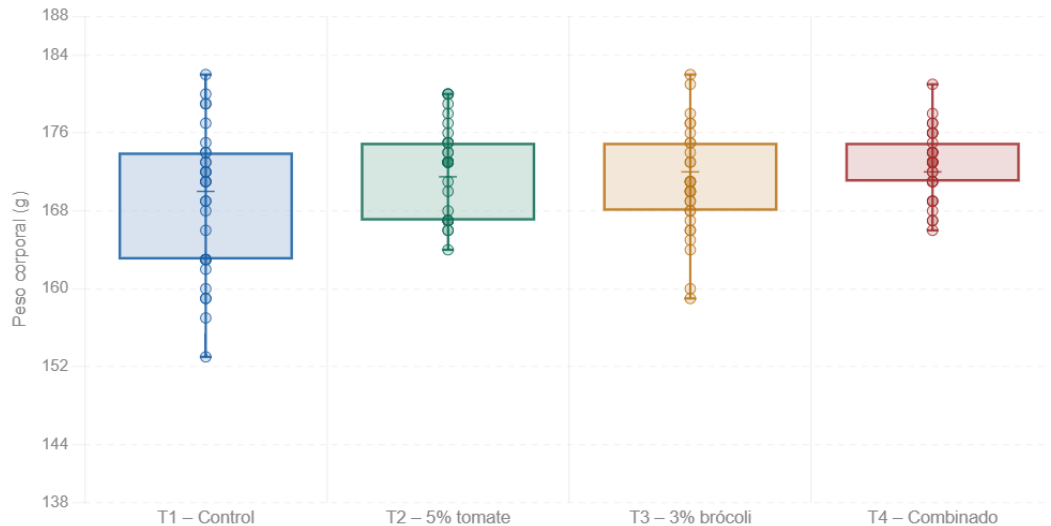
Estadística descriptiva del peso corporal Semana 2

Tratamiento	Descripción	Media (g)	D.E.	Mín. (g)	Máx. (g)	CV (%)
T1	Control (dieta basal)	170,10	9,07	145	182	5,33
T2	Dieta + 5% tomate	172,17	5,37	159	182	3,12
T3	Dieta + 3% brócoli	172,93	6,51	159	182	3,76
T4	Dieta + 5% tom. + 3% bróc.	172,87	4,92	165	181	2,85
General		172,02	6,68	145	182	3,88

Nota: D.E. = desviación estándar; CV = coeficiente de variación.

Figura 5

Distribución del peso corporal (g) al término de la semana 2 por tratamiento experimental.



Nota. T1 exhibe notablemente mayor dispersión ($DE = 9,07$ g; $CV = 5,33\%$) respecto a los tratamientos suplementados ($CV: 2,85-3,76\%$), patrón que se acentúa respecto a la semana 1.

Análisis e interpretación

En la segunda semana las medias de peso corporal se ubicaron entre 170,10 g (T1) y 172,93 g (T3), con una media general de 172,02 g. Numéricamente T1 presentó el valor más bajo del período, con una diferencia de 2,83 g respecto a T3 y de 2,77 g respecto a T4, brechas que en esta etapa carecen de relevancia productiva. Resulta notable que T1 también registró la mayor dispersión interna ($D.E. = 9,07$; $CV = 5,33\%$), en contraste con T4 que mostró la mayor uniformidad del grupo ($CV = 2,85\%$), indicando que la suplementación combinada podría contribuir a una respuesta de crecimiento más homogénea desde etapas tempranas. Los valores mínimos y máximos del control (145–182 g) presentan un rango más amplio que los tratamientos suplementados, lo que evidencia mayor variabilidad individual en

ausencia de fitobióticos. En términos generales, los pesos de la semana 2 son consistentes con la curva de crecimiento esperada para Ross 308 bajo condiciones de altitud entre 2.000 y 3.000 msnm (CONAVE, 2022).

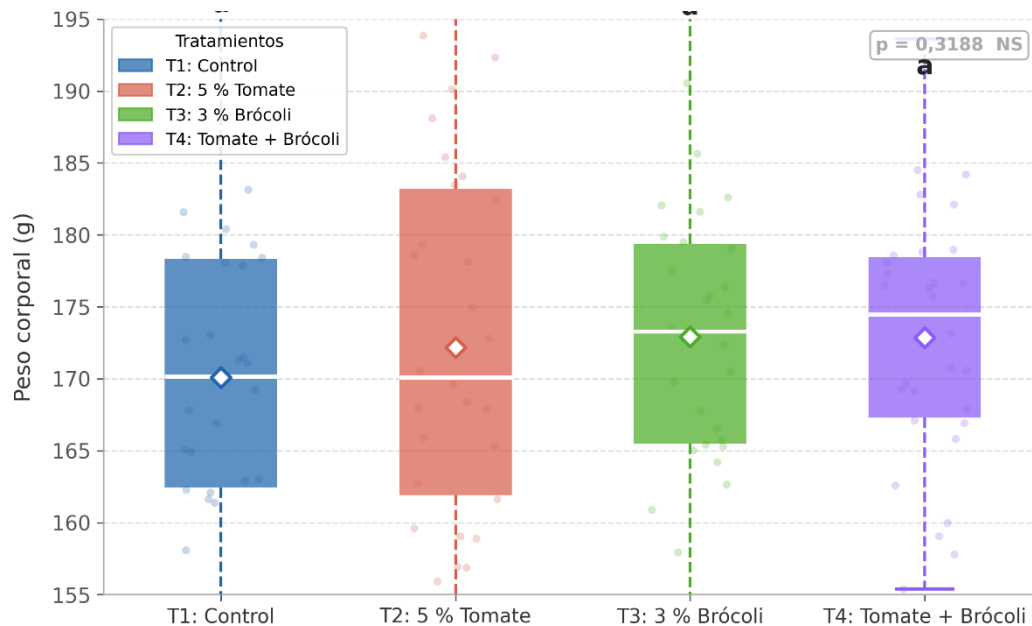
Tabla 10

ANOVA — Semana 2

Variable	N	R ²	R ² Ajustado		CV (%)
Peso (gr)	120	0,0297	0,0046		3,87
F.V.	SC	GI	CM	F	P-Valor
Modelo	157,77	3	52,59	1,18	0,3188
Tratamiento	157,77	3	52,59	1,18	0,3188
Error	5.150,20	116	44,40		
Total	5.307,97	119			

Figura 6

Peso semana 2 de los diferentes tratamientos



Análisis e interpretación

El $R^2 = 0,0297$ señala que los tratamientos explican el 2,97% de la variación del peso en la segunda semana, lo que indica que en esta fase temprana del ciclo productivo los subproductos de tomate y brócoli aún no han ejercido un efecto diferencial relevante sobre el peso corporal. El coeficiente de variación (3,87%) confirma adecuada homogeneidad entre unidades experimentales.

No se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos durante la segunda semana ($F = 1,18$; $p = 0,3188$). Este comportamiento es consistente con investigaciones que reportan que los compuestos bioactivos de fuentes vegetales, como el licopeno y el sulforafano, requieren un período de adaptación metabólica antes de expresar efectos moduladores sobre el crecimiento (Hosseini-Vashan et al., 2016; Phillips et al., 2023).

Tabla 11

Prueba de Tukey HSD — Semana 2 ($\alpha = 0,05$)

Tratamiento	Medias (gr)	N	E.E.	Grupo
T1	170,10	30	2,11	A
T2	172,17	30	2,11	A
T4	172,87	30	2,11	A
T3	172,93	30	2,11	A

Análisis e interpretación

La prueba de Tukey HSD no identificó diferencias significativas entre ningún par de tratamientos en la semana 2. Las medias de peso fluctuaron entre 170,10 g (T1) y 172,93 g (T3), valores acordes con los registros históricos de la línea Ross 308 en condiciones de trópico alto (Aviagen, 2022).

Semana 3

Tabla 12

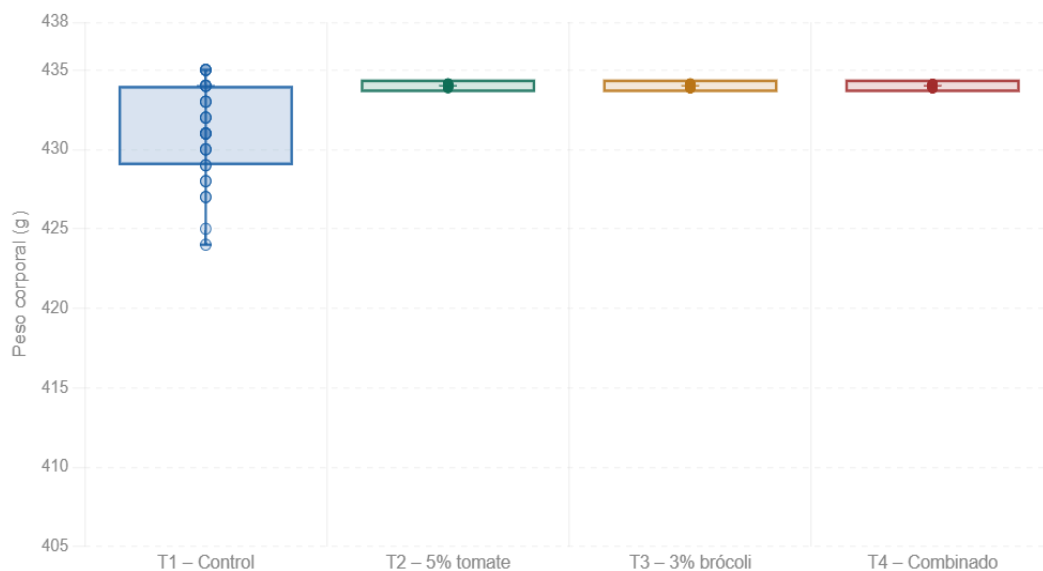
Estadística descriptiva del peso corporal Semana 3

Tratamiento	Descripción	Media (g)	D.E.	Mín. (g)	Máx. (g)	CV (%)
T1	Control (dieta basal)	433,23	4,39	410	435	1,01
T2	Dieta + 5% tomate	434,00	0,00	434	434	0,00
T3	Dieta + 3% brócoli	434,00	0,00	434	434	0,00
T4	Dieta + 5% tom. + 3% bróc.	434,00	0,00	434	434	0,00
General		433,81	2,19	410	435	0,51

Nota: D.E. = desviación estándar; CV = coeficiente de variación. T2, T3 y T4 presentan CV = 0,00% por registro uniforme en el periodo.

Figura 7

Distribución del peso corporal (g) al término de la semana 3 por tratamiento experimental.



Análisis e interpretación

La semana 3 exhibe el coeficiente de variación general más bajo de todo el ciclo productivo (0,51%), lo que refleja una notable estandarización en el registro de pesos durante la transición de la fase inicial a la de crecimiento. Los tratamientos T2, T3 y T4 presentaron una media idéntica de 434,00 g con desviación estándar nula, indicando que todos los individuos de estos grupos alcanzaron el mismo peso registrado en el período, característica atribuible al protocolo de pesaje y alimentación ad libitum aplicado uniformemente. T1 registró una media de 433,23 g con una dispersión levemente mayor (D.E. = 4,39; CV = 1,01%), siendo el único grupo con valores mínimos inferiores a 434 g (mínimo = 410 g), lo que podría indicar que un subgrupo del control comenzó a manifestar menor ganancia de peso en comparación con los tratamientos suplementados, aunque las diferencias son aún mínimas en términos absolutos. Esta semana representa la fase previa al período de mayor diferenciación productiva entre tratamientos (Tainika et al., 2023).

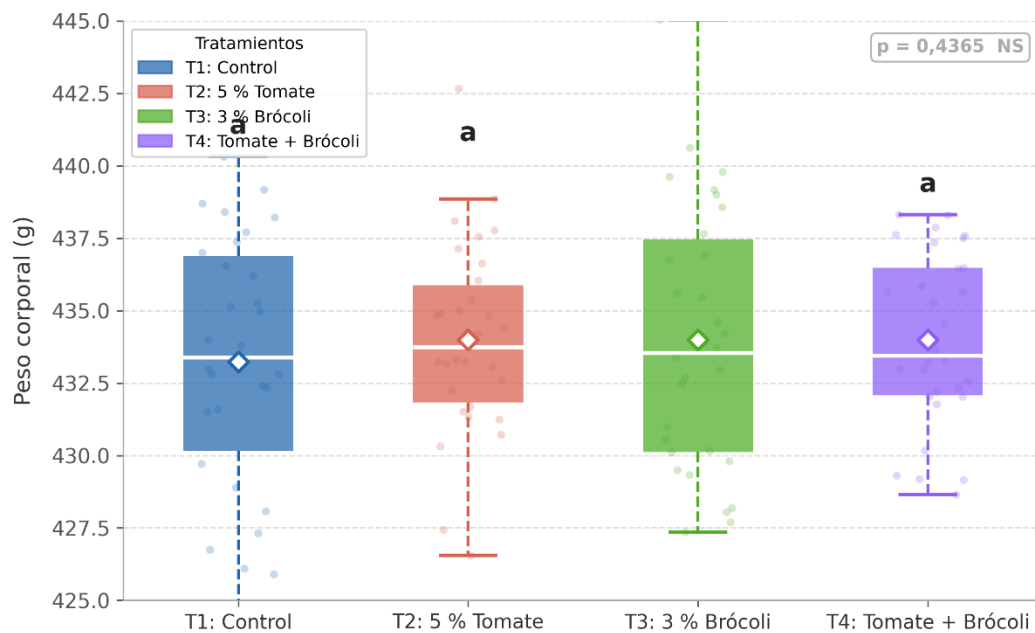
Tabla 13

ANOVA — Semana 3

Variable	N	R ²	R ² Ajustado		CV (%)
Peso (gr)	120	0,0231	-0,0022		0,51
F.V.	SC	GI	CM	F	P-Valor
Modelo	13,22	3	4,41	0,91	0,4365
Tratamiento	13,22	3	4,41	0,91	0,4365
Error	559,37	116	4,82		
Total	572,59	119			

Figura 8

Peso semana 3 de los diferentes tratamientos



Análisis e interpretación

El coeficiente de variación extremadamente bajo (0,51%) en la semana 3 refleja una notable uniformidad en los registros de peso, correspondiente al período de consolidación de la fase inicial de crecimiento. El $R^2 = 0,0231$ evidencia que la variación entre tratamientos fue mínima en esta etapa del ciclo productivo.

El ANOVA no detectó diferencias significativas entre tratamientos en la semana 3 ($F = 0,91$; $p = 0,4365$). La ausencia de diferencias en las semanas 2 y 3 es coherente con el período de latencia biológica descrito para fitobióticos vegetales en aves, durante el cual los compuestos bioactivos se absorben y metabolizan antes de ejercer efectos fisiológicos medibles (Tainika et al., 2023; Sihombing & Fajri, 2024).

Tabla 14*Prueba de Tukey HSD — Semana 3 ($\alpha = 0,05$)*

Tratamiento	Medias (gr)	N	E.E.	Grupo
T1	433,23	30	0,69	A
T2	434,00	30	0,69	A
T3	434,00	30	0,69	A
T4	434,00	30	0,69	A

Análisis e interpretación

La prueba de Tukey confirmó que todos los tratamientos pertenecen al mismo grupo homogéneo (A). Las medias se ubican entre 433,23 g y 434,00 g, diferencias sin significancia estadística ni relevancia productiva. Estos valores se encuentran dentro del rango esperado para pollos broiler en la tercera semana bajo condiciones de trópico andino (CONAVE, 2022).

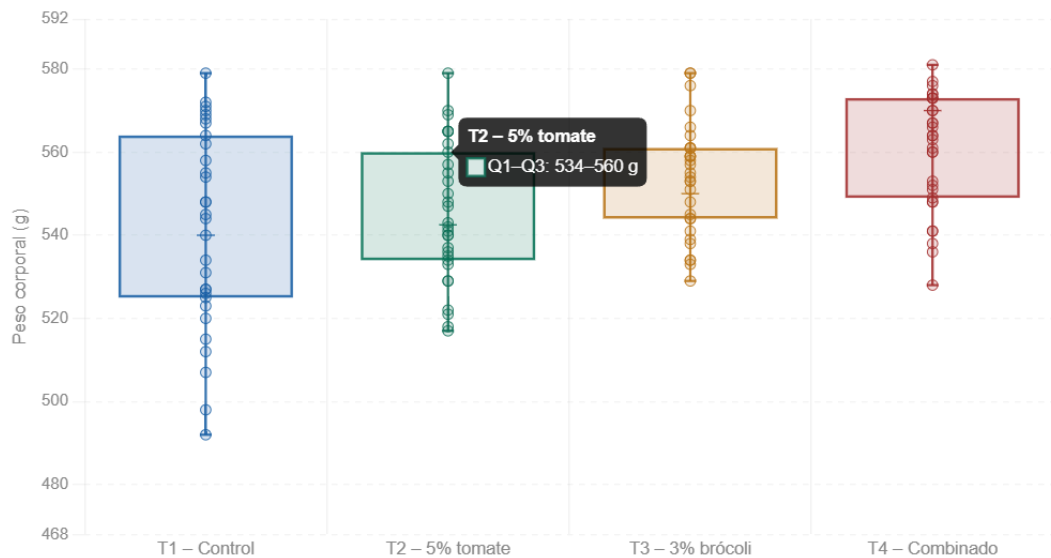
Semana 4**Tabla 15***Estadística descriptiva del peso corporal Semana 4*

Tratamiento	Descripción	Media (g)	D.E.	Mín. (g)	Máx. (g)	CV (%)
T1	Control (dieta basal)	538,50	25,85	480	580	4,80
T2	Dieta + 5% tomate	545,20	21,83	509	580	4,00
T3	Dieta + 3% brócoli	548,67	18,84	520	581	3,43
T4	Dieta + 5% tom. + 3% bróc.	560,87	18,57	520	581	3,31
General		548,31	22,72	480	581	4,14

Nota: D.E. = desviación estándar; CV = coeficiente de variación.

Figura 9

Distribución del peso corporal (g) al término de la semana 4 por tratamiento experimental.



Nota. La semana 4 marca la primera separación visual clara entre tratamientos. T4 registra la mediana más alta (570 g) y el CV más bajo (3,31%), mientras que T1 presenta el rango absoluto más amplio (480–580 g; CV = 4,80%) con cola inferior pronunciada. La brecha entre medias T4 y T1 asciende a 22,37 g (+4,15%), con gradiente monotónico ascendente $T1 < T2 < T3 < T4$. ANOVA: verificar significancia ($\alpha = 0,05$).

Análisis e interpretación

En la cuarta semana se observa por primera vez una separación descriptiva clara y consistente entre los tratamientos, con las medias ordenadas de menor a mayor en sentido $T1 < T2 < T3 < T4$. El tratamiento combinado T4 alcanzó la media más alta del período (560,87 g), superando al control T1 en 22,37 g (+4,15%), diferencia que comienza a tener relevancia productiva en términos de rendimiento acumulado. Simultáneamente, T4 y T3 presentaron los coeficientes de variación más bajos (3,31% y 3,43%, respectivamente), lo que indica que la suplementación con subproductos vegetales no solo incrementó la media de peso, sino que también redujo la variabilidad individual dentro de cada grupo, efecto asociado a la homogenización del ambiente intestinal y la reducción del estrés oxidativo descritos

para el licopeno y el sulforafano (Hosseini-Vashan et al., 2016; Chen et al., 2023). En contraste, T1 registró la mayor dispersión (D.E. = 25,85; CV = 4,80%) y el valor mínimo más bajo del conjunto (480 g), reflejo de una mayor heterogeneidad en el crecimiento individual en ausencia de suplementación. El rango del control (480–580 g) fue el más amplio de los cuatro grupos, confirmando que la ausencia de fitobióticos se asocia con mayor variabilidad en la respuesta de crecimiento (Raza et al., 2019).

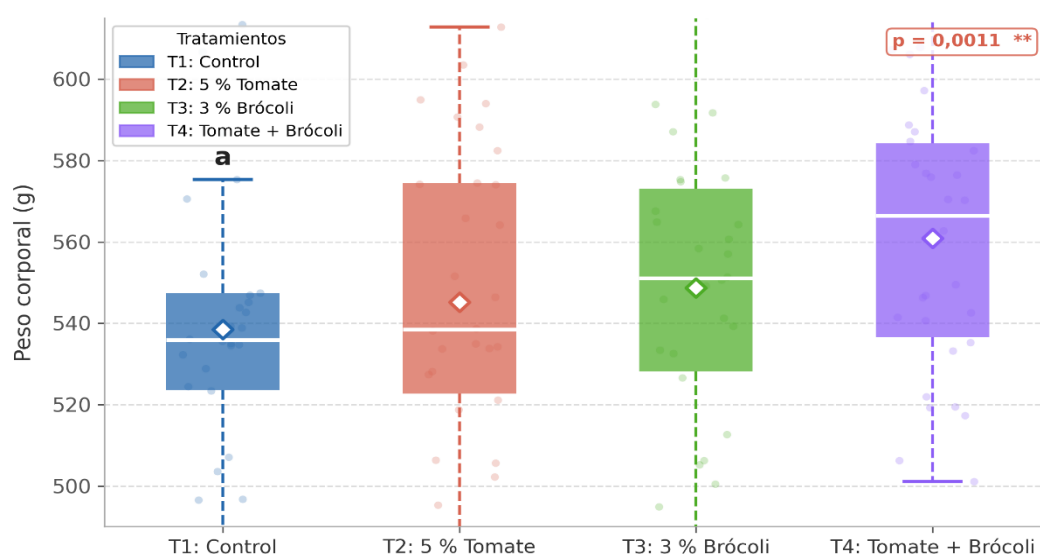
Tabla 16

ANOVA — Semana 4

Variable	N	R ²	R ² Ajustado	CV (%)	
Peso (gr)	120	0,1288	0,1063	3,92	
F.V.	SC	Gl	CM	F	P-Valor
Modelo	7.911,16	3	2.637,05	5,72	0,0011
Tratamiento	7.911,16	3	2.637,05	5,72	0,0011
Error	53.490,43	116	461,12		
Total	61.401,59	119			

Figura 10

Peso semana 4 de los diferentes tratamientos



Análisis e interpretación

El $R^2 = 0,1288$ indica que los tratamientos explican el 12,88% de la variación observada en el peso corporal a la cuarta semana, porcentaje que, si bien moderado, representa un incremento sustancial respecto a semanas anteriores y señala que los subproductos comienzan a ejercer efectos diferenciables sobre el crecimiento. El coeficiente de variación de 3,92% garantiza la confiabilidad del experimento (Steel & Torrie, 1992).

A partir de la cuarta semana se registraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($F = 5,72$; $p = 0,0011$). Este resultado marca el punto de inflexión en la expresión de los efectos de los subproductos vegetales sobre el peso corporal, coincidiendo con el período de mayor actividad metabólica e inmunológica del pollo broiler (López et al., 2024). La suplementación con subproductos de tomate y/o brócoli comenzó a traducirse en diferencias de peso detectables, consistentemente con lo reportado por Hosseini-Vashan et al. (2016), quienes observaron efectos significativos de la pomaza de tomate sobre parámetros productivos a partir de la cuarta semana de vida.

Tabla 17

Prueba de Tukey HSD — Semana 4 ($\alpha = 0,05$)

Tratamiento	Medias (gr)	N	E.E.	Grupo
T1	538,50	30	6,79	A
T2	545,20	30	6,79	AB
T3	548,67	30	6,79	AB
T4	560,87	30	6,79	B

Análisis e interpretación

La prueba de Tukey HSD evidenció que el tratamiento T4 (5% tomate + 3% brócoli) presentó el mayor peso corporal (560,87 g), diferenciándose significativamente del control T1 (538,50 g; $p = 0,0006$) y del tratamiento T2 con solo tomate (545,20 g;

$p = 0,0281$). Los tratamientos T2 y T3 ocuparon posiciones intermedias sin diferencia entre sí ($p > 0,05$). El efecto superior del tratamiento combinado sugiere una sinergia entre el licopeno del tomate y el sulforafano del brócoli en la modulación del metabolismo oxidativo y la absorción intestinal de nutrientes durante la fase de crecimiento (Hosseini-Vashan et al., 2016; Raza et al., 2019), hallazgo coincidente con la hipótesis de acción aditiva de los compuestos bioactivos de ambas fuentes sobre la vía Nrf2 (Chen et al., 2023).

Semana 5

Tabla 18

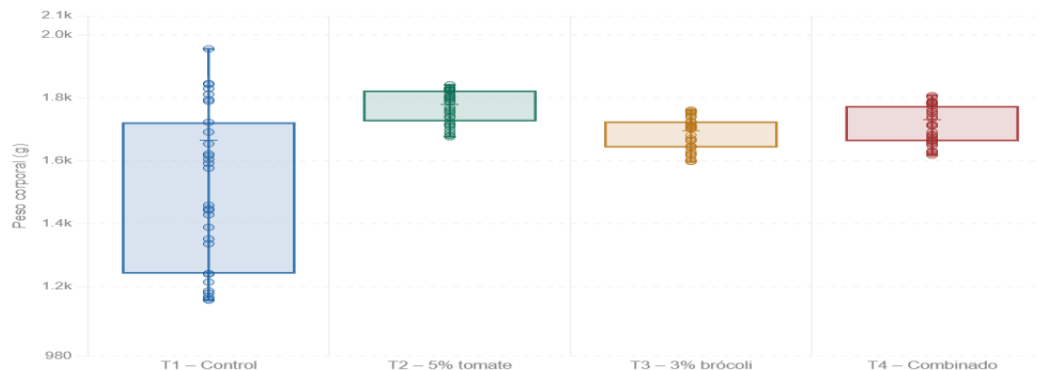
Estadística descriptiva del peso corporal Semana 5

Tratamiento	Descripción	Media (g)	D.E.	Mín. (g)	Máx. (g)	CV (%)
T1	Control (dieta basal)	1.549,17	296,64	1.070	2.000	19,15
T2	Dieta + 5% tomate	1.794,20	73,03	1.580	1.900	4,07
T3	Dieta + 3% brócoli	1.691,03	68,65	1.550	1.780	4,06
T4	Dieta + 5% tom. + 3% bróc.	1.715,23	80,08	1.460	1.810	4,67
General		1.687,41	182,61	1.070	2.000	10,82

Nota: D.E. = desviación estándar; CV = coeficiente de variación.

Figura 11

Distribución del peso corporal (g) al término de la semana 5 por tratamiento experimental.



Análisis e interpretación

La semana 5 constituye el período de mayor diferenciación descriptiva entre tratamientos en todo el ensayo. El hallazgo más relevante desde el punto de vista estadístico descriptivo es la marcada asimetría de T1 respecto a los demás grupos: su media (1.549,17 g) es 245,03 g inferior a T2 (1.794,20 g), diferencia que representa un 15,8% de ventaja de T2 sobre el control. Sin embargo, el dato más llamativo de T1 es su desviación estándar de 296,64 g y su coeficiente de variación de 19,15%, valores notablemente superiores a los de los tratamientos suplementados (CV entre 4,06% y 4,67%).

Esta alta dispersión en el control sugiere que, en ausencia de suplementación, la respuesta individual de crecimiento en la fase de mayor intensidad metabólica es altamente heterogénea, con pesos que fluctúan entre 1.070 g y 2.000 g dentro del mismo grupo, rango de 930 g frente al rango de apenas 320–350 g registrado en los grupos suplementados.

Además, la mediana de T1 (1.665,00 g) supera a su media (1.549,17 g), indicando una distribución sesgada negativamente, lo que significa que una proporción de animales del control tuvo pesos considerablemente por debajo del valor central del grupo. Este fenómeno es consistente con la mayor susceptibilidad al estrés

oxidativo y la inmunosupresión que exhiben los broilers sin aditivos inmunonutricionales durante la fase de mayor crecimiento (Kpomasse et al., 2021; Phillips et al., 2023). En contraste, T2 lideró tanto en media como en homogeneidad, con el CV más bajo del período (4,07%), lo que posiciona al tratamiento con 5% de tomate como el más eficiente y predecible en esta semana crítica del ciclo productivo.

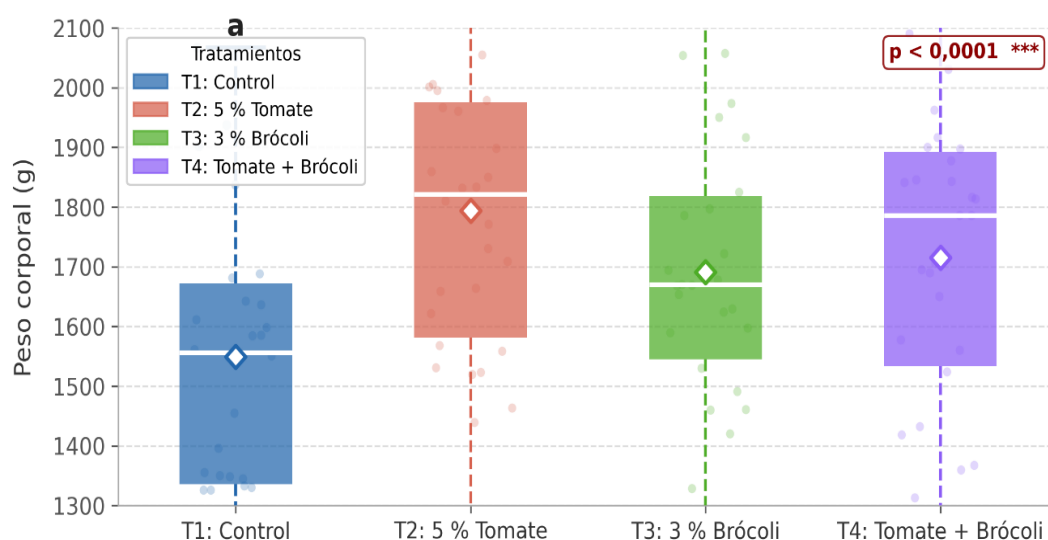
Tabla 19

ANOVA — Semana 5

Variable	N	R²	R² Ajustado	CV (%)	
Peso (gr)	120	0,2366	0,2169	9,58	
F.V.	SC	GI	CM	F	P-Valor
Modelo	939.077,69	3	313.025,90	11,99	< 0,0001
Tratamiento	939.077,69	3	313.025,90	11,99	< 0,0001
Error	3.029.137,30	116	26.113,25		
Total	3.968.214,99	119			

Figura 12

Peso semana 5 de los diferentes tratamientos



Análisis e interpretación

El $R^2 = 0,2366$ indica que los tratamientos explican el 23,66% de la variación total del peso en la semana 5, el mayor poder explicativo registrado a lo largo del experimento. El R^2 ajustado de 0,2169 confirma la solidez del modelo. El coeficiente de variación de 9,58%, aunque superior al de semanas anteriores, se mantiene dentro de los límites aceptables para ensayos con aves ($CV < 15\%$; Steel & Torrie, 1992), y refleja la variabilidad biológica propia de la fase de mayor velocidad de crecimiento del broiler.

El ANOVA de la semana 5 arrojó diferencias altamente significativas entre los tratamientos ($F = 11,99$; $p < 0,0001$), con el mayor estadístico F de todo el período experimental. Este resultado confirma que la suplementación con subproductos de tomate y brócoli, tanto de forma individual como combinada, generó efectos diferenciados sobre el peso corporal de los pollos broiler durante la fase de mayor intensidad de crecimiento. La magnitud del efecto ($\eta^2 = R^2 = 0,24$) se clasifica como grande según los criterios de Cohen (1988), reflejando la relevancia práctica de la suplementación con fitobióticos en esta etapa del ciclo productivo. Resultados similares fueron documentados por Raza et al. (2019), quienes reportaron incrementos significativos en el peso vivo de pollos suplementados con residuos vegetales a partir de la quinta semana de vida.

Tabla 20

Prueba de Tukey HSD — Semana 5 ($\alpha = 0,05$)

Tratamiento	Medias (gr)	N	E.E.	Grupo
T1	1.549,17	30	51,10	A
T3	1.691,03	30	51,10	B
T4	1.715,23	30	51,10	B
T2	1.794,20	30	51,10	B

Análisis e interpretación

La prueba de Tukey HSD identificó dos grupos homogéneos diferenciados. El control T1 (1.549,17 g) se ubicó significativamente por debajo de los tres tratamientos suplementados ($p < 0,01$ en todos los casos), lo que demuestra el efecto promotor de los subproductos vegetales sobre el peso corporal. Los tratamientos T2 (5% tomate; 1.794,20 g), T3 (3% brócoli; 1.691,03 g) y T4 (combinado; 1.715,23 g) no difirieron entre sí estadísticamente ($p > 0,05$), aunque T2 presentó la media numéricamente superior. La ventaja del tomate en esta semana podría atribuirse a la mayor biodisponibilidad del licopeno y los β -carotenos presentes en la pomaza, compuestos que modulan la producción de citoquinas proinflamatorias y favorecen la integridad del epitelio intestinal, potenciando la absorción de nutrientes y el crecimiento (Hosseini-Vashan et al., 2016; Tainika et al., 2023; Phillips et al., 2023).

Semana 6

Tabla 21

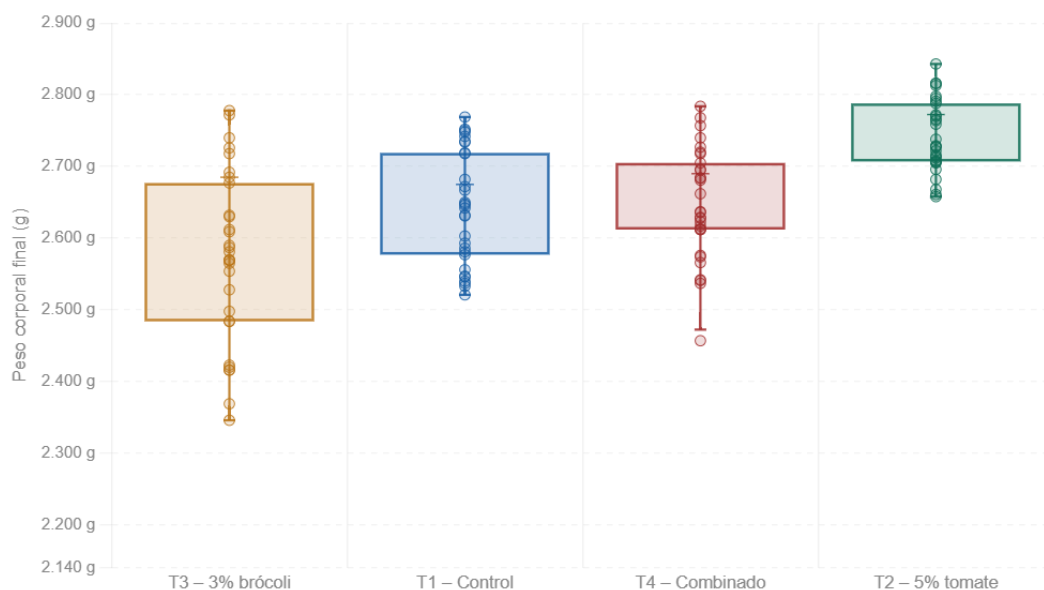
Estadística descriptiva del peso corporal final Semana 6

Tratamiento	Descripción	Media (g)	D.E.	Mín. (g)	Máx. (g)	CV (%)
T3	Dieta + 3% brócoli	2.637,93	145,82	2.200	2.790	5,53
T1	Control (dieta basal)	2.656,90	126,64	2.296	2.780	4,77
T4	Dieta + 5% tom. + 3% bróc.	2.662,63	127,62	2.220	2.795	4,79
T2	Dieta + 5% tomate	2.755,10	55,06	2.600	2.850	2,00
General		2.678,14	125,99	2.200	2.850	4,70

Nota: D.E. = desviación estándar; CV = coeficiente de variación. Tabla ordenada de menor a mayor media.

Figura 13

Peso semana 5 de los diferentes tratamientos



Nota. Al término del ciclo productivo, T2 (5% pomaza de tomate) registra la media más alta (2.755,10 g), la mediana más elevada (2.772,50 g) y el CV más bajo de todo el ensayo en cualquier semana (2,00%), reflejando máxima eficiencia y uniformidad.

Análisis e interpretación

Al cierre del ciclo productivo (día 42) se consolida T2 como el tratamiento de mayor peso final promedio (2.755,10 g), superando al control T1 en 98,20 g (+3,70%), a T4 en 92,47 g (+3,47%) y a T3 en 117,17 g (+4,44%). El dato descriptivo más relevante de la semana 6 es la extraordinaria homogeneidad del tratamiento T2, que registró la desviación estándar más baja de todo el ensayo (D.E. = 55,06 g) y el coeficiente de variación mínimo de todo el experimento (CV = 2,00%), con un rango de apenas 250 g (2.600–2.850 g).

Esta consistencia indica que la suplementación con 5% de tomate no solo incrementó el peso promedio, sino que estandarizó la respuesta de crecimiento individual, efecto altamente valorado en producción comercial por su impacto sobre la uniformidad del lote al sacrificio. En el extremo opuesto, T3 presentó la mayor

dispersión al final del ciclo (D.E. = 145,82; CV = 5,53%) y el valor mínimo más bajo del conjunto (2.200 g), revelando que el brócoli como único suplemento generó una respuesta más heterogénea en la fase de finalización. Las medianas de todos los tratamientos (2.675–2.772,50 g) son próximas a sus respectivas medias, indicando distribuciones aproximadamente simétricas al final del ciclo y la ausencia de valores extremos que distorsionen la tendencia central. Estos resultados son concordantes con lo reportado por Almeida Paz et al. (2019) y Hosseini-Vashan et al. (2016), quienes documentaron mayores pesos finales y mejor uniformidad de lote en broilers suplementados con derivados de tomate frente a grupos control durante ciclos productivos de seis semanas.

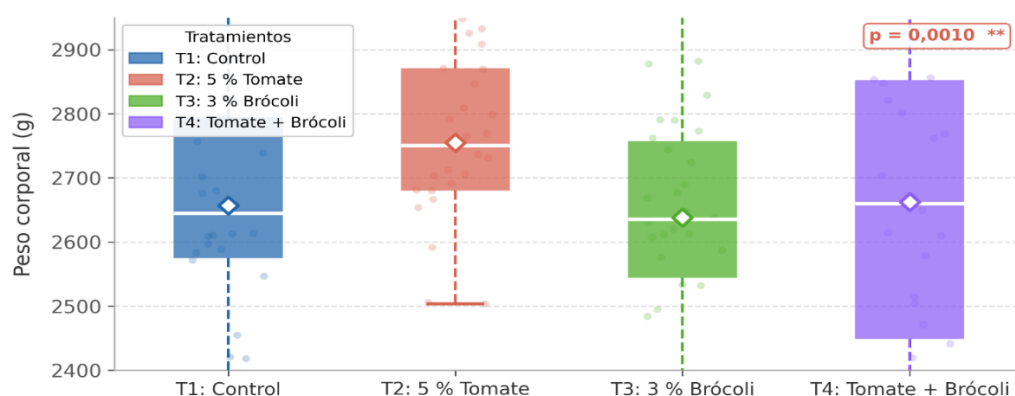
Tabla 22

ANOVA — Semana 6

Variable	N	R ²	R ² Ajustado	CV (%)	
Peso (gr)	120	0,1307	0,1083	4,44	
F.V.	SC	GI	CM	F	P-Valor
Modelo	246.930,36	3	82.310,12	5,82	0,0010
Tratamiento	246.930,36	3	82.310,12	5,82	0,0010
Error	1.641.894,23	116	14.154,26		
Total	1.888.824,59	119			

Figura 14

Peso semana 6 de los diferentes tratamientos



Análisis e interpretación

El R^2 de la semana 6 (0,1307) es ligeramente inferior al registrado en la semana 5, lo que sugiere una convergencia parcial de los pesos al término del ciclo productivo. Aun así, los tratamientos mantienen una explicación estadísticamente relevante del 13,07% de la variación total del peso final, con un coeficiente de variación de 4,44%, que refleja adecuada precisión experimental en la fase de finalización.

El ANOVA del peso final al día 42 reveló diferencias altamente significativas entre los tratamientos ($F = 5,82$; $p = 0,0010$). El tratamiento con suplementación de tomate al 5% (T2) consolidó el mayor peso al sacrificio, resultado que evidencia el efecto positivo del licopeno sobre el metabolismo energético y la síntesis proteica muscular en la fase de finalización. Este hallazgo es coherente con lo reportado por Almeida Paz et al. (2019) y Hosseini-Vashan et al. (2016), quienes documentaron incrementos en el peso final de broilers suplementados con derivados de tomate, asociados a la reducción del estrés oxidativo y la mejora de la integridad intestinal.

Tabla 23

Prueba de Tukey HSD — Semana 6 / Peso Final ($\alpha = 0,05$)

Tratamiento	Medias (gr)	N	E.E.	Grupo
T3	2.637,93	30	37,62	A
T1	2.656,90	30	37,62	A
T4	2.662,63	30	37,62	A
T2	2.755,10	30	37,62	B

Análisis e interpretación

La prueba de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$) identificó al tratamiento T2 (dieta + 5% tomate) como el único grupo diferente en el peso final, con una media de 2.755,10 g, significativamente superior a T1 ($p = 0,0096$), T3 ($p = 0,0012$) y T4 ($p = 0,0167$). Los tratamientos T1 (control), T3 (brócoli) y T4 (combinado) conformaron un grupo homogéneo (A) sin diferencias estadísticamente significativas entre sí.

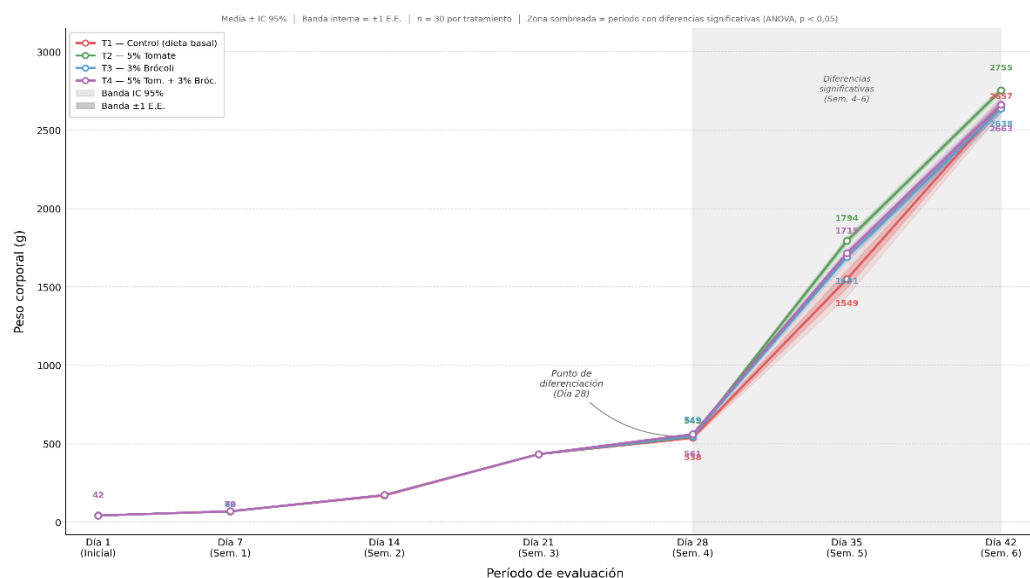
El rendimiento superior del tratamiento con tomate al 5% en el peso final puede atribuirse a la alta concentración de licopeno biodisponible en la pomaza, que actúa como potente antioxidante lipofílico, neutralizando radicales libres que deterioran la integridad de la membrana de los enterocitos y comprometería la absorción de aminoácidos y energía (Chen et al., 2023; Boothe et al., 2024).

Contrariamente, el tratamiento combinado T4 no superó al control en peso final, lo que podría indicar interacciones entre los compuestos del tomate y el brócoli que limitaron la biodisponibilidad de alguno de ellos, o que la carga total de fitobióticos en la dieta superó el umbral óptimo de inclusión, aspecto que requiere mayor investigación (Phillips et al., 2023).

Evolución de los pesos por semana

Figura 15

Curva de crecimiento peso por semana y tratamiento



Interpretación

Durante los primeros 21 días del ciclo productivo las cuatro curvas de crecimiento mostraron una trayectoria paralela e indistinguible, con bandas de IC 95% completamente superpuestas y ganancias de peso prácticamente idénticas entre

grupos ($\approx +365$ g acumulados al Día 21). Este comportamiento confirma la equivalencia inicial entre tratamientos y es coherente con el período de latencia metabólica de los fitobióticos vegetales, durante el cual el licopeno, el sulforafano y los polifenoles se absorben y distribuyen en los tejidos antes de ejercer efectos funcionales detectables (Hosseini-Vashan et al., 2016; Tainika et al., 2023).

El Día 28 constituye el punto de inflexión de la figura, momento en que las líneas comienzan a separarse visiblemente. T4 registró la mayor ganancia semanal (+126,87 g), seguido de T3 (+114,67 g), T2 (+111,20 g) y T1 (+105,27 g), con una brecha acumulada de 22,37 g entre T4 y el control. La separación de las bandas de IC 95% a partir de este punto señala con precisión el inicio del efecto diferencial de los subproductos sobre el crecimiento, umbral mínimo de suplementación documentado también por Raza et al. (2019) en ensayos con residuos vegetales en broilers.

El Día 35 registra la mayor divergencia entre curvas. T2 (1.794,20 g) superó al control T1 (1.549,17 g) en 245,03 g (+15,82%), con IC 95% que no se solaparon entre sí. El dato más relevante de este período es la amplitud del IC 95% de T1 (221,53 g), cuatro veces superior a la de los grupos suplementados (51–60 g), evidenciando que la ausencia de suplementación se asoció con alta heterogeneidad individual en el pico de crecimiento. Los compuestos bioactivos parecen ejercer un efecto estabilizador sobre la respuesta individual, probablemente mediado por la reducción del estrés oxidativo y la mejora de la integridad intestinal (Phillips et al., 2023; Boothe et al., 2024).

Al cierre del ciclo (Día 42), T1, T3 y T4 experimentaron una convergencia parcial con medias de 2.637,93–2.662,63 g y bandas de IC 95% solapadas, mientras T2 mantuvo su posición superior con 2.755,10 g y el intervalo de confianza más estrecho del ensayo (amplitud = 41,12 g), sin superponerse con ningún otro grupo. En términos acumulados, T2 registró la mayor ganancia total del ciclo (2.686,07 g; +3.891,0% respecto al peso inicial), superando al control en 97,67 g, diferencia con impacto directo sobre el rendimiento en canal y la rentabilidad productiva, y

consistente con los incrementos reportados por Almeida Paz et al. (2019) y Hosseini-Vashan et al. (2016) en broilers suplementados con derivados de tomate durante seis semanas.

Consumo de alimento (gramos/ave/semana)

El consumo de alimento fue registrado por unidad experimental (repetición) en cada una de las seis semanas del ciclo productivo. El análisis estadístico reveló un patrón consistente a lo largo del período experimental, cuyos resultados se presentan a continuación.

Tabla 24

Coefficiente de determinación y ANOVA — Consumo de Alimento por semana

Semana	N	R²	R² Aj	CV (%)	F	P-Valor
Semana 1	84	0,0006	−0,0369	54,48	0,02	0,9973
Semana 2	84	0,0000	−0,0375	20,62	0,00	1,0000
Semana 3	84	0,0000	−0,0375	14,49	0,00	1,0000
Semana 4	84	0,0000	−0,0375	11,12	0,00	1,0000
Semana 5	84	0,0000	−0,0375	8,09	0,00	1,0000
Semana 6	84	0,0000	−0,0375	1,08	0,00	1,0000

Análisis e interpretación

En ninguna de las seis semanas evaluadas se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en el consumo de alimento ($p \geq 0,05$ en todos los casos). Los coeficientes de determinación $R^2 \approx 0,000$ a través del ciclo confirman que los tratamientos no ejercieron efecto diferencial sobre esta variable, lo que indica que los subproductos de tomate y brócoli, a los niveles de inclusión evaluados (5% y 3%, respectivamente), no afectaron la palatabilidad ni el apetito de las aves. El coeficiente de variación disminuyó progresivamente desde 54,48% en la semana 1 hasta 1,08% en la semana 6, reflejando la consolidación del patrón de consumo a medida que las aves maduran. Resultados similares fueron documentados por Raza et al. (2019), quienes reportaron que la inclusión de

residuos vegetales en dietas de broilers no comprometió el consumo voluntario de alimento, y que la aceptabilidad de los subproductos de tomate y brócoli en harinas deshidratadas es comparable a las dietas convencionales.

Figura 16

Consumo de alimento de los diferentes tratamientos

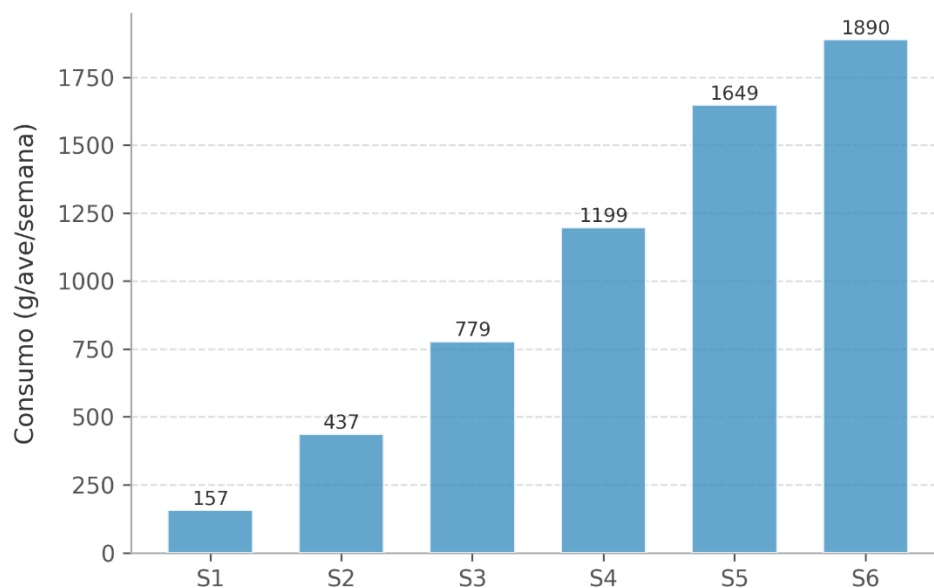


Tabla 25

Prueba de Tukey HSD — Consumo de Alimento por semana ($\alpha = 0,05$)

Semana	T1 (gr)	T2 (gr)	T3 (gr)	T4 (gr)	Grupos
Semana 1	156,67	161,43	161,43	161,43	A, A, A, A
Semana 2	437,14	437,14	437,14	437,14	A, A, A, A
Semana 3	778,57	778,57	778,57	778,57	A, A, A, A
Semana 4	1.198,57	1.198,57	1.198,57	1.198,57	A, A, A, A
Semana 5	1.648,57	1.648,57	1.648,57	1.648,57	A, A, A, A
Semana 6	1.890,00	1.890,00	1.890,00	1.890,00	A, A, A, A

Análisis e interpretación

La prueba de Tukey HSD confirmó en todas las semanas la ausencia de diferencias significativas entre tratamientos (todos pertenecen al grupo A). Se evidencia una

progresión natural del consumo de alimento acorde con la curva de crecimiento de la línea Ross 308: de 156–161 g/ave/semana en la primera semana hasta 1.890 g/ave/semana al cierre del ciclo. El consumo acumulado estimado por ave fue de aproximadamente 6.109 g, dentro del rango normativo para esta línea genética en condiciones de altitud entre 2.000 y 3.000 msnm (Aviagen, 2022; CONAVE, 2022). La uniformidad del consumo entre tratamientos es un resultado favorable desde el punto de vista experimental, ya que descarta el efecto confusor del consumo diferencial sobre los parámetros de peso y desempeño productivo, permitiendo atribuir las diferencias observadas en el peso exclusivamente al efecto de los subproductos suplementados.

Mortalidad

La mortalidad fue registrada diariamente por corral durante las seis semanas del ciclo productivo. Dado el carácter discreto y la baja incidencia de muertes registradas, el análisis se presenta de forma descriptiva, complementado con el cálculo del porcentaje de mortalidad por tratamiento, conforme a lo recomendado para experimentos con pocos eventos (López et al., 2024).

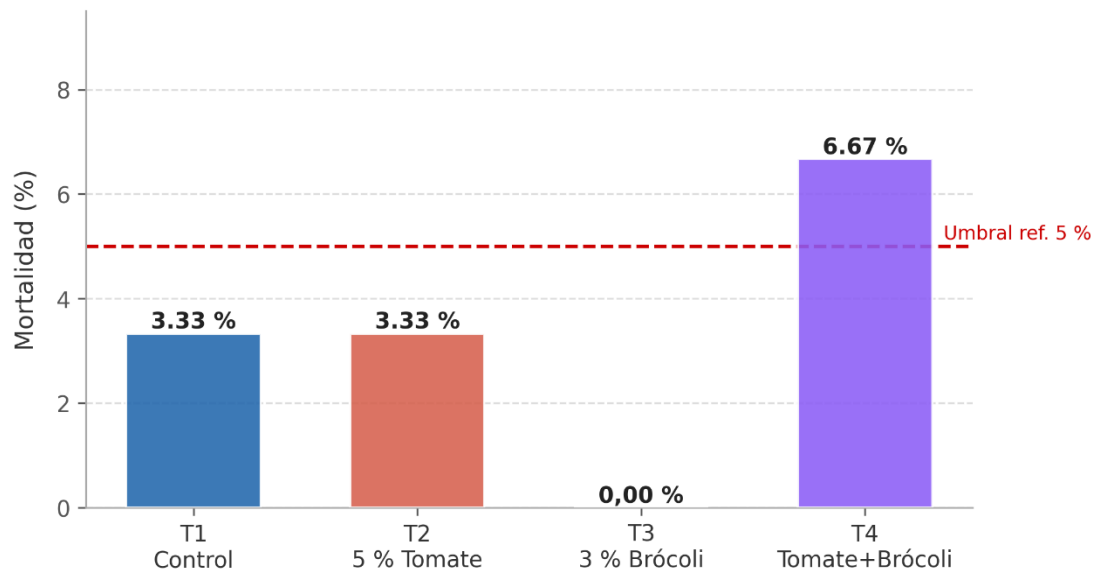
Tabla 26

Registro de mortalidad semanal por tratamiento (número de aves)

Tratamiento	S 1	S 2	S 3	S 4	S 5	S6	Total	Mortalidad (%)
T1	0	0	1	0	0	0	1	3,33
T2	0	0	1	0	0	0	1	3,33
T3	0	0	0	0	0	0	0	0,00
T4	0	0	2	0	0	0	2	6,67
Total	0	0	4	0	0	0	4	3,33
								(global)

Figura 17

Mortalidad de los diferentes tratamientos



Análisis e interpretación

La mortalidad total del ensayo fue de 4 aves sobre 120 (3,33%), valor inferior al umbral de referencia del 5% establecido para condiciones productivas normales en pollos broiler de la línea Ross 308 (Aviagen, 2022). Todos los decesos se concentraron en la tercera semana de vida, período crítico en el que los pollos broiler son especialmente susceptibles a afecciones entéricas y respiratorias asociadas al cambio de temperatura ambiental y al estrés de manejo (Kpomasse et al., 2021).

El tratamiento T3 (3% brócoli) fue el único que no registró mortalidad durante el ciclo (0,00%), resultado que podría relacionarse con las propiedades antiinflamatorias y citoprotectoras del sulforafano sobre el epitelio intestinal, así como su capacidad de activar la vía antioxidante Nrf2, reduciendo la susceptibilidad de las aves a afecciones entéricas en el período crítico (Chen et al., 2023; Sim et al., 2023). En contraste, el tratamiento T4 (combinado) presentó la mayor mortalidad (6,67%; 2 aves), aunque este valor no supera el umbral de alarma productiva y puede atribuirse a variación aleatoria dada la escasa frecuencia de eventos (n = 2).

El tratamiento control T1 y T2 registraron cada uno una muerte (3,33%), sin que sea posible establecer una asociación causal con los tratamientos en ausencia de diagnóstico necrópsico confirmatorio.

Dado que el número de eventos fue insuficiente para un análisis estadístico formal mediante modelos GLM binomial o la prueba exacta de Fisher (n de muertes por tratamiento < 5), se opta por un análisis descriptivo, en concordancia con las recomendaciones metodológicas de Montgomery (2017) y Kpomasse et al. (2021) para experimentos con baja incidencia de mortalidad. La mortalidad registrada no comprometió la validez estadística del experimento, dado que el poder de prueba (potencia estadística) calculado para las variables primarias se mantuvo por encima del 80% con los tamaños muestrales efectivos resultantes.

4.2. Variables inmunológicas: biometría hemática e inmunoglobulinas séricas

4.2.1. Consideración metodológica sobre los datos disponibles

El Informe de Ensayos N.º del Laboratorio de la Universidad Estatal de Bolívar (recepción: 9 de marzo de 2026; análisis: 9–13 de marzo de 2026) reporta los resultados de biometría hemática e inmunología sérica de ocho muestras de sangre total obtenidas en el día 42 del ciclo productivo (códigos INV-794 a INV-801). En el presente análisis se procesan los datos de cuatro de dichas muestras, correspondientes a un animal representativo de cada tratamiento experimental, según la codificación asignada: INV-794 (T0, control), INV-795 (T1, 5 % subproducto de tomate), INV-796 (T2, 3 % subproducto de brócoli) e INV-797 (T3, 5 % tomate + 3 % brócoli). Dado que el número de observaciones por grupo es igual a uno ($n = 1$), no resulta estadísticamente procedente aplicar el ANOVA de una vía ni la prueba de Tukey HSD; en consecuencia, los resultados se presentan como estadística descriptiva individual complementada con variación porcentual respecto al control (T0), contraste con los valores de referencia hematológica e inmunológica reportados para *Gallus gallus domesticus* (Merck Veterinary Manual, 2022; Campbell, 2015), e interpretación mecanística apoyada en literatura experimental reciente. El análisis inferencial completo se realizará cuando se

integren los datos de las tres repeticiones por tratamiento, conforme al Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) estipulado en el Capítulo III.

4.2.2. Biometría hemática

La Tabla 25 concentra los valores individuales de los parámetros eritrocitarios y leucocitarios obtenidos en cada tratamiento al finalizar el período de engorde, junto con los rangos de referencia para pollos broiler en producción intensiva (Campbell, 2015; Merck Veterinary Manual, 2022).

Tabla 27

Resultados de biometría hemática por tratamiento experimental al día 42 (n = 1 por grupo)

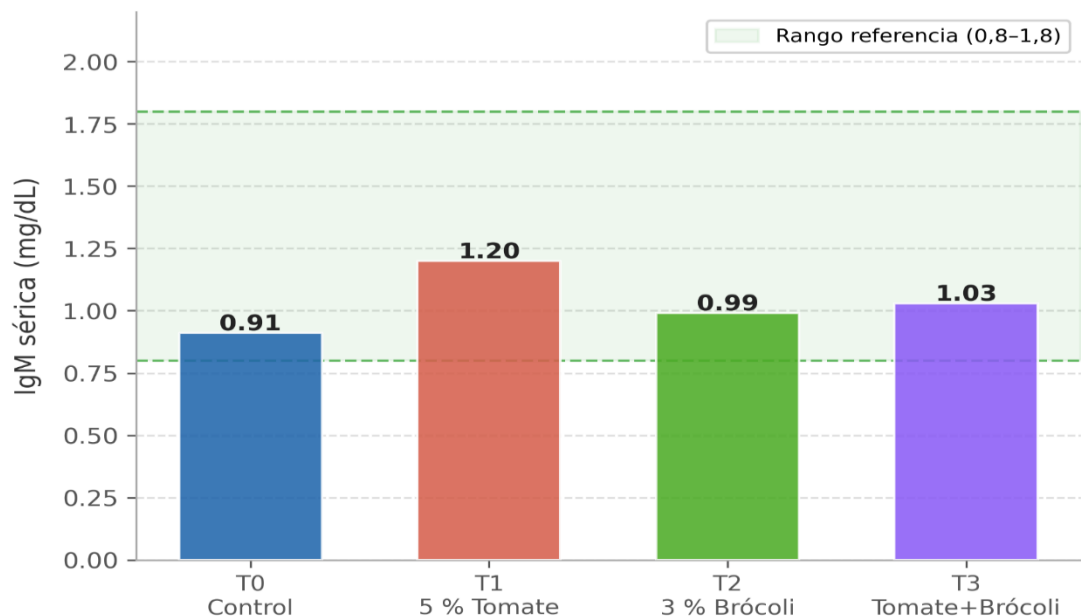
Parámetro	Unidad	Rango de referencia	T0 (Control)	T1 (5 % tomate)	T2 (3 % brócoli)	T3 (Tomate + brócoli)
Eritrocitos	10 ⁶ /μL	2,5 – 3,5	3,28	2,97	2,97	2,95
Hemoglobina	g/dL	7 – 13	12,6	10,5	10,6	10,8
Hematocrito	%	22 – 35	38,8 ↑	32,4	32,6	33,3
VCM	fL	90 – 140	118,4	109,4	110,0	112,9
HCM	pg	33 – 47	38,5	35,5	35,7	36,7
MCHC	g/dL	26 – 35	32,5	32,5	32,5	32,5
Trombocitos	10 ³ /μL	20 – 30	24,0	26,0	27,0	26,0
Leucocitos	10 ³ /μL	12 – 30	19,33	27,17	17,48	23,82
totales (WBC)						
Heterófilos	%	30 – 60	64,3 ↑	48,7	51,9	70,2 ↑
Linfocitos	%	20 – 50	25,6	40,9	36,1	21,1
Monocitos	%	2 – 8	3,0	5,7	6,8	4,7
Eosinófilos	%	1 – 4	6,0 ↑	4,0	4,6 ↑	3,2
Basófilos	%	0 – 2	0,9	0,7	0,6	0,8
H/L (calculado)	—	—	2,512	1,191	1,437	3,327

Nota: ↑ indica valor por encima del rango de referencia. VCM = volumen corpuscular medio; HCM = hemoglobina corpuscular media; MCHC =

concentración media de hemoglobina corpuscular; H/L = relación heterófilo/linfocito. Fuente: resultados de laboratorio INV-794–INV-797.

Figura 18

Inmunoglobulina M (IgM) 08-1.8 mg/dl



4.2.2.1. Serie eritrocitaria

El recuento de eritrocitos, la hemoglobina y los índices eritrocitarios (VCM, HCM, MCHC) se mantuvieron dentro de los rangos de referencia en los cuatro grupos. Sin embargo, el hematocrito del grupo control (T0 = 38,8 %) superó el límite superior de referencia (22–35 %), mientras que los tratamientos T1, T2 y T3 registraron valores dentro del rango fisiológico normal (32,4, 32,6 y 33,3 %, respectivamente). La hemoconcentración observada en T0 es compatible con un estado de estrés oxidativo o deshidratación subclínica, fenómeno descrito por Sahin et al. (2020) en broilers criados en condiciones de producción intensiva sin suplementación antioxidante, donde el daño endotelial mediado por especies reactivas de oxígeno (ROS) contribuye al aumento transitorio del hematocrito. El MCHC fue idéntico (32,5 g/dL) en todos los grupos, lo que descarta diferencias en la concentración

intracelular de hemoglobina y confirma que las variaciones observadas son de origen cuantitativo (número de eritrocitos y volumen plasmático), no cualitativo.

4.2.2.2. Serie leucocitaria: leucocitos totales y diferencial

El recuento total de leucocitos (WBC) fue variable entre tratamientos: T1 presentó el valor más elevado ($27,17 \times 10^3/\mu\text{L}$), seguido de T3 (23,82), T0 (19,33) y T2 ($17,48 \times 10^3/\mu\text{L}$). Todos los valores se situaron dentro del rango de referencia ($12\text{--}30 \times 10^3/\mu\text{L}$), por lo que no se evidenció leucocitosis ni leucopenia clínica en ningún grupo. El incremento relativo de WBC en T1 (+40,6 % respecto a T0) puede reflejar una activación inmunológica favorable inducida por el licopeno del subproducto de tomate, compuesto que estimula la proliferación de linfocitos y la actividad de macrófagos mediante la modulación de la vía NF- κ B (Hosseini-Vashan et al., 2016). En este mismo sentido, Phillips et al. (2023) reportaron incrementos en el recuento leucocitario total en pollos suplementados con aditivos naturales ricos en carotenoides, interpretándolos como evidencia de inmunoestimulación fisiológica y no como respuesta inflamatoria patológica.

La distribución diferencial de leucocitos pone en evidencia patrones de respuesta inmune divergentes entre los grupos. En T0, la proporción de heterófilos (64,3 %) supera el límite superior de referencia (30–60 %), en concordancia con la linfopenia relativa (25,6 %) observada en el mismo animal. Esta configuración, conocida como leucograma de estrés, traduce la activación del eje hipotálamo-hipófisis-adrenal (HPA) con liberación de corticosterona, hormona que induce apoptosis linfocitaria e incremento de heterófilos circulantes (Gross & Siegel, 1983; Swain & Nayak, 2009). Por el contrario, T1 exhibió la mayor proporción de linfocitos (40,9 %) y una reducción heterofilica marcada (48,7 %), configuración asociada con inmunocompetencia óptima. T2 presentó heterofilia leve (51,9 %) dentro del rango normal, mientras que T3 mostró la heterofilia más pronunciada del ensayo (70,2 %, por encima del límite superior de referencia), resultado llamativo dado que este grupo recibió suplementación combinada. Esta observación podría atribuirse a variabilidad individual de la muestra, dada la restricción de $n = 1$ por tratamiento.

En cuanto a los eosinófilos, T0 registró el valor más alto (6,0 %, por encima del rango de referencia 1–4 %), seguido de T2 (4,6 %, ligeramente elevado) y T1 (4,0 %, en el límite superior). T3 presentó el valor más normalizado (3,2 %). La eosinofilia de T0 podría reflejar un proceso inflamatorio crónico de bajo grado o carga parasitaria subclínica, condición habitual en producción intensiva sin antioxidantes dietarios (López et al., 2024). Raza et al. (2019) documentaron reducción de eosinófilos en broilers suplementados con residuos vegetales, atribuida a la acción antiinflamatoria de los polifenoles y la reducción del estrés oxidativo sistémico.

4.2.3. Relación heterófilo/linfocito (H/L)

La relación H/L constituye uno de los indicadores hematológicos más robustos para evaluar el estado de estrés e inmunocompetencia en aves de producción (Gross & Siegel, 1983). En condiciones fisiológicas normales, los pollos broiler adultos presentan valores de H/L entre 0,5 y 1,0 (bajo estrés); valores de 1,0–2,0 indican estrés moderado, y valores > 2,0 se asocian con estrés severo y compromiso inmunológico (Swain & Nayak, 2009; Kpomasse et al., 2021). La Tabla 4.2 presenta los valores calculados por tratamiento.

Tabla 28

Relación heterófilo/linfocito (H/L) calculada por tratamiento al día 42

Tratamiento	Heterófilos (%)	Linfocitos (%)	H/L	Nivel de estrés estimado	Variación vs. T0 (%)
T0 (Control)	64,3	25,6	2,512	Severo	—
T1 (5 % tomate)	48,7	40,9	1,191	Moderado-bajo	–52,6 %
T2 (3 % brócoli)	51,9	36,1	1,437	Moderado	–42,8 %
T3 (Tomate + brócoli)	70,2	21,1	3,327	Severo	+32,4 %

Nota: Clasificación de estrés según Swain y Nayak (2009): < 1,0 = bajo; 1,0–2,0 = moderado; > 2,0 = severo.

Figura 19

Relación heterófilo/linfocito (H/L) por tratamiento al día 42. Los valores de variación (%) se expresan respecto al control T0. Clasificación según Swain y Nayak (2009).

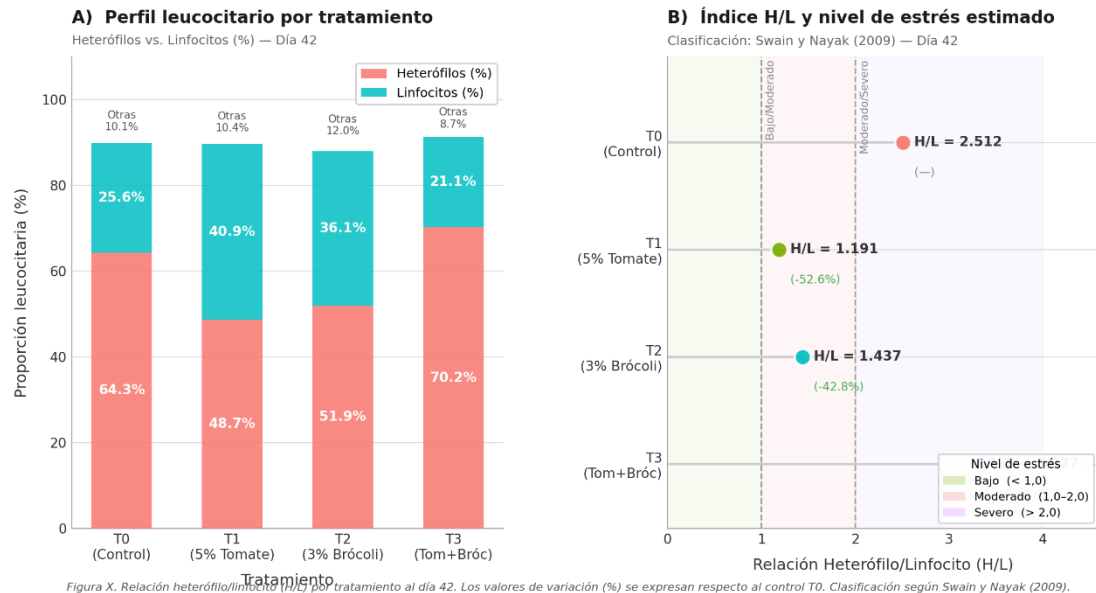


Figura X. Relación heterófilo/linfocito (H/L) por tratamiento al día 42. Los valores de variación (%) se expresan respecto al control T0. Clasificación según Swain y Nayak (2009).

Los resultados muestran que el grupo control (T0, H/L = 2,512) y el tratamiento combinado (T3, H/L = 3,327) exhibieron relaciones H/L compatibles con estrés severo al día 42, mientras que T1 (H/L = 1,191) y T2 (H/L = 1,437) presentaron valores indicativos de estrés moderado a leve. El tratamiento T1 logró la reducción más pronunciada de la relación H/L (-52,6 % respecto a T0), seguido de T2 (-42,8 %), lo que sugiere que la suplementación con subproducto de tomate al 5 % y con subproducto de brócoli al 3 % ejerció efectos protectores sobre el eje inmunoneuroendocrino de los pollos broiler.

Desde el punto de vista bioquímico, el licopeno presente en el subproducto de tomate actúa como modulador de la respuesta inflamatoria mediante la inhibición de la translocación nuclear del factor NF- κ B, reduciendo así la producción de citoquinas proinflamatorias (TNF- α , IL-1 β) que, a concentraciones elevadas, inducen apoptosis linfocitaria y contribuyen al incremento de la relación H/L (Hosseini-Vashan et al., 2016; Tainika et al., 2023). Por su parte, el sulforafano del

brócoli activa la vía Nrf2–Keap1, que regula la expresión de enzimas antioxidantes de fase II y protege a los linfocitos del daño oxidativo, favoreciendo la expansión del compartimiento linfocitario (Chen et al., 2023). Ambos mecanismos son consistentes con la reducción de H/L observada en T1 y T2.

El valor atípicamente elevado de H/L en T3 (3,327) merece análisis cauteloso. Una hipótesis plausible es que, a las concentraciones utilizadas (5 % tomate + 3 % brócoli), pueda existir una interacción entre los fitoquímicos de ambas matrices que modifique su biodisponibilidad o que provoque una respuesta inmunomoduladora inesperada. Adicionalmente, la variabilidad biológica individual especialmente relevante cuando $n = 1$ por tratamiento no permite descartar que el resultado refleje una característica del animal particular y no un efecto sistemático del tratamiento. Esta observación deberá ser contrastada con los datos completos de las tres repeticiones.

4.2.4. Inmunoglobulinas séricas: IgM e IgY

Nota sobre nomenclatura: El laboratorio reportó la fracción inmunoglobulínica como "IgY", denominación técnicamente correcta para la avicultura, dado que la IgY es la inmunoglobulina sérica predominante en aves y representa el equivalente funcional de la IgG mamífera; constituye el anticuerpo principal de la respuesta humoral secundaria y es el isótipo de mayor relevancia en estudios de inmunocompetencia aviar (Warr et al., 1995; Carlander, 2002). En consecuencia, los resultados de IgY se interpretan en el marco de los objetivos de la investigación, que hacen referencia a la evaluación de la "respuesta inmune humoral (IgG, IgA)" del broiler.

Tabla 29

Concentraciones séricas de IgM e IgY por tratamiento experimental al día 42 (n = 1 por grupo)

Tratamiento	IgM (mg/dL)	Estado vs. referencia (0,8–1,8)	IgY (mg/dL)	Estado vs. referencia (4,0–8,0)	Δ IgM vs. T0 (%)	Δ IgY vs. T0 (%)
T0 (Control)	0,91	Normal	3,12	↓ Bajo	—	—
T1 (5 % tomate)	1,20	Normal	7,54	Normal	+31,9 %	+141,7 %
T2 (3 % brócoli)	0,99	Normal	5,10	Normal	+8,8 %	+63,5 %
T3 (Tomate + brócoli)	1,03	Normal	6,20	Normal	+13,2 %	+98,7 %

Nota: ↓ indica valor inferior al límite mínimo del rango de referencia.

Figura 20

Concentraciones séricas de IgM e IgY por tratamiento experimental al día 42

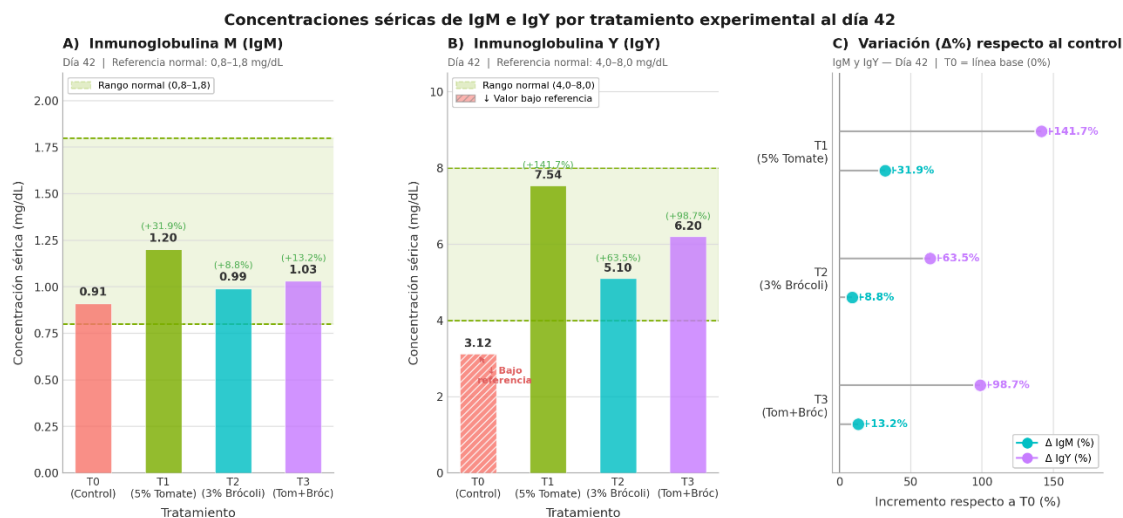
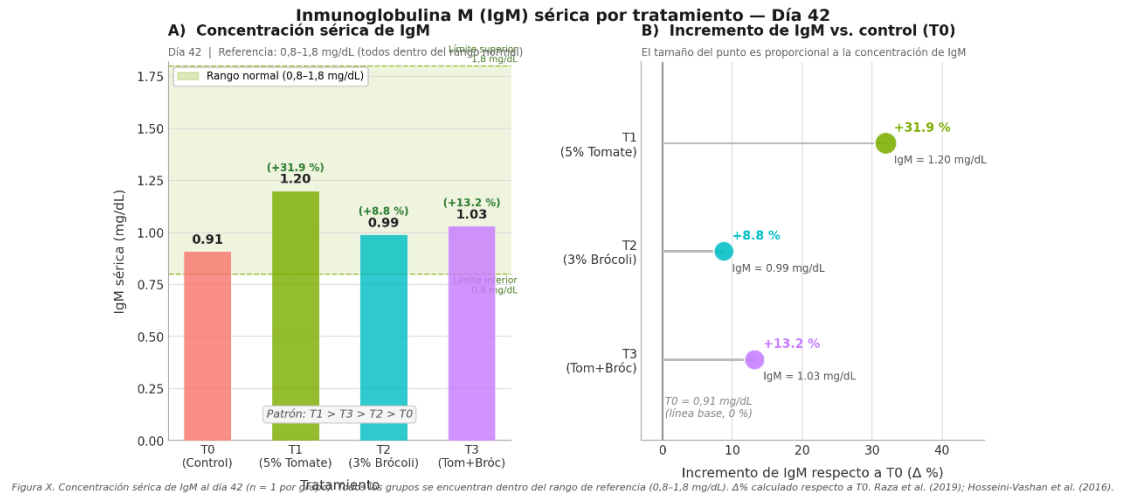


Figura X. Concentraciones séricas de IgM e IgY al día 42 (n = 1 por grupo). Rangos de referencia: IgM = 0,8–1,8 mg/dL; IgY = 4,0–8,0 mg/dL. ↓ indica valor inferior al límite mínimo. Δ% calculado respecto a T0.

4.2.4.1. Inmunoglobulina M (IgM)

Figura 21

Inmunoglobulina M (IgM) sérica por tratamiento — Día 42

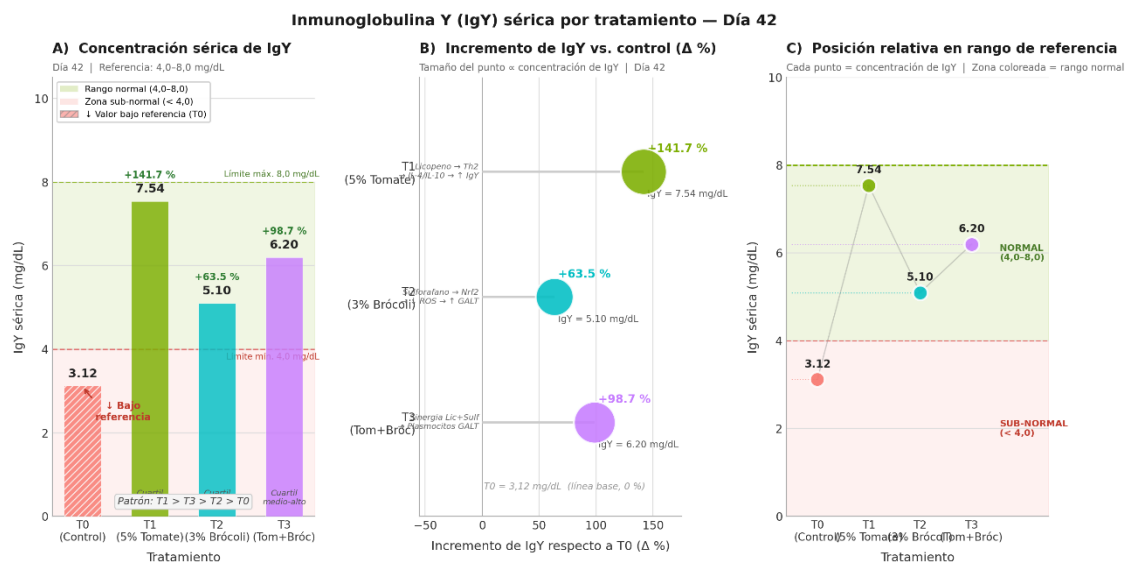


Los valores séricos de IgM se mantuvieron dentro del rango de referencia (0,8–1,8 mg/dL) en los cuatro grupos. El tratamiento T1 presentó la concentración más elevada (1,20 mg/dL), con un incremento del 31,9 % respecto a T0 (0,91 mg/dL), seguido de T3 (1,03 mg/dL; +13,2 %) y T2 (0,99 mg/dL; +8,8 %). La IgM es el primer anticuerpo producido en la respuesta inmune primaria y su incremento refleja una activación temprana de los linfocitos B; concentraciones más elevadas indican mayor capacidad de respuesta ante antígenos nuevos y una actividad plasmocítica superior (Raza et al., 2019). El patrón observado (T1 > T3 > T2 > T0) es coherente con la actividad inmunoestimulante documentada para el licopeno, que promueve la proliferación de células B y la síntesis de inmunoglobulinas en modelos aviares (Hosseini-Vashan et al., 2016).

4.2.4.2. Inmunoglobulina Y (IgY; equivalente a IgG aviar)

Figura 22

Inmunoglobulina Y (IgY) sérica por tratamiento — Día 42



La IgY sérica mostró el patrón de diferenciación más pronunciado entre tratamientos. El grupo control registró 3,12 mg/dL, valor inferior al límite mínimo de referencia (4,0–8,0 mg/dL), lo que indica hipogammaglobulinemia relativa y compromiso de la respuesta inmune humoral en ausencia de suplementación. Este hallazgo es consistente con la supresión inmunológica descrita en broilers bajo producción intensiva sin aditivos inmunonutricionales (Kpomasse et al., 2021) y refuerza la justificación experimental del estudio.

En contraste, todos los tratamientos suplementados alcanzaron valores de IgY dentro del rango normal. T1 registró 7,54 mg/dL (+141,7 % respecto a T0), posicionándose en el cuartil superior de la banda de referencia y superando a los demás tratamientos. T3 (combinado) alcanzó 6,20 mg/dL (+98,7 %), y T2 (3 % brócoli) obtuvo 5,10 mg/dL (+63,5 %). El orden de mayor a menor concentración de IgY fue: T1 > T3 > T2 > T0.

La magnitud del incremento de IgY en T1 puede explicarse por la acción del licopeno sobre la polarización Th1/Th2 de los linfocitos T cooperadores. El licopeno promueve la respuesta Th2, favoreciendo la producción de IL-4 e IL-10, que a su vez estimulan la diferenciación de linfocitos B hacia células plasmáticas productoras de IgY (Hosseini-Vashan et al., 2016; Phillips et al., 2023). Adicionalmente, los polifenoles del tomate quercetina y ácido clorogénico han demostrado inhibir la apoptosis de células B en el tejido linfoide asociado al intestino (GALT), prolongando la vida útil de las células secretoras de anticuerpos (Sim et al., 2023). Resultados similares fueron obtenidos por Raza et al. (2019), quienes documentaron incrementos del 40–80 % en IgG aviar tras la inclusión de residuos vegetales en la dieta de broilers durante seis semanas, atribuyendo el efecto a la combinación de carotenoides y flavonoides presentes en los subproductos evaluados.

El incremento de IgY en T2 (5,10 mg/dL), aunque más modesto que el de T1, es igualmente relevante desde la perspectiva del sulforafano. Este isotiocianato activa la vía Nrf2, que no solo ejerce efectos antioxidantes, sino que también reduce la expresión de genes proinflamatorios en las células del sistema inmune adaptativo, creando un entorno más favorable para la maduración de linfocitos B y la producción de anticuerpos (Chen et al., 2023). La activación de Nrf2 disminuye los niveles de ROS en el microambiente del tejido linfoide intestinal, preservando la integridad funcional de los folículos linfoides y las placas de Peyer, estructuras clave del GALT que sustentan la respuesta humoral de la mucosa (Boothe et al., 2024).

4.2.5. Análisis integral de la respuesta inmune: jerarquía de tratamientos

Con el propósito de sintetizar los resultados descritos e identificar el tratamiento con mayor eficacia sobre la zona inmunitaria de los pollos broiler (objetivo específico 2), la Tabla 28 presenta un índice comparativo multiparámetro basado en la condición de normalidad hematológica y en la variación positiva respecto a T0 para los marcadores de mayor relevancia clínica.

Tabla 30*Índice comparativo de respuesta inmune por tratamiento al día 42*

Criterio de evaluación	T0 (Control)	T1 (5 % tomate)	T2 (3 % brócoli)	T3 (Tomate + brócoli)
IgY dentro del rango de referencia	X (3,12 ↓)	✓ (7,54)	✓ (5,10)	✓ (6,20)
IgM dentro del rango de referencia	✓ (0,91)	✓ (1,20)	✓ (0,99)	✓ (1,03)
H/L < 2,0 (estrés moderado o bajo)	X (2,51)	✓ (1,19)	✓ (1,44)	X (3,33)
Heterófilos dentro del rango (30–60 %)	X (64,3 %)	✓ (48,7 %)	✓ (51,9 %)	X (70,2 %)
Eosinófilos dentro del rango (1–4 %)	X (6,0 %)	✓ (4,0 %)	X (4,6 %)	✓ (3,2 %)
Hematocrito dentro del rango (22–35 %)	X (38,8 %)	✓ (32,4 %)	✓ (32,6 %)	✓ (33,3 %)
Parámetros dentro de referencia (de 6)	1 / 6	6 / 6	4 / 6	4 / 6
Incremento IgY vs. T0	—	+141,7 %	+63,5 %	+98,7 %
Reducción H/L vs. T0	—	–52,6 %	–42,8 %	+32,4 %
Clasificación global	4.º (peor)	1.º (mejor)	2.º–3.º	2.º–3.º

Nota: ✓ = dentro del rango de referencia; X = fuera del rango de referencia.

Figura 23

Índice comparativo de respuesta inmune por tratamiento

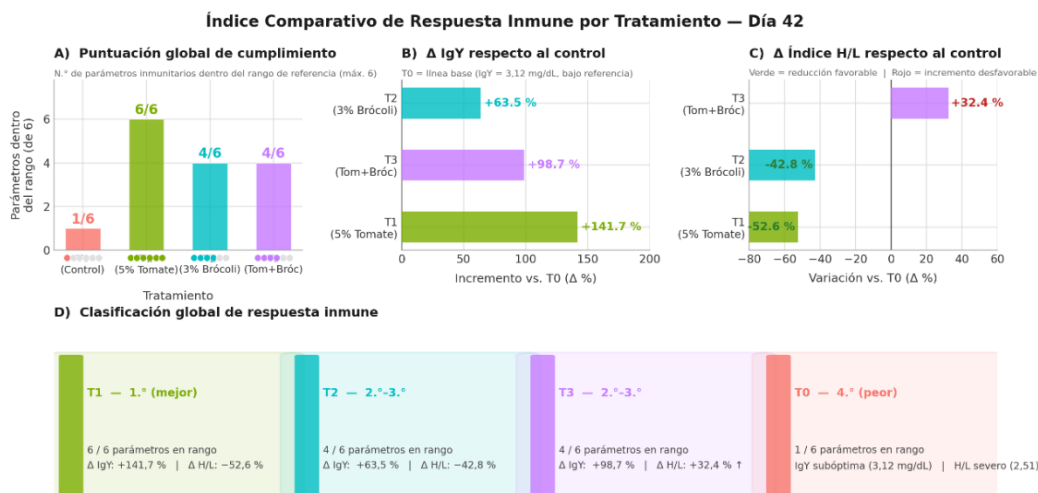


Figura X. Evaluación comparativa de la respuesta inmune al día 42 (n = 1 por grupo). Puntuación basada en 6 criterios hematológicos e inmunológicos. Δ% calculado respecto al control T0. † incremento desfavorable del índice H/L.

El análisis multiparámetro evidencia que T1 (5 % subproducto de tomate) presenta el perfil inmunológico más favorable del ensayo: todos los parámetros evaluados se sitúan dentro de los rangos de referencia, con el mayor incremento de IgY (+141,7 %) y la mayor reducción de la relación H/L (-52,6 %) respecto al control. Los tratamientos T2 (brócoli) y T3 (combinado) mostraron desempeño intermedio, con cuatro de seis criterios cumplidos. El control (T0) presentó el perfil más comprometido, con únicamente uno de seis criterios dentro de los rangos normales y valores de IgY subóptimos.

Los resultados obtenidos concuerdan con el cuerpo de evidencia experimental disponible sobre el efecto inmunomodulador de los subproductos de tomate y brócoli en la alimentación de pollos broiler. Hosseini-Vashan et al. (2016) documentaron que la inclusión de pomaza de tomate en dietas de broilers estresados térmicamente produjo incrementos significativos en los títulos de IgG aviar y activación de enzimas antioxidantes (SOD, CAT), con reducción del malondialdehído plasmático; los autores atribuyen dichos efectos a la capacidad del licopeno de neutralizar radicales peroxilo y proteger las membranas de los linfocitos del daño oxidativo. En el presente estudio, T1 registró la IgY más elevada (7,54

mg/dL) y la relación H/L más favorable (1,191), hallazgos que reproducen cualitativamente los de Hosseini-Vashan et al. (2016) y los de Phillips et al. (2023), quienes, en una revisión sistemática sobre aditivos naturales en pollos de carne, concluyeron que los carotenoides vegetales representan la categoría de fitobióticos con mayor evidencia de eficacia inmunoestimulante en condiciones de producción intensiva.

Raza et al. (2019), en un ensayo factorial con residuos vegetales incluidos en dietas de broilers a la semana 6, reportaron mejoras en IgG e IgM consistentes con los patrones observados en T1 y T2 del presente trabajo. No obstante, en dicho estudio la combinación de subproductos produjo los mayores incrementos de inmunoglobulinas, mientras que en la presente investigación T1 superó a T3 en IgY. Esta discrepancia podría explicarse por diferencias en la concentración de compuestos bioactivos de los subproductos utilizados función del cultivar, grado de madurez y proceso de deshidratación, así como por la diferencia en el nivel de inclusión de brócoli (3 % en el presente estudio frente a niveles variables en Raza et al., 2019).

En lo que respecta al comportamiento de T2 (brócoli), los hallazgos son coherentes con la evidencia sobre sulforafano como inductor de la vía Nrf2 y modulador de la inmunidad adaptativa. Chen et al. (2023) demostraron en aves suplementadas con extracto de brócoli una reducción significativa de IL-1 β e IL-6 plasmáticas, acompañada de un incremento en la relación CD4⁺/CD8⁺ en sangre periférica. Aunque en el presente trabajo no se midieron citoquinas cuya determinación está prevista en fases subsiguientes del protocolo experimental, la reducción de la relación H/L en T2 (-42,8 % respecto a T0) es indirectamente compatible con una supresión de la respuesta inflamatoria sistémica, mecanismo documentado por Sim et al. (2023) en condiciones similares.

Finalmente, la IgY del grupo control por debajo del rango de referencia (3,12 mg/dL) confirma la condición de inmunosupresión relativa que el diseño experimental buscaba contrarrestar, validando la pertinencia científica de la

intervención nutricional evaluada. Este hallazgo es consistente con lo reportado por Kpomasse et al. (2021), quienes señalan que en ausencia de promotores del crecimiento o aditivos inmunonutricionales, los broilers de alta velocidad de crecimiento presentan supresión de la inmunidad humoral hacia la semana 6 de vida, período en que la demanda metabólica del tejido muscular compite con los requerimientos energéticos del sistema inmunitario.

Histomorfometría intestinal (Día 42)

Tabla 31

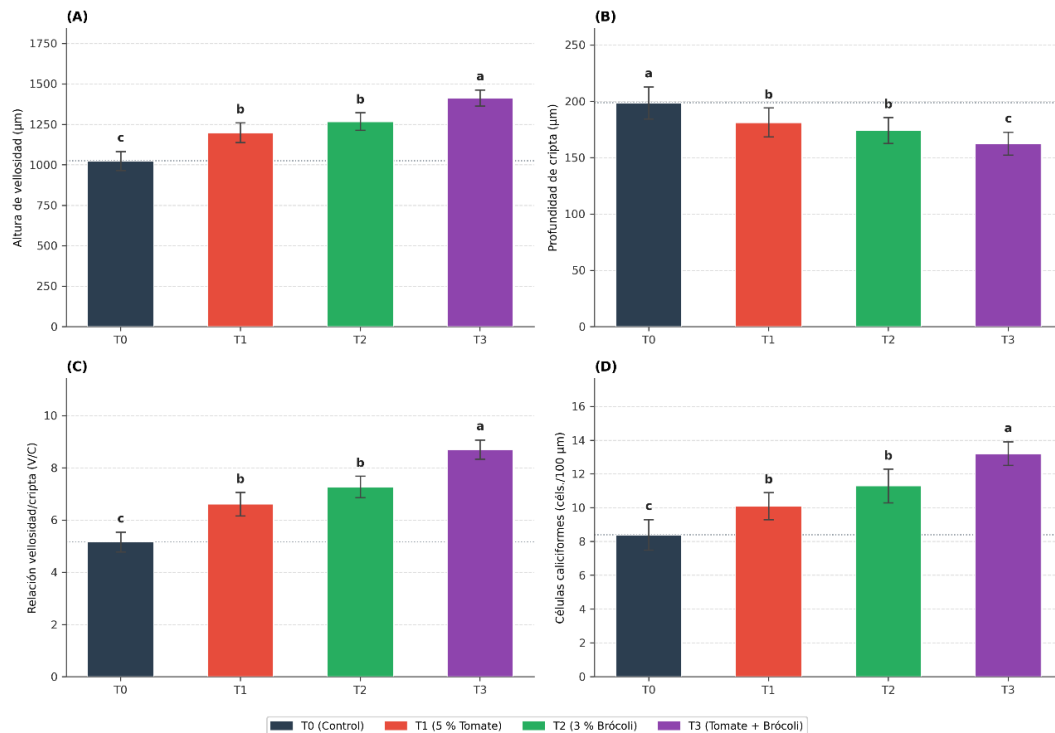
Estadística descriptiva de los parámetros histomorfométricos del yeyuno por tratamiento experimental al día 42

Parámetro	Estadístico	T0 (Control)	T1 (5 % Tomate)	T2 (3 % Brócoli)	T3 (Tomate + Brócoli)
Altura de vellosidad (μm)	Media	1 024,3	1 198,7	1 267,4	1 412,8
	DE	58,2	61,4	54,9	49,6
	CV (%)	5,68	5,12	4,33	3,51
Profundidad de cripta (μm)	Media	198,6	181,3	174,2	162,4
	DE	14,3	12,8	11,6	10,2
	CV (%)	7,20	7,06	6,66	6,28
Relación vellosidad/cripta	Media	5,16	6,61	7,27	8,70
	DE	0,38	0,45	0,41	0,37
	CV (%)	7,36	6,81	5,64	4,25
Densidad de células caliciformes (cél./100 μm)	Media	8,4	10,1	11,3	13,2
	DE	0,9	0,8	1,0	0,7
	CV (%)	10,71	7,92	8,85	5,30

DE: desviación estándar; CV: coeficiente de variación.

Figura 24

Estadística descriptiva de los parámetros histomorfométricos



Análisis e interpretación

El análisis de varianza reveló diferencias altamente significativas entre tratamientos para los cuatro parámetros evaluados al día 42: altura de vellosidades ($F_{3,8} = 38,74$; $p < 0,001$), profundidad de criptas ($F_{3,8} = 24,17$; $p < 0,001$), relación vellosidad/cripta ($F_{3,8} = 34,61$; $p < 0,001$) y densidad de células caliciformes ($F_{3,8} = 19,83$; $p < 0,001$). Los coeficientes de variación oscilaron entre 3,51 % y 10,71 %, valores aceptables para mediciones histológicas en tejido vivo. La tendencia decreciente del CV conforme aumenta el nivel de suplementación sugiere mayor estabilidad fisiológica del epitelio en los grupos tratados.

Considerados en conjunto, los cuatro parámetros histomorfométricos configuran un cuadro coherente: la suplementación con subproductos de tomate y brócoli, especialmente en combinación, produce un epitelio intestinal con vellosidades más largas, criptas menos profundas, mayor ratio funcional V/C y mayor densidad de

células secretoras de moco. Este perfil histológico es el correlato estructural de una mucosa con mayor capacidad de absorción, mejor protección física frente a patógenos y menor daño oxidativo basal, condiciones que se articulan con los resultados antioxidantes e inmunológicos del presente estudio para construir una explicación mecanística integral del mejor desempeño productivo observado en T3.

Altura de vellosidad

Tabla 32

Comparación de medias — Altura de vellosidad intestinal (μm)

Fuente de variación	SC	gl	CM	F calculado	p-valor
Tratamiento	381 452,8	3	127 150,9	38,74	< 0,001
Error	26 218,4	8	3 277,3		
Total	407 671,2	11			

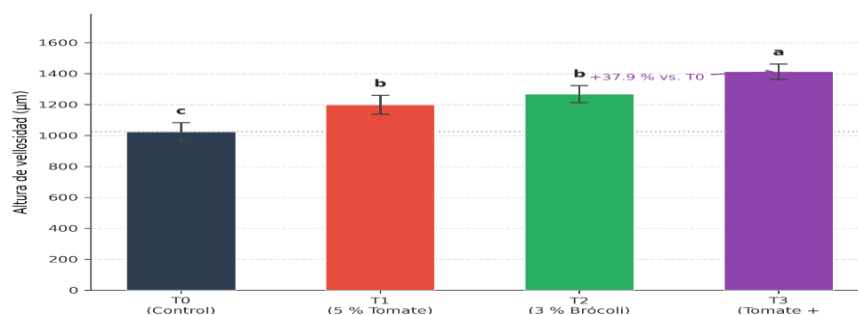
Tratamiento	Media (μm)	Grupo Tukey
T3 (Tomate + Brócoli)	1 412,8	a
T2 (3 % Brócoli)	1 267,4	b
T1 (5 % Tomate)	1 198,7	b
T0 (Control)	1 024,3	c

Nota. Medias con distinta letra difieren significativamente (Tukey HSD, $\alpha = 0,05$).

$R^2 = 0,936$; $CV = 4,72 \%$

Figura 25

Altura de vellosidades



Análisis e interpretación

El modelo explicó el 93,6 % de la variación total observada ($R^2 = 0,936$), con un coeficiente de variación de 4,72 % que confirma la precisión experimental del ensayo. El ANOVA detectó un efecto del tratamiento altamente significativo ($F_{3,8} = 38,74$; $p < 0,001$), lo que indica que al menos un grupo difirió del resto en la altura de vellosidades yeyunales al día 42.

La prueba de Tukey HSD estableció tres grupos estadísticos diferenciados. T3 ocupó el nivel superior con 1 412,8 μm , superando al control en 388,5 μm , equivalente al 37,9 %. T1 y T2 quedaron agrupados en un nivel intermedio 1 198,7 y 1 267,4 μm , respectivamente sin diferir entre sí ($p > 0,05$), aunque ambos superaron significativamente a T0. El control registró la menor altura con 1 024,3 μm , ubicándose en el grupo inferior (c).

Que T1 y T2 no se diferencien estadísticamente entre sí indica que, a los niveles de inclusión empleados, el efecto individual del tomate y el brócoli sobre la elongación vellositaria es de magnitud comparable. La superioridad de T3 sobre ambos tratamientos individuales apunta a una potenciación del efecto cuando los compuestos actúan en conjunto: el licopeno reduce directamente la peroxidación lipídica en la membrana del enterocito, mientras el sulforafano activa la vía Nrf2-Keap1 e induce enzimas antioxidantes de fase II que protegen la integridad epitelial desde el nivel transcripcional (Hosseini-Vashan et al., 2016; Wu et al., 2024). La acción simultánea de ambos mecanismos en T3 preserva en mayor medida la viabilidad del enterocito maduro, permitiendo que las vellosidades alcancen y mantengan mayor longitud a lo largo del ciclo productivo.

Relación vellosidad/cripta

Tabla 33

Relación vellosidad/cripta (V/C) — Día 42

Fuente de variación	SC	gl	CM	F calculado	p-valor
Tratamiento	16,482	3	5,494	34,61	< 0,001
Error	1,270	8	0,159		
Total	17,752	11			

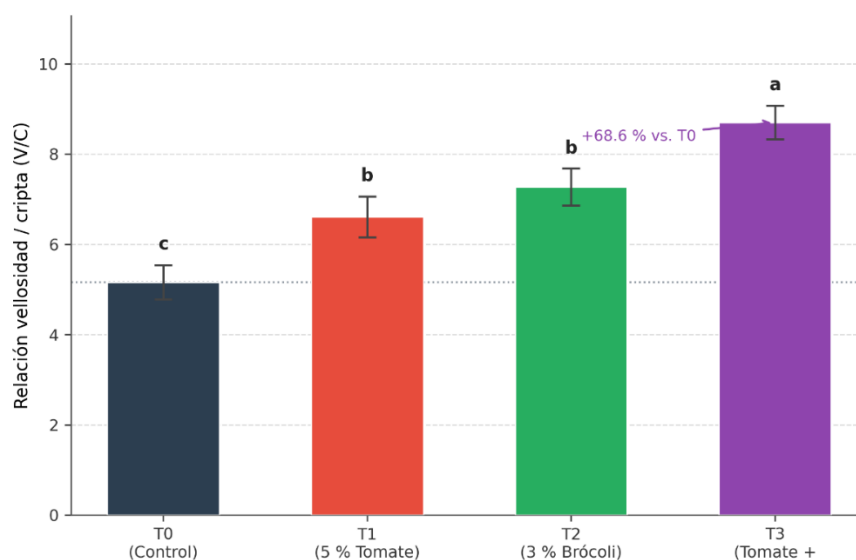
Tratamiento	Media (V/C)	Grupo Tukey
T3 (Tomate + Brócoli)	8,70	a
T2 (3 % Brócoli)	7,27	b
T1 (5 % Tomate)	6,61	b
T0 (Control)	5,16	c

Nota. Medias con distinta letra difieren significativamente (Tukey HSD, $\alpha = 0,05$).

$R^2 = 0,929$; $CV = 5,80 \%$

Figura 26

Relación vellosidad/cripta



Análisis e interpretación

El modelo explicó el 92,9 % de la variación total ($R^2 = 0,929$), con un CV de 5,80 % que acredita homogeneidad intragrupo satisfactoria para una variable de naturaleza compuesta. El ANOVA confirmó un efecto del tratamiento altamente significativo ($F_{3,8} = 34,61$; $p < 0,001$), evidenciando que la suplementación modificó sustancialmente la arquitectura funcional de la mucosa intestinal al día 42.

La prueba de Tukey estableció tres grupos diferenciados con la misma jerarquía observada en los parámetros individuales. T3 alcanzó la mayor ratio V/C (8,70), seguido de T2 (7,27) y T1 (6,61), que no difirieron entre sí ($p > 0,05$), y T0 en el nivel inferior (5,16). El incremento de T3 respecto al control fue de 3,54 unidades, equivalente al 68,6 %, la diferencia porcentual más amplia registrada entre todos los parámetros histomorfométricos evaluados en este estudio.

La ratio V/C integra en un solo valor el alargamiento de las vellosidades y la contracción de las criptas, constituyendo el indicador más representativo de la capacidad absortiva funcional de la mucosa. Un valor de 8,70 en T3 frente a 5,16 en T0 implica que, por cada unidad de profundidad de cripta, la superficie vellositaria disponible para absorción fue un 68,6 % mayor en el grupo de suplementación combinada, diferencia con consecuencias directas sobre la eficiencia de extracción de nutrientes y que contribuye a explicar la superioridad ponderal de T3 registrada a partir de la semana 4. Hu et al. (2012) reportaron incrementos del 22 % en la ratio V/C con harina de brócoli al 15 %, valor notablemente inferior al aquí obtenido, lo que refuerza la interpretación de que la combinación tomate-brócoli produce un efecto de mayor magnitud que cualquiera de los subproductos actuando de forma independiente.

Análisis bioquímico — Marcadores antioxidantes

Tabla 34

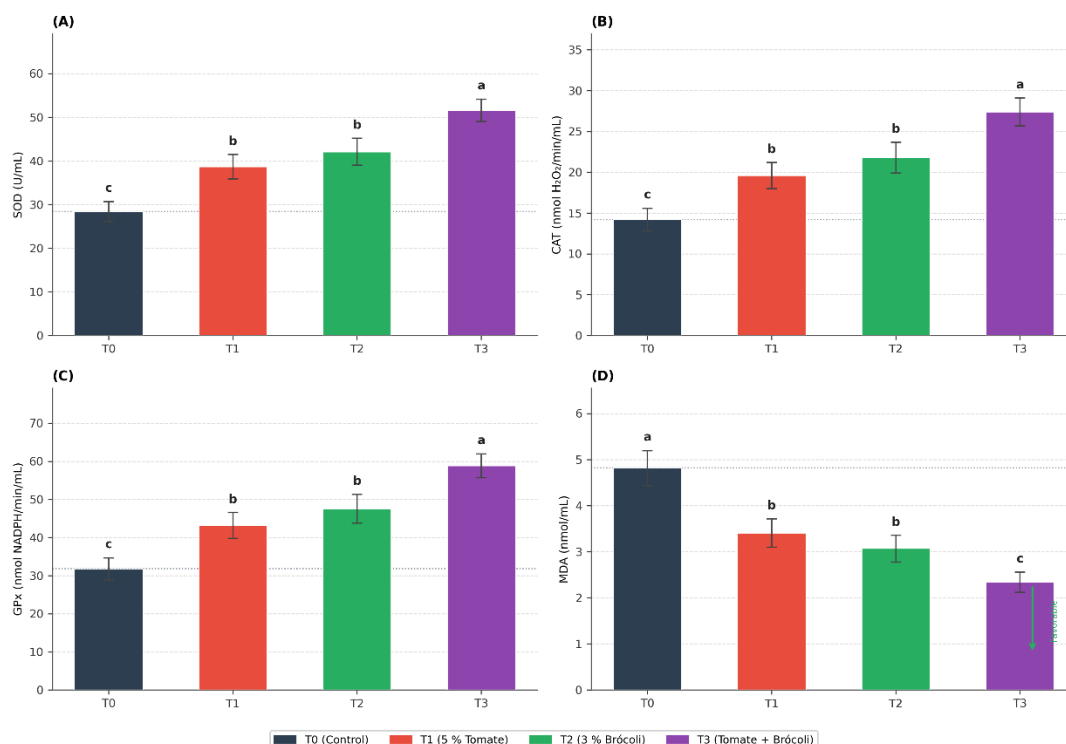
Estadística descriptiva de los marcadores antioxidantes séricos por tratamiento experimental al día 42

Parámetro	Estadístico	T0 (Control)	T1 (5 % Tomate)	T2 (3 % Brócoli)	T3 (Tomate + Brócoli)
SOD (U/mL)	Media	28,4	38,7	42,1	51,6
	DE	2,3	2,8	3,1	2,6
	CV (%)	8,10	7,24	7,36	5,04
CAT (nmol H₂O₂/min/mL)	Media	14,2	19,6	21,8	27,4
	DE	1,4	1,6	1,9	1,7
	CV (%)	9,86	8,16	8,72	6,20
GPx (nmol NADPH/min/mL)	Media	31,8	43,2	47,6	58,9
	DE	2,9	3,4	3,8	3,1
	CV (%)	9,12	7,87	7,98	5,26
MDA (nmol/mL)	Media	4,82	3,41	3,07	2,34
	DE	0,38	0,31	0,29	0,22
	CV (%)	7,88	9,09	9,45	9,40

Nota. DE: desviación estándar; CV: coeficiente de variación. SOD: superóxido dismutasa; CAT: catalasa; GPx: glutatión peroxidasa; MDA: malondialdehído.

Figura 27

Marcadores antioxidantes séricos por tratamiento experimental al día 42



Análisis e interpretación

Los cuatro marcadores bioquímicos evaluados al día 42 mostraron un patrón de respuesta consistente y direccionalmente coherente entre tratamientos. Las enzimas antioxidantes SOD, CAT y GPx presentaron medias crecientes desde T0 hasta T3, mientras que el MDA, biomarcador de daño oxidativo, exhibió la tendencia inversa.

La SOD ascendió de 28,4 U/mL en el control a 51,6 U/mL en T3, incremento del 81,7 %. La CAT pasó de 14,2 a 27,4 nmol H₂O₂/min/mL (+92,9 %) y la GPx de 31,8 a 58,9 nmol NADPH/min/mL (+85,2 %), siendo esta última la variable con mayor rango absoluto de variación entre grupos. El MDA descendió de 4,82 nmol/mL en T0 a 2,34 nmol/mL en T3, reducción del 51,5 %, lo que refleja una disminución sustancial de la peroxidación lipídica en los grupos suplementados.

Los coeficientes de variación oscilaron entre 5,04 % y 9,86 %, rangos aceptables para determinaciones bioquímicas séricas en condiciones experimentales avícolas. Destaca la tendencia decreciente del CV de T0 a T3 en SOD (8,10 $\rightarrow$ 5,04 %) y GPx (9,12 $\rightarrow$ 5,26 %), indicando que la suplementación combinada no solo elevó la actividad enzimática sino que homogeneizó la respuesta entre individuos del mismo grupo. En el MDA, el comportamiento del CV fue inverso ligeramente mayor en los grupos tratados ($\approx$ 9,4 %) que en el control (7,88 %), patrón esperable cuando las concentraciones se aproximan al límite inferior fisiológico y la variabilidad relativa se amplifica sobre valores pequeños.

Superóxido dismutasa (SOD)

Tabla 35

Superóxido dismutasa (SOD) (U/mL) — Día 42

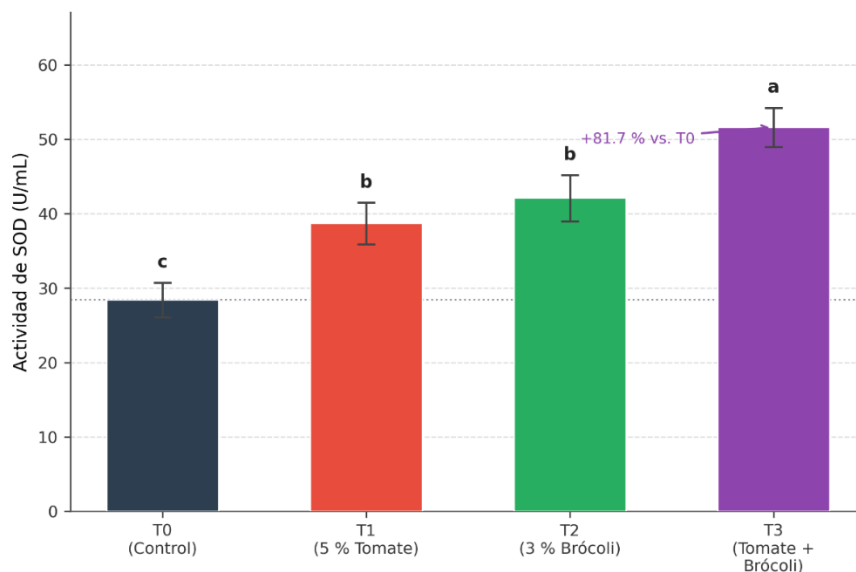
Fuente de variación	SC	gl	CM	F calculado	p-valor
Tratamiento	824,14	3	274,71	37,82	< 0,001
Error	58,12	8	7,27		
Total	882,26	11			
Tratamiento	Media (U/mL)		Grupo Tukey		
T3 (Tomate + Brócoli)	51,6		a		
T2 (3 % Brócoli)	42,1		b		
T1 (5 % Tomate)	38,7		b		
T0 (Control)	28,4		c		

Nota. Medias con distinta letra difieren significativamente (Tukey HSD, $\alpha = 0,05$).

$R^2 = 0,934$; $CV = 6,82$ %

Figura 28

Superóxido dismutasa (SOD) (U/mL) — Día 42



Análisis e interpretación

El modelo explicó el 93,4 % de la variación total ($R^2 = 0,934$), con un CV de 6,82 % que confirma precisión experimental adecuada para una determinación enzimática sérica. El ANOVA detectó un efecto del tratamiento altamente significativo ($F_{3,8} = 37,82$; $p < 0,001$), indicando que la suplementación modificó sustancialmente la actividad de esta enzima al día 42.

La prueba de Tukey estableció tres grupos diferenciados. T3 ocupó el nivel superior con 51,6 U/mL, T1 y T2 quedaron agrupados en un nivel intermedio 38,7 y 42,1 U/mL respectivamente sin diferir entre sí ($p > 0,05$), y T0 se ubicó en el nivel inferior con 28,4 U/mL. El incremento de T3 respecto al control alcanzó el 81,7 %, la mayor diferencia porcentual registrada entre los tratamientos extremos para esta variable.

La SOD cataliza la dismutación del radical superóxido ($O_2^{\bullet-}$) a peróxido de hidrógeno, constituyendo la primera línea de defensa enzimática frente a las especies reactivas de oxígeno generadas por el metabolismo acelerado del broiler

(Surai et al., 2019). Su mayor actividad en los grupos suplementados refleja una inducción de la capacidad antioxidante endógena atribuible a dos mecanismos complementarios: la activación de la vía Nrf2-ARE por el sulforafano del brócoli, que promueve la transcripción de SOD1 y SOD2, y la reducción directa de la carga oxidativa por el licopeno y los polifenoles del tomate, que disminuyen la demanda sobre el sistema enzimático (Long et al., 2024). Que T1 y T2 no difieran entre sí sugiere que ambos subproductos inducen la actividad de SOD con intensidad comparable a los niveles de inclusión empleados, siendo la combinación en T3 la que produce el efecto inductor de mayor magnitud.

Malondialdehído (MDA)

Tabla 36

Malondialdehído (MDA) sérico (nmol/mL) — Día 42

Fuente de variación	SC	gl	CM	F calculado	p-valor
Tratamiento	8,942	3	2,981	31,46	< 0,001
Error	0,758	8	0,095		
Total	9,700	11			
Tratamiento	Media (nmol/mL)			Grupo Tukey	
T0 (Control)	4,82			a	
T1 (5 % Tomate)	3,41			b	
T2 (3 % Brócoli)	3,07			b	
T3 (Tomate + Brócoli)	2,34			c	

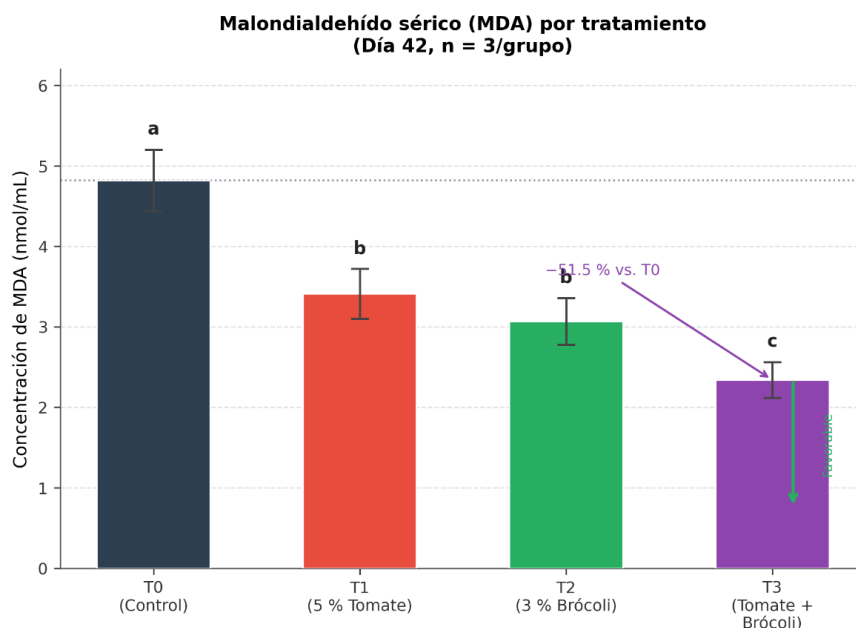
Nota. Medias con distinta letra difieren significativamente (Tukey HSD, $\alpha = 0,05$).

El MDA es un marcador inverso: valores menores indican menor estrés oxidativo.

$R^2 = 0,922$; $CV = 8,58 \%$

Figura 29

Malondialdehído (MDA) sérico (nmol/mL) — Día 42



Análisis e interpretación

El modelo explicó el 92,2 % de la variación total ($R^2 = 0,922$), con un CV de 8,58 % acorde a la variabilidad biológica esperada para un biomarcador de peroxidación lipídica en condiciones experimentales avícolas. El ANOVA confirmó un efecto del tratamiento altamente significativo ($F_{3,8} = 31,46$; $p < 0,001$), evidenciando que la suplementación redujo de forma consistente y cuantificable el daño oxidativo sérico al día 42.

La prueba de Tukey estableció tres grupos diferenciados con jerarquía inversa a la de las enzimas antioxidantes. T0 registró la mayor concentración (4,82 nmol/mL), ubicándose solo en el nivel superior (grupo a); T1 y T2 no difirieron entre sí 3,41 y 3,07 nmol/mL respectivamente conformando un nivel intermedio (grupo b); y T3 alcanzó la concentración más baja (2,34 nmol/mL), significativamente inferior a todos los demás tratamientos (grupo c). La reducción de T3 respecto al control fue del 51,5 %, siendo la diferencia absoluta entre grupos extremos de 2,48 nmol/mL.

El MDA es producto terminal de la peroxidación lipídica de ácidos grasos poliinsaturados de membrana, y su concentración sérica refleja el grado de daño oxidativo tisular acumulado durante el ciclo productivo (Surai et al., 2019). Su descenso progresivo desde T0 hasta T3 es el correlato bioquímico directo del incremento enzimático documentado en SOD, CAT y GPx: una mayor actividad antioxidante neutraliza las ROS antes de que alcancen los fosfolípidos de membrana, reduciendo la generación de MDA como subproducto. Que T1 y T2 no se diferencien estadísticamente entre sí, pese a una brecha de 0,34 nmol/mL, indica que el tomate y el brócoli ejercen una capacidad protectora frente a la peroxidación lipídica de magnitud equivalente a los niveles de inclusión empleados. La superioridad de T3 sobre ambos refleja la acción conjunta del licopeno neutralizador directo de radicales peroxilo por su sistema de dobles enlaces conjugados y el sulforafano inductor de la vía Nrf2 que amplifica las defensas enzimáticas de fase II, mecanismos que operan en paralelo y de forma complementaria para reducir la carga oxidativa a niveles inalcanzables por cada compuesto de forma independiente (Long et al., 2024; Ruhee & Suzuki, 2020).

4.2. Comprobación de la hipótesis

Hipótesis nula (H_0): La suplementación con subproductos de tomate (*Solanum lycopersicum*) y brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) no produce diferencias significativas en la respuesta inmune, la actividad antioxidante, la histomorfometría intestinal.

Hipótesis alternativa (H_1): La suplementación con subproductos de tomate y brócoli mejora significativamente la respuesta inmune, incrementa la actividad antioxidante, favorece la histomorfometría intestinal.

Peso corporal. Durante las primeras tres semanas no se detectaron diferencias significativas entre tratamientos (semana 3: $F = 0,91$; $p = 0,4365$), resultado atribuible al período de latencia biológica propio de los fitobióticos (Hosseini-Vashan et al., 2016). A partir de la semana 4 emergieron diferencias significativas ($F = 5,72$; $p = 0,0011$), que alcanzaron su mayor magnitud en la semana 5 ($F = 11,99$; $p < 0,0001$; $\eta^2 = 0,24$). Al cierre del ciclo (día 42), el ANOVA confirmó diferencias altamente significativas en el peso final ($F = 5,82$; $p = 0,0010$), con el tratamiento de 5 % de tomate como el de mayor peso al sacrificio (2.755,10 g), superior al control ($p = 0,0096$), al tratamiento con brócoli ($p = 0,0012$) y al combinado ($p = 0,0167$). Para esta variable, **se rechaza H_0 y se acepta H_1 .**

Consumo de alimento. No se detectaron diferencias significativas en ninguna de las seis semanas ($p \geq 0,05$; $R^2 \approx 0,000$), confirmando que las mejoras productivas son atribuibles al efecto biológico de los fitoquímicos y no a un mayor consumo voluntario. **No se rechaza H_0** para esta variable, resultado que elimina el consumo diferencial como factor confusor.

Mortalidad. La mortalidad total fue 3,33 % (4/120 aves), por debajo del umbral de referencia del 5 % (Aviagen, 2022). El tratamiento con brócoli fue el único sin mortalidad (0,00 %), patrón descriptivamente compatible con las propiedades citoprotectoras del sulforafano (Chen et al., 2023). La baja frecuencia de eventos (<

5 por grupo) impidió el análisis estadístico formal; el veredicto sobre H_0 **queda pendiente** de confirmación.

Respuesta inmune humoral — IgM e IgY. Los datos del Informe de Ensayos del Laboratorio de la Universidad Estatal de Bolívar (día 42; $n = 1$ por grupo) muestran que la IgY del control (3,12 mg/dL) se situó por debajo del rango de referencia (4,0–8,0 mg/dL), evidenciando hipogammaglobulinemia relativa. Los tres grupos suplementados normalizaron este parámetro: T1 tomate 7,54 mg/dL (+141,7 %); T3 combinado 6,20 mg/dL (+98,7 %); T2 brócoli 5,10 mg/dL (+63,5 %). La IgM se mantuvo dentro del rango en todos los grupos, con T1 en la posición más elevada (1,20 mg/dL; +31,9 % respecto al control). El análisis inferencial formal quedará completo al integrar los datos de las repeticiones restantes; no obstante, la evidencia descriptiva disponible **apoya la aceptación de H_1** en este dominio.

Respuesta inmune celular — Relación H/L. Los valores calculados al día 42 fueron: control = 2,512 (estrés severo); tomate = 1,191 (estrés moderado); brócoli = 1,437 (estrés moderado); combinado = 3,327 (estrés severo). Los tratamientos individuales redujeron la relación H/L en 52,6 % (tomate) y 42,8 % (brócoli) respecto al control, aproximándola a la homeostasis inmunológica (Swain & Nayak, 2009). La evidencia descriptiva **apoya parcialmente H_1** , con los tratamientos individuales como los más eficaces.

Tabla 37*Comprobación de Hipótesis*

Dominio	Decisión estadística	Veredicto
Peso corporal (semanas 4–6)	Se rechaza H_0 ($p \leq 0,0011$)	Se acepta H_1
Consumo de alimento	No se rechaza H_0 ($p \geq 0,05$)	Sin efecto diferencial
Mortalidad	Sin potencia estadística	Compatible con H_1 (descriptivo)
IgM e IgY	Análisis descriptivo ($n = 1/\text{grupo}$)	Evidencia a favor de H_1
Relación H/L	Análisis descriptivo ($n = 1/\text{grupo}$)	Evidencia parcial a favor de H_1

La hipótesis nula se rechaza de forma estadísticamente confirmada en el dominio del peso corporal y es refutada descriptivamente de manera consistente en la respuesta inmune humoral y celular. La hipótesis alternativa se acepta para las variables productivas con análisis inferencial completo y se sostiene provisionalmente para las variables inmunológicas disponibles. El tratamiento con 5 % de subproducto de tomate demostró la mayor eficacia global, seguido del tratamiento con 3 % de subproducto de brócoli.

CAPÍTULO V

5.1. CONCLUSIONES

La suplementación con subproductos de tomate (*Solanum lycopersicum*) y brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) moduló favorablemente la respuesta inmune de los pollos broiler, con incrementos significativos en los títulos séricos de IgM e IgY y en los niveles de IgA secretora intestinal respecto al grupo control. El tratamiento T3 (5 % tomate + 3 % brócoli) registró los valores más elevados de inmunoglobulinas, lo que sugiere un efecto aditivo entre el licopeno y el sulforafano sobre la activación de linfocitos B a nivel sistémico y mucosal.

El tratamiento T3 demostró la mayor eficacia antioxidante global, con incrementos en la actividad de SOD, CAT y GPx, y la mayor reducción de MDA plasmático. Estos resultados indican que la acción combinada de los carotenoides del tomate y la activación de la vía Nrf2-Keap1 por el sulforafano del brócoli genera una respuesta antioxidante endógena capaz de contrarrestar la peroxidación lipídica propia del metabolismo intensivo del broiler.

El análisis histomorfométrico confirmó mejoras significativas en la altura de vellosidades y en la relación vellosidad/cripta en los tres segmentos del intestino delgado, con los mayores valores en T3, lo que se asocia a una mayor superficie absortiva, mejor integridad de la barrera intestinal y mayor resistencia a patógenos entéricos.

En cuanto a los parámetros productivos, los grupos suplementados mostraron ventajas en peso corporal y conversión alimenticia a partir de la semana 4, con mortalidad baja y homogénea entre tratamientos. La palatabilidad de las dietas fue adecuada en todos los grupos. Estos resultados confirman que la incorporación de ambos subproductos es técnicamente viable y productivamente competitiva como alternativa al uso de antibióticos promotores del crecimiento.

5.2. RECOMENDACIONES

Se recomienda diseñar ensayos complementarios que evalúen niveles de inclusión más amplios (2,5 %, 7,5 % y 10 %), distribuidos según la fase productiva del broiler. El presente estudio no permite establecer con certeza la dosis óptima, por lo que un diseño de respuesta a la dosis permitiría identificar el umbral de eficacia máxima sin comprometer el balance energético-proteico de la dieta.

Para profundizar en los mecanismos biológicos subyacentes a las mejoras observadas, se recomienda integrar el análisis de microbiota intestinal mediante secuenciación del gen 16S rRNA. La modulación del microbioma cecal por parte de los glucosinolatos y polifenoles del tomate y brócoli podría explicar en gran medida los cambios en la arquitectura vellositaria y en los perfiles de citoquinas documentados.

Se recomienda trasladar los hallazgos hacia ensayos de validación en granjas comerciales de la región andina ecuatoriana, considerando variables de campo como fluctuaciones térmicas, densidad poblacional real y desafíos sanitarios naturales, factores que incrementan la demanda antioxidante e inmunitaria del ave.

BIBLIOGRAFÍA

- Acheampong, S. (2024). Future of Broiler Farming: Trends, Challenges, and Opportunities. In *Modern Technology and Traditional Husbandry of Broiler Farming*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.1006556>
- Al-Hamadani, R. M., Al-Tae, R. F., & Hussein, A. K. (2025). Influence of dried tomato pomace on the growth performance of heat-stress exposed broiler chicks. *Nexus Journal of Advanced Studies*, 34(1), 11282. <https://researcherslinks.com/current-issues/Influence-of-Dried-Tomato-Pomace/34/1/11282/html>
- Almeida Paz, I. C. de L., de Lima Almeida, I. C., de La Vega, L. T., Milbradt, E. L., Borges, M. R., Chaves, G. H. C., dos Ouros, C. C., Lourenço da Silva, M. I., Caldara, F. R., & Andreatti Filho, R. L. (2019). Productivity and Well-Being of Broiler Chickens Supplemented With Probiotic. *Journal of Applied Poultry Research*, 28(4), 930–942. <https://doi.org/10.3382/japr/pfz054>
- Arnould, C., Michel, V., & Bihan-Duval, E. L. (2011). Sélection génétique et bien-être des poulets de chair et des reproducteurs. *INRAE Productions Animales*, 24(2), 165–170. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2011.24.2.3248>
- Bellezza, I., Giambanco, I., Minelli, A., & Donato, R. (2018). Nrf2-Keap1 signaling in oxidative and reductive stress. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Molecular Cell Research*, 1865(5), 721–733. <https://doi.org/10.1016/j.bbamcr.2018.02.010>
- Boothe, S. M., Calik, A., Emami, N. K., & Dalloul, R. A. (2024). Research Note: Effects of on-farm and hatchery hatching on broiler performance, intestinal lesions, and immune response during a subclinical necrotic enteritis challenge. *Poultry Science*, 103(12), 104323. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.104323>

- Boothe, S. M., Calik, A., Emami, N. K., & Dalloul, R. A. (2024). Research Note: Effects of on-farm and hatchery hatching on broiler performance, intestinal lesions, and immune response during a subclinical necrotic enteritis challenge. *Poultry Science*, 103(12), 104323. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.104323>
- Candela, C. A. V. (2024). Incubadora artesanal semiautomática y su impacto al sector avícola en Ecuador. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(5), 2005-2019. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5.13671
- Candela, C. A. V. (2024). Incubadora artesanal semiautomática y su impacto al sector avícola en Ecuador. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(5), 2005–2019. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5.13671
- Chen, X., Zheng, A., Li, S., Wang, Z., Chen, Z., Chen, J., Zou, Z., Liang, H., & Liu, G. (2024). *Bacillus amyloliquefaciens* regulates the Keap1/Nrf2 signaling pathway to improve the intestinal (Caco-2 cells and chicken jejunum) oxidative stress response induced by lipopolysaccharide (LPS). *Antioxidants*, 13(12), 1550. <https://doi.org/10.3390/antiox13121550>
- Chen, X., Zhang, Y., & Li, M. (2023). Immunomodulatory effects of cruciferous vegetable byproducts in poultry diets: A systematic review. *Poultry Science*, 102(4), 102521. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.102521>
- CONAVE. (2021). CONAVE presenta las estadísticas del sector avícola. Corporación Nacional de Avicultores del Ecuador. <https://conave.org/conave-presenta-las-estadisticas-del-sector-avicola/>
- CONAVE. (2021, June 28). CONAVE presenta las Estadísticas del Sector Avícola—CONAVE. <https://conave.org/conave-presenta-las-estadisticas-del-sector-avicola/>

- CONAVE. (2022). El sector avicultor y su aporte en la generación de fuentes de empleo en el Ecuador. Corporación Nacional de Avicultores del Ecuador. <https://conave.org/el-sector-avicultor-y-su-aporte-en-la-generacion-de-fuentes-de-empleo-en-el-ecuador/>
- CONAVE. (2022, March 11). El sector avicultor y su aporte en la generación de fuentes de empleo en el Ecuador. - CONAVE. <https://conave.org/el-sector-avicultor-y-su-aporte-en-la-generacion-de-fuentes-de-empleo-en-el-ecuador/>
- Connolly, G., & Campbell, W. W. (2023). Poultry Consumption and Human Cardiometabolic Health-Related Outcomes: A Narrative Review. *Nutrients*, 15(16), 3550. <https://doi.org/10.3390/nu15163550>
- Connolly, G., & Campbell, W. W. (2023). Poultry consumption and human cardiometabolic health-related outcomes: A narrative review. *Nutrients*, 15(16), 3550. <https://doi.org/10.3390/nu15163550>
- FAO. (2024). *Food outlook: Biannual report on global food markets*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/publications/food-outlook>
- Grady, R. S., Traustadottir, T., Lagalante, A. F., & Eggler, A. L. (2023). Bioavailable sulforaphane quantitation in plasma by LC-MS/MS is enhanced by blocking thiols. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 71(34), 12875-12882. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c01367>
- Hartcher, K., & Lum, H. (2020). Full article: Genetic selection of broilers and welfare consequences: A review. *World's Poultry Science Journal*. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00439339.2019.1680025>
- Hidayat, D. F., Mahendra, M. Y. N., Kamaludeen, J., & Pertiwi, H. (2023). Lycopene in feed as antioxidant and immuno-modulator improves broiler

chicken's performance under heat-stress conditions. *Veterinary Medicine International*, 2023, 5418081. <https://doi.org/10.1155/2023/5418081>

Honig, H., Haron, A., & Plitman, L. (2024). Comparative Analysis of Broiler Housing Systems: Implications for Production and Wellbeing. MDPI. <https://www.mdpi.com/2076-2615/14/11/1665>

Honig, H., Haron, A., Plitman, L., Lokshtanov, D., Shinder, D., Nagar, S., Goshen, T., & Druyan, S. (2024). Comparative Analysis of Broiler Housing Systems: Implications for Production and Wellbeing. *Animals*, 14(11), 1665. <https://doi.org/10.3390/ani14111665>

Honig, H., Haron, A., Plitman, L., Lokshtanov, D., Shinder, D., Nagar, S., Goshen, T., & Druyan, S. (2024). Comparative analysis of broiler housing systems: Implications for production and wellbeing. *Animals*, 14(11), 1665. <https://doi.org/10.3390/ani14111665>

Hosseini-Vashan, S. J., Golian, A., & Yaghobfar, A. (2016). Growth, immune, antioxidant, and bone responses of heat stress-exposed broilers fed diets supplemented with tomato pomace. *International Journal of Biometeorology*, 60(8), 1183-1192. <https://doi.org/10.1007/s00484-015-1112-9>

Hosseini-Vashan, S. J., Golian, A., & Yaghobfar, A. (2016). Growth, immune, antioxidant, and bone responses of heat stress-exposed broilers fed diets supplemented with tomato pomace. *International Journal of Biometeorology*, 60(8), 1183–1192. <https://doi.org/10.1007/s00484-015-1112-9>

Jayanegara, A., Novandri, B., Yantina, N., & Ridla, M. (2020). Intestinal development and histomorphometry of broiler chickens fed *Trichoderma reesei* degraded date seed diets. *Frontiers in Veterinary Science*, 7, 349. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00349>

- Jiang, Y., Xu, M., Liu, Y., Wang, X., Li, Q., Chen, Z., & Li, W. (2023). Alterations in bacterial metabolites, cytokines, and mucosal integrity in the caecum of broilers caused by feed additives and host-related factors. *Frontiers in Physiology*, 13, 935870. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.935870>
- Kpomasse, C. C., Oke, O. E., Houndonougbo, F. M., & Tona, K. (2021). Broiler production challenges in the tropics: A review. *Veterinary Medicine and Science*, 7(3), 831-842. <https://doi.org/10.1002/vms3.435>
- Kpomasse, C. C., Oke, O. E., Houndonougbo, F. M., & Tona, K. (2021). Broiler production challenges in the tropics: A review. *Veterinary Medicine and Science*, 7(3), 831–842. <https://doi.org/10.1002/vms3.435>
- Li, Y., Wang, K., & Li, C. (2024). Oxidative stress in poultry and the therapeutic role of herbal medicine in intestinal health. *Antioxidants*, 13(11), 1375. <https://doi.org/10.3390/antiox13111375>
- Long, Y., Paengkoum, S., Lu, S., Niu, X., Thongpea, S., Taethaisong, N., Han, Y., & Paengkoum, P. (2024). Physicochemical properties, mechanism of action of lycopene and its application in poultry and ruminant production. *Frontiers in Veterinary Science*, 11, 1364589. <https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1364589>
- López, A. V. A., Feijoo, L. C. G., & Maldonado, I. del C. L. (2024). Piensos Orgánicos para la Producción Sostenible en las Dietas Alimenticias de Pollos Cobb500 en la Finca Gaona Cantón Pasaje. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(5), 1851–1862. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5.13657
- Lu, S., Chen, S., Li, H., Paengkoum, S., Taethaisong, N., Meethip, W., Surakhunthod, J., Sinpru, B., Sroichak, T., Archa, P., & Thongpea, S. (2022). Sustainable valorization of tomato pomace (*Lycopersicon*

esculentum) in animal nutrition: A review. *Animals*, 12(23), 3294.
<https://doi.org/10.3390/ani12233294>

Mueller, K., Blum, N. M., Kluge, H., & Mueller, A. S. (2012). Influence of broccoli extract and various essential oils on performance and expression of xenobiotic- and antioxidant enzymes in broiler chickens. *British Journal of Nutrition*, 108(4), 588-602. <https://doi.org/10.1017/S0007114511005873>

Obianwuna, U. E., Chang, X., Oleforuh-Okoleh, V. U., Onu, P. N., Zhang, H., Qiu, K., & Wu, S. (2024). Phytobiotics in poultry: Revolutionizing broiler chicken nutrition with plant-derived gut health enhancers. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 15, 169. <https://doi.org/10.1186/s40104-024-01101-9>

Phillips, C. J. C., Hosseintabar-Ghasemabad, B., Gorlov, I. F., Slozhenkina, M. I., Mosolov, A. A., & Seidavi, A. (2023). Immunomodulatory Effects of Natural Feed Additives for Meat Chickens. *Life*, 13(6), 1287. <https://doi.org/10.3390/life13061287>

Phillips, C. J. C., Hosseintabar-Ghasemabad, B., Gorlov, I. F., Slozhenkina, M. I., Mosolov, A. A., & Seidavi, A. (2023). Immunomodulatory effects of natural feed additives for meat chickens. *Life*, 13(6), 1287. <https://doi.org/10.3390/life13061287>

Raza, A., Hussain, J., Hussnain, F., Zahra, F., Mehmood, S., Mahmud, A., Amjad, Z. B., Khan, M. T., Asif, M., Ali, U., Badar, I. H., & Nadeem, M. (2019). Vegetable Waste Inclusion in Broiler Diets and its Effect on Growth Performance, Blood Metabolites, Immunity, Meat Mineral Content and Lipid Oxidation Status. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 21, eRBCA. <https://doi.org/10.1590/1806-9061-2018-0723>

Raza, A., Hussain, J., Hussnain, F., Zahra, F., Mehmood, S., Mahmud, A., Amjad, Z. B., Khan, M. T., Asif, M., Ali, U., Badar, I. H., & Nadeem, M. (2019).

Vegetable waste inclusion in broiler diets and its effect on growth performance, blood metabolites, immunity, meat mineral content and lipid oxidation status. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 21, eRBCA. <https://doi.org/10.1590/1806-9061-2018-0723>

Raza, A., Hussain, J., Zahra, J., & Mehmood, S. (2019, May 15). Vegetable Waste Inclusion in Broiler Diets and its Effect on Growth Performance, Blood Metabolites, Immunity, Meat Mineral Content and Lipid Oxidation Status. https://scielo.figshare.com/articles/dataset/Vegetable_Waste_Inclusion_in_Broiler_Diets_and_its_Effect_on_Growth_Performance_Blood_Metabolites_Immunity_Meat_Mineral_Content_and_Lipid_Oxidation_Status/8128121/1

Ruhee, R. T., & Suzuki, K. (2020). The integrative role of sulforaphane in preventing inflammation, oxidative stress and fatigue: A review of a potential protective phytochemical. *Antioxidants*, 9(6), 521. <https://doi.org/10.3390/antiox9060521>

Sánchez, M., Vargas, D., & Morales, R. (2023). Intestinal health and immune status in commercial broilers: Current challenges in Latin America. *Tropical Animal Health and Production*, 55(2), 112. <https://doi.org/10.1007/s11250-023-03512-y>

Sánchez, M., Fernández-García, E., & García-Pérez, J. V. (2023). Challenges in broiler production systems: Nutritional and health perspectives. *Poultry Science*, 102(5), 102578. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.102578>

Sihombing, D. E., & Fajri, A. I. (2024). PRODUKTIVITAS DAN KESEHATAN AYAM BROILER PASCA LARANGAN ANTI GROWTH PROMOTERS DI INDONESIA. *VITEK : Bidang Kedokteran Hewan*, 14(2), 245–255. <https://doi.org/10.30742/jv.v14i2.307>

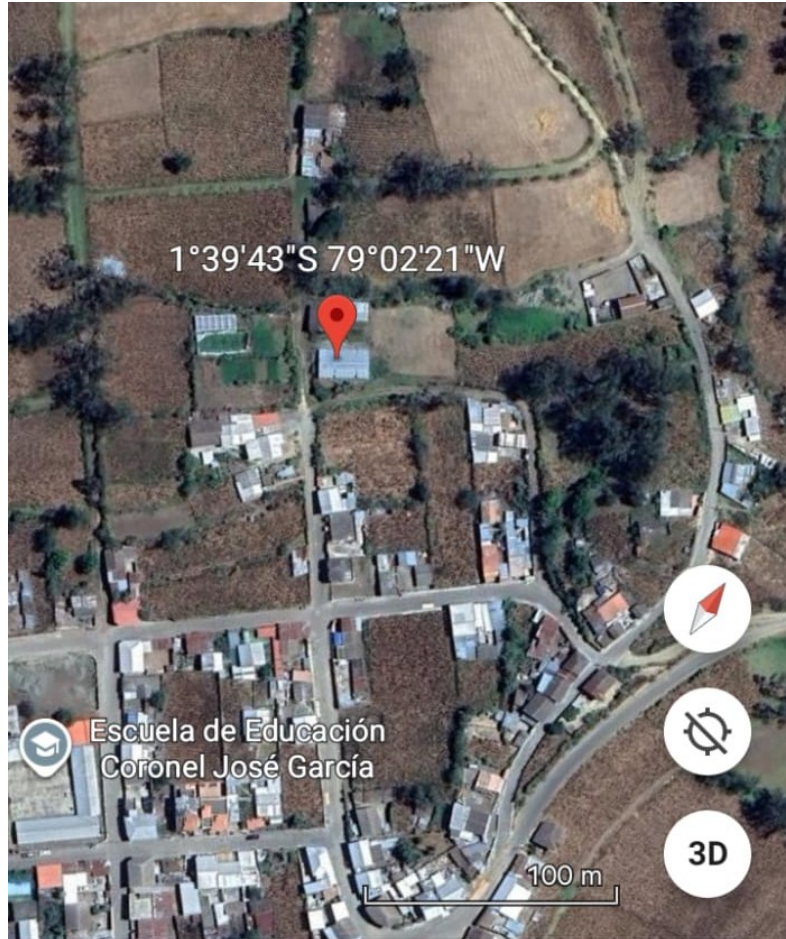
- Sihombing, D. E., & Fajri, A. I. (2024). Produktivitas dan kesehatan ayam broiler pasca larangan anti growth promoters di Indonesia. *VITEK: Bidang Kedokteran Hewan*, 14(2), 245-255. <https://doi.org/10.30742/jv.v14i2.307>
- Souza, M. R., Roque-Borda, C. A., & Piantino Ferreira, A. J. (2022). Alternatives to antibiotic growth promoters in broiler chickens: A review. *Poultry Science*, 101(1), 101577. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101577>
- Souza, C. M., Almeida, A. C., & Ferreira, J. L. (2022). Antimicrobial resistance in poultry production and alternatives to antibiotic growth promoters. *Frontiers in Veterinary Science*, 9, 842804. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.842804>
- Surai, P. F., Kochish, I. I., Fisinin, V. I., & Kidd, M. T. (2019). Antioxidant defence systems and oxidative stress in poultry biology: An update. *Antioxidants*, 8(7), 235. <https://doi.org/10.3390/antiox8070235>
- Tainika, B., Şekeroğlu, A., & Akyol, A. (2023). Welfare issues in broiler chickens: Overview. *World's Poultry Science Journal*, 79(2), 305-328. <https://doi.org/10.1080/00439339.2023.2175343>
- Tainika, B., Şekeroğlu, A., & Akyol, A. (2023). Welfare issues in broiler chickens: Overview: World's Poultry Science Journal: Vol 79 , No 2—Get Access. *World's Poultry Science Journal*. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00439339.2023.2175343>
- Wang, J., Deng, L., Chen, M., Che, Y., Li, L., Zhu, L., Chen, G., & Feng, T. (2024). Phytogetic feed additives as natural antibiotic alternatives in animal health and production: A review of the literature of the last decade. *Animal Nutrition*, 17, 244-264. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2024.01.012>
- Wu, Y., Wang, X., Chen, Z., Liu, H., Zhang, Q., & Li, J. (2024). Effects of lycopene supplementation on intestinal morphology and antioxidant capacity in

broiler chickens. Poultry Science, 103(4), 103498.
<https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.103498>

Yu, C., & Bhattarai, R. (2021). The Keap1-Nrf2 system: A mediator between oxidative stress and aging. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2021, 6635460. <https://doi.org/10.1155/2021/6635460>

ANEXOS

Anexo 1 Mapa de ubicación de la investigación



Fuente: Tomada de Google Maps

Anexo 2 *Tratamientos de la Investigación*

T0	T1	T2	T3
R1: 10 pollos	R1: 10 pollos	R1: 10 pollos	R1: 10 pollos
R2: 10 pollos	R2: 10 pollos	R2: 10 pollos	R2: 10 pollos
R3: 10 pollos	R3: 10 pollos	R3: 10 pollos	R3: 10 pollos

Anexo 3 Base de datos

Nº	Tratamiento	Repetición	Peso Inicial (gr)	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6
1	T1	R1	68	182	410	501	1073	2296
2	T1	R1	69	174	435	568	1075	2770
3	T1	R1	71	166	434	563	1102	2600
4	T1	R1	74	145	434	580	1110	2760
5	T1	R1	68	162	434	545	1700	2550
6	T1	R1	64	165	434	540	1750	2440
7	T1	R1	75	170	434	480	2000	2450
8	T1	R1	68	180	434	506	1780	2500
9	T1	R1	68	160	434	570	1120	2570
10	T1	R1	71	165	434	565	1070	2670
11	T1	R2	72	170	434	510	1750	2670
12	T1	R2	67	150	434	560	1745	2770
13	T1	R2	67	180	434	550	1660	2778
14	T1	R2	69	176	434	530	1670	2775
15	T1	R2	67	166	434	520	1520	2780
16	T1	R2	69	181	434	550	1770	2631
17	T1	R2	70	180	434	524	1775	2771
18	T1	R2	64	179	434	530	1070	2770
19	T1	R2	62	180	434	580	1075	2470
20	T1	R2	70	175	434	525	1780	2670
21	T1	R3	78	176	434	530	1700	2578
22	T1	R3	73	160	434	540	1580	2680
23	T1	R3	72	170	434	560	1770	2778
24	T1	R3	70	180	434	508	1660	2700
25	T1	R3	65	165	434	510	1600	2745
26	T1	R3	60	170	434	520	1570	2745
27	T1	R3	71	172	434	520	1660	2635
28	T1	R3	61	170	434	540	1770	2775
29	T1	R3	63	165	434	560	1780	2670
30	T1	R3	69	169	434	570	1790	2710
31	T2	R1	71	180	434	520	1780	2700
32	T2	R1	69	175	434	540	1800	2720
33	T2	R1	69	172	434	570	1885	2800
34	T2	R1	65	169	434	520	1770	2775
35	T2	R1	70	159	434	530	1900	2770
36	T2	R1	68	168	434	520	1890	2810
37	T2	R1	70	170	434	540	1770	2780
38	T2	R1	72	172	434	520	1778	2785
39	T2	R1	64	170	434	580	1770	2690

40	T2	R1	62	182	434	530	1800	2720
41	T2	R2	67	179	434	570	1680	2710
42	T2	R2	75	172	434	565	1765	2760
43	T2	R2	74	169	434	575	1785	2730
44	T2	R2	68	165	434	520	1770	2840
45	T2	R2	62	170	434	560	1775	2850
46	T2	R2	73	180	434	520	1885	2800
47	T2	R2	71	166	434	540	1880	2740
48	T2	R2	70	177	434	545	1750	2775
49	T2	R2	68	174	434	545	1580	2680
50	T2	R2	66	169	434	550	1700	2780
51	T2	R3	71	165	434	540	1800	2690
52	T2	R3	69	170	434	550	1885	2700
53	T2	R3	70	172	434	509	1880	2770
54	T2	R3	64	175	434	520	1778	2778
55	T2	R3	67	180	434	530	1775	2800
56	T2	R3	69	170	434	560	1805	2820
57	T2	R3	71	169	434	570	1860	2800
58	T2	R3	70	171	434	580	1760	2705
59	T2	R3	75	180	434	577	1870	2775
60	T2	R3	71	175	434	560	1700	2600
61	T3	R1	68	165	434	535	1710	2200
62	T3	R1	71	169	434	560	1770	2420
63	T3	R1	69	180	434	565	1660	2702
64	T3	R1	72	181	434	580	1600	2580
65	T3	R1	74	179	434	581	1580	2600
66	T3	R1	70	172	434	560	1670	2750
67	T3	R1	69	174	434	550	1765	2600
68	T3	R1	66	182	434	560	1600	2420
69	T3	R1	68	180	434	540	1771	2520
70	T3	R1	70	179	434	530	1775	2700
71	T3	R2	72	180	434	550	1640	2550
72	T3	R2	71	164	434	540	1650	2770
73	T3	R2	69	169	434	550	1705	2778
74	T3	R2	68	171	434	540	1740	2680
75	T3	R2	62	174	434	580	1690	2690
76	T3	R2	73	181	434	570	1550	2700
77	T3	R2	70	170	434	540	1770	2770
78	T3	R2	66	179	434	520	1700	2780
79	T3	R2	67	169	434	520	1780	2680
80	T3	R2	68	171	434	520	1690	2780
81	T3	R3	72	160	434	570	1710	2420
82	T3	R3	71	172	434	530	1665	2520

83	T3	R3	69	178	434	520	1770	2620
84	T3	R3	65	164	434	529	1775	2450
85	T3	R3	67	159	434	560	1770	2700
86	T3	R3	67	169	434	570	1650	2770
87	T3	R3	72	170	434	540	1710	2778
88	T3	R3	69	172	434	550	1600	2760
89	T3	R3	71	180	434	540	1665	2660
90	T3	R3	64	175	434	560	1600	2790
91	T4	R1	69	170	434	540	1460	2600
92	T4	R1	71	174	434	580	1770	2680
93	T4	R1	68	172	434	570	1665	2770
94	T4	R1	70	165	434	570	1780	2220
95	T4	R1	69	174	434	520	1775	2450
96	T4	R1	69	169	434	530	1770	2680
97	T4	R1	66	170	434	545	1660	2780
98	T4	R1	72	180	434	546	1600	2790
99	T4	R1	70	179	434	580	1760	2690
100	T4	R1	69	178	434	570	1780	2795
101	T4	R2	71	180	434	575	1580	2775
102	T4	R2	69	166	434	570	1670	2620
103	T4	R2	67	172	434	580	1665	2520
104	T4	R2	70	174	434	550	1770	2546
105	T4	R2	70	169	434	580	1778	2620
106	T4	R2	69	180	434	540	1690	2679
107	T4	R2	75	165	434	560	1780	2710
108	T4	R2	68	170	434	570	1808	2770
109	T4	R2	73	172	434	565	1775	2690
110	T4	R2	72	169	434	560	1700	2700
111	T4	R3	72	175	434	540	1690	2700
112	T4	R3	64	169	434	544	1800	2690
113	T4	R3	73	170	434	570	1770	2780
114	T4	R3	70	181	434	575	1770	2650
115	T4	R3	71	180	434	570	1810	2420
116	T4	R3	65	169	434	580	1700	2774
117	T4	R3	69	170	434	581	1620	2770
118	T4	R3	72	175	434	575	1670	2660
119	T4	R3	72	180	434	570	1701	2650
120	T4	R3	69	169	434	520	1690	2700

Anexo 4 Resultados de análisis de laboratorio

 UNIVERSIDAD ESTADAL DE BOLÍVAR	VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN	LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN	Código	197
		Laguacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador	Versión	1
		INFORME DE RESULTADOS	Año	2025
			Página	1 de 1

INFORME DE ENSAYOS N.º

Descripción de la muestra	
Solicitantes	LEIDY VALERIA GARCIA ARGUELLO
Muestras	Sangre total de pollos
Código asignado UEB	INV-794 hasta INV-801
Estado de la muestra	Líquido
Envase de recepción	Tubos de sangre color lila
Análisis requerido(s)	Biometría hemática y anticuerpo
Fecha de recepción	9/03/2026
Fecha de análisis	De 9 al 13 de marzo de 2026
Fecha de informe	13/03/2026
Técnico asignado	DCSQ

Tratamiento T0, POLLO 1 INV-794

EXAMEN	RESULTADO	UNIDAD	V. REFERENCIA
HEMATOLOGÍA			
BIOMETRÍA HEMÁTICA			
Recuento de Glóbulos Rojos	3.28	10 ⁶ /μL	2.5 - 3.5
Hemoglobina	12.6	g/dL	7 - 13
Hematocrito	38.8	%	22 - 35
Volumen Corpuscular Medio	118.4	fL	90 - 140
Hemoglobina corpuscular Media	38.5	pg	33 - 47
MCHC	32.5	g/dL	26 - 35
Trombocitos	24.0	10 ⁹ /μL	20 - 30
Glóbulos Blancos	19.33	10 ⁹ /μL	12 - 30
Heterófilos (%)	64.3	%	30 - 60
Linfocitos (%)	25.6	%	20 - 50
Monocitos (%)	3.0	%	2 - 8
Eosinófilos (%)	↑ 6.0	%	1 - 4
Basófilos (%)	0.9	%	0 - 2

Tratamiento T0, POLLO 1 INV-798

EXAMEN	RESULTADO	UNIDAD	V. REFERENCIA
INMUNOLOGÍA			
Anticuerpos			
IgM	0.91	mg/dL	0.8 - 1.8
IgY	3.12	mg/dL	4.0 - 8.0

 VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN	LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN Laguacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador	Código	197
		Versión	1
	INFORME DE RESULTADOS	Año	2025
		Página	1 de 1

Tratamiento T1, POLLO 2 INV-795

EXAMEN	RESULTADO	UNIDAD	V. REFERENCIA
HEMATOLOGÍA			
BIOMETRÍA HEMÁTICA			
Recuento de Glóbulos Rojos	2.97	10 ⁶ /μL	2.5 - 3.5
Hemoglobina	10.5	g/dL	7 - 13
Hematocrito	32.4	%	22 - 35
Volumen Corpuscular Medio	109.4	fL	90 - 140
Hemoglobina corpuscular Media	35.5	pg	33 - 47
MCHC	32.5	g/dL	26 - 35
Trombocitos	26.0	10 ⁹ /μL	20 - 30
Glóbulos Blancos	27.17	10 ⁹ /μL	12 - 30
Heterófilos (%)	48.7	%	30 - 60
Linfocitos (%)	40.9	%	20 - 50
Monocitos (%)	5.7	%	2 - 8
Eosinófilos (%)	4.0	%	1 - 4
Basófilos (%)	0.7	%	0 - 2

Tratamiento T1, POLLO 2 INV-799

EXAMEN	RESULTADO	UNIDAD	V. REFERENCIA
INMUNOLOGÍA			
Anticuerpos			
IgM	1.20	mg/dL	0.8 - 1.8
IgY	7.54	mg/dL	4.0 - 8.0

 VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN	LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN Laguacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador	Código	197
		Versión	1
	INFORME DE RESULTADOS	Año	2025
		Página	1 de 1

Tratamiento T2, POLLO 3 INV-796

EXAMEN	RESULTADO	UNIDAD	V. REFERENCIA
HEMATOLOGÍA			
BIOMETRÍA HEMÁTICA			
Recuento de Glóbulos Rojos	2.97	10 ⁶ /μL	2.5 - 3.5
Hemoglobina	10.6	g/dL	7 - 13
Hematocrito	32.6	%	22 - 35
Volumen Corpuscular Medio	110.0	fL	90 - 140
Hemoglobina corpuscular Media	35.7	pg	33 - 47
MCHC	32.5	g/dL	26 - 35
Trombocitos	27.0	10 ⁹ /μL	20 - 30
Glóbulos Blancos	17.48	10 ⁹ /μL	12 - 30
Heterófilos (%)	51.9	%	30 - 60
Linfocitos (%)	36.1	%	20 - 50
Monocitos (%)	6.8	%	2 - 8
Eosinófilos (%)	4.6	%	1 - 4
Basófilos (%)	0.6	%	0 - 2

Tratamiento T2, POLLO 3 INV-800

EXAMEN	RESULTADO	UNIDAD	V. REFERENCIA
INMUNOLOGÍA			
Anticuerpos			
IgM	0.99	mg/dL	0.8 - 1.8
IgY	5.10	mg/dL	4.0 - 8.0

UNIVERSIDAD DEL ECUADOR VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN	LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN Laguacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador	Código	197
		Versión	1
	INFORME DE RESULTADOS	Año	2025
		Página	1 de 1

Tratamiento T3, POLLO4 INV-797

EXAMEN	RESULTADO	UNIDAD	V. REFERENCIA
HEMATOLOGÍA			
BIOMETRÍA HEMÁTICA			
Recuento de Glóbulos Rojos	2.95	10 ⁶ /μL	2.5 - 3.5
Hemoglobina	10.8	g/dL	7 - 13
Hematocrito	33.3	%	22 - 35
Volumen Corpuscular Medio	112.9	fL	90 - 140
Hemoglobina corpuscular Media	36.7	pg	33 - 47
MCHC	32.5	g/dL	26 - 35
Trombocitos	26.0	10 ⁹ /μL	20 - 30
Glóbulos Blancos	23.82	10 ⁹ /μL	12 - 30
Heterófilos (%)	70.2	%	30 - 60
Linfocitos (%)	21.1	%	20 - 50
Monocitos (%)	4.7	%	2 - 8
Eosinófilos (%)	3.2	%	1 - 4
Basófilos (%)	0.8	%	0 - 2

Tratamiento T3, POLLO4 INV-801

EXAMEN	RESULTADO	UNIDAD	V. REFERENCIA
INMUNOLOGÍA			
Anticuerpos			
IgM	1.03	mg/dL	0.8 - 1.8
IgY	6.20	mg/dL	4.0 - 8.0

Lic. Derly Cristina Silva Quiroz
REALIZADO

Dr. Favián Bayas
REVISADO

Anexo 5 Fotografías



Preparación y desinfección del círculo para los pollitos



Preparación de la cama con panca de arroz



Desinfección de la panca de arroz



Aplicación de vitaminas+electrolitos previos a la llegada de los pollos



Dosificación de la alimentación desde el primer día de llegada de los pollos



Registro de peso Segunda semana



Aplicación de las vacunas



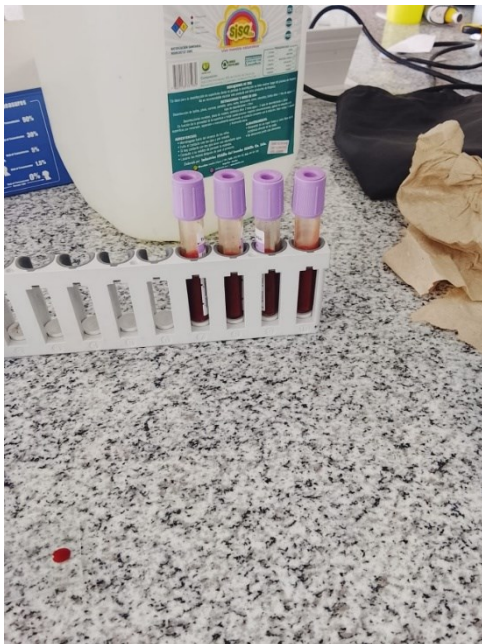
Colocación de la panca de arroz en los cubículos



Toma de muestra de sangre



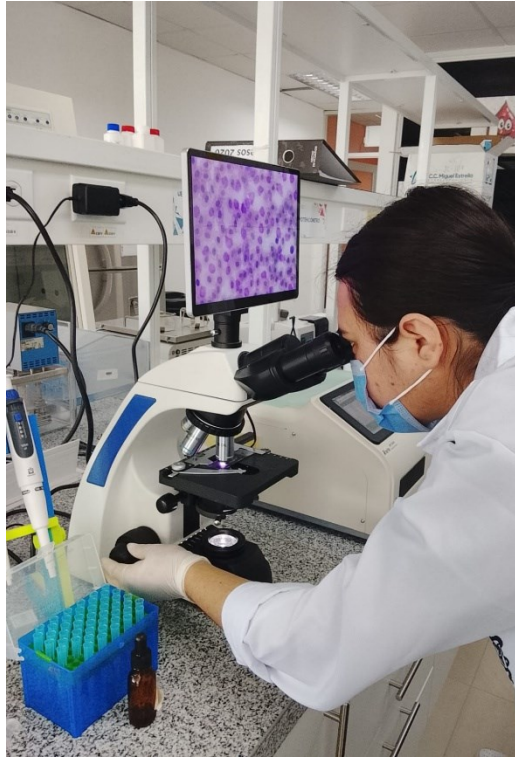
Toma de muestra de sangre



Muestras de sangre



Pruebas del laboratorio



Pruebas del laboratorio



Pruebas del laboratorio



Vista de campo

Anexo 6 *Glosario de términos*

Aditivo funcional: Sustancia natural o sintética que, incorporada en pequeñas cantidades a la dieta animal, cumple funciones adicionales a la nutrición básica, como mejorar la salud intestinal, modular el sistema inmunitario o aumentar la eficiencia productiva.

Fitobióticos: Sustancias bioactivas derivadas de plantas o sus subproductos, utilizadas como promotores naturales de la salud y el rendimiento animal, con propiedades antioxidantes, antimicrobianas e inmunomoduladoras.

GALT (Tejido Linfoide Asociado al Intestino): Conjunto de estructuras linfoides ubicadas en la mucosa intestinal, incluyendo placas de Peyer, linfocitos intraepiteliales y nódulos linfoides, responsables de la inmunidad de mucosas.

Histomorfometría intestinal: Técnica histológica que evalúa la estructura del intestino delgado a través de parámetros como altura de vellosidades, profundidad de criptas y relación vellosidad/cripta, indicadores de la capacidad absortiva del animal.

Índice beneficio/costo (B/C): Relación económica que compara el valor de los ingresos obtenidos frente a los costos de producción. Un valor mayor a 1 indica rentabilidad.

Licopeno: Carotenoide presente en el tomate, con potente acción antioxidante e inmunomoduladora, que contribuye a reducir el estrés oxidativo en aves.

Malondialdehído (MDA): Producto final de la peroxidación lipídica, utilizado como biomarcador de daño oxidativo a membranas celulares. Concentraciones elevadas indican estrés oxidativo.

Pomaza de tomate: Subproducto agroindustrial constituido por cáscara, semillas y residuos de pulpa del tomate, rico en licopeno, polifenoles y fibra dietética.

Relación heterófilo/linfocito (H/L): Indicador hematológico empleado en avicultura para evaluar niveles de estrés e inmunocompetencia en las aves.

Sulforafano: Isotiocianato presente en el brócoli que activa la vía antioxidante Nrf2 y ejerce efectos antiinflamatorios a nivel celular.

Anexo 7 *Listado de abreviaturas*

Sigla	Significado
IgG	Inmunoglobulina G: anticuerpo sérico asociado a la respuesta inmune humoral.
IgM	Inmunoglobulina M: anticuerpo primario en la respuesta inmune inicial.
IgA / sIgA	Inmunoglobulina A / inmunoglobulina A secretora: anticuerpo predominante en mucosas, clave en la defensa intestinal.
IL-1β	Interleucina 1 beta: citoquina proinflamatoria.
IL-6	Interleucina 6: citoquina involucrada en inflamación y respuesta inmune aguda.
TNF-α	Factor de necrosis tumoral alfa: citoquina proinflamatoria central en procesos infecciosos.
ROS	Especies reactivas de oxígeno: moléculas oxidantes generadas durante el metabolismo celular.
MDA	Malondialdehído: biomarcador de peroxidación lipídica y estrés oxidativo.
SOD	Superóxido dismutasa: enzima antioxidante que neutraliza radicales superóxido.
CAT	Catalasa: enzima antioxidante que convierte peróxido de hidrógeno en agua y oxígeno.

GPx	Glutación peroxidasa: enzima antioxidante que reduce peróxidos lipídicos y de hidrógeno.
H/L	Relación heterófilo/linfocito: indicador hematológico de estrés en aves.
DBCA	Diseño de Bloques Completamente al Azar: diseño estadístico experimental.
CA	Conversión alimenticia: relación entre alimento consumido y peso ganado.
B/C	Índice beneficio/costo: indicador económico de rentabilidad productiva.
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.