Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión

Facultad de Ingeniería Agraria, Industrias Alimentarias y Ambiental

Escuela Profesional de Ingeniería Zootécnica

Evaluación del efecto prebiótico del yacón (*Smallanthus sonchifolius*) sobre la integridad y microbiota intestinal en pollos de carne desafiados con *Clostridium perfringens*

Tesis

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Zootecnista

Autores

Walter Hugo Chumbes Medina

Elmer Salomon Sanchez Melgarejo

Asesor

Dr. Felix Esteban Airahuacho Bautista



Huacho – Perú

2026



Reconocimiento - No Comercial – Sin Derivadas - Sin restricciones adicionales

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/

Reconocimiento: Debe otorgar el crédito correspondiente, proporcionar un enlace a la licencia e indicar si se realizaron cambios. Puede hacerlo de cualquier manera razonable, pero no de ninguna manera que sugiera que el licenciante lo respalda a usted o su uso. **No Comercial:** No puede utilizar el material con fines comerciales. **Sin Derivadas:** Si remezcla, transforma o construye sobre el material, no puede distribuir el material modificado. **Sin restricciones adicionales:** No puede aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros de hacer cualquier cosa que permita la licencia.

UNIVERSIDAD NACIONAL
JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN

LICENCIADA

(Resolución de Consejo Directivo N° 012-2020-SUNEDU/CD de fecha 27/01/2020

Facultad de Ingeniería Agraria, Industrias Alimentarias y Ambiental
Escuela Profesional de Ingeniería Zootécnica

METADATOS

DATOS DEL AUTOR (ES):		
APELLIDOS Y NOMBRES	**DNI**	**FECHA DE SUSTENTACIÓN**
Chumbes Medina Walter Hugo	41359983	01/09/2026
Sanchez Melgarejo Elmer Salomon	72709209	01/09/2026
DATOS DEL ASESOR:		
APELLIDOS Y NOMBRES	**DNI**	**CÓDIGO ORCID**
Dr. Airahuacho Bautista Felix Esteban	40769786	https://orcid.org/0000-0001-7484-0449
DATOS DE LOS MIEMBROS DE JURADOS – PREGRADO/POSGRADO-MAESTRÍA-DOCTORADO:		
APELLIDOS Y NOMBRES	**DNI**	**CÓDIGO ORCID**
M(o). Pujada Abad Hilario Noberto	15603577	https://orcid.org/0000-0003-4939-6774
M(o) Rios Salazar Pedro Martin	15591709	https://orcid.org/0000-0002-4748-5557
Mg. Sc. Arbañil Huaman Oscar Enrique	06039757	https://orcid.org/0000-0003-2741-5938

002302Chumbes Medina Walter Hugo 002273Sanch...

Evaluación del efecto prebiótico del yacón (Smallanthus sonchifolius) sobre la integridad y microbiota intestinal en poll...

UI-FIAIAYA PREGRADO 2026

Unidad de Investigación FIAIAYA-2026

Facultad de Ingenieria Agrarias, Industrias Alimentarias y Ambiental

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::1:3569080007

Fecha de entrega
13 may 2026, 2:03 p.m. GMT-5

Fecha de descarga
13 may 2026, 3:23 p.m. GMT-5

Nombre del archivo
Borrador_CLOSTRIDIUM_Intestino2.pdf

Tamaño del archivo
1.3 MB

66 páginas

15.327 palabras

78.215 caracteres

19% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Exclusiones

- N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

19% Fuentes de Internet
4% Publicaciones
14% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

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

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

DEDICATORIA

Me gustaría dedicar esta tesis a mis padres, este logro es un testimonio de su inmenso amor y dedicación. Valoro mucho las lecciones de vida que me han impartido y por el cariño que siempre me han brindado. Mi gratitud hacia ustedes es imposible de expresar completamente. Esta tesis es un tributo a su legado y a la eterna admiración que siento por ustedes. Gracias por ser los mejores padres del mundo por su comprensión y ayuda en momentos buenos y malos. Me han enseñado a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi perseverancia y mi empeño, y todo ello con una gran dosis de amor y sin pedir nunca nada a cambio.

A Dios, mi roca eterna, por guiarme en cada paso de este viaje académico y darme la fuerza para perseverar. Gracias por ser mi fuente de fortaleza y entendimiento en este logro académico. A mi paciente asesor de tesis, tu orientación y apoyo han sido invaluables en el proceso de esta tesis; tu conocimiento, paciencia y compromiso han sido fundamentales para mi éxito académico.

AGRADECIMIENTO

Quiero iniciar dirigiendo unas palabras de agradecimiento a la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, quien me ha dado la oportunidad de conocer, explorar e incrementar mis conocimientos, competencias y herramientas para volverme un gran profesional, siempre teniendo como único rival a vencer una versión previa de mí.

De igual manera, valoro ampliamente el papel de mi asesor, quien me ha escuchado, aconsejado y guiado durante el proceso de investigación, lectura, análisis, opinión y escritura del presente trabajo. Este trabajo de tesis es resultado de largas horas de trabajo. No hubiera recorrido todo ese camino de no ser por la guía intelectual de mi tutor.

También debo extender mi reconocimiento y gratitud a la labor de mis docentes, quienes me han transmitido a lo largo de estos años múltiples conocimientos. En ellos he visto ejemplos de grandes profesionales de mi ramo enfocados a la enseñanza.

Agradezco a mis padres que son la primera fuente de mi recorrido profesional, agradezco su amor y apoyo incondicional, el trabajo que han hecho para ayudarme y protegerme a lo largo de los años. Mi título es antes que mío, de ustedes.

También aquí quiero mencionar a mis compañeros, cuyas aventuras estarán en mi mente para siempre.

Por último, quiero recordar este momento para siempre y saber que fui capaz de trabajar de manera activa para lograr mis sueños.

Índice

Dedicatoria V
Agradecimiento VI
Índice VII
Índice de tabla IX
Índice de figura IX
RESUMEN X
ABSTRACT XI
CAPITULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 14
1.1 Descripción de la realidad problemática. 14
1.2 Formulación del problema 14
1.2.1 Problema general 14
1.2.2 Problemas específicos 14
1.3 Objetivos de la investigación 15
1.3.1 Objetivo general 15
1.3.2 Objetivo especifico 15
1.4 Justificación de la investigación 16
1.5 Delimitación del estudio 16
CAPITULO II MARCO TEORICO 17
2.1 Antecedentes de la investigación 17
2.2 Bases teóricas 18
2.2.1 El prebiótico inulina 18
2.2.2 Efecto de la inulina sobre el intestino 20
2.2.3 Necrosis entérica 24
2.3 Definición de términos básicos 25
2.4 Hipótesis de la investigación 26
2.4.1 Hipótesis general 26
2.4.2 Hipótesis especificas 26
2.5 Operacionalización de las variables 27
CAPITULO III METODOLOGIA 28
3.1 Gestión del experimento 28
3.1.1 Ubicación 28
3.1.2 Caracteríticas del área experimental 28

3.1.3 Tratamientos 28
3.1.4 Diseño experimental 30
3.1.5 Variables evaluadas 31
3.1.6 Conducción del experimento 31
3.1.7 Técnicas para el procesamiento de la información 33
CAPITULO IV RESULTADOS 34
4.1 PH intestinal de pollos de carne 34
4.2 Largo de la vellosidad intestinal 34
4.3 Profundidad de cripta intestinal 35
4.4 Ancho de la vellosidad intestinal 36
4.5 Largo de vellosidad/profundidad de cripta intestinal 36
4.6 Recuento microbiano 37
CAPITULO V DISCUSIONES 38
CAPITULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 41
6.1 Conclusiones 41
6.2 Recomendaciones 41
CAPITULO VII REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 42
ANEXOS 51

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de las variables evaluadas 27

Tabla 2. Composición porcentual y nutricional de la dieta basal en las diferentes etapas de crecimiento…….. 30

Tabla 3. Efecto prebiótico del yacón sobre el pH intestinal de pollos de carne..... 34

Tabla 4. Efecto prebiótico del yacón sobre el largo de la vellosidad intestinal de pollos..... 35

Tabla 5. Efecto prebiótico del yacón sobre la profundidad de cripta intestinal de pollos…….. 35

Tabla 6. Efecto prebiótico del yacón sobre el ancho de la vellosidad intestinal de pollos ……...36

Tabla 7. Efecto prebiótico del yacón sobre la relación largo/profundidad de cripta intestinal.. ... 37

Tabla 8. Efecto prebiótico del yacón sobre el recuento microbiano..... 37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura química y modos de acción de las inulinasas sobre la inulina ……. 20
(Qiu et al., 2018)

Figura 2. Tipo de fibra dietaria según la unidad monomérica (Fu et al., 2022)……..... 21

Figura 3. Influencia del sustrato de fibra dietaria en el crecimiento bacteriano…… 23
(Cantu-Jungles y Hamaker, 2023)

Figura 4. Corrales experimentales de pollos de carne durante el ensayo..... 28

RESUMEN

Objetivo: Evaluar el efecto de la inclusión de niveles crecientes de yacón (*Smallanthus sonchifolius*) como aditivo dietario sobre la histomorfología y microbiota intestinal de pollos de carne desafiados con *Clostridium perfringens*. **Metodología**: Se emplearon pollos Cobb 500 (1 a 42 días), distribuidos en cinco tratamientos: Dieta basal sin antibiótico promotor de crecimiento (DB-T0), DB con APC (T1), y DB con 1%, 2% y 3% de yacón (T2, T3 y T4, respectivamente). A los 21 días, las aves fueron desafiadas oralmente con *C. perfringens*. Al día 42, se sacrificaron cinco aves por tratamiento para determinar el pH segmentario, el recuento de coliformes cecales y la morfometría intestinal (altura y ancho de vellosidad, y profundidad de cripta) en duodeno, yeyuno, íleon y ciego. **Resultados**: La inclusión de 1% de yacón redujo significativamente el pH en proventrículo, molleja, yeyuno y colon; mientras que el nivel de 2% logró el menor pH en duodeno y colon ($p < 0.05$). No se hallaron diferencias en las dimensiones individuales de las vellosidades ni en la profundidad de cripta ($p > 0.05$). No obstante, el APC incrementó la relación largo de vellosidad/profundidad de cripta (L/P) en el íleon ($p < 0.05$), mientras que, en el ciego, tanto el APC como todos los niveles de yacón mostraron una tendencia al incremento de dicha relación ($p < 0.10$). El análisis descriptivo reveló que el APC y los niveles de 2% y 3% de yacón redujeron la población de coliformes cecales en 78%, 73% y 80%, respectivamente, con ausencia total de Salmonella spp. en todos los grupos. **Conclusiones**: La suplementación con 2% de yacón optimiza el ambiente intestinal al reducir el pH en segmentos clave y disminuir la carga de coliformes. Asimismo, la tendencia al aumento de la relación L/P sugiere una adaptación funcional de la mucosa para mejorar la eficiencia digestiva frente a desafíos patógenos.

Palabras clave: Prebiótico, inulina, salud intestinal, coliformes cecales.

ABSTRACT

Objective: To evaluate the effect of including yacon (*Smallanthus sonchifolius*) as a dietary additive on the intestinal histomorphology and microbiota of broiler chickens challenged with *Clostridium perfringens*. **Methodology**: Cobb 500 broilers were raised from hatch to 42 days of age and assigned to five treatments: a basal diet without AGP (BD - T0), BD with AGP (T1), and BD supplemented with 1% (T2), 2% (T3), or 3% (T4) yacon. At 21 days of age, chickens were orally challenged with Clostridium perfringens. At 42 days, five birds per treatment were euthanized following a 2-hour fast. pH levels were measured across various digestive segments, and cecal content was collected for coliform counts. Additionally, duodenal, jejunal, ileal, and cecal tissue samples were analyzed to measure villus height (VH), villus width (VW), and crypt depth (CD). **Results**: The pH in the proventriculus, gizzard, jejunum, and colon were significantly lower in birds supplemented with 1% yacon. Birds supplemented with 2% yacon exhibited the lowest pH in the duodenum and colon ($p < 0.05$). No significant differences were observed for VH, CD, or VW ($p > 0.05$). However, the AGP treatment increased the VH:CD ratio in the ileum compared to the control and all yacon inclusion levels ($p < 0.05$). In the cecum, both AGP and all yacon levels showed a trend toward an increased VH:CD ratio ($p < 0.10$). Descriptively, AGP and yacon at 2% and 3% reduced cecal coliform populations by 78%, 73%, and 80%, respectively. Salmonella spp. was not detected in any treatment. **Conclusions**: The inclusion of 2% yacon reduces cecal coliform populations, which is likely associated with the decrease in duodenal and colonic pH that inhibits pathogen proliferation. Furthermore, the trend toward an increased VH:CD ratio suggests improved functional integrity of the intestinal mucosa for nutrient digestion and short-chain fatty acid release.

Keywords: Prebiotic, inulin, intestinal health, cecal coliforms.

INTRODUCCIÓN

Desde la década de 1940, el uso de antibióticos ha sido fundamental en la avicultura para fortalecer la inmunocompetencia y actuar como promotores de crecimiento (APC). No obstante, su inclusión sistemática en las dietas ha disminuido debido a que su empleo prolongado fomenta el desarrollo de bacterias farmacorresistentes (Sweeney et al., 2018). Esta resistencia representa un desafío crítico para la salud pública global, ya que los patógenos pueden transmitirse a los humanos mediante la cadena alimentaria o el entorno ambiental (Ma et al., 2021). Además, la restricción de los APC ha propiciado el resurgimiento de patologías como la enteritis necrótica, enfermedad causada principalmente por *Clostridium perfringens*, un bacilo anaerobio grampositivo que genera graves pérdidas económicas en la industria (Fathima et al., 2022).

Puesto que los beneficios de los antibióticos se asocian a su impacto sobre los microorganismos del tracto digestivo (Rahman et al., 2022), la microbiota se ha convertido en el eje para desarrollar alternativas sostenibles (Froebel et al., 2019). Aditivos como los prebióticos han surgido como sustitutos eficaces para mejorar el estado inmunitario y los parámetros productivos (Al-Khalaifah, 2018). La fibra dietaria, constituida por carbohidratos que escapan a la digestión enzimática en el tracto superior, es fundamental en este proceso. Al ser fermentada selectivamente en el colon y ciego, no solo mejora la capacidad digestiva, sino que es vital para el mantenimiento de la salud intestinal (Nyamagonda et al., 2011).

Los prebióticos sirven como sustrato específico para la proliferación de bacterias beneficiosas como *Lactobacillus* y *Bifidobacterium* (Rehman et al., 2020). Durante su fermentación, estos microorganismos producen ácidos grasos de cadena corta (AGCC) —acetato, propionato y butirato—, siendo este último la fuente de energía predilecta para los colonocitos. Estos metabolitos reducen el pH del lumen intestinal, lo cual inhibe el crecimiento de patógenos como *Escherichia coli*, *Salmonella* y *C. perfringens*, cuyo pH óptimo de desarrollo oscila entre 6.0 y 7.2. Asimismo, la microflora estimulada produce péptidos antimicrobianos, como bacteriocinas y reuterina, que protegen activamente la mucosa contra colonizaciones patógenas (Alavi et al., 2012).

Frecuentemente, los carbohidratos no digeribles con potencial prebiótico se clasifican como polisacáridos no amiláceos, destacando entre ellos los fructooligosacáridos (FOS) y la

inulina (Lu et al., 2022). Químicamente, la inulina es un fructano compuesto por unidades de fructosa unidas por enlaces β-(2→1), los cuales impiden su hidrólisis por enzimas digestivas típicas. Su funcionalidad prebiótica depende directamente de su estructura y grado de polimerización, factores que determinan la velocidad de su degradación microbiana. El yacón (*Smallanthus sonchifolius*), raíz tuberosa de origen andino, se distingue por ser una fuente natural excepcional de estos compuestos (Delgado et al., 2013), posicionándose como una alternativa idónea para modular la histomorfología y el ecosistema intestinal en pollos desafiados con clostridios.

CAPITULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

En el intestino, la capa mucosa rica en glicoproteínas que recubre el epitelio intestinal es la primera línea de defensa contra microbios comensales y patógenos (Pelaseyed et al., 2014). Si esta capa mucosa se pierde o se vuelve permeable a las bacterias, y un gran número de ellas alcanzará las células epiteliales, desencadenará la inflamación (Zhang, 2022). Según Ma y Lee (2025), una microbiota intestinal sana es esencial para mantener la homeostasis metabólica, inmunitaria y gastrointestinal, contribuyendo al bienestar general. La inulina, presente en el yacón, es un tipo de carbohidrato de reserva formado por más de 10 unidades de fructosa, y según el grado de polimerización, será sustrato fermentable para bacterias específicas como lactobacilos y bifidobacterias. Estas bacterias tienen un efecto benéfico para el huésped, al generar ácidos grasos de cadena corta, principalmente butirato, que es la principal fuente de energía para la células de las vellosidades intestinales. Unas vellosidades intestinales más saludables sugieren una mayor absorción de nutrientes, y por tanto un mejor rendimiento del organismo animal. Además, la liberación de ácidos grasos de cadena corta a partir de la inulina disminuye el pH intestinal, un medio inadecuado para la proliferación de bacterias patógenas.

1.2. Formulación del problema

De acuerdo con la realidad problemática descrita, el presente proyecto de investigación plantea la siguiente interrogante:

1.2.1. Problema general

¿Cuál es el efecto de la inclusión del yacón (*Smallanthus sonchifolius*) como aditivo dietario sobre la histomorfología y microbiota intestinal de pollos de carne desafiados con *Clostridium perfringens*?

1.2.2. Problemas específicos

¿De qué manera la inclusión de niveles crecientes de yacón en la dieta influye sobre el perfil de pH segmentario intestinal en pollos de carne desafiados con clostridios?

¿Cuál es el efecto de la inclusión del yacón sobre la morfometría de las vellosidades (largo y ancho) en el duodeno, yeyuno, íleon y ciego de pollos de carne bajo desafío bacteriano?

¿Cómo influye la suplementación con yacón sobre la profundidad de cripta en los diferentes segmentos del tracto intestinal de pollos de carne desafiados con clostridios?

¿En qué medida la inclusión del yacón afecta la relación largo de vellosidad/profundidad de cripta (L/P) en el duodeno, yeyuno, íleon y ciego de aves desafiadas?

¿Cuál es el impacto de la inclusión del yacón sobre la población de coliformes cecales y la presencia de Salmonella spp. en pollos de carne desafiados con clostridios?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de la inclusión del yacón (*Smallanthus sonchifolius*) como aditivo dietario sobre la histomorfología y microbiota intestinal de pollos de carne desafiados con *Clostridium perfringens*.

1.3.2. Objetivos específicos

Determinar el efecto de la inclusión del yacón como aditivo dietario sobre el pH de los diferentes segmentos intestinales de pollos de carne desafiados con clostridios.

Cuantificar el impacto de la suplementación con yacón sobre el desarrollo morfométrico (largo y ancho) de las vellosidades en duodeno, yeyuno, íleon y ciego de aves desafiadas.

Estimar el efecto de la inclusión del yacón sobre la profundidad de cripta en los diversos segmentos del tracto digestivo de pollos de carne bajo desafío bacteriano.

Analizar la influencia de la inclusión del yacón sobre la relación L/P en el duodeno, yeyuno, íleon y ciego de pollos de carne desafiados con clostridios.

Evaluar la eficacia del yacón sobre el recuento de coliformes cecales y la incidencia de Salmonella spp. en pollos de carne desafiados con clostridios.

1.4. Justificación de la investigación

Justificación social: En la actualidad, la industria avícola enfrenta la necesidad urgente de eliminar los antibióticos promotores de crecimiento (APC) de las dietas. Su uso prolongado en dosis subterapéuticas ha provocado una crisis de resistencia antimicrobiana que afecta tanto a la sanidad animal como a la salud pública global. Debido a que los seres humanos pueden adquirir estas bacterias resistentes a través de la cadena alimentaria o el medio ambiente contaminado, existe una demanda social por alimentos seguros y libres de fármacos que no comprometan el éxito de las terapias clínicas en medicina humana.

Justificación teórica: Se proponen alternativas a los APC basadas en carbohidratos no digeribles, como la inulina, un fructano con enlaces β-(2→1) que resiste la digestión enzimática en el tracto superior y es fermentado selectivamente en el colon. Este proceso estimula el crecimiento de bacterias beneficiosas como *Bifidobacterium* y *Lactobacillus*, las cuales producen ácidos grasos de cadena corta (AGCC) que reducen el pH luminal e inhiben patógenos como *E. coli*, *Salmonella* y *C. perfringens*. Dicha modulación preserva la integridad de las vellosidades intestinales al proporcionar energía a los colonocitos, optimizando así el rendimiento productivo de las aves (Rebolé et al., 2010; Nabizadeh, 2012).

Justificación practica: La presente investigación busca determinar el efecto prebiótico del yacón sobre la salud intestinal de pollos de carne desafiados con clostridios, a través de la medición del pH y la histomorfología de las vellosidades del duodeno, yeyuno, íleon y ciego; así como sobre la población de coliformes y la presencia de salmonela en el ciego.

1.5. Delimitación del estudio

El experimento fue realizado en el taller de tecnología de aves del Departamento de Ingeniería Zootécnica, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, utilizando pollos de carne beneficiados a los 42 días de edad. La investigación fue realizada entre los meses de junio y agosto del 2024. Los análisis de histomorfología intestinal fueron realizados en el laboratorio de Histología, Embriología y Patología Animal, de la Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

CAPITULO II. MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Xia et al. (2019) evaluaron el impacto de la inclusión de inulina (1, 2 y 4%) sobre la dinámica y composición de la microbiota cecal en pollos de engorde. Se observó que, si bien la suplementación redujo inicialmente las poblaciones de *Lactobacillus johnsonii* y *Bifidobacterium*, estas aumentaron de forma significativa en etapas posteriores del crecimiento. Dicho incremento en la abundancia de taxones beneficiosos presentó una correlación positiva con la ganancia de peso vivo a partir del día 21, sugiriendo que la modulación de la microflora cecal mediante este fructano favorece los parámetros productivos.

Li et al. (2019) evaluaron el suministro de inulina y salvado de trigo, tanto de forma individual como combinada, bajo dos esquemas temporales: durante todo el ciclo productivo (40 d) o restringido a la fase de inicio (11 d). El estudio tuvo como objetivo determinar el impacto de estos ingredientes en la etapa de finalización y evaluar si su inclusión temprana generaba un efecto persistente en las aves. Los resultados indicaron que la suplementación con inulina incrementó la proporción molar de butirato en el ciego, aunque se observó una reducción en la abundancia relativa de *Lactobacillus*. Curiosamente, la proporción molar de propionato cecal fue superior en el grupo que recibió inulina solo durante la fase inicial (0 a 12 d) en comparación con el grupo de suministro continuo. Finalmente, los tratamientos con inulina favorecieron el peso corporal hasta el día 21, a pesar de registrar una menor abundancia relativa de *Bifidobacterium*.

Song et al. (2018) evaluaron el impacto de la suplementación con inulina (0.25, 0.5, 1.0 y 2.0%) sobre la morfología de la mucosa y la respuesta inmunitaria en pollos libres de patógenos específicos (SPF). Los resultados indicaron que, al día 21, la inclusión de este prebiótico incrementó las concentraciones de acetato y propionato tanto en el contenido cecal como en el suero. Aunque el butirato no fue detectable en la digesta cecal, sus niveles séricos mostraron un aumento significativo en los grupos suplementados con 1 y 2% de inulina respecto al control. En cuanto a la histomorfometría intestinal, las aves tratadas presentaron una mayor altura de vellosidad y una menor profundidad de cripta en el duodeno e íleon, sugiriendo una mejora en el área de absorción y en el recambio celular de la mucosa.

Froebel et al. (2019) evaluaron los efectos de los carbohidratos funcionales refinados (RFC) prebióticos derivados de *Saccharomyces* con cultivo de levadura sobre el rendimiento del crecimiento y la microbiota gastrointestinal cuando se administran en el alimento y a través del agua de bebida a pollos de carne. A los pollos de carne se les administraron 2 dosis de prebiótico en el pienso durante 42 días de producción y agua tratada con prebiótico en las últimas 72 h. La administración de prebiótico RFC mejoró la ganancia de peso diario y redujo los recuentos de *Campylobacter* en el ciego, mientras que la dosis alta también aumentó el peso corporal final. Aunque los efectos no fueron significativos, la prevalencia de *Campylobacter* en el ciego tras la retirada del alimento fue un 17% menor cuando se administró a los pollos de carne la dosis alta de prebiótico, y la recuperación de Campylobacter de la yacija fue hasta un 50% menor cuando se administró a los pollos de carne RFC prebiótico.

Al-Khalaifa et al. (2019) evaluaron el impacto de diversos probióticos y prebióticos sobre los parámetros productivos y la salud intestinal en pollos de engorde, bajo un diseño que consideró dos ciclos estacionales (invierno y verano). Los prebióticos evaluados consistieron en fructooligosacáridos (FOS) y mananooligosacáridos (MOS) derivados de *Saccharomyces cerevisiae*, ambos en dosis de 5 g/kg. Los resultados indicaron que la suplementación no alteró significativamente el rendimiento productivo. Sin embargo, en el primer ciclo, las aves alimentadas con FOS y MOS mostraron una respuesta inmunitaria celular superior mediante la prueba de fitohemaglutinina y un perfil microbiológico optimizado a las 5 semanas de edad, caracterizado por la ausencia de *Salmonella* spp. y una reducción drástica de *Escherichia coli*. En el segundo ciclo, aunque no se observaron cambios en los recuentos de bacterias lácticas o *E. coli* a las 3 semanas, a las 5 semanas se registró una inhibición de *Salmonella* a pesar de un incremento en la población de *E. coli* respecto al control. Cabe destacar que todos los tratamientos indujeron una acidificación del pH intestinal, creando un ambiente luminal más hostil para patógenos.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. El prebiótico inulina

La inulina está presente en más de 30000 productos vegetales, encontrándose en altas cantidades en los tubérculos de la alcachofa (*Helianthus tuberosus*), achicoria (*Cichorium intybus*), dalia (*Dahlia pinnata*) y el yacón (*Smallanthus sonchifolius*) (de Oliveira et al., 2011). La inulina es un polisacárido que actúa como carbohidrato de reserva en decenas de

miles de plantas, que, a diferencia del almidón, que es el polímero de reserva de glucosa más abundante, la inulina contiene principalmente fructosa como unidad monomérica y un punto final de glucosa (Teferra, 2021).

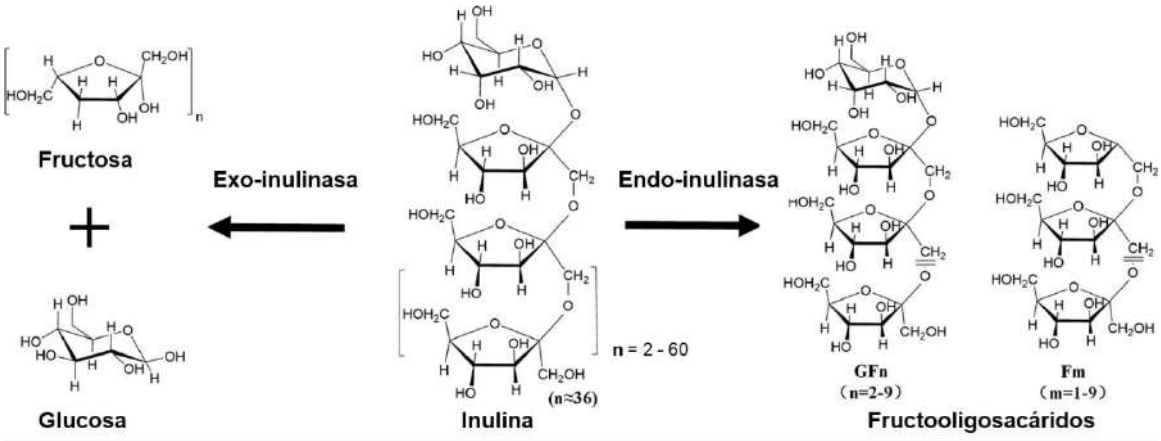
Los fructanos tipo inulina cumplen funciones fundamentales en la osmorregulación de las plantas, protegiendo contra la deshidratación inducida por la sequía o la congelación y estando involucrados en la tolerancia al estrés abiótico (Livingston et al., 2006). Según Apolinario et al. (2014), los fructanos tipo inulina desempeñan un papel importante en el control de calidad de las frutas, ya que varias vías que vinculan la síntesis y la degradación de estas reservas de carbohidratos se encuentran en equilibrio dinámico y determinan la calidad de la fruta durante el almacenamiento. Estos autores mencionan que los fructanos de tipo inulina son polímeros de fructosa que tienen mayor o exclusivamente enlaces β-(2→1) fructosil-fructosa. Aunque estos tipos de fructanos son moléculas esencialmente lineales, puede ocurrir un bajo grado de ramificación a través de enlaces β-(2→6) en el caso de las inulinas. La inulina es una cadena lineal constituida por un numero variable de unidades de fructosa unidas por enlaces β-(2→1) d-fructosil-fructosa, que suele terminar con una sola unidad de glucosa unida mediante un enlace α-d-glucopiranosilo o α-(1→2), similar a lo observado en la sacarosa (De Bruyn et al., 1992). Los enlaces β-(2→1) de la inulina impiden que sea digerida como un carbohidrato típico y son responsables de su bajo valor calórico, actuando como una fibra dietética (Roberfroid & Slavin, 2000).

El grado de polimerización de la inulina depende de muchos factores, como el origen de la planta, el clima y las condiciones de cultivo, la madurez de la cosecha y el tiempo de almacenamiento posterior a la cosecha (Chi et al., 2011). Las propiedades fisicoquímicas y funcionales de la inulina están relacionadas con el grado de polimerización, así como con la presencia de ramificaciones. La inulina puede ser hidrolizada activamente por inulinasas microbianas para producir fructosa, glucosa e inulooligosacáridos (IOS) (Chi et al., 2011). La fructosa y la glucosa formadas pueden ser transformadas posteriormente en etanol, proteína unicelular, aceite unicelular y otros productos útiles por diferentes microorganismos (Chi et al., 2011).

El grado de polimerización influye sobre su actividad prebiótica. La fórmula general de los fructanos es GFn, donde G representa las unidades de glucosa, F representa las unidades de fructosa y n se refiere al número de fructosas unidas para formar la cadena completa de carbohidratos (Lopes et al., 2015). Basándose en la hidrólisis diferencial de los enlaces

glucosídicos, la inulinasa se puede dividir en exoinulinasas o endoinulinasas. La exoinulinasa funciona eliminando fructosa individual del extremo no reductor de la inulina, mientras que la endoinulinasa puede romper aleatoriamente los enlaces glucosídicos β-2,1 de la inulina y puede utilizarse para producir inulotriosas (F3), inulotetraosas (F4) y otras inulooligosacaridos que pueden designarse como GFn, donde G y F representan glucosa y fructosa, respectivamente (Fig. 1).

Figura 1: Estructura química y dos modos de acción de las inulinasas sobre la inulina (según Qiu et al., 2018).



Según el grado de polimerización, los fructanos de tipo inulina se pueden dividir en fructooligosacáridos de cadena corta conocidos como oligofructosa (n = 1-8), mientras que los de cadena media se conocen como inulina (n = 10-13 en promedio y 63 en máximo) (Morris y Morris, 2012).

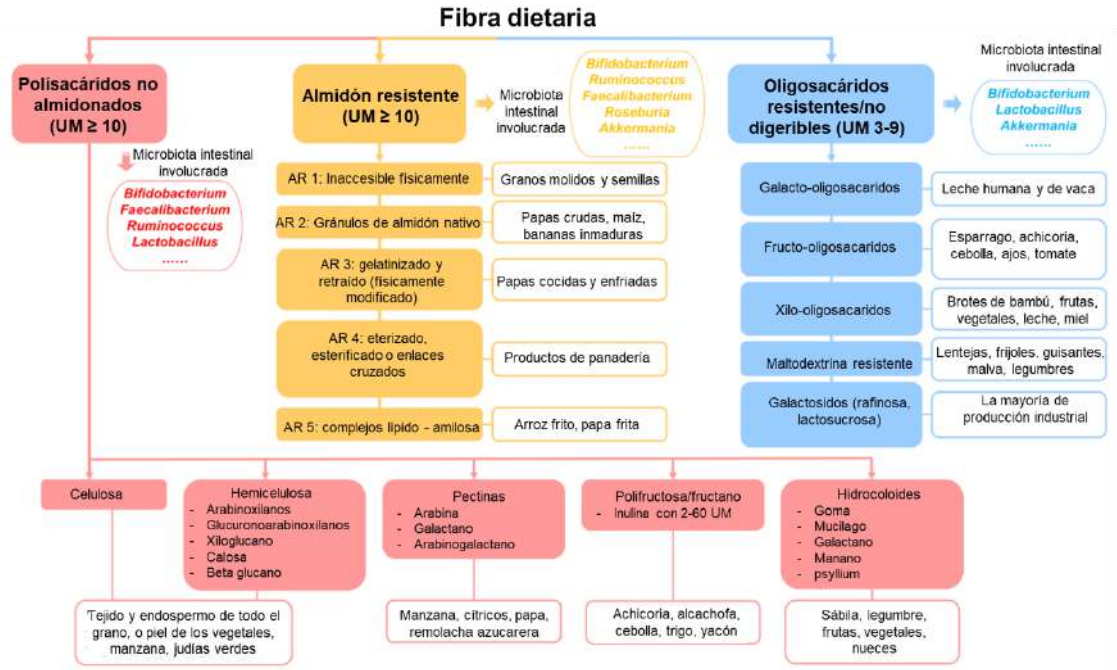
2.2.2. Efecto de la inulina sobre el intestino

La fibra dietaria se refiere a la fracción de los carbohidratos que no se digieren completamente y que, aunque no es un nutriente esencial, desempeña un papel importante en la mejora de la capacidad digestiva y el mantenimiento de la salud intestinal (Sheng et al., 2023).

La fibra dietaria puede obtenerse de las dietas como polímeros de carbohidratos comestibles que ocurren naturalmente en los alimentos, o polímeros de carbohidratos extraídos de la materia prima alimentaria por medios físicos, enzimáticos o químicos, o polímeros de carbohidratos sintéticos (Fu et al., 2022). Según sus propiedades fisiológicas de su

polimerización de unidades monoméricas (UM) la fibra dietaria puede clasificarse como: 1) polisacáridos no amiláceos (UM ≥ 10); 2) almidones resistentes (MU ≥ 10) y 3) oligosacáridos resistentes/no digeribles (MU: 3-9) (Fu et al., 2022). Los polisacáridos no almidonados incluyen principalmente celulosa, hemicelulosa, pectinas, inulina y varios hidrocoloides (Kumar et al., 2012). La inulina es un fructano que contiene de 2 a 60 unidades de fructosa. Cuando su UM es <10, también se reconoce como fructooligosacáridos (Figura 2; Fu et al., 2022).

Figura 2. Tipo de fibra dietaria. UM: unidad de monosacáridos (Fu et al., 2022).



Los mecanismos de acción de la inulina de forma directa e indirecta son resumidos por Teferra (2021):

> De forma directa, la inulina 1) reduce la ingesta calórica en humanos, debido a que la inulina no es digerible por las enzimas digestivas intestinales y, por tanto, no son absorbidas, 2) estimula el sistema inmunológico contra infecciones que causan diarrea, 3) mejora la absorción de nutrientes (minerales) por el organismo y modula los niveles de lípidos plasmáticos, 4) tiene efectos antioxidantes y antiinflamatorios que protegen los tejidos del colon contra la carcinogénesis. De forma indirecta, la inulina 1) estimula selectivamente el crecimiento y la acción de microorganismos beneficiosos para la salud del colon, a la vez que se inhiben los grupos patógenos, 2) los microorganismos

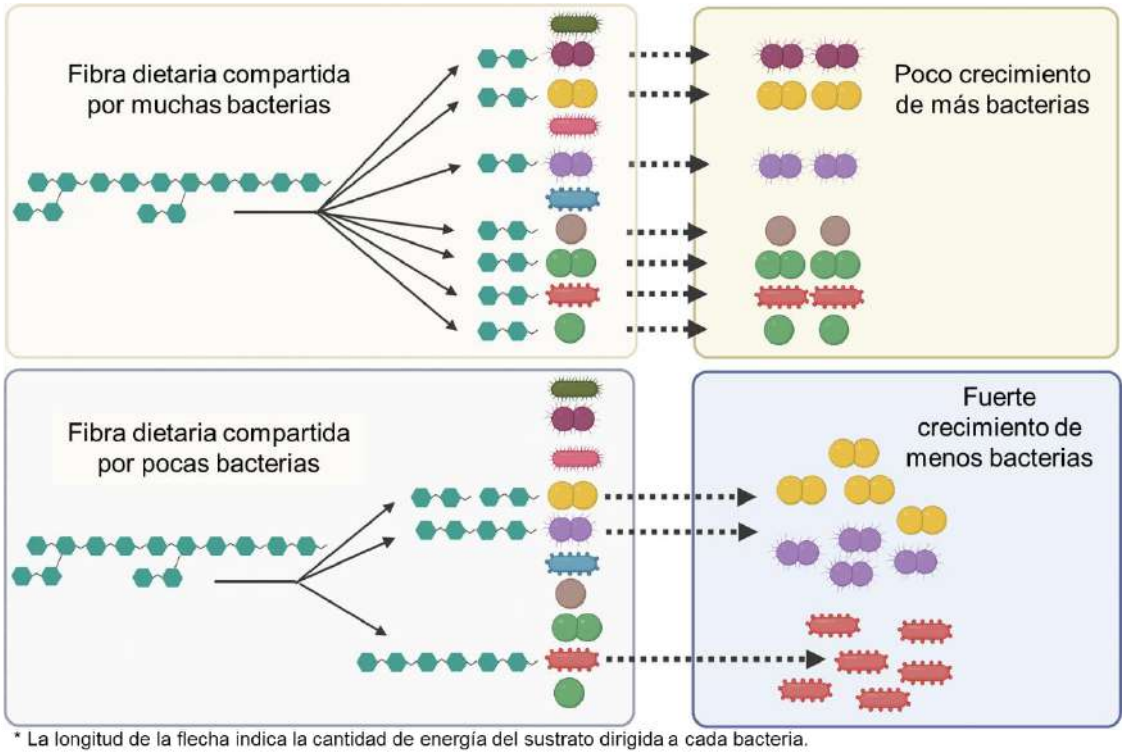
> beneficiosos para la salud producen AGCC que inhiben la tumorigénesis de las células del colon al producir proteínas de superficie que recubren y protegen la mucosa del colon contra el ataque de patógenos o sus excrementos tóxicos, 4) los ácidos láctico y acético, así como los AGCC producidos por las bacterias beneficiosas para la salud, reducen el pH y esto inhibe el crecimiento de posibles bacterias enteropatógenas, lo que conduce a una reducción de la carcinogénesis, 5) producen proteínas o péptidos antimicrobianos directos por grupos beneficiosos (por ejemplo, por bacterias del ácido láctico: lantibióticos, bactriocinas, bacteriolisinas, reuterina), que inhiben directamente a los patógenos. (p.413).

Las fibras con bajo grado de polimerización tienen mayor probabilidad de estar expuestas a las enzimas microbianas y por tanto degradarse en el intestino mientras que las fibras solubles y viscosas, con una alta capacidad de retención de agua y formación de heces y, presentan limitada exposición a los microorganismo por lo que se resisten a la fermentación (Gill et al., 2021). En el intestino existe una actividad sinérgica de microorganismos que comparten la fibra dietaria, donde, los productos de degradación de los polisacáridos parcialmente hidrolizados por los degradadores primarios pueden usarse como sustratos para los degradadores secundarios (Fu et al., 2022). Por ejemplo, los fructanos tipo inulina son hidrolizados extracelularmente por bifidobacterias en el colon humano, liberando monosacáridos y/u oligosacáridos accesibles a los productores de butirato, los degradadores secundarios (Turroni et al., 2018). De la fermentación bacterial de los polisacáridos se generan múltiples metabolitos, incluyendo gases (p. ej., H_2, CH_2, CO_2), lactato, succinato y AGCC (Morrison y Preston, 2016). Los AGCC más abundantes son el acetato, el propionato y el butirato, pudiendo ser utilizados como fuente de energía de las células de la mucosa intestinal, aunque el butirato es el sustrato energético preferido de los colonocitos (Zeng et al., 2019).

Las fibras dietarías escapan a la digestión en el tracto gastrointestinal superior y son fermentadas por bacterias en el colon (Fu et al., 2022). Las fibras de un bajo grado de polimerización serán fermentadas rápidamente en el intestino generando moléculas pequeñas de fácil acceso a las enzimas microbianas; mientras que las fibras solubles y viscosas, tienen alta capacidad de retención de agua y formación de heces y, limitando la actividad microbial, y por tanto son resistentes a la fermentación (Gill et al., 2021).

La fibra dietaria constituye la principal fuente de energía para el crecimiento bacteriano intestinal, sin embargo, sus características fisicoquímicas determinaran la capacidad de las bacterias intestinales para degradarla y utilizarla, promoviendo marcadas diferencias en los resultados de la microbiota intestinal (Tuncil et al., 2020). Según Cantu-Jungles y Hamaker (2023), algunas fibras dietarías de ccaracterísticas químicas y físicas complejas las hacen altamente específicas y utilizadas solo por un grupo reducido de taxones bacterianos en el intestino (fibras dietéticas de alta especificidad), mientras que otras fibras dietarías pueden ser utilizadas por diversos microbios intestinales (fibras dietéticas de baja especificidad), que luego compartirán y/o competirán por dichas fibras al llegar al intestino grueso. La capacidad de más de una o muchas bacterias para utilizar un solo tipo de fibra determinará cuántas bacterias se beneficiarán de una fibra dietaria fermentable y cuánto se beneficiará cada bacteria (Cantu-Jungles et al., 2021). Cuando una fibra dietaria es utilizada por múltiples taxones bacterianos menos energía será asignada al crecimiento de cada bacteria individual, comparado con una fibra que es utilizada por un número limitado de bacterias, lo que resulta en un mayor impacto en su crecimiento (Figura 3; Cantu-Jungles y Hamaker, 2023).

Figura 3. Influencia del sustrato de fibra dietaria en el crecimiento bacteriano (según Cantu-Jungles y Hamaker, 2023).



2.2.3. Necrosis entérica

Las restricciones al uso de dosis subterapéuticas de antibióticos como promotores de crecimiento (APC) en la industria avícola han provocado la reaparición de enfermedades entéricas como la enteritis necrótica, una enfermedad compleja y multifactorial (Fathima et al., 2022). Por ejemplo, en el Reino Unido, Hughes et al. (2008), observaron un aumento significativo de la incidencia de enfermedades entéricas y respiratorias, y concretamente la incidencia de la enteritis necrótica, coccidiosis, cama húmeda y enfermedades respiratorias.

La enteritis necrótica es la enfermedad más devastadora desde el punto de vista económico en pollos de carne (Lu et al., 2021). La *C. perfringens* es su principal agente etiológico, una bacteria anaerobia grampositiva y formadora de esporas que induce infecciones histotóxicas con diversos síntomas clínicos que varían en gravedad desde diarrea hasta enteritis o enterotoxemia (Uzal et al., 2014). Una de las principales causas de enfermedades diarreicas y trasmitidas por alimentos es la *C. perfringens*, reportándose aproximadamente un millón de casos de infección anuales en los Estados Unidos (Lu et al., 2021).

Los factores predisponentes para la proliferación y colonización de *C. perfringens* en pollos son la coccidiosis, estrés por frio o calor, alimento contaminado, pobre ventilación, alta densidad de crianza, etc. (Fathima et al., 2022). Estos factores predisponentes pueden (1) dañar el epitelio intestinal, (2) aumentar la secreción de moco, (3) alterar la composición de la microbiota intestinal, (4) cambiar los tiempos de tránsito intestinal y (5) alterar el estado inmunitario del huésped. Todos estos cambios físicos del intestino provocan una sobreproliferación de *C. perfringens*, precipitando la necrosis entérica (Moore, 2016).

Stanley et al. (2014) al investigar más a fondo el impacto de la harina de pescado y Eimera en la microflora cecal y los cambios de los AGCC en aves desafiadas y no desafiadas con *C. perfringens* patógeno, reportan lo siguiente:

> El desafío con *C. perfringens* en ausencia de factores predisponentes no causó cambios significativos ni en la diversidad alfa ni beta de la microbiota ni en las concentraciones de AGCC. Además, no se detectó *C. perfringens* en la microbiota cecal 2 días después del desafío sin la presencia de factores predisponentes. Por el contrario, tanto la harina de pescado como Eimeria causaron cambios significativos en la microbiota, y también permitieron que *C. perfringens* se estableciera después del desafío. Eimeria tuvo su

mayor influencia en la microbiota intestinal y los AGCC cuando se combinó con harina de pescado. De los 6 AGCC medidos, incluido el ácido butírico, ninguno fue significativamente influenciado por *C. perfringens*, pero sus niveles se modificaron fuertemente después del uso de ambos factores predisponentes.

El pH óptimo para el crecimiento de *C. perfringens* se encuentra entre 6.0 y 7.2. Sin embargo, *C. perfringens* también puede crecer en un amplio rango de pH, que varía entre 5.0 y 9,0 (Fathima et al., 2022).

2.3. Definición de términos básicos

Fructooligosacáridos**:** Los fructanos de cadena corta tipo inulina se denominan fructooligosacáridos y se consideran prebióticos beneficiosos para la salud del huésped (Ramos et al., 2019).

Promotor de crecimiento: Son sustancias añadidas a la dieta animal en dosis preventivas para mejorar la eficiencia de conversión alimenticia, la ganancia diaria de peso, la calidad de la canal y la producción láctea (Sweeney et al., 2018).

Resistencia antimicrobiana: Se produce cuando bacterias, virus, hongos y parásitos cambian o se adaptan a lo largo del tiempo y dejan de ser susceptibles a los antibióticos, lo que dificulta el tratamiento de infecciones y aumenta el riesgo de propagación de enfermedades y el incremento de la mortalidad (Salam et al., 2023).

Salud pública: Se entiende el cuidado y la promoción de la salud aplicados a toda la población o a un grupo preciso de la población (Salam et al., 2023).

Raíz tuberosa: Es un órgano subterráneo de acumulación de nutrientes (órgano de reserva), tal como lo son los rizomas, cormos, bulbos y tubérculos (Delgado et al., 2013).

Bacteria anaeróbica: Microorganismos capaces de sobrevivir y multiplicarse en ambientes que no tienen oxígeno.

Microbiota: Conjunto de microorganismos que habitan en el organismo en simbiosis, cumpliendo funciones vitales para el mantenimiento de la salud (Ma y Lee, 2025).

Lactobacilos: Bacteria que elabora ácido láctico, una sustancia compuesta de azúcares que se encuentran en la leche y que también elabora el cuerpo (Tardiolo et al., 2025).

Bifidobacterias: Bacteria reconocida como benéfica, que vive en los intestinos y produce ácido láctico y acético (Tardiolo et al., 2025).

Morfología: Parte de la biología que trata de la forma de los seres orgánicos y de las modificaciones o transformaciones que experimenta.

2.4. Hipótesis de investigación

2.4.1. Hipótesis general

La inclusión de niveles crecientes de yacón (*Smallanthus sonchifolius*) como aditivo dietario modula positivamente la histomorfología y la microbiota intestinal en pollos de carne desafiados con *Clostridium perfringens*, mejorando el ambiente luminal y la integridad de la mucosa.

2.4.2. Hipótesis especificas

La suplementación con yacón como aditivo dietario reduce el pH intestinal en los diferentes segmentos del tracto digestivo, debido a la producción de AGCC resultantes de su fermentación.

La inclusión del yacón en la dieta incrementa el largo y el ancho de las vellosidades en el duodeno, yeyuno, íleon y ciego, favoreciendo una mayor superficie de absorción de nutrientes en aves bajo desafío bacteriano.

La adición de yacón disminuye la profundidad de la cripta en los diversos segmentos intestinales, lo cual indica un menor recambio celular y un ahorro energético para la mucosa intestinal.

La inclusión del yacón optimiza la relación L/P en el tracto gastrointestinal, reflejando una mejor madurez funcional y salud de la mucosa frente al desafío con clostridios.

La suplementación con yacón disminuye el recuento de coliformes cecales e inhibe la presencia de Salmonella spp., posiblemente por el mecanismo de exclusión competitiva y la acidificación del entorno cecal.

2.5. Operacionalización de las variables

Tabla 1

Operacionalización de las variables

	Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicador
Independiente (X)	***Yacón***	Tendría actividad prebiótica	Aditivo	1% yacón 2% yacón 3% yacón
Dependiente (Y)	***pH***	Sería modificado según el tipo de dieta consumida	Proventrículo Molleja Duodeno Yeyuno Íleon Ciego Colon	Acidez, alcalinidad y neutro (Escala de 0 a 14)
	Histomorfología intestinal	Modificaciones en la morfología intestinal	Duodeno Yeyuno Íleon Ciego	Largo de vellosidad Ancho de vellosidad Profundidad de cripta Relación L/P
	Recuento microbial	La dieta modificaría el recuento de bacterias coliformes y la presencia de salmonella	Ciego	UFC/g. de muestra

CAPITULO III. METODOLOGIA

3.1. Gestión del experimento

3.1.1. Ubicación

La fase experimental se llevó a cabo en el Taller de Tecnología de Aves del Departamento de Ingeniería Zootécnica de la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión. La investigación tuvo una duración de 42 días, desarrollándose entre los meses de junio y julio de 2024.

3.1.2. Características del área experimental

Las aves fueron alojadas en un galpón experimental con piso de concreto y cerramiento lateral mediante malla metálica, diseñado para garantizar una ventilación adecuada. Para la etapa de inicio (0 a 12 días) y la primera fase de crecimiento (13 a 21 días), se implementaron círculos de crianza de material *nordex* con un radio de 1.0 m, proporcionando un área total de 3.15 m². Cada unidad de crianza fue subdividida en ocho secciones de iguales dimensiones, alojando seis aves por sección hasta los 21 días de edad.

A partir del día 22 y hasta el día 39 de edad, los pollos fueron trasladados a corrales experimentales individuales de 1.0 m², construidos con listones de madera y malla de nylon. El diseño experimental garantizó condiciones uniformes mediante la asignación aleatoria de seis aves por corral. Cada unidad estuvo equipada con un sistema de hidratación mediante bebedero de goteo y un comedero lineal, siguiendo estrictamente las especificaciones técnicas de manejo de la línea Cobb (2022).

3.1.3. Tratamientos

Los pollos para evaluar procederán de una alimentación con las siguientes dietas experimentales:

T_0: Dieta basal sin APC (DB).

T_1: DB con APC.

T_2: DB con 1% yacón.

T_3: DB con 2% yacón.

T_4: DB con 3% inulina yacón.

Se formuló una dieta basal en base a maíz y harina de soya, complementada con aceite, aminoácidos esenciales y suplementos minerales. La dieta T_1 fue suplementada con 0.05 % de zinc bacitracina 10 %. Con la finalidad de mantener la concentración de nutrientes constantes, todas las dietas fueron elaboradas al 98 %, añadiéndose adicionalmente 1.0, 2.0, y 3.0 kg de yacón a las dietas de los tratamientos T_2, T_3 y T_4, respectivamente. La tabla 2 muestra las dietas basales de la etapa de inicio (0 a 14 días), crecimiento (15 a 28 días) y acabado (29 a 42 días), según las recomendaciones nutricionales de COBB-VANTRES (2022).

Tabla 2

Composición porcentual y nutricional de la dieta basal en las diferentes etapas de crecimiento.

Ingredientes, %	0 a 14 días	15 a 28 días	29 a 42 días
Aceite soya	1,5	1,6	3,5
Maíz	56,1	60,1	58,4
Harina de soya 44	33,9	27,7	25,1
Salvado de trigo	3,90	6,69	9,51
L-Lisina	0,34	0,38	0,33
DL-metionina	0,39	0,37	0,33
L-treonina	0,17	0,16	0,12
Carbonato calcio	0,66	0,89	0,85
Fosfato dicálcico	2,46	1,52	1,34
Sal	0,46	0,46	0,46
Premezcla	0,10	0,10	0,10
Nutrientes			
EM, kcal/kg	2900	2950	3050
PC, %	21	19	18
Lisina dig., %	1,26	1,16	1,06
Metionina dig., %	0,66	0,62	0,57
Met,+ Cist, dig., %	0,94	0,88	0,82
Treonina dig., %	0,86	0,78	0,70
Triptófano dig., %	0,23	0,20	0,19
FC, %	3,08	3,05	3,10
GC, %	4,26	4,42	6,41
Calcio, %	0,96	0,80	0,74
Fosforo disp., %	0,58	0,40	0,37
Sodio, %	0,20	0,20	0,20

3.1.4. Diseño experimental

La investigación fue realizada basada en un diseño completamente al azar, de cinco tratamientos y cinco replicas cada una. Cada replica o unidad experimental estuvo representada por un pollo.

3.1.5. Variables evaluadas

Las variables dependientes medidas fueron los siguientes:

pH Intestinal:

- En el intestino delgado proximal (duodeno)
- En el intestino delgado medio (yeyuno)
- En el intestino delgado distal (íleon)
- En el ciego
- En el colon proximal
- En el colon distal

Morfometría intestinal:

- Largo de vellosidad: desde el ápice hasta el ingreso de la glándula de cripta.
- Ancho de vellosidad: línea perpendicular a la sección media de la vellosidad.
- Profundidad de cripta: desde su ápice hasta la zona basal de la misma.

Análisis microbiano en el ciego:

- Bacterias *coliformes*.
- Presencia de *Salmonella sp.*

3.1.6. Conducción del experimento

A los 42 días de edad, se procedió al sacrificio de un ave por unidad experimental o réplica. El manejo para la recolección de muestras destinadas a los análisis se realizó bajo los siguientes criterios:

pH Intestinal:

Las aves fueron sometidas a una privación de alimento de dos horas previo al sacrificio para asegurar la disponibilidad de contenido digestivo residual.

La medición se realizó mediante un potenciómetro con sonda de penetración de la marca HANNA.

Se procedió a la disección y separación de los segmentos del tracto gastrointestinal, abarcando desde el proventrículo hasta el íleon y los sacos cecales.

Inmediatamente tras la extracción, se recolectó el contenido digestivo de cada segmento medible para determinar el valor de pH in situ.

Morfometría intestinal: La obtención de muestras para el estudio histopatológico se estandarizó de la siguiente manera:

- Se recolectaron muestras de las tres porciones del intestino delgado (duodeno, yeyuno e íleon), además del ciego.
- Se obtuvieron secciones tisulares cuadrangulares de aproximadamente 1 cm de lado.
- Cada muestra de tejido fue extendida sobre un soporte de cartón y fijada con grapas; este procedimiento es crítico para evitar la retracción tisular y asegurar la verticalidad de las vellosidades durante la medición, eliminando sesgos en los resultados.
- Los tejidos fueron fijados por inmersión en formol tamponado al 10%, manteniendo una relación de volumen tejido:fijador de 1:10 para garantizar una adecuada preservación celular.
- Cada frasco fue debidamente rotulado, especificando el órgano muestreado y la fecha de recolección.

La evaluación micrométrica de las láminas se llevó a cabo mediante un microscopio Leica DM 750, equipado con una cámara digital ICC50 W y el software de análisis *Las 4.12 Leica Microsystems*. La medición de las estructuras se realizó en micras (µm) utilizando el objetivo de 4x.

Recuento microbiano en el intestino:

La preparación del ave a disecar se realizó siguiendo la metodología de Al-Khalaifa et al. (2019):

- Las aves fueron lavadas por inmersión en una solución desinfectante diluida (1:2).
- Se procedió al desplume de la región abdominal, seguida de la aplicación de etanol al 70% para asegurar la antisepsia de la zona de incisión.

- La apertura cutánea y la exéresis de los ciegos se realizaron utilizando instrumental quirúrgico estéril.
- El contenido cecal fue recolectado en placas de Petri estériles; posteriormente, se realizó una incisión longitudinal con bisturí y se enjuagó el tejido con una solución estéril de NaCl al 0.85% (p/v) en proporción 1:9 (v/v).
- Cualquier residuo de contenido fue removido mediante un raspado suave del epitelio cecal. El extracto crudo resultante fue transferido a bolsas estériles y homogeneizado durante 3 minutos.
- Estos extractos se utilizaron directamente para los análisis microbiológicos y la determinación de pH.
- Para los recuentos de *Escherichia coli* y *Salmonella* spp., se emplearon los medios selectivos *Brilliance E. Coli* y *Xilosa-Lisina-Desoxicolato (XLD)* de Oxoid.
- Se realizaron diluciones seriadas de las muestras y se inocularon 0.1 mL en superficie mediante un esparcidor estéril. Las placas se incubaron en condiciones aeróbicas a 37°C por 24 h.
- Al finalizar el periodo, se procedió al conteo de colonias y su posterior transformación a valores logarítmicos (Log_{10}) para el análisis estadístico.

Los análisis histomorfométricos y microbiológicos fueron centralizados en el Laboratorio de Histología, Embriología y Patología Animal de la Facultad de Medicina Veterinaria de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

3.1.7. Técnicas para el procesamiento de la información

Los datos fueron sometidos a una evaluación de los supuestos estadísticos mediante la prueba de Shapiro-Wilk para verificar la normalidad y la prueba de Levene para constatar la homogeneidad de varianzas. Asimismo, se realizó la identificación y remoción de valores atípicos (outliers) a través del análisis de diagramas de cajas (boxplot). Posteriormente, la inferencia estadística se llevó a cabo mediante un Análisis de Varianza (ANOVA); en los casos donde se hallaron diferencias significativas, se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey. Todo el procesamiento de datos y los análisis respectivos se ejecutaron utilizando el software estadístico R.

CAPITULO IV. RESULTADOS

4.1 PH intestinal de pollos de carne

La tabla 1 muestra el pH en diferentes segmentos del intestino de pollos de carne alimentados con dietas que incluían al yacón como prebiótico durante todo el crecimiento, y que fueron desafiados con cepas de clostridios a los 21 días de edad. El análisis estadístico encontró diferencias estadísticas significativas entre tratamientos para el pH intestinal. El pH en el proventrículo, molleja, yeyuno y colon fue menor en las aves con 1% de yacón, que, además, mostraron el mayor pH en el duodeno ($p < 0.05$); mientras que las aves con APC, 2 y 3% de yacón tendieron a tener menor pH en el proventrículo, molleja y yeyuno ($p < 0.10$). Asimismo, las aves con 2% de yacón tuvieron el menor pH en el duodeno y colon ($p < 0.05$).

Tabla 1. Efecto prebiótico del yacón sobre el pH intestinal de pollos de carne a los 42 días de edad

Segmento	**Tratamiento**					***P valor***
	T0: DB	**T1: APC**	**T2: 1% yacón**	**T3: 2% yacón**	**T4: 3% yacón**	
Proventrículo	5,33 ± 0,3 ^{a}	4,58 ± 0,2 ^{ab}	3,42 ± 0,6 ^{c}	4,19 ± 0,6 ^{bc}	4,27 ± 0,5 ^{bc}	*<0,001*
Molleja	4,14 ± 0,7 ^{x}	3,54 ± 0,3 ^{xy}	3,13 ± 0,7 ^{y}	3,37 ± 0,4 ^{xy}	3,44 ± 0,4 ^{xy}	*0,072*
Duodeno	5,88 ± 0,1 ^{ab}	5,86 ± 0,0 ^{ab}	5,97 ± 0,1 ^{a}	5,73 ± 0,2 ^{b}	5,78 ± 0,1 ^{ab}	*0,043*
Yeyuno	5,71 ± 0,1 ^{x}	5,56 ± 0,1 ^{xy}	5,38 ± 0,2 ^{y}	5,48 ± 0,2 ^{xy}	5,55 ± 0,1 ^{xy}	*0,090*
Íleon	6,11 ± 0,7	6,44 ± 0,9	5,65 ± 0,2	6,00 ± 0,7	6,52 ± 0,5	*0,331*
Ciego	6,92 ± 0,2	7,01 ± 0,1	6,86 ± 0,1	7,13 ± 0,4	7,16 ± 0,4	*0,509*
Colon	6,91 ± 0,5 ^{ab}	6,67 ± 0,3 ^{ab}	6,51 ± 0,1 ^{ab}	6,30 ± 0,6 ^{b}	7,25 ± 0,1 ^{a}	*0,020*

4.2 Largo de la vellosidad intestinal

La tabla 2 muestra el largo de la vellosidad intestinal en diferentes segmentos del intestino de pollos de carne alimentados con dietas que incluían al yacón como prebiótico durante todo el crecimiento, y que fueron desafiados con cepas de clostridios a los 21 días de edad.

El análisis estadístico no encontró diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos para el largo de la vellosidad ($p > 0.05$).

Tabla 2. Efecto prebiótico del yacón sobre el largo de la vellosidad intestinal de pollos de carne a los 42 días de edad

Tratamiento	**Largo de vellosidad, µm**			
	Duodeno	**Yeyuno**	**Íleon**	**Ciego**
T0: DB	1974 ± 148	1387 ± 128	927 ± 66	213 ± 15
T1: APC	1963 ± 122	1449 ± 69	1029 ± 77	229 ± 27
T2: 1% yacón	1997 ± 179	1442 ± 210	868 ± 130	224 ± 25
T3: 2% yacón	2008 ± 117	1431 ± 112	954 ± 104	242 ± 29
T4: 3% yacón	1943 ± 159	1306 ± 133	910 ± 59	231 ± 18
P valor	*0,963*	*0,476*	*0,111*	*0,447*

4.3 Profundidad de cripta intestinal

La tabla 3 muestra la profundidad de cripta intestinal en diferentes segmentos del intestino de pollos de carne alimentados con dietas que incluían al yacón como prebiótico durante todo el crecimiento, y que fueron desafiados con cepas de clostridios a los 21 días de edad. El análisis estadístico no encontró diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos para la profundidad de la cripta intestinal ($p > 0.05$).

Tabla 3. Efecto prebiótico del yacón sobre la profundidad de cripta intestinal de pollos de carne a los 42 días de edad

Tratamiento	**Profundidad de cripta, µm**			
	Duodeno	**Yeyuno**	**Íleon**	**Ciego**
T0: DB	274 ± 17	261 ± 21	214 ± 20	117 ± 5
T1: APC	287 ± 9	284 ± 46	193 ± 16	115 ± 9
T2: 1% yacón	312 ± 21	227 ± 31	200 ± 22	119 ± 7
T3: 2% yacón	286 ± 52	262 ± 18	222 ± 41	119 ± 7
T4: 3% yacón	283 ± 27	259 ± 19	203 ± 13	108 ± 3
P valor	*0,452*	*0,137*	*0,433*	*0,137*

4.4 Ancho de la vellosidad intestinal

La tabla 4 muestra el ancho de la vellosidad intestinal en diferentes segmentos del intestino de pollos de carne alimentados con dietas que incluían al yacón como prebiótico durante todo el crecimiento, y que fueron desafiados con cepas de clostridios a los 21 días de edad. El análisis estadístico no encontró diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos para el ancho de la vellosidad ($p > 0.05$).

Tabla 4. Efecto prebiótico del yacón sobre el ancho de la vellosidad intestinal de pollos de carne a los 42 días de edad

Tratamiento	**Ancho de la vellosidad, µm**		
	Duodeno	**Yeyuno**	**Íleon**
T0: DB	135 ± 14	134 ± 16	127 ± 12
T1: APC	139 ± 20	122 ± 3	131 ± 17
T2: 1% yacón	145 ± 10	133 ± 12	133 ± 16
T3: 2% yacón	142 ± 10	141 ± 15	126 ± 16
T4: 3% yacón	140 ± 11	137 ± 4	124 ± 6
P valor	*0,883*	*0,220*	*0,837*

4.5 Largo de vellosidad/profundidad de cripta intestinal

La tabla 5 muestra la relación L/P intestinal en diferentes segmentos del intestino de pollos de carne alimentados con dietas que incluían al yacón como prebiótico durante todo el crecimiento, y que fueron desafiados con cepas de clostridios a los 21 días de edad. El análisis estadístico encontró diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos para la relación L/P en el íleon ($p > 0.05$), y tendencias a diferencias estadísticas en el ciego ($p < 0.10$). La inclusión de APC aumento la relación L/P en el íleon, comparado con el control y cualquier nivel de inclusión de yacón. En el ciego, las aves del APC y cualquier nivel de inclusión de yacón mostraron tendencias a mayor relación de L/P.

Tabla 5. Efecto prebiótico del yacón sobre el largo de vellosidad/profundidad de cripta intestinal de pollos de carne a los 42 días de edad

Tratamiento	**Relación largo de vellosidad/profundidad de cripta, µm**			
	Duodeno	**Yeyuno**	**Íleon**	**Ciego**
T0: DB	6,99 ± 0,6	5,38 ± 0,7	4,35 ± 0,4 ^{b}	1,79 ± 0,2 ^{y}
T1: APC	6,96 ± 0,5	5,18 ± 0,6	5,29 ± 0,5 ^{a}	2,00 ± 0,1 ^{xy}
T2: 1% yacón	6,53 ± 0,6	6,66 ± 2,1	4,45 ± 0,2 ^{b}	1,84 ± 0,1 ^{xy}
T3: 2% yacón	7,24 ± 1,5	5,42 ± 0,5	3,99 ± 0,4 ^{b}	2,02 ± 0,2 ^{xy}
T4: 3% yacón	7,04 ± 0,8	4,88 ± 0,5	4,40 ± 0,2 ^{b}	2,14 ± 0,2 ^{x}
P valor	*0,855*	*0,199*	*0,003*	*0,065*

4.6 Recuento microbiano

La tabla 6 muestra el conteo de *E. coli* y coliformes, y salmonella en el ciego de pollos de carne alimentados con dietas que incluían al yacón como prebiótico durante todo el crecimiento, y que fueron desafiados con cepas de clostridios a los 21 días de edad. El análisis descriptivo muestra que las aves con APC, 2 y 3% de yacón disminuyeron en 78, 73, y 80% la población de coliformes cecales. Además, no se encontró salmonella en ninguno de los tratamientos.

Tabla 6. Efecto prebiótico del yacón sobre el recuento microbiano del contenido cecal de pollos de carne a los 42 días de edad

Tratamientos	*E. coli* y coliformes, recuento en placa		Salmonella
	UFC	%	Numeración
T0: DB	28800000	100	Negativo
T1: APC	6260000	22	Negativo
T2: 1% yacón	31800000	110	Negativo
T3: 2% yacón	7860000	27	Negativo
T4: 3% yacón	5620000	20	Negativo

CAPITULO V. DISCUSIONES

En el presente estudio, la inclusión de 1% de yacón en la dieta disminuyó el pH en el proventrículo, molleja y yeyuno, mientras que el 2% de yacón la disminuyó en el duodeno y colon. La disminución del pH en estos segmentos intestinales en el presente estudio podría relacionarse con los productos de la fermentación de la inulina contenida en el yacón. Los productos de fermentación de los prebióticos son en su mayoría ácidos, reducen el pH intestinal (Davani-Davari et al., 2019). La alteración del pH intestinal, por ejemplo, de 6,5 a 5,5, puede contribuir a un cambio en la composición y la población de la microbiota intestinal (Duncan et al., 2009). La inhibición del crecimiento de un grupo importante de bacterias gramnegativas a un pH ligeramente ácido es una oportunidad para el crecimiento de microorganismos más tolerantes al pH bajo (Duncan et al., 2009). La disminución del pH resultante de la fermentación microbial estimula la producción de butirato y las poblaciones de bacterias productoras de butirato, como los firmicutes, al tiempo que reduce el crecimiento de Bacteroides spp. (Walker et al., 2005).

Descriptivamente, el conteo de coliformes se mostró disminuido en el ciego de aves que consumieron dietas que incluían 2 y 3% de yacón. Las poblaciones bacterianas del intestino grueso responden a cambios en la dieta, en particular al tipo y la cantidad de carbohidratos, reduciendo el pH del lumen intestinal, lo cual influiría en la determinación del metabolismo y la competencia bacteriana (Flint et al., 2007). La fermentación de los carbohidratos dietarios resulta principalmente en la formación de AGCC (acetato, propionato y butirato) y su producción tiende a disminuir el pH colónico. Estos ácidos influyen en la composición microbiana y afectan directamente a la salud del huésped, siendo el butirato la fuente de energía preferida por los colonocitos (Scott., 2013). Por ejemplo, la inulina (con un grado de polimerización ≤60) solo puede ser fermentada por unas pocas especies, mientras que un gran número de microorganismos pueden degradar fructooligosacáridos (con un grado de polimerización ≤10) (Scott et al., 2014). Los resultados del conteo microbial sugieren que la ingesta de yacón inhibió la población microbiana patógena y estimulo la multiplicación microbiana benéfica. Según Xia et al. (2019), la inulina reduce la abundancia relativa de las especies Lactobacillus johnsonii y Bifidobacterium en las primeras etapas de la vida de las aves (21 días de edad), pero posteriormente la aumenta significativamente.

La inulina sirve como sustrato para la síntesis de AGCC por diferentes tipos de bacterias, generando mayores cantidades de propionato y butirato, sustancias tróficas que mejoran el

desarrollo de la morfología intestinal (Hosseini et al., 2011; Li et al., 2018), además de mejorar la barrera intestinal, protegiendo al huésped contra patógenos (Chen et al., 2017; Li et al., 2018). La altura de las vellosidades es clave para la eficacia de los procesos de digestión y absorción, donde las vellosidades más altas aumentarían el área de superficie de absorción (Ding et al., 2021). La morfología del intestino delgado refleja su capacidad absortiva. Mientras la altura de las vellosidades indica la capacidad de absorción y liberación de enzimas, la profundidad de las criptas indica la capacidad de secreción y replicación (Prakatur et al., 2019). Además, la relación entre la profundidad de las criptas y la altura de las vellosidades es útil para evaluar el grado de daño intestinal resultante de un compuesto tóxico (Bogusławska-Tryk et al., 2021).

En el presente estudio, la altura, el ancho, y la profundidad de cripta de las aves que fueron desafiadas con clostridios fueron similares al del control. Estos resultados nos sugieren plantear la hipótesis de que los posibles efectos negativos de los clostridios a nivel intestinal fueron atenuados por el APC y la inulina contenida en el yacón. La inulina puede mejorar el entorno intestinal al inhibir bacterias patógenas, mejorando la integridad de las vellosidades intestinales al reducir su adhesión a la vellosidad intestinal (Wang et al., 2017). La profundidad de cripta intestinal de las aves desafiadas con clostridios y que consumieron dietas suplementadas con APC o yacón fueron similares al del control. Estos resultados sugieren que el APC y la inulina del yacón disminuyeron la población microbial patógena, reduciendo la renovación celular por el menor daño de las vellosidades intestinales. Según Biasato et al. (2018), las criptas intestinales de menor profundidad indican mayor supervivencia de las vellosidades intestinales, es decir, no tienen necesidad de renovación.

Asimismo, el ancho de la vellosidad de las aves desafiadas con clostridios y que consumieron dietas suplementadas con APC o yacón fueron similares al del control. Del mismo modo, se puede plantear la hipótesis que la inulina del yacón disminuyó indirectamente el daño del tejido intestinal por lo que el ancho de las vellosidades intestinales en los segmentos medidos fue similar al del control. Según Belote et al. (2023), el proceso inflamatorio de la vellosidad intestinal por microorganismos patógenos podría aumentar la anchura de las vellosidades.

El acortamiento de las vellosidades intestinales y la profundización simultánea de las criptas puede disminuir la relación L/P, lo que conduce a una reducción de la absorción de nutrientes (Awad et al., 2008). Aunque los parámetros histomorfológicos de las aves desafiadas con clostridios y que consumieron dietas suplementadas con yacón, de forma individual, fueron

similares al del control, en el yeyuno se observa una relación L/P menor comparada con el APC. Estos resultados sugieren que, si bien el yacón controlaría el daño intestinal y mantendría el área de absorción similar al del control, su eficiencia sería menor comparada con el APC.

En el ciego, la inclusión de 3% de yacón aumento la relación L/P, mientras que el APC y las inclusiones de 1 y 2% tendieron a aumentarla. Shang (2024), al evaluar pollos de carne expuesto a LPS (componente de la membrana externa de E. coli y principal responsable de su toxicidad), observó que la inulina puede aliviar la respuesta inflamatoria inducida por LPS y la disfunción de la barrera intestinal al modular la microbiota intestinal y sus metabolitos. La mayor relación L/P del presente estudio sugiere un mayor capacidad y eficiencia absortiva, y se relacionaría con el efecto de la inulina para aumentar la abundancia cecal relativa de Faecalibacterium y Anaeroplasma (Shang, 2024). Bajos niveles del género Faecalibacterium están correlacionados con afecciones inflamatorias, y los estudios epidemiológicos y experimentales la respaldan firmemente como probiótico de nueva generación (Martín et al., 2024), mientras que la Anaeroplasma tiene efectos antiinflamatorios que refuerza la barrera intestinal al aumentar la IgA de la mucosa, considerándose también un potente probiótico para la prevención y el tratamiento de la inflamación crónica (Beller et al., 2019). Shang (2024) observó que la inulina aumentó las concentraciones cecales de propionato y butirato. El propionato inhibe la inflamación inducida por lipopolisacárido, mientras que el butirato, principal fuente de energía para los colonocitos, inhibe las respuestas inflamatorias y mejora la inmunidad intestinal (Bach Knudsen et al., 2018).

CAPITULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

Teniendo en cuenta los resultados, se concluye que:

- La inclusión de 1% de yacón en la dieta de pollos de carne desafiados con clostridios disminuyó el pH en el proventrículo, molleja, yeyuno y colon, mientras que la inclusión de 2% de yacón disminuyó el pH en el duodeno y colon.
- La inclusión de yacón en la dieta de pollos de carne desafiados con clostridios no influyó sobre el largo de la vellosidad en el duodeno, yeyuno, íleon y ciego.
- La inclusión de yacón en la dieta de pollos de carne desafiados con clostridios no influyó sobre la profundidad de cripta en el duodeno, yeyuno, íleon y ciego.
- La inclusión de yacón en la dieta de pollos de carne desafiados con clostridios no influyó sobre el ancho de la vellosidad en el duodeno, yeyuno y íleon.
- La inclusión de yacón en la dieta de pollos de carne desafiados con clostridios mostró menor relación L/P en el íleon comparado con el APC, mientras que, en el ciego, la inclusión de yacón mostró tendencias de mayor relación L/P.
- La inclusión de yacón en la dieta de pollos de carne desafiados con clostridios disminuyó la población de coliformes cecales.

6.2. Recomendaciones

Teniendo en cuenta las conclusiones, se recomienda considerar la inclusión del yacón como aditivo prebiótico basado en:

1. Los indicios de disminuir el pH en el duodeno y colon, específicamente con la inclusión del 2%, lo que desfavorece la proliferación de microorganismos patógenos.
2. La tendencia de aumentar la relación L/P en el ciego, que se relaciona con un mayor área superficial, lo que sugiere mayores procesos de digestión de carbohidratos fibrosos y liberación de ácidos grasos de cadena corta.
3. La disminución de la población de coliformes cecales con la inclusión de 2 y 3%.

CAPITULO VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Alavi, S. A. N., Zakeri, A., Kamrani, B., & Pourakbari, Y. (2012). Effect of prebiotics, probiotics, acidfire, growth promoter antibiotics and synbiotic on humural immunity of broiler chickens. *Global veterinaria*, 8(6), 612-617. http://www.idosi.org/gv/GV8(6)12/10.pdf

Al-Khalaifa, H., Al-Nasser, A., Al-Surayee, T., Al-Kandari, S., Al-Enzi, N., Al-Sharrah, T., Ragheb, G., Al-Qalaf, S., & Mohammed, A. (2019). Effect of dietary probiotics and prebiotics on the performance of broiler chickens. *Poultry science*, *98*(10), 4465–4479. https://doi.org/10.3382/ps/pez282

Al-Khalaifah, H. S. (2018). Benefits of probiotics and/or prebiotics for antibiotic-reduced poultry. *Poultry science*, *97*(11), 3807-3815. https://doi.org/10.3382/ps/pey160

Awad, W., Ghareeb, K., & Böhm, J. (2008). Intestinal structure and function of broiler chickens on diets supplemented with a synbiotic containing Enterococcus faecium and oligosaccharides. *International journal of molecular sciences*, *9*(11), 2205–2216. https://doi.org/10.3390/ijms9112205

Beller, A., Kruglov, A., Durek, P., von Goetze, V., Hoffmann, U., Maier, R., ... & Chang, H. D. (2019). P104 Anaeroplasma, a potential anti-inflammatory probiotic for the treatment of chronic intestinal inflammation. *Annals of the Rheumatic Diseases*, *78*, A45-A46.

Belote, B. L., Soares, I., Sanches, A. W. D., de Souza, C., Scott-Delaunay, R., Lahaye, L., ... & Santin, E. (2023). Applying different morphometric intestinal mucosa methods and the correlation with broilers performance under Eimeria challenge. *Poultry Science*, *102*(9), 102849.

Biasato, I., Ferrocino, I., Biasibetti, E., Grego, E., Dabbou, S., Sereno, A., Gai, F., Gasco, L., Schiavone, A., Cocolin, L., & Capucchio, M. T. (2018). Modulation of intestinal microbiota, morphology and mucin composition by dietary insect meal inclusion in free-range chickens. *BMC veterinary research*, *14*(1), 383. https://doi.org/10.1186/s12917-018-1690-y

Bogusławska-Tryk, M., Ziółkowska, E., Sławińska, A., Siwek, M., & Bogucka, J. (2021). Modulation of Intestinal Histology by Probiotics, Prebiotics and Synbiotics Delivered In Ovo in Distinct Chicken Genotypes. *Animals : an open access journal from MDPI*, *11*(11), 3293. https://doi.org/10.3390/ani11113293

Cantu-Jungles, T. M., & Hamaker, B. R. (2023). Tuning expectations to reality: Don't expect increased gut microbiota diversity with dietary fiber. *The Journal of Nutrition*, *153*(11), 3156-3163. https://doi.org/10.1016/j.tjnut.2023.09.001

Cantu-Jungles, T. M., Bulut, N., Chambry, E., Ruthes, A., Iacomini, M., Keshavarzian, A., Johnson, T. A., & Hamaker, B. R. (2021). Dietary Fiber Hierarchical Specificity: the Missing Link for Predictable and Strong Shifts in Gut Bacterial Communities. *mBio*, *12*(3), e0102821. https://doi.org/10.1128/mBio.01028-21

Chen, K., Chen, H., Faas, M. M., de Haan, B. J., Li, J., Xiao, P., Zhang, H., Diana, J., de Vos, P., & Sun, J. (2017). Specific inulin-type fructan fibers protect against autoimmune diabetes by modulating gut immunity, barrier function, and microbiota homeostasis. *Molecular nutrition & food research*, *61*(8), 10.1002/mnfr.201601006. https://doi.org/10.1002/mnfr.201601006

Chi, Z. M., Zhang, T., Cao, T. S., Liu, X. Y., Cui, W., & Zhao, C. H. (2011). Biotechnological potential of inulin for bioprocesses. *Bioresource technology*, *102*(6), 4295–4303. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.12.086

Davani-Davari, D., Negahdaripour, M., Karimzadeh, I., Seifan, M., Mohkam, M., Masoumi, S. J., Berenjian, A., & Ghasemi, Y. (2019). Prebiotics: Definition, Types, Sources, Mechanisms, and Clinical Applications. *Foods (Basel, Switzerland)*, *8*(3), 92. https://doi.org/10.3390/foods8030092

De Bruyn, A., Alvarez, A. P. A., Sandra, P., & De Leenheer, L. (1992). Isolation and identification of O-beta-D-fructofuranosyl-(2--> 1)-O-beta-D-fructofuranosyl-(2--> 1)-D-fru ctose, a product of the enzymic hydrolysis of the inulin from Cichorium intybus. *Carbohydrate research*, *235*, 303-308. https://doi.org/10.1016/0008-6215(92)80099-m

de Oliveira, A. J. B., Gonçalves, R. A. C., Chierrito, T. P. C., Dos Santos, M. M., de Souza, L. M., Gorin, P. A. J., Sassaki, G. L., & Iacomini, M. (2011). Structure and degree of polymerisation of fructooligosaccharides present in roots and leaves of Stevia rebaudiana (Bert.) Bertoni. *Food chemistry*, *129*(2), 305–311. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.04.057

Delgado, G. T., Tamashiro, W. M., Maróstica Junior, M. R., & Pastore, G. M. (2013). Yacon (Smallanthus sonchifolius): a functional food. *Plant foods for human nutrition (Dordrecht, Netherlands)*, *68*(3), 222–228. https://doi.org/10.1007/s11130-013-0362-0

Ding, B., Chen, L., Lin, H., Wang, X., Zhang, L., Ni, X., Pirone, A., Madigosky, S. R., & Fronte, B. (2021). Effects of inulin diet supplementation on production performance, gut traits, and incidence of ascites in Haidong chicks under hypoxic conditions. *Animal bioscience*, *34*(3), 417–426. https://doi.org/10.5713/ajas.20.0508

Duncan, S. H., Louis, P., Thomson, J. M., & Flint, H. J. (2009). The role of pH in determining the species composition of the human colonic microbiota. *Environmental microbiology*, *11*(8), 2112–2122. https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2009.01931.x

Fathima, S., Hakeem, W. G. A., Shanmugasundaram, R., & Selvaraj, R. K. (2022). Necrotic Enteritis in Broiler Chickens: A Review on the Pathogen, Pathogenesis, and Prevention. *Microorganisms*, *10*(10), 1958. https://doi.org/10.3390/microorganisms10101958

Flint, H. J., Duncan, S. H., Scott, K. P., & Louis, P. (2007). Interactions and competition within the microbial community of the human colon: links between diet and health. *Environmental microbiology*, *9*(5), 1101–1111. https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2007.01281.x

Froebel, L. K., Jalukar, S., Lavergne, T. A., Lee, J. T., & Duong, T. (2019). Administration of dietary prebiotics improves growth performance and reduces pathogen colonization in broiler chickens. *Poultry science*, *98*(12), 6668–6676. https://doi.org/10.3382/ps/pez537

Fu, J., Zheng, Y., Gao, Y., & Xu, W. (2022). Dietary Fiber Intake and Gut Microbiota in Human Health. *Microorganisms*, *10*(12), 2507. https://doi.org/10.3390/microorganisms10122507

Gill, S. K., Rossi, M., Bajka, B., & Whelan, K. (2021). Dietary fibre in gastrointestinal health and disease. *Nature reviews. Gastroenterology & hepatology*, *18*(2), 101–116. https://doi.org/10.1038/s41575-020-00375-4

Hughes, L., Hermans, P., & Morgan, K. (2008). Risk factors for the use of prescription antibiotics on UK broiler farms. *The Journal of antimicrobial chemotherapy*, *61*(4), 947–952. https://doi.org/10.1093/jac/dkn017

Li, B., Leblois, J., Taminiau, B., Schroyen, M., Beckers, Y., Bindelle, J., & Everaert, N. (2018). The effect of inulin and wheat bran on intestinal health and microbiota in the early life of broiler chickens. *Poultry science*, *97*(9), 3156–3165. https://doi.org/10.3382/ps/pey195

Li, B., Schroyen, M., Leblois, J., Beckers, Y., Bindelle, J., & Everaert, N. (2019). The use of inulin and wheat bran only during the starter period or during the entire rearing life of broilers: effects on growth performance, small intestinal maturation, and cecal microbial colonization until slaughter age. *Poultry science*, *98*(9), 4058–4065. https://doi.org/10.3382/ps/pez088

Livingston, D. P., Premakumar, R., & Tallury, S. P. (2006). Carbohydrate partitioning between upper and lower regions of the crown in oat and rye during cold acclimation and freezing. *Cryobiology*, *52*(2), 200-208. https://doi.org/10.1016/j.cryobiol.2005.11.001

Lopes, S. M., Krausová, G., Rada, V., Gonçalves, J. E., Gonçalves, R. A., & de Oliveira, A. J. (2015). Isolation and characterization of inulin with a high degree of polymerization from roots of Stevia rebaudiana (Bert.) Bertoni. *Carbohydrate research*, *411*, 15–21. https://doi.org/10.1016/j.carres.2015.03.018

Lu, J., Zhu, D., Lu, J., Liu, J., Wu, Z., & Liu, L. (2022). Dietary supplementation with low and high polymerization inulin ameliorates adipose tissue inflammation via the TLR4/NF-κB pathway mediated by gut microbiota disturbance in obese

dogs. *Research in veterinary science*, *152*, 624–632. https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2022.09.032

Lu, M., Yuan, B., Yan, X., Sun, Z., Lillehoj, H. S., Lee, Y., Baldwin-Bott, C., & Li, C. (2021). *Clostridium perfringens*-Induced Host-Pathogen Transcriptional Changes in the Small Intestine of Broiler Chickens. *Pathogens (Basel, Switzerland)*, *10*(12), 1607. https://doi.org/10.3390/pathogens10121607

Ma, Z. F., & Lee, Y. Y. (2025). The Role of the Gut Microbiota in Health, Diet, and Disease with a Focus on Obesity. *Foods*, *14*(3), 492. https://doi.org/10.3390/foods14030492

Millam, S. (2007). Developments in transgenic biology and the genetic engineering of useful traits. In *Potato biology and biotechnology* (pp. 669-686). Elsevier Science BV. https://doi.org/10.1016/B978-044451018-1/50072-5

Moore R. J. (2016). Necrotic enteritis predisposing factors in broiler chickens. *Avian pathology : journal of the W.V.P.A*, *45*(3), 275–281. https://doi.org/10.1080/03079457.2016.1150587

Morris, C., & Morris, G. A. (2012). The effect of inulin and fructo-oligosaccharide supplementation on the textural, rheological and sensory properties of bread and their role in weight management: a review. *Food chemistry*, *133*(2), 237–248. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.01.027

Nabizadeh, A. (2012). The effect of inulin on broiler chicken intestinal microflora, gut morphology, and performance. Journal of Animal and Feed Sciences, 21(4), 725-734. https://doi.org/10.22358/jafs/66144/2012

Nyamagonda, H., Swamy, M. N., Veena, T., Jayakumar, K., & Swamy, H. D. (2011). Effect of prebiotic and probiotics on growth performance in broiler chickens. *Indian Journal of Animal Research*, *45*(4), 271-275.

of non-starch polysaccharides in human nutrition: a review. *Critical reviews in food science and nutrition*, *52*(10), 899–935. https://doi.org/10.1080/10408398.2010.512671

Pelaseyed, T., Bergström, J. H., Gustafsson, J. K., Ermund, A., Birchenough, G. M., Schütte, A., ... & Hansson, G. C. (2014). The mucus and mucins of the goblet cells and

enterocytes provide the first defense line of the gastrointestinal tract and interact with the immune system. *Immunological reviews*, *260*(1), 8-20. https://doi.org/10.1111/imr.12182

Prakatur, I., Miskulin, M., Pavic, M., Marjanovic, K., Blazicevic, V., Miskulin, I., & Domacinovic, M. (2019). Intestinal Morphology in Broiler Chickens Supplemented with Propolis and Bee Pollen. *Animals : an open access journal from MDPI*, *9*(6), 301. https://doi.org/10.3390/ani9060301

Qiu, Y., Lei, P., Zhang, Y., Sha, Y., Zhan, Y., Xu, Z., Li, S., Xu, H., & Ouyang, P. (2018). Recent advances in bio-based multi-products of agricultural Jerusalem artichoke resources. *Biotechnology for biofuels*, *11*, 151. https://doi.org/10.1186/s13068-018-1152-6

R Core Team (2021). *R: A Language and environment for statistical computing*. (Version 4.1) [Computer software]. Retrieved from https://cran.r-project.org. (R packages retrieved from MRAN snapshot 2022-01-01).

Ramos, R. A. A., García, D. M., & Cruz, E. R. P. (2019). Fructanos tipo inulina: efecto en la microbiota intestinal, la obesidad y la saciedad. *Gaceta Médica Espirituana*, *21*(2), 134-145.

Rebolé, A., Ortiz, L. T., Rodríguez, M. L., Alzueta, C., Treviño, J., & Velasco, S. (2010). Effects of inulin and enzyme complex, individually or in combination, on growth performance, intestinal microflora, cecal fermentation characteristics, and jejunal histomorphology in broiler chickens fed a wheat- and barley-based diet. *Poultry science*, *89*(2), 276–286. https://doi.org/10.3382/ps.2009-00336

Rehman, A., Arif, M., Sajjad, N., Al-Ghadi, M. Q., Alagawany, M., Abd El-Hack, M. E., Alhimaidi, A. R., Elnesr, S. S., Almutairi, B. O., Amran, R. A., Hussein, E. O. S., & Swelum, A. A. (2020). Dietary effect of probiotics and prebiotics on broiler performance, carcass, and immunity. *Poultry science*, *99*(12), 6946–6953. https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.09.043

Roberfroid, M., & Slavin, J. (2000). Nondigestible oligosaccharides. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition.*, *40*(6), 461-480. https://doi.org/10.1080/10408690091189239

Salam, M. A., Al-Amin, M. Y., Salam, M. T., Pawar, J. S., Akhter, N., Rabaan, A. A., & Alqumber, M. A. A. (2023). Antimicrobial Resistance: A Growing Serious Threat for Global Public Health. *Healthcare (Basel, Switzerland)*, *11*(13), 1946. https://doi.org/10.3390/healthcare11131946

Scott, K. P., Gratz, S. W., Sheridan, P. O., Flint, H. J., & Duncan, S. H. (2013). The influence of diet on the gut microbiota. *Pharmacological research*, *69*(1), 52–60. https://doi.org/10.1016/j.phrs.2012.10.020

Scott, K. P., Martin, J. C., Duncan, S. H., & Flint, H. J. (2014). Prebiotic stimulation of human colonic butyrate-producing bacteria and bifidobacteria, in vitro. *FEMS microbiology ecology*, *87*(1), 30–40. https://doi.org/10.1111/1574-6941.12186

Shang Q. (2024). Inulin alleviates inflammatory response and gut barrier dysfunction via modulating microbiota in lipopolysaccharide-challenged broilers. *International journal of biological macromolecules*, *282*(Pt 4), 137208. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.137208

Sheng, W., Ji, G., & Zhang, L. (2023). Immunomodulatory effects of inulin and its intestinal metabolites. *Frontiers in immunology*, *14*, 1224092. https://doi.org/10.3389/fimmu.2023.1224092

Song, J., Li, Q., Li, P., Liu, R., Cui, H., Zheng, M., Everaert, N., Zhao, G., & Wen, J. (2018). The effects of inulin on the mucosal morphology and immune status of specific pathogen-free chickens. *Poultry science*, *97*(11), 3938–3946. https://doi.org/10.3382/ps/pey260

Stanley, D., Wu, S. B., Rodgers, N., Swick, R. A., & Moore, R. J. (2014). Differential responses of cecal microbiota to fishmeal, Eimeria and Clostridium perfringens in a necrotic enteritis challenge model in chickens. *PloS one*, *9*(8), e104739. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0104739

Sweeney, M. T., Lubbers, B. V., Schwarz, S., & Watts, J. L. (2018). Applying definitions for multidrug resistance, extensive drug resistance and pandrug resistance to clinically significant livestock and companion animal bacterial pathogens. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, *73*(6), 1460-1463. https://doi.org/10.1093/jac/dky043

Tardiolo, G., La Fauci, D., Riggio, V., Daghio, M., Di Salvo, E., Zumbo, A., & Sutera, A. M. (2025). Gut Microbiota of Ruminants and Monogastric Livestock: An Overview. *Animals : an open access journal from MDPI*, *15*(5), 758. https://doi.org/10.3390/ani15050758

Teferra, T. F. (2021). Possible actions of inulin as prebiotic polysaccharide: A review. *Food Frontiers*, *2*(4), 407-416. https://doi.org/10.1002/fft2.92

The jamovi project (2022). *jamovi*. (Version 2.3) [Computer Software]. Retrieved from https://www.jamovi.org.

Tuncil, Y. E., Thakkar, R. D., Arioglu-Tuncil, S., Hamaker, B. R., & Lindemann, S. R. (2020). Subtle variations in dietary-fiber fine structure differentially influence the composition and metabolic function of gut microbiota. *Msphere*, *5*(3), 10-1128. https://doi.org/10.1128/msphere.00180-20

Turroni, F., Milani, C., Duranti, S., Mahony, J., van Sinderen, D., & Ventura, M. (2018). Glycan Utilization and Cross-Feeding Activities by Bifidobacteria. *Trends in microbiology*, *26*(4), 339–350. https://doi.org/10.1016/j.tim.2017.10.001

Uzal, F. A., Freedman, J. C., Shrestha, A., Theoret, J. R., Garcia, J., Awad, M. M., Adams, V., Moore, R. J., Rood, J. I., & McClane, B. A. (2014). Towards an understanding of the role of Clostridium perfringens toxins in human and animal disease. *Future microbiology*, *9*(3), 361–377. https://doi.org/10.2217/fmb.13.168

Walker, A. W., Duncan, S. H., McWilliam Leitch, E. C., Child, M. W., & Flint, H. J. (2005). pH and peptide supply can radically alter bacterial populations and short-chain fatty acid ratios within microbial communities from the human colon. *Applied and environmental microbiology*, *71*(7), 3692–3700. https://doi.org/10.1128/AEM.71.7.3692-3700.2005

Wang, L., Hu, L., Yan, S., Jiang, T., Fang, S., Wang, G., ... & Chen, W. (2017). Effects of different oligosaccharides at various dosages on the composition of gut microbiota and short-chain fatty acids in mice with constipation. *Food & Function*, *8*(5), 1966-1978.

Xia, Y., Kong, J., Zhang, G., Zhang, X., Seviour, R., & Kong, Y. (2019). Effects of dietary inulin supplementation on the composition and dynamics of cecal microbiota and growth-related parameters in broiler chickens. *Poultry science*, *98*(12), 6942–6953. https://doi.org/10.3382/ps/pez483

Xia, Y., Kong, J., Zhang, G., Zhang, X., Seviour, R., & Kong, Y. (2019). Effects of dietary inulin supplementation on the composition and dynamics of cecal microbiota and growth-related parameters in broiler chickens. *Poultry science*, *98*(12), 6942–6953. https://doi.org/10.3382/ps/pez483

Zeng, H., Umar, S., Rust, B., Lazarova, D., & Bordonaro, M. (2019). Secondary Bile Acids and Short Chain Fatty Acids in the Colon: A Focus on Colonic Microbiome, Cell Proliferation, Inflammation, and Cancer. *International journal of molecular sciences*, *20*(5), 1214. https://doi.org/10.3390/ijms20051214

Zhang, N., Jin, M., Wang, K., Zhang, Z., Shah, N. P., & Wei, H. (2022). Functional oligosaccharide fermentation in the gut: Improving intestinal health and its determinant factors-A review. *Carbohydrate polymers*, *284*, 119043. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.119043

ANEXO

ANEXO 1. Largo de vellosidad (L) y profundidad de cripta (PC)

Trat	L duo	L yey	L ile	L cie	PC duo	PC yey	PC ile	PC cie
T0	1954	1435	945	199	277	287	237	125
T0	1760	1200	873	220	290	245	228	113
T0	2136	1424	1004	195	290	272	219	117
T0	2090	1489	967	222	255	234	197	113
T0	1930		845	228	258	265	190	
T1	1834	1362	938	223		231	199	
T1	2098	1486	976	265	276	277	169	125
T1	2067	1498	1021	248	293	321	200	118
T1	1845	1387	1125	201	284	252	203	112
T1	1968	1511	1085	208	295	341		105
T2	1828	1353	979	183	293		209	109
T2	2268	1231	698	240	317	251	182	
T2	1842	1739	1012	218		181	231	121
T2	2007	1310	792	237	340	238	177	123
T2	2041	1579	861	240	300	239	203	124
T3	1915	1506	925	201	310		253	109
T3	1883	1276	955	268	353	273	267	129
T3	2135	1365	1052	269	256	236	172	117
T3	1983	1556	1040	224	217	268	231	122
T3	2125	1452	796	246	295	270	188	119
T4	1830	1204	961	208	307	243	220	110
T4	1872	1504	884	225	266		189	106
T4		1164	853	247	304	283	201	105
T4	1893	1343	984		245	266		
T4	2178	1315	867	245	293	243	202	111

ANEXO 2. Ancho de vellosidad (A) y relación largo de vellosidad sobre profundidad de cripta (L/C)

Trat	A duo	A yey	A ile	L/C duo	L/C yey	L/C ile	L/C cie
T0	147	148	137	7,05	5	3,99	1,6
T0	147	122	123	6,07	4,9	3,82	1,95
T0		146	108	7,35	5,23	4,59	1,67
T0	124	141	127		6,37	4,91	1,96
T0	121	113	138	7,49		4,45	
T1	119	125	115		5,89	4,71	
T1	154	120	140	7,6	5,37	5,79	2,12
T1	166	119	156	7,05	4,68	5,11	2,09
T1	123	124	121	6,5	5,51	5,54	1,8
T1	136		121	6,67	4,43		1,98
T2	143		128	6,25		4,69	1,68
T2	150	130	154	7,16	4,91		
T2	132	117	144		9,6	4,39	1,8
T2		138	127	5,9	5,5	4,47	1,93
T2	153	145	114	6,8	6,62	4,23	1,94
T3	139	156	110	6,19		3,66	1,84
T3	145	152	150	5,33	4,67	3,57	2,08
T3	154	121	120	8,33	5,8		2,29
T3		130	118	9,15	5,82	4,5	1,83
T3	131	143	132	7,21	5,38	4,23	2,06
T4	138	138	126	5,95	4,95	4,37	1,89
T4	149	141	118	7,03		4,67	2,12
T4	128	132	121		4,11	4,25	2,35
T4	133	133	122	7,72	5,04		
T4	154	139	135	7,45	5,41	4,3	2,2

ANEXO 3. Análisis estadísticos del pH

ANOVA - Proventrículo

	Suma de Cuadrados	gl	Media Cuadrática	F	p
Trat	7,65	4	1,911	9,87	< ,001
Residuos	3,10	16	0,194		

Comprobaciones de Supuestos

Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas

F	gl1	gl2	p
3,73	4	16	0,025

Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk)

Estadístico	p
0,961	0,536

Pruebas Post Hoc

Comparaciones Post Hoc - Trat

Comparación							
Trat		Trat	Diferencia de Medias	EE	gl	t	p_{tukey}
T0	-	T1	0,7540	0,295	16,0	2,554	0,127
	-	T2	1,9050	0,311	16,0	6,122	< ,001
	-	T3	1,1450	0,311	16,0	3,679	0,015
	-	T4	1,0575	0,311	16,0	3,398	0,026
T1	-	T2	1,1510	0,295	16,0	3,899	0,010
	-	T3	0,3910	0,295	16,0	1,324	0,681
	-	T4	0,3035	0,295	16,0	1,028	0,839
T2	-	T3	-0,7600	0,311	16,0	-2,442	0,154
	-	T4	-0,8475	0,311	16,0	-2,723	0,094
T3	-	T4	-0,0875	0,311	16,0	-0,281	0,998

Nota, Las comparaciones se basan en medias marginales estimadas

ANOVA - Molleja

	Suma de Cuadrados	gl	Media Cuadrática	F	p
Trat	2,84	4	0,710	2,54	0,072
Residuos	5,59	20	0,279		

Comprobaciones de Supuestos

Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas

F	gl1	gl2	p
3,53	4	20	0,025

Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk)

Estadístico	p
0,963	0,467

ANOVA - Duodeno

	Suma de Cuadrados	gl	Media Cuadrática	F	p
Trat	0,153	4	0,0383	3,11	0,043
Residuos	0,209	17	0,0123		

Comprobaciones de Supuestos

Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas

F	gl1	gl2	p
5,30	4	17	0,006

Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk)

Estadístico	p
0,945	0,248

Pruebas Post Hoc

Comparaciones Post Hoc - Trat

Comparación							
Trat		Trat	Diferencia de Medias	EE	gl	t	p_{tukey}
T0	-	T1	0,0185	0,0744	17,0	0,249	0,999
	-	T2	-0,0965	0,0744	17,0	-1,297	0,697
	-	T3	0,1440	0,0702	17,0	2,052	0,284
	-	T4	0,1010	0,0744	17,0	1,357	0,661
T1	-	T2	-0,1150	0,0785	17,0	-1,466	0,596
	-	T3	0,1255	0,0744	17,0	1,686	0,467
	-	T4	0,0825	0,0785	17,0	1,052	0,828
T2	-	T3	0,2405	0,0744	17,0	3,231	0,034
	-	T4	0,1975	0,0785	17,0	2,518	0,133
T3	-	T4	-0,0430	0,0744	17,0	-0,578	0,977

Nota. Las comparaciones se basan en medias marginales estimadas

ANOVA - Yeyuno

	Suma de Cuadrados	gl	Media Cuadrática	F	p
Trat	0,268	4	0,0669	2,41	0,090
Residuos	0,472	17	0,0278		

Comprobaciones de Supuestos

Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas

F	gl1	gl2	p
0,415	4	17	0,796

Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk)

Estadístico	p
0,924	0,090

ANOVA - Ileon

	Suma de Cuadrados	gl	Media Cuadrática	F	p
Trat	2,19	4	0,547	1,23	0,331
Residuos	8,45	19	0,445		

Comprobaciones de Supuestos

Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas

F	gl1	gl2	p
1,67	4	19	0,199

Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk)

Estadístico	p
0,960	0,439

ANOVA - Ciego

	Suma de Cuadrados	gl	Media Cuadrática	F	p
Trat	0,302	4	0,0754	0,857	0,509
Residuos	1,496	17	0,0880		

Comprobaciones de Supuestos

Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas

F	gl1	gl2	p
2,55	4	17	0,077

Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk)

Estadístico	p
0,962	0,527

ANOVA - Colon

	Suma de Cuadrados	gl	Media Cuadrática	F	p
Trat	2,36	4	0,591	3,82	0,020
Residuos	2,78	18	0,155		

Comprobaciones de Supuestos

Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas

F	gl1	gl2	p
3,40	4	18	0,031

Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk)

Estadístico	p
0,944	0,223

Comparaciones Post Hoc - Trat

Comparación							
Trat		Trat	Diferencia de Medias	EE	gl	t	p_{tukey}
T0	-	T1	0,242	0,249	18,0	0,973	0,864
	-	T2	0,397	0,264	18,0	1,505	0,572
	-	T3	0,608	0,249	18,0	2,445	0,148
	-	T4	-0,341	0,264	18,0	-1,291	0,700
T1	-	T2	0,155	0,264	18,0	0,588	0,975
	-	T3	0,366	0,249	18,0	1,472	0,592
	-	T4	-0,583	0,264	18,0	-2,209	0,221
T2	-	T3	0,211	0,264	18,0	0,800	0,927
	-	T4	-0,738	0,278	18,0	-2,653	0,102
T3	-	T4	-0,949	0,264	18,0	-3,597	0,015

Nota. Las comparaciones se basan en medias marginales estimadas

ANEXO 4. Análisis estadísticos de las mediciones histomorfológicos

ANOVA - L duo

	Suma de Cuadrados	gl	Media Cuadrática	F	p
Trat	12461	4	3115	0,146	0,963
Residuos	405547	19	21345		

Comprobaciones de Supuestos

Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas

F	gl1	gl2	p
0,160	4	19	0,956

Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk)

Estadístico	p
0,959	0,411

ANOVA - L yey

	Suma de Cuadrados	gl	Media Cuadrática	F	p
Trat	70493	4	17623	0,914	0,476
Residuos	366154	19	19271		

Comprobaciones de Supuestos

Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas

F	gl1	gl2	p
2,22	4	19	0,106

Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk)

Estadístico	p
0,970	0,677

ANOVA - L ile

	Suma de Cuadrados	gl	Media Cuadrática	F	p
Trat	71434	4	17858	2,16	0,111
Residuos	165532	20	8277		

Comprobaciones de Supuestos

Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas

F	gl1	gl2	p
1,08	4	20	0,392

Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk)

Estadístico	p
0,971	0,658

ANOVA - L cie

	Suma de Cuadrados	gl	Media Cuadrática	F	p
Trat	2169	4	542	0,969	0,447
Residuos	10630	19	559		

Comprobaciones de Supuestos

Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas

F	gl1	gl2	p
0,883	4	19	0,493

Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk)

Estadístico	p
0,952	0,295

ANOVA - PC duo

	Suma de Cuadrados	gl	Media Cuadrática	F	p
Trat	3507	4	877	0,962	0,452
Residuos	16405	18	911		

Comprobaciones de Supuestos

Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas

F	gl1	gl2	p
3,27	4	18	0,035

Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk)

Estadístico	p
0,961	0,486

ANOVA - PC yey

	Suma de Cuadrados	gl	Media Cuadrática	F	p
Trat	7267	4	1817	2,02	0,137
Residuos	15270	17	898		

Comprobaciones de Supuestos

Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas

F	gl1	gl2	p
2,42	4	17	0,089

Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk)

Estadístico	p
0,974	0,796

ANOVA - PC ile

	Suma de Cuadrados	gl	Media Cuadrática	F	p
Trat	2545	4	636	1,000	0,433
Residuos	11456	18	636		

Comprobaciones de Supuestos

Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas

F	gl1	gl2	p
3,63	4	18	0,024

Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk)

Estadístico	p
0,980	0,901

ANOVA - PC cie

	Suma de Cuadrados	gl	Media Cuadrática	F	p
Trat	355	4	88,8	2,04	0,137
Residuos	696	16	43,5		

Comprobaciones de Supuestos

Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas

F	gl1	gl2	p
0,713	4	16	0,595

Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk)

Estadístico	p
0,953	0,383

ANOVA - A duo

	Suma de Cuadrados	gl	Media Cuadrática	F	p
Trat	218	4	54,4	0,287	0,883
Residuos	3224	17	189,7		

Comprobaciones de Supuestos

Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas

F	gl1	gl2	p
2,34	4	17	0,097

Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk)

Estadístico	p
0,960	0,489

ANOVA - A yey

	Suma de Cuadrados	gl	Media Cuadrática	F	p
Trat	838	4	209	1,59	0,220
Residuos	2370	18	132		

Comprobaciones de Supuestos

Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas

F	gl1	gl2	p
5,28	4	18	0,005

Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk)

Estadístico	p
0,952	0,327

ANOVA - A ile

	Suma de Cuadrados	gl	Media Cuadrática	F	p
Trat	279	4	69,7	0,355	0,837
Residuos	3925	20	196,2		

Comprobaciones de Supuestos

Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas

F	gl1	gl2	p
1,45	4	20	0,255

Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk)

Estadístico	p
0,950	0,248

ANOVA - L/C duo

	Suma de Cuadrados	gl	Media Cuadrática	F	p
Trat	1,17	4	0,293	0,328	0,855
Residuos	14,29	16	0,893		

Comprobaciones de Supuestos

Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas

F	gl1	gl2	p
2,33	4	16	0,100

Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk)

Estadístico	p
0,981	0,942

ANOVA - L/C yey

	Suma de Cuadrados	gl	Media Cuadrática	F	p
Trat	7,52	4	1,88	1,70	0,199
Residuos	17,66	16	1,10		

Comprobaciones de Supuestos

Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas

F	gl1	gl2	p
2,48	4	16	0,086

Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk)

Estadístico	p
0,904	0,042

ANOVA - L/C ile

	Suma de Cuadrados	gl	Media Cuadrática	F	p
Trat	3,68	4	0,920	6,42	0,003
Residuos	2,29	16	0,143		

Comprobaciones de Supuestos

Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas

F	gl1	gl2	p
2,91	4	16	0,055

Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk)

Estadístico	p
0,962	0,556

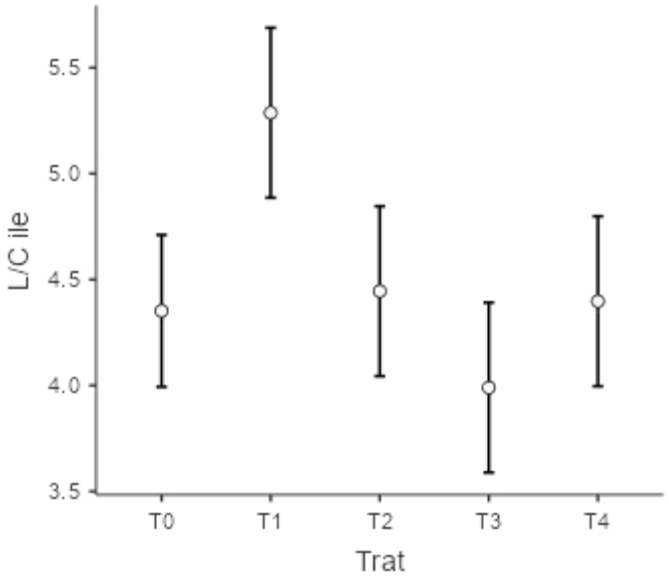
Comparaciones Post Hoc - Trat

Comparación							
Trat		Trat	Diferencia de Medias	EE	gl	t	p_{tukey}
T0	-	T1	-0,9355	0,254	16,0	-3,684	0,015
	-	T2	-0,0930	0,254	16,0	-0,366	0,996
	-	T3	0,3620	0,254	16,0	1,426	0,621
	-	T4	-0,0455	0,254	16,0	-0,179	1,000
T1	-	T2	0,8425	0,268	16,0	3,148	0,043
	-	T3	1,2975	0,268	16,0	4,848	0,001
	-	T4	0,8900	0,268	16,0	3,325	0,030
T2	-	T3	0,4550	0,268	16,0	1,700	0,461
	-	T4	0,0475	0,268	16,0	0,177	1,000
T3	-	T4	-0,4075	0,268	16,0	-1,523	0,564

Nota. Las comparaciones se basan en medias marginales estimadas

Medias Marginales Estimadas

Trat



ANOVA - L/C cie

	Suma de Cuadrados	gl	Media Cuadrática	F	p
Trat	0,322	4	0,0805	2,74	0,065
Residuos	0,470	16	0,0294		

Comprobaciones de Supuestos

Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas

F	gl1	gl2	p
0,457	4	16	0,766

Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk)

Estadístico	p
0,943	0,250

Medias Marginales Estimadas

Trat

