



# Universidad Nacional Autónoma de México

## Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán

Efecto de un alimento funcional a base de monobutirina y aceites esenciales de clavo y canela sobre variables productivas, índice morfométrico e integridad intestinal en pollo de engorda desafiados con una cepa de *Escherichia coli* enteroinvasiva.

# T E S I S

Que para obtener el título de  
**Médico Veterinario Zootecnista**

Presenta:

**Axel Hernández Morones**

Asesor: Dr. Juan Carlos del Río García

Coasesora: M en MVZ. Jacqueline Uribe Rivera

Cuautitlán Izcalli, Estado de México, 2024.



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **DEDICATORIAS.**

A Dios por darme la oportunidad de vivir, por darme una familia excepcional que me ha apoyado en todo momento y me ha enseñado el mejor camino, por rodearme de gente maravillosa, por darme la paciencia, fortaleza y fe para afrontar los constantes retos de la vida.

A mis Padres, ya que gracias a su esfuerzo y dedicación me han hecho la persona que soy hoy día, han servido como un ejemplo para mí, me han enseñado el valor de la vida y del sacrificio, gracias por todos sus consejos, sabiduría, comprensión, honestidad, regaños, buenos y malos ratos. Este trabajo y todos los logros que he conseguido son tan míos como suyos, espero siempre se sientan orgullosos de mí, los amo y sin importar las circunstancias siempre serán mi mayor inspiración.

A mi hermana Ximena, por acompañarme en todo momento, por tu paciencia, dedicación y cariño incondicional, por apoyarme en todas mis decisiones y estar conmigo cuando más lo he necesitado.

A Angélica ya que compartiste conmigo este proceso, gracias por tu paciencia, dedicación y por tu inmenso amor, gracias por tus consejos, por estar conmigo en los buenos y malos momentos, muchas gracias por el cariño y los detalles que has tenido conmigo a lo largo de este tiempo. Te amo.

A mis abuelos, por haber cuidado de mí, por su cariño y dedicación, por formar una parte importante de mi vida, por su sabiduría, humildad y consejos, gracias por su sencillez y por siempre tener los brazos abiertos.

A mis tíos y primos por su cariño y dedicación, ustedes también son parte importante de este proyecto y logro, gracias por sus charlas, consejos y atenciones.

A Megan que siempre has servido como motivación y estímulo para lograr grandes cosas, más que un amigo eres un hermano y confío en que lograremos muchas cosas más.

## **AGRADECIMIENTOS.**

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por abrirme las puertas de tan respetable institución, por forjarme como profesionista y darme las herramientas necesarias para desempeñar mi labor como Médico.

A los doctores Juan Carlos, Jacqueline y Graciela, por la paciencia y los consejos, por su dedicación y vocación y por todo el apoyo y tiempo que invirtieron en este proyecto, en el cual obtuve conocimientos muy valiosos acerca de esta especie, gracias por tanto.

## Índice.

1. Resumen.....	1
2. Introducción.....	2
2.1 Avicultura en México. ....	2
2.2 Perspectiva actual de la avicultura mexicana frente a la IAAP.....	3
2.3 La pandemia de COVID-19 frente a la avicultura mexicana.....	4
2.4 Perspectiva de la avicultura mundial. ....	4
2.5 El pollo moderno. ....	5
2.6 Uso de antibióticos en la industria avícola.....	6
2.7 Alimentos funcionales. ....	8
2.8 Otros compuestos como alternativa para los antibióticos.....	10
2.9 Ácidos grasos de cadena corta. ....	12
2.9.1 Rol de los ácidos grasos de cadena corta en la inmunidad.	16
2.10 Efecto del butirato en los enlaces epiteliales.....	17
2.11 Variables productivas.....	17
2.12 Índice morfométrico en aves. ....	18
2.13 Generalidades de <i>Escherichia coli</i> . ....	19
2.14 <i>Escherichia coli</i> enteroinvasiva (EIEC). ....	20
2.15 Prueba de fitohemaglutinina en aves. ....	21
3. Justificación. ....	22
4. Hipótesis. ....	22
5. Objetivo general. ....	22
6. Objetivos particulares. ....	23
7. Materiales y métodos. ....	23
7.1 Ubicación. ....	23
7.2 Equipo utilizado. ....	24
7.3 Diseño experimental. ....	25
7.4 Variables productivas. ....	26
7.5 Inoculación de <i>E. coli</i> enteroinvasiva. ....	27
7.6 Índice morfométrico. ....	27
7.7 Inmunidad celular. ....	28

8. Resultados y discusiones. ....	29
8.1 Variables productivas.....	29
8.1.1 Pesos semanales. ....	29
8.1.2 Consumo semanal. ....	31
8.1.3 Índice de conversión. ....	32
8.2 Índice morfométrico. ....	34
8.2.1 Proventrículo. ....	34
8.2.2 Molleja. ....	35
8.2.3 Intestino. ....	36
8.2.4 Hígado. ....	38
8.2.5 Corazón. ....	39
8.2.6 Bazo. ....	40
8.2.7 Bolsa de Fabricio. ....	42
8.3 Inmunidad. ....	43
9. Conclusiones. ....	45
10. Comentarios. ....	46
11. Bibliografía. ....	47

### **Índice de tablas.**

Tabla 1. Mercado mundial de carne.....	5
Tabla 3. Ilustración de los diferentes AGCC. ....	13

### **Índice de figuras.**

Figura 1. Distribución de corraletas. ....	24
--	----

### **Índice de gráficas.**

Gráfica 1. Peso semanal promedio. ....	29
Gráfica 2. Consumo promedio semanal de alimento.....	31
Gráfica 3. Índice de conversión.....	33
Gráfica 4. Índice morfométrico del proventrículo.....	35

Gráfica 5. Índice morfométrico molleja. ....	36
Gráfica 6. Índice morfométrico intestino. ....	37
Gráfica 7. Índice morfométrico hígado. ....	38
Gráfica 8. Índice morfométrico corazón. ....	40
Gráfica 9. Índice morfométrico bazo. ....	41
Gráfica 10. Índice morfométrico Bolsa de Fabricio. ....	42
Gráfica 11. Prueba de fitohemaglutinina.....	43

## 1. Resumen

El presente trabajo consistió en la evaluación de un promotor de crecimiento como una alternativa en el uso de antibióticos y otros promotores del crecimiento en la industria avícola mundial. Dentro del mismo experimento se utilizaron 66 pollos de estirpe Ross 308, entre hembras y machos, los cuales fueron divididos en diferentes corraletas, tratando de mantener un número estable y preservando la homogeneidad del grupo dentro de las instalaciones del Bioterio de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.

Se formaron dos grupos diferentes, los cuales llamaremos “Grupo control y Grupo Phytob”, se utilizaron tres repeticiones para cada uno, dividiéndolos en 11 pollos para cada una, al grupo control se le dio alimento comercial sin la aplicación de ningún aditivo adicional y al grupo Phytob, se le adicionó al alimento el producto comercial hecho a base de Fitobutirato y aceites esenciales de clavo y canela, el cual se adicionó a razón 500 g por tonelada de alimento.

Esto, con el propósito de evaluar los efectos del Fitobutirato sobre variables productivas del pollo, tales como: peso de las aves, consumo de alimento semanal, ganancia de peso e índice de conversión alimenticia, así mismo, se evaluó el efecto del Fitobutirato sobre el desarrollo de los órganos del aparato digestivo, órganos del sistema inmunológico, la integridad intestinal del pollo y el estatus inmunológico del pollo.

La duración del proyecto fue de 42 días (6 semanas) en las cuales se realizaron muestreos semanales para obtener las variables productivas correspondientes, además, al término de la tercer y sexta semana se realizaron los procedimientos complementarios para el análisis descrito con anterioridad.

El uso del Fitobutirato contribuyó a una mejora en las variables productivas, la inmunidad humoral de los pollos, aumentando el tamaño de los órganos de las aves y mejorando la absorción y aprovechamiento de los nutrientes de la dieta, presentando aves más saludables y pesadas al final del ciclo, lo cual aumenta la

ganancia del productor; por lo que se recomienda el uso del Fitobutirato como una alternativa al uso de antibióticos como promotores del crecimiento.

## **2. Introducción.**

### **2.1 Avicultura en México.**

En los últimos 10 años, la industria avícola ha registrado un incremento de producción superior al 26%, actualmente, este sector lleva a la mesa del país más de 6.67 millones de toneladas de productos avícolas, carne y huevo (SADER, 2022).

La producción de carne en canal de ave en México, tiene un aporte del 15.2% en la producción pecuaria y el consumo anual per cápita es de 35.5 kg. En los últimos diez años, fue la segunda con mayor aumento en el sector pecuario, registrando una tasa media anual de crecimiento de 3.1% en la producción de aves comerciales. En 2021, se tuvo una producción de 3 millones 669 mil toneladas, volumen 2.5% mayor al año anterior, resultando de un incremento de 2.0% en el inventario avícola. Al 31 de octubre de 2022, se obtuvieron 3 millones 115 mil toneladas, lo que representó un 82% de avance, comparado con la producción esperada para 2022. (SIAP, 2022)

Para el año 2023 se estima que haya un crecimiento del 1% comparado con el 2022. Esto se debe a que los costos de los granos no han aumentado mucho además del récord de apreciación del peso mexicano que favorecen bajos costos de producción. Este bajo incremento a la producción se debe principalmente a la recuperación del brote de influenza aviar de alta patogenicidad producido en 2022. (USDA, 2023)

Para el año 2024 el crecimiento de la producción está pronosticado en un 2% comparado con el 2023, esto debido principalmente al aumento en las medidas de bioseguridad para contener el brote de influenza aviar de alta patogenicidad, así como las mejoras genéticas del pollo de engorda. (USDA, 2023)

El crecimiento de la avicultura nacional se debe en esencia a los esfuerzos en la aplicación de las tecnologías que han brindado a los productores aportaciones en el conocimiento de la genética, la alimentación, manejo y sanidad de las explotaciones avícolas. Sin embargo, esta clase de manejo no garantiza el

crecimiento del sector en los próximos 30 años. El principal problema es la globalización, debido a que genera una serie de retos y dificultades que se tendrán que solventar de manera racional, en especial cuando hablamos de problemáticas particulares, como enfermedades y especificaciones del mercado. (Pérez Soto *et al*, 2004)

Se estima que las importaciones de carne de pollo aumenten en un 7% en comparación con el 2022 alcanzando las 975,000 millones de toneladas. Estados Unidos se mantiene como el mayor socio de la avicultura en México. Brasil representa el segundo socio comercial más importante para México. (USDA, 2023)

Las exportaciones en México representaron 5,000 millones de toneladas en 2023, 60% menos que en 2022. Ya que disminuyeron las embarcaciones a principios del 2023 a comparación del 2022 que aumento la demanda de exportaciones principalmente a Estados Unidos debido al impacto de la Influenza aviar. (USDA, 2023)

La avicultura mexicana, cada año consume casi 17 millones de toneladas de productos agrícolas, como granos forrajeros y pastas oleaginosas, creando un círculo virtuoso entre ganaderos y agricultores, contribuyendo al desarrollo del campo nacional. (SADER, 2022)

## **2.2 Perspectiva actual de la avicultura mexicana frente a la Influenza Aviar de Alta Patogenicidad.**

LA IAAP es una enfermedad viral que afecta principalmente a las aves de corral, además de diversas aves silvestres. Es un virus que se propaga rápidamente principalmente por la migración de aves acuáticas y puede matar al 90% y 100% de la parvada, ocasionando importantes pérdidas económicas para la industria avícola. (SENASICA, 2022)

La IAAP H7N3 fue identificada en el país en junio de 2012. Desde el 2012 y hasta julio de 2022, este virus se ha detectado en 15 estados más, siendo Jalisco el estado en el que se ha presentado con mayor frecuencia. La IAAP H5N1 no tenía registros

en México, fue detectado por primera vez en el país a mediados de octubre de 2022 y hasta diciembre se sacrificaron más de 5.82 millones de aves. (CPA, 2022)

### **2.3 La pandemia de COVID-19 frente a la avicultura mexicana.**

Durante la pandemia de COVID-19 todos los sistemas agrícolas de producción se vieron afectados, desde sectores pequeños, medianos, a gran escala y sistemas de producción de traspatio, dadas las diferentes medidas sanitarias instauradas por el gobierno como reducción de la movilidad, cuarentena de la población y las restricciones en las fronteras. Esto hizo que los sistemas de producción se vieran modificados, que se favoreciera el uso de la automatización de la producción y se fomentó el uso de las tecnologías y sistemas de reparto para hacer viable la producción (Lopez *et al*, 2021).

### **2.4 Perspectiva de la avicultura mundial.**

La producción mundial se espera que tenga un crecimiento del 1% mayor en 2024 alcanzando un récord de 103.3 millones de toneladas. La producción se centra en países como Estados Unidos y Brasil, así como en países de mediano desarrollo, por otro lado China presenta un declive en su producción. Brasil ha superado a China al convertirse en el segundo productor de carne de pollo en 2022 y continúa consolidando esta posición, esto se debe principalmente a los bajos costos de producción y de alimentos. Así mismo se espera que al reducir los costos en los alimentos la producción aumente tras la recuperación de la Influenza Aviar de Alta Patogenicidad que afectó a países como Argentina, Chile, Estados Unidos, Turquía, México y Sudáfrica (USDA, 2023).

**Tabla representativa del crecimiento de la producción agrícola mundial en 2018.**

<b>MERCADO MUNDIAL DE CARNE</b>			
	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>
	<b>millones de toneladas</b>		
<b>Balance mundial</b>			
<b>Producción</b>	<b>327.1</b>	<b>330.4</b>	<b>336.2</b>
Carne de res	69.7	70.8	72.1
Carne de pollo	119.2	120.5	122.5
Carne de cerdo	117.8	118.7	121.1
Carne de borrego	14.7	14.8	14.9
<b>Comercio</b>	<b>31.9</b>	<b>32.7</b>	<b>33.3</b>
Carne de res	9.7	10.2	10.6
Carne de pollo	12.7	13.1	13.3
Carne de cerdo	8.3	8.2	8.1
Carne de borrego	0.9	1	1

Tabla 1. Fuente: FAO, 2018.

## **2.5 El pollo moderno.**

La producción de aves de corral se desarrolló durante los pasados cincuenta años a partir de las pequeñas empresas familiares. Hoy día las empresas avícolas colocan anualmente millones de productos en el mercado. Con el advenimiento de un mercado común en la unión europea y la influencia de la organización del comercio mundial, los volúmenes significativos de productos ahora se negocian en forma global y por grandes empresas industriales que dependen de una compañía de crianza de estirpes particulares.

Cada compañía de crianza desarrolla una estirpe específica que posea características comercialmente deseables, el criador mejora la genética de una estirpe y genera parámetros óptimos que debe alcanzar dicha estirpe en condiciones de nutrición, densidad de población, medio ambiente físico o biológico adecuados. Con la generación de dichos parámetros, los criadores guían a las compañías industriales para aprovechar a la estirpe.

Según la Unión Nacional de Avicultores, las estirpes utilizadas para abastecer el mercado de carne de pollo en México son:

- Ross 45%
- Hybro 29%
- Cobb 17%
- Hubbard-isa 7%
- Isa-vedette 2% (Alonso, et al, 2014).

## **2.6 Uso de antibióticos en la industria avícola.**

No existe duda alguna de que los antibióticos han provisto un beneficio tremendo a la salud de las personas y de los animales durante los últimos 40 años, sus principales usos son terapéuticos en las personas y en animales son usados principalmente para la profilaxis y como promotores del crecimiento (Hinton, 1988).

La resistencia de los antibióticos está creciendo de forma exponencial, amenazando la salud humana y animal y afectando a todas las áreas de la salud e impactando al conjunto de la sociedad. Hoy existen ejemplos preocupantes de la transmisión de la resistencia entre gérmenes de los animales y del hombre y esto tiene particular interés si se considera el contacto entre ganaderos y veterinarios con los animales productores de alimentos (Arboix, 2016).

Se ha podido demostrar que el desarrollo de la resistencia está relacionado con la frecuencia y modo como se usan los antibióticos y esta puede propagarse rápidamente a través del intercambio del material genético entre diferentes especies de bacterias, y puede conducir a la ineficacia de muchas familias de antibióticos frente a una amplia gama de enfermedades infecciosas.

La resistencia proporciona a la bacteria una ventaja competitiva en términos de supervivencia cuando está presente el antibiótico, así la población natural sensible se inhibirá y la población “resistente” sobrevivirá y podrá reemplazar a la población original. Éste es el principio básico que explica la capacidad de los antibióticos para seleccionar bacterias resistentes.

Estas bacterias podrán: reducir la penetración del antibiótico en la célula bacteriana, expulsarlo cuando esta haya penetrado en la bacteria; inactivarlo mediante enzimas que los degraden, o modificando su diana para que el fármaco no pueda unirse a ella. Desafortunadamente los alimentos son uno de los vehículos para la transmisión de bacterias resistentes zoonóticas o no. Por esto mismo es indispensable que se aborde con precacución el uso de antimicrobianos en la producción de animales destinados al consumo alimenticio (Arboix, 2016).

Sin embargo, el uso de antibióticos en la alimentación animal otorga muchos beneficios. El uso de éstos aumenta la salud del animal y reduce la eliminación de ciertos patógenos, lo cual reduce los costos de producción para el animal y brinda beneficios económicos. Muchos de los costos que se ahorran debido al uso de antibióticos se ven reflejados en la conversión alimenticia, además si a esto le sumamos una buena genética animal y un sistema de producción tipo intensivo, obtendremos buenos rendimientos. Además, se observa una significativa mejoría en la reducción de días a venta, reduce la mortalidad, reduce la morbilidad, puede aumentar la pigmentación y mejora la calidad de los productos (Ferket, 2004)

Desafortunadamente hoy día se tiene la noción de que los niveles de resistencia a los antibióticos, indican que los niveles de resistencia a algunas infecciones bacterianas graves son elevados tanto en los países de ingresos altos como en los países de ingresos bajos. Gracias a esto, la Organización Mundial de la Salud (OMS) implementó el nuevo Sistema Mundial de Vigilancia de la Resistencia a los Antimicrobianos de la Organización denominado “GLASS” por sus siglas en inglés, este organismo ha revelado la presencia generalizada de resistencia a los antibióticos en muestras de 500,000 personas de 22 países en las que se sospechaban infecciones bacterianas.

Las bacterias resistentes más frecuentes son *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Staphylococcus aureus* y *Streptococcus pneumoniae*, seguidas de *Salmonella sp.* Afortunadamente la utilización del sistema GLASS ya está impulsando avances en muchos países (OMS, 2018).

Los antimicrobianos destinados a aves de producción, se administran mezclados con el alimento o disueltos en el agua de bebida. Entre las diferentes clases de fármacos hoy disponibles para avicultura, se incluyen:

- Tetraciclinas. Especialmente usados para enteritis e infecciones respiratorias.
- Aminoglucósidos. Utilizados para infecciones digestivas por Gram negativos.
- Fluoroquinolonas. Para infecciones digestivas en particular para *E. coli* y enfermedades respiratorias.
- Macrólidos. Utilizados frente a enteritis e infecciones respiratorias, en particular por clostridios y micoplasmas.
- Colistina. Para su uso en infecciones entéricas por *E. coli*.

Las características de cada fármaco son las que determinarán el antibiótico a seleccionar, aunque lo ideal es que se cuente con pruebas de antibiograma para determinar si su uso será el mejor respecto a otros fármacos (Arboix, 2016).

## **2.7 Alimentos funcionales.**

La nutrición ha ido evolucionando a pasos agigantados, antes las carencias nutricionales eran el centro de atención de la misma, sin embargo, la tendencia e ideología ha ido transformándose al punto de llegar al interés entre la relación de la alimentación y las enfermedades crónicas no transmisibles y los efectos de la nutrición sobre funciones inmunitarias, productivas y de rendimiento. La industria está encaminada a brindar de alimentos que contribuyan a la salud y el bienestar de los animales, en especial aquellos alimentos que ejercen una acción benéfica sobre algunos procesos fisiológicos. Estos alimentos, que promueven la salud, han sido denominados genéricamente como alimentos funcionales (AF) y las empresas que los producen presentan una rápida expansión mundial.

El centro de Información Internacional de Alimentos (IFIC) define a los alimentos funcionales como “aquellos productos a los cuales intencionalmente se les adiciona un compuesto específico para incrementar sus propiedades saludables” y define como alimentos saludables a aquellos que, en su estado natural o con un mínimo de procesamiento, tienen compuestos con propiedades beneficiosas a la salud. Por eso mismo sólo se consideran alimentos funcionales a los que se añaden directamente sobre la dieta y se excluyen aquellos que se presentan en forma de cápsulas, comprimidos u otras formas farmacéuticas (Araya, 2003).

Para la industria alimenticia el uso de estos aditivos se ha vuelto una constante, para darle ese plus a los alimentos, la industria comúnmente adiciona a sus productos prebióticos, los cuales son ingredientes no digestibles en la dieta, que producen efectos benéficos estimulando selectivamente el crecimiento y/o actividad de uno o más tipos de bacterias en el intestino grueso principalmente. Estos compuestos son fundamentalmente fructo y galacto oligosacáridos, los cuales son diferentes compuestos de origen vegetal (a partir de su citoesqueleto) que presentan como común denominador el estar constituidos por macromoléculas no digeribles, debido a que no es desdoblada por actividad enzimática, pero puede ser fermentada por diferentes bacterias (Blanco, 2002).

Para que una sustancia o grupo de sustancias pueda ser definida como alimento funcional, debe cumplir los requisitos siguientes:

- Ser de origen vegetal.
- Formar parte de un conjunto muy heterogéneo de moléculas complejas.
- No ser digerida por las enzimas digestivas.
- Ser parcialmente fermentada por bacterias en intestino grueso.
- Ser osmóticamente activa. (Blanco, 2002).

Por otro lado, la Organización Mundial de la Salud define a los probióticos como microorganismos vivos que, cuando se administran en cantidades adecuadas, confieren un beneficio a la salud animal. Los probióticos pueden formar parte de la composición de distintos tipos de productos, entre los que se incluyen alimentos y complementos de la dieta para formar alimentos funcionales.

Para que un microorganismo pueda ser calificado como probiótico debe cumplir diferentes requisitos los cuales incluyen:

- Estar correctamente identificado, se necesita saber específicamente qué tipo de bacteria es.
- Carecer de factores de virulencia y/o capacidad de producir metabolitos indeseables para el animal.
- Demostrar clínicamente que producen un efecto benéfico en el hospedador.
- Mostrar resistencia y tolerancia a las condiciones de su entorno donde ejercen su acción y mantenerse viables y activos.
- Estar en una cantidad suficiente para poder tener el efecto deseado.

La forma de actuar en el lumen intestinal puede ser variada, una de ellas se da mediante la interacción directa con la microbiota intestinal, ya que estos pueden inhibir la colonización de agentes patógenos, colonizando el epitelio intestinal, promoviendo la digestibilidad y absorción de ciertos nutrientes, mejorando la función de la barrera intestinal frente a agresiones externas y favorecen los procesos digestivos (Garrote, 2017).

## **2.8 Otros compuestos como alternativa para los antibióticos.**

Además de los probióticos y prebióticos que ya se mencionaron con anterioridad, existen otro tipo de compuestos que nos pueden ayudar a equilibrar la microbiota intestinal y brindarle salud al mismo, uno de ellos son los extractos de plantas, si bien la mayoría de los estudios se han llevado a cabo a nivel *in vitro*, últimamente se han realizado algunas investigaciones donde se desafían estos productos contra *Clostridium perfringes*, causante de la enteritis necrótica en pollos, usando extractos de plantas tales como timol, guayacol, cúrcuma y piperina, compuestos principales que se encuentran en la *Thymus vulgaris*, *Syzygium aromaticum*, *cúrcuma longa* y *Piper nigrum* (Griggs *et al*, 2005).

Se ha observado que el timol tiene la capacidad de inhibir el crecimiento de *S. typhimurium* cuando lo añadimos al medio y al alimento, así mismo se ha observado su capacidad para inhibir a *E. coli*. Por otro lado, el guayacol ha sido utilizado y

probado para la inhibición de *S. typhimurium*, también tiene cierta acción contra *E. coli*, aunque los estudios han arrojado que su efecto sucede *in vitro*, no se ha comprobado en animales vivos (Griggs *et al*, 2005).

El aceite esencial de orégano ha demostrado ser un potente inhibidor de *E. coli*, existe otro componente en el aceite de orégano llamado carvacol, el cual posee un efecto inhibidor menor al aceite completo. Estudios *in vitro* con aceite de pimienta negra han demostrado que posee efecto inhibidor contra *E. coli*, *Salmonella pullorum* y *Clostridium sporogenes* (Griggs *et al*, 2005).

Por último, el ajo es otra planta que ha demostrado tener efecto antimicrobiano *in vitro*, se ha demostrado su efecto inhibitorio contra *E. coli* y *Salmonella typhimurium* y aunque los estudios realizados se han hecho *in vitro*, es altamente probable que esta planta posea un efecto benéfico en los animales vivos. Sin embargo, parece que los diferentes estudios que se han realizado a este nivel, han presentado ciertas contradicciones unos con otros, debido a que no todas las aves han reaccionado de manera satisfactoria o bien han cambiado algunos componentes de los aceites esenciales en lugar de usarlos completos, a pesar de esto se considera que el ajo, orégano y el timol son la mejor opción para los avicultores en este sentido (Griggs *et al*, 2005).

Existen otros compuestos denominados ácidos orgánicos los cuales han sido estudiados como una herramienta para reducir la cantidad de bacterias no deseadas durante la producción avícola. En algunos estudios estos han sido añadidos al agua o bien al alimento. Diversos estudios han arrojado valiosa información acerca de su uso, en éstos, se han añadido a razón de 0.5 a 0.68% del total de la dieta, usando una combinación de ácido fórmico y ácido propiónico en la colonización intestinal de *Salmonella* añadida en la dieta. El estudio demostró que los pollos que recibieron esta combinación de ácidos orgánicos y la bacteria, presentaron una menor incidencia de colonización intestinal a diferencia de los pollos que recibieron una dieta control (Griggs *et al*, 2005).

El uso de ácido caproico produjo una importante reducción en la colonización de *Salmonella enteritidis* en el lumen de los ciegos de las aves. Sin embargo, es

importante saber controlar el uso de estos ácidos orgánicos, ya que se ha demostrado que si los utilizamos en dosis elevadas podemos inhibir la producción de diferentes ácidos que se producen de forma normal en el lumen intestinal, incluido el ácido láctico, ya que elimina a las bacterias que lo producen de forma normal, denudando el intestino de estas bacterias que consideramos benéficas para el organismo (Griggs *et al*, 2005).

Se han investigado los efectos de suplementar una mezcla de ácidos orgánicos adicionados en el agua de bebida y alimento contra la colonización de *Campylobacter*, los resultados demuestran que el efecto de los mismos en las bacterias es más hacia la inhibición en su crecimiento que a su colonización, además se demostró que los ácidos orgánicos tuvieron un mejor efecto que otros productos comerciales individuales como el ácido fórmico, acético y propiónico. (Griggs *et al*, 2005).

## **2.9 Ácidos grasos de cadena corta.**

Los ácidos grasos de cadena corta (AGCC) son ácidos monocarboxílicos con una cadena de uno a seis átomos de carbono saturados. Son los principales aniones del colon. En el tracto intestinal, se presentan como ácidos libres, siendo el producto final de la digestión microbiana de los carbohidratos. La contribución de los AGCC a los requerimientos del metabolismo basal de los animales monogástricos depende de factores como la concentración y las cantidades totales de los mismos, índices de producción y absorción y la capacidad relativa del segmento intestinal considerando el peso del cuerpo del individuo.

Los AGCC tienen diferentes funciones en el organismo y además de su papel energético, tienen la capacidad de intervenir en diversos procesos como el transporte de agua y electrolitos en el colon. Debido a su carácter hidrofílico, los ratios y mecanismos de absorción de estos ácidos son claramente diferenciables de los ácidos grasos de cadena larga liposolubles (Berruezo, 2011).

Existen un amplio número de AGCC en el organismo, de los cuales enumeramos los siguientes debido a que poseen mayor valor significativo y terapéutico.

**Tabla #1 ilustrativa de los diferentes AGCC.**

Nombre sistemático	Nombre común	Fórmula química	Designación abreviada
<b>Metanoico</b>	<b>fórmico</b>	<b>H—COOH</b>	<b>01:00:00</b>
<b>Etanoico</b>	<b>acético</b>	<b>CH<sub>3</sub>—COOH</b>	<b>02:00:00</b>
<b>Propanoico</b>	<b>Propiónico</b>	<b>CH<sub>3</sub>—CH<sub>2</sub>—COOH</b>	<b>03:00:00</b>
<b>Butanoico</b>	<b>Butírico</b>	<b>CH<sub>3</sub>—(CH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>—COOH</b>	<b>04:00:00</b>
<b>Isobutanoico</b>	<b>Isobutírico</b>	<b>CH<sub>3</sub>—CH—COOH</b>  <b>CH<sub>3</sub></b>	<b>i4:0</b>
<b>Pentanoico</b>	<b>Belérico</b>	<b>CH<sub>3</sub>—(CH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>—COOH</b>	<b>05:00:00</b>
<b>isopentanoico</b>	<b>Isovalérico</b>	<b>CH<sub>3</sub>—CH—CH<sub>2</sub>—COOH</b>  <b>CH<sub>3</sub></b>	<b>15:0</b>
<b>Hexanoico</b>	<b>caproico</b>	<b>CH<sub>3</sub>—(CH<sub>2</sub>)<sub>4</sub>—COOH</b>	<b>06:00:00</b>

Tabla 1. Fuente: Berruezo, 2011.

El ciego es considerado el órgano con mayor actividad fermentativa de origen microbiano en el aparato gastrointestinal de las aves, el ácido butírico, butirato o ácido butanóico, es un ácido graso de cadena corta, el cual es un bioproducto de la fermentación microbiana de carbohidratos tales como los polisacáridos en el intestino grueso, este ácido graso tiene diversas funciones en el intestino, la principal es ayudando a la salud del mismo y se ha visto que en humanos y animales, tiene la capacidad de reducir de forma significativa la incidencia de cáncer de colon. Debido a las condiciones de su producción y metabolismo, la producción de butirato in vivo es muy complicada de realizar, ya que este es rápidamente absorbido particularmente en las primeras porciones del intestino delgado. Estudios

recientes han demostrado que puede poseer un mejor efecto si se encapsula y se logra que llegue a su órgano blanco (Waguespack *et al*, 2015).

El butirato es la fuente de energía preferida en la mucosa del colon y como se ha comentado, brinda protección contra colitis y cáncer colorectal, aproximadamente un 95% del butirato producido por las bacterias colónicas se transporta a través del epitelio, aunque las concentraciones en sangre usualmente son indetectables debido a su rápida utilización. Además de su función como un combustible, también puede influir en la expresión de genes, principalmente a través de su acción como un inhibidor no competitivo de la desacetilación de las histonas y promoviendo la hiperacetilación de la cromatina. Además, el butirato posee efecto antiinflamatorio resultado de la inhibición de la activación de la transcripción del factor NF- $\kappa$ B y su subsecuente reducción en la formación de citocinas proinflamatorias. Estudios recientes han sido dedicados a evaluar los efectos del butirato en la expresión genética, a diferentes concentraciones, el ácido butírico tiene la capacidad de inhibir el crecimiento o de promover la diferenciación de células en el tejido y puede inducir la apoptosis de células tumorales (Pryde *et al*, 2002).

Como ya se mencionó la producción del butirato en animales vivos se realiza principalmente en el ciego, existen diferentes géneros de bacterias en la microbiota intestinal encargadas de la producción del mismo, tales como *Clostridium*, *Eubacterium* y *Fusobacterium*. Estas bacterias tienen relación entre ellas ya que su secuencia de RNA es muy parecida entre sí, además de su capacidad de amplificar su secuencia ribosomal. Se ha investigado la producción del butirato *in vivo* y se ha encontrado que 11 diferentes especies de *Eubacterium* son capaces de producirlo, aunque se encuentren en muy pocas concentraciones en las heces, dentro de la tipificación molecular de las bacterias, se ha encontrado que existen diferentes especies que poseen el 16S rRNA, el cual es el encargado de la producción del butirato, por ejemplo, *Roseburia intestinalis* produce altos niveles de butirato *in vitro*. *Faecalibacterium prausnitzii* es otra bacteria que se ha demostrado tiene la capacidad de producir butirato y que se encuentra en altas concentraciones en las heces. Por último, las bacterias de las que más se tiene conocimiento de la

producción de butirato, son los clostridios, de los que se incluyen los I, IV, XIVa y XVI debido a que estos también poseen el 16S rRNA.

La síntesis de butirato depende de un ambiente de anaerobiosis, el butirato es formado a partir de dos moléculas de acetil CoA modificadas a acetoacetil CoA; gracias a la L(+)- $\beta$ -hydroxybutyryl CoA y al crotonyl CoA, se forma el butiril CoA, que posteriormente se le adicionará el acetato proveniente del medio exógeno para derivar en acetil CoA y butirato (Pryde *et al*, 2002).

Sin embargo, a causa de variadas entidades clínicas se puede ver deteriorada la capacidad del epitelio intestinal para aprovechar los ácidos grasos de cadena corta como fuente de energía. Estas situaciones se dan durante enfermedades o terapias en las cuales se deteriora la microbiota intestinal y, por tanto, se ven mermadas sus funciones, entre ellas la producción de AGCC por fermentación de la fibra dietética. También pudiera ocurrir que la situación del animal requiera adicionar una dieta baja en fibra, lo cual interferiría con la producción de los AGCC, siendo los siguientes acontecimientos los más relevantes.

- Tratamiento con antibióticos.
- Procedimientos radioterapéuticos.
- Dietas especiales con bajo o nulo contenido de fibra dietética. (Manrique, 2017).

### **2.9.1 Rol de los ácidos grasos de cadena corta en la inmunidad.**

No se ha investigado mucho la forma en la que el ácido butírico afecta la inmunidad en el pollo de engorda. Los péptidos de defensa del hospedador (HDPs) por sus siglas en inglés, mejor conocidos como péptidos antimicrobianos, existen en todas las formas de vida y forman parte de la inmunidad innata, estos fungen como antimicrobianos contra bacterias, virus envueltos, hongos y protozoarios lisando sus membranas. Se han visto reportes en los que el butirato tiene la función de inducir la expresión genética de HDP en los macrófagos, monocitos, células germinadoras en médula ósea y en las células del yeyuno y del ciego (Ahsan *et al*, 2016).

Además, se ha demostrado que el butirato mejora el efecto antimicrobiano de los monocitos y reduce la colonización de *Salmonella sp*, así como la colonización y crecimiento de *S. enteritidis* (Ahsan *et al*, 2016).

El butirato funciona como un agente antiinflamatorio, principalmente mediante la inhibición nuclear del factor de activación de  $\kappa$ B (NF- $\kappa$ B) en el epitelio intestinal, que a su vez resulta en la inhibición del HDAC. El NF- $\kappa$ B regula varios genes encargados en la respuesta inflamatoria inmunológica, incluidos la IL-1b, TNF-a, IL-2, IL-6, IL-8, IL-12, sintasa inducible de óxido nítrico (iNOS), ciclooxigenasa-2 (COX-2), molécula de adhesión intercelular-1 (ICAM-1), molécula de adhesión celular vascular-1 (VCAM-1), receptor-a de las células T (TRC-a) y las moléculas MHC clase II. La actividad de la NF- $\kappa$ B en pacientes con cáncer de colon, en enfermedades inflamatorias del intestino y en colitis ulcerativa, se encuentra descontrolada.

Por lo cual el uso del butirato en pacientes con este tipo de afecciones, reduce la expresión de citosinas proinflamatorias, también tiene efecto en el receptor proliferador activado de perixisoma  $\gamma$  (PPARY) un receptor que se encuentra muy aumentado en las células del epitelio intestinal. También posee efecto en la señalización de la IFNY (Berni *et al*, 2001)

El butirato puede actuar en las células del sistema inmunológico a través de los receptores específicos de proteína-G-acoplados (GPRs) los cuales se encuentran

expresados en estas células, incluidos los polimorfonucleares, lo cual sugiere que el butirato puede estar relacionado a la activación de los leucocitos.

### **2.10 Efecto del butirato en los enlaces epiteliales.**

La función normal del intestino, depende del establecimiento y el mantenimiento de la barrera de la mucosa intestinal, la cual está formada por una monocapa de células epiteliales. La barrera intestinal no está formada en su totalidad al nacimiento, se ha demostrado que el crecimiento y maduración de la barrera intestinal ocurre al mismo tiempo que se incrementa o varía el consumo de diferentes alimentos y la colonización de la microbiota normal.

Se ha demostrado en estudios *in vitro* con células Caco-2 crecidas en un sistema trans-well, que el butirato en concentraciones fisiológicas, puede incrementar la funcionalidad de la barrera intestinal aumentando la resistencia eléctrica transepitelial y decreciendo la permeabilidad de la inulina. Otro aspecto importante en la función del intestino, son las uniones intercelulares y el butirato tiene la capacidad de regular a las proteínas de unión, ya que promueve la activación de la quinasa de AMP-activada. el AMP puede transformarse en AMPK el cual funciona como combustible para las células, el cual puede regular las vías metabólicas de la glucosa y de la producción de ácidos grasos (Peng *et al*, 2015)

En lo que a las uniones intercelulares refiere, también se ha demostrado que el butirato posee efecto al controlar la expresión de proteínas que colaboran en el buen funcionamiento de las mismas, ya que estas uniones constituyen la última línea de defensa del intestino, el butirato tiene la capacidad de estimular la expresión de Claudinas, las cuales mejoran las uniones intercelulares (Hong-Bo *et al*, 2012).

### **2.11 Variables productivas.**

Las variables productivas se encuentran dentro de los sistemas de registro, los cuales son un conjunto de actividades que se realizan en la avicultura para recabar los datos de una parvada, con el propósito de prevenir y controlar problemas, mediante la evaluación parcial o total de los resultados obtenidos en relación con el comportamiento de la parvada en las diferentes etapas de su crecimiento.

El fin principal de estos registros, es proporcionar al técnico o dueño de la explotación, información clara y completa en la forma más resumida. La confiabilidad y el significado de los datos que se proporcionan son básicos, de manera que un dato erróneo puede conducir a conclusiones peligrosas (Quintana, 2011).

Las variables que se evalúan en este proyecto son las siguientes:

- Peso de las aves
- Consumo de alimento semanal
- Ganancia de peso: (peso actual – Peso de la semana anterior).
- Índice de conversión alimenticia: (Conversión alimenticia/ Ganancia de peso) (Quintana, 2011).

## **2.12 Índice morfométrico en aves.**

Tanto el índice morfométrico como la alometría se refieren a la velocidad y al tamaño de crecimiento relativo que posee una estructura biológica respecto a otras o al organismo total. El índice morfométrico da cuenta de los cambios de conformación que derivan del cambio de tamaño; de tal manera que la conformación es dependiente del tamaño.

Klingerberg (1996) menciona que existen tres clases de alometría: estática, ontogénica y evolutiva. La primera es el resultado de las dos últimas; se evalúa en individuos adultos pertenecientes al mismo grupo, La segunda refiere a las diferencias de conformación que se van presentando a medida que el embrión crece hasta ser adulto. La tercera comprende las diferencias de conformación morfológica que resultan de los diferentes modos de crecer que tienen los grupos con diferentes historias evolutivas.

Conociendo la alometría o índice morfométrico de los órganos es importante examinar si la variación de la conformación dentro de los grupos tiene la misma relación con la variable de tamaño; es decir, si los grupos presentan el mismo modo de crecer. Para ello, se hace un análisis multivariado de covarianzas de dos vías,

empleando los grupos y el tamaño centroide como variables independientes; mientras que las variables de conformación son dependientes.

### **2.13 Generalidades de *Escherichia coli***

*Escherichia coli* es un bacilo Gram negativo, anaerobio facultativo de la familia *Enterobacteriaceae*, la cual está formada por más de 20 géneros bacterianos, aproximadamente 120 especies y miles de serotipos (Molina, 2019) y de la familia *Enterobacteriaceae*.

El tamaño promedio de los bacilos es de 0.5 $\mu$  de ancho por 3 $\mu$  de largo, usando la tinción de Gram se tiñen de un color rojo. Además, algunas especies son móviles debido a flagelos peritricos, no esporuladas, fermentan la glucosa y la lactosa, son catalasa positivos, oxidasa negativos y reducen nitratos a nitritos. El género *Escherichia* incluye siete especies *E. adecarboxylata*, *E. alberti*, *E. blattae*, *E. fergusonii*, *E. hermannii*, *E. vulneris* y *E. coli* (Molina, 2019)

Para determinar el grupo patógeno al que pertenecen se desarrolló un esquema de serotipificación que continuamente varía y que actualmente tiene 176 antígenos somáticos (O), 112 flagelares (H) y 60 capsulares (K). el antígeno "O" es el responsable del serogrupo; la determinación del antígeno somático y flagelar (O:H) indica el serotipo, el cual en ocasiones se asocia con un cuadro clínico en particular.

Esta bacteria coloniza el intestino de los animales generalmente de sangre caliente pocas horas después del nacimiento y es una de las bacterias que más comúnmente se encuentran en la superficie del cascarón del huevo, se considera un microorganismo parte de la microbiota normal, pero existen diferentes cepas que pueden ser patógenas y causar daño produciendo cuadros clínicos muy diversos, entre ellos el más frecuente es la diarrea (Rodríguez, 2002)

*E. coli* es la especie bacteriana más abundante del microbioma intestinal, aunque es raro encontrar cepas comensales asociadas a enfermedad, existen muchos serotipos agrupados en tres síndromes clínicos (Iguchi, et al., 2009) *E. coli* y otras

bacterias son necesarias para el correcto funcionamiento del proceso digestivo, además de ser responsables de la producción de vitaminas B y K.

Dependiendo del síndrome que producen también se clasifica a *E. coli* como: Enterotoxigénica, enterohemorrágica, enteroagregativa, enteroinvasiva y enteropatogénica (Nataro, 1998)

#### **2.14 *Escherichia coli* enteroinvasiva (EIEC).**

La infección se produce cuando la bacteria entra por vía oral, tiene la capacidad de resistir el pH ácido del estómago, pasa por el intestino delgado hasta que se establece en el colon, produciendo un fuerte proceso inflamatorio, al mismo tiempo la bacteria tiene la capacidad de atravesar diferentes tipos celulares; las primeras células en afectarse son las células M, las cuales van a llegar a los folículos linfoides, en el subepitelio, la bacteria es rápidamente fagocitada por macrófagos, las cuales resisten el fagolisosoma e inducen la apoptosis de los macrófagos liberando citosinas que provocan severa inflamación en el colon, una vez liberada la bacteria, se internaliza en las células epiteliales mediante el uso de integrinas, al destruir estas y otras células epiteliales, existe la liberación de citosinas como la IL-6 y IL-8, gracias a esto se atraen células polimorfonucleares como los neutrófilos para agravar la inflamación.

La EIEC presenta un periodo de incubación de 1-7 días, siendo el promedio a los 3 días, como signología se presenta dolor abdominal severo, tenesmos y diarrea serosecretoria con trazas de sangre, se presenta fiebre en algunos pacientes y las bacterias se eliminan en heces principalmente. La diarrea en la mayoría de los casos cursa desde una diarrea acuosa hasta disentería, cuando se presenta la disentería es sinónimo de una internalización severa de bacterias al epitelio del colon.

En la mayoría de los casos la infección de EIEC se produce al tener contacto con heces de animales enfermos, para que se produzca la enfermedad se necesitan aproximadamente 200 UFC, las moscas suelen ser uno de los vectores más importantes para la transmisión de la misma, aunque los fómites representan un

foco muy fuerte de infección, esto debido a las pobres medidas de bioseguridad en muchas granjas (Donnenberg, 2002).

### **2.15 Prueba de fitohemaglutinina en aves.**

La prueba de fitohemaglutinina aviar es considerada como una prueba cutánea de hipersensibilidad (CBH), que se desarrolla mediante la aplicación intradérmica de la fitohemaglutinina (PHA), esta prueba es un buen método para evaluar la respuesta inmunológica mediada por células en pollos vivos. En pollos existen diferentes vías donde se puede realizar la prueba, ya sea en la piel torácica, la piel cercana a la oreja, la piel del ala y la más común es la membrana interdigital. En pollos no se presenta una buena reacción a la fitohemaglutinina antes de las dos semanas de edad, es por eso que los pollos deben ser mayores, el sitio de elección favorito para realizar esta prueba es en la membrana interdigital del dedo 3 y 4 de la pata derecha ya que la piel es más gruesa comparada con la de las zonas mencionadas con anterioridad que es demasiado delgada y no permite que se pueda aplicar la fitohemaglutinina de forma eficiente (Corrier, 1989).

Al aplicar la fitohemaglutinina en la membrana interdigital de la pata derecha, se inoculan entre 100 y 200  $\mu$  dependiendo el investigador, muchos de ellos suelen aplicar solución salina fisiológica en la membrana interdigital de la pata izquierda para que sirva como control, la cual debe de desinflamar pronto, de no ser así no será fiable la prueba de fitohemaglutinina, posterior a su aplicación se realizarán diferentes mediciones del grosor de la reacción intradérmica, se realizan frecuentemente a las 24, 48 y 72 horas posterior a la aplicación de la misma, siendo las 24 y 48 horas las más representativas del estudio, donde encontraremos la mayor hinchazón, mientras más inflamado se perciba el tejido, se puede considerar como una mejor respuesta inmune mediada principalmente por Células T (Corrier y Deloach, 1989).

### **3. JUSTIFICACIÓN**

Se han usado desde la década de los 40 una serie de alimentos denominados como funcionales, que tienen la finalidad de mejorar el aprovechamiento de los nutrientes que proporcionan los alimentos balanceados y la función de la microbiota intestinal, reportándose en diversos estudios un aumento en la ganancia de peso un 5% mayor al esperado sin el uso de alimentos funcionales. Los ácidos orgánicos se han utilizado en la alimentación animal con éxito, pero al mismo tiempo presentan limitaciones, por lo que han surgido nuevos productos a base de butirato y/o a base de aceites esenciales los cuales se han utilizado de manera individual, pero no en combinación. Por lo que el uso en conjunto podría mostrar un mayor beneficio en la salud animal, productividad e inocuidad en la producción del pollo de engorda, ya que es una alternativa para no utilizar promotores de crecimiento a base de antibióticos, evitando resistencia bacteriana. Por lo que es importante evaluar y valorar el impacto de la combinación de productos a base de butiratos y aceites esenciales sobre el desempeño productivo y salud animal en el pollo de engorda.

### **4. HIPÓTESIS**

La adición de un producto a base de un fitobutirato, hecho a partir de monobutirina, combinado con aceites esenciales de clavo y canela, adicionados en el alimento para pollos de engorda, mejorará el desempeño productivo.

### **5. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el efecto sobre las variables productivas, desarrollo de órganos y respuesta inmune en pollos de engorda, al usar un alimento funcional a base de fitobutirato y aceites esenciales de clavo y canela (FCC) y otros ácidos orgánicos.

## **6. OBJETIVOS PARTICULARES**

- Evaluar el efecto del FCC sobre variables de producción en el pollo de engorda.
- Evaluar el efecto del FCC sobre el desarrollo de órganos linfoides y digestivos en pollos de engorda.
- Evaluar el efecto del FCC sobre la respuesta inmune celular en pollos de engorda.

## **7. MATERIALES Y MÉTODOS.**

### **7.1 Ubicación.**

El presente trabajo fue realizado en el bioterio de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, la cual se encuentra ubicada en el km. 2.5 de la carretera Cuautitlán – Teoloyucan, perteneciente al municipio de Cuautitlán Izcalli, Estado de México; el cual se sitúa a 2252 msnm, con latitud Norte de 19°, 41´. 35" y longitud Oeste de 90°,11",42", que presenta condiciones de clima templado subhúmedo, con temperatura media anual de 15.03° C, humedad relativa media anual de 66%, precipitación pluvial anual de 630.45 mm. Presión atmosférica de 585 mm/Hg y el viento dominante proviene del Noreste.

Las aves estuvieron alojadas en una sala del bioterio de 4X4 metros, las paredes del lugar cuentan con una altura de cinco metros hechas de ladrillo rojo y forradas con un vinil (pintura epóxica), la cual facilita su limpieza

Dentro de la sala se instalaron 3 líneas de corraletas divididas en tres cada una, con una dimensión por corraleta de 82.5 centímetros de largo por 55 cm de ancho, y una línea contó con 80 cm de largo y 55 cm de ancho por corraleta, cada una fue hecha con paneles CHICKFENCE® especiales para aves, además, se acondicionaron tres pasillos que fueron distribuidas de la siguiente forma.

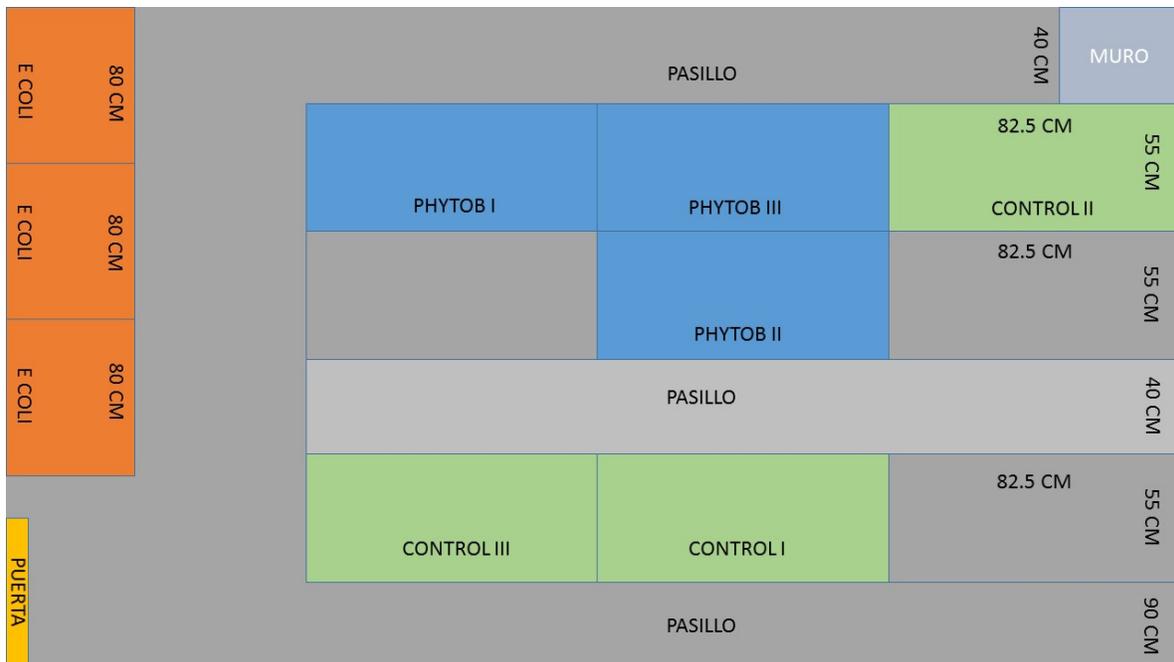


Figura 1. Distribución de corraletas.

Se realizó la instalación eléctrica para poder conectar focos regular la temperatura según la edad del pollito. En el piso se les preparó una cama de paja que cubría en su totalidad el área de la corraleta, con un grosor de 10 a 15 cm.

Se instaló a la entrada un tapete sanitario que contenía agua clorada al 10%, así mismo en lugares aleatorios de la sala se instalaron tres termómetros.

## 7.2 Equipo utilizado:

- 8 bebederos tipo vitrolero de llenado manual.
- 8 comederos a piso manual.
- 56 paneles para corraletas de pollo de engorda de 50 cm de largo por 40 cm de alto.
- 1 paca de avena para la cama.
- Plástico para el piso de 4 x 5 m.
- Báscula digital con capacidad de 3 kg. Para el pesaje de las aves.
- Báscula digital con capacidad de 20 kg. Para pesaje de las aves y del alimento.
- 14 focos térmicos.

- 3 termómetros con registro de temperatura máxima y mínima.
- Implementos de limpieza variados.

### **7.3 Diseño experimental.**

Se utilizaron 66 pollos de 1 día de nacidos, estirpe Ross 308, los cuales son consideradas aves pesadas de plumaje blanco y de buena resistencia con una alta ganancia de peso, poseen buena rentabilidad según la empresa Aviagen (Ross broiler handbook, 2014).

Para el experimento se utilizó un grupo control y un grupo con tratamiento (Phytob) de cada grupo se realizaron tres repeticiones.

- Grupo control: Dieta con producto comercial sin adición de tratamientos, antibióticos, desparasitantes, promotores de crecimiento, etc.
- Grupo Phytob: Dieta adicionada con producto comercial Phytobutirato a razón de 500 g/tonelada de alimento (recomendación del fabricante).

Los pollos se recibieron de un día de nacidos, presentaron un peso promedio de 55 g y fueron distribuidos aleatoriamente en las corraletas.

Las actividades diarias, correspondían al chequeo general de las aves, se monitoreaba la temperatura, la cantidad de agua y alimento, que se registraba en una bitácora. Si se encontraba mortalidad se retiraba de las corraletas y se realizaba de inmediato la necropsia para determinar la causa de muerte.

Cada semana se realizaban actividades mayores como la obtención del consumo semanal, el cual se obtiene mediante la diferencia entre lo que se les había suministrado y lo no consumido, se pesaba a cada pollito para evaluar la ganancia de peso, se evaluaba la integridad de la parvada y se realizaban las actividades diarias comunes.

La primera semana se realizó la vacunación contra Newcastle con la cepa Lasota y B1 aplicando una gota del inóculo en el ojo; durante los primeros días posteriores a

la inoculación de la vacuna se incrementó la frecuencia de los chequeos y de los cuidados para evitar que presentaran alguna enfermedad posterior.

A la segunda semana se realizó la revacunación contra Newcastle utilizando la misma cepa y vía e igualmente se observó el estado general de la parvada los días posteriores.

Entre la tercer y la cuarta semana, a los 20 y 22 días de edad se realizó la inoculación en dos días diferentes de *Escherichia coli* enteroinvasiva, Se utilizó un pollo de cada corraleta.

Se evaluó la respuesta inmune celular utilizando una técnica de intradermorreacción utilizando fitohemaglutinina, la cual consiste en la inoculación de la misma mediante una inyección en la membrana interdigital del dedo 2 y 3 de la pata derecha, posteriormente se evaluó el crecimiento de la misma con un vernier para determinar la intensidad de la respuesta inmunológica. (Corrier, 1990)

A la tercera y sexta semana de edad se tomaron dos pollos de cada corraleta, para realizar diferentes pruebas, se obtuvieron muestras de sangre, se realizó la eutanasia de los mismos para efectuar la necropsia y tomar muestras de hígado, bazo, bolsa de Fabricio, proventrículo, molleja, intestino y corazón, además se realizó el pesaje del alimento y de los pollos para evaluar las variables productivas

Terminado el procedimiento se hizo la disposición de las muestras conforme lo dicta la NOM-087-ECOL-SSA1-2002.

#### **7.4 Variables productivas.**

El peso y consumo de alimento se evaluaron semanalmente. Pesando las aves de forma individual. Para obtener el consumo semanal y el índice de conversión alimenticia se utilizaron las siguientes fórmulas:

CS= alimento proporcionado – alimento consumido

IC= ganancia de peso – consumo de alimento

### **7.5 Inoculación *E. coli* enteroinvasiva.**

Para la inoculación de la cepa de *E. coli* enteroinvasiva, se utilizó el producto comercial de BD BBL CHROMagar, el cual viene preparado en un medio de cultivo que contiene Trypticaseína Soya a una concentración de  $10^8$  ó 0.5 en escala de Mc Farland. La cual fue donada por el Dr. Guillermo Valdivia del laboratorio L3 de la Unidad de Investigación Multidisciplinaria de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, la identificación de la cepa es EDI 77.

Para la inoculación de la cepa de *E. Coli* enteroinvasiva se seleccionó un pollo de manera aleatoria de cada tratamiento, se preparó el inóculo guardando la mayor esterilidad posible, una vez homogenizado el inóculo, se procedió a cargar 1 ml del mismo en una jeringa desechable de 3 ml a la cual se le acondicionó una sonda 8F de alimentación para cachorros, se introdujo a través de la cavidad oral, llegando a esófago, y depositando el contenido en la ingluvia el cual dio una totalidad de  $1 \times 10^8$  UFC.

La inoculación de las aves se llevó a cabo a la tercera semana de edad de las mismas, al momento de inocular se separaron de corraleta y se repitió el procedimiento durante tres días seguidos, posterior a estos días se mantuvieron en observación constante para denotar signos de enfermedad.

### **7.6 Índice morfométrico.**

Para evaluar el índice morfométrico, se tiene que considerar el desarrollo de diferentes órganos como el bazo, hígado, proventrículo, molleja, bolsa de Fabricio, corazón e intestino, para esto, se realizó la toma de muestras obteniendo tres aves de cada grupo, las cuales fueron identificadas como el grupo Phyto, control y Phyto y control inoculados con *E. coli*, una vez seleccionadas las aves de forma aleatoria se procedió a realizar la eutanasia como lo describe la NOM-087-ECOL-SSA1-2002.

Una vez efectuada se continuó realizando la extracción de los órganos antes mencionados, los cuales eran disecados usando instrumental quirúrgico para garantizar que el corte fuera limpio y correcto, ya extraído cada órgano se depositó en un contenedor adecuado a su tamaño, posterior a esto se pesó cada uno en una balanza electrónica de precisión. Posterior al registro de los resultados, se calculó el índice morfométrico de cada órgano, para esto se utilizó la metodología descrita por Perozo (2004),  $x = \frac{\text{peso del órgano}}{\text{peso del ave}} \times 1000$ , el valor resultante de la fórmula indica qué porcentaje representa el órgano respecto al cuerpo.

### **7.7 Inmunidad celular.**

Para la evaluación de la respuesta inmune celular se realizó la comparación de la hipersensibilidad cutánea inducida por fitohemaglutinina, se utilizó la metodología descrita por Corrier (1989), la cual sugiere que se inoculen 50 ó 100 µg de fitohemaglutinina-P mediante una inyección intradérmica en la membrana interdigital del tercer y cuarto dígito de la pata derecha. Posterior a esto se producirá una reacción de hipersensibilidad basófila, se determinará el grosor de la misma utilizando un vernier a las 24, 48 y 72 horas.

Para efecto de este estudio se tomaron cuatro aves, dos aves por tratamiento, a una ave de cada tratamiento se le inoculó la cepa de *E. coli* descrita con anterioridad para tener un control de su sistema inmune, se le inocularon 50µg de fitohemaglutinina por igual, se introdujeron a sus corraletas y se hicieron las mediciones de la respuesta inflamatoria a las 24, 48 y 72 horas, los datos se registraron y se compararon con los obtenidos con las demás aves.

## 8. Resultados y discusiones.

### 8.1 Variables productivas.

#### 8.1.1 Pesos semanales.

El peso promedio de los pollos que recibieron el alimento adicionado con el Fitobutirato fue mayor al de los pollos del tratamiento control ( $p < 0.05$ ). La variación se percibió a partir de la primera semana de tratamiento finalizando a las seis semanas resultando en un peso final promedio de 2.028 kg para el grupo control y 2.141 kg para el grupo Phyto.



Gráfica 1. Peso semanal promedio de las aves por tratamiento

Literales diferentes indican diferencia estadística ( $p < 0.05$ ).

De los resultados de pesos semanales se encontró una mejoría con el uso del producto, sin embargo, comparando con el manual de la estirpe Ross no se alcanzó el peso deseado a las seis semanas, el cual corresponde a 2.920 kg, contra los 2.028 y 2.141 kg promedio del grupo control y el grupo Phyto respectivamente. Esto se debe a que la casa comercial ROSS cría las aves en casetas de ambiente controlado diferente a las condiciones llevadas en este estudio.

Por otro lado, investigadores como Adil *et al.* (2011) obtuvieron datos similares a los presentados en este trabajo, se utilizaron diferentes grupos, un grupo control que

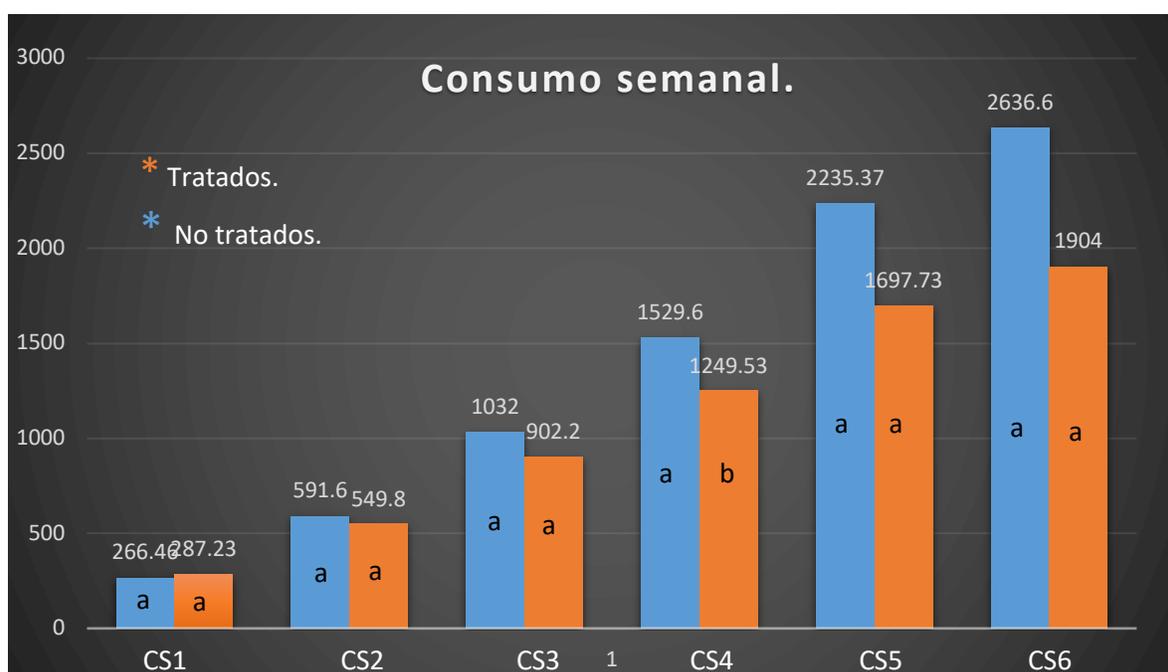
obtuvo 1.116 kg de peso a las 6 semanas de edad, y tres grupos a los cuales se les adicionaron dietas con ácido butírico, ácido fumárico y ácido láctico al 3%, obteniendo pesos de 1.221 kg, 1.353 kg y 1.220 respectivamente, los valores obtenidos de peso con las dietas especiales no mostraron diferencia significativa entre ellos pero si contra el grupo control, lo cual indica que la adición de ácidos grasos mejoró el peso. Del mismo modo Banday, (2011) reprodujeron un estudio similar en el que manejaban dietas adicionadas al 2 y 3% con ácido butírico, ácido fumárico y ácido láctico, demostrando que no hubo mucha diferencia entre ellos, pero si contra el grupo control, ya que este alcanzó el peso a las 6 semanas de 1.525 kg, contra los 1.666 kg del grupo con ácido butírico, 1.704 kg del grupo de ácido fumárico y 1.673 kg del grupo del ácido láctico, todos a concentración del 3%.

Sin embargo, Antongiovanni (2007) utilizó una combinación de ácido butírico con aceite de soya realizando cinco repeticiones, el grupo control obtuvo un peso de 2.870 kg a los 35 días, aunque a los grupos 2 y 4 se les añadió 3.5 y 10 g/kg respectivamente de ácido butírico y aceite de soya obtuvieron pesos inferiores al grupo control siendo de 2.817 y 2.816 kg respectivamente, por lo que se demuestra que aunque se añada más ácido butírico no garantiza mayor crecimiento de los pollos, cabe señalar que los grupos 2 y 4 presentaron una mayor cantidad de grasa corporal a la necropsia. Así mismo Denli et al. (2003) realizaron un experimento similar al de este trabajo y el comportamiento productivo de los pollos fue muy parecido, el grupo control obtuvo un peso de 2.487 a los 42 días de edad, sin embargo, el grupo 6 al que se le añadió 0.15% de flavomicina como antibiótico y un producto comercial con un preparado de ácido butírico, sales minerales y extractos de plantas, alcanzó un peso de 2.670 kg, denotando que la combinación de antibióticos con los ácidos orgánicos si es posible.

### 8.1.2 Consumo semanal.

En la Gráfica 2, se puede observar cual fue el comportamiento del consumo semanal de alimento del tratamiento Control y Phytob.

El consumo promedio de los pollos que recibieron el alimento adicionado con el Fitobutirato fue estadísticamente menor al del grupo control ( $p > 0.05$ ). A partir de la segunda semana se percibió un consumo semanal menor del grupo Phytob, respecto al grupo control.



Gráfica 2. Consumo promedio semanal de alimento (gramos) del tratamiento Control y Phytob.

Literales diferentes indican diferencia estadística ( $p < 0.05$ ).

En el análisis del consumo semanal se demostró diferencia estadística significativa ( $p < 0.05$ ) si comparamos los pollos del grupo control contra los pollos del grupo Phytob, demostrando que el grupo Phytob tuvo un menos consumo semanal contra el grupo control.

De los resultados de los consumos semanales se demostró que hubo una mejora del grupo Phytob respecto al control, lo cual coincide con los datos publicados por

Hu y Guo (2006), quienes realizaron un experimento similar al presentado en este trabajo, ellos tuvieron cuatro grupos diferentes, el grupo control obtuvo un consumo semanal promedio a los 42 días de 3.24 kg. Por otro lado, los grupos a los que se les adicionaron 500, 1000 y 2000 mg/kg de ácido butírico en sus alimentos obtuvieron consumos semanales a los 42 días de 3.28, 3.19 y 3.26 kg de alimento respectivamente, siendo estadísticamente similares e incluso el tratamiento 2 tuvo un menor consumo semanal como lo reportado en este trabajo.

Así mismo en un trabajo realizado por Adil *et al.* (2010), de los 6 grupos experimentales que trabajaron, se encontró que 4 de ellos presentaron un menor consumo semanal respecto al grupo control y los grupos restantes no demostraron diferencia estadística respecto al grupo control.

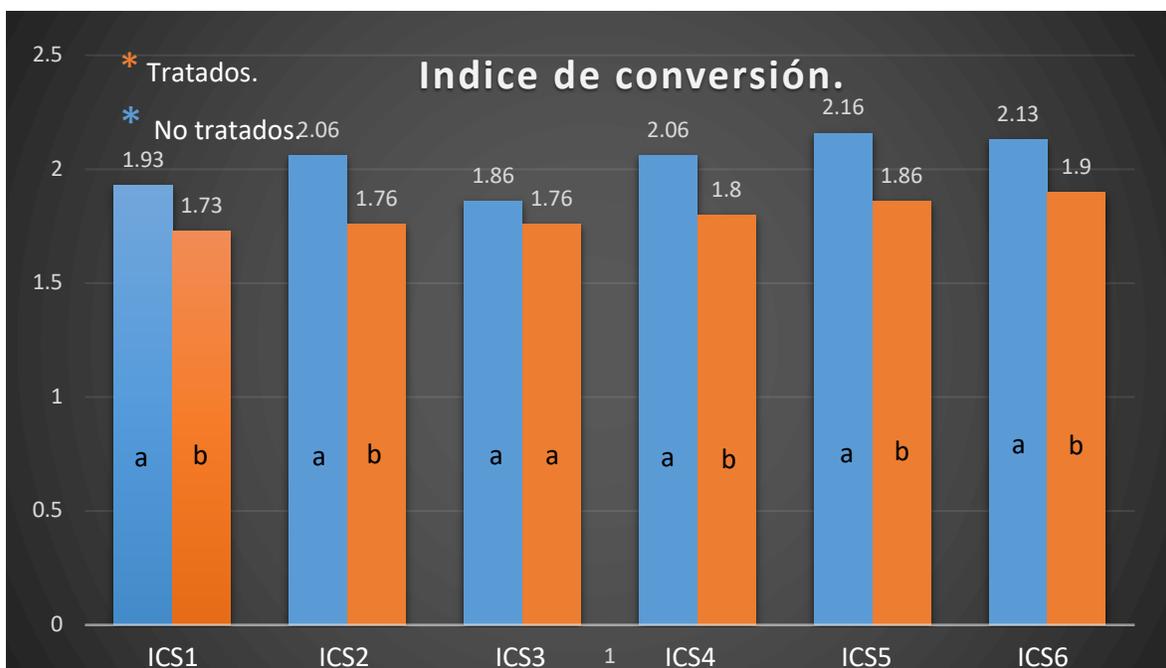
Sin embargo, en un estudio realizado por Gunal *et al.* (2006), utilizaron diferentes grupos dentro de los cuales se incluyeron en el alimento probióticos, antibióticos, combinación de ácidos orgánicos y ácidos orgánicos mezclados con probióticos, demostrando que ningún tratamiento tuvo un menor consumo semanal respecto al grupo control. Aunque no se observa una diferencia estadística (solo en la 4 semana) a lo largo del tiempo experimental, numéricamente las aves del tratamiento Phytob consumieron menor cantidad de alimento y obteniendo más peso, esto puede deberse a que varios ácidos orgánicos entre ellos los derivados de los butiratos son generadores de energía al ser utilizados durante el metabolismo celular, mejorando la eficiencia en la conversión de alimento a kilos de carne.

### **8.1.3 Índice de conversión.**

En la Gráfica 3, se puede observar cual fue el comportamiento del índice de conversión del tratamiento Control y Phytob.

El índice de conversión alimenticia de los pollos que recibieron el alimento adicionado con el Fitobutirato, fue menor al de los pollos que no recibieron el tratamiento ( $p < 0.05$ ). Para la tercera semana no se percibía diferencia estadística,

sin embargo, al finalizar el ciclo a la sexta semana si hubo diferencia estadística del grupo Phytob, respecto al grupo control.



Gráfica 3. Índice de conversión promedio de las aves por tratamiento.

Literales diferentes indican diferencia estadística ( $p < 0.05$ ).

Con relación al índice de conversión alimenticia, los resultados que arrojó este trabajo mostraron una mejora significativa, estos datos coinciden con los publicados por Waguespack *et al.* (2015), quienes encontraron diferencia estadística ( $p < 0.05$ ) utilizando solamente un grupo control contra 3 tratamientos a los cuales se les añadió ácido butírico a razón de 100, 200 y 300 g/ton de alimento, los resultados fueron un índice de conversión de 1.326 kg del grupo control contra los 1.309, 1.303 y 1.294 kg de los grupos con el tratamiento. Así mismo Zhang *et al.* (2013), demostraron en un trabajo similar a este que el grupo control obtuvo un índice de conversión de 1.95 el cual fue mayor que el de los grupos que se les adicionó ácido butírico a razón de 0.25 y 0.50 g/kg de peso, los cuales obtuvieron un índice de conversión de 1.92 en ambos grupos.

Adil *et al*, (2011) reportó que usando diferentes ácidos orgánicos también se encontró diferencia contra el grupo control, el cual tuvo una conversión alimenticia de 2.14, contra 1.93, 1.91 y 1.91 de los grupos con tratamiento de ácido butírico, ácido fumárico y ácido láctico al 3%, coincidiendo sus resultados con los presentes en este trabajo.

Diferentes investigadores que utilizaron en sus trabajos experimentales ácido butírico observaron un índice de conversión similar a lo encontrado en este estudio de 1.9 y ellos explican que esto se debe a que el ácido butírico favorece la absorción y utilización de los nutrientes, protege el intestino de bacterias patógenas, aumenta la cantidad de vellosidades intestinales, células secretoras y el tamaño de las criptas y promueve el crecimiento de la microbiota intestinal, todo esto resulta en un mejor aprovechamiento de los nutrientes, mejorando los parámetros productivos, reduciendo costos y favoreciendo la economía del productor.

## **8.2 Índice morfométrico.**

Para el cálculo del índice morfométrico en las aves se tuvieron cuatro tratamientos, los cuales vamos a definir como control, control desafiado y Phytob desafiado, cabe recordar que el desafío se llevó a cabo al inocular una cepa de *E. coli* enteroinvasiva como se describió anteriormente.

### **8.2.1 Proventrículo.**

En la Gráfica 4, se puede observar cual fue el comportamiento del índice morfométrico del proventrículo del tratamiento Control, Phytob y su desafío.

El grupo control y el grupo control desafiado presentan similitud en el índice morfométrico, haciendo que no exista diferencia estadística entre ellos ( $p < 0.05$ ), sin embargo, el grupo Phytob desafiado presenta un mayor índice morfométrico y lo hace estadísticamente diferente a los anteriores. Éste mayor índice morfométrico lo que indica es un desarrollo mayor de los órganos, lo que se traduce en una mejor

digestión y absorción de los nutrientes, mejor circulación y transporte de nutrientes vía sanguínea, así como un mejor desarrollo de los órganos linfoides.



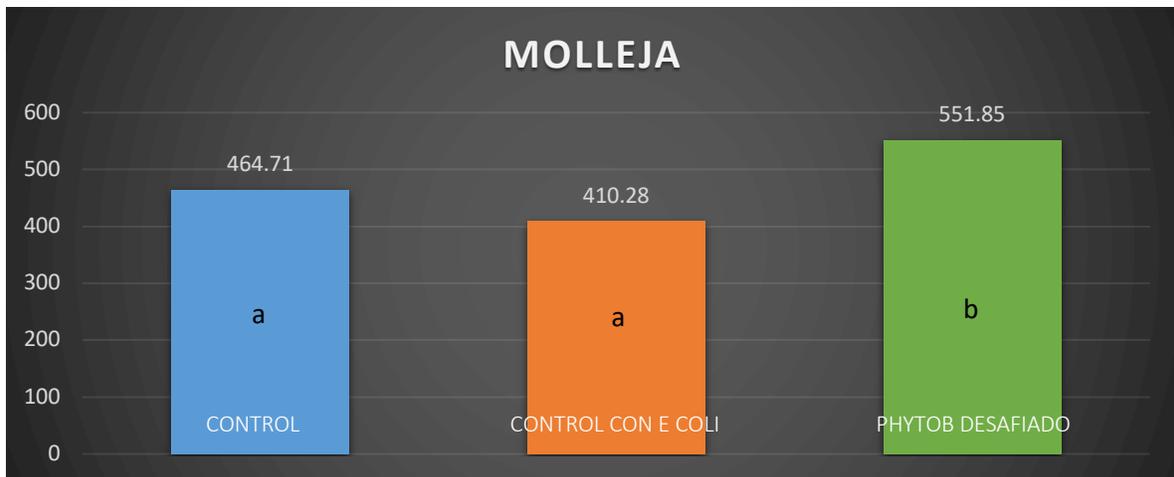
Gráfica 4. Índice morfométrico proventrículo.

Literales diferentes indican diferencia estadística ( $p < 0.05$ ).

### 8.2.2 Molleja.

En la Gráfica 5, se puede observar cual fue el comportamiento del índice morfométrico de la molleja del tratamiento Control y Phytob.

El grupo control y el grupo control desafiado presentan similitud estadística en el índice morfométrico, ( $p < 0.05$ ), sin embargo, el grupo Phytob desafiado presenta un mayor índice morfométrico, lo cual lo hace estadísticamente diferente a los anteriores.



Gráfica 5. Índice morfológico molleja.

Literales diferentes indican diferencia estadística ( $p < 0.05$ ).

En el análisis estadístico de del índice morfológico de la molleja y del proventrículo se presentó diferencia estadística significativa, ( $p < 0.05$ ) respecto al grupo Phytob desafiado, si se compara con los dos grupos anteriores, el grupo Phytob desafiado presentó un índice morfológico mayor comparado con el grupo Control y Control desafiado. En un trabajo de investigación realizado por Jang *et al* (2004), se demostró que los ácidos orgánicos tienen la capacidad de aumentar la producción de enzimas digestivas, por lo que estimula el crecimiento del órgano en general, aumentando su celularidad, Gauthier, (2002) reportó en un trabajo de investigación resultados similares, enfatizando que los cambios morfológicos suceden en todos los órganos del aparato digestivo, coincidiendo en que al aumentar su productividad se aumenta su tamaño para ser más eficientes.

### 8.2.3 Intestino.

En la Gráfica 6 se puede observar cual fue el comportamiento del índice morfológico del intestino del tratamiento Control, Phytob y su desafío.

El desarrollo del intestino del grupo control y el grupo control desafiado presentan similitud en el índice morfológico, lo cual sugiere que ambos son estadísticamente similares ( $p < 0.05$ ), sin embargo, para el grupo Phytob desafiado se presentó un cambio estadístico en el índice morfológico, por lo que hay diferencia respecto a los dos grupos anteriores.



Gráfica 6. Índice morfológico intestinal.

Literales diferentes indican diferencia estadística ( $p < 0.05$ ).

En el análisis del índice morfológico de los intestinos, se presentó diferencia estadística significativa, ( $p < 0.05$ ) respecto al grupo Phytob desafiado, los grupos Control y Control desafiado presentaron un índice morfológico similar entre ellos, sin embargo, el grupo Phyto con *E. coli*, si presentó diferencia estadística respecto a los grupos anteriores con un mayor peso promedio que indica un mejor desarrollo a pesar del desafío con *E. coli*, según Palo, (1995), favorece el incremento del tamaño de las vellosidades de la mucosa intestinal, además según Paul *et al* (2007) al aumentar el tamaño de las vellosidades también se aumenta el tamaño propio del intestino, así mismo Loddi (2004), Pelicano (2005) y Denli (2003) reportaron que los pollos que tienen dietas funcionales adicionadas en ácidos grasos de cadena corta presentan una mayor longitud de intestino y son más pesados comparados con los que tienen una dieta normal y el Fitobutirato utilizado en este estudio también es considerado de cadena corta

En un trabajo realizado por Adil *et al*, (2010) demostró que al añadir ácido butírico a la dieta de los pollos de engorda, aumenta también el grosor de la túnica muscular intestinal, aumenta la celularidad del epitelio. Además, el ácido butírico tiene la capacidad de controlar el crecimiento bacteriano patógeno, así como de promover el crecimiento del microbioma intestinal, gracias a esto los pollos que tienen una

dieta con ácido butírico poseen un intestino más saludable, permitiendo que los procesos infecciosos sean menores o no se presenten, permitiendo un mejor funcionamiento del intestino, mejor motilidad y absorción de nutrientes, favoreciendo un mejor desarrollo del organismo.

#### 8.2.4 Hígado.

En la Gráfica 7 se puede observar cual fue el comportamiento del índice morfométrico del hígado del tratamiento Control, Phytob y su desafío.

El desarrollo del hígado en el grupo control y el grupo control desafiado presentan similitud estadística en el índice morfométrico, ( $p < 0.05$ ), sin embargo, el grupo Phytob desafiado mostró diferencia debido a un mayor índice morfométrico.



Gráfica 7. Índice morfométrico hígado.

Literales diferentes indican diferencia estadística ( $p < 0.05$ ).

En el análisis del índice morfométrico del hígado mostró diferencia estadística ( $p < 0.05$ ) al momento de comparar los tres grupos, el grupo control y el grupo control con *E coli* no presentaron diferencia estadística entre ellos, sin embargo el grupo Phytob con *E coli* mostró diferencia de tamaño comparado con los dos grupos anteriores, Azeem *et al.* (2000) realizaron un estudio similar en donde determinaron que el aumento de peso en el hígado en pollos alimentados con una dieta de ácidos grasos, puede alterar el pH metabólico, haciendo que el hígado acumule más

glucógeno y exista una menor concentración de lípidos, así mismo Fushimi *et al*, (2001) describieron en su trabajo de investigación que la acidificación del pH metabólico estimula la glucogénesis incrementando la afluencia de glucosa 6-fosfato en la ruta metabólica de la del glucógeno, a partir de la inhibición de la glucólisis al aumentarse la concentración del citrato, por lo que también se observó una reducción en la cantidad de lípidos en sangre y grasa abdominal. Así mismo Adil *et al*. (2011), reportaron que el tamaño del hígado fue diferente en sus grupos con tratamiento respecto al grupo control, teniendo una diferencia estadística significativa ( $p < 0.05$ ).

Por lo descrito por los investigadores anteriores y lo observado en este estudio, se puede decir que al tener un hígado más eficiente hablando desde el aspecto metabólico, el pollo aprovechará mejor los nutrientes absorbidos por el intestino y esto se ve reflejado en el peso final al mercado.

### 8.2.5 Corazón.

En la Gráfica 8, se puede observar cual fue el comportamiento del índice morfométrico del corazón del tratamiento Control, Phytob y su desafío.

El desarrollo del corazón del grupo control y el grupo control desafiado presentaron similitud en el índice morfométrico, estadísticamente no se percibe diferencia, ( $p < 0.05$ ), sin embargo, el grupo Phytob desafiado mostró diferencia debido a un mayor índice morfométrico.



Gráfica 8. Índice morfométrico corazón.

Literales diferentes indican diferencia estadística ( $p < 0.05$ ).

El análisis estadístico del índice morfométrico del corazón mostró diferencias significativas ( $p < 0.05$ ), al momento de comparar el grupo Phytob con *E. coli* respecto a los grupos Control y control con *E. coli*, ya que este obtuvo un índice morfométrico mayor. En un trabajo realizado por Havesntein *et al.* (1994) se encontraron resultados similares, debido a que al añadirle cualquier promotor del crecimiento al pollo de engorda, se espera que sea normal que el corazón también aumente su tamaño, ya que, al utilizar ácido butírico en la dieta, hay mayor aporte de energía al mismo y al promover el crecimiento del organismo en general, el corazón debe incrementar su tamaño tratando de realizar su correcta función, según Gaya *et al.*, (2007), un corazón pequeño puede ser causa de ascitis o que aumente la presentación de desórdenes de tipo metabólico, ya que se hace insuficiente el aporte de nutrientes y oxígeno al organismo. Por último, Moghadam *et al.*, (2005), sugieren que un corazón más grande para el pollo de engorda puede hacer que se presente una menor cantidad de problemas o enfermedades de tipo metabólico, realizando una mejor oxigenación y distribución de los nutrientes a los tejidos.

#### **8.2.6 Bazo.**

En la Gráfica 9, se puede observar cual fue el comportamiento del índice morfométrico del bazo del tratamiento Control, Phytob y su desafío.

El grupo control y el grupo Phytob con *E. coli* presentaron similitud en el índice morfométrico, estadísticamente no muestra diferencia, ( $p < 0.05$ ), sin embargo, el grupo control con *E. coli* presentó un mayor índice morfométrico haciéndolo estadísticamente diferente a los grupos anteriores, lo que implica una respuesta de defensa ante el desafío.



Gráfica 9. Índice morfológico Bazo.

Literales diferentes indican diferencia estadística ( $p < 0.05$ ).

El análisis del índice morfológico del bazo mostró diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre los grupos que se evaluaron, en grupo control y el grupo Phytob con *E. coli*, no demostraron diferencia estadística entre ellos, pero sí contra el grupo Control con *E. coli*, el cual presentó un bazo aumentado de tamaño. Según Katanbaf *et al.* (1989), el bazo al no ser un órgano primario del sistema inmunológico no aumenta de tamaño debido al acúmulo de células inmunológicas como lo harían otros órganos como la bolsa de Fabricio o el timo, sin embargo, cuando se presenta una enfermedad de tipo infecciosa si participa en la cascada inmunológica, por lo cual aumenta su tamaño como se demostró en el grupo Control con *E. coli*, además de esto Canani *et al.* (2011), quienes utilizaron ácido butírico en la dieta de los pollos, mencionan que el ácido butírico propicia que los factores de inmunidad innata aumenten en el intestino, como la producción de moco, péptidos antimicrobianos y haciendo más estrechas las uniones intercelulares, Así mismo Bergsson *et al.* (2001), refiere en un proyecto de investigación que el ácido butírico posee propiedades antimicrobianas, las cuales actúan a nivel de la producción de energía en la bacteria, alterando su metabolismo y causando su destrucción, tomando como referencia lo descrito podemos inferir que el Fitobutirato en presencia de *E. coli* tiene este efecto sobre el metabolismo bacteriano.

### 8.2.7 Bolsa de Fabricio.

En la Gráfica 10 se puede observar cual fue el comportamiento del índice morfométrico de la Bolsa de Fabricio del tratamiento Control, Phytob y su desafío.

El desarrollo de la bolsa cloacal (bolsa de Fabricio) no se vio afectado en las aves del grupo control o en las aves desafiadas ( $p > 0.05$ ), sin embargo, en el grupo Phytob la bolsa cloacal tuvo mejor desarrollo al comparalos con las aves de los tratamientos antes mencionados ( $p < 0.05$ ).



Gráfica 10. Índice morfométrico Bolsa de Fabricio.

Literales diferentes indican diferencia estadística ( $p < 0.05$ ).

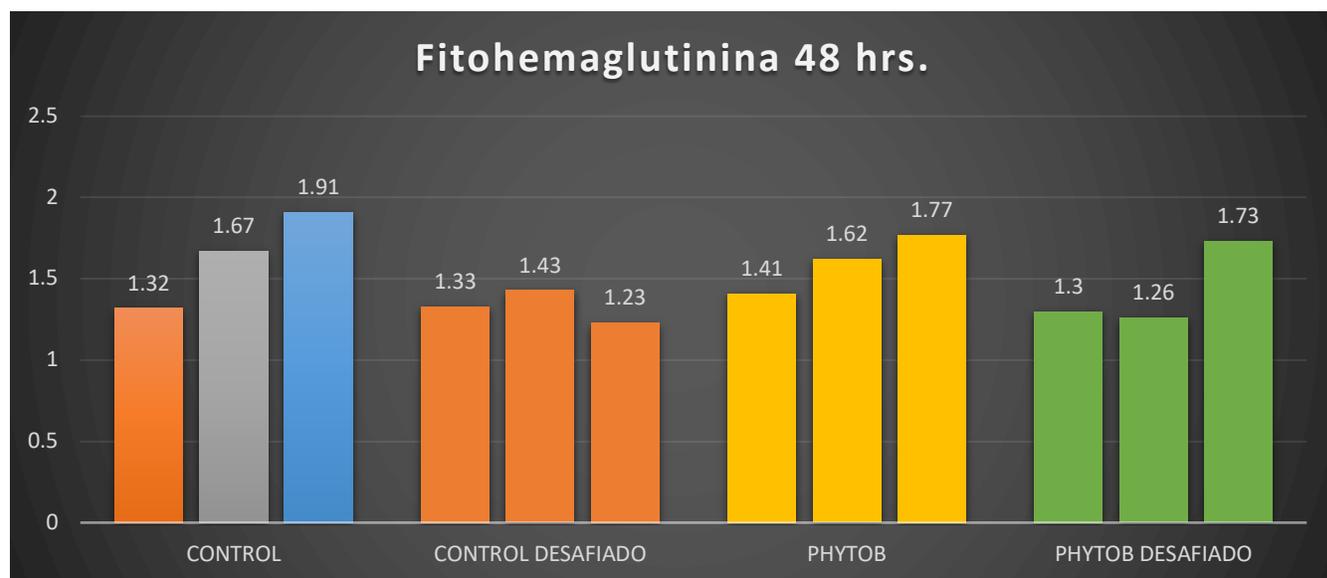
En el análisis estadístico del índice morfométrico de la bolsa de Fabricio, se encontraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ), se evaluaron tres grupos, dentro de los cuales el grupo Phytob fue el que presentó un mayor índice morfométrico comparado con los grupos Control y Control con *E. coli*, que entre ellos no presentaron diferencia estadística, según Katancaf *et al.* (1989), al añadir ácido butírico a la dieta de los pollos de engorda, observaron un aumento significativo en los órganos linfoides primarios, en este caso la bolsa de Fabricio, lo cual sugiere

que los pollos alimentados con este tipo de productos presentan una mejor respuesta inmunológica, así como mejor resistencia a las enfermedades infecciosas, el aumento del tamaño en órganos linfoides según Sunkara, et al. (2011), es debido a que el ácido butírico aumenta la expresión del gen HDP que favorece la replicación de leucocitos, por lo que se sugiere que la bolsa de Fabricio posee mayor cantidad de leucocitos comparadas con los grupos diferentes.

### 8.3 Inmunidad.

Para la interpretación de los resultados de la inmunidad humoral, se realizó un gráfico donde se comparan las mediciones del tamaño de la membrana interdigital posterior a la inoculación de fitohemaglutinina, se agruparon los resultados por grupo estudiado, por tiempo y las diferencias estadísticas entre ellos, explicando su comportamiento.

#### Medición membrana interdigital, prueba de fitohemaglutinina.



Gráfica 11. Prueba de fitohemaglutinina, medición de membrana interdigital.

Literales diferentes indican diferencia estadística ( $p < 0.05$ ).

En la medición de la membrana interdigital a las 0 horas se encontró que todos los grupos coincidieron y no hubo diferencias estadísticas entre ellos ( $p < 0.05$ ).

En la medición de la membrana interdigital a las 24 horas, se encontró que los grupos control y Phytob fueron similares estadísticamente, por otro lado, los grupos control y Phytob desafiados mostraron diferencia estadística frente a los dos grupos mencionados, aunque entre ellos presentaron similitud estadística ( $p < 0.05$ ).

A las 48 horas se pudo observar que los grupos control, Phytob y Phytob desafiado mostraron similitud estadística ( $p < 0.05$ ), no se encontró diferencia entre los tres grupos, sin embargo, para el grupo control con desafiado se demostró que la respuesta a la fitohemaglutinina fue estadísticamente menor comparada con los grupos antes mencionados.

Al hacer la prueba de la fitohemaglutinina, se encontró que a las 24 horas hubo diferencia estadística ( $p < 0.05$ ) en los grupos Control y Phytob, contra los grupos Control y Phytob desafiados, siendo los grupos Control y Phytob los que obtuvieron una mejor respuesta inmune, esto se debe a que al estar los otros dos grupos expuestos a la infección con *E. coli*, no se presenta una respuesta inmune tan eficaz como los pollos que se encuentran sanos. Según Maynard *et al.* (2012), hay producción de IgA la cual dificulta la adhesión de *E. coli* y neutraliza las toxinas perjudiciales para el epitelio intestinal. Sin embargo, existe la posibilidad de que *E. coli*, pueda colonizar o atravesar incluso la barrera intestinal ocasionando un proceso de bacteremia, complicando aún más el cuadro clínico

Para las 48 horas después de la inoculación de la fitohemaglutinina se demostró que sólo el grupo Control con desafío mostró diferencia estadística significativa ( $p < 0.05$ ) presentando una disminución en la respuesta inmune posterior a la aplicación de la fitohemaglutinina, por otro lado, el grupo Phytob con desafío presentó similitud estadística con los grupos a los cuales no se les inoculó la bacteria, por lo cual se presume que el fitobutirato tiene la capacidad de poder controlar la infección bacteriana producida por *E. coli* como lo haría un tratamiento

con antibioterapia, esto se confirma con un trabajo de investigación realizado por Van Deun *et al.* (2008), quienes demostraron que el ácido butírico funciona como bactericida selectivo, reduciendo el pH del intestino controlando la población bacteriana, así mismo se demostró que el ácido butírico puede aumentar la producción de mucina en el intestino, propiciando una mejor barrera intestinal, Gantois *et al* (2006), demostraron que el ácido butírico no sólo ofrece protección contra *E. coli*, sino contra infecciones causadas por *Salmonella enterica*, *Campylobacter jejuni*, etc.

Además, Clark *et al.* (1996) demostraron que el ácido butírico tiene la capacidad de atravesar la pared celular de la bacteria, mediante difusión, lo que causa toxicidad. Hay reducción del citoplasma celular lo cual afecta las bases púricas según Roe *et al.* (2002), ocasionando la muerte de la bacteria.

Se demostró que los pollos tratados con el fitobutirato, poseen una mejor respuesta inmune contra la infección por *E. coli* comparado con pollos que no recibieron ningún tipo de tratamiento.

## **9. Conclusiones.**

Para la avicultura nacional y mundial es muy importante reducir tiempo y costos de producción, las nuevas tendencias hacia el desuso de antibióticos promotores del crecimiento, hacen de vital importancia buscar nuevas alternativas que nos ayuden a lograr nuestros objetivos y nos den la oportunidad de obtener un mejor rendimiento productivo.

La utilización de un promotor de crecimiento a base de ácido butírico logró una mejora en los parámetros productivos, esto se debe a que las aves tratadas fueron estadísticamente superiores a las del grupo control, lo que representa una mejor productividad incrementando el valor económico al término del ciclo, más kilos de carne a la venta.

Además, tomando en cuenta los resultados del trabajo, se establece que el uso de promotores de crecimiento a base de ácido butírico, mejora la salud intestinal, la

absorción de nutrientes, el aumento de las vellosidades intestinales y el número de glándulas, favoreciendo la absorción de los nutrientes y manteniendo un intestino saludable por sus efectos bacteriostáticos y bactericidas. Esto lo podemos inferir, ya que el peso de los órganos fue mayor en las aves que consumieron Fitobutirato, así como las de mayor peso.

## **10. Comentarios.**

Con base a los resultados que arrojó este trabajo se recomienda seguir investigando de los beneficios que confiere este tipo de productos, ya sea que se modifiquen las dosis recomendadas o bien utilizarlo en parvadas con otro fin zootécnico (aves de postura) o incluso en otras especies.

Bajo las condiciones en que se llevó este estudio en área de crianza de las aves, temperatura, densidad y concentración de Fitobutirato es recomendable añadir ácidos orgánicos de cadena corta, como una opción más a utilizar de tipo no antibiótico.

## 11. Bibliografía.

1. Abdel Fattah, S. A. El Sanhoury, M. H. El Mednay, N. M. Azeem, Abdel (2008). Thyroid activity, some blood constituents, organs morphology and performance of broiler chicks fed supplemental organic acids. Departament of poultry production, Faculty of Agriculture, Ain Shams University, Egipt, pp 215-222.
2. Adil, S. Banday, T. Ahmad, G. Salahuddin, M. Raquib, M. Shanaz, S. (2011) Response of broiler chicken to dietary supplementation of organic acids, Departament of Livestock Production and Management, Journal of Central European Agriculture, 12, pp 498-508.
3. Ahsan, U. Cengiz Raza, O. Kuter, E. Chacher, M.F.A. Iqbal, Z. Umar S. y çakir S. (2016). Sodium butyrate in chicken nutrition: the dynamics of performance, gut microbiota, gut morphology, and immunity. World's Poultry Science Journal, 72, pp 265-278.
4. Anesto Blanco, J. De las Cagigas Reig, A. L. (2002). Prebóticos y probióticos, una relación beneficiosa. Revista cubana alimentación y nutrición, 16, pp 63-68.
5. Antongiovanni, M. Buccioni, A. Petacchi, F. Leeson, S. Minieri, S. Martini, A. Cecchi, R. (2007). Butyric acid glycerides in the diet of broiler chickens: effects on gut histology and carcass composition, Italian Journal of Animal Science, pp 19-25.
6. Antonio Quintana, J. (2011). Avitecnia manejo de las aves domésticas más comunes. Trillas.
7. Azeem, A. El-Hommosamy, F. Y. M. y Nematallah, G. M. Ali, (2000), Effect of citric acid in diets with different starch and fiber levels on productive performance and some physiological traits of growing rabbits. Rabbit Sci, 24, pp. 123-141.
8. Banday, G. Bhat, A. Qureshi, S. D. y Wani, S. A. (2010), Effect of supplemental organic acids on growth performance and gut microbial population of broiler chicken. Departament of Livestock Production and Management, Livestock Research for Rural Development 23, pp 1-8.

9. Berni Canani, R. Di Costanzo, M. Leone, L. Pedata, M. Meli, R. y Calignano, A. (2011). Potential beneficial effects of butyrate in intestinal and extraintestinal diseases. *World Journal Gastroenterology*, 17, pp 1519-1528.
10. Berruezo Ros, G. Martínez García, C. y Valencia Arques, J. A. (2011). Biodisponibilidad de los ácidos grasos de cadena corta: mecanismos de absorción, 24, pp 125-134.
11. Clark, D. P. y Cronan, J. (1996) Two-carbon compounds and fatty acids as carbon sources, in: Neidhardt, F. C. Curtiss, R. Ingraham, J. L. Lin, Magasanik, B. Reznikoff, W. S. Riley, M. Schaechter, M. Umberger. *Escherichia coli and Salmonella: Celular and molecular biology*, 2<sup>nd</sup> vol. 1. Pp 343-357.
12. Corrier Deloach, J. R. (1989) Evaluation of Cell-mediated, cutaneous basophil hypersensitivity in young chickens by an interdigital skin test. *Poultry Science* 69. pp 403-408.
13. Corrier, D. E. (1990). Comparison of Phytohemagglutinin-Induced cutaneous hypersensitivity reactions in the interdigital skin of broiler and layer chicks. *Avian Diseases* Vol. 34, pp 369-373.
14. Denli, M. F. Okan, K. C. (2003). Effect of dietary probiotic, organic acid and antibiotic supplementation to diets on broiler performance and carcass yield. *Pak. J. Nutr.* 2 pp 89-91.
15. Denli, M. Okan, F. Celik, K. (2003), Effect of dietary probiotic, organic acid and antibiotic supplementation to diets on broiler performance and carcass yield, *Pakistan Journal of Nutrition*, 2, pp 89-91.
16. Deun, V. Haesebrouck, K. Van Immerseel, F. Ducatelle, F. Pasmans, R. (2008). Short chain fatty acids and L-lactate as feed additives to control *Campylobacter jejuni* infections in broilers. *Avian Pathology*, pp 379-383.
17. Donnenberg, M. S. (2002). *Escherichia coli* virulence mechanisms of a versatile pathogen. Division of Infectious Diseases, Department of Medicine, University of Maryland School of Medicine, Baltimore. pp 212-230.

18. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2018). Meat market review, Overview of global meat market developments in 2018, pp 1-12.
19. Ferket, P. (2004). Alternatives to antibiotics in poultry production: responses, practical experience and recommendations. Department of Poultry Science, College of Agriculture and Life Sciences, North Carolina State University.
20. FIRA. (2016). Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial, Panorama Agroalimentario, Avicultura carne, pp 3-19
21. Fushimi, T. K. Tayama, M. Fukaya, K. Kitakoshi, N. Nakai, Y. Tsukamoto, Y. Sato, (2001), Acetic acid feeding enhances glycogen repelation in liver and skeletal muscle of rats, J. Nutr. 131, pp 1973-1977.
22. Gantois, I. Ducatelle, R. Pasmass, F. Haesebrouck, F. Hautefort, I. Thompson, A. Hinton, Immersell, V. (2006) Butyrate specifically down-regulates *Salmonella* Pathogenicity Island I gene expression. Applied and environmental microbiology, pp 946-949.
23. Garrote, A. y Ramón, B. (2017) Probióticos. Farmacia Abierta, Vol. 31 Núm. 2.
24. Gauthier, R. (2002) Intestinal health, the key to productivity: The case of organic acids. Precongreso Científico avícola IASA.
25. Gaya L. G., Costa A. M., Ferraz J. B., Rezende F. M., Mattos E. C., Eler J. P., Michelan Filho T., Mourao G. B, Figueiredo L. G. (2007). Genetic trends of absolute and relative heart weight in a male broiler line, Genet. Mol. Res. Vol. 6, pp 1091-1096.
26. Griggs, J. P. Jacob, J. P. (2005). Alternatives to Antibiotics for organic poultry productions. Department of Animal Science, University of Minnesota St. Paul, Minesota. 14, pp 750-756.
27. Havenstein G. B., Ferket P. R., Qureshi M. A. (2003). Carcass composition and yield of 1957 versus 2001 broilers when fed representative 1957 and 2001 broiler diets, Poultry Science, Vol. 82, 1509-1518.

28. Hector, A. Lutz, M. Alimentos Funcionales y Saludables (2003). Departamento de Nutrición, Facultad de Medicina, Universidad de Chile. Revista Chilena de Nutrición Vol. 30 N°1.
29. Hinton, M. H. (1988). Antibiotics, poultry production and public health, Department of Veterinary Medicine, University of Bristol, pp 67-69.
30. Hu, Z. Guo, Y. (2006) Effects of dietary sodium butyrate supplementation in the intestinal morphological structure, absorptive function and gut flora in chickens. *Animal Feed Science and Technology*; 132, pp 240-249.
31. Iguchi, A. Thomson, N. R. Ogura, Y. Saunders, D. Ooka, T. Henderson, I. R. Harris, D. (2009) Complete genome sequence and comparative genome analysis of enteropathogenic *Escherichia coli* O127:H6 strain E2348/69. *J Bacteriol.* 191, pp 347-54.
32. Jaramillo, N. (2011). Morfometría geométrica: Principios teóricos y métodos de empleo. Universidad de Antioquia. pp69-87.
33. Karimiha, S. (2023). Poultry and Products Annual. United States Department of Agriculture, foreign Agricultural Service.
34. Katanbaf, M. N. Dunnington, E. A. Siegel, P. B. (1989). Restricted feeding in early and late-feathering chickens. Growth and physiological responses. *Poultry Science*, 68, pp 259-263.
35. Klingerberg (1996). Multivariate allometry In: Marcus, Conti M., Loy A., Naylor G. Slice D. *Advances in morphometrics, Life Sciences*. Vol 284, pp. 23-49.
36. Levy, W. Kessler, J. W. Fuller, L. Williams, S. Mathis, G. F. Lumpkins, B. y Valdez, F. (2015). Effect of feeding an encapsulated source of butyric acid (ButiPEARL) on the performance of male Cobb broilers reared to 42 d of age, pp 1865-1870.
37. Loddi, M. M. Maraes, V. M. B. Nakaghi, I. S. O. Tucci, F. Hannas, M. I. Ariki, J. A. (2004). Mannan oligosaccharide and organic acids on performance and intestinal morphometric characteristics of broiler chickens. In proceedings of the 20<sup>th</sup> annual symposium, Suppl, pp 1-45.
38. Lopez Ridaura, S. Sanders, A. Barba Escoto, L. Wiegel, J. Mayorga Cortes, M. Gonzalez Esquivel, C. Lopez Ramirez, M. A. Escoto Masis, R. M. Morales

- Galindo, E. García Barcena, T. S. (2021) Immediate impact of COVID-19 pandemic on farmings systems in Central America and Mexico. Elsevier.
39. Margarita, A. (2016). La resistencia bacteriana a los microbianos: ¿Cómo establecer avicultura un uso racional de estos medicamentos? Facultad de Veterinaria de la Universidad Autónoma de Barcelona, España.
40. Moghadam H. K. Millan, M. Chambers, J. R. Julian, R. J. Tranchant, C. (2005). Heritability of sudden death syndrome and its associate's correlations to ascites and body weight in broilers, Br. Poultry Science, Vol. 46, pp 54-57.
41. Molina López, J. y Eslava Campos, C. A. (2019). Escherichia coli diarrogénica. SF, de UNAM Sitio web: <http://www.facmed.unam.mx/deptos/microbiologia/bacteriologia/escherichia-coli.html>
42. NORMA Oficial Mexicana NOM-087-ECOL-SSA1-2002, Protección ambiental - Salud ambiental - Residuos peligrosos biológico-infecciosos - Clasificación y especificaciones de manejo.
43. OMS. Datos recientes revelan los altos niveles de resistencia a los antibióticos en todo el mundo. Comunicado de prensa 29 de enero de 2018, Bangkok.
44. Palo, P. E. Sell, J. L. Piquer, F. J. Soto Satanova, M. F. Vilaseca, L. (1995). Effect of early nutrient restriction on broiler chicken. Performance and development of gastrointestinal tract. Poultry Science, 74, pp 88-101.
45. Paul, S. K. Samanata, G. Halder, G. Biswas, P. (2007). Effect of a combination of organic acid salts as antibiotic replacer on the performance and gut health of broiler chickens. Livest Res. Rural Dev, pp19:11.
46. Pelaseyed, T. Bergstrom, J. Gustafsson, H. Ermund, J. K. Birchenough, A. Schutte, G. H. Hansson, A. (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, pp 8-20.
47. Pelicano, E. R. L. Souza, P. A. Souza, H. B. A. Figueiredo, D. F. Boiago, M. M. Carvalho, S. R. Bordon, S. R. (2005). Intestinal mucosa development in

- broiler chicken fed natural growth promoters. *Revista Brasileira de Ciencia Avicola*, pp 221-229
48. Peng, L. Li, Z. R. Green, R. S. Holzman, I. R. y Lin J. (2015). Butyrate Enhances the Intestinal Barrier by Facilitating Tight Junction Assembly via Activation of AMP-Activated Protein Kinase in Caco-2 Cell Monolayers. *The Journal of Nutrition*, pp 1619-1625.
49. Pérez Soto, F. Figueroa Hernández, E. Godínez Montoya L. Santos Melgoza, D. V. y Sepúlveda Jiménez, D. (2014). *Aportaciones en ciencias sociales: economía y humanidades*. México: Universidad autónoma chapingo.
50. Pryde, S. Duncan, S. H. Hold, G. L. Stewart, C. L. Flint, H. J. (2002). The microbiology of butyrate formation in the human colon. *FEMS Microbiology Letters*, pp133-139.
51. Quesada, C. (2018). *Situación de la avicultura mexicana*, Unión Nacional de Avicultores,
52. Rodríguez Angeles, G. (2002). Principales características y diagnóstico de los grupos patógenos de *Escherichia coli*. *salud Pública Mexicana*, 44, pp 464-475.
53. Roe, A. J. O'byrne, C. Mclaggan, B. (2002). Inhibition of *Escherichia coli* growth by acetic acid: a problem with methionine biosynthesis and homocysteine toxicity. *Microbiology*. Pp 2215-2222.
54. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER, 2022). *Avicultura, patrimonio invaluable del país al aportar proteínas sanas y accesibles a la población*. En línea: <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/avicultura-patrimonio-invaluable-del-pais-al-aportar-proteinas-sanas-y-accesibles-a-la-poblacion-agricultura?idiom=es>
55. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2022). *Panorama Agroalimentario 2022. Aves carne y huevo*.
56. USDA. (2017). *Global Agricultural Information Network*. United States Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service.
57. Vergara, M. González Sánchez, M. E. (2017) Short chain fatty acids (butyric acid) and intestinal diseases. *Nutrición hospitalaria*, vol. 34 supl. 4.

58. Waguespack, L. A. Kessler, W. L. Fuller, L. Williams, S. Mathis, F. G., Lumpkins, B. Valdez, F. (2015). Effect of feeding an encapsulated source of butyric acid (ButiPEARL) on the performance of male Cobb broilers reared to 42 days of age, University of Otago, 1864-1870.
59. Wang, H. Wang P. Wang, X. Wan, Y. L. Liu, Y. C. (2012). Butyrate Enhances Intestinal Epithelial Barrier Function via Up-Regulation of tight junction protein Claudin-1 Transcription. Springer Science Business Media, pp 3126-3135.
60. Zhang, W. H. Jiang, Y. Zhu, Q. F. Gao, F. Dai, S. F. Chen, J. Zhou, G. H. (2011). Sodium butyrate maintains growth performance by regulating the immune response in broiler chickens, *British Poultry Science*, 52:3, pp 292-301.