

# MAESTRÍA INTERINSTITUCIONAL EN PRODUCCIÓN PECUARIA



## Tesis

**Efecto de la harina de nopal como aditivo sobre vellosidades intestinales, variables hematológicas, estructura y función hepática en pollo de engorda**

Para obtener el grado de  
Maestra en Ciencias Pecuarias

### Presenta

Laura Selena Sánchez Torres

### Director de Tesis

Fidel Ávila Ramos

### Codirector

David Román Sánchez Chiprés

### Comité tutorial

Rosa María Meléndez Soto

Jacinto Bañuelos Pineda

Irapuato, Guanajuato, 2021

## **DEDICATORIA**

Dedico este logro a mi familia, a mi pareja, a mis amigos y profesores, por que estuvieron siempre atentos para brindarme su apoyo incondicional, todos con el mismo objetivo... verme cruzar esta meta.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco al Consejo de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y a la Universidad de Guanajuato por su apoyo económico y de instalaciones para realización de este proyecto de tesis.

A los miembros del comité de la Maestría Interinstitucional en Producción Pecuaria y a sus académicos por darme la oportunidad de formar parte del posgrado y por compartir conmigo las herramientas necesarias para mejorar mi desempeño profesional.

A los estudiantes de la clase de zootecnia de aves que participaron en los cuidados de las aves, acondicionamiento de la granja, elaboración de alimentos, toma de muestras y realización de análisis en este proyecto.

Al Dr. David Román Sánchez Chiprés por su colaboración, apoyo y asesoría.

A mi comité tutorial la Dra. Rosa María Meléndez Soto y el Dr. Jacinto Bañuelos Pineda por su disposición, amabilidad y valiosas observaciones.

A mi director de tesis el Dr. Fidel Ávila Ramos, quien forjó y acompañó mi formación con calidez, disposición incondicional con una actitud de confianza y apertura hacia el desafío que representa la investigación científica, agradezco el tiempo que dedico al proyecto, su invaluable paciencia y motivación con la que impulso mi aprendizaje.

A mi familia, pareja y amigos que me acompañaron durante esta formación.

Gracias por depositar en mí su confianza, sinceramente lo aprecio.

## ÍNDICE

ÍNDICE DE CUADROS	7
INDICE DE FIGURAS	8
ACRÓNIMOS	9
RESUMEN	11
ABSTRACT	12
I. INTRODUCCIÓN	13
II. REVISIÓN DE LITERATURA	14
2. 1. Situación de la producción de pollo de engorda	14
2. 1. 1. Nivel internacional	14
2. 1. 2. Nacional	14
2. 2. Producción de carne de pollo	14
2. 3. Salud intestinal en el pollo de engorda	15
2. 4. Microbiota intestinal	16
2. 5. Alimentación del pollo de engorda	16
2. 5. 1. Energéticos	17
2. 5. 2. Proteicos	17
2. 5. 3. Vitaminas	17
2. 5. 4. Minerales	18
2. 6. Aditivos	18
2. 6. 1. Enzimas	18
2. 6. 2. Pigmentos	18
2. 6. 3. Antibióticos	19
2. 6. 4. Probióticos	20
2. 6. 5. Prebióticos	21
2. 6. 6. Simbióticos	22
2. 7. Fibra	23
2. 7. 1. Fibra de nopal	24
2. 8. Planta de nopal ( <i>Opuntia ficus-indica</i> )	24
2. 8. 1. Composición de harina de nopal	24
2. 8. 2. Propiedades nutraceuticas	25

2. 8. 3. Uso en producción animal	25
2. 9. Aplicación de la harina de nopal en la producción de pollo de engorda	26
2. 9. 1. Variables productivas	26
2. 9. 2. Salud intestinal	26
2. 9. 3. Variables hematológicas	26
2. 9. 4. Estructura y función hepática	27
III. HIPÓTESIS	29
IV. OBJETIVO GENERAL	30
V. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	30
VI. MATERIALES Y MÉTODOS	31
6.1. Ubicación	31
6. 2. Animales	31
6. 3. Elaboración de la harina de nopal	31
6. 4. Extracto de nopal	31
6. 4. 1. Capacidad antioxidante por el método 2,2-difenil-1-picrylhydrazyl (DPPH)	32
6. 4. 2. Contenido de fenoles por el método Folin-Ciocalteu	33
6. 4. 3. Contenido de flavonoides por el método de nitrato de aluminio	33
6. 5. Toma de muestras en aves	33
6. 6. Hematología	34
6. 6. 1. Diferencial de leucocitos	34
6. 6. 2. Hematocrito	34
6. 6. 3. Hemoglobina	34
6. 7. Perfil hepático	34
6. 7. 1. Bilirrubina total y directa	34
6. 7. 2. Fosfatasa alcalina	35
6. 7. 3. Alanina aminotransferasa, aspartato aminotransferasa y $\gamma$ -glutamyl transpeptidasa	35
6. 8. Histopatología	35
6. 9. Diseño experimental	36
VII. RESULTADOS	37
7.1. Harina de nopal	37
7. 2. Variables productivas	38

7. 3. Variables hematológicas	38
7. 4. Perfil hepático	39
7. 5. Medición de vellosidades y criptas intestinales	40
7. 5. 1. Vellosidades intestinales	40
7. 5. 2. Criptas intestinales	41
7. 6. Estructura hepática	43
VIII. DISCUSIÓN	44
8. 1. Harina de nopal	44
8. 1. 1. Bromatológico de nopal	44
8. 1. 2. Antioxidantes de nopal	44
8. 2. Variables productivas	45
8. 2. 1. Ganancia de peso	45
8. 2. 2. Consumo de alimento	45
8. 2. 3. Conversión alimenticia	46
8. 3. Variables hematológicas	47
8. 3. 1. Diferencial de leucocitos	47
8. 3. 2. Medición de hematocrito	48
8. 3. 3. Medición de hemoglobina	49
8. 4. Perfil hepático	49
8. 4. 1. Bilirrubina directa (Bil Dir) y bilirrubina total (Bil Tot)	50
8. 4. 2. Fosfatasa alcalina (ALP)	50
8. 4. 3. Aspartato aminotransferasa (AST)	50
8. 4. 4. Gamma glutamil transpeptidasa (GGT)	51
8. 4. 5. Alanina aminotransferasa (ALT)	51
8. 5. Medición de vellosidades y criptas intestinales	52
IX. CONCLUSIONES	54
X. LITERATURA CITADA	55

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Ingredientes de la dieta según la etapa para pollo de engorda (%) (Lesson y Summers 2005) .....	32
<b>Cuadro 2.</b> Análisis bromatológico de harina de penca de nopal (%) .....	37
<b>Cuadro 3.</b> Perfil de antioxidantes de harina de penca de nopal .....	37
<b>Cuadro 4.</b> Parámetros productivos (kg) en pollos de tres y seis semanas de edad adicionando harina de nopal en la dieta .....	38
<b>Cuadro 5.</b> Variables hematológicas en pollos de tres y seis semanas de edad adicionando harina de nopal en la dieta .....	39
<b>Cuadro 6.</b> Perfil hepático en pollos de tres y seis semanas de edad adicionando harina de nopal en la dieta .....	40
<b>Cuadro 7.</b> Medición de altura de vellosidades y profundidad de las criptas intestinales por sección anatómica (µm) .....	41

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Histología de vellosidades intestinales al administrar harina de nopal en la dieta de pollo de engorda (H-E 40X).....	42
<b>Figura 2.</b> Hallazgos en hígado de pollo de engorda tratados con harina de nopal en la dieta (H-E 100X).....	43



## ACRÓNIMOS

### Organismos

FAO	Organización Mundial de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FDA	Agencia de Medicamentos y Alimentación
OIE	Organización Mundial de Sanidad Animal
SAGARPA	Secretaría de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
SIAP	Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera
SDA	Secretaría de Defensa Agropecuaria
UNA	Unión Nacional de Avicultores
USDA	Departamento de Agricultura de los Estados Unidos

### Soluciones

EDTA	Ácido etilendiaminotetracético
DPPH	Diphenyl-1-picrylhidrazyl
pH	potencial de Hidrógeniones
BHT	Butilhidroxitolueno

### Unidades internacionales de medida

mg	Miligramo
μL	Microlitro
mL	Mililitro
M	Molar
N	Normal
L	Litro
g	Gramo
h	Horas
t	Toneladas
μ	Micras
°C	Grados Celsius

nm	Nanómetros
cm	Centímetros
r.p.m.	Revoluciones por minuto
mm	Milímetro

### **Analitos**

Bil Dir	Bilirrubina directa
Bil Tot	Bilirrubina total
ALT	Alanina aminotransferasa
AST	Aspartato aminotransferasa
ALP	Fosfatasa alcalina
GGT	Gama glutamil transpeptidasa

### **Misceláneos**

GALT	Tejido linfoide asociado a intestino
LPS	Lipopolisacárido

## RESUMEN

El pollo de engorda está expuesto a condiciones metabólicas intensas para cubrir la demanda mundial de carne de pollo, por lo que es necesaria la investigación de alimentos funcionales que puedan disminuir el deterioro biológico en las aves, favoreciendo su salud digestiva y aportando a su bienestar, manteniendo la eficiencia productiva que caracteriza a la industria avícola. El nopal es un alimento nutraceutico que por sus efectos en salud humana supone potencial para usarlo en aves productivas. En la investigación se evaluaron 192 pollos durante 42 días, tratados con 0, 750, 1500 y 3000 mg de harina de nopal como aditivo en la dieta para conocer su efecto sobre sus parámetros hematológicos, vellosidades intestinales, estructura y función hepáticas. Se obtuvo el perfil del aditivo, se evaluó el índice productivo semanal en las aves, se practicó un hemograma, bioquímica sanguínea, histopatología de duodeno, yeyuno, íleon e hígado. Al finalizar el experimento no se observaron efectos negativos sobre las variables productivas, los índices hemáticos se mantuvieron normales con los tratamientos, específicamente al usar la dosis baja de harina de nopal, el tamaño de las vellosidades intestinales aumentó; a dosis media y alta, y los hallazgos patológicos en hígado fueron menores. Por lo tanto, la harina de nopal en la dieta a dosis baja puede favorecer al crecimiento de las vellosidades intestinales y salud hepática.

**Palabras clave:** Salud intestinal, fibra, microbiota intestinal, prebiótico.

## **ABSTRACT**

Broiler chicken is exposed to intense metabolic conditions to meet the global demand for chicken meat, so it is necessary to research functional foods that can reduce biological deterioration in birds, favoring their digestive health and contributing to their well-being. maintaining the productive efficiency that characterizes the poultry industry. The nopal is a nutraceutical food that, due to its effects on human health, represents the potential for use in productive birds. In the research, 192 chickens were evaluated for 42 days, treated with 0, 750, 1500 and 3000 mg of nopal flour as an additive in the diet to know its effect on their hematological parameters, intestinal villi, structure and liver function. The additive profile was obtained, the weekly productive index in the birds was evaluated, a hemogram, blood biochemistry, histopathology of the duodenum, jejunum, ileum and liver was performed. At the end of the experiment, no negative effects were observed on the productive variables, the hematic indices remained normal with the treatments, specifically when using the low dose of nopal flour, the size of the intestinal villi increased; at medium and high doses, and the pathological findings in the liver were lower. Therefore, nopal flour in the diet at a low dose can promote the growth of intestinal villi and liver health.

**Keywords:** Gut health, fiber, gut microbiota, prebiotic.

## I. INTRODUCCIÓN

La producción de carne de pollo en México es una actividad económica fundamental (SAGARPA, 2018). El sector avícola progresa debido a su inercia comercial, el crecimiento poblacional, su nivel de industrialización y alta eficiencia (FAO, 2018). Sin embargo, el costo del alimento representa del 70 al 75% de la inversión, lo que fomenta la investigación en nutrición para su mejora continua (Aviagen, 2014).

En las aves la digestión mejora usando eficazmente los nutrientes de los alimentos agregando aditivos para lograr su máximo aprovechamiento (Ravindran, 2013). Con el objetivo de sustituir a los productos de síntesis en la industria se buscan alternativas que contribuyan al cuidado del sistema digestivo y beneficien al rendimiento productivo (Tahergorabi, 2015; Celi *et al.*, 2017). La tasa metabólica de las aves es alta comparada con otros animales, en consecuencia, su rápido crecimiento puede provocar alteraciones en su salud (Nicol, 2013). El hígado realiza funciones vitales para la homeostasis, pero puede sufrir daño, disminuir su capacidad funcional afectando el desarrollo del ave (Blanch y Olivera, 2019). Los alimentos funcionales son opciones útiles para disminuir el desgaste biológico en las aves (Gwaltney-Brant, 2016).

El nopal (*Opuntia ficus-indica*) es una planta con propiedades nutraceuticas (Abou-Elella y Mohammed, 2014; Aruwa *et al.*, 2018) debido a su contenido de fitoquímicos y fibra dietética (Torres-Ponce *et al.*, 2015). Su ingestión disminuye la acumulación de lípidos en hígado, reduce el estrés oxidativo, favorece la absorción de minerales y modifica la microbiota intestinal (Jouini *et al.*, 2017; Sánchez-Tapia *et al.*, 2017; Cruz-Rubio *et al.*, 2018; Mendoza-Ávila *et al.*, 2020). No obstante, su potencial nutraceutico no ha sido explorado en aves, por sus cualidades puede ser usado como prebiótico mejorando el estado fisiológico y nutricional de las mismas (Weiss *et al.*, 2011; Agustí, 2015). Por lo tanto, el objetivo fue conocer los efectos de la harina de nopal como aditivo sobre el tamaño de las vellosidades intestinales, las variables hemáticas, la estructura y el funcionamiento hepáticos en el pollo de engorda.

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2. 1. Situación de la producción de pollo de engorda**

#### **2. 1. 1. Nivel internacional**

La carne de ave es el alimento de origen animal más consumido en el mundo, para lograrlo se producen 95 568 millones de t al año (USDA, 2019). De acuerdo con los reportes de la Organización Mundial de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura en el año 2016 el consumo mundial promedio fue de 13 kg. Los principales países que cubren la demanda son los EUA con el 19.9% de la producción total (19 546 t), seguido de Brasil (13 635 t), China (12 650 t), la Unión Europea (12 475 t) la India (5100 t) y México ocupa el séptimo lugar en este ranking (3600 t).

#### **2. 1. 2. Nacional**

El volumen de la actividad pecuaria en México se divide en el 55% de leche, 31% carne, 13% huevo y 1% de miel (SIAP, 2019). El cárnico más producido en el país es el pollo con 48%, seguido de la carne de bovino y el cerdo con el 28 y 22%, respectivamente. De acuerdo con los reportes de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Rural y Pesca en 2018 y el SIAP en el año 2019, el estado de Aguascalientes fue el principal productor, seguido de Veracruz, Jalisco, Querétaro y Durango. En el año 2020 la avicultura generó 215 000 empleos directos y aproximadamente 1 073 000 indirectos y su crecimiento alcanzó el 1.1% (UNA, 2021).

### **2. 2. Producción de carne de pollo**

De acuerdo con los registros, hace 50 años se necesitaban hasta 12 semanas para producir un pollo de 2.8 kg de peso (Knížetová *et al.*, 1991; Enkvetchakul *et al.*, 1995; Zuidhof *et al.*, 2014). Con el crecimiento de la población, la demanda de este producto fue en aumento y debido a la selección genética junto a la investigación sobre requerimientos energéticos, métodos para suministrar alimentos, función digestiva, microbiota intestinal, metabolismo y el corto intervalo generacional (Cerrate *et al.*, 2008; Sohail *et al.*, 2012; Zuidhof *et al.*, 2014) es posible generar un crecimiento mayor en esta especie comparado con otro tipo de ganado, a tal grado

que ha sido posible reducir la conversión alimenticia de 2.8 hasta 1.7 kg de alimento por kg de pollo producido en la actualidad (Long *et al.*, 2020).

El principal objetivo de la producción de carne de ave en México es obtener la mejor relación entre tasa de crecimiento y la eficiencia alimentaria (Sugiharto, 2016). Para lograrlo, es fundamental que los pollos mantengan una buena salud intestinal (Kogut, 2018), que les permita expresar su potencial genético y obtener los mejores rendimientos productivos (Celi *et al.*, 2017).

### **2. 3. Salud intestinal en el pollo de engorda**

En el intestino se realiza la digestión y absorción de los nutrientes (Kogut, 2018). A lo largo de este órgano hay tejido linfóide asociado a intestino (GALT) que brinda protección local (Tizard, 2009). Hacia el lumen intestinal se proyectan las vellosidades intestinales (Illanes *et al.*, 2006) compuestas estructuralmente por enterocitos, células de Goblet y células de Paneth, en conjunto tienen la función de absorber sustancias, secretar mucina y citocinas para estimular al sistema GALT (Kogut *et al.*, 2018). Entre cada vellosidad se forman las criptas de Lieberkühn encargadas de renovar el epitelio de las vellosidades (Megías *et al.*, 2019).

El sistema GALT es el tejido linfóide más grande del organismo y se expone todos los días a patógenos intestinales (Tizard, 2009), reconoce a través de los receptores de la membrana de las células epiteliales estímulos patogénicos (Kogut *et al.*, 2018). El contacto directo con estos agentes promueve la capacitación del sistema GALT mejorando la respuesta inmunológica contra agentes infecciosos y regula la respuesta inmune (Chassaing *et al.*, 2014).

La salud intestinal es el resultado del manejo integral de la dieta, el cuidado de la mucosa y de la microbiota intestinal para mantener la homeostasis en el organismo (Jha *et al.*, 2019). La pérdida del equilibrio en el ambiente intestinal causada por el rápido crecimiento de las aves, componentes de la dieta o la presencia de toxinas puede favorecer la proliferación de agentes infecciosos, causar inflamación y estrés oxidativo constante (Cardoso *et al.*, 2020; Mahmood y Guo, 2020; Kogut, 2017; Tachibana *et al.*, 2017).

## **2. 4. Microbiota intestinal**

Las vellosidades intestinales están recubiertas por microorganismos benéficos como *Lactobacillus*, *Enterococcus* y algunas especies de *Clostridium* pero también hay patógenos como *Campylobacter jejuni*, *Salmonella enterica*, *Escherichia coli* y *Clostridium perfringens* (Clavijo y Vives, 2018). Las características de las poblaciones bacterianas dependen de la edad del ave, su alimentación, la administración de medicamentos e incluso las enzimas digestivas del huésped (Szychlińska *et al.*, 2019).

El ecosistema bacteriano cumple múltiples funciones: forma una capa protectora evitando la adherencia de otras especies bacterianas, recubre los receptores celulares evitando la activación de la respuesta inflamatoria, secreta sustancias antimicrobianas, regula la secreción de moco, sintetiza vitaminas B7 y K. Además, digiere polisacáridos para producir ácidos grasos de cadena corta beneficiando al huésped (Van der Wielen *et al.*, 2000; Clavijo y Vives, 2018; Adebowale *et al.*, 2019; Mahmood y Guo, 2020).

Se han recomendado estrategias con el fin de obtener mejor aprovechamiento de los nutrientes, para favorecer los parámetros productivos, modular la respuesta inmune, evitar la colonización de patógenos y aportar a la inocuidad alimentaria (Kogut, 2018). Se han recomendado estrategias para regular la microbiota intestinal (Clavijo y Vives, 2018).

## **2. 5. Alimentación del pollo de engorda**

Las dietas para las aves son mezclas de granos, fuentes concentradas de energía, ingredientes proteicos, vitaminas y minerales. Los ingredientes son balanceados para cubrir los requerimientos de mantenimiento, más la producción de volumen cárnico, tratando de ajustarlos al mínimo costo (Raza *et al.*, 2019). En los alimentos se añaden aditivos con fines no nutricionales, los más usados en la industria son las enzimas, los pigmentos y los antibióticos. Pero en los últimos años los probióticos, prebióticos y simbióticos han ganado popularidad debido a sus beneficios en la salud (Aviagen, 2017).



### **2. 5. 1. Energéticos**

Los granos de los cereales y los aceites son las principales fuentes de energía usadas en las aves, al ser ricos en carbohidratos simples son degradados eficientemente por sus enzimas digestivas (Ravindran, 2013). El maíz y el sorgo son los más utilizados debido a su alta digestibilidad (Mahmood y Guo, 2020). El aceite crudo de soya es adicionado en las dietas para las aves por su contenido de ácido linoleico esencial para esta especie (Baião y Lara, 2005; Long *et al.*, 2020). Además, los aceites aportan el doble de energía comparados con los granos, mejoran la absorción de compuestos liposolubles, disminuyen el polvo del alimento y aumentan su palatabilidad (Baião y Lara, 2005).

### **2. 5. 2. Proteicos**

La pasta de soya es el ingrediente proteico por elección en las aves, pero se puede usar pasta de canola o girasol (Mahmood y Guo, 2020). La lisina es un aminoácido limitante en las dietas elaboradas con maíz y pasta de soya, por lo tanto, será necesario usar aminoácidos sintéticos (Lu *et al.*, 2017). Además, se administra metionina, cistina, treonina, valina y arginina para la síntesis de proteínas (Lee *et al.*, 2020). Con el fin de optimizar el nitrógeno y disminuir la excreción de compuestos nitrogenados al ambiente, se realizan las aproximaciones en las dietas para cubrir las necesidades de las aves (Emmert y Baker, 1997; Lu *et al.*, 2017).

### **2. 5. 3. Vitaminas**

Son compuestos que actúan como cofactores orgánicos esenciales para el organismo, el cuerpo no tiene capacidad biológica para producirlas y deben suplementarse a través de la dieta (Latham, 2002). Las vitaminas pueden ser liposolubles, en este grupo se encuentran las vitaminas A, D, E y K e hidrosolubles como la vitamina C y el complejo B (Pérez y Ruano, 2004). Las vitaminas son almacenadas en el hígado, pero su liberación dependerá de la necesidad del organismo para sintetizar enzimas, tejidos, factores de coagulación, transportadores de grasas, entre otras funciones (Godoy-Parejo *et al.*, 2019).

#### **2. 5. 4. Minerales**

Debido al rápido crecimiento de las aves su organismo requiere una fuente de calcio, magnesio, hierro, cobre y fósforo para realizar sus funciones fisiológicas (Lu *et al.*, 2017). Además, forman parte de enzimas, rutas de secreción hormonal y otras funciones bioquímicas (Bao *et al.*, 2007). El calcio junto con el fósforo participa en la formación de los huesos que soportan el cuerpo de las aves (Martínez, 2016). Pero el fósforo es vital porque ayuda en la síntesis de compuestos orgánicos y está presente en la mayoría de las reacciones bioquímicas del organismo (Lu *et al.*, 2017).

#### **2. 6. Aditivos**

Estos compuestos son definidos en el *Codex alimentarius* (2013) como sustancias adicionadas a los alimentos tengan o no valor nutritivo. Los aditivos pueden agregarse hasta en un 10% del total de la dieta (FAO y OMS, 2018). Si no hay efecto sobre el organismo a 5 g por kg no tiene caso aumentar la dosis por su relación costo beneficio (OMS, 1957). El perfil bromatológico de un aditivo no debe ser tomado en cuenta para saber si afecta la composición o valor nutritivo de la dieta (OMS, 2018). Para ser incluidos a la ración deben viajar sobre un disolvente como es el aceite que le permita su dispersión (FAO y OMS, 2018).

##### **2. 6. 1. Enzimas**

Las enzimas hidrolizan el fósforo fítico almacenado en las plantas para liberarlo como ortofosfato en el tracto intestinal de las aves favoreciendo la relación calcio – fósforo en los huesos al ser absorbido (Selle y Ravindran, 2007; Dersiant-Li *et al.*, 2014; Sousa *et al.*, 2015; Diosdado *et al.*, 2017). Además, usarlo disminuye el impacto ecológico y económico ocasionado por su excreción excesiva de fósforo al ambiente por no ser aprovechado en el sistema digestivo de las aves (Lu *et al.*, 2017).

##### **2. 6. 2. Pigmentos**

El color de la piel del pollo es una característica evaluada por los consumidores al momento de comprarlo (Díaz-Gómez *et al.*, 2017). Existen diferencias en la preferencia del tono de la piel entre países e incluso dentro de las regiones

(Castañeda *et al.*, 2005). El mercado mexicano demanda carne, piel y tarsos teñidos de amarillo intenso (Martínez *et al.*, 2004), el cual está arraigado culturalmente y define su comercialización (Muñoz-Díaz *et al.*, 2012).

El maíz amarillo y la soya en las dietas comerciales no tiene la cantidad suficiente de xantofilas necesarias para alcanzar el tono de amarillo demandado por los consumidores (Castañeda *et al.*, 2005). Por lo tanto, se deben agregar pigmentos naturales o sintéticos a los alimentos aumentando el costo de la dieta ya que representan del 8 al 10% del costo total del alimento (Castañeda *et al.*, 2005; Muñoz-Díaz *et al.*, 2012; Díaz-Gómez *et al.*, 2017).

Los pigmentos se depositan en la grasa subcutánea de la piel que es blanca (Castañeda *et al.*, 2005; Díaz-Gómez *et al.*, 2017). La adición de las grasas como energía metabolizable ayuda a la distribución del pigmento en el pollo, la liposolubilidad de las xantofilas facilita la absorción, transporte y deposición de pigmentos en los tejidos subcutáneos (Muñoz-Díaz *et al.*, 2012).

Aunque los pigmentos sintéticos pueden ser absorbidos, los pigmentos naturales son más efectivos para alcanzar tonalidades más amarillas en la piel (Castañeda *et al.*, 2005). Los más usados son maíz amarillo y flor de cempasúchil, los cuales son fuentes de carotenoides como las xantofilas y la astaxantina (Urango *et al.*, 2009).

### **2. 6. 3. Antibióticos**

En la producción de pollo se han usado antimicrobianos como promotores de crecimiento a dosis no terapéuticas para establecer un equilibrio microbiológico intestinal mejorando el rendimiento productivo de las aves (Mehdi *et al.*, 2018). La inclusión de productos sintéticos afecta al medio ambiente debido a los residuos de medicamentos en las excretas que son contaminantes de agua y suelo (Carvalho y Santos, 2016; González y Ángeles, 2017). Además, los residuos presentes en la carne destinada para consumo humano pueden promover la resistencia bacteriana (González y Ángeles, 2017; Mehdi *et al.*, 2018).

La Organización Mundial de Sanidad Animal (2019) y la Organización Mundial de la Salud (2016) recomiendan que se prohíba el uso de antimicrobianos como promotores de crecimiento, debido al impacto que generan sobre la salud animal, humana y ambiental (González y Ángeles, 2017). Según el reporte anual 2019 de

la OIE indica que el 40% de los países del mundo han hecho caso omiso a dichas recomendaciones, el resto si ha limitado su uso a exclusivamente terapéutico.

A partir del año 2006 la Unión Europea ha descontinuado la adición de antimicrobianos como promotores de crecimiento en la industria avícola sin afectaciones directas sobre la producción cárnica, como consecuencia la FDA en Estados Unidos prohibió su uso desde 2017, la SDA a partir de 2018 en Brasil, México a partir del 2018 se comprometió con la estrategia de acción contra la resistencia a los antimicrobianos en todos los sectores, bajo el concepto de “una salud” (SEGOB, 2018). Quedando claro que la salud animal y humana son interdependientes, la protección a la salud pública se realiza por medio de bienestar animal, seguridad alimentaria e inocuidad de los alimentos (OIE, 2020). Como alternativa se ha difundido el uso de probióticos, prebióticos y simbióticos.

#### **2. 6. 4. Probióticos**

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2006) define a los probióticos como microorganismos vivos, habitantes naturales de la microbiota intestinal que producen beneficios en la salud. Son adquiridos a partir de alimentos enriquecidos, su administración se recomienda después de cambiar la dieta o al finalizar un tratamiento con antibióticos (Clavijo y Vives, 2018).

Los microorganismos administrados como probióticos deben tener la capacidad de colonizar, adherirse y reproducirse sobre las células epiteliales del huésped, además, deben sobrevivir a la acidez gástrica y a las secreciones biliares. Estos microorganismos pueden inhibir el desarrollo de bacterias patógenas y sus efectos biológicos. Sin embargo, los ingredientes de las dietas como son las proteínas, las grasas o los aditivos pueden modificar sus efectos y deben evaluarse *in vitro* e *in vivo* (Clavijo y Vives, 2018; Al-Fatah, 2020).

La colonización bacteriana intestinal depende de la estabilidad del probiótico, la frecuencia de administración, la dosis, el estado nutricional, la edad, el estrés y la genética del individuo (Chichlowski *et al.*, 2007; Clavijo y Vives, 2018; Al-Fatah, 2020). Su administración permite mantener la homeostasis intestinal (Chichlowski *et al.*, 2007), mejora el desarrollo del sistema inmunológico (Al-Fatah, 2020),

promueve la digestibilidad de algunos nutrientes (Lu *et al.*, 2017) y ayuda a proteger la integridad intestinal (Chichlowski *et al.*, 2007).

Los organismos más usados son los *Lactobacillus*, *Bifidobacterium* y *Enterococos* (Oliveira y González- Molero, 2007). De forma comercial se distribuye Primalac® de Star labs, PoultryStar® de Biomin y Aviguard® de MSD, este último contiene una mezcla de microorganismos, se aplica por aspersion en aves de un día o en aves adultas directamente en agua de bebida. La eficacia de los probióticos puede incrementar usando cepas mejores, manipulación genética o combinación de microorganismos con el uso de simbióticos (Awad *et al.*, 2009).

### **2. 6. 5. Prebióticos**

Son aditivos compuestos principalmente por fibra resistente a la acción enzimática de monogástricos, pero que son degradados por los microorganismos intestinales (Bengmark, 2001; Mohanty *et al.*, 2018). Al ser sustratos de fermentación bacteriana (Clavijo y Vives, 2018), actúan como productos de exclusión competitiva promoviendo la proliferación de bacterias benéficas en intestino, inhibiendo el crecimiento y adhesión de bacterias dañinas (Kogut, 2018). También aumenta la ósmosis intestinal incrementando la absorción de los nutrientes (Clavijo y Vives, 2018; Kridtayopas *et al.*, 2019; Al-Fatah, 2020).

El costo de producción de los prebióticos es menor comparado a otras opciones usadas para regular la microbiota intestinal (Clavijo y Vives, 2018). Además, sirven como alternativa para disminuir el uso de antibióticos en la producción pecuaria, así como sus residuos en productos de consumo en el ambiente (González y Ángeles, 2017).

La efectividad de un prebiótico depende de su capacidad para ser fermentado por un tipo específico de microorganismos (Saminathan *et al.*, 2011). Pero, según los componentes de la fibra será su influencia sobre la fisiología digestiva de los monogástricos (Savon, 2002).

Se ha determinado que los prebióticos que tienen mayor digestibilidad son los isomaltooligosacáridos, galactooligosacáridos, fosfooligosacáridos y gentiooligosacáridos para el crecimiento de *Lactobacillos* (Saminathan *et al.*, 2011;

Kridtayopas *et al.*, 2019; Karimian y Rezaeipour, 2020). En la actualidad se han estudiado fibras de ingredientes disponibles por región (Sedghi *et al.*, 2011; Sittiya *et al.*, 2020) e incluso componentes estructurales del hongo *Saccharomyces cerevisiae* para explorar sus beneficios terapéuticos y características funcionales (Kogut, 2018; Froebel *et al.*, 2019).

Se ha demostrado que la administración de prebióticos disminuyó el efecto causado por *Escherichia coli* aumentando la población de *Enterococcus* y *Lactobacillus* en la microbiota intestinal (Tarabees *et al.*, 2019; Karimian y Rezaeipour, 2020). También disminuyó la presencia de *Campylobacter* en el ciego, lo que disminuye el riesgo de contaminación en los alimentos evitando la prevalencia de enfermedades transmitidas por estos (Froebel *et al.*, 2019).

Se ha determinado que la administración de prebióticos aumenta títulos vacunales contra Newcastle (Mohammed *et al.*, 2016) y la cantidad de IgY en suero (Al-Khalaifa *et al.*, 2019). Además, favorece el crecimiento de las aves al mejorar la función digestiva (Froebel *et al.*, 2019). Se ha reportado que la administración de prebióticos *in ovo* puede favorecer la expresión genética para resistir a condiciones de estrés calórico (Slawinska *et al.*, 2019).

### **2. 6. 6. Simbióticos**

Los simbióticos son una combinación de agentes probióticos y prebióticos que permiten el desarrollo y la proliferación de los microorganismos administrados en la dieta (Bengmark, 2001; Mohanty *et al.*, 2018). La mezcla de *Lactobacillos* y *Bifidobacterias* con oligosacáridos e inulina son los más usados (Pandey *et al.*, 2015).

El uso de simbióticos reduce la cantidad de *Escherichia coli* (Dibaji *et al.*, 2014), *Clostridium perfringens* (Shanmugasundaram *et al.*, 2020), *Campylobacter jejuni* (Baffoni *et al.*, 2017) y *Salmonella spp* (Kridtayopas *et al.*, 2019). Además, puede aumentar los títulos de anticuerpos post vacunales de Newcastle (Hassanpour *et al.*, 2013), mejora la densidad ósea (Yan *et al.*, 2019), promueve el crecimiento de las vellosidades intestinales de las aves (Hassanpour *et al.*, 2013; Kridtayopas *et al.*, 2019; Shanmugasundaram *et al.*, 2020). En condiciones estresantes los

simbióticos pueden mejorar las variables productivas de los animales (Kridtayopas *et al.*, 2019; Yan *et al.*, 2019).

## **2. 7. Fibra**

La fibra son carbohidratos complejos presentes las plantas, por su tamaño pueden ser polisacáridos, oligosacáridos o ligninas (Mohanty *et al.*, 2018). Dependiendo de su capacidad para atraer agua y formar gel se expresa la solubilidad, entre mayor solubilidad tenga más fermentable es, excepto la lignina que no es fermentada por la microbiota intestinal (Escudero y González, 2006).

En el proceso de fermentación las bacterias secretan enzimas de tipo  $\beta$  sobre las fibras, degradándolas y produciendo metabolitos como lactato y ácidos grasos de cadena corta como acetato, propionato y butirato que tienen efectos en la fisiología del huésped (Escudero y González, 2006; Das *et al.*, 2012; Mohanty *et al.*, 2018; An *et al.*, 2019).

Los ácidos grasos de cadena corta son fuente de energía para los enterocitos, promoviendo el desarrollo epitelial y de la mucosa intestinal (Kogut, 2018; Adebowale *et al.*, 2019). El acetato y butirato tienen efecto antiinflamatorio estimulando la producción de moco protector sobre el intestino (Escudero y González, 2006; Makki *et al.*, 2018).

Durante la degradación de las fibras por la microbiota intestinal se liberan los compuestos fenólicos contenidos entre sus redes de los polisacáridos en la fibra, tales como los terpenos, fenoles y flavonoides. Estos son metabolitos secundarios que dan el color a las plantas y las protegen de los depredadores o de las condiciones climáticas (Gasaly *et al.*, 2020). También tienen potencial antioxidante y antiinflamatorio, al ser liberados pueden tener efectos locales o sistémicos en el organismo (Makki *et al.*, 2018).

La fibra es un ingrediente señalado como anti nutricional en el pollo de engorda (Raza *et al.*, 2019). Sin embargo, se ha demostrado que puede ser empleada a dosis bajas de hasta 3% logrando mejorar el funcionamiento general del sistema digestivo, favoreciendo la digestibilidad de los nutrientes, promoviendo la absorción de calcio y ejerciendo un efecto prebiótico (Escudero y González, 2006; Jiménez-Moreno *et al.*, 2009; Celi *et al.*, 2017).

### **2. 7. 1. Fibra de nopal**

En nutrición humana se cataloga como ingrediente funcional por las múltiples actividades nutricionales y farmacológicas obtenidas por su consumo (Das *et al.*, 2012; Ortiz-Rodríguez, 2012). En pollo de engorda no se han estudiado sus efectos, sin embargo, la harina de nopal contiene fibras que podrían modular la microbiota intestinal generando beneficios para su organismo (Jiménez-Moreno *et al.*, 2009; Sánchez-Tapia *et al.*, 2017).

### **2. 8. Planta de nopal (*Opuntia ficus-indica*)**

El nopal es una cactácea distribuida en regiones áridas y semiáridas de México. La adaptación del nopal a condiciones climáticas y topográficas arduas le brinda características de resistencia únicas (Arena *et al.*, 2001; Torres-Ponce *et al.*, 2015). De acuerdo con los informes del SIAP (2019) el nopal forrajero o nopalito es producido y consumido en México con una tendencia per cápita aproximado de 6.3 kg. Es cultivado en una superficie de 12 731 ha, lo que hace posible producir hasta 829 000 t al año. Los estados líderes en producción son Morelos, Ciudad de México, Estado de México, Tamaulipas y Michoacán, Guanajuato se ubica en el décimo primer lugar a nivel nacional.

#### **2. 8. 1. Composición de harina de nopal**

El valor nutrimental de la harina de *Opuntia ficus-indica* varía según sus características fenológicas, especie, temporada y condiciones climatológicas (Paiva *et al.*, 2016). El estado de Guanajuato ha reportado el contenido nutricional del nopalito: 6.7% proteína cruda, 0.1% grasa, 15.0% fibra, 17.3% cenizas, mientras que la penca 16.0, 0.1, 10.8 y 18.8%, respectivamente (Guevara-Figueroa *et al.*, 2010). Es bajo en calorías, tiene altos niveles de oxalato de calcio, magnesio, potasio y compuestos con actividad antioxidante (Sánchez-Tapia *et al.*, 2017), que actúan protegiendo a los tejidos del efecto dañino de los radicales libres (Monje y Baran, 2002; Ayadi *et al.*, 2009; Dib *et al.*, 2013).

Además, el nopal en harina está compuesto por mucílagos, gomas, pectina, hemicelulosa, celulosa y lignina (Torres-Ponce *et al.*, 2015; Cruz-Rubio *et al.*, 2018). Las ligninas son polímeros formados de alcoholes fenilpropílicos no digeribles, pero



tiene la capacidad de unirse a los ácidos biliares y colesterol retrasando o disminuyendo su absorción en el intestino (Escudero y González, 2006).

### **2. 8. 2. Propiedades nutraceuticas**

Existen investigaciones sobre la biodisponibilidad de los compuestos fitoquímicos contenidos en el nopal para conocer sus propiedades nutraceuticas (Angulo-Bejarano *et al.*, 2014). Se ha demostrado que los fitoquímicos mejoran la actividad antioxidante endógena de los eritrocitos (Alimi *et al.*, 2010), también inhiben la peroxidación lipídica en las células renales (Hfaiedh *et al.*, 2019). La pectina tiene efecto antiinflamatorio formando una capa viscosa protectora de la mucosa gástrica teniendo efecto gastroprotector (Jouini *et al.*, 2017), tiene efecto citotóxico sobre células tumorales (Lefsih *et al.*, 2018). El consumo de nopal disminuye la acumulación de lípidos en hígado, puede reducir la endotoxemia metabólica causada por LPS bacteriano y disminuir la resistencia a la insulina señalando su efecto como hipoglucemiante (Sánchez-Tapia *et al.*, 2017). Se ha descrito su capacidad prebiótica al disminuir las bacterias patógenas y aumentar la cantidad de *Lactobacillus* y *Bifidobacteria* en el tracto digestivo (Cruz-Rubio *et al.*, 2018), e incluso de forma tópica promueve la reepitelización, favoreciendo la cicatrización de heridas (Galati *et al.*, 2003).

### **2. 8. 3. Uso en producción animal**

El nopal ha sido empleado como forraje para rumiantes durante la época de estiaje principalmente en el norte del país (Gebremariam *et al.*, 2006). En ganado lechero aumenta la cantidad y calidad organoléptica de la leche y los subproductos (Ortiz-Rodríguez, 2012). En ratas administrado vía oral hasta 2000 mg de extracto de nopal no altera su ganancia de peso, consumo de alimento y agua (Hye *et al.*, 2019), pero si mejora su funcionamiento cognitivo, modifica la microbiota intestinal y en los ovinos puede tener efecto antihelmíntico (Féboli *et al.*, 2016; Sánchez-Tapia *et al.*, 2017). Recientemente Mendoza-Ávila *et al.*, (2020) reportaron que la fibra de nopal soluble e insoluble permite mayor biodisponibilidad de calcio en la dieta mejorando la densidad ósea en ratones.

## **2. 9. Aplicación de la harina de nopal en la producción de pollo de engorda**

### **2. 9. 1. Variables productivas**

No se encontraron estudios publicados sobre los efectos de la harina de nopal en pollo de engorda. Sin embargo, Tarabees *et al.*, (2019) y Adewole *et al.*, (2020) describen que el uso de la fibra mejora el rendimiento de la canal, aumenta la ganancia de peso a los 21 días y disminuye el índice de mortalidad en las aves (González-Alvarado *et al.*, 2007; Tarabees *et al.*, 2019).

### **2. 9. 2. Salud intestinal**

En la producción de pollo de engorda es indispensable contar con una buena salud intestinal para que las aves puedan alcanzar sus metas productivas (Celi *et al.*, 2017). Como variable para determinar la salud intestinal comúnmente se emplea la medición de la altura de las vellosidades y la profundidad de las criptas de Lieberkühn (Ducatelle *et al.*, 2018).

Es importante considerar la participación de la microbiota en la estructuración de la morfología intestinal pues aumenta la capacidad de absorción de los nutrientes. Así como el efecto de los metabolitos de la fermentación de polisacáridos con múltiples efectos biológicos en el organismo (Han *et al.*, 2016; Mehdi *et al.*, 2018; Mohanty *et al.*, 2018; Puente *et al.*, 2019; Chen *et al.*, 2020).

La pectina y el mucílago contenidos en la harina de nopal han sido estudiados por Guevara-Arauz *et al.*, (2012) con fines prebióticos, reportando un aumento del 23.8% en la población de *Lactobacillus* y la disminución del 4% en bacterias enteropatógenas. Efecto que favorece la integridad intestinal, reduce la mortalidad, disminuye el riesgo de enfermedades asociadas a los alimentos y evita los costos generados por administrar tratamientos (Das *et al.*, 2012; Tahergorabi, 2015; Mahmood y Guo, 2020).

### **2. 9. 3. Variables hematológicas**

La sangre se forma por una parte líquida o suero y el paquete celular (Claver y Quaglia, 2009). El suero contiene electrolitos, moléculas orgánicas y proteínas que ayudan a mantener la presión osmótica para mantener la homeostasis, transporta nutrientes, metabolitos de desecho y hormonas (Montalvo, 2017). Su análisis

cuantitativo, físico y químico puede revelar alteraciones orgánicas, reflejar el estado nutricional, hidratación e informar sobre la salud general de los animales (Stacy *et al.*, 2011).

En las aves los eritrocitos son nucleados, tienen la función de transportar y distribuir los gases a todo el organismo, de forma similar, los leucocitos transportan anticuerpos a los sitios donde se necesitan (Scanes, 2015). La cantidad de células blancas en la sangre puede variar debido a la regulación de la respuesta inflamatoria en el intestino causada por la microbiota intestinal (Clavijo y Vives, 2018). En pollo de engorda existen prebióticos que pueden promover la hematopoyesis (Alimohamadi, 2014), inclusive se ha investigado el uso de la pectina de *Opuntia ficus-indica* con fines anticoagulantes, para sustituir el uso de heparina (Chaouch *et al.*, 2018).

#### **2. 9. 4. Estructura y función hepática**

En las aves, igual que en mamíferos la glándula más grande del cuerpo es el hígado (Maher, 2019). Histológicamente formada por láminas de hepatocitos, su principal unidad estructural, llamadas sinusoides que presentan en su pared células endoteliales y células de Kupffer (Zanuzzi y Barbeito, 2014). Este último tipo celular es un macrófago especializado que fagocita eritrocitos dañados, agentes infecciosos o desechos celulares (Faraj, 2018).

El hígado cumple una función vascular, para almacenar y filtrar la sangre (Maher, 2019); interviene en la producción y secreción de la bilis necesaria para emulsificar grasas. Además, se encarga del metabolismo de carbohidratos, proteínas y grasas (Klasing, 1999; Maher, 2019). Por lo tanto, si es afectado por procesos patológicos disminuye su capacidad funcional (Davies, 2000). En este órgano el uso de harina de nopal podría evitar la acumulación de grasa y proteger al tejido (Sánchez-Tapia *et al.*, 2017).

De acuerdo con lo descrito anteriormente es necesario evaluar a los ingredientes fibrosos para conocer sus posibles efectos positivos o negativos sobre el sistema digestivo de los animales monogástricos. Con base en la bibliografía consultada se considera que la harina de nopal podría tener beneficios en la salud general del pollo de engorda, reflejándose en sus parámetros productivos, variables hematológicas,

estructura y funcionamiento hepáticos. Con su aplicación se podría reducir el uso de agentes de síntesis en la industria, disminuir el impacto ecológico, favorecer la inocuidad alimentaria, así como mejorar la salud digestiva repercutiendo en su bienestar animal y productividad.

### **III. HIPÓTESIS**

La adición de 3000 mg de harina de nopal por kg de alimento como aditivo en la dieta puede tener efecto sobre las variables productivas, hemáticas, vellosidades intestinales, el funcionamiento y estructura hepáticas en el pollo de engorda.

#### **IV. OBJETIVO GENERAL**

Identificar si la harina de nopal tiene efecto benéfico sobre las variables productivas, hemáticas, vellosidades intestinales, el funcionamiento y estructura hepáticas en el pollo de engorda.

#### **V. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Determinar si la adición de harina de nopal a dosis de 750, 1500 o 3000 mg por kg de alimento tiene efecto sobre las variables productivas del pollo.
2. Evaluar si la harina de nopal adicionada en el alimento puede modificar los índices hematológicos en pollo de engorda.
3. Conocer si la harina de nopal mejora la función hepática del pollo de engorda.
4. Analizar si el tamaño de las vellosidades intestinales cambia con la adición de harina de nopal a la dieta.
5. Identificar lesiones histológicas en hígado de aves alimentadas con dietas adicionadas con harina de nopal.

## VI. MATERIALES Y MÉTODOS

### 6.1. Ubicación

El estudio se realizó en las instalaciones de la División Ciencias de la Vida, Campus Irapuato-Salamanca de la Universidad de Guanajuato, ubicada en la Ex-Hacienda del Copal, C.P. 36500 Irapuato, Guanajuato, México. El experimento fue autorizado por el Comité de Bioética de la universidad con el folio CIBIUG-P62-2020.

### 6.2. Animales

Se engordaron 192 pollos Ross de uno a los 42 días. Los animales se distribuyeron en cuatro tratamientos con cuatro repeticiones de 12 aves. Las aves se alimentaron con una dieta a base de maíz y pasta de soya (Cuadro 1) adicionada con 0, 750, 1500 y 3000 mg de harina de nopal por kg de alimento de iniciación y crecimiento. El alimento y el agua se proporcionaron *ad libitum* durante el tiempo del experimento. Para estabilizar la oxidación del aceite de soya se mezcló con el 0.02% de butilhidroxitolueno (BHT).

### 6.3. Elaboración de la harina de nopal

Para elaborar la harina de nopal se colectaron pencas de *Opuntia ficus-indica*, se limpiaron, se lavaron y cortaron en tiras de 0.5 cm de ancho por 20 cm de largo para deshidratar en una incubadora (Shaking incubator, THZ-98<sup>a</sup>, biobase) a 43°C durante 48 h, posteriormente se molieron (Oster Mod. M4125-13) para tamizar y realizar su aproximación bromatológica, así como determinar su capacidad antioxidante (Cuadro 2).

### 6.4. Extracto de nopal

Se colocaron 4 g de harina de nopal en 100 mL de alcohol al 70% en agitación a 600 rpm protegida de la luz durante 72 h, la solución obtenida pasó a través de papel filtro (Whatman, 110 mm), la solución se almacenó a 4°C protegida de la luz y sellada hasta utilizarla (Hernández-Zárate *et al.*, 2018).

**Cuadro 1.** Ingredientes de la dieta según la etapa para pollo de engorda (%) (Lesson y Summers, 2005).

Ingrediente	Inicio	Crecimiento
Maíz	56.70	63.20
Pasta de soya	33.40	25.50
Aceite de soya	2.00	4.00
Caco3	1.80	1.60
Ortofosfato	1.10	0.90
Sal	0.20	0.20
Premezcla Vit y Min <sup>1</sup>	4.00	4.00
DI-metionina	0.30	0.20
L-lisina	0.30	0.20
<b>Composición nutricional</b>		
EM (Mcal)	3.10	3.20
PC	20.00	16.00
Ca	0.90	0.80
Pd	0.40	0.30
Lys	1.30	1.00
Met+Cist	0.90	0.70

<sup>1</sup>Cantidad por kg de alimento: vitamina A 10 000 IU; vitamina D3 2500 IU; vitamina K3 2 mg; tiamina 2 mg; riboflavina 7 mg; ácido pantoténico 10 mg; piridoxina 4 mg; ácido fólico 1 mg; Vitamina B12 0.015 mg; y biotina 0.010 mg; Se 0.20 mg; I 0.30 mg; Cu 7 mg; Fe 65 mg; Zn 75 mg; Mn 65 mg; y Co 0.4 mg (Vipresa.), Tepatitlán de Morelos, México.

#### 6. 4. 1. Capacidad antioxidante por el método 2,2-difenil-1-picrylhydrazyl (DPPH)

Se preparó una solución de 7.5 mg de DPPH (Sigma-Aldrich, Alemania) en 100 mL de etanol al 70% agitada durante 10 min protegida de la luz. Posteriormente, se colocó 1990 µL de la solución obtenida en un tubo eppendorf de 2 mL y se adicionaron 10 µL del extracto de nopal. Se homogeneizó la mezcla para dejar reposar durante 30 min a 20°C en la oscuridad. Posteriormente se midió la absorbancia a 517 nm en un espectrofotómetro (Epoch, biotek, EUA) expresando su resultado en equivalente de trolox por g de extracto de nopal (Hernández-Zarate *et al.*, 2018).



#### **6. 4. 2. Contenido de fenoles por el método Folin-Ciocalteu**

Se disolvieron 0.5 mL de solución Folin-Ciocalteu (Sigma-Aldrich, Alemania) 2 M con 10 µL de extracto de nopal y 2 mL de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> al 1%, la muestra se dejó reposar durante 2 h a 20°C protegida de la luz y se midió su absorbancia a 765 nm en un espectrofotómetro (Epoch, biotek, EUA) los resultados se expresaron como mg de ácido cafeico equivalentes por g de extracto de nopal (Hernández-Zárate *et al.*, 2018).

#### **6. 4. 3. Contenido de flavonoides por el método de nitrato de aluminio**

En un tubo con 950 µL de alcohol al 70% se disolvió 50 µL de extracto de nopal, se tomó 500 µL de esta solución y se agregó 100 µL de AlCl<sub>3</sub> al 10%, 100 µL (1M) de CH<sub>3</sub>CO<sub>2</sub>K y 4 mL de alcohol al 70%, se dejó reposar durante 40 min, a 20°C, protegido de la luz y se midió su absorbancia a 415 nm en el espectrofotómetro expresando su resultado en mg equivalentes de quercetina sobre g de extracto de nopal (Hernández-Zárate *et al.*, 2018).

#### **6. 5. Toma de muestras en aves**

A los 21 y 42 días se realizó venopunción de la vena del ala a ocho aves por cada tratamiento, se colectaron 1.5 mL de sangre con ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) y 1.5 mL de sangre sin anticoagulante. Las muestras se almacenaron en refrigeración (4°C) hasta su procesamiento (OIE, 2005). Posteriormente se dio muerte a los animales por sección de la vena yugular y arteria carótida (NOM-033-SAG/ZOO-2014).

Adicionalmente, se tomó una muestra a cinco aves por tratamiento de la sección de duodeno, yeyuno, íleon e hígado de 1 cm<sup>3</sup>; se consideró el duodeno desde la curvatura a la inserción de los conductos pancreático y biliar, el yeyuno hasta el divertículo de Merkel e íleon hasta 10 cm antes de la unión ileocecal. Las muestras de hígado fueron seleccionadas donde se encontrará tejido afectado con lesiones macroscópicas y tejido aparentemente sano. Las muestras fueron colocadas en formol tamponado al 10% (formalina 100 mL + NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 4 g + Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 6.5 g + agua destilada 900 mL) hasta su procesamiento histológico (Montalvo, 2010; Fonseca-García *et al.*, 2017).

## **6. 6. Hematología**

### **6. 6. 1. Diferencial de leucocitos**

Se realizó el conteo de 100 células blancas a partir de su observación e identificación en un frotis sanguíneo teñido con Dip Quick Stain® (J-322<sup>a</sup>-1), el aumento fue de 100X con aceite de inmersión (Samour, 2007).

### **6. 6. 2. Hematocrito**

Se llenaron tres cuartas partes de un capilar sin anticoagulante con sangre y fue sellado hacia el lado externo con plastilina para colocarlo en la centrifuga (TG12M, microhematocrit centrifuge) a 2500 rpm durante 10 min. Al terminar se midieron los mm del paquete globular rojo (L2) y el total del contenido del tubo (L1) (Samour, 2007 y Campbell, 2013), para realizar el cálculo total se utilizó la fórmula:

$$Hto (\%) = L2 / L1 * 100$$

### **6. 6. 3. Hemoglobina**

Se utilizó el método de cianometahemoglobina, se colocó en un frasco ámbar 5 mL de reactivo Drabkin (Hycel) a 25°C más 20 µL de sangre homogeneizada con EDTA. La muestra se mezcló suavemente evitando formar burbujas para dejar reposar durante cinco minutos para medir su absorbancia a 540 nm con un espectrofotómetro (Epoch, biotech, EUA), el resultado se multiplicó por 36.77 para obtener su valor en g/dL (Samour, 2007).

## **6. 7. Perfil hepático**

Las muestras de sangre sin anticoagulante fueron centrifugadas para obtener el suero y medir los analitos hepáticos: bilirrubina total (Bil Tot), bilirrubina directa (Bil Dir), fosfatasa alcalina (ALP), alanina aminotransferasa (ALT), aspartato aminotransferasa (AST) y γ-glutamil transpeptidasa (GGT).

### **6. 7. 1. Bilirrubina total y directa**

Se incubaron 200 µL de reactivo A y 16 µL de suero a 36°C durante 30 seg, posteriormente se adicionan 40 µL del reactivo B para incubar a la misma temperatura durante cinco minutos. Al final se mide su absorbancia a 546 nm y la concentración total en g/dL se calculó con la siguiente fórmula:

$$\left( \frac{X \text{ mg / L}}{DO_2 - DO_1} \right) \div 1000 = g / dL$$

Donde:

$X \text{ mg/L}$ : concentración de bilirrubina en calibrador A plus en mg/L (2.14 para Bil Dir y 4.05 para Bil Tot).

$DO_2$ : absorbancia de la muestra.

$DO_1$ : absorbancia de reactivo blanco.

### **6. 7. 2. Fosfatasa alcalina**

Se incubaron 250  $\mu\text{L}$  de reactivo AB durante 1 min a 36°C, posteriormente se adicionó 2.5  $\mu\text{L}$  de suero para dejar reaccionar durante 20 seg y leer su absorbancia inicial a 405 nm y tres lecturas posteriores con un minuto de diferencia. La concentración total (UI) de ALP se obtuvo promediando la diferencia entre las mediciones multiplicando el resultado por 6.812.

### **6. 7. 3. Alanina aminotransferasa, aspartato aminotransferasa y $\gamma$ -glutamil transpeptidasa**

Se colocan 250  $\mu\text{L}$  de reactivo AB a 36°C durante 1 min, después se adicionó 25  $\mu\text{L}$  de suero para su reacción durante 90 seg y leer su absorbancia inicial de ALT y AST a 340 nm, la GGT se midió a 405 nm, posteriormente se hicieron 3 mediciones con diferencia de 1 minuto. La concentración (UI) se obtuvo al promediar la diferencia entre las mediciones y se multiplica por su constante (ALT y AST 1.746, GGT 1.158).

### **6. 8. Histopatología**

Las muestras en formol se procesaron por medio de la técnica histológica de Ross *et al.*, (2007) y se observaron las preparaciones histológicas de hígado bajo el objetivo de 100x para identificar sus condiciones. A las muestras de duodeno, yeyuno e íleon se les midió la altura de diez vellosidades intestinales por sección, tomando como base la lámina propia y hasta su punta, de la misma forma se realizó la medición de las criptas intestinales (Future winjoe 1.6 y Motic images plus 2.0; Fonseca-García *et al.*, 2017).

## 6. 9. Diseño experimental

Para analizar los datos se usó un diseño experimental completamente al azar de los cuatro tratamientos TES, N750, N1500 y N3000. Las variables respuesta comparadas fueron las variables productivas, hematológicas, funcionamiento hepático e histológicas. El modelo estadístico fue:

$$Y_{ij} = \bar{x} + t_i + e_j$$

Donde:

$Y_{ij}$  =  $i$ -ésima observación de las variables productivas, hematológicas, funcionamiento hepático e histológicas, del  $j$ -ésimo tratamiento,

$\bar{x}$  = media general,

$t_i$  =  $i$ -ésimos tratamientos aplicados,

$e_j$  =  $j$ -ésimo error experimental.

El procedimiento se realizó con el paquete estadístico Statgraphics Centurion XVI.I y para comparar de medias se usó la prueba de Tukey ( $P < 0.05$ ).

## VII. RESULTADOS

### 7.1. Harina de nopal

Se presenta el análisis bromatológico de la harina de penca de nopal (Cuadro 2) y el perfil de antioxidantes resultante (Cuadro 3).

**Cuadro 2.** Análisis bromatológico de harina de penca de nopal (%).

<b>Nutriente</b>	<b>Penca</b>
Cenizas	29.98
Proteína	8.96
Extracto etéreo	3.75
Fibra cruda	14.68
Extracto libre de Nitrógeno	42.63

**Cuadro 3.** Perfil de antioxidantes de la harina de penca de nopal.

<b>Antioxidantes</b>	<b>mg/g</b>
Capacidad antioxidante (Trolox E/g <sup>1</sup> )	55.80
Flavonoides (QE <sup>2</sup> /g)	156.40
Fenoles (AAC <sup>3</sup> /g)	70.60

<sup>1</sup>Trolox E= Trolox Equivalente

<sup>2</sup>QE= Queracetin Equivalente

<sup>3</sup>AAC= Ácido cafeico

## 7. 2. Variables productivas

En aves de tres y seis semanas no hubo efecto de los tratamientos en ganancia de peso, consumo de alimento, conversión alimenticia y mortalidad (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Parámetros productivos (kg) en pollos de tres y seis semanas de edad adicionando harina de nopal a la dieta ( $P<0.05$ ).

Tratamiento	Ganancia de Peso	Consumo de alimento	Conversión alimenticia	Mortalidad (%)
<b>Tercera semana</b>				
TES	0.47 ± 0.03	0.96 ± 0.08	1.98	1.56
N750	0.48 ± 0.01	0.94 ± 0.03	1.88	1.56
N1500	0.47 ± 0.05	0.98 ± 0.08	2.01	0.52
N3000	0.46 ± 0.03	0.90 ± 0.05	1.85	1.57
EE	0.01	0.03	0.06	0.79
<b>Sexta semana</b>				
TES	1.67 ± 0.06	3.00 ± 0.58	1.76	2.82
N750	1.72 ± 0.01	2.79 ± 0.21	1.62	1.12
N1500	1.65 ± 0.03	2.71 ± 0.10	1.66	0.00
N3000	1.61 ± 0.01	2.65 ± 0.34	1.64	2.86
EE	0.04	0.18	0.09	0.96

TES= Testigo.

N750= 750 mg por kg de harina de nopal en alimento.

N1500= 1500 mg por kg de harina de nopal en alimento.

N3000= 3000 mg por kg de harina de nopal en alimento.

EE= Error estándar.

## 7. 3. Variables hematológicas

En aves de tres semanas hubo mayor cantidad de heterófilos con el tratamiento N750 ( $P<0.05$ ) y mayor cantidad de monocitos en el tratamiento N3000 ( $P<0.05$ ) comparado con los tratamientos N750 y N1500 pero no hubo diferencias con el TES (Cuadro 5). En aves de seis semanas aumentaron los heterófilos del tratamiento TES ( $P<0.05$ ) comparado con los tratamientos N1500 y N3000, los linfocitos aumentaron con la administración de la harina del nopal ( $P<0.05$ ) comparados con el TES. Hubo mayor cantidad de monocitos con los niveles de harina de nopal de

N1500 ( $P<0.05$ ) comparado con N750, no presentaron diferencias con TES y N3000. La hemoglobina aumentó con N1500 y N3000 comparados con N750 y TES (Cuadro 5).

**Cuadro 5.** Variables hematológicas en pollos de tres y seis semanas de edad adicionando harina de nopal a la dieta ( $P<0.05$ ).

Parámetro	TES	N750	N1500	N3000	EE
<b>Tercera semana</b>					
Heterófilos	21.60 ± 3.97 <sup>b</sup>	34.60 ± 6.80 <sup>a</sup>	22.80 ± 7.32 <sup>b</sup>	14.60 ± 3.28 <sup>b</sup>	2.51
Eosinófilos	0.00 ± 0.00	0.40 ± 0.89	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.20
Basófilos	0.00 ± 0.00	0.60 ± 0.89	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.20
linfocitos	25.20 ± 5.40	19.20 ± 3.49	26.60 ± 8.73	19.60 ± 7.12	2.90
Monocitos	53.20 ± 6.61 <sup>ab</sup>	45.00 ± 6.28 <sup>b</sup>	50.60 ± 3.50 <sup>b</sup>	65.60 ± 9.96 <sup>a</sup>	3.12
Hematocrito	35.46 ± 5.37	34.72 ± 2.41	39.04 ± 5.08	34.14 ± 2.12	1.80
Hemoglobina	15.02 ± 2.44	17.04 ± 3.82	15.38 ± 0.73	13.96 ± 1.21	1.06
<b>Sexta semana</b>					
Heterófilos	32.00 ± 7.54 <sup>a</sup>	26.6 ± 6.00 <sup>ab</sup>	21.80 ± 8.20 <sup>b</sup>	22.60 ± 6.90 <sup>b</sup>	2.27
Eosinófilos	0.10 ± 0.31	0.10 ± 0.31	0.20 ± 0.42	0.10 ± 0.31	0.10
Basófilos	0.30 ± 0.48	0.20 ± 0.42	0.20 ± 0.42	0.00 ± 0.00	0.12
linfocitos	12.20 ± 3.76 <sup>b</sup>	25.20 ± 5.37 <sup>a</sup>	23.30 ± 7.93 <sup>a</sup>	24.00 ± 7.45 <sup>a</sup>	2.00
Monocitos	55.20 ± 6.30 <sup>a</sup>	47.90 ± 7.14 <sup>b</sup>	54.50 ± 3.43 <sup>a</sup>	53.30 ± 3.68 <sup>ab</sup>	1.70
Hematocrito	34.79 ± 3.58	32.90 ± 3.18	34.30 ± 2.29	34.05 ± 2.38	0.92
Hemoglobina	7.08 ± 1.09 <sup>b</sup>	7.63 ± 1.00 <sup>b</sup>	10.23 ± 2.05 <sup>a</sup>	9.81 ± 1.11 <sup>a</sup>	0.43

TES= Testigo.

N750= 750 mg por kg de harina de nopal en alimento.

N1500= 1500 mg por kg de harina de nopal en alimento.

N3000= 3000 mg por kg de harina de nopal en alimento.

EE= Error estándar.

<sup>a-b</sup> Letras diferentes por fila indican diferencia significativa ( $P<0.05$ ).

#### 7. 4. Perfil hepático

En aves de tres semanas aumentó la bilirrubina directa con el tratamiento N750 ( $P<0.05$ ) comparado con el TES. En AST aumentó en el tratamiento TES ( $P<0.05$ ) comparados con N750, pero no hubo diferencia con N1500 y N3000. En aves de

seis semanas la ALP y AST presentaron los mayores niveles con los tratamientos N750, N1500 y N3000 ( $P<0.05$ ) comparados con el TES (Cuadro 6).

**Cuadro 6.** Perfil hepático en pollos de tres y seis semanas de edad adicionando harina de nopal a la dieta ( $P<0.05$ ).

Parámetro U/l	TES	N750	N1500	N3000	EE
<b>Tercera semana</b>					
Bil Dir	0.002 ± 0.001 <sup>b</sup>	0.006 ± 0.001 <sup>a</sup>	0.003 ± 0.002 <sup>ab</sup>	0.003 ± 0.002 <sup>ab</sup>	0.000
Bil Tot	0.012 ± 0.003	0.011 ± 0.003	0.012 ± 0.001	0.007 ± 0.004	0.000
ALP	8.430 ± 6.970	16.830 ± 7.995	16.208 ± 7.713	17.410 ± 0.718	2.930
AST	0.780 ± 0.420 <sup>a</sup>	0.428 ± 0.080 <sup>b</sup>	0.538 ± 0.131 <sup>ab</sup>	0.528 ± 0.090 <sup>ab</sup>	0.060
GGT	0.080 ± 0.033	0.082 ± 0.014	2.248 ± 4.814	0.0720 ± 0.021	1.070
ALT	0.021 ± 0.015	0.026 ± 0.011	0.042 ± 0.062	0.032 ± 0.021	0.010
<b>Sexta semana</b>					
Bil Dir	0.084 ± 0.159	0.041 ± 0.014	0.043 ± 0.035	0.025 ± 0.011	0.020
Bil Tot	0.052 ± 0.026	0.041 ± 0.023	0.041 ± 0.008	0.045 ± 0.020	0.000
ALP	1.206 ± 1.447 <sup>b</sup>	10.396 ± 4.003 <sup>a</sup>	14.163 ± 2.796 <sup>a</sup>	14.571 ± 11.721 <sup>a</sup>	2.020
AST	0.629 ± 0.038 <sup>b</sup>	0.785 ± 0.060 <sup>a</sup>	0.812 ± 0.122 <sup>a</sup>	0.846 ± 0.132 <sup>a</sup>	0.030
GGT	0.157 ± 0.019	1.413 ± 3.965	0.137 ± 0.030	0.161 ± 0.044	0.620
ALT	0.006 ± 0.006	0.243 ± 0.739	0.015 ± 0.011	0.019 ± 0.019	0.110

TES= Testigo.

N750= 750 mg por kg de harina de nopal en alimento.

N1500= 1500 mg por kg de harina de nopal en alimento.

N3000= 3000 mg por kg de harina de nopal en alimento.

EE= Error estándar.

Bil Dir= Bilirrubina directa, Bil Tot= Bilirrubina total, ALP= Fosfatasa alcalina, AST=Aspartato aminotransferasa, GGT=  $\gamma$ -glutamyl transpeptidasa, ALT= Alanina aminotransferasa. Expresadas en U/l.

<sup>a-b</sup> Letras diferentes por fila indican diferencia significativa ( $P<0.05$ ).

## 7. 5. Medición de vellosidades y criptas intestinales

### 7. 5. 1. Vellosidades intestinales

En aves a las seis semanas las vellosidades en duodeno eran más altas con el tratamiento N750 ( $P<0.05$ ), seguidas de TES y N1500 ( $P<0.05$ ), las más pequeñas



las presentó N3000. Las vellosidades del yeyuno fueron más altas en N3000 (P<0.05), seguida de TES (P<0.05), N1500 presentó las vellosidades más pequeñas. En íleon las vellosidades más altas las presentó N750 (P<0.05) comparadas con TES y N3000. En todos los tratamientos todas las vellosidades fueron más altas (P<0.05) en duodeno, seguidas por yeyuno e íleon (Cuadro 7) (Figura 1).

### 7. 5. 2. Criptas intestinales

Las criptas en duodeno no presentaron diferencias, en yeyuno el TES y N750 fueron mayores a las N1500(P<0.05), con N3000 no presentó diferencia. En íleon la cripta fue mayor en N750 (P<0.05) comparada con N1500. En todos los tratamientos las criptas más grandes fueron (P<0.05) en duodeno, seguidas por yeyuno e íleon (Cuadro 7).

**Cuadro 7.** Medición de altura de vellosidades y profundidad de criptas intestinales por sección anatómica (µm) (P<0.05).

Sección	TES	N750	N1500	N3000	EE
Duodeno	661.00 ± 103.90 <sup>bx</sup>	758.00 ± 95.40 <sup>ax</sup>	652.20 ± 80.40 <sup>bx</sup>	550.50 ± 88.00 <sup>cx</sup>	15.60
Cripta	95.80 ± 12.70 <sup>i</sup>	94.90 ± 18.80 <sup>i</sup>	93.50 ± 12.70 <sup>i</sup>	96.50 ± 16.00 <sup>i</sup>	3.10
Yeyuno	336.50 ± 82.40 <sup>bcy</sup>	354.40 ± 49.30 <sup>aby</sup>	299.60 ± 31.90 <sup>cy</sup>	380.70 ± 35.20 <sup>ay</sup>	10.10
Cripta	71.70 ± 15.80 <sup>aj</sup>	71.10 ± 11.70 <sup>aj</sup>	57.30 ± 5.70 <sup>bj</sup>	65.20 ± 11.80 <sup>abj</sup>	2.20
Íleon	248.90 ± 30.50 <sup>bz</sup>	289.80 ± 69.10 <sup>az</sup>	267.50 ± 39.20 <sup>abz</sup>	239.70 ± 28.00 <sup>bz</sup>	7.90
Cripta	52.70 ± 9.00 <sup>abk</sup>	56.30 ± 16.10 <sup>ak</sup>	48.70 ± 9.30 <sup>bk</sup>	49.70 ± 8.10 <sup>abk</sup>	1.90

TES= Testigo.

N750= 750 mg por kg de harina de nopal en alimento.

N1500= 1500 mg por kg de harina de nopal en alimento.

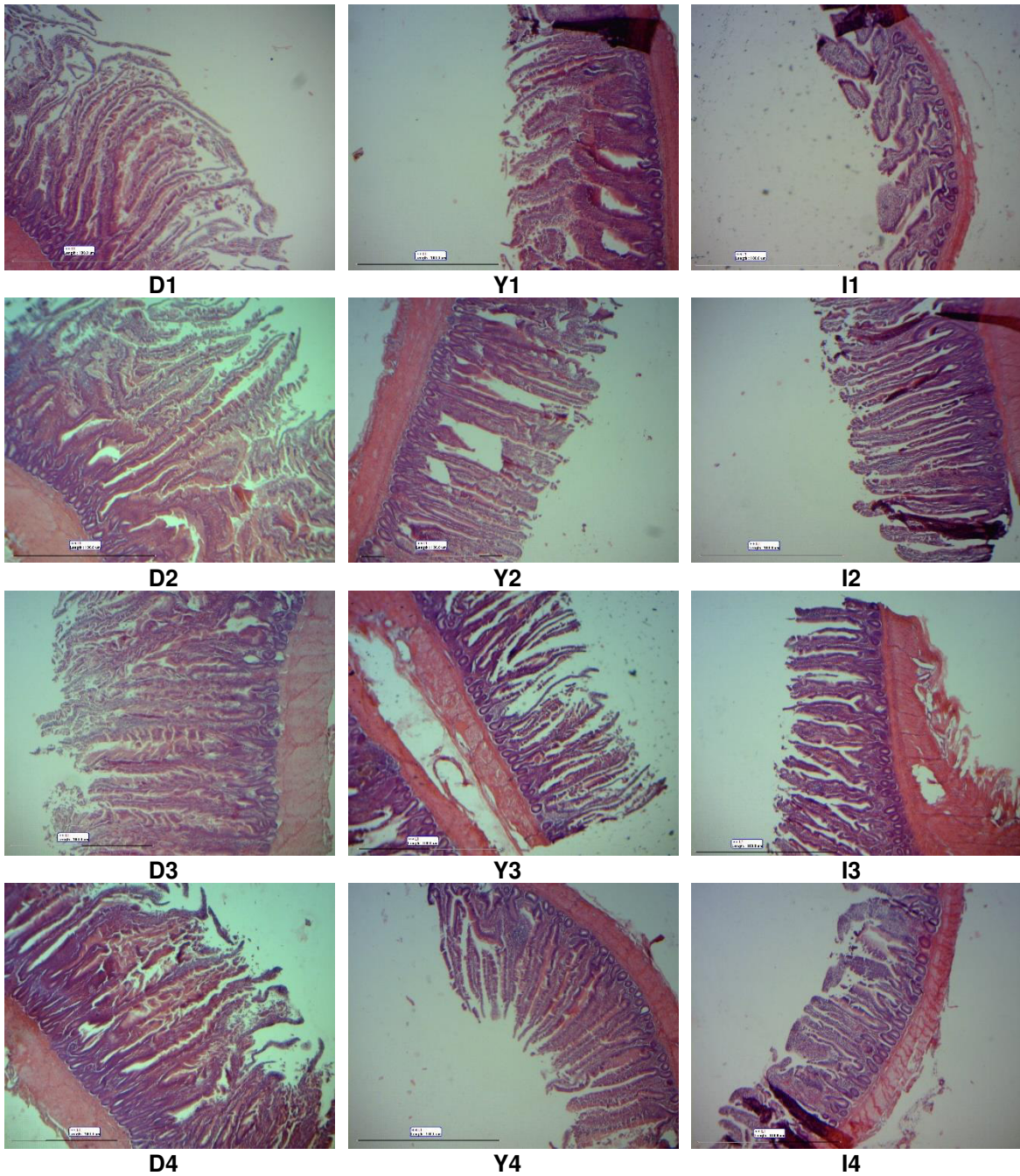
N3000= 3000 mg por kg de harina de nopal en alimento.

EE= Error estándar.

<sup>a-c</sup> Letras diferentes por fila indican diferencia significativa (P<0.05).

<sup>x-z</sup> Letras diferentes por columna indican diferencia significativa (P<0.05).

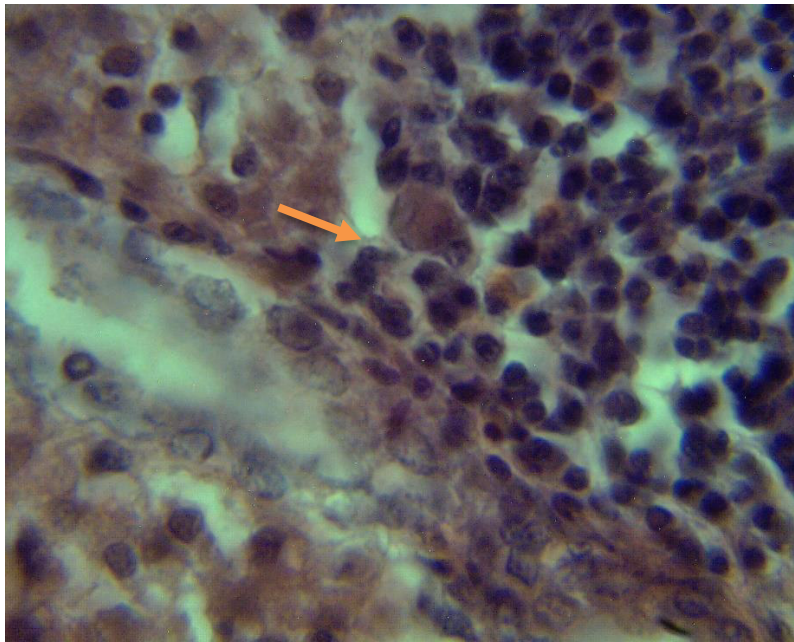
<sup>i-k</sup> Letras diferentes por columna indican diferencia significativa (P<0.05).



**Figura 1.** Histología de vellosidades intestinales al administrar harina de nopal en la dieta de pollo de engorda (H-E 40X). Se presenta la comparación microscópica entre D1= Duodeno TES, D2=Duodeno N750, D3=Duodeno N1500, D4= Duodeno N3000, Y1= Yeyuno TES, Y2= Yeyuno N750, Y3= Yeyuno N1500, Y4= Yeyuno N3000, I1= Íleon TES, I2= Íleon N750, I3= Íleon N1500, I4= Íleon N3000. Dimensión fotográfica 73.3 x 92.5  $\mu$ .

## 7. 6. Estructura hepática

El diagnóstico morfológico fue similar para los cuatro tratamientos, en TES, N750, N1500 y N3000 se presentaron células poliédricas dispuestas en cordones con abundante citoplasma eosinófilo y núcleo redondo con cromatina granular algunos con presencia de nucleolo, se observaron polimorfonucleares en los espacios porta y vena central en la luz de los vasos, entre el parénquima hepático se presentó infiltrado inflamatorio agudo y también focos de inflamación crónica de predominio linfocítico entre el parénquima hepático (Fig 2). TES y N750 además presentaron esteatosis de gota fina y gruesa en el 90% del parénquima hepático.



**Figura 2.** Hallazgos en hígado de pollo de engorda tratados con harina de nopal en la dieta (H-E 100X). Se observa predominio linfocítico entre el parénquima hepático. Dimensión fotográfica 183.2 x 231.0  $\mu$ .

## VIII. DISCUSIÓN

### 8. 1. Harina de nopal

#### 8. 1. 1. Bromatológico de nopal

La fibra del nopal es considerada un alimento nutracéutico debido a los beneficios que aporta al organismo cuando se ingiere. La cantidad de fibra encontrada en la harina de nopal en el estudio es menor a la reportada por Pérez-Sánchez *et al.*, (2015) y por Guevara-Figueroa *et al.*, (2010). Estos resultados pueden explicarse debido a la cantidad variable de polisacáridos en el nopal ocasionada por las características del suelo, la humedad y el clima de la región de la siembra (Camacho *et al.*, 2007). Por otra parte, la proteína cruda (5.64, 4.76, 6.70 vs 8.96), las cenizas (24.50, 22.22, 17.30 vs 29.98) y extracto etéreo (0.23, 2.25, 0.10 vs 3.75) presentaron valores más altos comparados con los estudios de Pérez-Sánchez *et al.*, (2015) y Guevara-Figueroa *et al.*, (2010). La composición nutrimental de la harina de nopal puede modificarse por el exceso de hierba alrededor de la planta que compite por los nutrientes (Blanco y Leyva, 2007), las características físicas y químicas del suelo (Guedes *et al.*, 2016). La fibra cruda contenida en la HN es insoluble en mayor proporción, pero es fuente de minerales como calcio, potasio y magnesio biodisponibles para el organismo (Angulo-Bejarano *et al.*, 2014). Por tal motivo cada vez que sea utilizada es conveniente hacer un análisis bromatológico para asegurar su composición.

#### 8. 1. 2. Antioxidantes de nopal

Los antioxidantes contenidos en los recursos fitogénicos han cobrado relevancia por los beneficios que tienen al ser adicionados como aditivos en los alimentos para las aves. Tranquilino-Rodríguez *et al.*, (2020) reportaron poca capacidad antioxidante, menor contenido de flavonoides (3.095 QE/g) y fenoles de *Opuntia ficus-indica* comparado a los encontrados en este estudio. Los resultados pueden variar debido al tiempo que se mezcla la harina de nopal con el solvente, la polaridad en el solvente, la saturación de la solución y la concentración final del extracto (Dib *et al.*, 2013; Tranquilino-Rodríguez *et al.*, 2020). Además, Guedes *et al.*, (2016) y Torres-Ponce *et al.*, (2015) reportan variación de los antioxidantes en el nopal debido a las diferencias botánicas de la especie, su etapa fenológica, su capacidad de

adaptación al clima, la cantidad de luz solar y la estación del año. El nopal produce fitoquímicos conocidos como metabolitos secundarios o antioxidantes que lo protegen de las plagas y le dan su color, al presentar condiciones adversas su contenido será mayor (Ávalos y Pérez-Urria, 2009; Gasaly *et al.*, 2020).

## **8. 2. Variables productivas**

La adición de alimentos funcionales a la dieta pretende mantener la salud digestiva para permitir la expresión de potencial genético, disminuir prevalencia de enfermedades clínicas, disminuir riesgos alimentarios, maximizar la utilización de nutrientes y como consecuencia favorecer a las variables productivas (Das *et al.*, 2012; González y Ángeles, 2017; Ducatelle *et al.*, 2018; Sittiya *et al.*, 2020) aunque en este caso no se observaron diferencias.

### **8. 2. 1. Ganancia de peso**

En aves se ha estudiado la inclusión de mananoligosacáridos (MOS), fosfooligosacáridos (FOS) y galactooligosacáridos (GOS) como prebióticos para evaluar la ganancia de peso en las aves. Yousaf *et al.*, (2016), Salehimanesh *et al.*, (2016), Abdel-Wareth *et al.*, (2018) y Karimian y Raezaeipour (2020) reportaron aumento de peso en aves adicionando prebióticos asociados a la fermentación de las fibras que producen ácidos grasos volátiles de cadena corta. Piray *et al.*, (2007) y Yousaf *et al.*, (2016) señalaron que usar prebióticos tipo MOS y GOS aumenta el peso del hígado y el páncreas mejorando la secreción enzimática hacia el tracto digestivo favoreciendo la digestión y absorción de nutrientes.

En el estudio las aves no aumentaron de peso como lo han reportado Salehimanesh *et al.*, (2016), Sarangi *et al.*, (2016) y Al-Khalaifa *et al.*, (2019). Esto puede ser por el tipo de aditivo, la dosis o incluso el grado de inclusión de ingredientes en la dieta como sorgo, harina de pescado o pasta de soya que pueden influir en la respuesta de los aditivos al modificar la disponibilidad de los nutrientes, digestibilidad o la capacidad para modular la microbiota intestinal (Midilli *et al.*, 2008).

### **8. 2. 2. Consumo de alimento**

El consumo de alimento es una variable importante en la industria avícola debido a la velocidad de crecimiento en las aves y los costos de producción. Yousaf *et al.*,

(2016), Salehimanesh *et al.*, (2016) y Karimian y Raezaeipour, (2020) adicionaron prebióticos en el alimento sin observar diferencias, como ocurrió en este estudio. La eficacia del prebiótico dependerá del grado de inclusión y solubilidad que tenga la fibra (Mahmood y Guo, 2020). Comparado con los estudios mencionados la dosis utilizada en la investigación es baja y la fibra observada en la harina de nopal es en mayoría insoluble (Angulo-Bejarano *et al.*, 2014), lo que podría estar asociado a los resultados del trabajo. Abdel-Wareth *et al.*, (2018) indican que las mezclas de prebióticos y probióticos no afectan el consumo de alimento, debido a que la microbiota intestinal aumenta la digestibilidad de los nutrientes contenidos en la dieta. Entonces la misma cantidad de alimento se puede aprovechar más y obtener mayor ganancia de peso mejorando la conversión alimenticia, aunque en este estudio no ocurrió (González-Alvarado *et al.*, 2007; Mtei *et al.*, 2019). Varela y Grotiuz (2008), Mahmood y Guo (2020) mencionan que las bacterias se adhieren a las fibras formando colonias secretoras de enzimas tipo  $\beta$ , como  $\beta$ -glucoronidasa,  $\beta$ -glucosidasa y  $\beta$ -Mananasa (Das *et al.*, 2012; An *et al.*, 2019) usadas para romper enlaces glicosídicos fermentando sus compuestos y mejorando los procesos digestivos en las aves (Makki *et al.*, 2018; Adebawale *et al.*, 2019; Das *et al.*, 2012; An *et al.*, 2019).

### **8. 2. 3. Conversión alimenticia**

La conversión alimenticia mide el rendimiento que tiene el alimento ingerido por el ave relacionado a la ganancia de peso mostrando su eficiencia productiva. Yousaf *et al.*, (2016) reportan que al usar GOS disminuye la conversión alimenticia de los 21 a 42 días, Karimian y Raezaeipour *et al.*, (2020) y Abdel-Wareth *et al.*, (2018) obtuvieron efectos similares al usar MOS y FOS, respectivamente. La modulación de la microbiota además de mejorar la digestibilidad de la dieta, fortalece al tejido linfoide asociado a intestino evitando que los patógenos dañen la estructura intestinal aumentando la absorción de nutrientes y su aprovechamiento (Al-Khalaifa *et al.*, 2019). Sin embargo, Salehimanesh *et al.*, (2016) y Ślizewska *et al.*, (2020) al igual que en el presente estudio no encontraron diferencias comparadas con el grupo control, evidencias que podrían estar asociadas a la alta eficiencia de las aves y uniformidad de la producción en la actualidad.

### **8. 3. Variables hematológicas**

#### **8. 3. 1. Diferencial de leucocitos**

##### **Heterófilos**

Son células polimorfonucleares equivalentes a los neutrófilos en los mamíferos, especializados para consumir partículas patógenas a través de la fagocitosis (Campbell, 2015). Mohammed *et al.*, (2016) y Al-Khalaifa *et al.*, (2019) reportaron aumento de heterófilos administrando prebióticos, probióticos y simbióticos. En el experimento los valores obtenidos están dentro de los parámetros normales presentados por Sánchez-Torres *et al.*, (2021) excepto en el tratamiento N750 a los 21 días, posiblemente ocasionada por estrés (Birhan, 2019).

En el hemograma existe una relación entre la cantidad de heterófilos y linfocitos (H/L) 1-0, un proceso de estrés o infección aguda puede modificar esta relación denotando heterofilia y linfopenia, tras el control de la reacción inflamatoria aumenta la cantidad de linfocitos y disminuyen los heterófilos en respuesta a la fagocitosis (Campbell, 2015). La heteropenia ocurre por la reducción de las reservas de heterófilos o la producción inefectiva de granulocitos; la leucopenia asociada a la heteropenia se ha relacionado a infecciones bacterianas o virales (Campbell, 2015). El mecanismo descrito puede explicar el efecto que las aves presentaron por el estrés durante los primeros 21 días.

##### **Eosinófilos**

Los eosinófilos están presentes en pequeñas cantidades en la sangre, su número aumenta como respuesta a hipersensibilidad o parasitosis y disminuye bajo condiciones de estrés en las aves (Campbell, 2015; Scanes, 2015). En los estudios de Al-Khalaifa *et al.*, (2019), Mohammed *et al.*, (2016) y en la presente investigación no se presentaron cambios en las poblaciones celulares al utilizar prebióticos, probióticos o simbióticos.

##### **Basófilos**

Son leucocitos poco abundantes, que en su estructura tienen gránulos cargados con histamina, asociados a procesos inflamatorios tempranos o enfermedades crónicas. Sin embargo, en aves no tienen un valor clínico establecido (Campbell,

2015). En el estudio de Al-Khalaifa *et al.*, (2019) sus parámetros aumentaron al utilizar FOS y MOS en la dieta, mientras que Mohammed *et al.*, (2016) no reportaron diferencias estadísticas similar a la presente investigación de manera similar mostrando índices celulares normales según lo que se describió en trabajos anteriores (Sánchez-Torres *et al.*, 2021).

### **Linfocitos**

Son células del sistema inmune productoras de anticuerpos y su presencia puede variar de acuerdo con la especie de ave (Scanes, 2015). Mohammed *et al.*, (2016) observaron aumento en linfocitos administrando prebióticos o simbióticos y disminución usando probióticos. En el presente estudio los linfocitos están dentro de los parámetros normales excepto el grupo no tratado donde se observaron números menores a las referencias para 42 días de edad. La disminución de linfocitos en aves está asociada a la liberación de corticoesteroides endógena por estrés (Mitchell y Johns, 2008; Scanes, 2015). En los animales tratados es posible que la fermentación de la fibra liberara ácidos grasos volátiles estimulando la actividad glucolítica de las células plasmáticas promoviendo la diferenciación de linfocitos (Mohammed *et al.*, 2016; Gill *et al.*, 2018), como ha sido observado al administrar otros prebióticos y simbióticos por Kridtayopas *et al.* (2019) y Yan *et al.* (2019).

### **Monocitos**

Son células del sistema defensivo que migran a tejidos como células especializadas para fagocitar patógenos (Scanes, 2015). Mohammed *et al.*, (2016) reportaron menor cantidad de monocitos al adicionar prebióticos a la dieta comparado con su grupo control. Por otro lado, Al-Khalaifa *et al.*, (2019) no identificaron diferencias como sucedió en esta investigación, de acuerdo con lo reportado por Sánchez-Torres *et al.*, (2021) los parámetros obtenidos están dentro de las variables normales de las aves.

### **8. 3. 2. Medición de hematocrito**

El hematocrito representa el volumen de eritrocitos contenidos en sangre y permite evaluar la línea celular roja. Esta variable sanguínea es proporcional al peso del



ave, está relacionada directamente a condiciones de hipoxia y refleja estímulos compensatorios de hematopoyesis (Scanes, 2015). En los resultados de Al-Khalaifa *et al.*, (2019), Mohammed *et al.*, (2016) y en este estudio no presentaron diferencias administrando prebióticos a la dieta y están dentro de los límites normales (Sánchez-Torres *et al.*, 2021). Estos resultados se pueden explicar por el buen manejo nutricional durante el desarrollo, las condiciones del experimento y la salud de las aves. En gansos reproductores la microbiota residente aumenta la disponibilidad de hierro de la dieta favoreciendo la hematopoyesis (Zhang *et al.*, 2020).

### **8. 3. 3. Medición de hemoglobina**

La hemoglobina es una proteína de estructura tetramérica transportadora de oxígeno que forma parte integral de los eritrocitos. Al Khalaifa *et al.*, (2019) no obtuvieron diferencias en su investigación. Sin embargo, los resultados de este estudio concuerdan con los obtenidos por Mohammed *et al.*, (2016) al observar aumento de sus niveles al administrar prebióticos y simbióticos en condiciones de estrés por calor. La cantidad de hemoglobina puede variar según la disponibilidad de hierro en la dieta y la capacidad intestinal de las aves para absorberlo (Tako *et al.*, 2010). La microbiota intestinal facilita la disponibilidad de compuestos en lumen intestinal mejorando su absorción (Celi *et al.*, 2017; Kogut, 2018), aumentando la disponibilidad de hierro en sangre, la unión de grupos hemo y la cantidad de hemoglobina en los glóbulos rojos (Otto, 2020).

### **8. 4. Perfil hepático**

Los índices de la bioquímica sanguínea pueden variar según la especie, la región donde habita, el procesamiento de la muestra, los reactivos utilizados, la dieta, el ayuno y la hidratación de las aves (Hoekstra *et al.*, 2013). En la actualidad, se han reportado por Becerra (2020) los parámetros bioquímicos para el pollo de engorda, sin embargo, los valores obtenidos en la presente investigación son muy bajos comparados a su estudio para la cantidad de bilirrubinas y las enzimas hepáticas: ALP, AST, GGT, ALT.

#### **8. 4. 1. Bilirrubina directa (Bil Dir) y bilirrubina total (Bil Tot)**

La bilirrubina indirecta es el producto de la lisis eritrocitaria liberada como sustancia liposoluble para transportarse a los hepatocitos y transformarse en bilirrubina directa al conjugarse con la UDP- glucuronil transferasa para ser hidrosoluble, esta se dirige a los canalículos biliares y se excreta como bilis en duodeno (Hoekstra *et al.*, 2013; Carvajal, 2019; Zaefarian *et al.*, 2019). Normalmente la Bil Tot y Bil Dir se miden para conocer el funcionamiento hepático (Carvajal, 2019). Silva *et al.*, (2007) reportan incremento de la bilirrubina en sangre debido a cambios metabólicos del hígado efecto de la edad. Sin embargo, es difícil conocer la causa de los valores elevados de bilirrubina al no relacionarse con otras enzimas.

#### **8. 4. 2. Fosfatasa alcalina (ALP)**

Es una enzima localizada sobre la membrana celular de los hepatocitos y osteocitos encargada de remover el grupo fosfato de las proteínas y los nucleótidos (Sharma *et al.*, 2014). La ALP relacionada con la enzima GGT son marcadores de lesión hepática y disfunción biliar al ser liberadas al torrente sanguíneo (García, 2013; Tang *et al.*, 2017). Chand *et al.*, (2018) reportaron aumento de ALP en condiciones de estrés calórico. Sin embargo, Silva *et al.*, (2007) y Senanayake *et al.*, (2015) reportaron su aumento en pollos de 15 a 22 días y disminución a los 42 días debido a la actividad osteoblástica, resultados similares a este estudio. El nopal es abundante en calcio (Angulo-Bejarano *et al.*, 2014); Mendoza-Ávila *et al.*, (2020) reportan mejora de la densidad ósea en ratas al consumirlo debido a la mayor disponibilidad y absorción entérica del calcio que favorece la osteosíntesis reportada por Qin *et al.*, (2018).

#### **8. 4. 3. Aspartato aminotransferasa (AST)**

Es una enzima encontrada en células hepáticas o musculares, junto con la ALT se encargan de catalizar la transferencia de grupos amino para producir piruvato y oxalacetato (Xing-Jiu *et al.*, 2006). En los estudios de Karimian y Raezaeipour (2020), Sjojfan y Adli (2020), Hussein *et al.*, (2020) y Fadl *et al.*, (2020) no encontraron diferencias administrando antibióticos, prebióticos, probióticos, fitobióticos, simbióticos o grupos infectados con *C. perfinges* y *E.coli* manteniendo

las aves sus niveles productivos. Pero Duskaev *et al.*, (2018) observaron que la AST aumentó usando *B. adolescentis* y *L. acidophilus* como probiótico, reflejando daño hepático como lo indica Karadagoglu *et al.*, (2020). Los resultados pueden ser explicados debido a la exigencia metabólica del hígado para mantener el nivel de crecimiento y la productividad cárnica de las aves de engorda como lo reportó Senanayake *et al.*, (2015) y Silva *et al.*, (2007). El aumento de la AST sin relación con ALT responde al aumento de la masa corporal (Hoekstra *et al.*, 2013) motivo que explica el comportamiento de AST en el presente estudio. Por otro lado, en el estudio de Arrieta-Mendoza *et al.*, (2007) la cantidad de AST se vio disminuida cuando las aves presentaron un cuadro leve de toxicidad por micotoxinas, en este estudio se redujo más la cantidad en el tratamiento TES observando un efecto protector en tratamientos con harina de nopal.

#### **8. 4. 4. Gamma glutamil transpeptidasa (GGT)**

Esta enzima regula el transporte de aminoácidos a través de las membranas celulares (Malnick *et al.*, 2020). Alteraciones relacionadas a su concentración en suero podrían señalar daño hepático o biliar (García, 2013). Sin embargo, en el presente estudio los resultados fueron similares a lo reportado por Duskaev *et al.*, (2018) donde no hubo diferencias para esta enzima usando prebióticos y simbióticos, sugiriendo condiciones de salud adecuadas.

#### **8. 4. 5. Alanina aminotransferasa (ALT)**

Es una transaminasa encontrada en el citoplasma de los hepatocitos y miocitos, su relación con AST sugiere lesión hepática (Xing-Jiu *et al.*, 2006). Karimian y Raezaeipour (2020) usaron MOS, Duskaev *et al.*, (2018) y Sjofjan y Adli (2020) prebióticos y simbióticos sin observar diferencias como sucedió en este experimento. Fadl *et al.*, (2020) reportaron que administrar MOS y  $\beta$ -glucanos en aves de 35 días infectadas con *E. coli* se obtienen valores similares al grupo no infectado. Hussein *et al.*, (2020) consiguieron disminuir la cantidad de ALT al administrar probiótico, fitobiótico y simbiótico en los grupos infectados con *C. perfinges* indicando su efecto positivo en la salud hepática indicado por Abudabos *et al.*, (2016).

## **8. 5. Medición de vellosidades y criptas intestinales**

### **8. 5. 1. Vellosidades intestinales**

El epitelio intestinal del pollo tiene vellosidades que aumentan la superficie de contacto para absorber los nutrientes del lumen intestinal (Celi *et al.*, 2017). Sittiya *et al.*, (2020) reportaron aumento de la altura de las vellosidades del duodeno al administrar fibra, efecto similar a los resultados de este estudio con dosis bajas. Al incrementarla, no hubo efecto. Adewole *et al.*, (2020) y Sittiya *et al.*, (2020) no señalan cambios en yeyuno e íleon usando fibra en la dieta a dosis altas como sucedió en este estudio.

Por otro lado, Sozcu (2019) reportó aumento en el tamaño de las vellosidades del yeyuno adicionando lignocelulosa como prebiótico. Hassanpour *et al.*, (2013), Hussein *et al.*, (2020), Karimian y Rezaeipour (2020) determinaron crecimiento en vellosidades intestinales adicionando probióticos, simbióticos y prebióticos. En ambos casos los resultados fueron similares a los encontrados en esta investigación. Las diferencias observadas pueden explicarse debido a la condensación de los carbohidratos de la fibra usada. Mahmood y Guo (2020) indican que la fibra puede ser fermentada por los microorganismos intestinales (Saminathan *et al.*, 2011) fomentando la proliferación de los enterocitos (Kogut, 2018). Además, la fermentación de las fibras libera compuestos fenólicos (Makki *et al.*, 2018; Adebawale *et al.*, 2019).

### **8. 5. 2. Criptas intestinales**

Las criptas de Lieberkühn son invaginaciones de la mucosa intestinal donde proliferan los enterocitos y las células caliciformes (Marchini *et al.*, 2016; Celi *et al.*, 2017). Sittiya *et al.* (2020), Hassanpour *et al.* (2013), Adewole *et al.* (2020), Karimian y Rezaeipour (2020) no reportaron cambios en las criptas de yeyuno e íleon al administrar prebióticos o simbióticos, en este estudio las criptas presentaron disminución en la profundidad como lo describe Sozcu (2019).

La reducción del tamaño de la cripta puede ser ocasionada por el estrés agudo que afecta a las células madre proliferativas (Burkholder *et al.*, 2008). La disminución del consumo de alimento puede tener el mismo efecto (Marchini *et al.*, 2016) como

sucedió en el presente estudio. La fibra de la harina de nopal en su mayoría es insoluble (Angulo-Bejarano *et al.*, 2014), pero la parte soluble puede aumentar la viscosidad en el intestino disminuyendo la permeabilidad de nutrientes hacia los enterocitos evitando su desarrollo (Raza *et al.*, 2019).

### **8. 6. Estructura hepática**

El hígado es una glándula del sistema digestivo vital para mantener el equilibrio metabólico del organismo debido a la cantidad de funciones que debe realizar durante el desarrollo del pollo. Las lesiones observadas en este estudio son similares a las que se han reportado en pollos de engorda intoxicados con aflatoxinas, aunque en el estudio de Kumar *et al.* (2015) además se presenta necrosis de hepatocitos, infiltración de heterófilos y un aumento simultáneo de ALT y AST. Efectos similares pueden causar los xenobióticos induciendo necrosis y apoptosis (Gwaltney-Brant, 2016).

Es preciso señalar que la esteatosis hepática no se presentó al adicionar la fibra en dosis media y alta, lo que pudiera ser un indicativo de salud hepática en las aves, como ocurrió en el estudio de Sánchez-Tapia *et al.* (2017) donde la administración de fibra de nopal redujo la deposición de grasa en hígado.

Para estudios posteriores se recomienda administrar secuestrantes de micotoxinas al momento de elaborar los alimentos para evitar la disminución de su calidad. En el hemograma calcular el conteo total de células rojas y blancas, así como estimar los índices eritrocitarios, para funcionamiento hepático, hacer la evaluación de albumina, globulinas, lipoproteínas de alta y baja densidad, como estudios complementarios evaluar la estructura y funcionalidad renal y realizar coproparasitoscópicos en las aves.

## **IX. CONCLUSIONES**

1. La adición de 750, 1500 o 3000 mg de harina de nopal por kg de alimento no tiene efecto negativo sobre las variables productivas en pollo de engorda.
2. Las variables hematológicas se mantienen dentro de los parámetros normales a las 6 semanas de edad, al administrar harina de nopal en la dieta del pollo de engorda.
3. La altura de las vellosidades intestinales y la profundidad de las criptas de duodeno, yeyuno e íleon aumentan al administrar 750 mg/kg de harina de nopal en la dieta en el pollo de engorda.
4. El funcionamiento hepático no es afectado al adicionar harina de nopal en la dieta de pollo de engorda.
5. La estructura hepática se vio menos afectada en el pollo de engorda alimentado con dietas adicionadas con 1500 y 3000 mg/kg de harina de nopal.
6. La inclusión de 1500 y 3000 mg/kg de harina de nopal en la dieta de las aves redujo la presencia de acumulación grasa en el hígado del pollo de engorda.

## X. LITERATURA CITADA

Abdel-Wareth, A., Hassan, H., Abdelrahman, W., Ismail, Z., Ali, R., Ahmed, E., Lohakare, J. (2018). Growth performance, carcass criteria, and serum biochemical parameters of broiler chickens supplemented with either synbiotic or prebiotic under hot climatic conditions. *British Poultry Science*, 59(6), 663-668.

<https://doi.org/10.1080/00071668.2018.1521509>

Abou-Ellella, F. y Mohammed, R. (2014). Antioxidant and anti cancer activities of different constituents extracted from egyptian prickly pear cactus (*Opuntia ficus-indica*) peel. *Biochemistry and Analytical Biochemistry*, 3(2), 1-9.

<https://doi.org/10.4172/2161-1009.1000158>

Abudabos, A., Alyemni, A., Dafalla, Y., Khan, R. (2016). The effect of phytogetic feed additives to substitute in-feed antibiotics on growth traits and blood biochemical parameters in broiler chicks challenged with salmonella typhimurium. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(23), 24151-24157.

<https://doi.org/10.1007/s11356-016-7665-2>

Adebowale, T., Yao, K., Oso, O. (2019). Major cereal carbohydrates in relation to intestinal health of monogastric animals. *Animal Nutrition*, 5(4), 331-339.

<https://doi.org/10.1016/j.aninu.2019.09.001>

Adewole, D., Maclsaac, J., Fraser, G., Rathgeber, B. (2020). Effect of oat hulls incorporated in the dietary feed as free choice on growth performance, carcass yield, Gut morphology and digesta short chain fatty acids of broiler chickens. *Sustainability*, 12(9), 1-11.

<https://doi.org/10.3390/su12093744>

Agustí, S. (2015). Estudio de la hematología y la bioquímica sanguínea de las rapaces nocturnas ibéricas [Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Barcelona]. [https://ddd.uab.cat/pub/tesis/2015/hdl\\_10803\\_329287/sam1de1.pdf](https://ddd.uab.cat/pub/tesis/2015/hdl_10803_329287/sam1de1.pdf)

Al-Fatah, M. (2020). Probiotic modes of action and its effect on biochemical parameters and growth performance in poultry. *Iranian Journal of Applied Animal Science*, 10(1), 9–15.

Alimi, H., Hfaiedh, N., Bouoni, Z., Hfaiedh, M., Sakly, M., Zourgui, L., Rhouma, K. (2010). Antioxidant and antiulcero-genic activities of *Opuntia ficus indica* f. *inermis* root extracts in rats. *Fitomedicina*, 17(14), 1120-1126.

<https://doi.org/10.1016/j.etp.2011.12.003>

Alimohamadi, K., Taherpour, K., Ghasemi, H., Fatahnia, F. (2014). Comparative effects of using black seed (*Nigella sativa*), cumin seed (*Cuminum cyminum*),

probiotic or prebiotic on growth performance, blood haematology and serum biochemistry of broiler chicks. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 98(3), 538-546.

<https://doi.org/10.1111/jpn.12115>

Al-Khalaifa, H., Al-Nasser, A., Al-Surayee, T., Al-Kandari, S., Al-Enzi, N., Al-Sharrah, T., Ragheb, G., Al-Qalaf, S., Mohammed, A. (2019). Effect of dietary probiotics and prebiotics on the performance of broiler chickens, 98(10), 4465-4479.

<https://doi.org/10.3382/ps/pez282>

An, X., Bao, Q., Di, S., Zhao, Y., Zhao, S., Zhang, H., Lian, F., Tong, X. (2019). The interaction between the gut microbiota and herbal medicines. *Biomedicine and Pharmacotherapy*, 118(1), 1-14.

<https://doi.org/10.1016/j.biopha.2019.109252>

Angulo-Bejarano, P., Paredes-López, O., Martínez-Cruz, O. (2014). Phytochemical content, nutraceutical potential and biotechnological applications of an ancient Mexican plant: Nopal (*Opuntia ficus-indica*). *Current Nutrition and Food Science*, 10(3), 196-217.

<https://doi.org/10.2174/157340131003140828121015>

Arena, E., Campisi, S., Fallico, B., Lanza, M., Maccarone, E. (2001). Aroma value of volatile compounds of prickly pear (*Opuntia ficus indica*) (L.) Mill cactaceae. *Journal of Food Science*, 13(3), 311-319.

Aruwa, C., Amoo, S., Kudanga, T. (2018). *Opuntia* (Cactaceae) plant compounds biological activities and prospects. *Food Research International*, 122(2), 328-344.

<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.06.047>

Arrieta-Mendoza, D., Pérez-Arévalo, M., Luego, A., Hernández, J., Lista-Alves, D., Mosquera, J. (2007). Alteraciones histológicas hepáticas e incremento de proteínas séricas en pollos de engorde alimentados con dietas suplementadas con *Saccharomyces cerevisiae*, *Revista de Investigación Clínica*, 48(4), 431-443.

Ávalos, A. y Pérez-Urria, E. (2009). Metabolismo secundario de plantas. *Reduca*, 2(3), 119-145.

Aviagen. (2014). *Manual manejo del pollo de engorde Ross 308*. [Archivo PDF].

[http://eu.aviagen.com/assets/Tech\\_Center/BB\\_Foreign\\_Language\\_Docs/Sp\\_anish\\_TechDocs/RossBroilerHandbook2014-ES.pdf](http://eu.aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/Sp_anish_TechDocs/RossBroilerHandbook2014-ES.pdf)

Aviagen. (2017). *Requerimientos nutricionales del pollo de engorda Ross 308*. [Archivo PDF].



[http://es.aviagen.com/assets/Tech\\_Center/BB\\_Foreign\\_Language\\_Docs/Spanish\\_TechDocs/Ross-308AP-Broiler-Nutrition-Specs-2017-ES.pdf](http://es.aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/Spanish_TechDocs/Ross-308AP-Broiler-Nutrition-Specs-2017-ES.pdf)

Awad, A., Ghareeb, K., Abdel-Raheem, S., Böhm, J. (2009). Effects of dietary inclusion of probiotics and synbiotic on growth performance, organ weights, and intestinal histomorphology of broiler chickens, *Poultry Science*, 88(1), 49-55.

<https://doi.org/0.3382/ps.2008-00244>

Ayadi, M., Abdelmaksoud, W., Ennouri, M., Attia, H. (2009). Cladodes from *Opuntia ficus indica* as a source of dietary fiber: Effect on dough characteristics and cake making. *Industrial Crops and Products*, 30(1), 40-47.

<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2009.01.003>

Baffoni, L., Gaggia, F., Garofolo, G., Di Serafino, G., Buglione, E., Di Giannatale, E., Di Giola, D. (2017). Evidence of *Campylobacter jejuni* reduction in broilers with early synbiotic administration. *International Journal of Food Microbiology*, 251(2), 41-47.

<https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2017.04.001>

Baião, N., Lara, L. (2005). Oil and fat in broiler nutrition. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 7(3), 129-141.

<https://doi.org/10.1590/s1516-635x2005000300001>

Bao, Y., Choct, M., Iji, P., Bruerton, K. (2007). Effect of organically complexed copper, iron, manganese, and zinc on broiler performance, mineral excretion, and accumulation in tissues. *Journal of Applied Poultry Research*, 16(3), 448–455.

<https://doi.org/10.1093/japr/16.3.448>

Birhan, M. (2019). Systematic review on avian immune systems. *Journal of life science and biomedicine*, 9(5), 144-150.

<http://www.jlsb.science-line.com/>

Becerra, I. (2020). Determinación de valores de referencia en hemograma y química sanguínea en pollos de engorde hembras (*Gallus domesticus*) en condiciones de altitud. [Tesis Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18761/1/UPS-CT008772.pdf>

Bengmark, S. (2001). Pre-, pro- and synbiotics. *Current Opinión in Clinical Nutrition and Metabolic Care*, 4(6), 571-579.

<https://doi.org/10.1097/00075197-200111000-00019>

- Blanch, A. y Olivera, S. (13 de agosto de 2019). *Protectores para el hígado en la producción de pollos de engorda*. <https://avicultura.info/protectores-higado-produccion-pollos-engorde/>
- Blanco, Y. y Leyva, A. (2007). Las arvenses en el agroecosistema y sus beneficios agroecológicos como hospederas de enemigos naturales. *Cultivos tropicales*, 8(2), 21-28.  
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193217731003>
- Burkholder, K, Thomson, K., Einstein, M., Applegate, T., Patterson, J. (2008). Influence of stressors on normal intestinal microbiota, intestinal morphology, and susceptibility to *Salmonella enteritidis* colonization in broilers. *Poultry Science*, 87(9), 1734-1741.  
<https://doi.org/10.1016/J.ANIFEEDSCI.2017.09.012>
- Camacho, O., Peña-Valdivia, C., Sánchez-Urdaneta, A. (2007). Efecto del potencial hídrico del suelo en el crecimiento y contenido de polisacáridos estructurales de nopalito (*Opuntia spp*). *Revista de la Facultad de Agronomía*, 24(1), 254-259.
- Campbell T. (2013). Hematology. En Ritchie, B., Harrison, G., Harrison, L (Ed.) *Avian medicine principles and application* (2 Ed; pp.176-182). Zoological Education Network.
- Campbell, T. (2015). *Exotic Animal Hematology and Cytology*. John Wiley & Sons, Inc.
- Cardoso, G., Farnell, M., Farnell, Y., Kogut, M. (2020). Dietary factors as triggers of low-grade chronic intestinal inflammation in poultry. *Microorganisms*, 8(1), 1-10.  
<https://doi.org/10.3390/microorganisms8010139>
- Carvajal, C. (2019). Bilirrubina: Metabolismo, pruebas de laboratorio e hiperbilirrubinemia. *Revista medicina legal de Costa Rica*, 36(1), 73-83.
- Carvalho, I. y Santos, L. (2016). Antibiotics in the aquatic environments: A review of the european scenario. *Environment International*, 94(1), 736-757.  
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.06.025>
- Castañeda, M., Hirschler, E., Sams, A. (2005). Skin pigmentation evaluation in broilers fed natural and syntetics pigments. *Poultry Science*, 84(1), 143-147.  
<https://doi.org/10.1093/ps/84.1.143>
- Celi, P., Cowieson, A., Fru-Nji, F., Steinert, R. E., Kluenter, A., Verlhac, V. (2017). Gastrointestinal functionality in animal nutrition and health: New opportunities for sustainable animal production. *Animal Feed Science and Technology*, 234(1), 88–100.

<https://doi.org/10.1016/J.ANIFEEDSCI.2017.09.012>

Cerrate, S., Coto, C., Wang, Z., Yan, F., Costa, F., Waldroup, P. (2008). Choise feeding of two different broiler strains using diets with constant energy level. *International Journal of Poultry Science*, 7(8), 726-737.

<https://dx.doi.org/10.3923/ijps.2008.726.737>

Chand, N., Shabana, N., Ziaur, R., Rifat, U. (2018). Blood biochemical profile of four fast-growing broiler strains under high ambiental temperatura. *Applied Biological Chemistry*, 61(3), 273-279.

<https://doi.org/10.1007/s13765-018-0358-4>

Chaouch, M., Mkhadmini, K., Dhahri, M., Mansour, M., Raoui, M., Le Cerf, D., Majdoub, H. (2018). Access to new anticoagulant by sulfation of pectin-like polysaccharides isolated from *Opuntia ficus-indica* cladodes. *International Journal of Biological Macromolecules*, 120(1), 1794-1800.

<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.09.130>

Chassaing, B., Kumar, M., Baker, M., Singh, V., Vijay-Kumar, M. (2014). Mammalian gut immunity. *Biomedical Journal*, 37(5), 246-258.

<https://doi.org/10.4103/2319-4170.130922>

Chen, Y., Wang, J., Yu, L., Xu, T., Zhu, N. (2020). Microbiota and metabolome responses in the cecum and serum of broiler chickens fed with plant essential oils or virginiamycin. *Scientific Reports*, 10(1), 16–18.

<https://doi.org/10.1038/s41598-020-60135-x>

Chichlowski, M., Croom, J., McBride, B., Havenstein, G., Koci, M. (2007). Metabolic and physiological impact of probiotics or direct-fed.microbials on poultry: A brief review of current knowledge. *International Journal of Poultry Science*, 6(10), 694-704.

<https://doi.org/10.3923/ijps.2007.694.704>

Claver, J., Quaglia, A. (2009). Comparative morphology, development, and function of blood cells in nonmammalian vertebrates. *Journal of Exotic Pet Medicine*, 18(2), 87–97.

<https://doi.org/10.1053/j.jepm.2009.04.006>

Clavijo, V., Vives, J. (2018). The gastrointestinal microbiome and its association with the control of patogens in broiler chicken production: A review. *Poultry Science*, 97(3), 1006-1021.

<https://doi.org/10.3382/ps/pex359>

Cruz-Rubio, J., Loeppert, R., Viernstein, H., Praznik, W. (2018). Trends in the use of plant non-starch polysaccharides within food, dietary supplements, and

pharmaceuticals: Beneficial effects on regulation and wellbeing of the intestinal tract. *Scientia Pharmaceutica*, 86(4), 1-13.

<https://doi.org/10.3390/scipharm86040049>

Das, L., Bhaumik, E., Raychaudhuri, U. (2012). Role of nutraceuticals in human health. *Journal of food technology*, 49(2), 173-183.

<https://dx.doi.org/10.1007%2Fs13197-011-0269-4>

Davies, R. (2000). Avian liver disease: Etiology and pathogenesis. *Seminars in Avian and Exotic Pet Medicine*, 9(3), 115-125.

<https://doi.org/10.1053/ax.2000.7138>

Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). (2019). *Livestock and poultry: world markets and trade*. [Archivo PDF].

[https://downloads.usda.library.cornell.edu/usda-esmis/files/73666448x/q445ct12h/ff365k146/Livestock\\_poultry.pdf](https://downloads.usda.library.cornell.edu/usda-esmis/files/73666448x/q445ct12h/ff365k146/Livestock_poultry.pdf)

Dersiant-Li, Y., Awati, A., Schulze, H., Partridge, G. (2014). Phytase in non-ruminant animal nutrition: A critical review on phytase activities in the gastrointestinal tract and influencing factors. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(5), 878-896.

<https://doi.org/10.1002/jsfa.6998>

Díaz-Gómez, J., Moreno, J., Angulo, E., Sandmann, G., Zhu, C., Ramos, A., Capell, T., Christou, P., Nogareda, C. (2017). High carotenoid biofortified maize is an alternative to color additives in poultry feed. *Animal Feed Science and Technology*, 231(3), 38-46.

<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.06.007>

Dib, H., Beghdad, M., Belarbi, M., Seladji, M., Ghalem, M. (2013). Antioxidant activity of phenolic compounds of the cladodes of *Opuntia ficus-indica* mil. From northwest Algeria. *International Journal of Medicine and Pharmaceutical Sciences*, 3(4), 147-158.

Dibaji, S., Seidavi, A., Asadpour, L., Moreira, F. (2014). Effect of a synbiotic on the intestinal microflora of chickens. *Journal of Applied Poultry Research*, 23(1), 1-6.

<https://doi.org/10.3382/japr.2012-00709>

Diosdado, M., Cortes, A., Ávila, E. (2017). Eficacia de dos fitasas bacterianas en la liberación de fósforo en dietas para pollos de engorda en crecimiento. *Revista de Ciencias Pecuarias*, 8(2), 121-128.

<https://doi.org/10.22319/rmcp.v8i2.4414>

Ducatelle, R., Goossens, E., De Meyer, F., Eeckhaut, V., Antonissen, G., Haesebrouck, F., Van, F. (2018). Biomarkers for monitoring intestinal health

in poultry: present status and future perspectives. *Veterinary Research*, 49(1), 1-9.

<https://doi.org/10.1186/s13567-018-0538-6>

Duskaev, G., Rakhmatullin, S., Kazachkova, N., Sheida, Y., Mikolaychik, I., Morozova, L., Galiev, B. (2018). Effect of the combined action of Quercus cortex extract and probiotic substances on the immunity and productivity of broiler chickens. *Veterinary World*, 11(10), 1416-1422.

<https://doi.org/10.14202/vetworld.2018.1416-1422>

Emmert, J. y Baker, D. (1997). Use of the ideal protein concept for precision formulation of amino acid levels in broiler diets. *Journal of Applied Poultry Research*, 6(4), 462–470.

<https://doi.org/10.1093/japr/6.4.462>

Enkvetchakul, B. y Bottje, W. (1995). Influence of diethyl meleate and cysteine on tissue glutathione and growth in broiler chickens. *Poultry Science*, 74(1), 864-873.

Escudero, E., González, P. (2006). La fibra dietética. *Nutrición hospitalaria*, 21(2), 61-72.

Fadl, S., El-Gammal, G., Sakr, O., Salah, A., Atia, A., Prince, A., Hegazy, A. (2020). Impact of dietary mannanoligosaccharide and  $\beta$ -glucan supplementation on growth, histopathology, E-coli colonization and hepatic transcripts of TNF- $\alpha$  and NF- $\kappa$ B of broiler challenged with *E. coli* O78. *BMC Veterinary research*, 16(204), 1-18.

<https://doi.org/10.1186/s12917-020-02423-2>

Faraj, S. (2018). The morphological description and histological structure of the liver in marsh harrier bird in iraq (*Circus aeruginosus*). *International Journal of Science and Research*, 7(1), 528–532.

<https://doi.org/10.21275/ART20179407>

Féboli, A., Laurentiz, A., Soares, S., Augusto, J., Anjos, L., Magalhaes, L., Filardi, R., Laurentiz, R. (2016). Ovicidal and larvicidal activity of extracts of *Opuntia ficus-indica* against gastrointestinal nematodes of naturally infected sheep. *Veterinary Parasitology*, 226(1), 65-68.

<https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2016.06.030>

Fonseca-García, I., Escalera-Valiente, F., Martínez- González, S., Carmona-Gasca, C., Gutiérrez-Arenas, D., Ávila, Ramos, F. (2017). Effect of oregano oil dietary supplementation on production parameters, height of intestinal villi and the antioxidant capacity in the breast of broiler. *Austral Journal of Veterinary Science*, 49(2), 83-89.

<https://doi.org/10.4067/S0719-81322017000200083>

- Froebel, L., Jalukar, S., Lavergne, T., Lee, J., Duong, T. (2019). Administration of dietary prebiotics improves growth performance and reduces pathogen colonization in broiler chickens. *Poultry Science*, 98(12), 6668-6676.
- <https://doi.org/10.3382/ps/pez537>
- Galati, E., Mondello, M., Monforte, M., Galluzo, M., Miceli, Tripodo, M. (2003). Effect of *Opuntia ficus –indica* (L.) Mill. Cladodes in the wound-healing process. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 5(2), 1-16.
- García, W. (2013). ¿Cómo evaluar la elevación de las enzimas hepáticas en personas aparentemente sanas? su importancia para el médico general. *Revista de Gastroenterología del Perú*, 33(3), 262-264.
- Gasaly, N., Riveros, K., Gotteland, M. (2020). Fitoquímicos: una nueva clase de prebióticos. *Revista Chilena de Nutrición*, 47(2), 317-327.
- Gebremariam, T., Melaku, S., Yami, A. (2006). Effect of different levels of cactus (*Opuntia ficus-indica*) inclusión on feed intake, digestibility and body weight gain in tef (*Eragrostis tef*) Straw-based feeding of sheep. *Animal Feed Science and Technology*, 131(2), 42-51.
- <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.02.003>
- Gill, P., van Zelm, M., Muir, J., Gibson, P. (2018). Review article: short chain fatty acids as potential therapeutic agents in human gastrointestinal and inflammatory disorders. *Alimentary Pharmacology and Therapeutics*, 48(1), 15-34.
- <https://doi.org/10.1111/apt.14689>
- Godoy-Parejo, C., Deng, C., Zhang, Y., Liu, W., Chen, G. (2019). Roles of vitamins in stem cells. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 77(9), 1771-1791.
- <https://doi.org/10.1007/s00018-019-03352-6>
- González-Alvarado, J., Jiménez-Moreno, E., Lázaro, R., Mateos, G. (2007). Effect of type of cereal, heat processing of the cereal, and inclusión of fiber in the diet on productive performance and digestive traits of broilers. *Poultry Science*, 86(8), 1705-1715.
- <https://doi.org/10.1093/ps/86.8.1705>
- González, M., Ángeles, J. (2017). Antibiotic and synthetic growth promoters in animal diets review of impact and analytical methods. *Food Control*, 72(2), 255-267.
- <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.03.001>
- Guedes, P., Andrade, I., Vicalvi, M., Silva, A., Breitenbach, L. (2016). *Opuntia sp.* Cactus: Biological characteristics, cultivation and applications. *Advances in Research*, 7(3), 1-14.

<https://doi.org/10.9734/AIR/2016/26125>

Guevara-Arauza, J., Ornelas-Paz, J., Pimentel-González, D., Rosales, S., Soria, R., Paz, L. (2012). Prebiotic effect of mucilage and pectic-derived oligosaccharides from Nopal (*Opuntia ficus indica*). *Food Science and Biotechnology*, 21(4), 997-1003.

<https://doi.org/10.1007/s10068-012-0130-1>

Guevara-Figueroa, T., Jiménez. Islas, H., Reyes-Escogido, M., Mortensen, A., Laursen, B., Lin, L., León- Rodríguez, A., Fomsgaard, I., Barba de la Rosa, A. (2010). Proximate composition, phenolic acids, and flavonoids characterization of commercial and wild nopal (*Opuntia spp*). *Journal of food composition and analysis*, 23(6), 525-535.

<https://doi.org/10.1016/j.ifca.2009.12.003>

Gwalney-Brant, S. (2016). Chapter 7: Nutraceuticals in hepatic diseases en Gupta, R. (Ed.) *Nutraceuticals: Efficacy, safety and toxicity* (2da Ed; pp. 87-99). Academic press.

Han, G., Kim, E., Lee, J., Lee, J., Jin, G., Park, J., Huh, C., Kwon, I., Kil, D., Choi, Y., & Kong, C. (2016). Relationship between the microbiota in different sections of the gastrointestinal tract, and the body weight of broiler chickens. *Springer Plus*, 911(5), 1-32.

<https://doi.org/10.1186/s40064-016-2604-8>

Hassanpour, H., Zamani, A., Khosravi, M., Mayahi, M. (2013). Effects of synbiotic on the intestinal morphology and humoral immune response in broiler chickens. *Livestock Science*, 153(3), 116-122.

<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2013.02.004>

Hernández-Zarate, M., Abraham- Juárez, M., Cerón- García, A., Ozuna- López, C., Gutiérrez- Chávez, A., Segoviano-Garfias, J., Ávila-Ramos, F. (2018). Flavonoids, phenolic content and antioxidant activity of propolis from various áreas of Guanajuato, México. *Food Science and Technology*, 38(2), 210-215.

<https://doi.org/10.1590/fst.29916>

Hfaiedh, M., Brahmi, D., Zourgui, M., Zourgui, L. (2019). Phytochemical analysis and nephroprotective effect of cactus (*Opuntia ficus-indica*) cladodes on sodium dichromate-induced kidney injury in rats. *Applied Physiology nutrition and metabolism*, 44(3), 239- 247.

<https://doi.org/10.1139/apnm-2018-0184>

Hoekstra, L., de graaf, W., Nibourg, G., Heger, M., Bennink, R., Stieger, B., van Gulik, T. (2013). Physiological and biochemical basis of clinical liver function test. *Annals of Surgery*, 257(1), 27-36.

<https://doi.org/10.1097/SLA.0b013e31825d5d47>

Hussein, E., Ahmed, S., Abudabos, A., Alijumaah, M., Alkhulaifi, M., Nassan, M., Suliman, G., Naiael, M., Swelum, A. (2020). Effect of antibiotic, phytobiotic and probiotic supplementation on growth, blood indices and intestine health in broiler chicks challenged with *Clostridium perfringens*. *Animals*, 10(4), 1-14.

<https://doi.org/10.3390/ani10040669>

Hye, E., Kyung, M., Ho, S., Mahbubur, M., Lim, Y. (2019). An oral toxicity test in rats and a genotoxicity study of extracts from the stems of *Opuntia Ficus Indica* var. Soboten. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 19(1), 1-10.

<https://doi.org/10.1186/s12906-019-2442-7>

Illanes, J., Fertillo, B., Chamblas, M., Leyton, V., Verdugo, F. (2006). Descripción histológica de los diferentes segmentos del aparato digestivo de avestruz (*Struthio camelus domesticus*). *International Journal of Morphology*, 24(2), 205-214.

<http://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022006000300015>

Jha, R., Fouhse, J., Tiwari, U., Li, L., Willing, B. (2019). Dietary fiber and intestinal health of monogastric animals. *Frontiers in Veterinary Science*, 6(3), 1-12.

<https://doi.org/10.3389/fvets.2019.00048>

Jiménez-Moreno, E., Coca-Sinovia, A., González, M., Mateos, G. (2015). Inclusion of insoluble fiber sources in mash or pellet diets for young broilers, effects on growth performance and water intake. *Poultry Science*, 95(1), 41-52.

<https://doi.org/10.3382/ps/pev309>

Jiménez-Moreno, E., González-Alvarado, J., Lázaro, R., Mateos, G. (2009). Effects of type of cereal, heat processing of the cereal, and fiber inclusion in the diet on gizzard pH and nutrient utilization in broilers at different ages. *Poultry Science*, 88(9), 1925–1933.

<https://doi.org/10.3382/ps.2009-00193>

Jouini, M., Abdelhamid, A., Aymen, M., Le Cerf, D., Bouraoui, A., Majdoub, H., Jannet, H. (2017). Physico-chemical characterization and pharmacological activities of polysaccharides from *Opuntia microdasys* var. *rufida* cladodes. *International Journal of Biological Macromolecules*, 107(A), 1330-1338.

<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.10.003>

Karadagoglu, O., Sahin, T., Olmez, M., Yakan, A., Ozsoy, B. (2020). Changes in serum biochemical and lipid profile, and fatty acid composition of breast meat of broiler chickens fed supplemental grape seed extract. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 44(1), 182-190.

<https://doi.org/10.3906/vet-1906-37>



Karimian, R. y Rezaeipour, V. (2020). Effects of dietary mannanoligosaccharides and phytase supplementation alone or in combination on growth performance, serum metabolites, cecal microbiota activity and intestinal morphology in broiler chickens. *Poultry Science Journal*, 8(1), 27-32.

<https://doi.org/10.22069/psj.2020.17229.1513>

Klasing, K. (1999). Avian gastrointestinal anatomy and physiology. *Seminars in Avian and Exotic Pet Medicine*, 8(2), 42-50.

Knížetová, H., Hyánek, J., Kníže, B., Roubíček, J. (1991). Analysis of grow curves of fowl I. chickens. *British Poultry Science*, 32(5), 1027-1038.

<https://doi.org/10.1080/00071669108417427>

Kogut, M. (2017). Issues and consequences of using nutrition to modulate the avian immune response. *Journal of Applied Poultry Research*, 26(4), 605-612.

<https://doi.org/10.3382/japr/pfx028>

Kogut, M. 2018. The effect of microbiome modulation on the intestinal health of poultry. *Animal Feed Science and Technology*, 250(1), 32-40.

<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.10.008>

Kridtayopas, C., Rakangtong, C., Bunchasak, C., Loongyai, W. (2019). Effect of prebiotic and synbiotic supplementation in diet on growth performance, small intestinal morphology, stress, and bacterial population under high stocking density condition of broiler chickens. *Poultry Science*, 98(10), 4595-4605.

<https://doi.org/10.3382/ps/pez152>

Kumar, S., Rao, S., Satyanarayana, M., Kumar, P., Anitha, N. (2015). Amelioration of hepatotoxicity induced by aflatoxin using citrus fruit oil in broilers (*Gallus domesticus*). *Toxicology and Industrial Health*, 31(11), 974-981.

<https://doi.org/10.1177/0748233713485893>

Latham, M. (2002). *Nutrición humana en el mundo en desarrollo*. [Archivo PDF].

<http://www.fao.org/3/w0073s/w0073s00.htm#Contents>

Lee, J., Sung, Y., Kong, C. (2020). Ideal ratios of standardized ileal digestible methionine, threonine, and tryptophan relative to lysine for male broilers at the age of 1 to 10 days. *Animal Feed Science and Technology*, 262(1), 1-10.

<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114427>

Lesson, S. y Summers, J. (2005). *Comercial Poultry Nutrition*. University books Guelph.

Lefsih, K., Guacomazza, D., Passantino, R., Assunta, M., Bulone, D., Mangione, M., Guarrasi, V., Mingoia, F., San Biagio, P., Madani, K. (2018). Biochemical and

biophysical characterization of water- soluble pectin from *Opuntia Ficus-Indica* and its potential citotoxic activity. *Phytochemistry*, 154(6), 47-55.

<https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2018.06.015>

Long, S., Liu, S., Wu, D., Mahfuz, S., Piao, X. (2020). Effects of dietary fatty acids from different sources on growth performance, meat quality, muscle fatty acid deposition, and antioxidant capacity in broilers. *Animals*, 10(3), 1-13.

<https://doi.org/10.3390/ani10030508>

Lu, L., Liao, X., Luo, X. (2017). Nutritional strategies for reducing nitrogen, phosphorus and trace mineral excretions of livestock and poultry. *Journal of Integrative Agriculture*, 16(12), 2815–2833.

[https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(17\)61701-5](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61701-5)

Ma, T., Suzuki, Y., Luo, L. (2018). Dissect the mode of action of prebiotics in affecting host- microbial interactions and immunity in food producing animals. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 205(2), 35-48.

<https://doi.org/10.1016/j.vetimm.2018.10.004>

Maher, M. (2019). Descriptive Anatomy of hepatic and portal veins broiler chickens (*Gallus gallus domesticus*). *Brazilian Journal of Poultry Science*, 21(2), 1–12.

<http://dx.doi.org/10.1590/1806-9061-2019-0980>

Mahmood, T. y Guo, Y. (2020). Dietary fiber and chicken microbiome interaction: Where will it lead to?. *Animal Nutrition*, 6(1), 1–8.

<https://doi.org/10.1016/J.ANINU.2019.11.004>

Makki, K., Deehan, E., Walter, J., Bäckhed. 2018. The impact of dietary fiber on gut microbiota in host health and disease. *Cell and Host Microbe*, 23(6), 705-715.

<https://doi.org/10.1016/j.chom.2018.05.012>

Malnick, S., Chertin, L., Neuman, M. (2020). Gamma glutamil transferase-An underestimated marker for cardiovascular disease and the metabolic síndrome. *Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 23(1), 1-10.

<https://doi.org/10.18433/jpps30923>

Marangoni, F., Corsello, C., Cricelli, C., Ferrara, N., Ghiselli, A., Lucchin, L., Poli, A. (2015). Role of poultry meat in a balanced diet aimed at maintaining health and wellbeing: an Italian consensus document. *Food and Nutrition Research*, 59(1), 1-11.

<https://doi.org/10.3402/fnr.v59.27606>

Marchini, C., Café, M., Araujo, E., Nascimento, M. (2016). Physiology, cell dynamics of small intestinal mucosa, and performance of broiler chickens under heat stress: a review. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 29(3), 159-168.

<https://doi.org/10.17533/udea.rccp.v29n3a01>

Martínez, E. (2016). El calcio, esencial para la salud. *Nutrición Hospitalaria*, 33(4), 26–31.

<http://dx.dpi.org/10.20960/nh.341>

Martínez, M., Cortés, A., Ávila, E. (2004). Evaluación de tres niveles de pigmento de flor de cempasúchil (*Tagetes erecta*) sobre la pigmentación de la piel en pollos de engorda. *Técnicas Pecuarias México*, 42(1), 105-111.

<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61342109>

Mehdi, Y., Letourneau, M., Gaucher, M., Chorfi, Y., Suresh, G., Rouissi, T., Kaur, S., Cote, C., Avalos, A., Godbout, S. (2018). Use of antibiotics in broiler production: Global impacts and alternatives. *Animal Nutrition*, 4(2), 170-178.

<https://doi.org/10.1016/j.aninu.2018.03.002>

Megías, M., Molist, P., Pombal, M. (3 septiembre de 2019). *Atlas de histología vegetal y animal*. <https://mmegias.webs.uvigo.es/2-organos-a/imagenes-grandes/digestivo-delgado.php>

Mendoza-Ávila, M., Gutiérrez-Cortez, E., Quintero-García, M., Del Real, A., Rivera-Muñoz, E., Ibarra-Alvarado, C., Rubio, E., Jiménez., Mendoza, D., Rojas-Molina, I. (2020). Calcium bioavailability in the soluble and insoluble fibers extracted from *Opuntia Ficus Indica* at different maturity stages in growing rats. *Nutrients*, 12(11), 1-15.

Midilli, M., Alp, M., Kocabagli, N., Muglali, O., Turan, N., Yilmaz, H., Cakir, S. (2008). Effects of dietary probiotic and prebiotic supplementation on growth performance and serum IgG concentration of broilers. *South African Journal of Animal Sciences*, 38(1), 21-27.

<https://doi.org/10.4314/sajas.v38i1.4104>

Mitchell, E., Johns, J. (2008). Avian hematology and related disorders. *Veterinary Clinics of North America Exotic Animal Practice*, 11(3), 501-522.

<https://doi.org/10.1016/j.cvex.2008.03.004>

Mtei, A., Abdollahi, M., Schreus, N., Girish, C., Ravindran, V. (2019). Dietary inclusión of fibrous ingredients and bird type influence apparent ileal digestibility of nutrients and energy utilization. *Poultry Science*, 98(12), 6702-6712.

<https://doi.org/10.3382/ps/pez383>

Mohammed, L., Abo-Salem, M., Atallah, S., El Shawarby, R., Ramadan, E. (2016). Effect of probiotics, prebiotics, synbiotics, organic acids and enzymes supplementation on broiler chicks' immunity in relation to the economic performance. *Benha Veterinary Medical Journal*, 30(2), 34-44.

<http://www.bvmj.bu.edu.eg>

Mohanty, D., Misra, S., Mohapatra, S., Soumyaranjan, P. (2018). Prebiotics and synbiotics: Recent concepts in nutrition. *Food Bioscience*, 26(2), 152-160.

Monje, P., Baran, E. (2002). Characterization of calcium oxalates generated as biominerals in cacti. *Plant physiology*. 128(2), 707-713.

<https://doi.org/10.1104/pp.010630>

Montalvo, C. (2010). *Técnica histológica*. [Archivo PDF].

[http://www.facmed.unam.mx/deptos/biocetis/PDF/Portal%20de%20Recurso%20en%20Linea/Apuntes/3\\_tecnica\\_histologica.pdf](http://www.facmed.unam.mx/deptos/biocetis/PDF/Portal%20de%20Recurso%20en%20Linea/Apuntes/3_tecnica_histologica.pdf)

Montalvo, C., (2017). *Reacción inflamatoria en tejido sanguíneo y hematopoyesis*. [Archivo PDF].

<http://www.facmed.unam.mx/deptos/biocetis/PDF/Portal%20de%20Recurso%20en%20Linea/Apuntes/Tejido-sanguineo.pdf>

Muñoz-Díaz, J., Fuente-Martínez, B., Hernández-Velasco, X., Ávila-González, E. (2012). Skin pigmentation in broiler chickens fed various levels of metabolizable energy and xanthophylls from tagetes erecta. *Journal of Applied Poultry Research*, 21(4), 788-796.

<https://doi.org/10.3382/japr.2011-00507>

Nicol, C. (2013). *Cuestiones de bienestar animal en la producción comercial de pollos de engorde*. [Archivo PDF].

<http://www.fao.org/3/i3531s/i3531s.pdf>

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2014). Norma Oficial Mexicana NOM-033-SAG/ZOO-2014, Métodos para dar muerte a los animales domésticos y silvestres. [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5405210&fecha=26/08/2015](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5405210&fecha=26/08/2015)

OIE. (2005). *Métodos de muestreo*. [Archivo PDF].

[https://www.oie.int/fileadmin/Home/esp/Animal Health in the World/docs/pdf/1.1.01 Muestreo 2007.pdf](https://www.oie.int/fileadmin/Home/esp/Animal_Health_in_the_World/docs/pdf/1.1.01_Muestreo_2007.pdf)

Oliveira, G., González-Molero, I. (2007). Probióticos y prebióticos en la práctica clínica. *Nutrición Hospitalaria*, 22(1), 26-34.

Organización de las Naciones Unidas Para La Alimentación Y La agricultura (FAO) y Organización mundial de la salud (OMS). (2018). *Codex Alimentarius FAO/OMS*. [Archivo PDF].

<http://www.fao.org/3/a0369s/a0369s.pdf>

- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2006). *Probióticos en los alimentos: propiedades saludables y nutricionales y directrices para la evaluación*. [Archivo PDF].  
<http://www.fao.org/3/a0512s/a0512s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (10 agosto de 2019). *Sistemas de producción*. <http://www.fao.org/poultry-production-products/production/animal-welfare/es/>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (1957). *Principios generales que regulan el empleo de aditivos alimentarios*. [Archivo PDF].  
[https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/37319/WHO\\_TRS\\_129\\_spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/37319/WHO_TRS_129_spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2016). *United Nations meeting on antimicrobial resistance*. [Archivo PDF].  
<https://www.who.int/bulletin/volumes/94/9/16-020916.pdf>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2018). *Aditivos alimentarios*. [Archivo PDF].  
<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/food-additives>
- Organización Mundial de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2013). Reducing variability in nutrient compsumption: Improving health, welfare and profitability of dairy cows fed total mixed rations. *Food and Agricultural Organization of the United Nations*, 175(1), 1-7.
- Organización Mundial de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura (FAO). (2018). Perspectivas alimentarias: Resúmenes de mercado. [Archivo PDF].  
<https://www.fao.org/3/CA0910ES/ca0910es.pdf>
- Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE). (11 de agosto de 2019). *Anual report on antimicrobial agents intended for use in animals*.  
<https://www.oie.int/es/oie-work/resistencia-antimicrobiana/>
- Organización Mundial para la Alimentacion y la Agricultura (FAO). (8 de enero de 2020). *Producción y productos avícolas*. <http://www.fao.org/poultry-production-products/products-and-processing/es/>
- Ortiz-Rodríguez R. (2012). Yield and microbiological quality of raw milk and fresh cheese obtained from holstein cows receiving a diet supplemented with nopal (*Opuntia ficus-indica*). *African Journal of Microbiology Research*, 6 (14), 1-10.  
<https://doi.org/10.5897/AJMR11.1196>

- Otto, C. (2020) Hemoglobin metabolism en Keohane, E., Otto, C., Walenga, J (Ed.), *Rodak's hematology: Clinical principles and applications* (6ta Ed; 91-103). Elsevier.
- Paiva, P., Costa de Souza, I., Costa, M., Silva, A., Coelho, L. (2016). *Opuntia spp.* Cactus: Biological characteristics cultivation and application. *Advances in Reaserch*, 7(3), 1-14.  
<https://doi.org/10.9734/AIR/2016/26125>
- Pandey, K., Naik, S., Vakil, B. (2015). Probiotics, prebiotics and synbiotics- a review. *Journal of Food Science and Technology*, 52(12), 7577–7587.  
<https://doi.org/10.1007/s13197-015-1921-1>
- Pérez, M. y Ruano, A. (2004). Vitaminas y salud: Aportación vitamínica al organismo. *Ámbito Farmacéutico Nutrición*, 23(8), 96-106.
- Pérez-Sánchez, R., Delgado-Sánchez, L., García-Saucedo, P., Pulido, J., Ortiz-Rodríguez, R. (2015). Caracterización, modelación morfológica y análisis proximales de *Opuntia ficus-indica* y *O. atropes* durante las épocas de estiaje y lluvias. *Revista Electrónica Nova Scientia*, 7(3),133-152.  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=203342741009>
- Piray, A., Kermanshahi, H., Tahmasbi, A., Bahrapour, J., (2007). Effects of cecal cultures and *Aspergillus* meal prebiotic (fermacto) on growth performance and organ weights of broiler chickens. *International Journal of Poultry Science*, 6(2), 340-344.  
<https://doi.org/10.3923/ijps.2007.340.344>
- Puente, J., Carcelén, F., Ara, M., Bezadam, S., Huamán, A., Santillán, G., Perales, R., Guevara, J., Asencios, A. (2019). Efecto de la suplementación con niveles crecientes de probióticos sobre la histomorfometría del intestino delgado del cuy (*Cavia porcellus*). *Revista de Investigación Veterinaria Perú*, 30(2), 624-633.
- Qin, S., Zhang, L., Ma, F., Che, Y., Wang, H., Shi, Z. (2020). Dietary zinc and growth, carcass characteristics, immune responses, and serum biochemistry of broilers. *Animal Production Science*, 60(6), 815-822.  
<https://doi.org/10.1071/AN18763>
- Ravindran, V. (2013). *Avances en la nutrición de las aves de corral*.  
<http://www.fao.org/3/i3531s/i3531s.pdf>
- Raza, A., Bashir, S., Tabassum, R. (2019). An update on carbohydrases: Growth performance and intestinal health of poultry. *Heliyon*, 5(4), 1-9.  
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01437>

- Ross, M. y Pawlina, W. (2007). *Histología: texto y atlas a color con biología celular y molecular*. Panamericana.
- Salehimanesh, A., Mohammadi, M., Roostaei-Ali Mehr, M. (2016). Effect of dietary probiotic, prebiotic and synbiotic supplementation on performance, immune responses, intestinal morphology and bacteria populations in broilers. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 100(4), 694-700.  
<https://doi.org/10.1111/jpn.12431>
- Saminathan, M., Sieo, C., Kalavanthy, R., Abdullah, N., Ho, Y. (2011). Effect of prebiotic oligosaccharides on growth of *Lactobacillus* strains used as a probiotic for chickens. *African Journal of Microbiology Research*, 5(1), 57-64.
- Samour, J. (2007). Diagnostic value of hematology en Harrison, G. y Lightfoot, T. (Ed.) *Clinical avian medicine* (2 Ed; Vol. 2; pp.588-610). Spix.
- Sánchez-Tapia, M., Aguilar-López, M., Pérez-Cruz, C., Pichardo-Ontiveros, E., Wang, M., Donovan, S., Tovar, A., Torres, N. (2017). Nopal (*Opuntia ficus indica*) protects from metabolic endotoxemia by modifying gut microbiota in obese rats fed high fat/sucrose diet. *Scientific Reports*, 7(1), 1–16.  
<https://doi.org/10.1038/s41598-017-05096-4>
- Sánchez-Torres, L., Arredondo-Castro, M., Orozco-Benites, G., Gutiérrez-Arenas, D., Carrillo-Beltrán, J., Lepe-Aguilar, R., Ávila-Ramos, F. (2021). Variables hematológicas en aves deportivas, ganso común, pato doméstico, pato azteca, guajolote y pollo de engorda. *Abanico agroforestal*, 3(1), 1-10.  
<http://dx.doi.org/10.37114/abaagrof/2021.3>
- Sarangi, N., Babu, L., Kumar, A., Pradhan, C., Pati, P., Mishra, J. (2016). Effect of dietary supplementation of prebiotic, probiotic, and synbiotic on growth performance and carcass characteristics of broiler chickens. *Veterinary World*, 9(3), 313-319.  
<https://doi.org/10.14202/vetworld.2016.313-319>
- Savón, L. (2002). Alimentos altos en fibra para especies monogástricas. Caracterización de la matriz fibrosa y sus efectos en la fisiología digestiva. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 36(2), 91-102.  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193018119001>
- Scanes, C. (2015). *Sturkie's Avian Physiology*. Elsevier.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SAGARPA). (2018). Atlas agroalimentario 2012-2018. [Archivo PDF].  
[https://nube.siap.gob.mx/gobmx\\_publicaciones\\_siap/pag/2018/Atlas-Agroalimentario-2018](https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2018/Atlas-Agroalimentario-2018)

- Secretaría de Gobernación (SEGOB). (2018). *Documento oficial de estrategia nacional para el uso racional de los antimicrobianos*. [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5525043&fecha=05/06/2018](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5525043&fecha=05/06/2018)
- Sedghi, M., Golian, A., Kermanshahi, H., Ahmadi, H. (2011). Effect of dietary supplementation of licorice extract and prebiotic on performance and blood metabolites of broilers. *South African Journal of Animal Science*, 40(4), 371-380.  
<https://doi.org/0.4314/sajas.v40i4.65259>
- Selle, P. y Ravindran, V. (2007). Microbial phytase in poultry nutrition. *Animal Feed Science and Technology*, 135(1), 1-41.  
<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.06.010>
- Senanayake, S., Ranasinghe, J., Waduge, R., Nizanantha, K., Alexander, P. (2015). Changes in the serum enzyme levels and liver lesions of broiler birds reared under different management conditions. *Tropical Agricultural Research*, 26(4), 584-595.  
<https://doi.org/10.4038/tar.v26i4.8121>
- Shanmugasundaram, R., Markazi, A., Mortada, M., Ng, T., Applegate, T., Bielke, L., Syed, B., Pender, C., Curry, S., Murugesan, G., Selvaraj, R. (2020). Effect of synbiotic supplementation on caecal *Clostridium perfringens* load in broiler chickens with different necrotic enteritis challenge models. *Poultry Science*, 99(5), 2452-2458.  
<https://doi.org/10.1016/j.psj.2019.10.081>
- Sharma, U., Pal, D., Prasad, R. (2014). Alkaline phosphatasa: An overview. *Indian Journal of Clinical Biochemistry*, 29(3), 269-278.  
<https://doi.org/10.1007/s12291-013-0408-y>
- Silva, P., Freitas, N., Laurentiz, A., Junqueira, O., Fagliari, J. (2007). Blood serum components and serum protein test of hybro-PG broilers of different ages. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 9(4), 229-232.  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=179714002004>
- Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (4 septiembre de 2019). *Avance de la producción pecuaria*. [http://infosiap.siap.gob.mx/repoAvance\\_siap\\_gb/pecAvanceProd.jsp](http://infosiap.siap.gob.mx/repoAvance_siap_gb/pecAvanceProd.jsp)
- Sittiya, J., Yamauchi, K., Nimanong, W., Thongwittaya, N. (2020). Influence of levels of dietary fiber sources on the performance, carcass traits, gastrointestinal tract development, fecal ammonia nitrogen, and intestinal morphology of broilers. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 22(1), 1-8.  
<https://doi.org/10.1590/1806-9061-2019-1151>



Sjofjan, O., Adli, D. (2020). Effect of dietary of supplementation mannan-riched fraction (MRF) and probiotic-enhanced liquid acidifier on the growth performance, serum blood biochemistry, and intestinal properties of broilers. *IOP Conference series: Earth and Enviromental Science*, 478(1), 2-10.

<https://doi.org/10.1088/1755-1315/478/1/012066>

Slawinska, A., Mendes, S., Dunislawska, A., Siwek, M., Zampiga, M., Sirri, F., Meluzzi, A., Tavaniello, S., Maiorano, G. (2019). Avian model to mitigate gut-derived immune response and oxidative stress during heat. *BioSystems*, 178(1), 10-15.

<https://doi.org/10.1016/j.biosystems.2019.01.007>

Śliżewska, K., Markowiak-Kopeć, P., Żbikowski, A., Szeleszczuk, P. (2020). The effect of synbiotic preparations on the intestinal microbiota and her metabolism in broiler chickens. *Scientific Reports*, 10(1), 1-13.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1038/s41598-020-61256-z>

Sohail, M., Hume, M., Byrd, J., Nisbet, D., Ijaz, A., Sohail, A., Shabbir, M., Rehman, H. (2012). Effect of supplementation of prebiotic mannanoligosaccharides and probiotic mixture on growth performance of broilers subjected to chronic heat stress. *Poultry Science*, 91(9), 2235-2240.

<https://doi.org/10.3382/ps.2012-02182>

Sousa, J., Albino, L., Vaz, R., Rodriguez, K., Da Silva, G., Renno, L., Barros, V., Kanneko, I. (2015). The effect of dietary phytase on broiler performance and digestive, bone, and blood biochemistry characteristics. *Brazilian journal of Poultry Science*, 17(1), 69-76.

<https://doi.org/10.1590/1516-635x170169-76>

Sozcu, A. (2019). Growth performance, pH value of gizzard, hepatic enzyme activity, immunologic indicators, intestinal histomorphology, and cecal microflora of broilers fed diets supplemented with processed lignocellulose. *Poultry Science*. 98(12), 6880-6887.

<https://doi.org/10.3382/ps/pez449>

Stacy, N., Alleman, A., Sayler, K. (2011). Diagnostic Hematology of Reptiles. *Clinics in Laboratory Medicine*, 31(1), 87–108.

<https://doi.org/10.1016/j.cll.2010.10.006>

Sugiharto, S. (2016). Role of nutraceuticals in gut health and growth performance of poultry. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 15(1), 99-111.

<https://doi.org/10.1016/j.jssas.2014.06.001>

Szychlińska, M., Di Rosa, M., Castorina, A., Mobasheri, A., Musumeci, G. 2019. A correlation between intestinal microbiota dysbiosis and osteoarthritis. *Heliyon*, 5(1), 1-10.

<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e011134>

Tachibana, T., Ogino, M., Makino, R., Khan, I., Cline, A. (2017). Lipopolysaccharide reduces food passage rate from the crop by prostaglandin-independent mechanism in chickens. *British Poultry Science*, 58(1), 100-106.

<https://doi.org/10.1080/00071668.2016.1237768>

Tahergorabi, R., Matak, K., Jaczynski, J. (2015). Fish protein isolate: development of functional foods with nutraceutical ingredients. *Journal of Functional Foods*, 18(1), 746-756.

Tako, E., Rutze, M., Glahn. (2010). Using the domestic chicken (*Gallus gallus*) as an in vivo model for iron bioavailability. *Poultry Science*, 89(3), 514-521.

<https://doi.org/10.3382/ps.2009-00326>

Tang, S., Sieo, C., Ramasamy, K., Saad, W., Wong, H., Ho, Y. (2017). Performance, biochemical and haematological responses, and relative organ weights of laying hens fed diets supplemented with prebiotic, probiotic and synbiotic. *BMC Veterinary Research*, 13(1), 1-12.

<https://doi.org/10.1186/s12917-017-1160-y>

Tarabees, R., Gafar, K., El-Sayed, M., Shehata, A., Ahmed, M. 2019. Effects of dietary supplementation of probiotic mix and prebiotic on growth performance, cecal microbiota composition, and protection against *Escherichia coli* 078 in broiler chickens. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 11(3), 981-989.

<https://doi.org/10.1007/s12602-018-9459-y>

Tizard. I. (2009). *Introducción a la inmunología veterinaria*. Elsevier.

Torres-Ponce, R., Morales-Corral, D., Ballinas-Casarrubias, M., Nevárez-Morillon, G. (2015). El nopal: planta del semidesierto con aplicaciones en farmacia, alimentos y nutrición animal. *Revista Mexicana de Ciencias agrícolas*, 6(5), 1129-1142.

Tranquilino-Rodríguez, E., Martínez-Flores, H., Rodiles-López, J., Figueroa-Cárdenas, J., Pérez-Sánchez, R. (2020). Optimization in the extraction of polyphenolic compounds and antioxidant activity from *Opuntia Ficus-Indica* using response Surface methodology. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(6), 1-12.

<https://doi.org/10.1111/jfpp.14485>

- Unión Nacional de Avicultores (UNA). (15 de marzo de 2021). *Compendio de indicadores económicos del sector avícola 2020*. <https://una.org.mx/indicadores-economicos/>
- Urango, L., Montoya, G., Cuadros, M., Henao, D., Zapata, A., Castaño, E., Serna, A., Venegas, C., Loaiza, M., Davahiva, B. (2009). Bioactive compound on food and health-promoting properties. *Perspectivas en la Salud Humana*, 11(1), 27-38.
- Varela, G. y Grotiuz, G. (2008). Fisiología y metabolismo bacteriano. [Archivo PDF]. <http://www.higiene.edu.uy/cefa/2008/FisiologiayMetabolismoBacteriano.pdf>
- Van der Wielen, P., Biesterveld, S., Notermans, S., Hofstra, H., Urlings, B., Knapen, F. (2000). Role of volatile fatty acids in development of the cecal microflora in broiler chickens during growth. *Applied and Environmental Microbiology*, 66(6), 2536-2540. <https://doi.org/10.1128/AEM.66.6.2536-2540.2000>
- Weiss, D., Wardrop, J., Wiley, J. (2011). *Shalm's veterinary hematology*. Wiley-Blackwell.
- Xing-Jiu, H., Yang-Kyu, C., Hyung-Soon, I., Oktay, Y., Hak-Sung, K. (2006). Aspartate aminotransferase (AST/GOT) and alanine aminotransferase (ALT/GPT) detection techniques. *Sensors*, 6(7), 756-782.
- Yan, F., Mohammed, A., Murugesan, G., Cheng, H. (2019). Effects of a dietary synbiotic inclusion on bone health in broilers subjected to cyclic heat stress episodes. *Poultry Science*, 98(3), 1083-1089. <https://doi.org/10.3382/ps/pey508>
- Yousaf, M., Ijaz, A., Ashraf, K., Rashid, M., Hafeez, A., Zaneb, H., Dar, E., Naseer, R., Rabbani, I., Zentek, J., Rehman, H. (2016). comparative effects of different dietary concentrations of  $\beta$  galactooligosacharides on growth performance, feed conversion efficiency and organs development in broilers. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 26(6), 1603-1608.
- Zaefarian, F., Abdollahi, M., Cowieson, A., Ravindran, V. (2019). Avian liver: The forgotten organ. *Animals*, 9(2), 1-23. <https://doi.org/10.3390/ani9020063>.
- Zanuzzi, C. y Barbeito, C. (2014). *Histología de las aves*. Universidad de la Plata.
- Zhang, B., Sui, F., Wang, B., Wang, Y., Li, W. (2020). Dietary combined supplementation of iron and *Bacillus subtilis* enhances reproductive performance, eggshell quality, nutrient digestibility, antioxidant capacity, and hematopoietic function in breeder geese. *Poultry Science*, 99(11), 6119-6127. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.06.077>

Zuidhof, M., Schneider, B., Carney, V., Korver, D., Robinson, F. (2014). Growth efficiency, and yield of commercial broilers from 1957, 1978, and 2005. *Poultry Science*, 93(12), 2970-2981.

<https://doi.org/10.3382/ps.2014-04291>

