



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Ciencias Naturales

Maestría en Salud y Producción Animal Sustentable

Efecto de la adición de emulsionantes en alimento de pollo de engorda sobre perfil lipídico sérico, comportamiento productivo, pigmento en piel y morfofisiología gastrointestinal

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de Maestro en Salud y Producción Animal Sustentable

Presenta

---

MVZ. Kevin Ávila Parra

Dirigido por:

Dr. Konisgmar Escobar García

---

Konisgmar Escobar García  
Presidente

Samantha Elizabeth Bautista Marín  
Secretaria.

Tércia Cesária Reis De Souza  
Vocal

José Guadalupe Gómez Soto  
Suplente

Gerardo Mariscal Landín Suplente



Dirección General de Bibliotecas y Servicios Digitales de  
Información



Efecto de la adición de emulsionantes en alimento de  
pollo de engorda sobre perfil lipídico sérico,  
comportamiento productivo, pigmento en piel y  
morfofisiología gastrointestinal

**por**

Kevin Avila Parra

se distribuye bajo una [Licencia Creative Commons  
Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

**Clave RI:** CNMAC-164807-0223-735

## RESUMEN

Los pollos de engorda son animales muy eficientes para transformar el alimento consumido en kilogramos de carne, lo que conlleva a un requerimiento alto de energía metabolizable. En ese sentido, el uso de grasas en su dieta es indispensable, pero esto plantea ciertos inconvenientes debido a su baja digestibilidad, principalmente por una baja producción de sales biliares y actividad de la lipasa pancreática. La eficiencia en el uso de grasas puede lograrse con la suplementación de compuestos que permitan la emulsificación de las grasas a nivel intestinal. En esta prueba se utilizaron 4 diferentes emulsionantes en forma de polvo y un grupo control que constituyeron los 5 TTM. La prueba se desarrolló con 5200 pollos machos ROSS 308, distribuidos en 40 corrales con 130 aves cada uno, fueron destinados 8 corrales por tratamiento. Se utilizó un solo tipo de alimento base de la empresa Pilgrims para pollo de engorda. La duración de la prueba fue de 50 días y se obtuvieron datos los días 21, 28, 35, 42 y 49 de perfil lipídico sérico, parámetros productivos y morfofisiología gastrointestinal. Los días 28, 35, 42 y 49 se realizaron las mediciones de pigmento. Se observó una interacción de la edad con los TTM ( $P < 0.05$ ) sobre los valores del perfil lipídico sérico. Para los parámetros productivos no hubo efecto del TTM, pero sí de la edad ( $P < 0.05$ ) al mostrar una mayor ganancia diaria de peso e índice de conversión conforme el animal se desarrolla. Para la pigmentación en piel se observó una interacción ( $P < 0.05$ ) entre la edad y los TTM, observándose una mayor pigmentación en los animales de 49 días que consumieron los TTM 1, 2, 3 y 4 en comparación con los animales que consumieron el TTM 5, al igual que en las variables anteriores la morfofisiología gastrointestinal presentó una interacción de la edad con los TTM ( $P < 0.05$ ). El efecto de los emulsionantes está asociado a la edad del pollo. La incorporación de los emulsionantes en el alimento no mejoró los parámetros productivos, pero sí mostró un efecto en el perfil lipídico sérico, pigmentación de la piel y morfofisiología gastrointestinal.

**PALABRAS CLAVE:** Pollo, alimento, emulsionantes, digestión y crecimiento.

## **ABSTRACT**

Broilers are very efficient to transform the food consumed into kilograms of meat, for these reason they have a high metabolizable energy requirement. In this way, the use of fats in their diet is essential, however this use carries some disadvantages because of their low digestibility, mainly for a low bile salts production and pancreatic lipase activity. The efficiency in the use of fats can be achieved with the supplementation of compounds which allow the fats emulsification into a intestinal level. There was used 4 different powder emulsifiers and a control group in this test. The proof started with 5200 one day age male broilers of genetic line ROSS 308, which was distributed into the 40 pens with 130 birds each; there were destined 8 pens per treatment. A single type of feed was used for the different test groups, with the Pilgrims company commercial diet phases for broilers. The duration of the test was 50 days and data were obtained on days 21, 28, 35, 42 and 49 broiler age from a serum lipid profile, productive parameters and gastrointestinal morphophysiology. The days 28, 35, 42 and 49 was made the pigment measurement. The serum lipid profile was shown an interaction of age with the different TTM ( $P<0.05$ ). For the productive parameters there was no effect of the TTM, but there was of the age ( $P<0.05$ ) showing a greater daily weight gain and conversion rate as the animal ages. For skin pigmentation was shown an interaction ( $P<0.05$ ) between age and the different TTMs in addition to a favorable emulsifier effect with ( $P>0.05$ ) in TTM 1, 2, 3 and 4 over TTM 5. As in the previous variable, gastrointestinal morphophysiology presented an interaction between age and TMD ( $P<0.05$ ). The effect of emulsifiers is associated with the age in broilers. The incorporation of the emulsifiers in the feed did not improve the productive parameters, but it did show an effect on the serum lipid profile, skin pigmentation and gastrointestinal morphophysiology.

**KEYWORDS:** Broilers, diet, emulsifier, absorption and growth.

## **DEDICATORIAS**

El presente trabajo está dedicado a mi familia que con mucho esfuerzo y paciencia me dio la oportunidad de cumplir mis sueños, me ha acompañado en todo el trayecto de mi persona y apoyado en decisiones que fueron clave para mi crecimiento.

Dedicación especial para los maestros de vida y maestros de estudio que me han regalado experiencias inolvidables.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco profundamente a mis padres por apoyarme en todo mi trayecto de vida, sin ellos esta realidad sería diferente, lo que soy es un reflejo de su amor incondicional.

A mis hermanos por darme fortaleza y consejos que formaron parte de mi crecimiento.

A mi novia por su amor y apoyo que fortalecieron mi desempeño

A mi director de tesis por su confianza y conocimiento brindado

A mis sínodos por la orientación y la experiencia

A la Universidad Autónoma de Querétaro por la oportunidad de forjarme y crecer en lo académico y profesional.

Al CONACyT por haber otorgado la beca durante la realización de la maestría

Finalmente agradezco a dios por colocar en mi camino personas y momentos que ayudaron a escribir esta historia.

## ÍNDICE GENERAL

Contenido

<b>RESUMEN</b> .....	<b><u>i</u></b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b><u>ii</u></b>
<b>DEDICATORIAS</b> .....	<b><u>iii</u></b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b><u>iv</u></b>
<b>ÍNDICE GENERAL</b> .....	<b><u>v</u></b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b><u>vi</u></b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	<b><u>vii</u></b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>II. ANTECEDENTES</b> .....	<b>2</b>
<b>2.1 Aparato digestivo de las aves</b> .....	<b>2</b>
<b>2.1.1 Pico</b> .....	<b>3</b>
<b>2.1.2 Lengua</b> .....	<b>3</b>
<b>2.1.3 Orofaringe</b> .....	<b>3</b>
<b>2.1.4 Esófago</b> .....	<b>4</b>
<b>2.1.5 Estómago</b> .....	<b>4</b>
<b>2.1.5.1 Estómago glandular o químico</b> .....	<b>4</b>

2.1.5.2 Molleja o estómago muscular .....	5
2.1.6 Intestinos .....	5
2.1.7 Cloaca .....	6
2.1.8 Hígado.....	7
2.1.9 Páncreas.....	8
2.2 Lípidos .....	8
2.2.1 Digestión y absorción de lípidos en las aves.....	9
2.2.2 Transporte de lípidos exógenos.....	10
2.2.5 Transporte de lípidos endógenos.....	11
2.2.6 Lipoproteínas.....	11
2.3 Emulsionantes.....	13
2.3.1 Características de los emulsionantes .....	14
2.3.2 Composición de emulsionante 1 .....	15
2.3.3 Composición de emulsionante Kasthorphill.....	15
2.3.4 Composición de emulsionante Solmax-50 .....	15
2.3.5 Composición de emulsionante Excential energy plus.....	16
III. JUSTIFICACIÓN.....	18
IV. HIPÓTESIS .....	18
V. OBJETIVOS.....	18
5.1 Objetivo general .....	18



5.2 Objetivos específicos.....	18
VI. MATERIAL Y MÉTODOS.....	20
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
VIII. CONCLUSIONES.....	50
IX. IMPLICACIONES.....	51
X. BIBLIOGRAFÍA.....	52
XI. ANEXOS.....	60

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 1.</b> Anatomía digestiva de las aves.....	2
<b>FIGURA 2.</b> Región para medir pigmento.....	25
<b>FIGURA 3.</b> Efecto del emulsionante y la edad sobre concentración de colesterol en sangre (mg·dl <sup>1</sup> ).....	29
<b>FIGURA 4.</b> Efecto del emulsionante y la edad sobre concentración de HDL en sangre (mg·dl <sup>1</sup> ).....	31
<b>FIGURA 5.</b> Efecto del emulsionante y la edad sobre concentración de LDL en sangre (mg·dl <sup>1</sup> ).....	33
<b>FIGURA 6.</b> Efecto del emulsionante y la edad sobre concentración de triglicéridos en sangre (mg·dl <sup>1</sup> ).....	35
<b>FIGURA 7.</b> Efecto de edad sobre índice de conversión (kg).....	37
<b>FIGURA 8.</b> Efecto de edad sobre ganancia diaria de peso(g).....	38
<b>FIGURA 9.</b> Efecto de emulsionante y la edad sobre pigmento(deltas).....	41
<b>FIGURA 10.</b> Efecto de emulsionante y la edad sobre altura de vellosidades.....	44
<b>FIGURA 11.</b> Efecto de emulsionante y la edad sobre profundidad de criptas.....	46
<b>FIGURA 12.</b> Efecto de emulsionante y la edad sobre actividad específica de lipasa pancreática).....	49

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>CUADRO 1.</b> Características de emulsionantes utilizados en la industria pecuaria .....	17
<b>CUADRO 2.</b> Composición de las dietas experimentales.....	22
<b>CUADRO 3.</b> Días y cantidad de alimento en las diferentes fases de alimentación .....	23
<b>CUADRO 4.</b> Efecto de la interacción entre la edad y los tratamientos sobre el perfil lipídico sérico.....	27
<b>CUADRO 5.</b> Efecto de edad sobre índice de conversión (kg) y ganancia diaria de peso acumulado (g).....	36
<b>CUADRO 6.</b> Efecto de emulsionante sobre índice de conversión (kg) y ganancia diaria de peso acumulado (g).....	37
<b>CUADRO 7.</b> Efecto de la interacción entre la edad y los tratamientos sobre el pigmento en piel.....	39
<b>CUADRO 8.</b> Efecto de la interacción entre la edad y los tratamientos sobre altura de vellosidades y profundidad de criptas.....	42
<b>CUADRO 9.</b> Efecto de la interacción entre la edad y los tratamientos sobre actividad específica de lipasa pancreática.....	47



## **I.INTRODUCCIÓN**

A nivel mundial la carne de pollo es una importante fuente de proteína de origen animal en la alimentación humana. El constante incremento de la población, ha generado la necesidad de una mayor producción de alimentos de forma más eficiente en la productividad (Vitón et al., 2017). Gracias a la selección genética, los pollos de engorda son animales muy eficientes para transformar el alimento consumido en kilogramos de carne consiguiendo un elevado rendimiento de la canal (Valdiviezo, 2012)

El pollo de engorda tiene un requerimiento muy alto de energía metabolizable, y en ese sentido el uso de lípidos (grasas y aceites) en su dieta es indispensable (Upadhaya, 2018). En las aves de engorda, la digestión y absorción de los lípidos están limitadas principalmente por una baja producción de lipasa y ácidos biliares (Saiz et al., 2010).

Un aumento de la eficiencia en el uso de grasas por parte del pollo puede lograrse a través de la suplementación dietética de emulsionantes de grasas a nivel intestinal (Mendocilla, 2017). Un emulsionante, por definición, es una sustancia tensoactiva que actúa en la superficie entre dos medios, como el agua y la grasa, que son inmiscibles entre sí, permitiendo su interacción. Los emulsionantes incluyen moléculas hidrófilas e hidrófobas, que pueden distribuir las gotas de aceite de manera uniforme en la emulsión, y con esto, incrementar la superficie activa para una mejor digestión y absorción (Rovers, 2014).

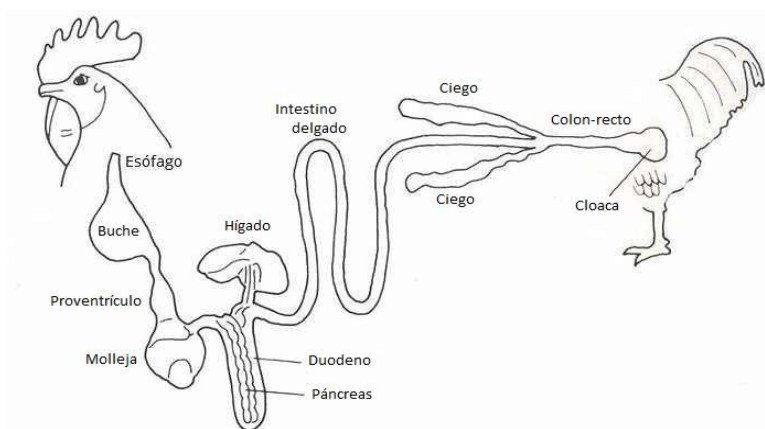
El propósito de este trabajo fue verificar el efecto de la adición de 4 diferentes emulsionantes en una dieta de pollo de engorda entre 21 y 50 días de edad sobre perfil lipídico sérico, comportamiento productivo, pigmentación de la piel y morfofisiología gastrointestinal.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Aparato digestivo de las aves

En las aves el desarrollo del aparato digestivo es muy precoz; en el embrión, el intestino se forma desde el segundo día de incubación y al momento de eclosionar el aparato digestivo representa aproximadamente la cuarta parte del peso corporal; sin embargo, esta proporción decrece rápidamente alcanzando menos de 5% del peso a la octava semana de vida (Saiz et al., 2010).

El sistema digestivo de las aves está conformado por pico, lengua, orofaringe, esófago, proventrículo, molleja, duodeno, yeyuno, íleon, un par de ciegos, colon y cloaca, la que sirve también para el sistema urogenital (Figura 1). Como en los mamíferos, el hígado y el páncreas descargan sus secreciones hacia el intestino y forman parte del sistema digestivo (Yanza, 2015). Dentro de ciertas secciones del aparato digestivo se producen enzimas que van a facilitar el proceso de digestión, estas son catalizadores secretados por células especializadas que ayudan a hidrolizar los nutrientes llevándolos a su mínima expresión. Sustancias químicas como el ácido clorhídrico y el bicarbonato son secretadas para alterar la acidez o alcalinidad del aparato digestivo para que las reacciones puedan realizarse (Dyce, 2007).



**Figura 1.** Anatomía digestiva de las aves

### **2.1.1 Pico**

Las aves tienen mandíbulas córneas superior e inferior que reciben el nombre de pico. El tamaño se adapta al tipo de alimentación habitual de la especie siendo puntiagudo en las aves consumidoras de granos como en el pollo (Álvarez, 2007), sustituye a los labios, carrillos y dientes de los mamíferos, y algunas aves lo utilizan como órgano prensil (psitácidas) (Cano, 2010).

### **2.1.2 Lengua**

Su forma depende en gran medida de la conformación del pico. La lengua está suspendida del hueso hioides, formando con él un conjunto móvil. Está revestida en su totalidad por una mucosa tegumentaria muy cornificada, en el dorso de la lengua existe una fila transversal de papilas filiformes o cónicas dirigidas hacia atrás. En la mucosa lingual hay además corpúsculos nerviosos terminales, que sirven para la percepción táctil. La actividad funcional de la lengua consiste en la aprensión, selección y deglución de los alimentos, usan su lengua para empujar el alimento a la parte trasera del pico y así poder tragarlo (Pilla, 2017).

### **2.1.3 Orofaringe**

Las cavidades oral y faríngea se describen como una única cavidad orofaríngea, caracterizada por la existencia de un largo paladar duro y presencia de papilas cornificadas dispuestas en hileras. No suele existir, por lo tanto, ni paladar blando ni nasofaringe, de modo que las coanas y trompas auditivas se abren a la cavidad bucofaríngea a través de sendos orificios o hendiduras que perforan el paladar (Cano, 2010).

#### **2.1.4 Esófago**

El esófago, está situado a lo largo del lado inferior del cuello, sobre la tráquea, y se dirige hacia el lado derecho en el tercio superior de este; es un conducto tubular que va desde la boca al buche y de ahí al proventrículo, además que tiene la propiedad de extenderse; posee glándulas mucosas las cuales son abundantes y ayudan a la lubricación para el paso del alimento (Roa, 2015). Un poco antes que el esófago entre la cavidad torácica, hay un saculamiento localizado lateralmente, que se conoce con el nombre de buche, se piensa que el buche no tiene un papel directo en la digestión, puesto que en él no se secretan enzimas y tampoco hay evidencia de que se produzca absorción de nutrientes. Sin embargo, dentro de él tiene lugar una humidificación considerable, lo que puede ayudar a la molienda y a la digestión enzimática posterior en el tracto digestivo (Svihus, 2016).

#### **2.1.5 Estómago**

El estómago de las aves domésticas de corral se divide en: proventrículo o estómago glandular y ventrículo o estómago muscular (molleja) (Dyce, 2007).

##### **2.1.5.1 Proventrículo o estómago glandular.**

El proventrículo es un órgano fusiforme que se estrecha ligeramente antes de desembocar en la molleja, constituyéndose en un segmento de tránsito alimentario entre el esófago caudal y la molleja (Álvarez, 2007). En su pared se encuentran dos capas glandulares: una superficial, de glándulas tubulosas simples, y otra profunda, glandular, mucho más gruesa. La mucosa contiene glándulas bien desarrolladas, que segregan ácido clorhídrico (HCl) y el pepsinógeno, precursor de la enzima proteolítica pepsina. La formación del pepsinógeno y del HCl dependen de la influencia del sistema nervioso parasimpático. Es en el proventrículo en donde



se inicia la digestión proteica del alimento, al igual que en los mamíferos, su éxito viene determinado por el pH del medio (2.5-3.5) (Roa, 2015).

#### **2.1.5.2 Molleja o estómago muscular**

La molleja se localiza entre el proventrículo y el duodeno. Tiene dos pares de músculos muy poderosos, capaces de desarrollar gran fuerza. La molleja permanece inactiva cuando está vacía, pero una vez que el alimento entra, empiezan las contracciones musculares. Aquí se desarrolla la denominada masticación involuntaria en las aves, de manera que entre más grandes sean las partículas de alimento, más fuertes son las contracciones (Álvarez, 2007). El músculo está bien desarrollado y se divide en dos pares de músculos: laterales e intermedios, además se pueden encontrar piedritas muy pequeñas y otras piezas que le permiten moler los alimentos (Macías & Paguay, 2019).

#### **2.1.6 Intestinos**

Se extiende desde la molleja al origen de los ciegos y es relativamente más corto que el de los mamíferos, está dividido en tres secciones, duodeno, yeyuno e íleon, sin embargo, aunque las diferencias entre las tres secciones no son claramente perceptibles macroscópicamente e incluso histológicamente se han determinado la porción distal del asa duodenal descendente y el divertículo de Meckel como límites intermedios de cada sección (Roa, 2015). La primera parte del intestino delgado está formada por un asa duodenal. Dentro de esta asa duodenal se encuentra el páncreas, que secreta el jugo pancreático rico en enzimas como la amilasa, quimiotripsina, tripsina, carboxipeptidasas y lipasas que auxilian el proceso de digestión de proteínas, carbohidratos y lípidos (Yanza, 2015). En el epitelio del intestino delgado se encuentran un grupo de células que ayudan a cumplir las diferentes funciones como la absorción de nutrientes (enterocitos), secreción de moco (células caliciformes) o regulación de la actividad hormonal (células enteroendocrinas). Los enterocitos son las células principales del intestino

delgado y presentan forma cilíndrica. Toda la longitud la pared interior del tubo intestinal se caracteriza por la presencia de vellosidades, entre las cuales se observan unas estructuras denominadas criptas de Lieberkühn, donde se encuentran a su vez células de Paneth, caracterizadas por su forma piramidal y que tienen como finalidad la secreción del jugo entérico, responsable de la digestión final de los alimentos, transformando los polipéptidos en aminoácidos libres, los disacáridos en monosacáridos y las grasas en glicerol y ácidos grasos (Damián, 2019).

El intestino grueso se subdivide en tres porciones, las cuales son ciego, recto y cloaca (Pilla, 2017). Es corto en aves de corral y tiene como función la fermentación, absorción de agua, proteínas y las sales del producto de la digestión. La mucosa del intestino grueso, en especial en los ciegos, presenta numerosas criptas de Lieberkühn, carecen en su mayoría de células de Paneth y poseen un número muy elevado de células caliciformes. Estas estructuras tienen a su cargo la función de secretar grandes cantidades de moco, el cual es vertido sobre la mucosa del intestino y evita las excoriaciones contra posibles partículas que se encuentran en los alimentos (Damián, 2019).

En la unión del intestino delgado y grueso se encuentran los ciegos que se presentan como dos ramificaciones laterales. Su principal función es la absorción de agua y electrolitos, además es donde se produce la fermentación microbiana de la fibra por este motivo su tamaño es influenciado por la dieta (es mayor en dietas altas en fibra) (Svihus, 2016).

### **2.1.7 Cloaca**

La cloaca se encuentra al final del aparato digestivo, en la parte interior de la cloaca desembocan los canales digestivo, urinario y reproductor. La cloaca se divide secuencialmente en coprodeo, urodeo y proctodeo por dos pliegues anulares (Dyce, 2007). El coprodeo es el pasaje que une el recto con el urodeo. El urodeo es la desembocadura de los uréteres y el proctodeo la desembocadura de los

conductos deferentes para los machos o el oviducto izquierdo en las hembras (Sánchez, 2001).

### **2.1.8 Hígado**

El hígado de las aves es de color café-marrón oscuro excepto en las dos primeras semanas después de salir del cascarón, cuando adquiere una coloración amarillenta dada por los pigmentos del vitelo, que continúan siendo absorbidos en el intestino antes de que el saco vitelino involucre finalmente (Dyce, 2007). El hígado es bilobulado y relativamente grande, el lóbulo hepático izquierdo cuenta con el colédoco (hepaticoentérico) que comunica directamente con el duodeno, mientras que el lóbulo derecho además de tener comunicación con el colédoco (cistoentérico), presenta una rama que drena al conducto cístico (hepatocístico) en cuyo recorrido se ubica la vesícula biliar (Álvarez, 2007). Lleva a cabo actividades fundamentales como ser el órgano más importante en el metabolismo de los carbohidratos, las proteínas y las grasas, así como, la producción de ciertos constituyentes hemáticos, la formación de la hemoglobina y la detoxificación de varias toxinas orgánicas e inorgánicas. La secreción de la bilis ocurre en las células hepáticas y se acumula en la vesícula biliar (König and Liebich, 2005). La bilis contenida en la vesícula biliar es liberada solo cuando el alimento entra en el intestino delgado. La secreción de bilis a partir del hígado y el vaciado de la vesícula biliar se hallan bajo control hormonal. La hormona colecistoquinina (CCK) actúa sobre la vesícula biliar (haciéndola contraerse y descargar bilis) (Yanza, 2015). La bilis es una solución salina de color amarillo verdoso que consiste sobre todo en sales biliares, colesterol, el fosfolípido lecitina y pigmentos biliares. Los ácidos biliares son sintetizados por los hepatocitos a partir del colesterol, comprenden una variedad de especies de esteroides ácidos anfipáticos. Estos son moléculas detergentes que juegan un papel clave en la digestión de grasas y la absorción intestinal de compuestos hidrófobos presentes en la luz intestinal, incluidas las vitaminas liposolubles A, D, E, K y varios pigmentos (Marín et al., 2016).

### **2.1.9 Páncreas**

El páncreas está dentro del asa duodenal del intestino delgado y secreta el jugo pancreático cuyas enzimas ayudan a la digestión de almidones, grasas y proteínas. Es una glándula mixta que cumple la función endocrina (secreción de insulina y glucagón) y exocrina que corresponde a la secreción del jugo pancreático rico en enzimas como la amilasa, quimiopripsina, tripsina, carboxipeptidasas y lipasas que participan en el proceso de digestión de proteínas, carbohidratos y lípidos. En pollos se ha observado que la secreción pancreática de amilasa, tripsina y lipasa es baja a los 3 días de edad, sin embargo, en pollos de 21 días se incrementa (Saiz et al., 2010). Las secreciones pancreáticas son estimuladas por la acetilcolina (ACh) liberada de las terminaciones nerviosas próximas a las células, al igual que lo hacen la CCK y la secretina que llegan vía sanguínea. La CCK es el principal estímulo hormonal para las células acinares pancreáticas, mientras que la secretina lo es para las células centroacinares y de los conductos. Sin embargo, parece que la estimulación máxima de las células ocurre cuando todos los receptores están ocupados. Así, las células acinares secretan más activamente en presencia de los tres ligandos: ACh, CCK y secretina (Cunningham and Klein, 2014).

### **2.2 Lípidos**

Los lípidos cuentan con diversas propiedades químicas y tienen como característica común el hecho de ser solubles en solventes orgánicos como el éter, benceno, heptano, cloroformo y xileno, y ser insolubles en el agua (Yanza, 2015). Estructuralmente, los lípidos están compuestos por ésteres de ácidos grasos y glicerol, son necesarias para la homeostasis de la temperatura corporal, la síntesis de hormonas, el adecuado funcionamiento del sistema nervioso central y del metabolismo muscular (Rovers, 2014).

El valor energético de un lípido depende fundamentalmente de la composición de los ácidos grasos que constituyen la molécula, teniendo en cuenta el tamaño de la cadena del ácido graso y el grado de insaturación (Lubisco, 2007).

Las grasas aportan la mayor densidad energética al menor costo por unidad de energía, además la energía abarca las tres cuartas partes del coste total de formulación, por esto, las grasas se han convertido en una parte importante de las raciones actuales. Con la adición de grasas en las raciones se obtienen ventajas en términos energéticos, aportan ácidos grasos esenciales a la dieta, mejoran la palatabilidad, aumentan el rendimiento animal y mejoran la apariencia de la ración (Lubisco, 2007).

### **2.2.1 Digestión y absorción de lípidos en las aves**

En las aves, la digestión y absorción de los lípidos están limitadas principalmente por una baja producción y recirculación de sales biliares, las cuales están directamente estimuladas por la acción de la CCK. La CCK es liberada por las células I presentes en la mucosa intestinal, sensibles a la presencia de grasa (San Tan et al., 2016). La digestibilidad de los lípidos en pollos va incrementando gradualmente a lo largo de su período productivo (Yanza, 2015).

Los lípidos en la dieta del pollo son procesados en una emulsión que se encuentra en intestino delgado. Las sales biliares contribuyen a la emulsión de las grasas de los alimentos y facilitan la digestión de los lípidos. La emulsificación es un proceso que rompe los glóbulos de grasa en pequeñas gotas gracias a la acción detergente de los ácidos biliares y de los fosfolípidos. Una vez los lípidos (triglicéridos) son emulsionados, podrá comenzar la acción de las enzimas hidrolíticas. La hidrólisis de los triglicéridos se produce mediante la acción conjunta de las enzimas pancreáticas, lipasa y colipasa. La lipasa es una enzima secretada, en su forma activa, desde el páncreas. Sin embargo, no puede atacar directamente las gotas de grasa emulsionada en el intestino porque no puede penetrar por la cubierta de productos biliares que rodean a las gotas. La función de la colipasa es

abrir un camino a través de dicha cubierta proporcionando así a la lipasa el acceso libre hacia los triglicéridos situados en su interior. La lipasa rompe los ácidos grasos en ambos extremos de los triglicéridos sin atacar al ácido graso central de la molécula, de forma que por cada molécula de triglicérido hidrolizado se forman dos ácidos grasos libres o no esterificados y un monoglicérido (Cunningham and Klein, 2014).

Una vez que se produce la degradación de los lípidos por acción de la lipasa pancreática, los productos de la hidrólisis de los lípidos (ácidos grasos y monoglicéridos) se combinan con los ácidos biliares y con los fosfolípidos para formar micelas, pequeñas agregaciones hidrosolubles de ácidos biliares y lípidos. Las micelas son mucho más pequeñas que las gotas emulsionadas de las que proceden. En el intestino delgado las micelas entran en contacto con la membrana de las células del epitelio intestinal y se desintegran para que las sustancias que la componen puedan ser absorbidos por la parte lipofílica de la membrana a través de difusión simple. Una vez las sales biliares cumplen su función son reabsorbidas en el íleon y pasarán al hígado para ser reutilizadas (García, 2018).

## **2.2.2 Transporte de lípidos exógenos**

Para ser transportados los lípidos hidrolizados en la luz del intestino deben ser reesterificados, en las aves solo la mitad de los lípidos consumidos tienen este proceso dentro de las células de la mucosa intestinal; luego en las células epiteliales del intestino, se combinan TAG, fosfolípidos, colesterol, ésteres de colesterol y apolipoproteínas formando portomicrones (PM) (Yanza, 2007). Los PM entran en la circulación portal por donde son transportados al hígado y otros tejidos facilitando el transporte de triglicéridos. Las lipoproteínas formadas entran en los vasos sanguíneos a través de las vesículas intracitoplasmáticas endoteliales y son transportados desde las venas pancreaticoduodenal y yeyunal hasta la vena porta (Reece, 2017). Los portomicrones, están compuestos por 88,8% de TAG, 6,2% de fosfolípidos, 3,6% de colesterol libre y ésteres de colesterol, y 1,4% de proteína (apolipoproteínas: apo B y apo C-II). Debido a su gran tamaño, no son

metabolizados por el hígado, por lo tanto, siguen su camino para ser parcialmente metabolizados por tejidos extrahepáticos (Yanza, 2007).

El ingreso de los triglicéridos (TAG) que transportan los portomicrones a los tejidos, depende de la hidrólisis realizada por la lipoproteína lipasa (LPL), la cual se encuentra en los tejidos extrahepáticos en la cara externa de las células endoteliales que rodean los capilares; la LPL hidroliza a los TAG a glicerol y ácidos grasos, el glicerol es transportado al hígado y al riñón para su posterior metabolismo y los ácidos grasos son captados por el tejido donde se realizó la hidrólisis; no obstante, para que los portomicrones sean sustrato de la LPL deben adquirir apolipoproteína C-II a partir de las HDL, una vez ha disminuido la relación la relación lípido/proteína quedan partículas más pequeñas (portomicrones remanentes) que son metabolizadas en el hígado (Osorio & Flórez 2011).

### **2.2.3 Transporte de lípidos endógenos**

En las aves, el transporte endógeno de los lípidos se realiza desde el hígado a los tejidos periféricos. Este transporte está a cargo de las lipoproteínas de muy baja densidad (VLDL). Los ésteres de colesterol entregados por las HDL a las LDL y a los remanentes proteicos son transportados hacia el hígado y a los tejidos extrahepáticos. Enzimas como la Lecitin Colesterol Acil Transferasa (LCAT) y la proteína de transferencia de ésteres de colesterol participan en el transporte inverso del colesterol, transportando el colesterol de las paredes arteriales al hígado usando como intermediario a las VLDL. Debido a que el hígado en las aves es el mayor productor de TAG, se destacan las tres fuentes de ácidos grasos para la síntesis de VLDL: a partir del acetil coenzima A (acetilCoA) en la síntesis de novo; de los portomicrones y por captación de los AG libres unidos a la albúmina procedentes del tejido adiposo (Osorio & Flórez, 2011).

## 2.3 Lipoproteínas.

Las lipoproteínas son estructuras esféricas evolutivamente desarrolladas para el transporte de lípidos insolubles en el torrente sanguíneo. Están compuestas por una cubierta polar que contiene apolipoproteínas, fosfolípidos y colesterol libre y, por un núcleo en el que se hallan los elementos hidrofóbicos (ésteres de colesterol y triglicéridos) (Armesto, 2011). Las partículas de lipoproteínas son portomicrones, lipoproteínas de muy baja densidad (VLDL) compuestas sobre todo por triglicéridos (TAG) y su función consiste en transportar el TAG desde el hígado a tejidos periféricos. La síntesis y la lipogénesis de novo de las VLDL es mejorada por la insulina, mientras que la tiroxina y el glucagón tienen el efecto contrario, esta situación activa la lipoproteína lipasa, aumentando los ácidos grasos libres en sangre. (Osorio & Flórez, 2011).

Las VLDL de las aves tienen una densidad  $<1,013 \text{ g/cm}^3$  y están compuestas por 41.7% de TAG, 15.2% de fosfolípidos, 3.1% de colesterol, 15% de ésteres de colesterol y 26.8% de proteína (apo A-I, apo B-100, apo B48, apo C-II y además las apo VLDLII para gallinas), siendo la apo B-100 de mayor cantidad en las VLDL; lipoproteínas de densidad intermedia (IDL) las cuales siguen metabolizándose hasta formar las lipoproteínas de baja densidad (LDL); las IDL tienen una densidad entre  $1.013\text{-}1.023 \text{ g/cm}^3$  y están compuestas por 14.4% de TAG, 17.7% de fosfolípidos, 7.3% de colesterol libre, 30.3% de ésteres de colesterol y 29.8% de proteína, y las LDL tienen una densidad entre  $1.023\text{-}1.046 \text{ g/cm}^3$  y están compuestas por 7.5% de TAG, 21.9% de fosfolípidos, 10.1% de colesterol libre, 30.4% de ésteres de colesterol y 29.7% de proteína, siendo casi la misma para las dos lipoproteínas (apo A-I y apo B). Estas diferencias se deben a que las IDL pierden TAG por la hidrólisis de la LPL, entregan las apo C y reciben ésteres de colesterol de las lipoproteínas de alta densidad (HDL) (Hermier, 1997).



Las LDL suministran su colesterol para la síntesis de membranas celulares en su degradación o para su almacenamiento, la proteína de las apolipoproteínas se hidroliza a aminoácidos y su función es brindar colesterol a los tejidos periféricos y lipoproteínas de alta densidad (HDL); Las HDL tienen una densidad entre 1.052-1.130 g/cm<sup>3</sup>, están compuestas por 1.7% de TAG, 28.6% de fosfolípidos, 3.9% de colesterol, 23.4% de ésteres de colesterol y 45.4% de proteínas (apo A-I y C-II). La apo A-I es la proteína más importante en las HDL y la mayoría de los fosfolípidos se asocian a la apo A-I dentro de las HDL (Hermier, 1997).

El hígado en las aves es el mayor productor de HDL y dentro del aparato de Golgi se encuentran formas esféricas y discoidales de dicha lipoproteína, pero en la circulación a diferencia de los mamíferos solo se conoce una forma de HDL. Sus funciones son las de aceptar las apolipoproteínas y fosfolípidos de las lipoproteínas degradadas, aceptar el colesterol de los tejidos y de las lipoproteínas, entregar a estas los ésteres de colesterol para mantener el equilibrio lípido/proteína (Osorio & Flórez, 2011).

## **2.4 Emulsionantes**

Un emulsionante, es una sustancia que actúa en la superficie entre dos medios, permitiendo su interacción, incrementando la superficie activa de las grasas, permitiendo una mayor acción de las lipasas y favoreciendo la formación de micelas. Estos incluyen moléculas hidrófilas e hidrófobas, que pueden distribuir las gotas de aceite de manera uniforme en la emulsión (Rovers, 2014). La capacidad de emulsificación de una sustancia se ve afectada por la composición de la grasa en función de longitud de la cadena y el nivel de saturación de los ácidos grasos que la componen, ya que los ácidos grasos insaturados de cadena larga y monoglicéridos forman micelas rápidamente, mientras que los saturados tienen menor capacidad de formar micelas debido a su menor polaridad. (Gu & Li, 2013). Algunos emulsionantes importantes son jabones, detergentes, goma arábiga, saponinas, aceites sulfonados y lecitinas (Yanza, 2015).

### **2.4.1 Características de emulsionantes**

El principio del equilibrio hidrófilo-lipófilo (EHL) cuantifica la solubilidad en grasa o agua de un emulsionante. El EHL posee una escala que varía de 0 a 20, cuanto más bajo es el EHL, más lipófilo o soluble en grasa se vuelve el emulsionante, mientras que cuanto mayor sea, más soluble en agua o hidrófilo será el emulsionante. El objetivo de usar un emulsionante determina si un EHL bajo o alto es más adecuado. Idealmente, el emulsionante debe ser soluble en la fase acuosa. Cuando se mezcla una pequeña cantidad de agua en un ambiente rico en grasas, se recomienda un EHL más bajo (emulsionante soluble en grasa). Si se mezcla una pequeña cantidad de grasa en un ambiente acuoso, se recomienda un emulsionante con un EHL más alto (emulsionante soluble en agua). En el caso de un emulsionante nutricional, se agrega una cantidad limitada de grasa al ambiente acuoso del intestino. Un ave consume 1.5-2.0 veces más agua que el alimento y el alimento tiene solo una pequeña cantidad de grasa, por lo que la cantidad de agua es mucho mayor que la cantidad de grasa en el intestino. En este caso, un EHL alto es más adecuado (Rovers & Excential, 2014).

Los emulsionantes se pueden clasificar en naturales y sintéticos. Entre los de origen natural tenemos la goma de acacia, el colesterol y las lecitinas, que son fosfolípidos. Los emulsionantes sintéticos se clasifican en iónicos (aniónicos, catiónicos y anfóteros) y no iónicos. Entre los iónicos tenemos los ácidos grasos y sus sales, por ejemplo, el ácido esteárico y el estearato de sodio. Los no ionizados muestran un EHL muy bajo (ácido oleico = 1); las sales sódicas o potásicas tienen un EHL elevado (oleato de sodio = 18; oleato de potasio = 20). Entre los no iónicos se encuentran los éteres y ésteres de ácidos grasos y polioles, los ésteres del sorbitol y copolímeros en bloque del óxido de etileno y del óxido de propileno. (Navarro, 2016).

#### **2.4.2 Composición del emulsionante 1**

Compuesto de ricinoleato, en un carrier de tierra de diatomeas purificada. Es un emulsionante nutritivo sintético aniónico con un EHL alto (muy soluble en agua). Este EHL es mucho mayor que el de emulsionantes tales como el de la lecitina y la lisolectina. Debido a este EHL alto es muy eficiente como un emulsionante nutritivo y mejora la capacidad de digerir la grasa y la energía, lo que hace que se obtenga una producción de animales más económica y sostenible.

#### **2.4.3 Composición del emulsionante 2**

Emulsionante hidrofílico sintético iónico-aniónico. El estearil 2 lactilato de sodio es menos complejo que los ésteres, aunque el número de residuos de ácido láctico es variable. El estearil 2 lactilato sódico es un sólido blanco, tiene un punto de fusión relativamente elevado y puede añadirse a las masas en polvo, bien solo o bien como parte de un componente acondicionador de la masa. Es miscible (mezclable) con la grasa y, por consiguiente, es un componente ideal para concentrados grasos, particularmente los utilizados en productos enriquecidos o semienriquecidos en grasa (Toaquiza, 2011). Se puede nombrar al estearil 2 lactilato de sodio como un éster obtenido de la reacción del ácido esteárico con el ácido láctico (Pungaña, 2013).

#### **2.4.4 Composición del emulsionante 3**

El ricinoleato de gliceril polietilenglicol es un emulsionante hidrofílico sintético aniónico. La molécula está compuesta por óxido de etileno y aceite de ricino, modificado por el Laboratorio de Referencias de la Unión Europea (EURL), como aditivo emulsificante. Ricinoleato de gliceril de polietilenglicol (E 484) o "polietilenglicol (PEG X) aceite de ricino" se obtiene mezclando óxido de etileno con aceite de ricino en condiciones controladas. El aceite de ricino es un lípido extraído de las semillas de *Ricinus communis* y que comprende principalmente ácido

ricinoleico (> 85%) con cantidades menores de palmítico, oleico, linoleico, linolénico, dihidroxiesteárico y ácidos araquídico. El aditivo alimentario está destinado a ser incorporado directamente en alimentos o a través de pre mezclas (Mendocilla, 2017).

#### **2.4.5 Composición del emulsionante 4**

Es un emulsionante natural que proviene de fuentes naturales animales o vegetales que, siguiendo un proceso de extracción y purificación, se obtienen sin sufrir modificaciones químicas que alteran estructural y biológicamente su condición natural. Hoy en día no existen muchos emulsionantes naturales que cumplan exactamente con esta definición, de hecho, se encuentran casi exclusivamente representados por las lecitinas extraídas de la soya y la yema de huevo. Esta carencia no está asociada a la disponibilidad natural que es amplia y diversa, sino a los elevados costos de extracción/producción que algunas veces superan los costos de fabricación de sus homólogos sintéticos. Debido a estas limitaciones, se usa el término emulsionante de origen natural, para incluir a aquellos que han sido obtenidos por vía de síntesis orgánica que utilizan en su preparación materias primas de origen natural. Esta materia prima conforma a menudo una sección estructuralmente bien definida dentro de la molécula sintetizada. Por ejemplo, un surfactante constituido por una cabeza polar del tipo carbohidrato o péptido y una cola lipofílica del tipo alcohol o ácido de alto peso molecular se considera un surfactante no natural sino de origen natural ya que todas las partes que entran en su síntesis tienen un origen natural. Por extensión, se puede también considerar un surfactante constituido por una cabeza polar del tipo polióxido de etileno y una cola lipofílica del tipo ácido o alcohol graso de origen natural, aunque estos sean químicamente tratados para su obtención (Fernández et al., 2014).

En el Cuadro 1 se resumen las principales características de los emulsionantes utilizados en el presente trabajo.

**Cuadro 1.** Características de emulsionantes utilizados en la industria pecuaria.

Características	Emulsionantes			
	Emulsionante 1	Emulsionante 2	Emulsionante 3	Emulsionante 4
Contenido	Ricinoleato con tierra de diatomea purificada	Esteaoril-2-lactilato de sodio	Ricinoleato de gliceril polietilenglicol	Biosurfactante
Clasificación	Sintético aniónico	Sintético iónico-aniónico	Sintético aniónico	Natural
Medio en que actúa	Hidrofílico	Hidrofílico	Hidrofílico	Hidrofílico
Balance hidrofílico-lipofílico	20	19	20	18
Modo de acción	Tensoactivo	Tensoactivo	Tensoactivo	Tensoactivo
Dosis (kg)	0.035	0.050	0.035	0.050
Presentación	Polvo	Polvo	Polvo	Polvo

### **III. JUSTIFICACIÓN**

La deficiente producción de emulsionantes endógenos y la consecuente limitada actividad de la lipasa pancreática en los pollos de engorda, generan la necesidad de adicionar emulsionantes exógenos en la dieta, los cuales, pueden incrementar la digestión de grasas y aceites y con esto mejorar parámetros productivos, pigmentación en piel, morfofisiología gastrointestinal y producir cambios en el perfil lipídico sérico.

### **IV. HIPÓTESIS**

El tipo de emulsionante empleado en la dieta del pollo de engorda modificará el perfil lipídico sérico, los rendimientos productivos, la pigmentación de la piel y parámetros morfofisiológicos gastrointestinales.

### **V. OBJETIVOS**

#### **5.1 Objetivo general**

Evaluar el efecto de 4 diferentes emulsionantes agregados al alimento y la edad sobre el perfil lipídico sérico, el comportamiento productivo, pigmentación de piel y la morfofisiología gastrointestinal, en pollos de engorda entre los días 21 y 49 de edad.

## 5.2 Objetivos específicos

Evaluar el efecto de los diferentes emulsionantes y la edad sobre:

- La concentración de colesterol, lipoproteínas (HDL y LDL) y triglicéridos a nivel sérico.
- Ganancia diaria de peso e índice de conversión alimenticia.
- La pigmentación de la piel.
- La morfología de las vellosidades y las criptas intestinales.
- La actividad específica enzimática de la lipasa pancreática

## **VI. MATERIAL Y MÉTODOS**

El trabajo fue autorizado por el comité de bioética de la facultad de ciencias naturales el 26 de febrero del 2021 con expediente (13FCN2021).

### **Unidad experimental avícola**

La fase experimental de este trabajo de investigación se realizó en las instalaciones de Unidad Experimental Avícola (UEA) de la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ) ubicada en el camino a Alfajayucan km 3, en la localidad de Amazcala, Qro.

La UEA cuenta con una caseta con ambiente controlado, que posee 40 corrales con una superficie de 10 m<sup>2</sup> cada uno. La caseta está equipada con 8 criadoras, un sistema de ventilación con 5 extractores de 48' en el extremo norte de la caseta automatizadas con un ordenador Fancom.

### **Animales, dietas experimentales y manejo**

Se utilizaron 5200 pollos de un día de edad, machos de la estirpe ROSS 308, los cuales se distribuyeron entre los 40 corrales a razón de 130 pollitos por corral. Se utilizaron 5 dietas experimentales (tratamientos) empleando 8 corrales por dieta experimental (tratamiento), por lo que se tuvieron 1040 pollos por dieta experimental (tratamiento).

Los pollos recién nacidos se recibieron en la nave precalentada a 32°C y la temperatura se redujo gradualmente hasta llegar a temperatura ambiente. Todas las aves tuvieron acceso libre al alimento y agua durante todo el período experimental (50 días).

Se realizó una selección y se eliminaron los pollos notoriamente no aptos para su supervivencia, con deformidades o lesiones. Se contaron físicamente los



pollos antes de ser colocados en cada corral para verificar su número exacto y se pesaron en una caja para conocer el peso promedio inicial por corral.

**Cuadro 2.** Composición de las dietas experimentales.

Ingredientes	Fases de alimentación				
	Pre-ini <sup>^</sup>	Ini	Des	Final	Termi <sup>***</sup>
Maíz amarillo *	52.3	56.5	59.3	63.6	63.6
Pasta de soya	37.7	37.2	33.4	29.2	29.2
Gluten de maíz	3	-	-	-	-
Aceite de soya	3.1	2.4	3.7	3.5	3.5
Carbonato de calcio	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8
Fosfato dicálcico	1.8	1.8	1.5	1.8	1.8
Sal	0.4	0.1	0.4	0.3	0.3
Pre mezcla de vitaminas y minerales **	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
DL- metionina 99%	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1
<b>Composición química (%)</b>					
PC	24	22	20	17	17
EE	3.5	3.5	4.2	4.6	3.1
ELN	63.5	65.3	67.3	70.4	71.7
FDN	9.8	11.1	11.5	10.3	11.2
MI	6.5	6.2	5.6	5.3	5.3

\*El emulsionante se agregó a cada una de las dietas de acuerdo a las indicaciones del fabricante a expensas del maíz amarillo.

<sup>^</sup>Fase de alimentación: Pre-Ini: preiniciador; Ini: Iniciador; Des: Desarrollo; Final: Finalizador con coccidiostato; Termi: finalizador sin coccidiostato; PC: proteína cruda; EE Extracto etéreo; ELN: extracto libre de nitrógeno; FDN: fibra detergente neutro; MI: cenizas; \*\* Vit. A: 10,000 IU; vit. D3: 2,000 IU; vit. E - 30 IU; vit. B1 - 2 mg; vit. B6 - 3 mg; vit. B12 - 0.015 mg; ácido pantoténico - 12 mg; biotina - 0.10 mg; vit. K3 - 3 mg; ácido fólico - 1.0 mg; ácido nicotínico - 50 mg; colina 60% - 100 g; antioxidantes - 1.0 mg (BHT); selenio - 0.25 mg; salinomicina - 66 mg; virginamicina - 10 mg; manganeso - 106 mg; hierro - 100 mg; copper - 20 mg; cobalto - 2 mg; yodine - 2 mg; zinc - 50 mg; \*\*\* Dieta basal sin salinomicina.

**Cuadro 3.** Días y cantidad de alimento en las diferentes fases de alimentación.

<b>Fases</b>	<b>Días</b>	<b>Cantidad de alimento (kg)</b>
<b>Pre iniciador</b>	0-8	.210
<b>Iniciador</b>	9-21	.862
<b>Desarrollo</b>	22-33	1.617
<b>Terminador con coccidiostato</b>	34-47	2.667
<b>Terminador</b>	48-50	0.633

^Fase de alimentación: Pre-Ini: preiniciador; Ini: Iniciador; Des: Desarrollo; Final: Finalizador con coccidiostato; Termi: finalizador sin coccidiostato. \*\*\* Dieta basal sin salinomicina.

Las dietas experimentales (tratamientos) tuvieron como ingredientes mayores maíz y pasta de soya (Cuadro 2), y su composición varió en base a la fase de alimentación (Cuadro 3) de acuerdo a las recomendaciones del NRC (National Research Council, 1994) (Cuadro 2). La composición química de las diferentes fases de alimentación se muestra en el Cuadro 2. Los tratamientos (TTM) experimentales se asignaron al azar siendo TTM 1: dieta basal con emulsionante 1; TTM 2: dieta basal con emulsionante 2; TTM 3: dieta basal sin emulsionante; TTM 4: dieta basal con emulsionante 3; TTM 5: dieta basal con emulsionante 4. Todos los emulsionantes se agregaron en la dosis recomendada por el fabricante a expensas del maíz.

Se usaron 4 comederos en cada uno de los corrales de la prueba. Fue indispensable asegurarse que todos los tratamientos recibieran el mismo manejo durante el ciclo productivo. Se aseguró que se administrara la cantidad indicada de alimento a todos los tratamientos experimentales, usando una tabla de alimentación predeterminada. No se dietaron a las aves, por lo que la toma de muestras se realizó con aves alimentadas.

Los flujos de agua fueron de 50 ml x minuto la primera semana, 55 ml segunda semana, y así sucesivamente se subieron 5 ml por semana, hasta un máximo de 80 ml x minuto; con esto se aseguró un correcto flujo y se previno la presencia de camas húmedas. Se cuidaron todos los aspectos necesarios para otorgar al pollo un óptimo ambiente (temperatura, humedad y ventilación).

El programa de vacunación fue realizado de acuerdo a los manejos establecidos en la zona y fueron aplicados a todos los corrales por igual.

### **Matanza y muestreo**

Los días 21, 28, 35, 42 y 49 se mataron 5 pollitos por tratamiento, utilizando la dislocación cervical (Zhao & Kim, 2017), con la finalidad de la toma de muestras necesarias para las determinaciones requeridas.

### **Perfil lipídico sanguíneo**

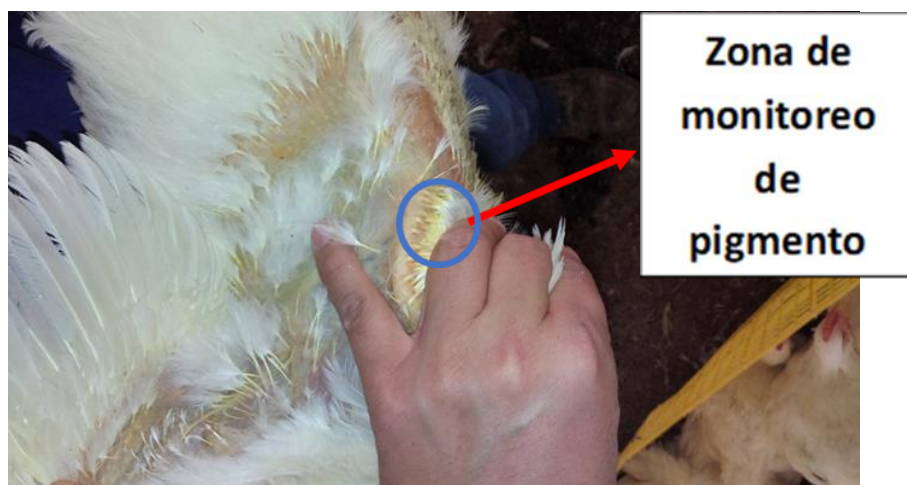
Antes de la matanza, a todos los pollos se les extrajo sangre de la vena branquial. El suero se extrajo centrifugando la muestra a 3.000 x g durante 15 min a 4 ° C, y se almacenó a -20 ° C hasta el análisis de colesterol total, lipoproteínas de baja densidad (LDL), lipoproteínas de alta densidad (HDL) y triglicéridos usando un analizador de sangre automático (Advia 120, Bayer, Tarrytown, NY) usando métodos colorimétricos (Zhao & Kim, 2017).

### **Variables productivas**

Los días 7, 14, 21, 28, 35, 42 y 49 se realizó el pesaje de aves, se tomaron 20 aves por corral para un total de 160 aves por tratamiento y se pesaron los cuarenta corrales para un total de muestra de 800 aves. Al finalizar se calculó un promedio por tratamiento.

## Lectura de pigmento

Los días 28, 35, 42 y 49 se realizó la lectura de pigmento en piel de las aves, se utilizaron 6 aves por cada corral y la medición se hizo por medio de Colorímetro Minolta CR 400 (Minolta Chroma Meter CR-400, Minolta Italia S.p.A., Milan Italy). La lectura se realizó a la altura de la franja grasa que se forma al costado y debajo del ala, para esto, otra persona tomó el ave con la mano derecha se tomó la base de las alas y con la mano izquierda las patas (Figura 3). Una vez presentado el pollo de la forma anterior se abatieron las plumas para formar un borde en la parte del nacimiento (base) de las plumas, en donde se realizó el monitoreo. (Sirri et al., 2010).



**Figura 2.** Región para medir pigmento.

## Indicadores de salud intestinal

Después de la matanza a los pollos se les abrió cavidad abdominal para extraer una porción de yeyuno con la finalidad de medir la altura de las vellosidades y la profundidad de las criptas intestinales como indicador de salud intestinal. La sección del tejido del yeyuno fue colectada desde donde termina el asa duodenal y hasta el divertículo de Meckel, se lavó gentilmente con agua destilada y luego fijada

en una solución de formol neutralizado al 10%. Posteriormente, fueron embebidas en parafina y cortadas con un grosor de 5  $\mu\text{m}$  y fueron teñidas con hematoxilina y eosina en laminillas. Diez vellosidades se utilizaron para determinar el promedio de la altura de las vellosidades (del ápice a la base de la vellosidad) y la profundidad de las criptas (de la base de la vellosidad hasta el fondo de la cripta) (Nabuurs et al., 1993; Makkink et al., 1994) y fueron medidas con un microscopio óptico (Primo Star, Carl Zeiss, Alemania) usando el objetivo 10x y analizadas con el software ZEN (Carl Zeiss, Alemania).

### **Determinación de actividad específica de lipasa pancreática**

La cuantificación de la actividad enzimática se realizó por titulación a pH = 9 por la hidrólisis de aceite de olivo, en emulsión dentro de la goma arábiga en presencia de sales biliares. A pH = 9 los ácidos grasos hidrolizados o libres son neutralizados con el NaOH 0.1 N a medida que va sucediendo la reacción para mantener constante el pH= 9 (Rathelot et al., 1976). Se determinó la cantidad de proteína por gramo de páncreas (Lowry et al., 1951) para reportar la actividad específica de la lipasa pancreática.

### **Análisis estadístico**

Los resultados que se generaron en esta prueba fueron analizados estadísticamente utilizando un diseño completamente al azar, con arreglo factorial (5\*5) en el caso de perfil lipídico sérico, parámetros productivos y morfofisiología gastrointestinal. Tomando en cuenta como variables independientes: cinco tratamientos y cinco edades (21, 28, 35, 42 y 49 días). Para el análisis estadístico de pigmento en piel se utilizó un arreglo factorial de 5\*4 con cinco tratamientos y cuatro edades (28, 35, 42 y 49). El perfil lipídico sérico y la morfofisiología gastrointestinal utilizaron como unidad experimental al pollo. Para los parámetros

productivos y la fijación de pigmento en piel se utilizó el corral como unidad experimental. Las diferencias entre las dietas se analizaron mediante ANOVA. Las medias fueron comparadas utilizando la prueba de tukey y las diferencias fueron consideradas estadísticamente diferentes con una  $P < 0.05$ , utilizando el procedimiento GLM del paquete estadístico SAS (SAS; 2000).

## VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### PERFIL LIPÍDICO SÉRICO

Los resultados obtenidos de los análisis del perfil lipídico sérico de los animales del presente estudio presentaron una interacción entre edad y tratamiento ( $P < 0.05$ ) (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Efecto de la interacción entre la edad y los tratamientos sobre el perfil lipídico sérico.

T	EDAD																				P			EEM					
	21					28					35					42					49					E	T	E*T	
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3		4	5			
<b>COL</b>	135 <sup>d</sup>	144 <sup>a</sup>	138 <sup>c</sup>	132 <sup>e</sup>	140 <sup>b</sup>	133 <sup>a</sup>	123 <sup>c</sup>	123 <sup>c</sup>	126 <sup>b</sup>	134 <sup>a</sup>	141 <sup>a</sup>	127 <sup>c</sup>	126 <sup>c</sup>	132 <sup>b</sup>	128 <sup>c</sup>	124 <sup>c</sup>	139 <sup>b</sup>	167 <sup>a</sup>	125 <sup>c</sup>	126 <sup>c</sup>	127 <sup>c</sup>	155 <sup>a</sup>	113 <sup>e</sup>	122 <sup>d</sup>	129 <sup>b</sup>	<b>NS</b>	<b>NS</b>	*	<b>1.7</b>
<b>HDL</b>	110 <sup>c</sup>	115 <sup>b</sup>	115 <sup>b</sup>	107 <sup>d</sup>	121 <sup>a</sup>	119 <sup>a</sup>	113 <sup>b</sup>	111 <sup>c</sup>	105 <sup>d</sup>	102 <sup>a</sup>	90 <sup>b</sup>	90 <sup>b</sup>	103 <sup>a</sup>	88 <sup>c</sup>	80 <sup>d</sup>	92 <sup>e</sup>	99 <sup>d</sup>	114 <sup>a</sup>	110 <sup>b</sup>	106 <sup>c</sup>	99 <sup>c</sup>	115 <sup>a</sup>	92 <sup>e</sup>	97 <sup>d</sup>	101 <sup>b</sup>	<b>***</b>	<b>NS</b>	*	<b>1.2</b>
<b>LDL</b>	20 <sup>b</sup>	20 <sup>b</sup>	19 <sup>c</sup>	21 <sup>a</sup>	21 <sup>a</sup>	22 <sup>a</sup>	18 <sup>c</sup>	19 <sup>b</sup>	11 <sup>d</sup>	9 <sup>e</sup>	16 <sup>b</sup>	12 <sup>e</sup>	14 <sup>c</sup>	13 <sup>d</sup>	17 <sup>a</sup>	10 <sup>e</sup>	14 <sup>d</sup>	15 <sup>c</sup>	17 <sup>b</sup>	18 <sup>a</sup>	20 <sup>a</sup>	20 <sup>a</sup>	14 <sup>d</sup>	17 <sup>c</sup>	19 <sup>b</sup>	<b>**</b>	<b>NS</b>	<b>**</b>	<b>0.5</b>
<b>TAG</b>	81 <sup>e</sup>	86 <sup>d</sup>	113 <sup>b</sup>	90 <sup>c</sup>	126 <sup>a</sup>	108 <sup>a</sup>	97 <sup>b</sup>	98 <sup>b</sup>	68 <sup>c</sup>	48 <sup>d</sup>	57 <sup>c</sup>	50 <sup>d</sup>	46 <sup>e</sup>	91 <sup>a</sup>	73 <sup>b</sup>	66 <sup>a</sup>	58 <sup>b</sup>	64 <sup>a</sup>	40 <sup>d</sup>	54 <sup>c</sup>	55 <sup>b</sup>	9 <sup>c</sup>	30 <sup>d</sup>	51 <sup>c</sup>	69 <sup>a</sup>	<b>***</b>	<b>NS</b>	<b>***</b>	<b>2</b>

T: Tratamiento; COL: Colesterol; HDL: Lipoproteínas de alta densidad; LDL: Lipoproteínas de baja densidad; TAG; Triacilglicerol; P: Probabilidad; E\*T: Edad por tratamiento; EEM: Error estándar de la media; \*:  $P < 0.05$ ; \*\*:  $P < 0.01$ ; \*\*\*:  $P < 0.001$ ; a, b, c, d y e: Diferentes literales en la misma fila presentan diferencias estadísticas.

## Colesterol

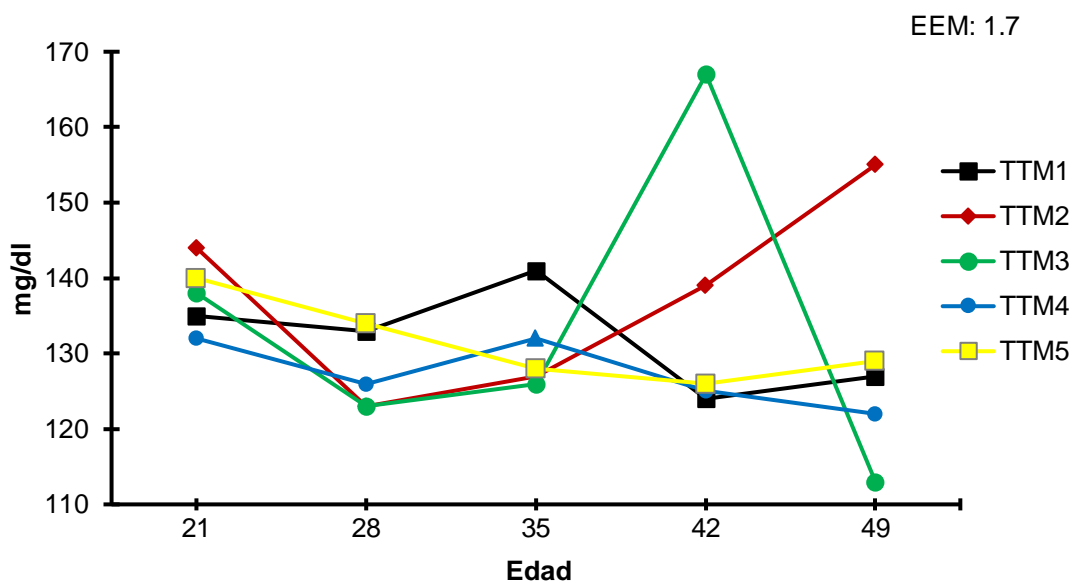
Al día 21 los diferentes tratamientos experimentales mostraron valores entre 130 y 150 mg·dl<sup>-1</sup>. El día 28 todos los animales presentaron una disminución de las concentraciones séricas de colesterol en sangre. En el día 35 los pollos alimentados con el TTM 1, 2, 3 y 4 incrementaron sus valores mientras que los animales alimentados con el TTM 5 continuaron disminuyendo. Para el día 42 los pollos alimentados con el TTM 1, 4 y 5 disminuyeron sus valores mientras que los pollos alimentados con los TTM 2 y 3 aumentaron sus valores siendo los animales alimentados con el TTM 3 (Control) los que presentaron el valor más alto (167 mg·dl<sup>-1</sup>) (Figura 4). El día 42 se aprecia claramente la interacción de la edad con los TTM al ver que algunos TTM aumentan sus valores considerablemente y otros disminuyen. El día 49 los pollos alimentados con los TTM 1, 2 y 5 incrementaron sus valores mientras que los animales alimentados con los TTM 3 y 4 disminuyeron sus valores, siendo los pollos alimentados con el TTM 3 (Control) los que presentaron el valor más bajo (113 mg·dl<sup>-1</sup>).

Según Cruz (2020), el valor normal de colesterol en sangre de los pollos puede ser entre 125 a 200 mg·dl<sup>-1</sup> en pollo de engorda a los 42 días de edad por lo que se encuentran en el rango normal. Algunas patologías provenientes de las aves alteran los parámetros sanguíneos. Osorio et al. (2012), mencionaron que el colesterol en la sangre puede disminuir con la madurez debido a las demandas de los tejidos cuando el animal está en crecimiento y desarrollo, lo que puede explicar la disminución en los valores de colesterol conforme el ave crece. Varios autores (Liu et al., 2019, Serpunja & Kim 2019 y Shahid et al., 2021) mencionan que el colesterol en sangre no responde al uso de emulsionantes en la dieta, mientras que Roy et al. (2010) reportaron que el emulsionante redujo el colesterol total en sangre, una respuesta que podría sonar contradictoria, pero metabólicamente eficientiza el uso de este metabolito por parte del ave (Saleh et al., 2020). Como se puede observar en los párrafos anteriores, los autores citados observan diferencias significativas debidas al uso de emulsionantes, algunas favorables y otras no. Estos



resultados contradictorios podrían deberse al tipo de emulsionante, el nivel de este en la dieta, la concentración de energía en la dieta, la concentración de grasa en la dieta (E.E) y la edad del ave; como se observa en el presente experimento en donde los animales alimentados con los TTM 2 y 3 (Emulsionante 2 y Control) tuvieron un incremento en las concentraciones séricas de colesterol para el día 42 esto debido a la diferente fase de alimentación, ya que al día 35 se da el cambio de alimento de desarrollo a finalización c/coccidiostato (Cuadro 3) (Figura 4). Durante este cambio las dietas presentan un incremento en su contenido de grasa (E.E) del 9.5 % (Cuadro 1) lo cual puede afectar el desempeño metabólico del ave.

**Figura 3.** Efecto del emulsionante y la edad sobre concentración de colesterol en sangre ( $\text{mg}\cdot\text{dl}^{-1}$ ).



### Lipoproteínas de alta densidad (HDL)

El día 21 se aprecian valores entre 105 y 121  $\text{mg}\cdot\text{dl}^{-1}$  siendo los pollos que consumieron el TTM 5 (Emulsionante 4) los que presentaron el valor más alto (121  $\text{mg}\cdot\text{dl}^{-1}$ ) (Figura 5). En el día 28 los pollos alimentados con los TTM 2, 3, 4 y 5 disminuyeron sus valores mientras que los animales alimentados con el TTM 1

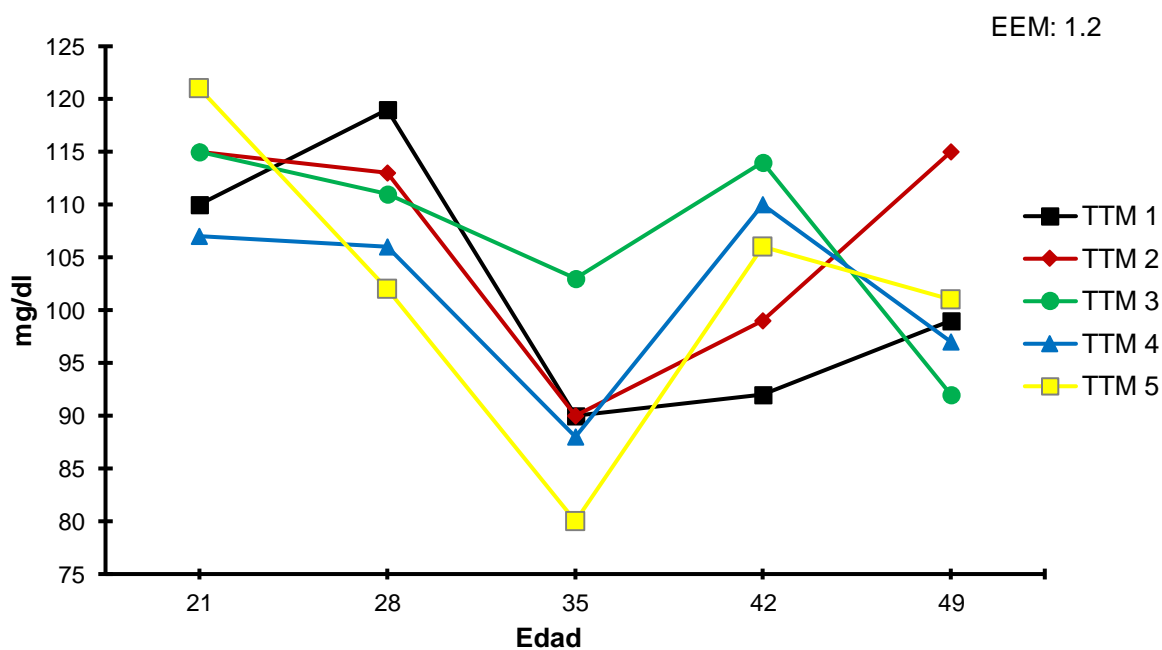
presentaron una mayor concentración de HDL en suero. En el día 35 todos los TTM disminuyeron sus valores siendo los animales que consumieron el TTM 5 (Emulsionante 4) los que tuvieron las menores concentraciones séricas de HDL ( $80 \text{ mg}\cdot\text{dl}^{-1}$ ). Para el día 42 todos los animales incrementaron las concentraciones séricas de HDL. En la última fecha los animales alimentados con los TTM 1 y 2 aumentaron sus valores y los animales alimentados con los TTM 3, 4 y 5 disminuyeron. El día 28 y 49 se puede apreciar la interacción de la edad con los TTM al ver que algunos TTM aumentan sus valores considerablemente y otros disminuyen.

Según Osorio & Flores (2018), los niveles de HDL mostraron un rango entre  $50.1\text{-}134,1 \text{ mg}\cdot\text{dl}^{-1}$  para los pollos de engorda a los 35 días de edad, por lo que los datos en esta prueba se encuentran en el rango promedio. Las HDL transportan gran parte del colesterol en la sangre de las aves; por lo tanto, cuanto mayor sea el contenido de HDL en sangre puede implicar que el animal tuvo una mayor absorción de lípidos (Ge, 2019), esto puede explicar los altos valores en el TTM 2 (Emulsionante 2) de HDL y colesterol en sangre (Figura 4 y 5). Del día 21 al 35 existe un incremento en la ganancia diaria de peso (Cuadro 5) del 32.3% del total de peso ganado en todo su ciclo productivo. Esto implica que el ave aumentó el requerimiento de energía para poder cubrir sus demandas de desarrollo, lo que puede explicar la disminución de los valores séricos de HDL de la mayoría de los TTM en el día 28 y 35 (Figura 4). Entre los días 35 a 49 hay un incremento de la ganancia diaria de peso de 12.30%, el crecimiento es menor en comparación con los días 21 a 35, hay un menor requerimiento de energía por lo que probablemente puede explicar el aumento en sus valores.

Diferentes autores (Mahmood et al., 2022, Upadhaya et al., 2018, Roy et al., 2010 y Serpunja & Kim 2019) mencionan que el contenido sérico de HDL no se vio afectado con el emulsionante incluido en la dieta de los pollos de engorda. Según los autores revisados, el impacto del emulsionante sobre los niveles séricos de HDL en pollos de engorda aún no se habían documentado y puede ser contradictorio, lo

cual se observó en este trabajo donde se encontró una interacción de la edad con los tratamientos, ya que a medida que el ave se desarrolla se vuelve más eficiente en la digestión y absorción de grasas (Yanza, 2015) y el TTM 2 (Emulsionante 2) presentó los valores más altos (Cuadro 4).

**Figura 4.** Efecto del emulsionante y la edad sobre concentración de HDL en sangre ( $\text{mg}\cdot\text{dl}^{-1}$ ).



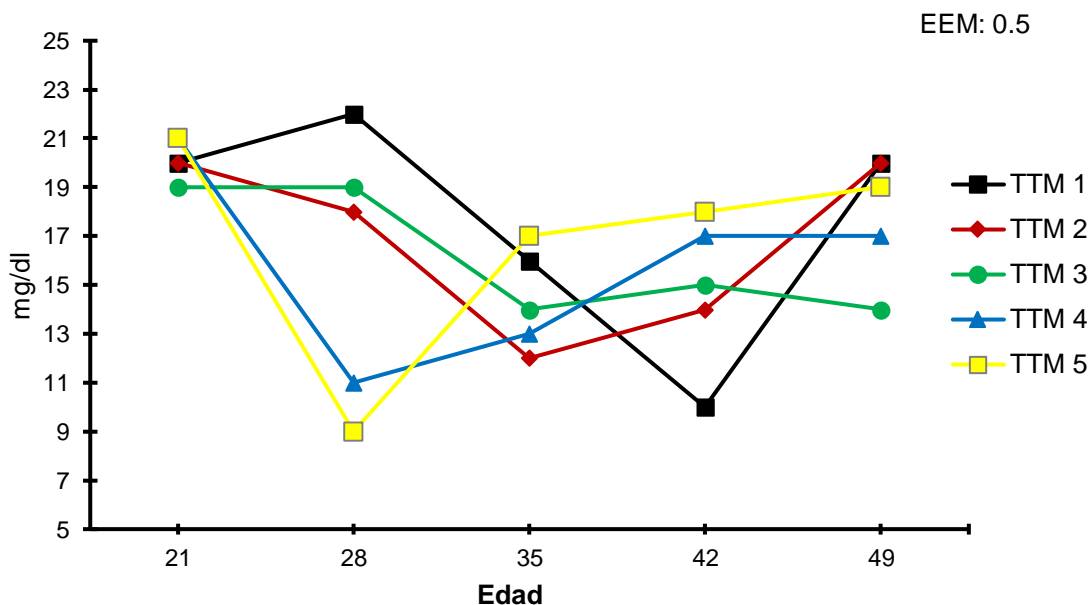
### Lipoproteínas de baja densidad (LDL)

El día 21 se aprecian valores entre 19 y 21  $\text{mg}\cdot\text{dl}^{-1}$ . En el día 28 los pollos alimentados con el TTM 2, 4, y 5 disminuyeron sus valores, siendo los animales que consumieron el TTM 5 (Emulsionante 4) los que presentaron el valor más bajo (9  $\text{mg}\cdot\text{dl}^{-1}$ ), mientras que los animales alimentados con el TTM 1 y 3 incrementaron sus valores siendo los animales que consumieron el TTM 1 (Emulsionante 1) los

que presentaron el valor más alto (22 mg·dl<sup>-1</sup>). En el día 35 los animales alimentados con los TTM 1, 2 y 3 disminuyeron sus valores y los animales alimentados con los TTM 4 Y 5 aumentaron. Para el día 42 solo los animales alimentados con el TTM 1 disminuyeron sus valores mientras que los pollos alimentados con los TTM 2, 3, 4 y 5 incrementaron las concentraciones de LDL. En el día 49 los animales alimentados con los TTM 1, 2 y 5 aumentaron sus valores, los animales alimentados con el TTM 3 disminuyeron y los animales alimentados con el TTM 4 mostró los mismos valores que la fecha anterior. El día 28 se puede apreciar la interacción de la edad con los TTM al ver que algunos TTM aumentan sus valores considerablemente y otros disminuyen.

Según Cruz (2020), los niveles de LDL mostraron un rango entre 22.3-31.1 mg·dl<sup>-1</sup> para los pollos de engorda a los 42 días de edad, los valores en esta prueba pueden ser menores a causa de la dieta o la línea genética utilizada. Según Osorio et al. (2012) los pollos en las primeras semanas de vida presentan niveles altos de LDL porque no pueden utilizarlos debido a la inmadurez de los receptores hepáticos, lo que impide que este lo pueda introducir en su metabolismo dejándolo en la sangre; esto puede explicar lo observado en esta investigación, en donde se aprecia una disminución de LDL conforme el ave crece. Para el día 49 se destacan los animales alimentados con los TTM 1 Y 2 al tener valores similares al día 21 con 20 mg·dl<sup>-1</sup> (Figura 6). Dichos resultados se asemejan a los observados por varios autores (Liu et al., 2019 y Mahmood et al., 2022) quienes observaron que las LDL no fueron afectados por la mezcla de emulsionantes en la dieta. Otros autores (Roy et al., 2010 y Kamel et al., 2021) mostraron una disminución significativa de LDL en sangre a los 42 días de edad con el uso de emulsionantes. El crecimiento acelerado asociado a un alto metabolismo energético del ave implica que esta utiliza las LDL de manera más eficiente, disminuyendo su concentración en sangre, lo cual coincide con la disminución observada en este trabajo a medida que el ave crece. La inconsistencia observada entre los resultados de la literatura revisada puede deberse a las diferencias en el tipo de emulsionante y a la edad de los animales durante el proceso experimental.

**Figura 5.** Efecto del emulsionante y la edad sobre concentración de LDL en sangre ( $\text{mg}\cdot\text{dl}^{-1}$ ).



## Triglicéridos

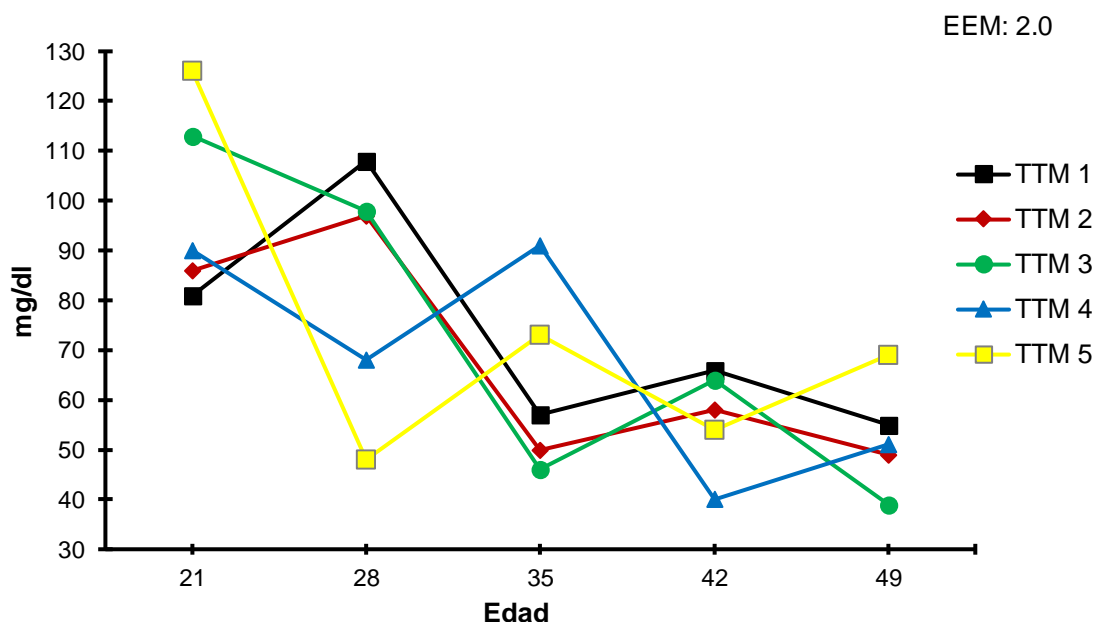
El día 21 se aprecian valores entre 80 y 126  $\text{mg}\cdot\text{dl}^{-1}$  siendo los animales que consumieron el TTM 5 (Emulsionante 4) los que tuvieron las mayores concentraciones séricas de TAG ( $126 \text{ mg}\cdot\text{dl}^{-1}$ ) (Figura 7). En el día 28 los pollos alimentados con el TTM 3, 4, y 5 disminuyeron sus valores siendo muy notable los animales alimentados con el TTM 5, mientras que los animales alimentados con los TTM 1 y 2 incrementaron sus valores. En el día 35 los animales alimentados con los TTM 1, 2 y 3 disminuyeron considerablemente sus valores y los animales alimentados con los TTM 4 y 5 aumentaron. Para el día 42 los animales alimentados con los TTM 1, 2 y 3 aumentaron sus valores mientras que los animales alimentados con los TTM 4 y 5 disminuyeron. En el día 49 los animales alimentados con los TTM 1, 2 y 3 disminuyeron sus valores, siendo los animales que consumieron el TTM 3 (control) los que tuvieron las menores concentraciones séricas de TAG ( $30 \text{ mg}\cdot\text{dl}^{-1}$ )

y los animales alimentados con el TTM 4 y 5 aumentaron sus valores. El día 28 se puede apreciar la interacción de la edad con los TTM al ver que algunos TTM aumentan sus valores considerablemente y otros disminuyen.

Según Cruz (2020), Los TAG deben encontrarse en un aproximado entre 35.9-82.4 mg·dl<sup>-1</sup> en pollo de engorda a los 42 días de edad, por lo que se encuentran en el rango promedio. Roy et al. (2010), observaron una disminución de la concentración sérica de TAG con la edad. Serpunja & Kim 2019, Shahid et al., 2021 y Mahmood et al., 2022 no encontraron ningún efecto con el uso de emulsionantes en la dieta sobre los valores séricos de TAG en sangre. Tasas más rápidas de absorción y el metabolismo (lipólisis) de la grasa ingerida puede ser el motivo de una disminución en TAG. Probablemente, los portomicrones fueron retirados de la sangre a un ritmo más rápido o se liberan a la sangre provenientes del intestino a un ritmo más lento (Zhao & Kim, 2017). Además, se observa que en la composición química de la dieta hay un incremento de la concentración de la grasa entre los 35 y 42 días de edad (9.5%) para terminar con una reducción del 33% en la fase de alimentación terminador (Cuadro 2) lo cual significa que entre los 47 y 49 días de edad la fuente energética del ave se basa principalmente en el extracto libre de nitrógeno (carbohidratos) disminuyendo de esta manera la utilización de triglicéridos para su crecimiento.

Las aves no fueron sometidas a un ayuno previo, por lo que probablemente los TAG podrían verse aumentados en algunos animales que recientemente hubieran ingerido alimento. Esto podría explicar el aumento de algunos valores en los diferentes días de prueba. En el caso de los animales que no ingirieron alimento previo a la toma de muestras el aumento en los TAG puede ser que provengan de algunos tejidos para la generación de energía y no sean proveniente del alimento ingerido. Se necesitarían pruebas con marcadores para asegurar de donde provienen estos triglicéridos.

**Figura 6.** Efecto del emulsionante y la edad sobre concentración de triglicéridos en sangre ( $\text{mg}\cdot\text{dl}^{-1}$ ).



### Parámetros productivos (índice de conversión y ganancia diaria de peso)

No hubo interacción entre edad y TTM sobre ninguno de los parámetros productivos estudiados (índice de conversión y la ganancia diaria de peso), por lo que estas variables se evaluaron individualmente (Cuadro 5 y 6).

En esta investigación no se mostraron diferencias significativas con el uso de emulsionante ( $P > 0.05\%$ ). Los resultados del presente trabajo son contradictorios a los encontrados en la literatura, probablemente pueden ser consecuencia de una diferente dieta en términos de concentración energética a base de lípidos, ya que en los trabajos mencionados donde se observaron diferencias significativas, los animales fueron desafiados en función de la concentración de lípidos en la dieta, utilizando dietas con menor concentración de energía con y sin emulsionantes.

Existe un efecto de la edad sobre los parámetros productivos ( $P < 0.001\%$ ) (Figura 8 y 9). La digestión y absorción de grasa en los pollos varía según su edad,

es limitada en pollos jóvenes porque la producción de lipasa es deficiente. La secreción duodenal de lipasa aumenta a medida que crece el pollito y llega a su punto máximo entre 40 y 56 días de edad (Serpunja & Kim, 2019), lo que permite una mejor digestión y absorción de las grasas y por consecuencia mejores ganancias diarias de peso. Según Cruz (2020), con la edad existe un aumento de grasa en la canal mientras más se acerca a la madurez, ya que necesita más alimento para depositar más grasa que tejido magro, lo que aumenta su índice de conversión.

La inclusión del emulsionante en las dietas se basa en la capacidad de facilitar la digestión y absorción de lípidos promoviendo la incorporación de ácidos grasos en micelas, aumentando la superficie activa donde actúan las lipasas mejorando el transporte de los productos de la digestión de lípidos a través del epitelio del tracto gastrointestinal. Estos mecanismos de acción pueden proporcionar más energía a los pollos de engorda y mejorar la ganancia diaria de peso y el índice de conversión. Tenório, 2022 y Saleh et al 2020, mostraron un mayor rendimiento de crecimiento los animales alimentados con emulsionantes. Azman & Ciftci 2004, Taipe 2014, Medina 2016 y Huerta 2020 menciona que la adición del emulsionante no tuvo ningún efecto positivo sobre los parámetros productivos evaluados (ganancia de peso e índice de conversión). En esta investigación no se mostraron diferencias estadísticamente significativas con el uso de emulsionante ( $P > 0.05\%$ ).

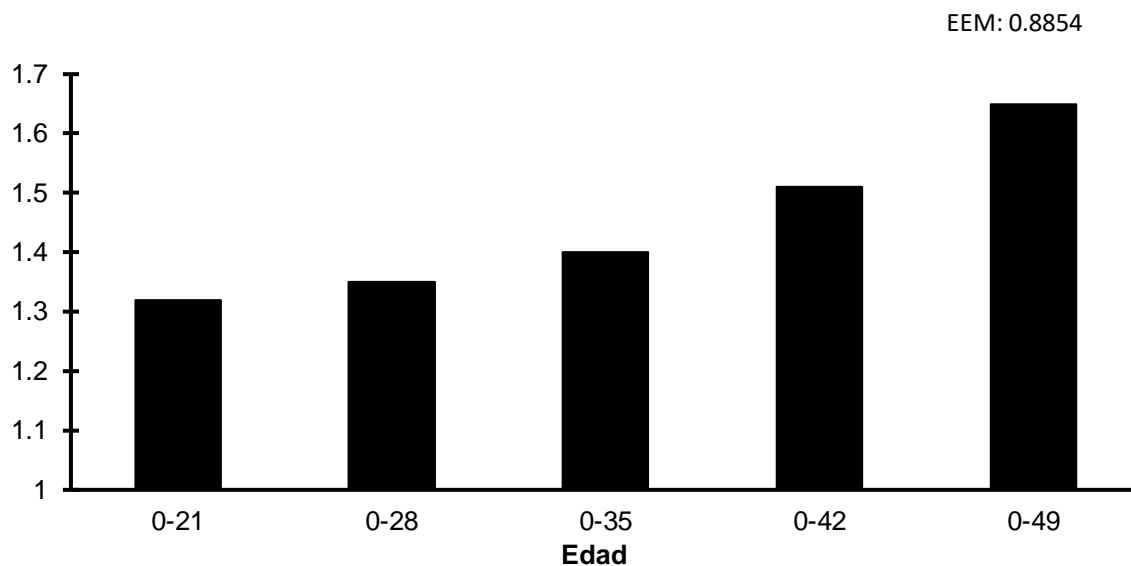
**Cuadro 5.** Efecto de edad sobre índice de conversión (kg) y ganancia diaria de peso acumulado (g).

<b>E</b>	<b>0-21</b>	<b>0-28</b>	<b>0-35</b>	<b>0-42</b>	<b>0-49</b>	<b>P</b>	<b>EEM</b>
<b>IC</b>	1.32	1.35	1.40	1.51	1.65	***	0.8854
<b>GDP</b>	36	47.10	57.10	62.80	65.40	***	0.9504

E: Edad; IC: Índice de conversión; GDP: Ganancia diaria de peso; P: Probabilidad; EEM: Error estándar de la media; \*:  $P < 0.05$ ; \*\*:  $P < 0.01$ ; \*\*\*:  $P < 0.001$ ; a, b, c, d y e: Diferentes literales en la misma fila presentan diferencias estadísticas.



**Figura 7.** Efecto de edad sobre índice de conversión (kg).

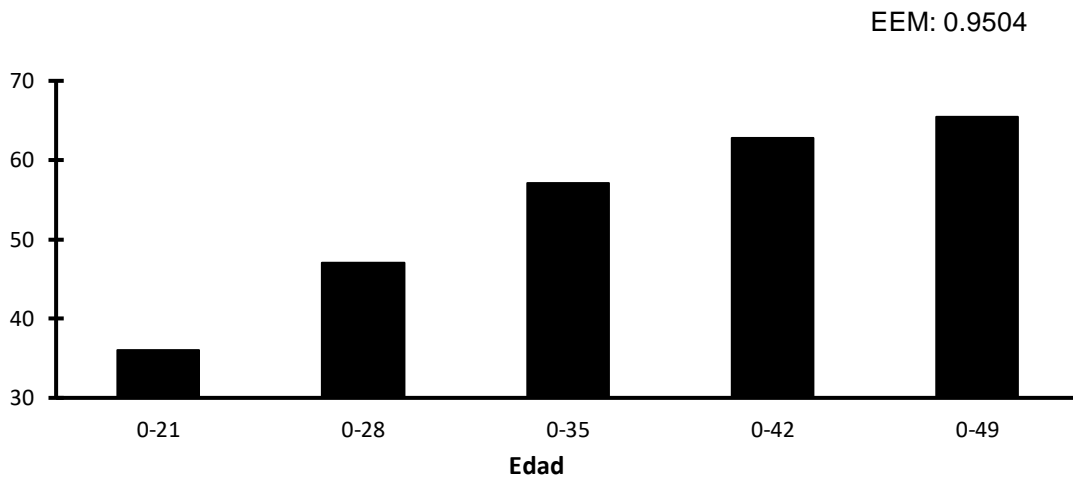


**Cuadro 6.** Efecto de emulsionante sobre índice de conversión (kg) y ganancia diaria de peso acumulado (g).

T	1	2	3	4	5	P	EEM
IC	1.65	1.64	1.65	1.65	1.65	NS	0.8854
GDP	53.40	53.90	53.70	53.50	53.81	NS	0.9504

T: Tratamiento; IC: Índice de conversión; GDP: Ganancia diaria de peso; P: Probabilidad; E\*T: Edad por tratamiento; EEM: Error estándar de la media; NS: No significativo; Ausencia de literales no presentan diferencias estadísticas.

**Figura 8.** Efecto de edad sobre ganancia diaria de peso (g).



## Pigmentación de piel

Los resultados obtenidos de pigmentación de la piel de los animales del presente estudio presentaron una interacción entre edad y tratamiento ( $P < 0.001$ ) (cuadro 7).

**Cuadro 7.** Efecto de la interacción entre la edad y los tratamientos sobre el pigmento en piel.

EDAD																				P			EEM	
28					35					42					49					E	T	E*T		
T	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5				
<b>PIG</b>	41.8 <sup>b</sup>	41.2 <sup>e</sup>	41.7 <sup>c</sup>	42.4 <sup>a</sup>	41.3 <sup>d</sup>	46.2 <sup>b</sup>	45.6 <sup>c</sup>	46.3 <sup>a</sup>	46.3 <sup>a</sup>	46.3 <sup>a</sup>	48.3 <sup>a</sup>	48 <sup>c</sup>	48.3 <sup>a</sup>	48.1 <sup>b</sup>	48.1 <sup>b</sup>	49.8 <sup>b</sup>	49.8 <sup>b</sup>	50 <sup>a</sup>	50 <sup>a</sup>	49.1 <sup>c</sup>	***	***	***	0.0016

T: Tratamiento; PIG: Pigmento; P: Probabilidad; E\*T: Edad por tratamiento; EEM: Error estándar de la media; \*:  $P < 0.05$ ; \*\*:  $P < 0.01$ ; \*\*\*:  $P < 0.001$ ; a, b, c, d y e: Diferentes literales en la misma fila presentan diferencias estadísticas.

## **Pigmentación de piel**

A los 21 días los valores se comportan muy similares entre los diferentes TTM; mientras que el ave crece, el depósito de pigmento en piel aumenta. El día 28 se muestran valores entre 41.2 y 42.4 deltas. El día 35 los animales alimentados con el TTM 2 (Emulsionante 2) muestran valores de pigmento en piel considerablemente más bajos que los demás TTM (45.6 deltas) (Figura 10), el día 42 los TTM presentan valores muy similares. El día 49 los animales alimentados con el TTM 5 (Emulsionante 4) mostraron una pigmentación en piel considerablemente más baja en comparación a los demás TTM (49.1 deltas).

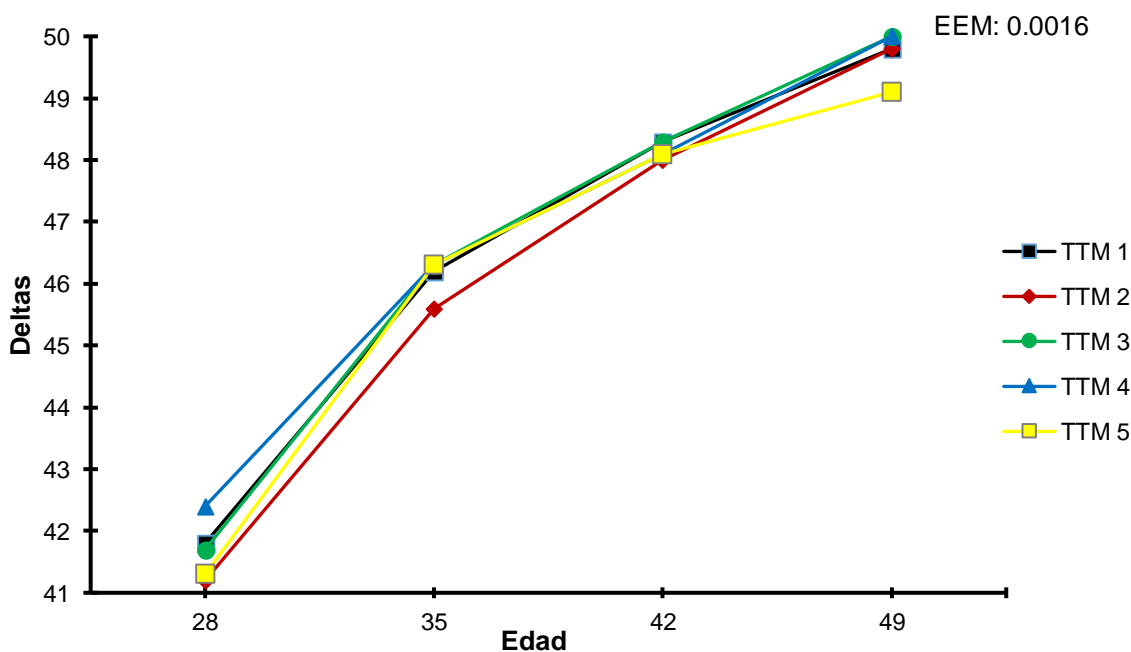
Bontempo et al., 2018 y Wickramasuriya et al., 2020 mostraron resultados similares al reportar un efecto positivo con el uso de emulsionantes en la dieta sobre la pigmentación en piel de los pollos de engorda. Mejorando la digestibilidad de los lípidos se puede incrementar la absorción de los pigmentos ya que, al ser sustancias liposolubles, siguen la ruta de la absorción lipídica, estos son hidrolizados por la enzima lipasa en el intestino delgado y se absorben vía difusión pasiva a través de las membranas del intestino. Después de ser absorbidos, son depositados en el hígado, se transportan por la sangre, y posteriormente se almacenan en el tejido adiposo, piel y tarsos (Tepox, 2013).

De acuerdo a los estándares establecidos en el mercado de pollo de engorda pigmentado, los valores de pigmento en piel se encuentran entre 48 y 50 deltas al momento de la matanza. A los 49 días en el presente trabajo se observó que el pigmento alcanza su punto máximo siendo muy similares a los promedios de los diferentes tratamientos (49.9 deltas) con excepción del TTM 5 que se queda abajo con 49.1 deltas ( $P < 0.05$ ).

La pigmentación puede estar afectada por diversos factores: Composición de la dieta; una dieta a base de maíz va a otorgar un mayor pigmento en la piel del pollo que otro ingrediente energético, integridad del sistema digestivo; un sistema digestivo sano otorga una mayor digestión y absorción de nutrientes, sexo del ave;

las hembras depositan más tejido graso que los machos, por lo que el pigmento es utilizado primordialmente para ser depositado en el tejido graso y producción de huevo que en piel, o bien, la pigmentación puede ser afectada por la calidad del emulsionante utilizado en la dieta (Martínez et al., 2013). Como se puede observar en este experimento en donde el TTM 5 (Emulsionante 4) es un biosurfactante natural que tiene un balance hidrofílico lipofílico (EHL) de 18, el cual es menor al de los demás TTM (Cuadro 1). El principio del EHL cuantifica la solubilidad en grasa o agua de un emulsionante, posee una escala que varía de 0 a 20, cuanto más bajo es el EHL, más lipófilo o soluble en grasa se vuelve el emulsionante, mientras que cuanto mayor sea el EHL, más soluble en agua o hidrófilo será el emulsionante (Rovers & Excential, 2014), por lo que en el medio intestinal entre mayor EHL mayor capacidad de emulsificación de los lípidos tendrá el pollo mejorando también la pigmentación del pollo entre otros aspectos.

**Figura 9.** Efecto de emulsionante y la edad sobre pigmento (deltas).



## MORFOFISIOLOGÍA GASTROINTESTINAL

Los resultados obtenidos de los análisis de la altura de vellosidades y profundidad de criptas de los animales del presente estudio presentaron una interacción entre edad y tratamiento ( $P < 0.001$ ) (cuadro 8).

**Cuadro 8.** Efecto de la interacción entre la edad y los tratamientos sobre altura de vellosidades y profundidad de criptas.

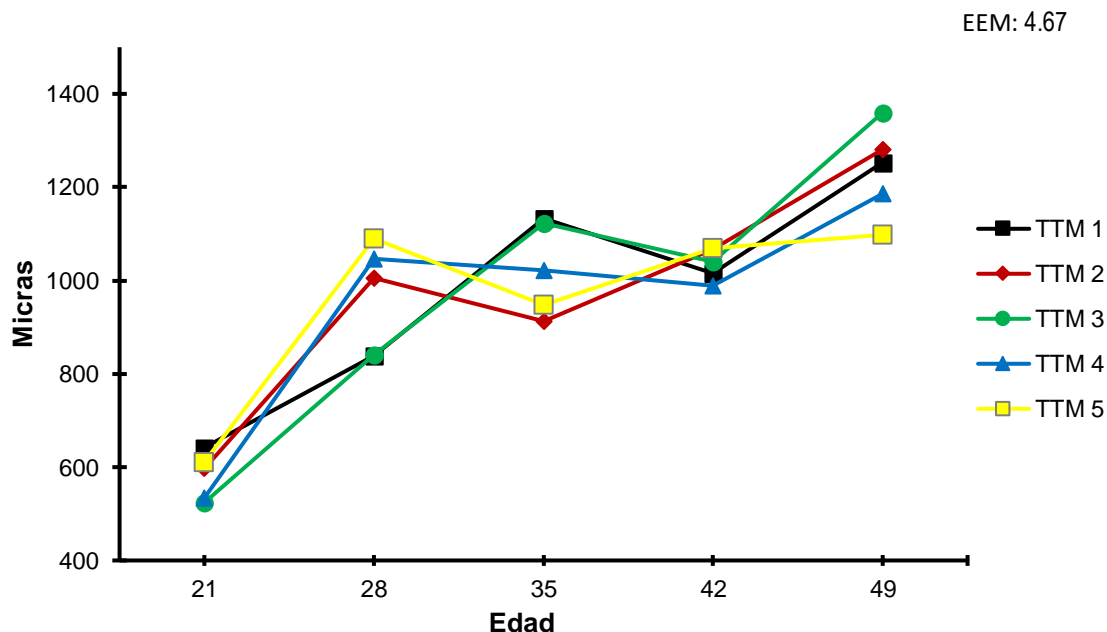
EDAD																									P	EEM			
21					28					35					42					49									
T	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	E	T	E*T	
AV	642 <sup>a</sup>	597 <sup>c</sup>	524 <sup>e</sup>	534 <sup>d</sup>	611 <sup>b</sup>	838 <sup>d</sup>	1005 <sup>c</sup>	840 <sup>d</sup>	1047 <sup>b</sup>	1089 <sup>a</sup>	1132 <sup>a</sup>	912 <sup>e</sup>	1123 <sup>b</sup>	1022 <sup>c</sup>	947 <sup>d</sup>	1015 <sup>c</sup>	1067 <sup>a</sup>	1041 <sup>b</sup>	988 <sup>d</sup>	1069 <sup>a</sup>	1253 <sup>c</sup>	1281 <sup>b</sup>	1360 <sup>a</sup>	1186 <sup>d</sup>	1098 <sup>e</sup>	***	NS	***	4.67
PC	181 <sup>a</sup>	161 <sup>b</sup>	145 <sup>c</sup>	144 <sup>c</sup>	133 <sup>d</sup>	125 <sup>d</sup>	141 <sup>b</sup>	140 <sup>c</sup>	142 <sup>b</sup>	162 <sup>a</sup>	135 <sup>e</sup>	137 <sup>d</sup>	170 <sup>a</sup>	156 <sup>c</sup>	160 <sup>b</sup>	159 <sup>d</sup>	203 <sup>a</sup>	172 <sup>b</sup>	168 <sup>c</sup>	173 <sup>b</sup>	199 <sup>a</sup>	188 <sup>c</sup>	186 <sup>d</sup>	193 <sup>b</sup>	157 <sup>e</sup>	***	NS	***	1.36

T: Tratamiento; AV: Altura de vellosidades; PC: Profundidad de criptas; P: Probabilidad; E\*T: Edad por tratamiento; EEM: Error estándar de la media; \*:  $P < 0.05$ ; \*\*:  $P < 0.01$ ; \*\*\*:  $P < 0.001$ ; a, b, c, d y e: Diferentes literales en la misma fila presentan diferencias estadísticas.

### **Altura de vellosidades y profundidad de criptas**

Según Guadalupe (2005), el tamaño de la altura de las vellosidades está en 776.5  $\mu\text{m}$  como mínimo y 1201.9  $\mu\text{m}$  como máximo en pollo de engorda durante su ciclo productivo (50 días). El día 21 se aprecian valores entre 524 y 642  $\mu\text{m}$ , siendo los animales alimentados con TTM 3 (Control) los que tuvieron la longitud más corta (524  $\mu\text{m}$ ) (Figura 11). En el día 28 todos los TTM aumentaron la longitud de sus vellosidades. En el día 35 los animales alimentados con los TTM 1 y 3 aumentaron la longitud de sus vellosidades y los animales alimentados con los TTM 2, 4 Y 5 disminuyeron su longitud. Para el día 42 los animales alimentados con los TTM 2 y 5 aumentaron la longitud de sus vellosidades mientras que los animales alimentados con los TTM 1, 3 y 4 disminuyeron su longitud. En la última fecha todos los TTM aumentaron la longitud de sus vellosidades, siendo los pollos que consumieron el TTM 3 (Control) los que obtuvieron la longitud más alta (1360  $\mu\text{m}$ ). El día 35 se puede apreciar la interacción de la edad con los TTM al ver que algunos TTM aumentan sus valores considerablemente y otros disminuyen. El aumento de la altura de las vellosidades yeyunales en los pollos de engorda es un indicador de una mejor función (Papadopoulos et al., 2018), ya que provee una mayor área de absorción con lo que mejora la disponibilidad de energía para el crecimiento del ave, ya que autores como Ghazalah et al. (2021) indican que en el yeyuno se absorben hasta el 82% total de ácidos grasos consumidos por el animal.

**Figura 10.** Efecto del emulsionante y la edad sobre altura de vellosidades (micras).



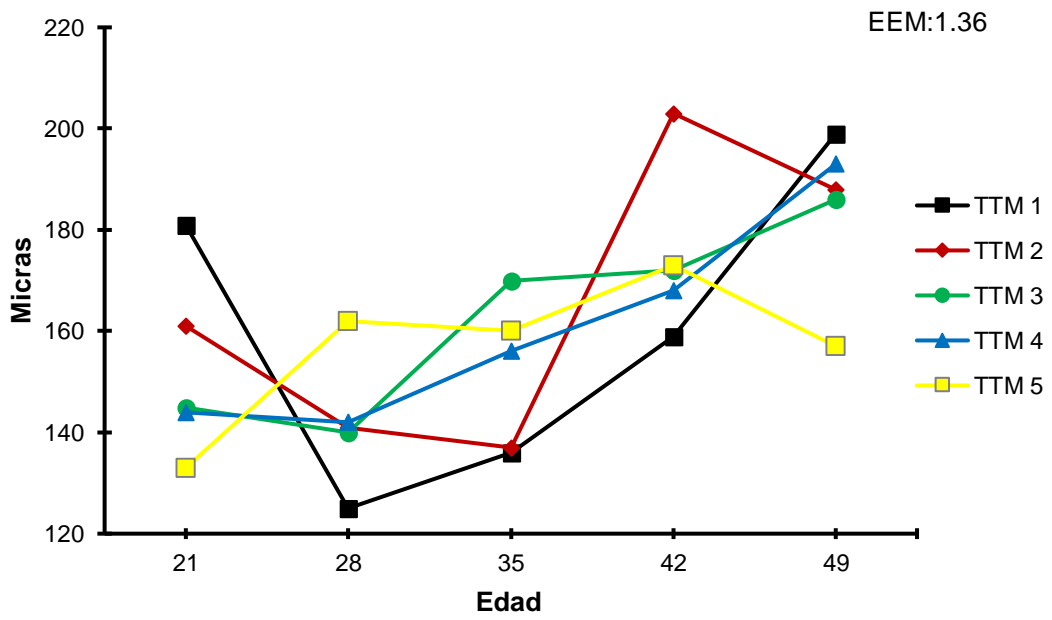
Según Guadalupe (2005) para las criptas se observó un valor de 142.4  $\mu\text{m}$  como mínimo y 403.0  $\mu\text{m}$  como máximo durante su ciclo productivo (50 días). El día 21 se aprecian valores entre 133 y 181  $\mu\text{m}$ . En el día 28 los animales alimentados con los TTM 1, 2, 3 y 4 disminuyeron la longitud de sus criptas, siendo los animales que consumieron el TTM 1 (Emulsionante 1) los que obtuvieron la longitud más corta (125  $\mu\text{m}$ ) (Figura 12), mientras que los animales alimentados con el TTM 5 aumentaron su longitud. En el día 35 los animales alimentados con los TTM 1, 3 y 4 aumentaron de tamaño y los animales alimentados con los TTM 2 y 5 fueron más cortas. Para el día 42 todos los TTM aumentaron la longitud de sus criptas, siendo los pollos que consumieron el TTM 2 (Emulsionante 2) los que obtuvieron la longitud más larga (203  $\mu\text{m}$ ). En la última fecha los animales alimentados con los TTM 1, 3 y 4 aumentaron su longitud y los animales alimentados con TTM 2 y 5 disminuyeron. El día 42 se puede apreciar la interacción de la edad con los TTM al ver que algunos TTM aumentan sus valores considerablemente y otros disminuyen. Las criptas intestinales se consideran una fábrica de células para las vellosidades ya que una



cripta grande indica una rápida renovación celular (Ayala, 2020). Una cripta más profunda puede indicar un recambio tisular más rápido para permitir la renovación de las vellosidades, lo que sugiere que el mecanismo de respuesta intestinal del animal está tratando de compensar el desprendimiento normal de tejido o la atrofia de las vellosidades dada por diferentes causas (Nutautaité, 2021).

Los resultados de esta investigación demuestran que hay una relación positiva en el desarrollo de la morfología intestinal en relación con la edad. Guadalupe (2005), menciona que el desarrollo de la mucosa, vellosidades y criptas intestinales está asociado con la edad del animal. Ayala (2020), también mostró un aumento en la longitud de las vellosidades conforme las aves crecen. Una mejora de la mucosa intestinal puede influir en los cambios de la morfología del intestino, la capacidad de absorción y el mecanismo de protección y como consecuencia afectar el rendimiento y la inmunidad de las aves. Algunos autores (Boontiam et al., 2016, Patra & Samanta 2015 y Nutautaité 2021) no mostraron diferencias estadísticamente significativas en vellosidades y criptas del yeyuno con el uso de emulsionantes en la dieta del pollo de engorda. Boontiam et al., (2017) y Ghazalah et al., (2021) mostraron vellosidades más largas y una reducción en la profundidad de la cripta en el yeyuno con el uso de emulsionante. La altura de las vellosidades además de la profundidad y ancho de las criptas pueden ser influenciadas por el alimento e ingredientes en la dieta (Madrid et al., 2018), en las fases de alimentación de desarrollo y terminador con coccidiostato se observa una mayor cantidad de extracto etéreo (Cuadro 2), y al tener el pollo un sistema digestivo más maduro, puede aumentar la disponibilidad de energía por parte del animal al tener una mejor digestión y absorción de las grasas. Con una mayor energía disponible se puede observar un mejor crecimiento de las vellosidades y una óptima renovación celular por parte de las criptas. Esto puede explicar el crecimiento de vellosidades y profundidad de criptas en las fases finales del ciclo productivo del pollo de engorda.

**Figura 11.** Efecto del emulsionante y la edad sobre profundidad de criptas (micras).



## ACTIVIDAD ESPECÍFICA DE LIPASA PANCREÁTICA

Los resultados obtenidos de la actividad específica de lipasa pancreática de los animales del presente estudio presentaron una interacción entre edad y tratamiento ( $P < 0.001$ ) (cuadro 9).

**Cuadro 9.** Efecto de la interacción entre la edad y los tratamientos sobre actividad específica de lipasa pancreática.

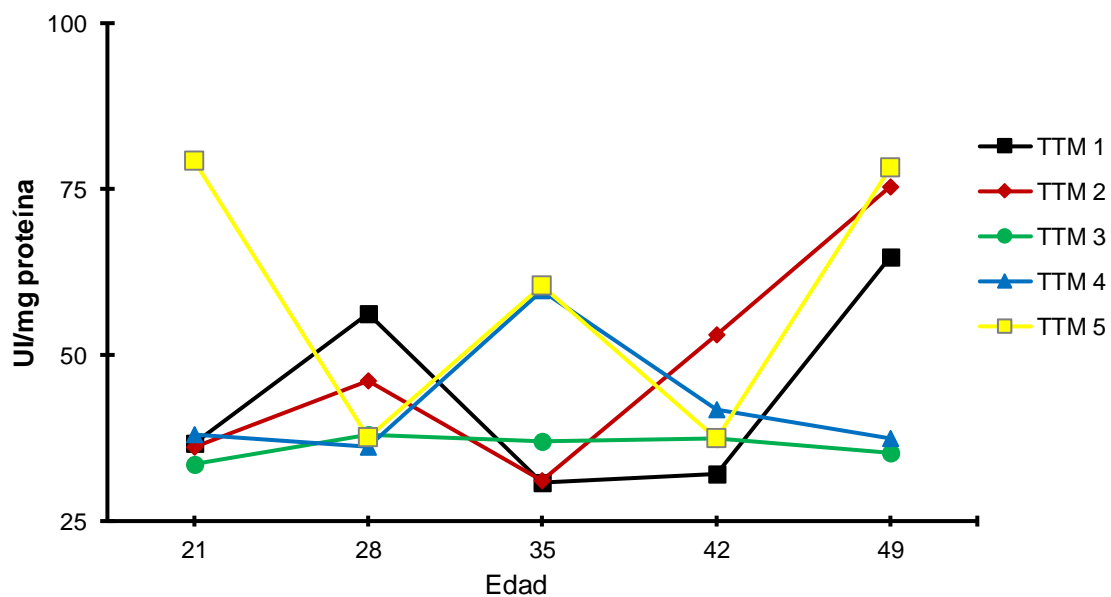
		EDAD																				P			EEM					
		21					28					35					42					49					E	T	E*T	
T		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5				
AL		36.7 <sup>c</sup>	36.2 <sup>d</sup>	33.6 <sup>e</sup>	38 <sup>b</sup>	79.2 <sup>a</sup>	56.2 <sup>a</sup>	46.1 <sup>b</sup>	38 <sup>c</sup>	36.2 <sup>e</sup>	37.6 <sup>d</sup>	30.8 <sup>e</sup>	31.1 <sup>d</sup>	37 <sup>c</sup>	59.7 <sup>b</sup>	60.4 <sup>a</sup>	32.1 <sup>d</sup>	53.1 <sup>a</sup>	37.4 <sup>c</sup>	41.8 <sup>b</sup>	37.4 <sup>c</sup>	64.8 <sup>c</sup>	75.4 <sup>b</sup>	35.3 <sup>e</sup>	36.7 <sup>d</sup>	78.2 <sup>a</sup>	***	***	***	0.08

T: Tratamiento; AL: Actividad de lipasa; P: Probabilidad; E\*T: Edad por tratamiento; EEM: Error estándar de la media; \*:  $P < 0.05$ ; \*\*:  $P < 0.01$ ; \*\*\*:  $P < 0.001$ ; a, b, c, d y e: Diferentes literales en la misma fila presentan diferencias estadísticas.

El día 21 se aprecian valores entre 33 y 79 UI/mg de proteína, siendo los animales alimentados con el TTM 5 (Emulsionante 4) los que tuvieron la actividad de lipasa más elevada en toda la prueba (79.2 UI/mg de proteína). En el día 28 los animales alimentados con los TTM 1, 2 y 3 aumentaron la actividad de lipasa, mientras que los animales alimentados con los TTM 4 y 5 disminuyeron. En el día 35 los animales alimentados con los TTM 1, 2 y 3 disminuyeron la actividad de lipasa siendo los animales alimentados con el TTM 2 (Emulsionante 2) los que tuvieron el valor más bajo en toda la prueba (31.1 UI/mg de proteína) (Figura 13), los animales alimentados con los TTM 4 y 5 aumentaron su actividad. Para el día 42 los animales alimentados con los TTM 1, 2 y 3 aumentaron la actividad de lipasa mientras que los animales alimentados con los TTM 4 y 5 disminuyeron su actividad. En la última fecha los animales alimentados con los TTM 1, 2 y 5 aumentaron la actividad de lipasa, mientras que los animales alimentados con los TTM 3 y 4 disminuyeron. El día 35 se puede apreciar la interacción de la edad con los TTM al ver que algunos TTM aumentan sus valores considerablemente y otros disminuyen. La actividad de la lipasa puede ser un indicador de aprovechamiento de lípidos en el pollo (Lai et al., 2018), esta enzima es una hidrolasa que actúa sobre enlace éster de TAG, degradándolos en diglicéridos, monoglicéridos, glicerol y ácidos grasos, con esto pueden contribuir en los procesos de digestión, absorción y formación de lipoproteínas. El incremento de la actividad de la lipasa pancreática puede aumentar la digestión y absorción de lípidos, lo que puede optimizar el uso de grasas en la dieta del pollo de engorda (Vives et al., 2020 y Guerreiro et al., 2011) mencionan que la actividad de lipasa pancreática aumenta con la edad, la menor actividad observada en aves jóvenes probablemente se debe a una inmadura circulación enterohepática disminuyendo la presencia de sales biliares a nivel intestinal las cuales son necesarias para la actividad de la lipasa. Algunos autores (Guerreiro et al., 2011, Lai et al., 2018 y Hu et al., 2019) mostraron que la adición de emulsionante mejora la actividad de la lipasa pancreática. Por otra parte, (Wickramasuriya et al., 2020 y Tenório et al., 2022) no encontraron diferencias estadísticamente significativas en la actividad de lipasa pancreática con el uso de emulsionantes.

Cambios en la composición de la dieta que involucran diferentes fuentes de lípidos y ácidos grasos, o la cantidad de energía utilizada pueden provocar modificaciones en la actividad de la enzima lipasa (Barberá, 2016). En la fase de alimentación terminador con coccidiostato se observa la mayor cantidad de extracto etéreo de todas las fases de alimentación con 4.6% del total de la dieta, además el pollo a los 49 días de edad es más eficiente con la digestión y absorción de grasas al tener un sistema digestivo maduro, esto puede explicar la mayor cantidad de actividad de la enzima lipasa en la mayoría de los TTM al día 49.

**Figura 13.** Efecto del emulsionante y la edad sobre actividad de lipasa pancreática (UI/mg de proteína).



## VIII. CONCLUSIONES

El tipo de emulsionante y la edad de los animales interactuaron sobre los valores de perfil lipídico, pigmentación en piel y sobre la morfofisiología intestinal de las aves (altura de vellosidades, profundidad de criptas y actividad específica de la lipasa) toda vez que la edad en dichas variables tiene un efecto influenciado por la madurez del tracto gastrointestinal el cual mejora la digestión, absorción y metabolismo de los lípidos, esto al mostrar un mayor crecimiento y desarrollo de vellosidades, criptas y actividad específica de lipasa pancreática, con lo que se observa una mayor pigmentación en piel. Por otro lado, el tipo del emulsionante utilizado también tuvo efecto sobre las variables medidas en diferente proporción, siendo muy claro en la pigmentación en donde el uso de biosurfactante como emulsionante la disminuyó de manera significativa.

El uso de emulsionantes en el alimento no presentó un efecto en las diferentes variables productivas (índice de conversión y ganancia diaria de peso), ya que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes tratamientos, por otro lado se encontró un efecto de la edad siendo lógico encontrar que a mayor edad se tienen mayor ganancia diaria de peso y una mayor conversión alimenticia ya que el pollo tiene que consumir más alimento para depositar tejido, siendo menos eficiente y el uso de emulsionantes no permitió ver diferencias estadísticamente significativas.

Se puede considerar el uso de emulsionantes como aditivos en la dieta del pollo de engorda utilizándolo específicamente valorando su función en cada etapa de crecimiento y alimentación. De acuerdo a la revisión de literatura se tienen resultados contradictorios que pueden dar lugar a la realización de más evaluaciones en las cuales podrían verse los efectos de los emulsionantes.

## **IMPLICACIONES**

A pesar de los resultados obtenidos sería interesante complementarlos desafiándolos con diferentes concentraciones de energía a base de lípidos en la dieta utilizando emulsionantes para evaluar la capacidad del ave con respecto a la adición de estos.

Tal vez al no someter a las aves a un ayuno previo al sacrificio pudo enmascarar el efecto del emulsionante sobre el perfil lipídico por lo que sería bueno implementarlo en próximas investigaciones.

## IX. BIBLIOGRAFÍA

- Armesto, R. A., Díaz, J. L. D., Peromingo, J. A. D., González, A. R., Mao, M. C., & Martínez, F. D. L. (2011). Lípidos, colesterol y lipoproteínas. *Galicia Clínica*, 72(1). 7-17.
- Álvares D. C. (2007). *Fisiología digestiva comparada de los animales domésticos*. Machala: Imprenta Machala S.A.
- Ayala Lopez, M. S. (2020). Evaluación de parámetros zootécnicos y sistema digestivo utilizando programas de alimentación modulada en pollo de engorda.
- Badui Dergal, S. (2016). *Química de los alimentos*. México, Pearson Educación. 9(4). 518-521.
- Barberá Bellés, A. (2016). *Influencia de la matriz y tipo de grasa en la digestibilidad de lípidos y proteínas de algunos productos de la pesca (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València)*.
- Bontempo, V., Comi, M., Jiang, X. R., Rebucci, R., Caprarulo, V., Giromini, C., ... & Baldi, A. (2018). Evaluation of a synthetic emulsifier product supplementation on broiler chicks. *Animal Feed Science and Technology*, 240, 157-164.
- Boontiam, W., Shin, Y., Choi, H. L., & Kumari, P. (2016). Assessment of the contribution of poultry and pig production to greenhouse gas emissions in South Korea over the last 10 years (2005 through 2014). *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 29(12), 1805.
- Boontiam, W., Jung, B., & Kim, Y. Y. (2017). Effects of lysophospholipid supplementation to lower nutrient diets on growth performance, intestinal morphology, and blood metabolites in broiler chickens. *Poultry Science*, 96(3), 593-601.



- Cano, F. G. (2010). Anatomía específica de aves: aspectos funcionales y clínicos. Facultad de veterinaria, Universidad de Murcia, [En línea]. Available: <https://www.um.es/anatvet/interactividad/aaves/anatomia-aves-10.pdf>.
- Cruz Carreño, R. X. (2020). Efecto de la inclusión de ácidos grasos en la alimentación de pollos de engorde sobre los parámetros bioquímicos sanguíneos. 26.
- Cunningham, J. G., & Klein, B. G. (2014). Cunningham fisiología veterinaria/Fisiología veterinariaCunningham's textbook of veterinary physiology.
- Damián Martínez, R. J. (2019). Efecto de harina de semilla de mango (*Mangifera Indica L.*) en la morfología intestinal en pollos COBB 500.
- Dyce, K. M., Sack, W. O., and Wensing, C. J. (2012). Anatomía veterinaria El Manual Moderno. (4). 671,672, 684-692, 718-730, 747-749.
- Fernández, A. Salager, J. L., & Scorzza, C. (2004). Surfactantes. Laboratorio FIRP. Mérida, Venezuela, 15-18.
- Galan Salazar, F. M., & Nizama Ruiz, B. (2020). Efecto de la suplementación de L-carnitina sobre el comportamiento productivo y perfil lipídico en pollos de carne.
- García. S, A., Castejón, M. F., De La Cruz Palomino, L. F., González Gallego, J., López Murillo, M. D., and Salido, R. G. (2018). Fisiología veterinaria. Tébar Flores. 49(4). 686,726-728.
- Ge, X. K., Wang, A. A., Ying, Z. X., Zhang, L. G., Su, W. P., Cheng, K., ... & Wang, T. (2019). Effects of diets with different energy and bile acids levels on growth performance and lipid metabolism in broilers. *Poultry science*, 98(2), 887-895.
- Ghazalah, A., Abd-Elsamee, M., Ibrahim, M., Abdelgayed, S. S., Abdelkader, M., Gonzalez-Sanchez, D., & Wealleans, A. (2021). Effects of a combination of lysolecithin, synthetic emulsifier, and monoglycerides on growth performance, intestinal morphology, and selected carcass traits in broilers fed low-energy diets. *Animals*, 11(11), 3037.

- Gu, X., & Li, D. (2003). Fat nutrition and metabolism in piglets: a review. *Animal Feed Science and Technology*. 109(1-4). 151-170.
- Guerreiro Neto, A. C., Pezzato, A. C., Sartori, J. R., Mori, C., Cruz, V. C., Fascina, V. B., ... & Gonçalves, J. C. (2011). Emulsifier in broiler diets containing different fat sources. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 13, 119-125.
- Guadalupe, P. P. J. (2005). Estudio descriptivo longitudinal de diversos parámetros morfométricos del intestino del pollo de engorda.
- Hermier, D. (1997). Lipoprotein metabolism and fattening in poultry. *The Journal of Nutrition*, 127(5). 805S-808S.
- Hu, X. Q., Wang, W. B., Liu, L., Wang, C., Feng, W., Luo, Q. P., ... & Wang, X. D. (2019). Effects of fat type and emulsifier in feed on growth performance, slaughter traits, and lipid metabolism of Cherry Valley ducks. *Poultry Science*, 98(11), 5759-5766.
- Huertas Cumbay, C. E. J. (2020). Efecto de un emulsificante en dietas con aceite de soya y aceite de palma, sobre la productividad en pollos de carne COBB-500.
- JG Marin, J., IR Macias, R., Briz, O., M Banales, J., & J Monte, M. (2016). Bile acids in physiology, pathology and pharmacology. *Current Drug Metabolism*, 17(1), 4-29.
- Kamel, A. E. S., EL-Eraky, W., Razik, W. A., & Metwally, A. E. (2021). Impact of using different dietary levels of oil with emulsifier on broilers performance, digestibility, and lipid profile. *Slovenian Veterinary Research*, 58.
- König, H. E., and Liebich, H. G. (2005). Anatomía de los Animales Domésticos; Órganos, sistema circulatorio y sistema nervioso. *Panamericana*. 7(2). 71-80.
- Lai, W., Huang, W., Dong, B., Cao, A., Zhang, W., Li, J., ... & Zhang, L. (2018). Effects of dietary supplemental bile acids on performance, carcass characteristics, serum lipid metabolites and intestinal enzyme activities of broiler chickens. *Poultry Science*, 97(1), 196-202.

- Liu, X., Yun, K. S., & Kim, I. H. (2019). Evaluation of sodium stearoyl-2-lactylate and 1, 3-diacylglycerol blend supplementation in diets with different energy content on the growth performance, meat quality, apparent total tract digestibility, and blood lipid profiles of broiler chickens. *The Journal of Poultry Science*.
- Lubisco, D. S. (2007). Composição de ácidos graxos e livre escolha em dietas iniciais de frangos de corte.
- Macías Mosquera, K. E., & Paguay Sesme, K. V. (2019). Elaboración de un embutido a base de molleja de pollo, quinua (*chenopodium quinoa*) y amaranto (*amaranthus*) y su aceptación en la ciudad de Guayaquil (Bachelor's thesis, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Química).
- Madrid-Garcés, T. A., López-Herrera, A., & Parra-Suescún, J. E. (2018). La ingesta de aceite esencial de orégano (*Lippia origanoides*) mejora la morfología intestinal en Broilers. *Archivos de zootecnia*, 470-476.
- Mahmood, F., Nawaz, H., Khan, S. H., Yousaf, M., & Iqbal, J. (2022). Impact of supplemental exogenous lysolecithin on performance, fat digestibility, and lipid metabolites responses in broilers. *Advancements in Life Sciences*, 9(1), 41-48.
- Medina Peredo, C. A. (2016). Determinación del efecto de la adición de un emulsificante a base de ricinoleato de la línea Cobb 500 en el rendimiento productivo.
- Mendocilla, M. E. I. (2017). Efecto de la adición de emulsificante en dietas con diferentes tipos de aceite, sobre el comportamiento productivo y económico de pollos de engorde. 2. 14.
- Musa, H. H., Chen, G. H., Cheng, J. H., and Yousif, G. M. (2008). Relation between abdominal fat and serum cholesterol, triglycerides, and lipoprotein concentrations in chicken breeds. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*. 31(6). 375-379.

- National Research Council. (1994). Nutrient requirements of poultry: 1994. National Academies Press.
- Navarro, F. A. E. (2016). Docencia. Elementos de fisicoquímica. Recuperado el 8/09/21 de <https://navarrof.orgfree.com/Docencia/docencia.htm>.
- Nutautaitė, M., Racevičiūtė-Stupelienė, A., Andalibizadeh, L., Šašytė, V., Bliznikas, S., Pockevičius, A., & Vilienė, V. (2021). Improving broiler chickens' health by using lecithin and lysophosphatidylcholine emulsifiers: a comparative analysis of physiological indicators. *Iranian Journal of Veterinary Research*, 22(1), 33.
- Osorio, J. H., & Flórez, J. D. (2011). Diferencias bioquímicas y fisiológicas en el metabolismo de lipoproteínas de aves comerciales. *Biosalud*, 10(1). 88-98.
- Osorio, J. H., Flórez-Ochoa, J. D., & Uribe-Velásquez, L. F. (2012). Comparación del perfil lipídico en dos líneas de pollos de engorde. *Revista Científica*, 22(6), 553-559.
- Osorio, J. H., & Flores, J. D. (2018). Comparación de lípidos sanguíneos entre pollos de engorde y gallinas ponedoras. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 65(1), 27-35.
- Papadopoulos, G. A., Poutahidis, T., Chalvatzi, S., Di Benedetto, M., Hardas, A., Tsiouris, V., ... & Fortomaris, P. D. (2018). Effects of lysolecithin supplementation in low-energy diets on growth performance, nutrient digestibility, viscosity and intestinal morphology of broilers. *British Poultry Science*, 59(2), 232-239.
- Patra, A. K., & Samanta, G. (2015). Inclusion of an emulsifier to the diets containing different sources of fats on performances of Khaki Campbell ducks. *Iranian journal of veterinary research*, 16(2), 156.
- Pilla Jerez, S. N. (2017). Utilización de Manano Oligosacárido en el Engorde y Acabado de Pollos, en el Centro Experimental Académico Salache (Bachelor's thesis, Ecuador, Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)).

- Pinheiro, D. F., Cruz, V. C., Sartori, J. R., & Paulino, M. V. (2004). Effect of early feed restriction and enzyme supplementation on digestive enzyme activities in broilers. *Poultry science*, 83(9), 1544-1550.
- Pungaña Manzano, N. A. (2013). Utilización de aditivos (gluten, estearil lactilato de sodio) y enzima (Glucosa oxidasa) como mejorantes de la harina de trigo (*Triticumvulgare*) nacional para la elaboración de pastas alimenticias. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos. 2. 59,60.
- Rathelot, J., Julien, R., Canioni, P., Coeroli, C., & Sarda, L. (1976). Studies on the effect of bile salt and colipase on enzymatic lipolysis. Improved method for the determination of pancreatic lipase and colipase. *Biochimie*, 57(10), 1117-1122.
- Reece, W. O., Erickson, H. H., Goff, J. P., and Uemura. (2017). *Dukes' physiology of domestic animals*. John Wiley & Sons. 44(13). 502.
- Roa Flores, M. E. (2015). El uso de ácidos orgánicos y su efecto en el desempeño y desarrollo del sistema digestivo del pollo de engorda.
- Rovers, M., & Excentials, O. (2014). Saving energy and feed cost with nutritional emulsifier. *Intl. Poult. Prod*, 22. 7-8.
- Roy, A., Haldar, S., Mondal, S., & Ghosh, T. K. (2010). Effects of supplemental exogenous emulsifier on performance, nutrient metabolism, and serum lipid profile in broiler chickens. *Veterinary medicine international*, 2010.
- Saíz, A. A., Antuna Bizarro, S., & Anzaldúa Arce, S. R. (2010). *Fisiología veterinaria e introducción a la fisiología de los procesos productivos*. (1).
- Saleh, A. A., Amber, K. A., Mousa, M. M., Nada, A. L., Awad, W., Dawood, M. A., ... & Abdel-Daim, M. M. (2020). A mixture of exogenous emulsifiers increased the acceptance of broilers to low energy diets: Growth performance, blood chemistry, and fatty acids traits. *Animals*, 10(3), 437.
- Sánchez, I. (2001). *Aparatos y sistemas de las aves*. Universidad Autónoma de Querétaro. 56.

- San Tan, H., Zulkifli, I., Farjam, A. S., Goh, Y. M., Croes, E., Partha, S. K., & Tee, A. K. (2016). Effect of exogenous emulsifier on growth performance, fat digestibility, apparent metabolizable energy in broiler chickens. *Journal of Biochemistry, Microbiology and Biotechnology*, 4(1), 7-10.
- Serpunja, S., & Kim, I. H. (2019). The effect of sodium stearoyl-2-lactylate (80%) and tween 20 (20%) supplementation in low-energy density diets on growth performance, nutrient digestibility, meat quality, relative organ weight, serum lipid profiles, and excreta microbiota in broilers. *Poultry Science*, 98(1), 269-275.
- Shahid, I., Anwar, U., Swar, S. O., Saleem, M. I., Butt, S. F., Khan, W., ... & ur Rahman, M. A. (2021). Effect of emulsifier (lysophospholipid) supplementation in broilers during different phases on growth performance, blood profile, digestibility, economics and meat quality. *Pakistan J Agric Sci*, 58, 1033-1040.
- Sirri, F., Petracci, M., Bianchi, M., & Meluzzi, A. (2010). Survey of skin pigmentation of yellow-skinned broiler chickens. *Poultry science*, 89(7), 1556-1561.
- Svihus, B. (2016). Adaptación de las prácticas de manejo para utilizar la funcionalidad del tracto digestivo en aves.
- Taípe Cuadra, R. A. (2014). Efecto del uso de un emulsificante en la dieta sobre la respuesta productiva y la digestibilidad del extracto en pollos de carne.
- Tenório, K. I., Eyng, C., Nunes, R. V., Broch, J., Rohloff Junior, N., de Souza, C., ... & Polese, C. (2022). Dietary emulsifier and lipid source on broiler meat quality, lipids and serum antioxidant status. *Canadian Journal of Animal Science*.
- Tepox, P. M. (2013). Absorción, depósito y eliminación de pigmento con diferentes programas de adición de xantófilas en dietas de pollo de engorda (Doctoral dissertation, Tesis de maestría).

- Toaquiza, T. A. M. (2011). Evaluación del efecto de enzimas (gluco-oxidasas, hemicelulasas) y emulsificante (estearil lactilato de sodio) en la calidad de pan elaborado con sustitución parcial de harina de trigo nacional (*Triticum vulgare*) variedad Cojitambo. Universidad Técnica de Ambato. 2. 42.
- Upadhaya, S. D., Lee, J. S., Jung, K. J., & Kim, I. H. (2018). Influence of emulsifier blends having different hydrophilic-lipophilic balance value on growth performance, nutrient digestibility, serum lipid profiles, and meat quality of broilers. *Poultry science*, 97(1), 255-261.
- Valdiviezo Hallo, M. F. (2012). Determinación y Comparación de Parámetros Productivos en los Pollos Broiler de las Líneas COBB 500 y Ross 308, con y sin Restricción Alimenticia (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).
- Vitón, R., García Plata, G. A., Soares, Y., Castillo, A., Soto Marió, A. B., Knobel, A., ... & Indarte, S. (2017). *AgroTech: Innovaciones que no sabías que eran de América Latina y el Caribe*. Banco Interamericano de Desarrollo.
- Vives, Y., Martínez-Pérez, M., Alberto, M., & Hernández, Y. (2020). Actividad de la enzima lipasa pancreática en pollos de ceba que consumen harina del fruto de *Roystonea regia* en la ración. *Nota técnica. Cuban Journal of Agricultural Science*, 54(1), 101-105.
- Wickramasuriya, S. S., Macelline, S. P., Cho, H. M., Hong, J. S., Park, S. H., & Heo, J. M. (2020). Physiological effects of a tallow-incorporated diet supplemented with an emulsifier and microbial lipases on broiler chickens. *Frontiers in Veterinary Science*, 7, 583998.
- Yanza, L. T. D. (2015). Facultad de Ciencias Agropecuarias Escuela de Medicina Veterinaria y Zootecnia (Doctoral dissertation, universidad de cuenca). 2. 25-26.
- Zavareie, H. N., & Toghyani, M. (2018). Effect of dietary phospholipids on performance, intestinal morphology and fat digestibility in broiler chicks. *J Livest Sci*, 9, 107-15.

- Zhao, P. Y., & Kim, I. H. (2017). Effect of diets with different energy and lysophospholipids levels on performance, nutrient metabolism, and body composition in broilers. Poultry Science, 96(5), 1341-1347.

## X. ANEXOS

### Croquis de Unidad Experimental Avícola





Tabla de actividades

<b>EDAD (DÍAS)</b>	<b>ACTIVIDAD EN LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS</b>
<p>1</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inicio de la evaluación.</li> <li>• Peso inicial, vacunación en incubadora,</li> </ul>
<p>7</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peso promedio de las aves por tratamiento.</li> <li>• Registro de consumo de alimento semanal.</li> <li>• Registro de mortalidad diaria y semanal.</li> </ul>
<p>14</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peso promedio de las aves por tratamiento.</li> <li>• Registro de consumo de alimento semanal.</li> <li>• Registro de mortalidad diaria y semanal, vacunación y/o medicamentos administrados.</li> <li>• Toma de muestras de heces.</li> </ul>
<p>21</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peso promedio de las aves por tratamiento.</li> <li>• Registro de consumo de alimento semanal.</li> <li>• Registro de mortalidad diaria y semanal, vacunación y/o medicamentos administrados.</li> <li>• Toma de muestras de heces.</li> <li>• Integridad intestinal</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lectura de pigmento en piel por medio de colorímetro</li> </ul>
28	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peso promedio de las aves por tratamiento.</li> <li>• Registro de consumo de alimento semanal.</li> <li>• Registro de mortalidad diaria y semanal, vacunación y/o medicamentos administrados.</li> <li>• Toma de muestras de heces.</li> <li>• Integridad intestinal</li> <li>• Lectura de pigmento en piel por medio de colorímetro</li> </ul>
35	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peso promedio de las aves por tratamiento.</li> <li>• Registro de consumo de alimento semanal.</li> <li>• Registro de mortalidad diaria y semanal, vacunación y/o medicamentos administrados.</li> <li>• Toma de muestras de heces.</li> <li>• Integridad intestinal</li> <li>• Lectura de pigmento en piel por medio de colorímetro</li> </ul>
42	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peso promedio de las aves por tratamiento.</li> <li>• Registro de consumo de alimento semanal.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Registro de mortalidad diaria y semanal, vacunación y/o medicamentos administrados.</li> <li>• Toma de muestras de heces.</li> <li>• Integridad intestinal</li> <li>• Lectura de pigmento en piel por medio de colorímetro</li> </ul>
49	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peso promedio de las aves por tratamiento.</li> <li>• Registro de consumo de alimento semanal.</li> <li>• Registro de mortalidad diaria y semanal, vacunación y/o medicamentos administrados.</li> <li>• Toma de muestras de heces.</li> <li>• Integridad intestinal</li> <li>• Lectura de pigmento en piel por medio de colorímetro</li> </ul>
Venta	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fin de la evaluación.</li> <li>• Peso de venta.</li> </ul>