



Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Ingeniería  
Maestría en Ingeniería de Calidad y Productividad

**EFFECTO DEL TIEMPO EN PASTOREO Y TOMILLO COMO ADITIVO  
ALIMENTICIO EN LA CALIDAD DE CARNE DE POLLO ROSS 308**  
Opción de titulación  
**Tesis**

Que como parte de los requisitos para obtener el Título de  
Maestría en Ingeniería de Calidad y Productividad

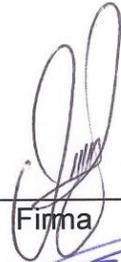
**Presenta:**

Ing. Alma Vianet Torres Martínez

Dirigido por:

M.I. Javier García Pérez

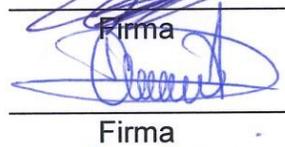
M.I. Javier García Pérez  
Presidente

  
Firma

Dr. Ramón Gerardo Guevara González  
Secretario

  
Firma

Dra. Aurora Femat Díaz  
Secretario

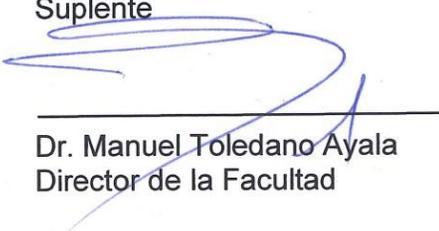
  
Firma

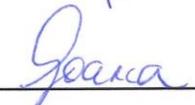
Dra. Marcela Gaytán Martínez  
Suplente

  
Firma

M.C. Laura Berenice Flores Tejeida  
Suplente

  
Firma

  
Dr. Manuel Toledano Ayala  
Director de la Facultad

  
Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña  
Secretaria de Posgrado, Investigación e  
Innovación UAQ

## RESUMEN

La carne de pollo es una de las principales fuentes de proteína en la alimentación mexicana, por ser una carne muy versátil para su preparación y por su bajo costo. La producción de pollo constituye el 34% de la producción pecuaria nacional. Estos altos índices de producción han sido consecuencia de décadas de mejoramiento genético y del alto grado de integración que ha conseguido la industria avícola. Dentro de los efectos de este mejoramiento se encuentran aves con un alto contenido de grasa (intramuscular, subcutánea y abdominal), lo que afecta de manera negativa las características de calidad de la carne producida, además de constituir un desperdicio para los productores y consumidores. Entre las características afectadas por la deposición de grasa se encuentran el color, la capacidad de retención de agua, la textura y el contenido proteico. Como alternativas para disminuir el porcentaje de grasa en las aves se encuentran los sistemas de crianza al aire libre, debido a que la actividad física disminuye esta deposición, por otro lado la inclusión de tomillo en polvo en la dieta, actúa como inhibidor en la absorción de ácidos grasos. El objetivo de este trabajo fue evaluar a través de diseño de experimentos el efecto de estos sobre características de calidad de la carne. Se utilizó una nave experimental para la producción de pollo Ross 308 en un sistema semi intensivo, en la cual se evaluaron 5 diferentes concentraciones de tomillo en el alimento (0 g/kg, 1.6 g/kg, 5 g/kg, 8.6 g/kg y 10 g/kg) y 5 tiempos de acceso al aire libre (0 h, 1.5 h, 5.5 h, 9 h, 11 h) de acuerdo a un diseño de experimentos de superficie de respuesta. Se obtuvieron muestras del músculo de la pechuga de cada grupo y se evaluó la calidad nutrimental (porcentaje de grasa abdominal e intramuscular y contenido proteico) y la calidad fisicoquímica (color, textura, y capacidad de retención de agua). No se encontró efecto sobre estas últimas; sin embargo, se encontró que concentraciones de tomillo menores a 5 g/kg, en combinación con tiempos de pastoreo menores a 6 horas o sin ellas, pueden disminuir el porcentaje de grasa abdominal hasta en un 20 %, y que concentraciones mayores a estas producen un efecto negativo, aumentado este porcentaje.

(Palabras clave: grasa abdominal, calidad de carne, aditivo natural)

## ABSTRACT

Chicken meat is one of the main sources of protein in Mexican food; it is a very versatile meat for its preparation and for its low cost. The production of chicken constitutes 34 % of the national livestock production. These high production rates have been the result of decades of genetic improvement and the high degree of integration achieved by the poultry industry. Among the effects of this improvement are birds with a high fat content (intramuscular, subcutaneous and abdominal), which negatively affects the quality characteristics of the meat produced, besides being a waste for producers and consumers. The main characteristics affected by fat deposition are color, water retention capacity, texture and protein content. The main characteristics affected by fat deposition are color, water holding capacity, texture and protein content. As alternatives to decrease the percentage of fat in the birds are outdoor breeding systems because due to physical activity decrease this deposition, also through the inclusion of thyme powder, as an inhibitor in the absorption of fatty acids, so the objective of this work was to evaluate through the design of experiments the effect of these on quality characteristics of the meat. An experimental semi-intensive production system was used for the production of Ross 308 in a, in which 5 different concentrations of thyme were evaluated in the feed (0 g / kg, 1.6 g / kg, 5 g / kg, 8.6 g / kg and 10 g / kg) and 5 open access times (0 h, 1.5 h, 5.5 h, 9 h, 11 h) according to a design of response surface experiments. Samples of the breast muscle were obtained from each group, their nutritional (percentage of abdominal and intramuscular fat content) and physicochemical quality (color, texture, and water holding capacity) were evaluated. No effect was found on the physicochemical characteristics, however it was found that concentrations of thyme less than 5 g/kg either in combination with grazing times of less than 6 hours or without them can reduce the percentage of abdominal fat up to 20 % but higher concentrations can produce a negative effect, increasing abdominal fat percentage.

(Keywords: abdominal fat, meat quality, natural additive)

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), al programa de Fondos de rectoría FOPER de la Universidad Autónoma de Querétaro y a mis compañeros, amigos y familiares por el apoyo brindado durante mis estudios y el desarrollo de mi proyecto.

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>8</b>
<b>2. ANTECEDENTES</b> .....	<b>11</b>
2.1 AVICULTURA.....	12
2.2 PRODUCCIÓN DE CARNE DE POLLO .....	13
2.2.1 <i>Pollo de engorde</i> .....	14
2.3 CALIDAD DE LA CARNE DE POLLO.....	18
2.3.1 <i>Calidad Nutrimental</i> .....	18
2.3.2 <i>Calidad Fisicoquímica</i> .....	21
2.3.3 <i>Calidad de pollo en México</i> .....	26
<b>3. JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>29</b>
<b>4. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS</b> .....	<b>29</b>
4.1 HIPÓTESIS: .....	29
4.2 OBJETIVO GENERAL: .....	29
4.3 OBJETIVOS PARTICULARES:.....	29
<b>5. METODOLOGÍA</b> .....	<b>30</b>
5.1 ESTUDIO PRELIMINAR DE CALIDAD EN CARNE COMERCIAL .....	31
5.1.1 <i>Materiales y Métodos</i> .....	31
5.1.2 <i>Validación de sistemas de medición</i> .....	39
5.2 ESTABLECIMIENTO DEL SISTEMA DE CRIANZA .....	40
5.2.1 <i>Ubicación</i> .....	40
5.2.2 <i>Nave experimental</i> .....	40
5.2.3 <i>Modelo avícola y material vegetal</i> .....	42
5.3 DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	48
5.3.1 <i>Reducción de dimensionalidad (primera etapa)</i> .....	48
5.3.2 <i>Modelo diseño central compuesto (DCC)</i> .....	50
5.3.3 <i>Efecto de las variables del modelo en las características de calidad de la carne</i> .....	52
5.4 EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD .....	52
<b>6. RESULTADOS Y DISCUSIONES</b> .....	<b>53</b>
6.1 ESTUDIO PRELIMINAR.....	53
6.1.1 <i>Validación de sistemas de medición</i> .....	53
6.1.2 <i>Calidad de Carne convencional</i> .....	58
6.2 ESTABLECIMIENTO DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN.....	60
6.3 EFECTO DE LOS FACTORES DE CONTROL SOBRE CALIDAD DE LA CARNE. ....	65
6.4 DISMINUCIÓN DEL PORCENTAJE DE GRASA.....	69
<b>7. CONCLUSIONES</b> .....	<b>75</b>
<b>8. REFERENCIAS</b> .....	<b>76</b>

## INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Características de calidad de la carne de pollo.</i> .....	11
<i>Tabla 2. Color de diferentes partes de la canal de pollo.</i> .....	22
<i>Tabla 3. Clasificación del pollo de engorde</i> .....	27
<i>Tabla 4. Características de la Calidad RFN</i> .....	28
<i>Tabla 5. Elementos de configuración del análisis de textura.</i> .....	38
<i>Tabla 6. Consumo diario sugerido por tipo de alimento.</i> .....	45
<i>Tabla 7. Diseño factorial 2<sup>2</sup></i> .....	49
<i>Tabla 8. Diseño Central Compuesto</i> .....	50
<i>Tabla 9. ANOVA Estudio R&amp;R- Balanza Analítica</i> .....	53
<i>Tabla 10. ANOVA R&amp;R- Colorímetro</i> .....	54
<i>Tabla 11. Componentes de variación Estudio R&amp;R</i> .....	54
<i>Tabla 12. Características de calidad- Carne Convencional.</i> .....	59
<i>Tabla 13. Composición nutrimental del alimento.</i> .....	60
<i>Tabla 14. Monitoreo de Proceso - Experimento EE.</i> .....	62
<i>Tabla 15. Monitoreo de Proceso -Experimento RSM.</i> .....	63
<i>Tabla 16. Validación estadística de los datos EE.</i> .....	65
<i>Tabla 17. Prueba de Tukey - Características de Calidad experimento EE.</i> .....	66
<i>Tabla 18. ANOVA - PGA</i> .....	68
<i>Tabla 19. ANOVA - PGI.</i> .....	68
<i>Tabla 20. Validación estadística de los datos Experimento MSR.</i> .....	70
<i>Tabla 21. Prueba de Tukey - Características de Calidad Experimento MSR.</i> .....	71
<i>Tabla 22. Modelado estadístico para MSR.</i> .....	72

## INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1 Producción Pecuaria</i> .....	13
<i>Figura 2. Producción de pollo de Engorde</i> .....	14
<i>Figura 3. Patron fotográfico para el color de la carne de pollo</i> .....	23
<i>Figura 4. Muestras para carne (análisis de TPA).</i> .....	25
<i>Figura 5. Diagrama de la metodología.</i> .....	30
<i>Figura 6. Lectura de imágenes – Colorímetro.</i> .....	37
<i>Figura 7. Análisis de textura (TPA) -Pechuga de Pollo.</i> .....	38
<i>Figura 8. Ubicación física de la Nave experimental.</i> .....	40
<i>Figura 9. Nave experimental de Pollo de engorde.</i> .....	41
<i>Figura 10. Diagrama General de Proceso.</i> .....	48
<i>Figura 11. Componentes de Variación R&amp;R - Balanza Analítica.</i> .....	55
<i>Figura 12. Grafico de control X-R - Balanza Analítica.</i> .....	55
<i>Figura 13. Componentes de Variación R&amp;R – Colorímetro.</i> .....	56
<i>Figura 14. Gráfico de control X-R - Colorímetro.</i> .....	57
<i>Figura 15. Componentes de Variación R&amp;R - Colorímetro.</i> .....	57
<i>Figura 16. Estadística descriptiva sistema de medición - PGA.</i> .....	58
<i>Figura 17. Estadística descriptiva sistema de medición - PPT.</i> .....	58
<i>Figura 18. Peso inicial aves - EE</i> .....	61
<i>Figura 19. Peso inicial aves -Experimento RSM.</i> .....	62
<i>Figura 20. Temperatura y Humedad relativa - Experimento EE</i> .....	64
<i>Figura 21. Temperatura y Humedad relativa - Experimento RSM</i> .....	64
<i>Figura 22. Grafica de Intervalos por grupos - PGA.</i> .....	67
<i>Figura 23. Grafica de Intervalos por grupos - PGA.</i> .....	67
<i>Figura 24. Gráfica Normal de efectos estandarizados –PGA.</i> .....	69
<i>Figura 25. Grafica de Intervalos por grupos - PGA.</i> .....	72
<i>Figura 26. Figura de contornos - Porcentaje de Grasa Abdominal</i> .....	73
<i>Figura 27. Gráfica SRM - FO+PQ</i> .....	74

## 1. INTRODUCCIÓN

La carne de pollo es uno de los principales productos de la avicultura, constituye un 34.7% de la producción pecuaria nacional (UNA (2016) Castañeda *et al.*, 2013). Esto debido a su bajo precio, a su versatilidad para preparar alimentos y a su contenido nutricional (Castañeda *et al.*, 2013). Éstas características han sido un esfuerzo de décadas de mejoramiento por parte de la industria avícola, a través de la integración de tres pilares básicos en estos sistemas de crianza: el mejoramiento genético, la alimentación y los sistemas de crianza (Rosero *et al.*, 2012).

Para la producción de pollo se utilizan aves especializadas en la generación de masa corporal, estirpes o líneas genéticas generadas mediante hibridación con una alta tasa de rendimiento y una viabilidad por encima del 95%. El pollo de engorde que se produce en México proviene principalmente del híbrido Ross 308, éste representa un 89% de la producción nacional debido a su eficiencia y a su capacidad de adaptabilidad (Vargas *et al.*, 2009; Villanueva, 2015; UNA, 2016).

EL pollo Ross 308 ha sido utilizado en diversos sistemas de crianza: desde sistemas intensivos o convencionales (bajo confinamiento, condiciones controladas y sistemas de alimentación especializados), hasta sistemas extensivos y semi-intensivos (con acceso al aire libre y condiciones de crianza y alimentación enfocados a un desarrollo natural). Sin embargo en la actualidad la mayor parte de la producción proviene de sistemas intensivos, los cuales ocupan más del 50% de toda la carne producida a nivel nacional (Poltowicz y Doktor, 2011).

La integración de sistemas intensivos ha tenido como objeto el minimizar costos de producción y mantener el valor y calidad de sus productos (Cabello, 2010). Sin embargo, las condiciones de crianza y alimentación a los que el pollo de engorde es sometido han provocado, entre otros problemas, un aumento en la deposición de grasa. Esta grasa representa alrededor del 15% de su tejido total y

se localiza principalmente en la piel y el abdomen (Ming *et al.*, 2002; Chang *et al.*, 2010; Jiang *et al.*, 2012; Fouad, 2014).

La grasa localizada en el abdomen es considerada un desperdicio propio de la producción ya que es removida durante el proceso de evisceración, además está relacionada con características de calidad de la carne como el porcentaje de grasa total, el color y la textura (Carden *et al.*; Sañudo *et al.*, 1999; Fanatico *et al.*, 2005; USDA, 2007; Rizzi y Chiericato, 2010; Abdulkarimi *et al.*, 2011; México, 2013; Fouad, 2014).

Las características de calidad de la carne han sido estudiadas ampliamente, y aunque en México solo se clasifica por medio de atributos relacionados con el tamaño del ave, la coloración de la piel y la ausencia de defectos en la canal (NMX-FF-128-SCFI-2015), a nivel mundial se ha estudiado a través de su porcentaje proteico y contenido de grasa (contenido nutrimental), así como su color, textura, pH, capacidad de retención de agua (características fisicoquímicas) (Kannan *et al.*, 2002; Wang *et al.*, 2009; Diego Braña Varela *et al.*, 2012; Bautista, 2013; Lin *et al.*, 2014).

Debido a lo anterior la industria avícola se ha visto en la necesidad de disminuir la grasa abdominal y corporal. Para ello se han realizado diversas investigaciones utilizando diferentes factores de variación, como las condiciones de crianza (acceso al aire libre) y dietas con un menor valor calórico y con distintos contenidos proteicos. Además los aditivos han llegado a ser utilizados en las dietas ya que no la modifican, pero ayudan a mejorar las características del animal, así como contribuyen a complementar las necesidades nutrimentales del ave (Fouad, 2014).

Los sistemas alternativos con acceso al aire libre permiten a las aves expresar su comportamiento natural y mejoran la composición de la carne por efecto de la actividad locomotora (Rizzi y Chiericato, 2010; Lin *et al.*, 2014a). Entre éstos, destacan los sistemas en libre pastoreo, que permiten a las aves tener acceso a un área delimitada en el exterior durante el día así como un área

de resguardo que proporciona seguridad y confort térmico durante la noche y días con temperaturas muy bajas (Barrantes *et al.*, 2006; Villanueva, 2015).

Aditivos naturales como los lactobacilos, el ajo, el orégano y el tomillo, han sido utilizados en las dietas de aves de corral, para disminuir su porcentaje de grasa debido a su función como agentes involucrados en la absorción de nutrientes, sus características antioxidantes y efecto antimicrobiano (Zhao *et al.*, 2009; Abdulkarimi *et al.*, 2011; R.U. Khan *et al.*, 2012; Fouad, 2014).

Los efectos del tomillo sobre la disminución de grasa han sido probados dietas de pollos (Abdulkarimi *et al.*, 2011) y patos criados en sistemas convencionales (Hassan y Awad, 2017), sin embargo éste no ha sido probado en sistemas de crianza con acceso al aire libre, por lo cual no se tiene certeza su efecto sobre las características de calidad de la carne de aves criadas en estas condiciones, ni de la proporción requerida para causar dicho efecto. Por lo cual el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de las concentraciones de tomillo en la dieta bajo un programa en libre pastoreo en las características de calidad de la carne.

## 2. ANTECEDENTES

Este capítulo se centra principalmente en analizar el desarrollo de la industria avícola y la producción de carne de pollo como uno de sus productos más importantes, en el análisis de las características de calidad de ésta bajo en diversos matices y los principales factores que inciden en su alteración.

La calidad de la carne es abordada desde dos perspectivas: la perspectiva mundial a través de su calidad nutrimental y fisicoquímica Tabla 1, evaluando así su contenido de grasa y proteína; su color, su textura, su capacidad de retener agua y su nivel de pH; y la perspectiva nacional de acuerdo a su coloración, conformación y limpieza (NMX-FF-128-SCFI-2015).

*Tabla 1. Características de calidad de la carne de pollo.*

<b>Característica</b>	<b>Descripción</b>
Nutrimental	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Contenido proteico</li><li>2. Contenido de grasa</li><li>3. Porcentaje de colesterol</li></ol>
Fisicoquímica	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Color</li><li>2. Textura</li><li>3. Curva de disminución de pH</li><li>4. Capacidad de retención de agua</li></ol>

*Fuente: Kannan et al., 2002; Wang et al., 2009; Braña et al., 2012; Bautista; 2013; Lin et al., 2014.*

## 2.1 Avicultura

La avicultura mexicana ha ido desde la crianza doméstica hasta los sistemas de crianza industriales. Dedicándose a la cría y producción de aves y al aprovechamiento de sus productos, tratando de minimizar los costos a través del uso de tecnologías y sistemas de crianza que le han permitido mantener una integración robusta en todas las fases de su cadena productiva (Cabello, 2010).

Hacia la década de los 60's, la producción de pollo consistía en alojar aves de razas puras y cruza de estas, en áreas extensas con acceso al aire libre (sistema extensivo). Debido al crecimiento del sector comenzaron los avances en los sistemas de producción, operando sistemas semi-intensivos, con mayor capacidad de producción, en espacios reducidos. Sin embargo el crecimiento de la demanda experimentada a partir de los 80's (Murray *et al.*, 2014; UNA, 2016) y considerando que en la actualidad esta ha sido duplicada; los sistemas disponibles no fueron capaces de satisfacer la demanda. Ya que no se contaba con espacio suficiente y la infraestructura y el control de la bioseguridad eran deficientes, llevando la migración casi completa a sistemas intensivos (Cabello, 2010).

Éste crecimiento trajo consecuencias, el sector avícola fue modificando características básicas en los sistemas de crianza. Entre los que destaca la utilización de razas de aves modificadas genéticamente, las cuales para obtener su máximo rendimiento, deben tener condiciones ambientales, nutrimentales y de sanidad especiales (sistemas en confinamiento), que son como sistemas convencionales en la avicultura moderna (Lu *et al.*, 2007; Murray *et al.*, 2014).

La producción de pollo es de las actividades económicas más importantes del país, ha mantenido una tasa de crecimiento constante y en conjunto con el huevo lidera la producción pecuaria del país Figura 1.

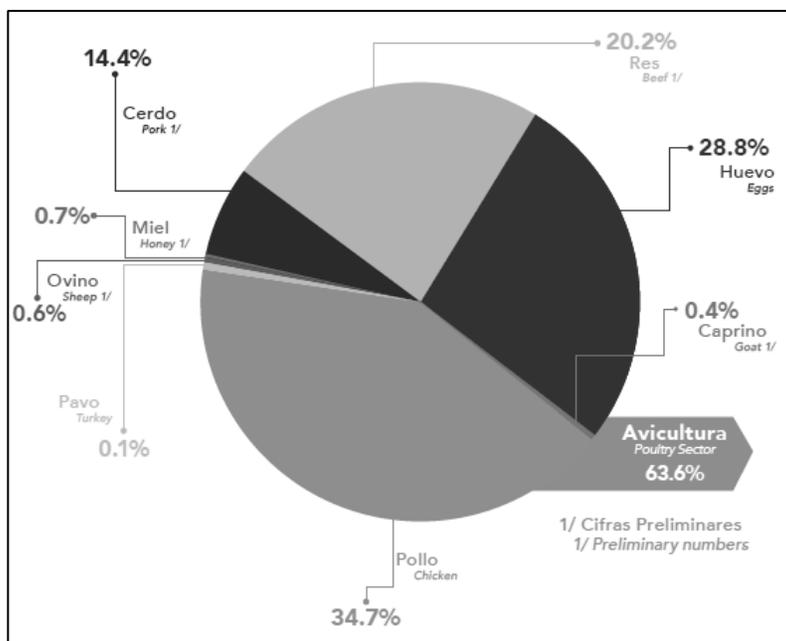


Figura1 Producción Pecuaria (UNA, 2016).

En este gráfico se puede notar que en el 2016 la producción de huevo fue del 28.8% mientras que la producción de pollo alcanzó el 34.7%. En la actualidad seis de cada 10 mexicanos incluyen el pollo en su alimentación. Por lo que el consumo per cápita se encuentra alrededor de 30kg de pollo al año, esto debido, a que los precios de huevo y pollo se han reducido en la última década, y a que ambos son alimentos con un alto valor nutrimental y de fácil preparación (UNA, 2016).

Dentro de los principales productores de pollo en México se encuentran los estados de Aguascalientes y Querétaro, así como La región de la Comarca Lagunera, el estado de Veracruz, Jalisco, Puebla, Yucatán y Chiapas. Lo que ubica a México entre los diez principales productores de pollo en el mundo con una producción de 3,175010 toneladas en el 2016 (UNA, 2016).

## 2.2 Producción de Carne de pollo

En la actualidad la producción de carne de pollo consiste en la crianza de aves destinadas para este propósito (pollo de engorde), desde su nacimiento hasta una edad entre 42-46 días. Estas aves son provenientes de granjas de reproductores, donde los huevos fértiles inoculables son recolectados y enviados

hacia un proceso de incubación en una planta. Una vez que los huevos son eclosionados, los pollitos son trasladados a las granjas de pollo de engorde para su crianza. Al alcanzar la edad y peso de mercado, estas son enviadas ya sea al cliente final como pollo vivo o a un rastro de aves, donde estas son sacrificadas y preparadas para su comercialización en diversas presentaciones (pollo fresco, pollo congelado, pollo en piezas, etc.) Figura 2.

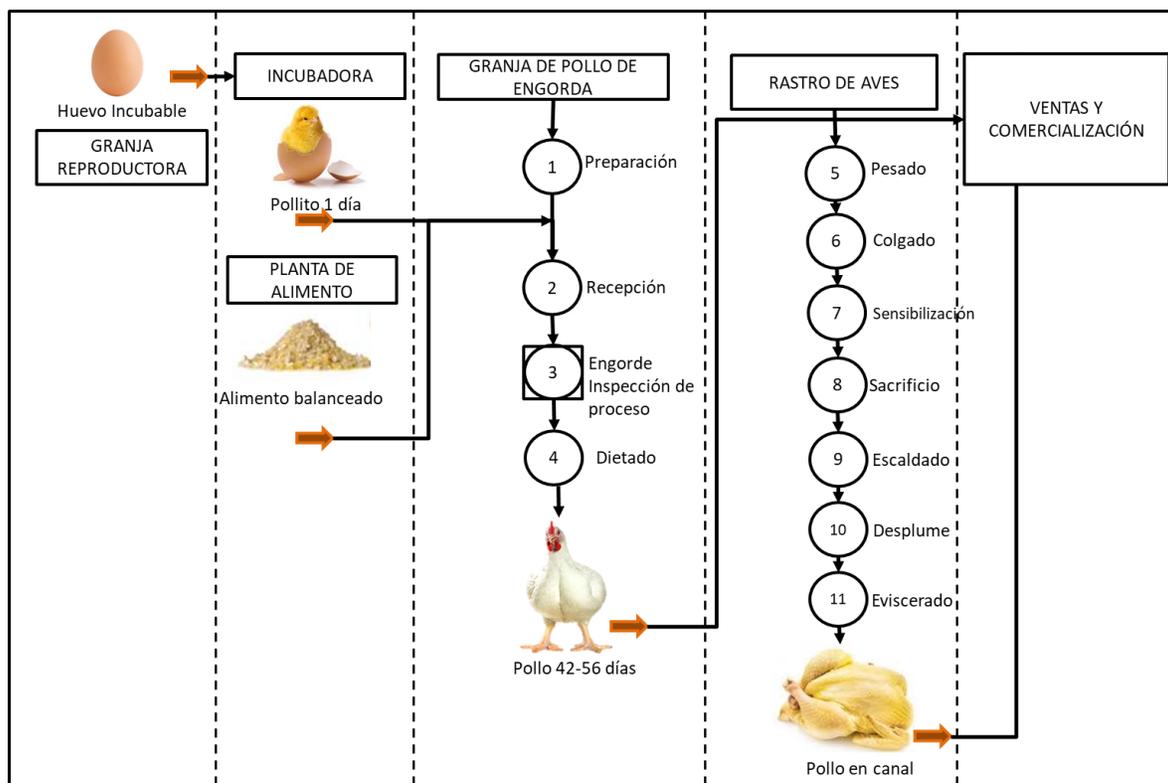


Figura 2. Producción de pollo de Engorde (Estrada y Márquez, 2005).

### 2.2.1 Pollo de engorde

El pollo de engorde es un ave de crecimiento rápido utilizado generalmente en sistemas de cría convencionales. Estas aves provienen de un proceso de hibridación y de un largo periodo de mejoramiento genético (Pym, 2008). Entre las estirpes más utilizadas a nivel mundial se encuentra la estirpe comercial Ross 308 ya que ocupa un gran porcentaje de las aves utilizadas en la producción de carne, ya sea en sistemas de crianza convencionales como alternativos (Vargas *et al.*, 2009; Villanueva, 2015; UNA, 2016).

En la actualidad esta estirpe es la más utilizada en sistemas de cría alternativos, debido a sus características de adaptación a diferentes ambientes y a su alto potencial de rendimiento y viabilidad (Poltowicz y Doktor, 2011). Un factor determinante en la productividad de estas aves es su sexo, ya que las hembras tienden a producir mayor porcentaje de grasa, por lo que son comercializadas a un peso menor que los machos y en un segmento de mercado específico (Rizzi y Chiericato, 2010).

#### 2.2.1.1 *Sistemas de Crianza*

Un sistema de crianza avícola se caracteriza por tener una integración de los procesos requeridos para beneficiar el crecimiento del ave, esto es desde la preparación y mantenimiento del área donde se crían, hasta su cuidado, alimentación y manejo sanitario (Estrada y Márquez, 2005).

Se pueden diferenciar principalmente tres sistemas de producción: intensivo, semi intensivo y extensivo o de traspatio. El sistema intensivo por ocupar hasta el 80% de la producción nacional, se conoce como sistema convencional donde las aves se mantienen bajo confinamiento en un galpón o área de resguardo bajo condiciones ambientales y alimentación controladas. El semi-intensivo mantiene condiciones ambientales y alimentación controlada de manera manual y a menor escala. Por último, en el sistema de traspatio, las aves se mantienen a las aves en total libertad, y su alimentación se basa en restos de alimentos, maíz e insectos y plantas disponibles en el área de crianza. Entre estos destaca el sistema en libre pastoreo, el cuál puede adaptarse a un sistema semi-intensivo (Perez y Villegas, 2009; Picoli *et al.*, 2014).

#### 2.2.1.1.1 Sistema en libre pastoreo

El sistema en libre pastoreo se puede adaptar en patios o corrales, campos de malla movable o estacionaria. Este sistema busca proveer las condiciones de crianza que permitan el comportamiento natural de las aves proporcionando acceso controlado a un área libre con vegetación y acceso al aire fresco, así como un área de resguardo (galpón) para descansar y dormir durante la noche (Muñoz y Vellojín, 2002, Villanueva, 2015). El acceso al aire fresco es brindado a través de áreas de pastoreo, donde se permite a las aves salir en un espacio delimitado durante el tiempo que las condiciones ambientales lo permitan (Barioglio, 2001).

Estos sistemas de crianza han sido ligados con la calidad de la carne de pollo. Wang (2009), Resconi (2010) y Sossidou (2015) demostraron que aves criadas bajo sistemas semi-intensivos con acceso controlado al aire libre aumentan la actividad locomotora de las aves, disminuyendo su contenido de grasa (Castellini *et al.*, 2002; Fanatico *et al.*, 2005; Wang *et al.*, 2009; Lin *et al.*, 2014).

#### 2.2.1.2 Alimentación

La alimentación de las aves es uno de los cuatro pilares fundamentales en el desarrollo de la avicultura y es un factor determinante en la calidad de la carne obtenida, ésta debe cubrir las necesidades nutrimentales de las aves de acuerdo con el sistema de crianza y la estirpe de aves que se utilice. En ocasiones las dietas son formuladas con ingredientes de diferente contenido calórico y proteico; y en otros casos, éstas son adicionadas con aminoácidos esenciales y/o aditivos alimenticios que ayudan a complementar necesidades nutrimentales de las aves o a mejorar alguna característica específica en la carne (Fouad, 2014).

#### 2.2.1.2.1 Aditivos Alimenticios

Los aditivos alimenticios modifican y en la mayoría de los casos aumentan las características relacionadas con el sabor y funcionalidad de los alimentos. En el caso de la avicultura, estos pueden interferir en el proceso de absorción de los nutrientes, sin modificar la composición de la dieta. Algunos aditivos naturales como los lactobacilos, el ajo, el orégano, el chile y el tomillo, etcétera, han sido utilizados en las dietas de aves de corral para disminuir el porcentaje de grasa corporal, ya que son agentes involucrados en la absorción de nutrientes, características antioxidantes y efecto antimicrobiano (Taylor *et al.*, 2010; Abdulkarimi *et al.*, 2011; Khan *et al.*, 2012)

#### 2.2.1.2.2 Tomillo

El Tomillo (*Thymus vulgaris*) es un aditivo natural usado en la avicultura por sus características antioxidantes y efecto antimicrobiano (Khan *et al.*, 2012), y debido a su contenido de compuestos fenólicos: timol (5-metil-1-2-isopropilfenol) y carvacrol (5-isopropil-2-metilfenol), que tienen efectos hipocolesterolémicos, se le ha atribuido la disminución de los triglicéridos plasmáticos, colesterol total, LDL-c y VLDL-c, lo que a su vez disminuye los lípidos hepáticos y abdominales, reduciendo el peso proporcional del hígado y la grasa abdominal, y aumenta también la intensidad del color del hígado en pollos de engorde (Abdulkarimi *et al.*, 2011). Además debido a su contenido de saponinas que tienen efectos beneficiosos sobre la concentración de lípidos plasmáticos, formando complejos insolubles con colesterol en la digestión inhibiendo la absorción intestinal de colesterol endógeno y exógeno, interfiriendo directamente en el proceso de síntesis de ácidos grasos (Qureshi *et al.*, 1983).

Al-Kassie (2009) demostró que la adición de 200 ppm de aceite de tomillo a las dietas de pollos de engorde durante el periodo de engorde (42 días) causó una reducción significativa en el porcentaje de grasa abdominal (PGA) en con la dieta de control. En el 2011 Abdulkarimi y colaboradores redujeron significativamente la

acumulación de grasa en las áreas abdominales de los pollos de engorde con la adición de hasta el 0,6% de extracto de tomillo al agua potable.

Por su parte, en estudios recientes, Hassan (2017) utilizó tomillo en polvo para mejorar los parámetros productivos de aves bajo sistemas convencionales, logrando una disminución del colesterol en un 3%. La reducción en los niveles de colesterol se atribuye al efecto negativo de timol y carvacrol sobre 3-hidroxi-3-metil-glutaril-CoA reductasa (HMG-CoA reductasa), una enzima que cataliza la enzima limitante de la velocidad de la síntesis de colesterol (Lee *et al.* 2003).

### **2.3 Calidad de la carne de pollo**

La calidad de la carne de ave es un tema que puede abordarse desde diferentes perspectivas, sin embargo el principal objetivo es la satisfacción del consumidor. Con el objetivo de cumplir con esto, podemos distinguir aspectos de acuerdo al contenido nutrimental y fisicoquímico con un color rojo y carne jugosa sin exudados, además de buscar piezas libres de laceraciones, golpes o moretones (Sañudo *et al.*, 1999; Kannan *et al.*, 2002; Fanático *et al.*, 2005; Hui *et al.*, 2006, INIFAP 2012, SAGARPA 2012).

#### **2.3.1 Calidad Nutrimental**

La carne de pollo es una de las principales fuentes de nutrientes (UNA, 2012). Está compuesta principalmente por proteínas, lípidos, vitaminas y minerales. La concentración de nutrientes en la carne se obtiene mediante el estudio de la composición química del tejido muscular, particularmente por su contenido de materia seca, proteína, grasa y sus componentes por medio del perfil de ácidos grasos, colesterol y cenizas (Bogosavljevi, 2010).

Los nutrimentos que componen la carne varían en función de distintos factores, ya sea biológicos como el genotipo, el sexo y la edad o intrínsecos, es decir, durante el crecimiento o engorda, antes y después de la faena. En términos generales, se considera que la carne fresca contiene de un 70 a 75% de agua, 20 a 22 % de proteínas, 1 a 5 % de grasa, 1% de sustancias

minerales y menos de 1 % de hidratos de carbono (Braña, 2011). Debido al impacto e importancia del porcentaje de grasa y proteína en la dieta del consumo humano, estos son considerados los principales parámetros a estudiar en la determinación nutrimental de la carne de pollo y en general de los alimentos fuentes de proteína que son parte de la alimentación (Sañudo *et al.*, 1999; Bogosavljevi, 2010).

#### 2.3.1.1 *Contenido de grasa*

Los lípidos son considerados como un grupo de compuestos orgánicos insolubles en agua y solubles en solventes orgánicos, que se encuentran o se derivan de organismos vivos. El contenido de grasa en la carne es una de las principales preocupaciones del consumidor y constituye una fuente de energía irremplazable en la dieta humana (Kolakowska y Zdsislaw, 2011). La carne con mayor consumo a nivel nacional es la de pollo y tiene un contenido de grasa constituye hasta un 21.7% del tejido total del ave. De estos un 6.2% se encuentra en el tejido muscular, mientras que el 15.5% restante se encuentra en la piel y el abdomen del ave (Carden, *et al.*, 1978; Sañudo *et al.*, 1999; USDA, 2007).

La determinación de lípidos se puede realizar por distintos métodos y esos se aplican según el objetivo. Para determinar la cantidad total de grasa en muestras de carne, comúnmente se utilizan métodos con el uso de calor y solventes, entre éstos que se encuentran el método de extracción de Soxhlet (AOAC 991.36), el método de Folch, el método EPA 3546, entre otros. Cualquier método puede ser utilizado, sin embargo, si se requiere determinar su composición por medio de un análisis de ácidos grasos, se debe seguir un método de extracción en frío (Castañeda *et al.*, 2013).

### 2.3.1.1 *Contenido proteico*

Las proteínas son la base de la estructura corporal y de la formación de enzimas, estas son esenciales para la formación de todos los tejidos del organismo. Los humanos somos incapaces de sintetizar el grupo amino, por eso requerimos alimentos de fuente vegetal y animal que aporten las proteínas esenciales para satisfacer las necesidades proteicas del organismo.

La carne es el tejido muscular de los animales utilizado como alimento y una muy importante fuente de aminoácidos esenciales. La carne de ave contiene entre 15.8 a 17.9% y 21.9 a 23.5% de proteína en los músculos de las piernas y del músculo del pecho con piel (Žlender *et al.*, 1995; Lawrie, 1967; Egan *et al.*, 1987).

El contenido proteico de la carne puede variar según el contenido de grasa en el pollo de acuerdo a lo reportado por Rizzi y Chiericato (2010). Estos autores analizaron la composición química de la carne y concluyeron que existe una correlación positiva entre el porcentaje de grasa y el porcentaje proteico, y atribuyen esta disminución de grasa a la actividad locomotora de las aves durante su crianza.

La actividad locomotora produce alto contenido de colágeno, una proteína abundante en el tejido conectivo, el cual contribuye a las variaciones de ternura de la carne y a la textura (McCormick 1999; Weston *et al.*, 2002; Rizzi y Chiericato, 2010; Lin *et al.*, 2014)

El contenido proteico de la carne se puede evaluar por medio de la proteína bruta contenida en el músculo utilizando el método Kjeldahl, sin embargo las proteínas miofibrilares y sarcoplasmáticas han sido relacionadas con características como la capacidad de retención de agua y la textura de la carne (Van Laack *et al.*, 2000; Bowker y Zhuang, 2013).

Mudalal (2014) relacionó la solubilidad proteica de las proteínas miofibrilares y sarcoplasmáticas con las propiedades físicas que pueden afectar la calidad de la carne, encontrando que una baja solubilidad produce una pobre funcionalidad, como en el caso de la carne pálida seca y exudativa (PSE). Las proteínas solubles se determinan por medio del método Bradford, el cual está basado en la medición de la absorbancia de proteínas en el colorante azul brillante de Coomassie (G-250) por medio de espectrofotometría (Bradford, 1976). Esta técnica ha sido utilizada en años recientes para la determinación de las proteínas solubles carne de ave según el reporte de Mudalal (2014).

### 2.3.2 Calidad Fisicoquímica

Las características fisicoquímicas confieren a la carne atributos sensoriales como la textura y el color. Las principales características fisicoquímicas de la carne son su nivel de pH y su capacidad de retención de agua (CRA). Estas características pueden ser afectadas por factores de estrés ante mortem (antes del sacrificio), tales como las altas temperaturas ambientales, el tiempo de espera a la matanza, el transporte, la manipulación previo a la matanza, entre otros (Owens y Sams 2000; Yue, 2010; Schneider, 2012; Tang, 2013) y factores pre-mortem (después del sacrificio) debido a los tratamientos de enfriamiento y temperaturas de escaldado y almacenamiento (Braña *et al.*, 2011).

#### 2.3.2.1 Color

De acuerdo a Brewer *et al.*, (2002) el color es el principal atributo de la carne, debido a que generalmente el consumidor asocia este con la frescura del producto. Los atributos relacionados con el color son el tono, la saturación y la luminosidad y depende del tipo de músculo, del pH, la CRA, la humedad y de la concentración de mioglobina que esta contenga (Huloy y Ouhayoun, 1999; Mohamed y Mansour, 2012)

La evaluación del color de la carne se lleva a cabo a través de tres escalas de color en el espectro visual; el tono, la saturación y la luminosidad. Éste depende del tipo de músculo que se evalúe (Tabla 2) y de la concentración de mioglobina que contenga (Huloy y Ouhayoun, 1999). El sistema de representación del color más adecuado es el CIELAB (CIE, 1986), ya que produce más uniformidad en la zona de los rojos. Las coordenadas utilizadas en este sistema para las tres escalas de color son la luminosidad (L\*), el índice rojo (a\*) y el índice de amarillo (b\*). La luminosidad (L\*) tiene mayor relación con la evaluación visual del consumidor (Murray, 1989) y ha sido utilizada como el principal indicador de color en la evaluación de calidad de la carne (Quiao et al, 2002, Woelfel *et al.*, 2002 y Barbut, 1998).

Tabla 2. Color de diferentes partes de la canal de pollo.

<b>Tipo de músculo</b>	<b>L*</b>	<b>a*</b>	<b>b*</b>	<b>Referencia</b>
Pierna	48.79±4.03	4.94±2.02	9.92±0.99	Cori <i>et al.</i> 2014
Pata	53.24±1.28	3.61±1.29	20.28±2.68	Del Puerto, 2007
Pechuga	53.69±3.17	2.24±0.52	10.27±1.01	Cori <i>et al.</i> 2014.
	53.31±1.74	1.28±0.77	19.7±1.54	Del Puerto, 2007
Muslo	49.45±1.19	1.91±0.067	19.14±1.71	Del Puerto, 2007

El color característico de la carne de pollo considerando la escala L\* se encuentra entre 46 y 49 hasta 53 para autores como Quiao *et al.* (2002), Woelfel *et al.* (2002) y Barbut (1998). Para las escalas a\* y b\* los valores reportados dentro de esta especificación se encuentran por debajo de 28 para el tono y mayores a 15 para la saturación (Sandercock *et al.*, 2001; Yue *et al.*, 2010; Schneider *et al.*, 2012), como se puede observar en la Figura 3, el color característico se encuentra en los patrones 3 y 4.



Figura 3. Patrón fotográfico para el color de la carne de pollo (Delgado *et al.*, 2014).

El color de la carne ha sido relacionado con diversos factores y características de la misma; Sawyer (2008) relacionó cortes de un color rojo muy oscuro con altos niveles de pH muscular, así como una mayor capacidad de retención de agua (CRA) y textura superficial pegajosa, y en contraste una carne pálida está relacionada con niveles bajos de pH y una baja CRA. Además se encuentra relacionado con el contenido de grasa intramuscular en la carne (Fraqueza *et al.*, 2006; Berri *et al.*, 2007; Janisch 2011). Fanático *et al.* (2005), Rizzi y Chiericato (2010) y Marx (2016) mencionan que al disminuir el porcentaje de grasa la intensidad del color disminuye mientras aumenta la capacidad de retención de agua.

La determinación de color se puede realizar ya sea por métodos visuales a través de estándares de color o por técnicas instrumentales por métodos colorimétricos o espectrofotométricos. La espectrofotometría mide la cantidad de luz transmitida o reflejada con relación a una referencia estándar, dentro de la zona del espectro visible (380-750 nm) con el iluminante D65 que corresponde a la luz promedio de día y el estándar observado para un campo visual amplio (10°), el cual presenta una mejor correlación con el promedio de la estimación visual del color.

#### 2.3.2.2 Capacidad de retención de agua

La capacidad de retención de agua (CRA) se puede definir como la aptitud de la carne para mantener ligada su propia agua, incluso bajo la influencia de fuerzas externas (presión, calor, etc.), o también como la aptitud para fijar agua

añadida (Swatland, 1991). Ésta tiene una importante contribución en las características tecnológicas de la carne. Los efectos de una alta o baja capacidad de retener agua son se ven reflejados en la textura, la ternera y el color de la carne cruda, así como la jugosidad y firmeza de la carne cocinada (Wierbicki *et al.*, 1957; Hamm, 1960).

La CRA se puede determinar por distintos métodos, estos se basan en la medición de los líquidos liberados con la aplicación de fuerzas externas en la muestra, entre los más destacados se encuentran los métodos de centrifugación (Guerrero *et al.*, 2002), de compresión (Cañeque y Sañudo, 2005) y de pérdida por cocción, y son utilizados de acuerdo a su disponibilidad.

### 2.3.2.3 *Textura*

La textura según la ISO 5492:20 se define como “todos los atributos mecánicos y superficiales de un producto, perceptibles por medio de receptores mecánicos, táctiles y, si es apropiado visuales y auditivos”. La textura de la carne de pollo, depende de un gran número de factores biológicos e intrínsecos, tales como: genética del animal, raza, edad, sexo, régimen de alimentación y tipo de músculo, así como la madurez fisiológica del animal al momento de la matanza factores de manejo de los animales antes de la matanza y de las condiciones post-mortem de la canal y de la carne (Kuber *et al.*, 2004; Hui *et al.*, 2006; Bautista, 2013).

La medición de la textura por métodos instrumentales, es una alternativa para eliminar la subjetividad y variabilidad en los resultados de las evaluaciones sensoriales (Rudy *et al.*, 2016). Estos deben ser capaces de discriminar adecuadamente entre muestras de carne y cuantificar la ternera resultante. Entre los más utilizados se encuentran las técnicas de corte con navaja (Warner-Bratzler y Kramer) y el análisis de textura TPA (Hernández Bautista *et al.*, 2013; Rudy *et al.*, 2016) y la evaluación se efectúa con un texturometro y sondas especiales adaptadas a un a éste, donde se obtienen valores de resistencia al corte (Kg, N),

dureza, elasticidad y masticabilidad de una muestra de carne en forma de prisma o cilindro como se muestra en Figura 4 (Caine *et al.*, 2003; Chang *et al.*, 2010; Braña *et al.*, 2011; Rudy *et al.*, 2016).



Figura 4. Muestras para carne - Análisis de TPA (Braña *et al.*, 2011).

Según lo reportado por Zhuang y Savage (2010) la textura de la carne tiende a ser más dura para los consumidores que comen carne pálida que carne normal u oscura.

#### 2.3.2.4 Nivel pH

En la industria alimenticia el pH es uno de los principales indicadores de calidad de los alimentos. El pH del músculo de animales sanos y vivos es de alrededor de 7.04 (Johnson, 1994). Este valor disminuye principalmente tras la muerte del animal, debido a la degradación del glucógeno a ácido láctico, como una reacción en la que el músculo trata de producir energía en ausencia de oxígeno (Braña, 2011), por lo que resulta imprescindible el momento en que se mide.

La acumulación del ácido láctico normalmente continúa hasta completar el rigor mortis (cerca de 24 h posteriores a la muerte), siendo particularmente relevante lo que sucede en las 3 primeras horas post-mortem, por lo que es muy útil no solo saber el pH en un punto determinado, sino generar curvas que describan el cambio en el pH con respecto del tiempo. Normalmente se consideran 3 a 5 puntos en las 3 primeras horas post-mortem, por ejemplo 30, 45, 60, 120, 180 minutos y el pH final a las 24 horas.

En estudios recientes se revela que la variación en el pH durante el rigor mortis afecta características como el color, la capacidad de retención de agua y la

textura de la carne. Lomiwes y colaboradores (2014) obtuvieron niveles altos ( $\text{pH} \geq 6.2$ ), intermedios ( $\text{pH} 5.8\text{--}6.19$ ) y bajos ( $\text{pH} \leq 5.79$ ) y la carne con pH bajo, mostró una textura más firme por efecto de la degradación de las proteínas en el periodo pos mortem (Bouton, *et al.*, 1971; Purchas *et al.*, 1999; Schneider *et al.*, 2012), al igual que lo reportado por Bettiy colaboradores (2009). Éste efecto fue relacionado con la actividad de las aves antes del sacrificio, ya que como lo menciona Tarrant y Sherington (1980) cuanto menor sea ésta, la caída del pH será más rápida, por lo que resulta importante mantener condiciones adecuadas para llevar a cabo esta operación.

### 2.3.3 Calidad de pollo en México

En México la calidad del pollo de engorda es determinada por medio de atributos de la canal del ave por medio de su clasificación en pollo México Extra, México 1 y México 2, siguiendo las consideraciones de la NMX-FF-128-SCFI-2015 con respecto a la apariencia de la canal y pigmentación o color de la piel. En la Tabla 3 se muestran los requerimientos para esta clasificación.

Esta norma actual solo considera la apariencia de la canal, la calidad de los productos no es evaluada con respecto a su contenido nutrimental y características fisicoquímicas de la carne, una oportunidad para mejorar su clarificación y su uso en productos elaborados. La capacidad tecnológica de la carne de pollo ha sido afectada en los últimos años, es decir, en su capacidad para ser usada en la elaboración de productos con valor agregado. Se han distinguido carnes con texturas muy suaves o muy firmes, con color muy pálido o muy oscuro y con niveles muy altos o bajos de exudación.

Tabla 3. Clasificación del pollo de engorde (NMX-FF-128-SCFI-2015)

Atributos	México Extra	México 1	México2
<b>Conformación general de la canal</b>	Musculatura bien desarrollada libre de deformidades que afecten la distribución normal de la carne, de contorneos redondeados.	Musculatura bien desarrollada libre de deformidades que afecten la distribución normal de la carne, de contornos redondeados	Musculatura desarrollada se permiten deformidades, como quilla dañada o torcida, así como piernas, muslos y rabadilla curvos.
<b>Restos de vísceras</b>	Se permiten restos de esófago y riñón.  Se admiten vísceras comestibles un empaque cerrado dentro o fuera de la cavidad abdominal.	Se permiten restos de esófago, riñón y pulmón.  Se admiten vísceras comestibles un empaque cerrado dentro o fuera de la cavidad abdominal.	Se aceptan restos de víscera.  Se admiten vísceras comestibles un empaque cerrado dentro o fuera de la cavidad abdominal.
<b>Apariencia general de la piel</b>	Debe presentar uniformidad en el color sin importar si éste es blanco o amarillo.  No se permiten rasgaduras lineales que expongan la carne de la canal.  Se permite la decoloración para el pollo pintado.	Debe presentar uniformidad en el color sin importar si éste es blanco, pigmentado o pintado, sin embargo, se admiten zonas de decoloración.  Se permiten rasgaduras lineales en la rabadilla que no expongan la carne de la canal.	Puede presentar decoloración parcial o total.  Se permiten rasgaduras en cualquier parte de la canal.
<b>Hematoma</b>	Libre de hematomas	Solo en la punta del ala y en el muñón de la pierna	Se aceptan en cualquier parte de la canal.
<b>Manchas de bilis</b>	Libre de manchas de bilis	Libre de manchas de bilis	Se permiten manchas de bilis
<b>Plumas y fitoplumas</b>	Libre de plumas.  Se aceptan fitoplumas solamente en las alas.	Se aceptan plumas solo en el ala, muñón de la pierna y pigostilo (última vértebra).  Se aceptan fitoplumas en cualquier parte de la canal.	Se aceptan plumas y fitoplumas en cualquier parte de la canal
<b>Fracturas</b>	Libre de fracturas	Se aceptan fracturas solamente en la punta del ala	Se aceptan fracturas en cualquier parte de la canal.
<b>Mutilaciones</b>	Libre de mutilaciones	Libre de mutilaciones	Se aceptan mutilaciones en cualquier parte de la canal.

Fuente: NMX-FF- 128-SCFI- 2015

La evaluación de las características antes mencionadas ha llevado a la clasificación de ésta en tres niveles de calidad. En el Tabla 4 se muestra un resumen de lo reportado por algunos investigadores con respecto a los valores de textura, color, pH, capacidad de retención de agua y pérdida por cocción para la carne roja, firme y no exudativa (RFN) (Kannan *et al.*, 2002; Barbut *et al.*, 2005; Hui *et al.*, 2006; Ponce, 2006; Wang *et al.*, 2009; Braña *et al.*, 2012; Bautista; 2013; Lin *et al.*, 2014). Las especificaciones o valores para carne pálida, suave y exudativa (PSE) se encuentran por debajo y para la carne oscura firme y seca (OFS) por encima de lo expuesto en este.

Tabla 4. Características de la Calidad RFN

CARACTERÍSTICA	RFN	PRUEBA	FUENTE
Color:			
Luminancia (L*)	53.31±1.74	Colorimetría	Delgado <i>et al.</i> , (2014)
Tono (a*)	9.00±1.10		
Saturación ( b*)	26.8±7.00		
Capacidad de Retención de Agua (CRA)	26.94±2.65	Perdida por cocción	Tejeda, 2005 Barbut <i>et al.</i> , 2005
Textura:			
Dureza (D)	9.97 ± 2.27	TPA	Chatterjee <i>et al.</i> , (2016)
Cohesividad (COH)	0.55 ± 0.05		
Elasticidad(EL)	0.63 ± 0.07		
Masticabilidad (MAST)	3.44 ± 1.20		

Algunos autores consideran que el nivel de aceptación del producto está determinado por la textura, el color y la capacidad de retención de agua, lo que es considerado en términos coloquiales como la jugosidad de la carne (Braña *et al.*, 2012; Bautista, 2013; SAGARPA, 2013).

La carne RFN es considerada el estándar ideal para consumo, debido a que presenta una textura firme, un color rosa-rojizo, un pH cercano al neutro y una pérdida por goteo menor al 6%. La textura está dada por la resistencia al corte y se reporta como la fuerza máxima al corte. El color se determina en la escala CIELAB (CIE, 1986); siendo la luminosidad el indicador principal para explicar el color de la carne, la pérdida por goteo se determina mediante el porcentaje de pérdida de pérdida de peso de la muestra goteo a las 24 h.

### **3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS**

#### **3.1 Hipótesis:**

La inclusión de tomillo en polvo en la dieta, así como el tiempo de pastoreo, mejora significativamente las características nutrimentales y fisicoquímicas de la carne de pollo Ross 308; disminuyendo el contenido de grasa, incrementando la proteína y mejorando la textura, el color y la capacidad de retención de agua.

#### **3.2 Objetivo General:**

Evaluar el efecto del tiempo de pastoreo y la inclusión de tomillo como aditivo alimenticio, sobre características nutrimentales y fisicoquímicas de la carne de pollo Ross 308, criado bajo un sistema de crianza semi intensivo.

#### **3.3 Objetivos Particulares:**

- ✓ Establecer un sistema de producción semi intensivo de pollo Ross 308 que permita evaluar la calidad nutrimental y fisicoquímica de la carne obtenida.
- ✓ Determinar a través del análisis de varianza y la prueba de tukey, el efecto de la concentración de tomillo (g/kg) y el tiempo de pastoreo (h) sobre las características de calidad nutrimental (porcentajes de grasa abdominal, grasa intramuscular, contenido de proteína total y fisicoquímica (color, textura y capacidad de retención de agua) de la carne obtenida.
- ✓ Establecer, a través de un modelo de superficie de respuesta, la concentración de tomillo en polvo y el tiempo de pastoreo que disminuyen el porcentaje de grasa abdominal contenida en el pollo Ross 308.

#### 4. METODOLOGÍA

Esta investigación se llevó a cabo en la Facultad de Ingeniería del Campus Amazcala de la Universidad Autónoma de Querétaro en el municipio del Marqués, Querétaro. Donde se estableció un sistema de crianza semi-intensivo y a través de un diseño de experimentos de segundo orden se determinó el efecto la concentración de tomillo (T) y el tiempo de pastoreo (P) como factores de control, sobre el porcentaje de grasa abdominal (PGA) e intramuscular (PGI), el contenido proteico (PPT), el color ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $\Delta E^*$ ), la capacidad de retención de agua (CRA), el pH y la textura (C, COH, E, MAST) de la carne de pollo. Probando la hipótesis planteada y definiendo un área de operación óptima para los factores estudiados.

La metodología empleada se compone de tres etapas Figura 5. En la primera etapa, se muestra un estudio preliminar, donde se evaluaron las principales características de calidad de la carne disponible en el mercado, se describen los métodos utilizados en la determinación de calidad de la carne, así como la validación de los mismos.

En la segunda etapa, se describe la ubicación y las condiciones ambientales del área donde se realizó el estudio, así como el diseño, la adaptación y construcción de la nave experimental. Además se incluye una sección donde se describen los materiales y las consideraciones tomadas para el manejo y monitoreo del material biológico y vegetal durante el estudio.

En la tercera etapa se define la problemática, el diseño de experimentos, utilizado y las herramientas estadísticas empleadas para el análisis de los datos obtenidos.

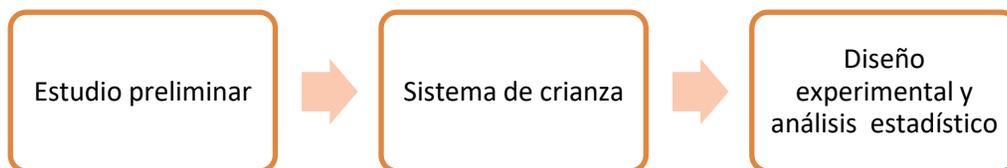


Figura 5. Diagrama estrategia metodológica.

## **4.1 Estudio preliminar de calidad en carne comercial**

Para determinar la calidad de la carne de pollo disponible en el mercado, se realizó un estudio preliminar. Determinando valores de referencia para el porcentaje de grasa, el color, la textura, el contenido proteico y la capacidad de retención de agua de la misma. Este estudio se llevó a cabo con 10 muestras de carne de pollo fresco de una marca representativa del estado.

Las muestras fueron obtenidas frescas a través de un distribuidor a las 24 h post mortem ya deshuesadas. Las mediciones y determinaciones se efectuaron de acuerdo a la presente metodología. Una vez analizadas las muestras, se realizó un análisis de medias a través de la prueba t-student para verificar si existe diferencia contra las especificaciones revisadas en el Tabla 4 de la sección 2.3.3.

### **4.1.1 Materiales y Métodos**

A continuación se presenta el listado de materiales las diferentes determinaciones.

#### **REACTIVOS:**

Éter de petróleo

Ácido sulfúrico concentrado.

Sulfato de potasio

Sulfato cúprico

Ácido bórico

Agua destilada

Ácido clorhídrico

Trisaminometano (TRIS)

Ácido etilendiaminotetraacético (EDTA)

Inhibidor de proteasas (PMSF)

Reactivo de Bradford (Bio-Rad)

Solución reguladora pH 4, 7 y 10 Cloruro de sodio

Albumina bovina

### **EQUIPOS:**

Báscula digital L-pcr 20/40 Kg Torrey Acero Inoxidable

Equipo Goldfish modelo 35001 Labconco

Balanza analítica OHAUS modelo AX324 220 g/ 0,01 mg.

Digestor Kjeldah 23012 Rapid Digestor- 25 marca Labconco

Kjeltsec System 1026 Distilling unit marca Tecator

Homogeneizador PolyTron Modelo P2100

Centrífuga Hermle modelo Z323K

Espectrofotómetro para micro placas Multiskan™ GO

Potenciómetro portátil (HANNA, HI 99163)

Horno eléctrico de Convección

Colorímetro Chroma meter modelo CR 410 marca Cokonica Minolta

Analizador de Textura CT3 Brookfield 4500

Deshidratador Escalibur

Molino de grano krups inoxidable

#### 4.1.2 Métodos

##### 4.1.2.1 *Porcentaje de grasa abdominal*

El porcentaje de grasa abdominal (PGA), se determinó con base a la cantidad de grasa depositada en la cavidad abdominal del ave y su peso total, de acuerdo a lo indicado por Marx (2016). Para obtener la grasa, los órganos de cada ave fueron colocados cuidadosamente de forma individual en las bolsas y congelados para su uso posterior a una temperatura de -20°C.

Para determinar el PGA se tomó cada paquete de órganos (descongelados previamente a una temperatura de 4°C por un periodo aproximado de 24 h) y se

removió de forma manual la grasa contenida entre ellos, una vez removida completamente se determinó su peso y se calculó el porcentaje con respecto al peso del pollo entero.

#### 4.1.2.2 *Porcentaje de grasa intramuscular*

La grasa intramuscular se cuantificó a través del método 920.39 de la AOAC en un equipo Soxhlet. Los resultados fueron expresados como porcentaje de las muestras de músculo seco (Lin *et al.*, 2014b; Leng *et al.*, 2016).

Para esta determinación se pesaron 15 g del músculo de la pechuga previamente homogeneizada, posteriormente fueron secados (temperatura de 65°C por 24 horas) y pulverizados. De la muestra pulverizada se tomaron 2 g en un cartucho de celulosa el cuál fue introducido en un tubo goldfisch que se conectó al extractor Soxhlet. Al sistema se ensambló un matraz que contenía 200 ml de éter de petróleo que sirvió como solvente de extracción. A continuación el matraz que contenía el solvente se colocó sobre una parrilla de calentamiento hasta su punto de ebullición por un periodo de 3 horas, de manera que el solvente condensado debido a la recirculación agua fría cayera continuamente sobre la muestra extrayendo la grasa de la misma.

Una vez transcurrido el tiempo, los matraces receptores fueron retirados y colocados en una campana de extracción hasta la evaporación del solvente. Ya evaporado el solvente, los matraces fueron colocados dentro de una estufa a 110 °C para la completa eliminación de solvente y humedad, con el fin de obtener únicamente la fracción lipídica.

Finalmente los matraces se pesaron y la diferencia de peso final y el peso previo a la extracción dio como resultado el porcentaje de grasa como se muestra en la Ecuación 1.

$$\% \text{grasa} = \frac{(A - B)}{C} * 100 \quad \text{Ecuación (1)}$$

Dónde:

A=Peso matraz con muestra.

B=Peso matraz vacío

C=Peso de la muestra seca

#### 4.1.2.3 *Proteína total*

El contenido proteico se realizó usando el método de Kjeldahl el cual cuantifica el contenido de nitrógeno total y haciendo uso de un factor de conversión determina la proteína bruta contenida en una muestra.

Para realizar la digestión, se colocaron 0.5 g de la muestra (desgrasada previamente) dentro de un tubo de digestión Kjeldahl, posteriormente se añadieron 15 mL de ácido sulfúrico concentrado y los catalizadores (0.5 g sulfato cúprico y 5 g de sulfato de potasio). Enseguida los tubos fueron colocados en el digestor y la temperatura del sistema fue ajustada gradualmente hasta alcanzar 400°C. Una vez finalizada la digestión, las muestras se dejaron enfriar y se agregaron 50 mL de agua destilada y se procedió a la destilación.

Para la destilación de las muestras, los tubos con la muestra digerida fueron colocados en el destilador, donde se añadieron 70 mL de hidróxido de sodio (40%). Una vez destilada la muestra, esta fue recibida en un matraz Erlenmeyer de 250 mL con 25mL de ácido bórico al 4% (pH 4.2) con los indicadores verde de bromocresol y rojo de metilo. Finalmente, el destilado se valoró con una solución de HCl 0.1N hasta el vire de color y con la ayuda de la ecuación 2 y 3 se calculó el nitrógeno total y el contenido proteico contenido en la muestra.

$$\% N = \frac{N \text{ HCl} * \text{Volumen de ácido}}{g \text{ muestra}} \times \frac{10g N}{mol} * 100 \quad \text{Ecuación (2)}$$

$$\% \text{ Proteínas} = N \text{ Total} * 6.25$$

Ecuación (3)

#### 4.1.2.4 *Proteína soluble*

El método de Bradford es utilizado para determinar el contenido de proteínas solubles en una muestra y esta técnica permite determinar la calidad de la fracción proteica soluble de la carne.

Las muestras fueron tomadas de la parte más ancha músculo de la pechuga, sin incluir tejido conectivo (Marx *et al.*, 2016). Se colocaron 200 mg de la muestra en tubos eppendorf y posteriormente fueron homogeneizados en hielo con 1 mL de Buffer de Lisis (TRIS mM, EDTA 1mM y PMSF 0.1 mM). Una vez homogeneizadas, fueron centrifugadas a 10,000 rpm durante 5 min a 5 °C y se separó el sobrenadante.

Para calcular la absorbancia se preparó una solución colorante en una mezcla 1:4 del reactivo de Bradford y agua, posteriormente se filtró para eliminar impurezas. Para la determinación se utilizó una dilución de la muestra 1:10, de la cual se tomaron 10 µL y se combinaron con 200 µL del reactivo diluido, todas las muestras se mezclaron suavemente con la micro pipeta y se colocaron en la micro placa. Se dejaron incubar por 5 min a temperatura ambiente y se midió la absorbancia a 595nm. La concentración de proteína soluble se calculó con base en una curva estándar de albumina bovina y la concentración fue expresada como mg/mL.

#### 4.1.2.5 *pH*

El pH se midió en el músculo de la pechuga a los 15 min, a las 3h y a las 24h del sacrificio, para lo cual se retiró la piel del área más ancha de la pechuga y se realizó un pequeño corte con el bisturí, donde se introdujo el diodo y se tomó la lectura (se tomaron tres mediciones en cada ocasión y se promedió el resultado) (Castromán *et al.*, 2013; Bautista *et al.*, 2016).

#### 4.1.2.6 *Capacidad de Retención de Agua (CRA)*

La capacidad de retención de agua permite a la carne conservar el agua ligada al musculo cuando esta es sometida a presión, corte u otros factores externos que ejercen fuerza en esta. Este factor determina la funcionalidad, la jugosidad y el rendimiento durante el procesamiento (Bautista, 2013)

La determinación se realizó a través del método de perdida por cocción. El porcentaje de pérdida por cocción al igual que la CRA es una característica de la carne que le permite retener agua en el musculo al someterse a fuerzas externas, en este caso a la temperatura por efecto de la cocción, este se expresa en porcentaje con respecto al peso fresco. La perdida por cocción se determinó de acuerdo a la diferencia de peso fresco con el peso de cocción según lo reportado por Tejeda, 2005; Schilling y Radhakrishnan, 2008.

El peso fresco se determinó en la balanza antes de la cocción. La cocción se realizó en un horno convección precalentado previamente a 185°C por 30 min y una vez concluido el periodo de cocción se mantuvieron a temperatura ambiente durante 30 min, posteriormente se retiró el papel y el excedente de líquido. Las muestras fueron secadas con toallas absorbentes y pesadas nuevamente para obtener el peso de cocción (Metodología adaptada de Bautista 2016). Una vez determinado el peso de cocción se calculó el porcentaje de agua que se perdió durante la cocción con respecto al peso fresco.

#### 4.1.2.7 *Color*

El color fue determinado de acuerdo al sistema CIELAB, utilizando un colorímetro, para las variables L\* (luminosidad), a\* (rojo-verde) y b\* (amarillo- azul) (CIE, 1978) de acuerdo a las consideraciones de Bautista (2013).

Los músculos derechos de la pechuga fueron descongelados a una temperatura de 4°C. Una vez descongelado fueron colocados en charolas de aluminio. Se retiró la piel del músculo y se dejó oxigenar dentro del refrigerador a 4

°C por 30 min, una vez cumplido este tiempo, se tomaron tres imágenes con el colorímetro de acuerdo a la plantilla mostrada en la Figura 6a). Las lecturas fueron tomadas de la escala  $L^*$ ,  $a^*$   $b^*$  y se calculó el promedio de las tres lecturas para determinar el color según lo indicado por Xu y colaboradores *et al.*, (2011).

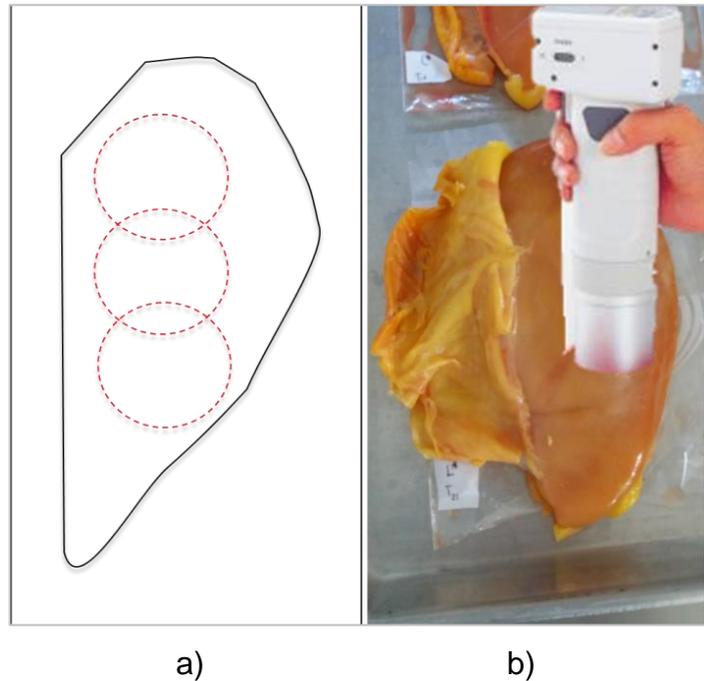


Figura 6. Lectura de imágenes – Colorímetro (Elab. propia).  
a) Plantilla. b) Toma de imágenes.

#### 4.1.2.8 Determinación de textura

El análisis TPA se realizó en muestras de carne cocida. Para esto se tomaron 120 g de la sección más ancha de la pechuga de acuerdo a la plantilla mostrada en la Figura 7a). Estos fueron envueltos en papel aluminio de manera individual y fueron cocinados en un horno de convección precalentado previamente a 185°C por 40 min. Una vez concluido el periodo de cocción se retiró el papel y el excedente de líquido. Se envolvieron nuevamente en papel aluminio y se almacenaron a 4°C por un periodo de 12 horas (Metodología adaptada de Bautista 2016).

El texturometro fue programado con las condiciones indicadas en la Tabla 5. Las muestras cocidas fueron cortadas en cubos de 16 mm, de acuerdo a lo

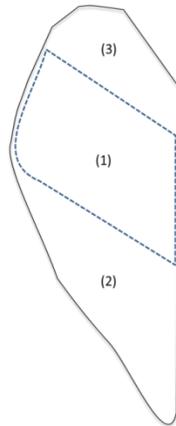
indicado por Rudy y colaboradores (2016), como se muestra en la Figura 7b), posteriormente fueron sometidas al análisis.

*Tabla 5. Elementos de configuración del análisis de textura.*

ELEMENTO	CONFIGURACIÓN
Sonda	TA2/1000
Compresión	50%
Tiempo de espera	0s
Carga	0.1N

*Fuente: Rudy et al., 2016*

Cada muestra fue colocada en la base de manera centrada como se muestra en la misma figura, posteriormente se inició la prueba. Los valores arrojados fueron la dureza, el porcentaje de deformación, el trabajo, la elasticidad, la gomosidad, la masticabilidad y el promedio pico de carga.



a)



b)

*Figura 7. Análisis de textura (TPA) - Pechuga de Pollo (Elab. propia).*

a) Plantilla para muestra de Textura. b) Muestras.

#### 4.1.3 Validación de sistemas de medición

La evaluación de confiabilidad de los sistemas de medición utilizados en las mediciones de las variables de respuesta y características de calidad de la carne se realizó a través de estudios de repetibilidad y reproducibilidad mediante la aplicación del estudio R&R cruzado y anidado para las pruebas destructivas (Pulido y Salazar, 2009).

##### 4.1.3.1 Estudios Tipo 1 y R&R

La validación del colorímetro y la balanza analítica se realizó a través de un estudio R&R cruzado, ambos equipos fueron calibrados con un patrón de calibración antes de realizar las mediciones. Para la validación de la balanza se tomaron 3 muestras de carne, utilizadas para la determinación de la capacidad de retención de agua (CRA) y cada una fue pesada dos veces por tres operadores con un total de 18 datos. Para la validación del colorímetro se emplearon 10 filetes de pechuga (previamente oxigenadas por 40 min), cada filete al igual que las muestras anteriores fue medido con el equipo en dos ocasiones por tres operadores obteniendo 60 datos.

Los datos obtenidos se analizaron para verificar la linealidad de éstos a través del estadístico Anderson Darling, posteriormente se realizó el estudio R&R cruzado en el Software Minitab 16 ® y se determinó la variabilidad del sistema de medición y su contribución en la variación total en la mediciones.

Los sistemas de medición utilizados para determinar el contenido proteico y el porcentaje de grasa intramuscular se utilizaron métodos de la AOAC, que se encuentran normados, por lo que se realizó un análisis descriptivo de los datos obtenidos.

## 4.2 Establecimiento del sistema de crianza

### 4.2.1 Ubicación

La experimentación se llevó a cabo en una nave experimental de tipo abierto ubicada dentro del campus (Figura 8). El área experimental se localiza al noroeste del estado de Querétaro, al norte a  $20^{\circ} 58'$ , al sur  $20^{\circ} 31'$  de latitud norte; al este  $100^{\circ} 09'$  y al oeste  $100^{\circ} 24'$  de latitud oeste. A una altitud de 920 con un clima semiseco, una temperatura media anual entre 18 y 24 °C y precipitación de 547 mm aproximadamente.



Figura 8. Ubicación física de la Nave experimental.

### 4.2.2 Nave experimental

La nave experimental fue desarrollada para cumplir las características de una producción de pollo en libre pastoreo con base a lo indicado por Wang *et al.*, (2009) y a lo descrito por Muñoz (2007) y Villanueva (2015) en concordancia con las recomendaciones del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA, 2013). Se realizaron algunas modificaciones debido a los recursos y materiales disponibles.

#### 4.2.2.1 Diseño y construcción

La nave experimental consta de un galpón o área de resguardo y un corral de pastoreo al aire libre, con capacidad para 180 aves alojando 10 aves m<sup>2</sup> en el área de resguardo y 4 aves m<sup>2</sup> en el área de pastoreo (SAGARPA, 2014). La construcción se hizo de acuerdo al diseño modelado en Sketchup, el cual se muestra en la Figura 9. En la figura se muestra el modelo realizado en el software 9a) y las áreas de resguardo 9b) y pastoreo 9c) de la nave experimental terminada.



Figura 9. Nave experimental de Pollo de engorde (Elab. Propia).

a). Modelado de la Nave experimental. b). Área de pastoreo. c). Área de resguardo.

El área de resguardo (galpón abierto) fue destinada para alojar a las aves durante todo el periodo de crecimiento y engorda (21- 56 días), fue construida de lámina de metal con cartón prensado como aislante térmico y una estructura de

metal ensamblada con pijas de acero. Los muros principales de 2 m, muros laterales de 60 cm y techo de plástico blanco al 30% de sombra y malla sombra con un 70% de sombra, este fue construido dos aguas (Wang *et al.*, 2009; SAGARPA, 2013). Ésta área fue provista con ventanas laterales, una puerta de acceso para el personal, insumos y materiales, además se instalaron puertas de acceso para las aves con un tamaño de adecuado para estas (SAGARPA, 2014).

Se instaló un sistema de iluminación automática, un sistema de bebederos tipo niple y se colocaron comederos manuales de acuerdo a la capacidad del galpón. Se asignó el pasillo central de esta para el acceso de personal y para realizar las operaciones de alimentación y manejo de las unidades experimentales. El área destinada para alojar a las aves fue dividida en corrales con capacidad para cada unidad experimenta (12 aves), éstos fueron construidos con malla de gallinero y puertas de madera, con una altura de 1m.

El área de pastoreo la cual fue ubicada al lado del área de resguardo, fue construida con delimitando el corral de pastoreo con malla de gallinero de 1.75 m de altura, fijada con alambre a postes de tubo de acero anclados al piso con cemento ahogado. Para construir los corrales individuales en esta área se delimitó el corral con malla de gallinero 1.20 m anclada el piso en espacios individuales con capacidad para cada unidad experimental con una densidad de 4 aves/m<sup>2</sup> (SAGARPA, 2014).

#### 4.2.3 Modelo avícola y material vegetal

El modelo de estudio para este trabajo fue la estirpe comercial Ross 308, debido a sus características de adaptación y a su alto potencial en rendimiento y viabilidad (Qiao *et al.*, 2002; UNA, 2012; Villanueva, 2015). Para la experimentación utilizaron 198 aves macho en dos etapas experimentales. Las aves fueron obtenidas una granja avícola del municipio de Corregidora, Querétaro, criadas hasta su etapa de crecimiento (21 días de edad), estas fueron previamente vacunadas contra Newcastle, Gumboro y Bronquitis de acuerdo los

lineamientos de vacunación que proponen las autoridades vigentes (SENASICA, 2011).

Las aves de fueron trasladadas al área de acuerdo a la cantidad requerida para cada experimento. En cada uno, las aves fueron distribuidas en grupos homogéneos de 12 aves y cada grupo fue considerado como una unidad experimental. Cada unidad experimental fue alojada en un corral individual ubicado dentro de la nave experimental en el área de resguardo con acceso a bebida y alimento. El espacio disponible por ave se determinó de acuerdo a los Lineamientos para la Operación Orgánica de las actividades agropecuarias, cumpliendo una densidad de 10 aves /m<sup>2</sup> (SAGARPA, 2013).

El material vegetal utilizado fue tomillo en polvo de uso comercial. Este fue obtenido en el estado de Querétaro de un productor de especias a nivel nacional. La concentración empleada fue definida en cada experimento y fue analizado para verificar su compuestos fenólicos (ingrediente activo requerido para la experimentación).

#### 4.2.3.1 *Consideraciones de manejo (modelo avícola)*

Para lo que concierne el presente trabajo, las actividades de manejo inician en la recepción de las aves (21 días) y termina con la el sacrificio (56 días) y procesado de las aves, de acuerdo con el proceso de producción de pollo de la Figura 2 de la sección 2.2.

##### 4.2.3.1.1 Recepción y aclimatación

La etapa de recepción de las aves implica la llegada de estas a la nave experimental y las tareas realizadas durante el primer día y días previos a esta. Para mantener un control sanitario la nave fue lavada y desinfectada una semana antes de la preparación. Un día antes de la recepción se realizó la preparación, la cual consistió en la aclimatación del área de resguardo 24 horas antes de la

recepción, con la finalidad de mantener una temperatura de 21°C a la hora de llegada de las aves.

Para lograrlo, se colocó una cama de viruta de madera con un espesor entre 5 y 10 cm en toda el área del piso, de acuerdo a lo indicado por Barrantes *et al.* (2006). Se programó el sistema de iluminación con un fotoperiodo con 8 horas oscuridad y 16 horas luz, las horas luz fueron complementadas con luz natural y artificial (SAGARPA, 2014).

Una vez completada la preparación de la nave, se sirvió alimento de crecimiento y se verificó la disponibilidad de agua en los bebederos. La recepción se realizó por la mañana entre las 9:00 y las 11:00 horas, con la intención de causar el menor estrés durante el transporte de las aves, a la llegada de cada lote su llegada se verificó su calidad y viabilidad.

La calidad del lote se determinó calculando la uniformidad del lote y la viabilidad con una inspección de la cloaca y la apariencia de los pollitos. La uniformidad se determinó a través del coeficiente de variación que debe encontrarse por debajo de 8.9 a 10.3 para asegurar que tenemos un lote uniforme. Para esto se pesó el 100% de las aves de manera individual con una báscula Traveler Modelo TA501.

Posteriormente, las aves fueron ubicadas en el área de resguardo como un lote único por un periodo de aclimatación (7 días). Durante este periodo, se realizó una verificación de consumo de alimento y agua con una frecuencia entre 2 y 3 veces por día y se monitoreó el confort térmico, a través del comportamiento de las aves. El consumo de alimento y agua se verificó físicamente en el buche de las aves y una vez culminada esta etapa, las aves fueron distribuidas de manera uniforme en corrales individuales, dando inicio a la etapa de engorde.

#### 4.2.3.1.2 Engorde

Durante el periodo de engorde se suministró una dieta comercial para aves en libre pastoreo con un contenido aproximado del 20% y 18% de proteína respectivamente, Este fue preparado de acuerdo con cada experimento con una concentración de tomillo en polvo y fue suministrado en los comederos una vez por día de acuerdo al consumo diario recomendado Tabla 6. Se estableció una rutina para estimular el consumo del ave a través del movimiento de los comederos a lo largo del día, verificando a su vez su disponibilidad en todo momento.

*Tabla 6. Consumo diario sugerido por tipo de alimento.*

Día	Etapa				
	CRECIMIENTO (g)		FINALIZADOR (g)		
	Semana				
	4	5	6	7	8
1	70	98	130	165	200
2	74	102	135	170	200
3	78	106	140	175	200
4	82	110	145	190	200
5	86	115	150	195	200
6	90	120	155	200	200
7	94	125	160	200	200

Durante el periodo de engorde se monitoreo el consumo alimenticio, el nivel de supervivencia por lote, la temperatura y la humedad relativa dentro del área de resguardo.

Para determinar el consumo por unidad experimental, se midió diariamente el alimento consumido por corral, pesando el alimento sobrante al inicio del día. El porcentaje de supervivencia se calculó semanalmente, con respecto al número de decesos, posteriormente se realizó un proceso de compostaje orgánico. El monitoreo de la temperatura y la humedad se realizó a través de un Hidrógrafo digital instalado dentro de la nave a la altura de las aves, para captar el microclima al que las aves fueron expuestas y de la estación meteorológica el campus.

#### 4.2.3.1.2.1 Manejo sanitario

Para un adecuado control de enfermedades, se estableció un programa de vacunación de acuerdo a lo indicado por el médico veterinario y se diseñó un plan de bioseguridad adaptado al sistema de crianza y a las condiciones de la nave. El plan de bioseguridad consistió principalmente mantener un riguroso control sobre el acceso a la granja. Este se llevó a cabo por medio de una bitácora de registro y un protocolo de desinfección rigurosa.

#### 4.2.3.1.3 Sacrificio

Las aves fueron sacrificadas de acuerdo a lo propuesto por (Abdulkarimi *et al.*, 2011). Una vez sacrificadas y desangradas por un periodo de cinco minutos. Las aves fueron sometidas a un proceso de escaldado en agua corriente a 59 °C durante 3.5 min, posteriormente se llevó a cabo el desplume y la evisceración. Las plumas y la cabeza fueron sometidas a un proceso de compostaje orgánico y las vísceras fueron almacenadas en refrigeración a 4°C hasta que fueron empleadas.

Después de la evisceración se separó la pechuga de la carcasa y se deshuesó manualmente. La parte izquierda fue separada para la determinación de textura (T), porcentaje de grasa (PG) y capacidad de Retención de Agua (CRA) y la parte derecha para determinar el color (C), el pH (A) y proteína (PP) Ambas partes fueron congeladas a una temperatura de -20 °C hasta que fueron requeridas para su análisis (Pirmohammadi *et al.*, 2016).

#### 4.2.3.2 Consideraciones de manejo (material vegetal).

El tomillo en polvo fue analizado para determinar su calidad a través de la cuantificación de sus compuestos fenólicos totales y flavonoides. Los compuestos fenólicos se cuantificaron por la técnica de Folin - Ciocalteu (Singleton y col., 1998) y los flavonoides por el método de Heimler y col. (2006). Los resultados fueron expresados como miligramos equivalentes de ácido gálico por gramo de muestra y miligramos equivalentes de catequina por gramo de muestra, respectivamente.

Para la extracción de compuestos fenólicos se usaron 0.5 g de tomillo en polvo, a la cual se le adicionaron 20 mL de una solución metanol-agua (50:50 v/v; pH 2), posteriormente la mezcla fue agitada por 1 h a temperatura ambiente y centrifugada a 4000 g por 10 min para obtener el extracto 1. Se recuperó el sobrenadante y el residuo por separado, a este último se le adicionó 20 mL de una solución acetona-agua (70:30 v/v), la mezcla obtenida se agitó durante 1 h y se centrifugó como se describió anteriormente para obtener el extracto 2. Los 2 extractos fueron mezclados y usados para la cuantificación.

### 4.3 Diseño experimental y Análisis Estadístico

Para lograr los objetivos planteados en el presente trabajo, se desarrolló la metodología de superficie de respuesta (RSM) de Box y Wilson (1951), además se realizaron evaluaciones individuales para ver el efecto de los factores en las variables las características de calidad de la carne.

El desarrollo del modelo se llevó a cabo en dos etapas: en la primera etapa se realizó la reducción de la dimensionalidad a través de un experimento exploratorio de primer orden con los factores definidos y en la segunda etapa se realizó modelo de segundo orden donde se determinó un área de experimentación que minimiza las variables de salida.

#### 4.3.1 Reducción de dimensionalidad (primera etapa)

En la Figura 10 se observa el diagrama general de proceso, donde se establecen como factores de control el tiempo de pastoreo (TP) y la concentración de tomillo adicionado en la dieta (T) y como factores de ruido la temperatura ambiental y la humedad relativa. La salida principal del sistema es el porcentaje de grasa abdominal y las características nutrimentales y fisicoquímicas de la carne de pollo.

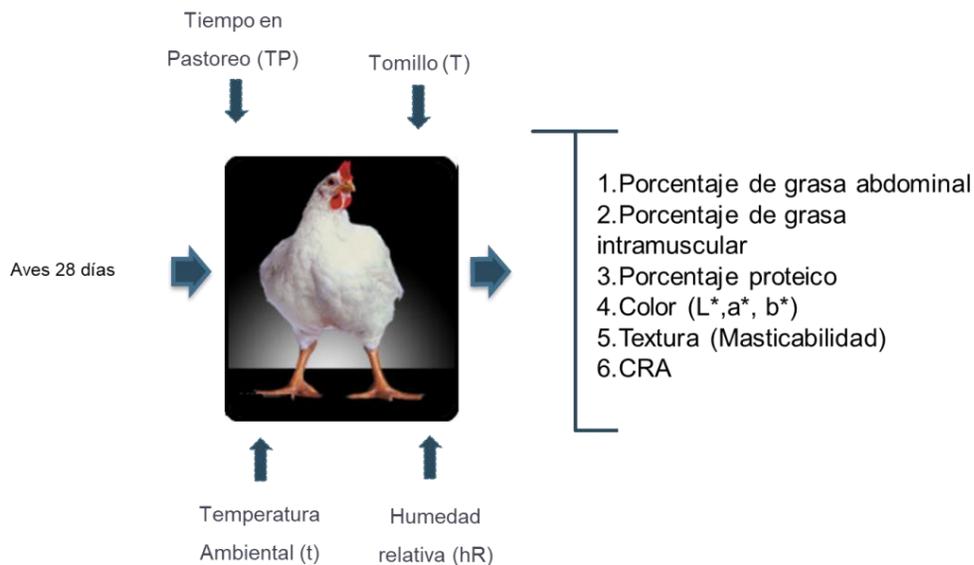


Figura 10. Diagrama General de Proceso (Elab. Propia).

Con la finalidad de estimar el efecto de los factores sobre las características de calidad de la carne y delimitar un área de experimentación, cada factor fue probado en 2 niveles (nivel alto y nivel bajo), a través un diseño bidimensional 2<sup>2</sup> (experimento exploratorio). Para el tomillo se utilizaron concentraciones de 0 y 10 g/k en el alimento y para el tiempo de pastoreo 0 y 11 horas de acuerdo al Tabla 7.

*Tabla 7. Diseño factorial 2<sup>2</sup>*

Grupos	Tomillo (g/kg)	Pastoreo (h)
T <sub>0</sub>	0	0
T <sub>1</sub>	10	0
T <sub>2</sub>	0	11
T <sub>3</sub>	10	11

Para este experimento se utilizaron 48 aves con una edad inicial de 28 días, las cuales fueron distribuidas de manera uniforme en cuatro grupos experimentales (Tabla 7) con 12 aves cada uno. El grupo uno (T<sub>0</sub>) fue considerado como el grupo control el cual se mantuvo bajo condiciones convencionales durante todo el experimento. El grupo dos (T<sub>1</sub>) se mantuvo bajo confinamiento con 0 h de pastoreo y 10 g/kg de tomillo en el alimento. El grupo (T<sub>2</sub>) fue sometido a 11 h de pastoreo y se le suministro alimento convencional. El grupo cuatro (T<sub>3</sub>) se sometió a 11 h de pastoreo y se le suministro alimento con una concentración de 10 g/kg de tomillo. Durante todo el experimento las aves fueron monitoreadas de acuerdo a las consideraciones para el manejo de la nave experimental por un periodo de 28 días.

El alimento suministrado a los tratamientos con tomillo fue preparado en la granja de manera semanal, realizando una mezcla homogénea agregando 10 g de tomillo por cada 1000 g de alimento balanceado. Este fue almacenado en contenedores cerrados hasta su consumo.

El tiempo en pastoreo fue establecido entre las 8:00 y 19:00 horas, considerando la temperatura en el área de pastoreo (>17 °C), abriendo y cerrando las compuertas de acceso para aves durante este horario.

Una vez finalizado el periodo de engorde (28 días) las aves fueron sacrificadas según lo establecido en la sección 5.1.3.1.3 para la obtención de las muestras de carne y grasa abdominal utilizadas en los análisis posteriores.

Los datos obtenidos para cada uno fueron validados estadísticamente a través de la prueba de normalidad de Anderson-Darling, la prueba de homogeneidad de varianzas de Levene y la prueba de poder a través de la potencia de esta. Posteriormente se realizó un análisis de varianza balanceado (ANOVA) en el programa R-Studio Vs 1.1.383, y para determinar las diferencias entre tratamientos, se realizó una prueba de Tukey.

Una vez determinado el nivel de significancia y las características de calidad que mostraron diferencia significativa entre tratamientos, se construyó un diseño central compuesto.

#### 4.3.2 Modelo diseño central compuesto (DCC)

Como primer paso se definió el DCC mostrado en el Tabla 8 con ayuda del programa R Studio Versión 1.1.383, este fue construido de manera circunscrita con respecto al modelo  $2^2$ , agregando puntos estrella y un punto central, adicionalmente se agregó un grupo control T0.

*Tabla 8. Diseño Central Compuesto*

<b>Grupo</b>	<b>Tomillo (%)</b>	<b>Pastoreo (h)</b>
T <sub>0</sub>	0	0
T <sub>1</sub>	1.5	1.6
T <sub>2</sub>	1.5	8.6
T <sub>3</sub>	9	1.6
T <sub>4</sub>	9	8.6
T <sub>5</sub>	5.5	5
T <sub>6</sub>	5.5	0
T <sub>7</sub>	5.5	10
T <sub>8</sub>	0	5
T <sub>9</sub>	5	11

Para este experimento se utilizaron 120 aves con una edad inicial de 28 días y un peso inicial de 447.3±45.9g, las cuales fueron distribuidas de manera

uniforme en diez grupos experimentales (Tabla 7) con 12 aves cada uno. El grupo uno (T0) fue considerado como el grupo control el cual se mantuvo bajo condiciones convencionales durante todo el experimento. El grupo dos (T1) se sometió a 1.5 h de pastoreo y se le suministro alimento con una concentración de 1.6 g/kg de tomillo. El grupo tres (T2) se sometió a 1.5 h de pastoreo y se le suministro alimento con una concentración de 8.6 g/kg de tomillo. El grupo cuatro (T3) se sometió a 9 h de pastoreo y se le suministro alimento con una concentración de 1.6 g/kg de tomillo. El grupo cinco (T4) se sometió a 9 h de pastoreo y se le suministro alimento con una concentración de 8.6 g/kg de tomillo. El grupo seis (T5) se sometió a 5.5 h de pastoreo y se le suministro alimento con una concentración de 5 g/kg de tomillo. El grupo siete (T6) se sometió a 5.5 h de pastoreo y se le suministro alimento convencional. El grupo ocho (T7) se sometió a 5.5 h de pastoreo y se le suministro alimento con una concentración de 10 g/kg de tomillo. El grupo nueve (T8) se sometió a 0 h de pastoreo y se le suministro alimento con una concentración de 5 g/kg de tomillo. El grupo diez (T9) se sometió a 11 h de pastoreo y se le suministro alimento con una concentración de 5 g/kg de tomillo.

Las consideraciones de manejo, muestreo, monitoreo del experimento, así como la obtención y análisis de las muestras de carne se realizaron acuerdo a lo descrito en el experimento exploratorio.

Los datos obtenidos fueron validados estadísticamente a través de la prueba de normalidad de Anderson-Darling, la prueba de homogeneidad de varianzas de Levene y la prueba de poder a través de la potencia de esta. Posteriormente se realizó un análisis de varianza balanceado (ANOVA) con ayuda del programa R-Studio Vs 1.1.383, para verificar el efecto de los factores sobre cada característica de calidad.

Una vez determinado el nivel de significancia y las características de calidad que mostraron diferencia significativa entre tratamientos, se calcularon los

coeficientes para un modelo lineal de segundo orden con respecto a la grasa abdominal e intramuscular (Ecuación 4).

$$\mu_y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{11} x_2^2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \xi \quad (4)$$

La factibilidad de los modelos se evaluó a través de su p- value, los criterios de normalidad, el valor de  $R^2$  ajustada y la significancia de los coeficientes  $\beta$  para cada modelo y posteriormente se determinaron los mejores valores obtenidos.

#### 4.3.3 Efecto de las variables del modelo en las características de calidad de la carne

Para evaluar el efecto de las condiciones establecidas con los modelos sobre las características de calidad de la carne (pH, capacidad de retención de agua, color, masticabilidad, gomosidad, textura, porcentaje de grasa intramuscular y porcentaje proteico), se llevó a cabo una evaluación de la calidad de la carne comercial a través de los métodos utilizados anteriormente y se realizó una comparación de medias con respecto a las especificaciones que marca la literatura para la carne de buena calidad, roja fresca y no exudativa (RFN) Tabla 4.

#### 4.4 Evaluación de las características de calidad

Las características de calidad de la carne de pollo fueron determinadas según lo indicado anteriormente: para su calidad nutricional, el porcentaje de grasa abdominal (PGA) e intramuscular (PGI) y el porcentaje de proteína (PPT); para su calidad fisicoquímica, el pH y la capacidad de retención de agua (CRA), y para su calidad sensorial, el color ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $\Delta E$ ) y la textura (Análisis TPA) de acuerdo a lo indicado en la presente metodología.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIONES

En este capítulo se presentan y discuten los resultados obtenidos en cada una de las etapas de la investigación; la validación de los sistemas de medición, los indicadores productivos del sistema de producción y la determinación de los efectos ocasionados por las variables de control por cada experimento sobre las características de calidad de la carne de pollo, así como las ecuaciones de regresión y los valores encontrados.

### 5.1 Estudio preliminar

#### 5.1.1 Validación de sistemas de medición

Para iniciar con el análisis R&R se realizó un análisis de varianza, el cual nos muestra la significancia de los factores analizados, en este caso el sistema de medición y el operador.

La Tabla 9 nos muestra los resultados obtenidos para la balanza analítica. Como se puede observar el valor del p-value para el operador es igual a cero, lo que indica que el total de mediciones realizadas en la balanza serán confiables. Con respecto a las Partes de acuerdo con su p-value, se puede afirmar que existe diferencia significativa entre ellas.

Tabla 9. ANOVA Estudio R&R- Balanza Analítica

<i>Fuente</i>	<i>DF</i>	<i>SC</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p-value</i>
Operador	2	0.0154613	0.0077306	185.896	0.000
Parte	2	0.0004636	0.0002318	5.574	0.018
Repetibilidad	13	0.0005406	0.0000416		
Total	17	0.0164655			

*Grados de libertad (DF). Suma de Cuadrados (SC). Cuadrados Medios (MS). Valor Fisher Calculado (F.)*

Los datos obtenidos en el análisis de varianza para el colorímetro se muestran en La Tabla 10, al igual que el análisis anterior la el valor del p-value para el operador es igual a cero, indicando un 100% de mediciones correctas y que existe diferencia significativa entre las partes.

Tabla 10. ANOVA R&R- Colorímetro

<b>Fuente</b>	<b>DF</b>	<b>SC</b>	<b>MS</b>	<b>F</b>	<b>p-value</b>
Operador	9	296.35	32.9278	49.9992	0
Parte	2	0.239	0.1195	0.1814	0.836
Parte- Operador	18	11.854	0.6586	2.1091	0.034
Repetibilidad	30	9.367	0.3122		
Total	59	317.81			

Grados de libertad (DF). Suma de Cuadrados (SC). Cuadrados Medios (MS).  
Valor Fisher Calculado (F.)

A partir de estos datos se estima el porcentaje de variación causado por el sistema de medición y sus componentes (repetibilidad y reproducibilidad), así como de las partes, en la Tabla 11 se muestran los resultados para ambos equipos. Es importante mencionar que el número de categorías del obtenidas en el análisis, nos ayuda a definir si éste es aceptable de acuerdo a las directrices de la AIAG para la los instrumentos de medición. En este caso el número de categorías en ambos análisis fue 5, lo que se considera aceptable ya que a este sistema aceptable y capaz de detectar diferencias entre partes fue 5.

Tabla 11. Componentes de variación Estudio R&R- Balanza Analítica y Colorímetro

<b>Fuente</b>	<b>Contribución (%)</b>	
	<i>Balanza Analítica</i>	<i>Colorímetro</i>
R&R Total	5.41	8.88
Repetibilidad	3.07	5.67
Reproducibilidad	2.34	3.21
Operador* Parte	N/A	0.00
Operador	2.34	3.21
Parte a Parte	94.59	91.12
Variación Total	100	100.00

En la Figura 11 se muestra el análisis global del estudio R&R para la balanza. Aquí se puede observar que la variación entre partes es la que aporta mayor variación a las mediciones (94.59 %) y que el operador (reproducibilidad) aporta un porcentaje muy pequeño aunque no necesariamente resulta significativo.

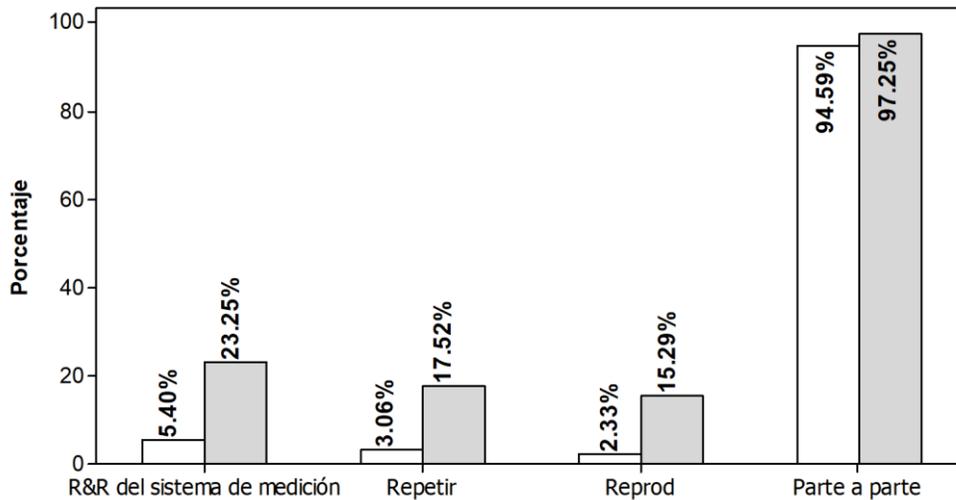


Figura 11. Componentes de Variación R&R- Balanza Analítica.

Con respecto a la variación entre las piezas utilizadas en la validación, la Figura 12 muestra un gráfico de control X-R, donde se puede que existen grandes diferencias entre partes, lo que coincide con los resultados de los componentes de variación. Además nos indica que el operador tres no mide consistentemente ( $p\text{-value} = 0.00$ ).

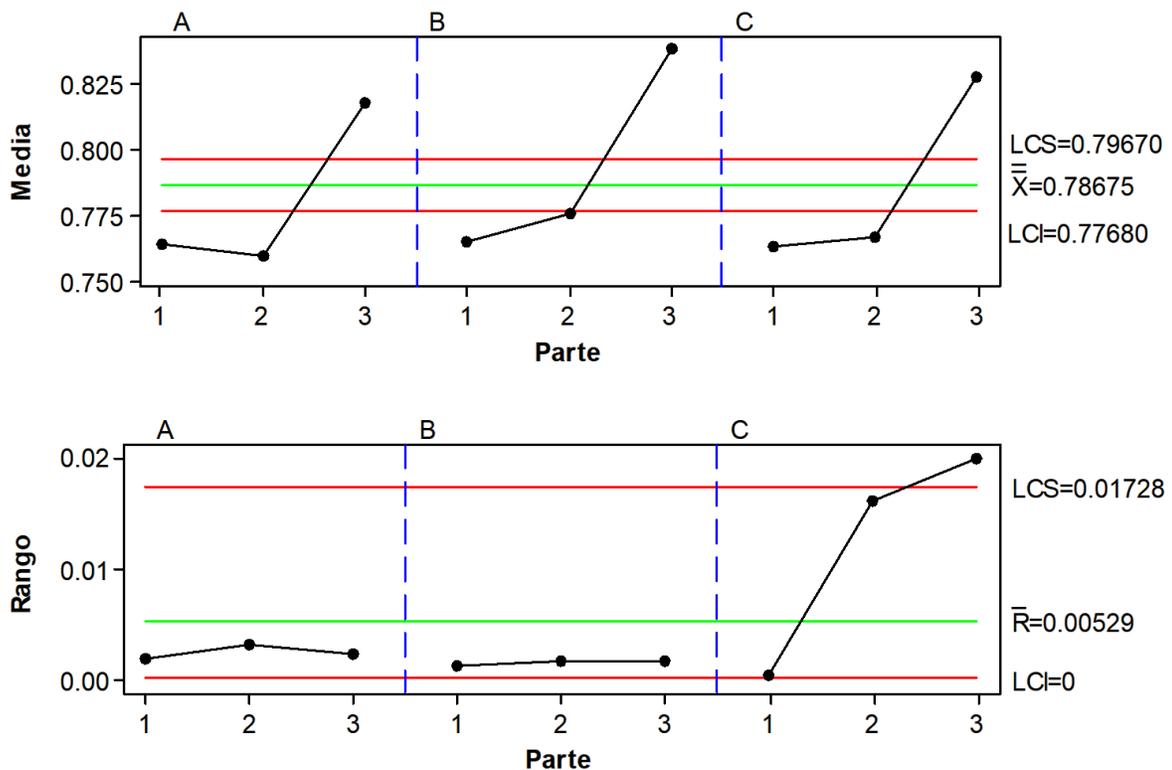


Figura 12. Grafico de control X-R. R&R- Balanza Analítica.

En la Figura 13 se muestra el análisis global del estudio R&R para el colorímetro. Aquí se puede observar que la variación entre partes es la que aporta mayor variación a las mediciones (91.72 %) y que el operador aporta un 2.95%.

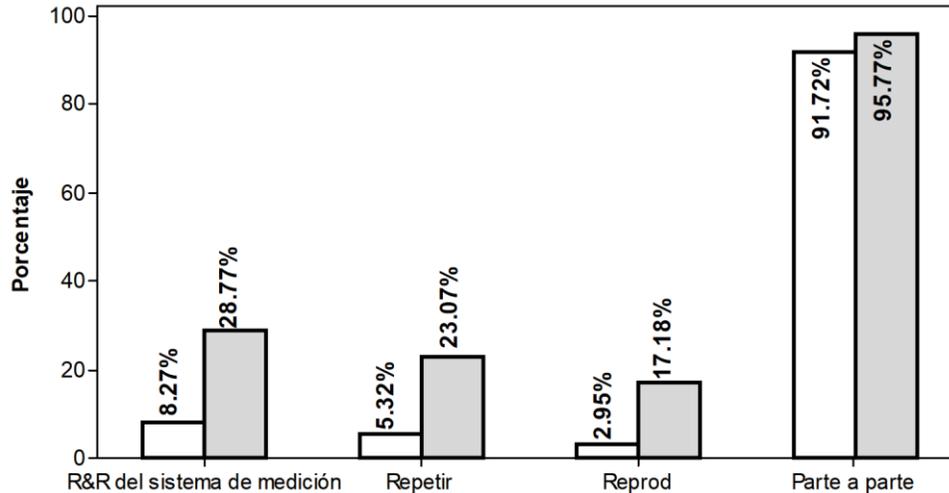


Figura 13. Componentes de Variación R&R –Colorímetro.

Para discutir cómo afecta el porcentaje de variación del operador con respecto a la de las piezas podemos observar la Figura 14, donde se muestra un gráfico de control X-R, aquí al igual que en el caso anterior se puede observar que existen grandes diferencias entre partes, como indican los componentes de variación de la Figura 13. Además muestra una variación entre las mediciones de los operadores. Por otro lado la Figura 15 ilustra la variación que existe entre operadores, para reproducir la medición, con lo que podemos confirmar que los tres miden consistentemente ya que no existe mucha diferencia entre sus mediciones.

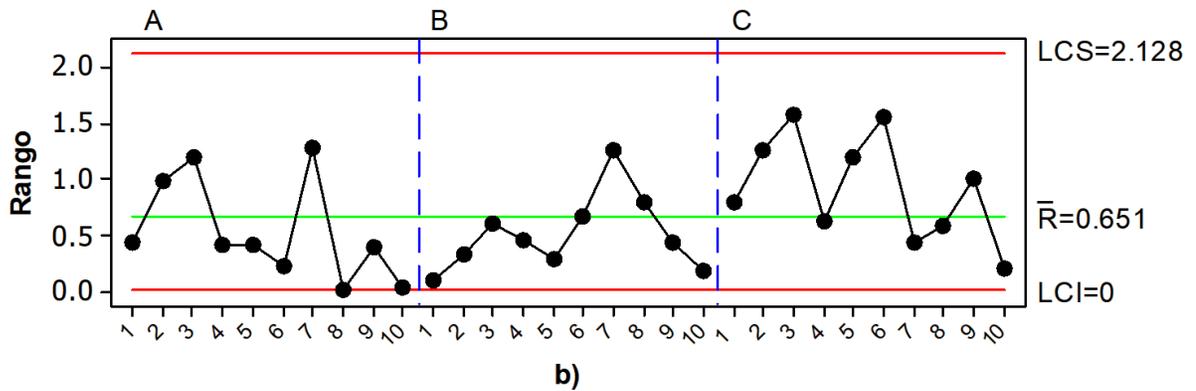
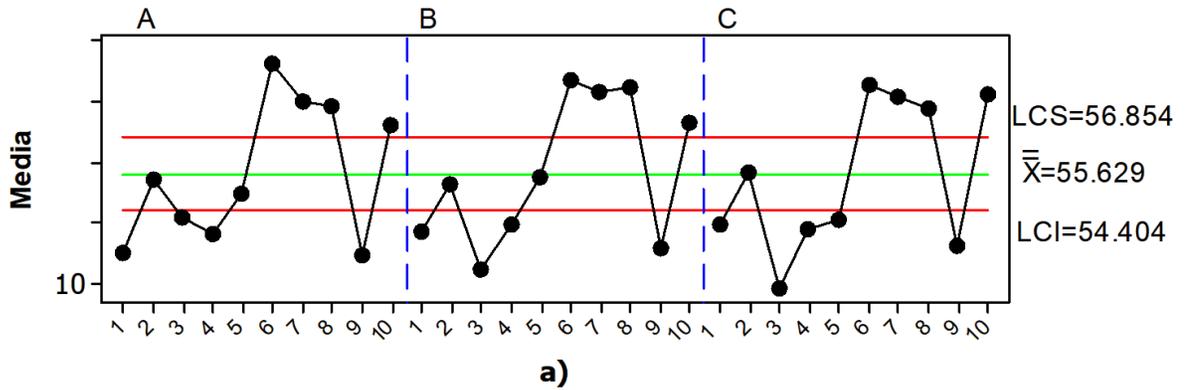


Figura 14. Gráfico de control X-R - Colorímetro.

a) Gráfico de promedios. b) Gráfico de Rangos.

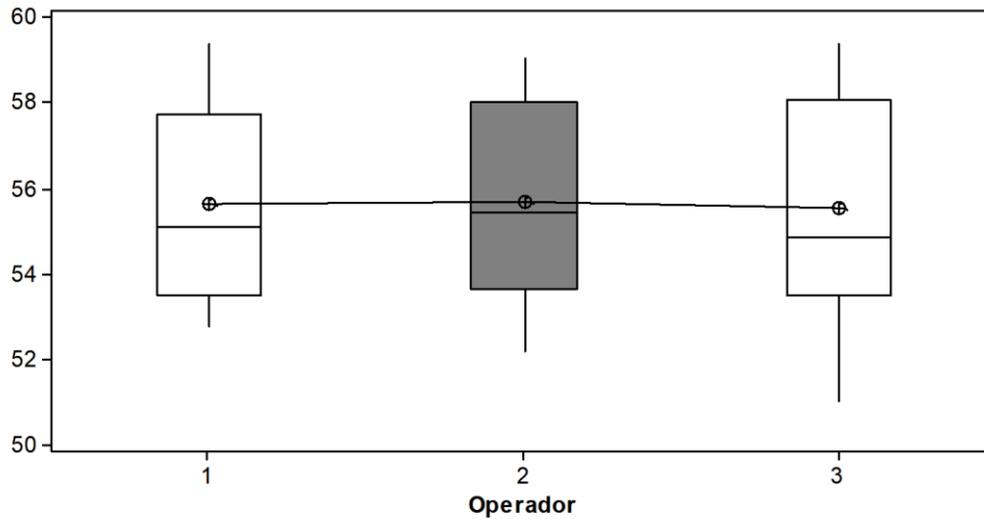


Figura 15. Componentes de Variación R&R - Colorímetro.

El análisis descriptivo para los datos obtenidos para el porcentaje de grasa abdominal (PGA) y el contenido proteico mostro que los datos se comportan de manera normal con media de 3.17 y desviación estándar de 0.43 para el PGA y

para el PPT con media de 23.63 y desviación estándar de 0.67 y con P- values de 0.62 y 0.72 respectivamente (Figuras 16 y 17).

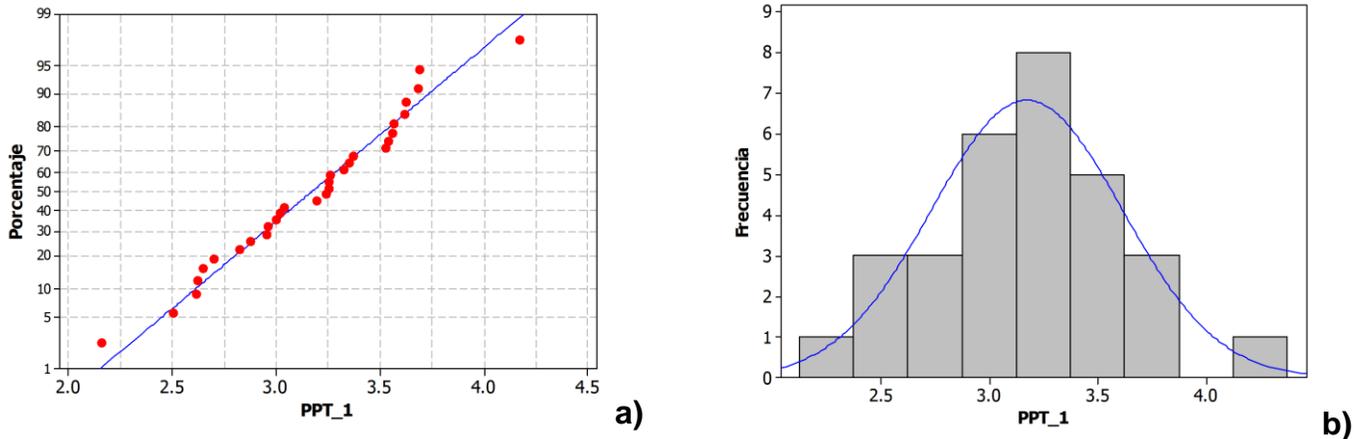


Figura 16. Estadística descriptiva sistema de medición - PGA. a.Prueba de normalidad, b.Histograma con curva normal.

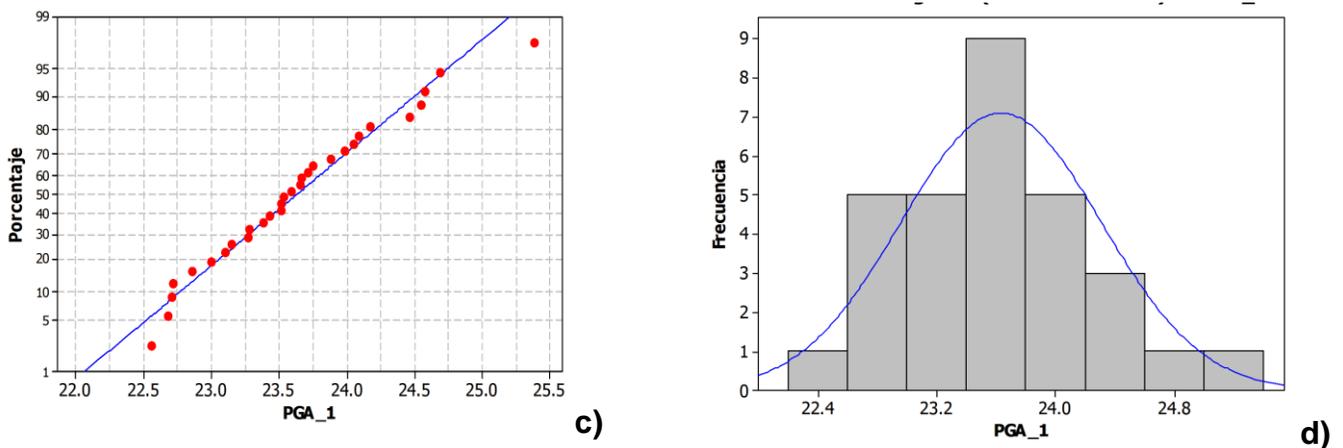


Figura 17. Estadística descriptiva sistema de medición - PPT. a.Prueba de normalidad, b.Histograma con curva normal.

### 5.1.2 Calidad de Carne convencional

Los datos obtenidos de las muestras de carne convencional se utilizaron para determinar las características de calidad de la carne, obteniendo los resultados mostrados en la Tabla 12, para cada uno se determinó la prueba de normalidad y homogeneidad de los datos, como se puede observar dos de las características de textura no cumplieron con este supuestos.

Tabla 12. Características de calidad- Carne Convencional.

Característica	$\mu \pm \sigma$	$\sigma^2 = \sigma^2$	N( $\mu, \sigma$ )
PGI	03.17±0.43	0.18	0.62
PPT	23.63±0.67	0.62	0.72
L*	56.14±1.16	0.55	0.53
a*	12.54±1.62	0.52	0.17
b*	24.23±2.39	0.79	0.35
CRA	06.95±1.18	0.53	0.50
D	00.50±0.07	9.99	0.02
COH	00.65±0.05	0.61	0.92
EL	02.34±0.92	0.56	0.05
MAST	14.45±4.16	0.91	0.02

Porcentaje de grasa intramuscular (PGI), Porcentaje de proteína soluble (PPT), Luminosidad (L\*), índice rojo (a\*), índice de amarillo (b\*), Capacidad de Retención de Agua (CRA), Dureza (D), Cohesividad (COH), Elasticidad (EL\*), Masticabilidad (MAST).

## 5.2 Establecimiento del sistema de producción

El alimento utilizado en el sistema de producción fue analizado para determinar su composición nutrimental de las dietas suministradas. Se utilizaron dos dietas Crecimiento (22-35 días) y engorde (36-56 días) en la Tabla 13 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 13. Composición nutrimental del alimento.

DIETA EDAD (DIAS)	CRECIMIENTO	ENGORDE
	22-35	36-56
Materia Seca (%)	88.335	87.835
Extracto Etereo (%)	5.766	5.871
Calcio (%)	1.092	1.02
Fósforo DISPONIBLE (%)	0.377	0.337
Energía Met. Aves (Mc)	3.185	3.21
Lisina (%)	1.006	0.896
Metionina + Cistina (%)	0.677	0.588
Treonina (%)	0.736	0.669
Sodio (%)	0.161	0.161
Magnesio (%)	0.148	0.143
Lisina Dig. (%)	0.852	0.719
Metionina Dig. (%)	0.623	0.619
Isoleucina Dig. Aves (%)	0.426	0.381
Arg. Dig Aves (%)	0.591	0.49
Proteína Cruda (%)	20.2328	18.388
Fibra Cruda (%)	2.462	2.444
Fósforo (%)	0.637	0.584
Cenizas Totales (%)	4.952	4.74
Arginina (%)	1.104	0.927
Metionina (%)	0.702	0.722
Triptófano (%)	0.193	0.178
Ácido Linoleico (%)	2.586	2.379
Potasio (%)	0.682	0.605
Cloro (%)	0.277	0.284
Treonina Dig. Aves (%)	0.594	0.525

Fuente: *Nutrición Técnica Animal*.

El tomillo utilizado en la preparación de las dietas tuvo un contenido total de compuestos fenólicos de  $8.45 \pm 0.27$ , que concuerda con lo reportado para esta planta (Roby *et al.*, 2013).

Las aves utilizadas tuvieron un peso promedio de  $814.5 \pm 126.9$  para el experimento exploratorio (EE) y  $805.1 \pm 80.65$  para el experimento de superficie de respuesta (RSM). Se realizó una prueba de normalidad al 95% confianza a través

del estadístico Anderson Darling para cada conjunto de datos, en la Figura 18 se muestra la prueba de normalidad y un histograma con curva normal para los datos del EE donde se observa que los datos se comportan de manera normal.

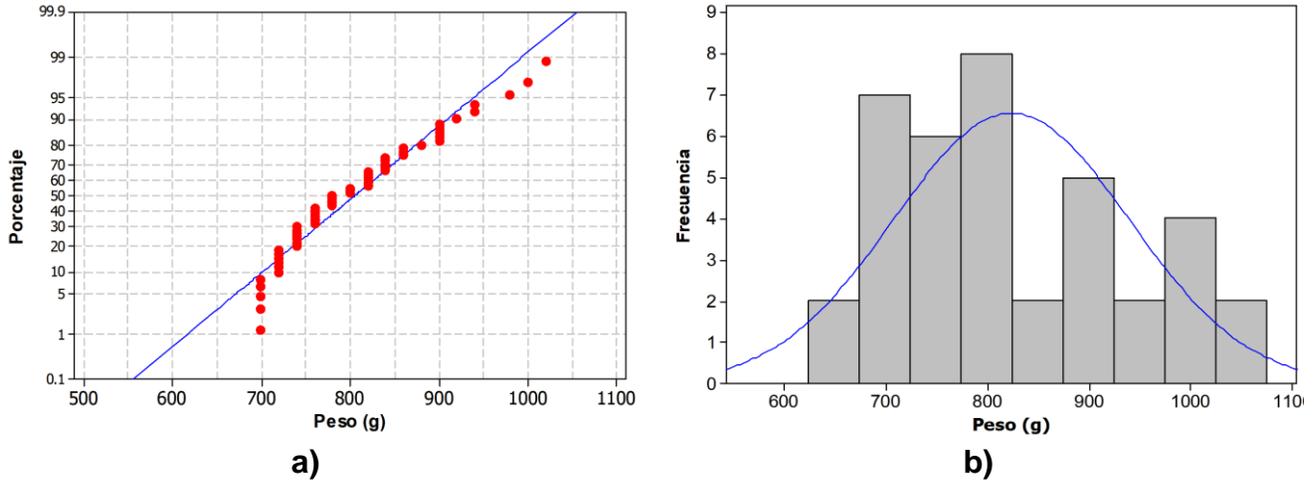


Figura 18. Peso inicial aves. EE

a) Prueba de normalidad. b) Histograma con curva normal.

En el EE Tabla 14 se puede notar que el tratamiento con mejor conversión fue el T3, aunque no hubo diferencia significativa con respecto a los grupos T0 y T2. Siendo el T1 el que tuvo una menor conversión y por lo tanto un menor rendimiento, lo que concuerda con lo reportado por (Hassan y Awad, 2017) que observaron un aumento en el consumo y una disminución en la ganancia de peso en las aves bajo sistemas convencionales que consumieron un porcentaje de tomillo mayor a 5g/kg.

El porcentaje de sobrevivencia de todo el lote se encontró dentro de lo normal >90% con excepción del T2, lo que se puede atribuir al el tiempo en pastoreo sin la inclusión del tomillo, esto concuerda con lo reportado por (Gaafar *et al.*, 2014), que encontraron más susceptibles a las aves que no contaron con un suplementos basado en plantas como el tomillo y el orégano.

Tabla 14. Monitoreo de Proceso - Experimento EE.

Tratamiento	Peso promedio Final (g)	Conversión alimenticia	Sobrevivencia (%)
T <sub>0</sub>	2840	2.08	91
T <sub>1</sub>	3363	1.72	92
T <sub>2</sub>	2963	2.02	85
T <sub>3</sub>	2675	2.09	100

T<sub>0</sub>: 0 h pastoreo – 0 g/kg tomillo; T<sub>1</sub>: 0 h pastoreo - 10 g/kg tomillo; T<sub>2</sub>: 10 h pastoreo – 0 g/kg tomillo; T<sub>3</sub>: 10 h pastoreo - 10 g/kg tomillo.

Valores con índices similares no muestran diferencia estadísticamente significativa  $p < 0.05$

En la Figura 19 se muestra la prueba de normalidad para los datos del experimento RSM donde se observa que los datos se comportan de manera normal.

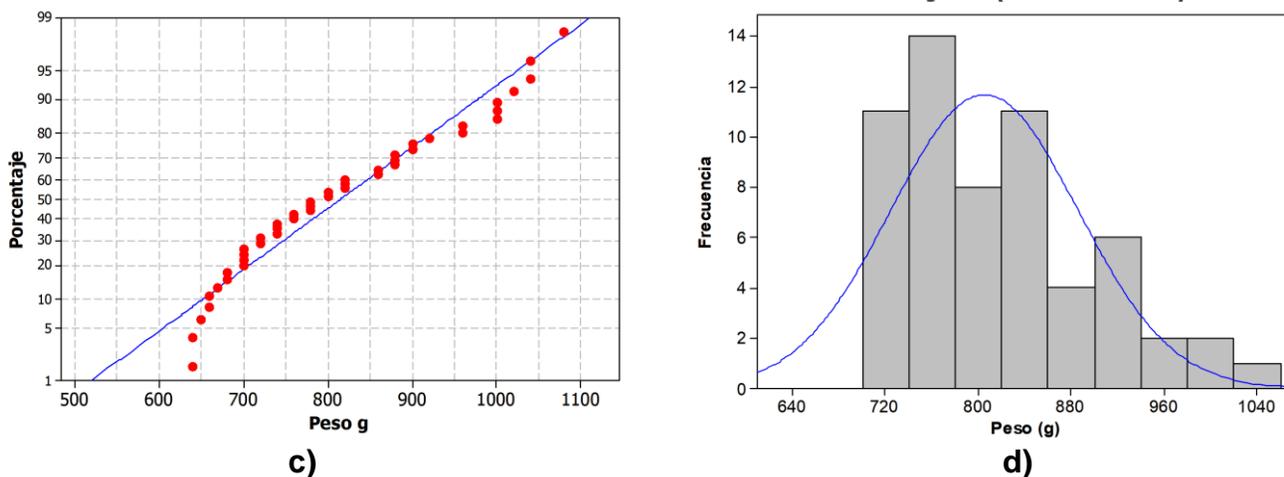


Figura 19. Peso inicial aves -Experimento RSM.

b) Prueba de normalidad. d) Histograma con curva normal.

Para éste experimento se puede notar que el tratamiento con mejor conversión fue el T<sub>9</sub>, aunque no hubo diferencia significativa con respecto a los grupos T<sub>0</sub> y T<sub>7</sub> Tabla 15. En este caso el grupo T<sub>6</sub> tuvo la menor conversión, por lo

tanto un menor rendimiento, este grupo tuvo un consumo de 5 g/kg de tomillo y 5 horas y concuerda con lo mencionado por Hassan y Awad(2017), sin embargo se nota un efecto por el tiempo en pastoreo, que en este caso es negativo, ya que debido a la actividad física como lo Lin y colaboradores (2014) el consumo aumentó, sin aumentar la masa muscular.

*Tabla 15. Monitoreo de Proceso -Experimento RSM.*

<b>Grupo</b>	<b>Peso Final (g)</b>	<b>Conversión alimenticia</b>	<b>Sobrevivencia (%)</b>
T <sub>0</sub>	2563	2.16	92
T <sub>1</sub>	2708	1.70	100
T <sub>2</sub>	2557	2.00	100
T <sub>3</sub>	2713	1.85	92
T <sub>4</sub>	2520	2.19	83
T <sub>5</sub>	2617	1.94	92
T <sub>6</sub>	2757	1.51	92
T <sub>7</sub>	2650	2.11	83
T <sub>8</sub>	2583	1.80	100
T <sub>9</sub>	2742	2.25	75

*Grupo. T<sub>0</sub>: 0 h pastoreo – 0 g/kg tomillo; T<sub>1</sub>: 1.5 h pastoreo – 1.6 g/kg tomillo; T<sub>2</sub>: 1.5 h pastoreo – 8.6 g/kg tomillo; T<sub>3</sub>: 9 h pastoreo – 1.6 g/kg tomillo ; T<sub>4</sub>: 9 h pastoreo – 8.6 g/kg tomillo ; T<sub>5</sub>: 5.5 h pastoreo – 5 g/kg tomillo ; T<sub>6</sub>: 5.5 h pastoreo – 0 g/kg tomillo ; T<sub>7</sub>: 5.5 h pastoreo – 10 g/kg tomillo ; T<sub>8</sub>: 0 h pastoreo – 5 g/kg tomillo ; T<sub>9</sub>: 11 h pastoreo – 5 g/kg tomillo*

*Valores con índices similares no muestran diferencia estadísticamente significativa p<0.05*

El porcentaje de sobrevivencia de todo el lote se encontró dentro de lo normal >90% con excepción del T<sub>4</sub>, T<sub>7</sub> y T<sub>9</sub>, en caso del T<sub>4</sub> y el T<sub>9</sub> se tuvo una alta concentración de tomillo y una cantidad larga de tiempo en pastoreo, no se tienen evidencias para comparar estos resultados, pero se muestra una tendencia de que los factores deben mantenerse por debajo de los valores medios. Además como se puede observar en la Figura 20 y 21 los rangos de temperatura y humedad relativa fueron distintos en cada etapa experimental, lo que pudo haber afectado principalmente estos parámetros.

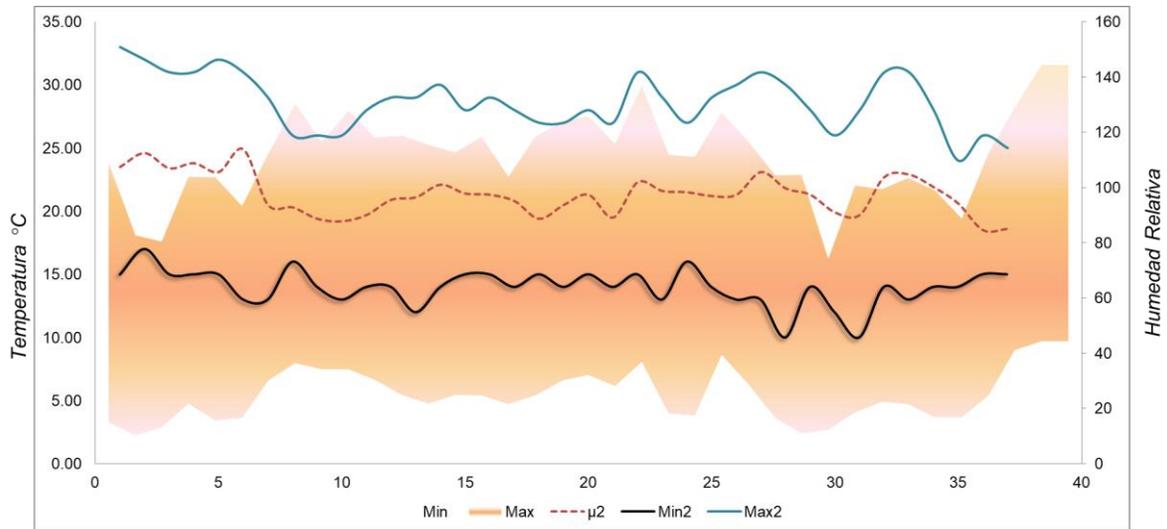


Figura 20. Temperatura y Humedad relativa- Experimento EE (Mayo-Junio 2017). Estación meteorológica UAQ Campus Amazcala

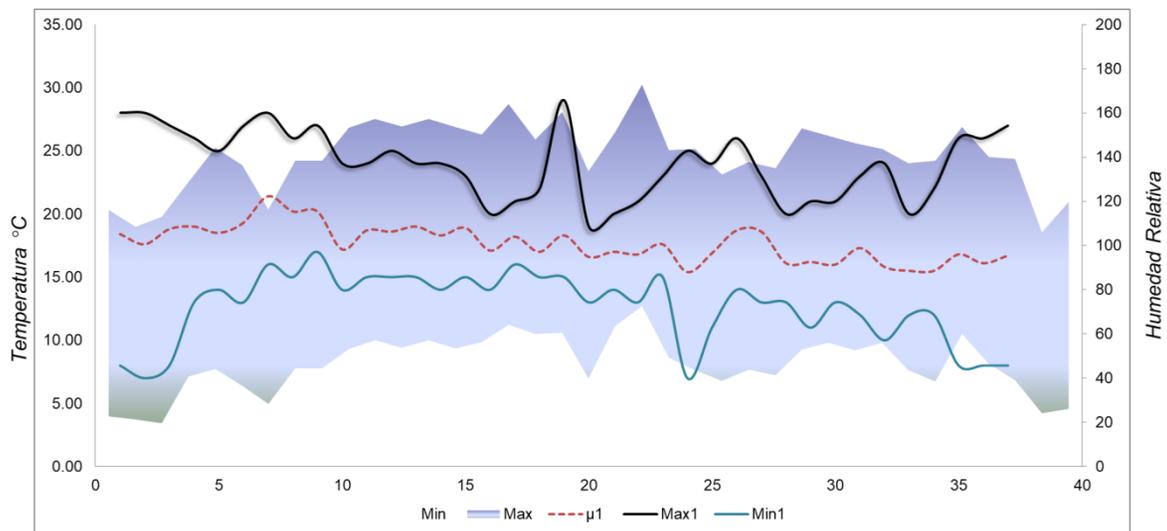


Figura 21. Temperatura y Humedad relativa- Experimento RSM (Septiembre-Octubre 2017). Estación meteorológica UAQ Campus Amazcala.

### 5.3 Efecto de los factores de control sobre calidad de la carne.

Una vez obtenidos los datos de las características de calidad de la carne se verificó que éstos tuvieran un comportamiento normal y fueran homogéneos, con la finalidad de verificar los supuestos para el uso del Análisis de varianza (ANOVA). Como se puede observar en la Tabla 16, algunos supuestos no se cumplen, por ejemplo para el caso del PGA, los datos no muestran una distribución normal, para utilizar los datos en un ANOVA se realizó una aproximación a la normal a través de la transformación de Box- Cox en el software Minitab 16 ®, con un Lambda= 0, consiguiendo un 0.98 en la prueba de normalidad.

Tabla 16. Validación estadística de los datos EE.

Característica	$\sigma^2=\sigma^2$	N( $\mu, \sigma$ )
PGA	0.56	0.04 *
PGI	0.18	0.31
PP	0.62	0.63
L*	0.55	0.18
a*	0.52	0.23
b*	0.79	0.35
CRA	0.53	0.08
D	9.99	0.61
COH	0.61	0.94
EL	0.56	0.57
MAST	0.91	0.34

Porcentaje de grasa abdominal (PGA), Porcentaje de grasa intramuscular (PGI), Porcentaje de proteína soluble (PPT), Luminosidad (L\*), índice rojo (a\*), índice de amarillo (b\*), Capacidad de Retención de Agua (CRA), Dureza (D), Cohesividad (COH), Elasticidad (EL\*), Masticabilidad (MAST).

Una vez comprobados los supuestos, se verificó la significancia de cada factor así como la interacción de los mismos sobre cada característica de calidad. A continuación se muestra un resumen del comportamiento de cada variable con respecto a cada tratamiento. La Tabla 17 muestra un resumen de los análisis de varianza realizados, además establece las diferencias entre tratamientos,

calculadas a través de la prueba de Tukey. Los resultados obtenidos no mostraron diferencia significativa para ninguna de las variables fisicoquímicas a excepción del  $\Delta E$  que logro diferenciar al tratamiento T2 de los demás tratamientos, y de acuerdo con los datos de la escala  $L^*a^*b^*$ , estos mostraron un color más amarillo, lo que concuerda con, que liga el efecto del tomillo en la coloración de la carne.

Tabla 17. Prueba de Tukey ANOVA Características de Calidad experimento EE.

T	PGA	PGI	PPT	L*	a*	b*
T <sub>0</sub>	0.92±0.29 <sup>a</sup>	3.78±0.29 <sup>b</sup>	21.57±0.41 <sup>a</sup>	52.6±2.23 <sup>a</sup>	16.88±0.16 <sup>a</sup>	21.31±1.4 <sup>a</sup>
T <sub>1</sub>	2.36±0.87 <sup>b</sup>	4.5±0.36 <sup>b</sup>	21.54±0.12 <sup>a</sup>	50.87±2.85 <sup>a</sup>	19.11±3.47 <sup>a</sup>	21.71±1.32 <sup>a</sup>
T <sub>2</sub>	1.18±0.36 <sup>ab</sup>	3.59±0.87 <sup>ab</sup>	22.04±0.87 <sup>a</sup>	53.51±1.49 <sup>a</sup>	16.43±2.9 <sup>a</sup>	24.13±2.24 <sup>a</sup>
T <sub>3</sub>	1.08±0.24 <sup>ab</sup>	2.83±0.24 <sup>a</sup>	22.24±0.17 <sup>a</sup>	54.19±0.73 <sup>a</sup>	14.67±2.21 <sup>a</sup>	22.45±2.73 <sup>a</sup>

T	$\Delta E$	CRA	D	COH	EL	MAST
T <sub>0</sub>	2.57±0.16 <sup>a</sup>	25.96±2.6 <sup>a</sup>	10.78±1.73 <sup>a</sup>	0.55±0.01 <sup>a</sup>	0.68±0.04 <sup>a</sup>	2.66±0.26 <sup>a</sup>
T <sub>1</sub>	2.27±0.77 <sup>a</sup>	24.68±0.84 <sup>a</sup>	09.41±2.11 <sup>a</sup>	0.53±0.03 <sup>a</sup>	0.65±0.01 <sup>a</sup>	2.22±0.38 <sup>a</sup>
T <sub>2</sub>	4.66±0.72 <sup>b</sup>	25.87±4.78 <sup>a</sup>	10.26±2.36 <sup>a</sup>	0.50±0.02 <sup>a</sup>	0.66±0.04 <sup>a</sup>	2.43±0.46 <sup>a</sup>
T <sub>3</sub>	3.25±0.27 <sup>a</sup>	26.58±3.3 <sup>a</sup>	9.31±1.94 <sup>a</sup>	0.53±0.06 <sup>a</sup>	0.68±0.02 <sup>a</sup>	2.3±0.57 <sup>a</sup>

Grupo (T), T<sub>0</sub>: 0 h pastoreo – 0 g/kg tomillo; T<sub>1</sub>: 0 h pastoreo - 10 g/kg tomillo; T<sub>2</sub>: 10 h pastoreo – 0 g/kg tomillo; T<sub>3</sub>: 10 h pastoreo - 10 g/kg tomillo. Porcentaje de grasa abdominal (PGA, Porcentaje de grasa intramuscular (PGI), Porcentaje de proteína soluble (PPS), Luminosidad (L\*), índice rojo (a\*), índice de amarillo (b\*). Capacidad de Retención de Agua (CRA), Dureza (D), Cohesividad (COH), Elasticidad (EL\*), Masticabilidad (MAST).

Valores con índices similares no muestran diferencia significativa  $p < 0.05$ .

Con respecto a las variables nutrimentales, se observó diferencia entre los grupos de acuerdo a su PGA y PGI, sin verse afectado el porcentaje proteico, los valores encontrados se encuentran dentro de lo mencionado por las referencias nacionales y autores que han estudiado estas características (SAGARPA, 2013;

Mudalal, 2014; USDA, 2016;). En la Tabla 17 se puede observar diferencia significativa ( $p\text{-value}<0.05$ ) entre el  $T_0$  y el  $T_1$  para el PGA y para el PGI solo se observó diferencias entre el  $T_3$  y el  $T_0$ , y el  $T_3$  con el  $T_2$ .

En la Figura 22 se puede observar que el tratamiento con mayor porcentaje de grasa abdominal (PGA) es el  $T_1$  que se mantuvo bajo un sistema convencional con una concentración de 10 g/kg de tomillo.

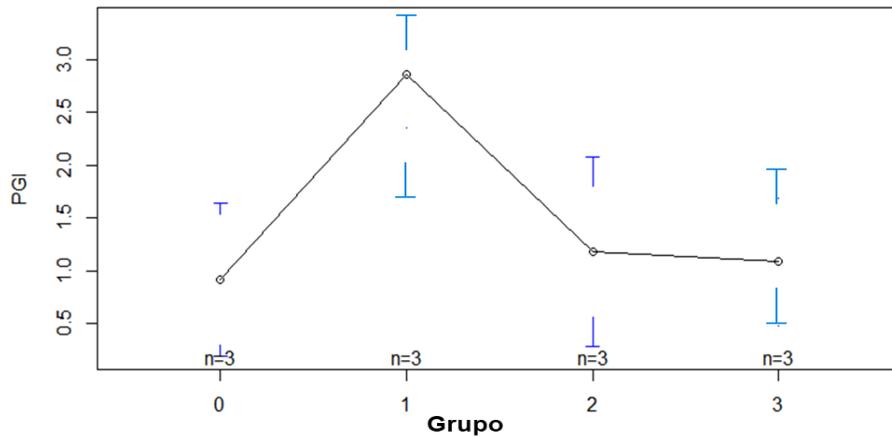


Figura 22. Grafica de Intervalos por grupos- PGA.

En la Figura 23 se puede observar que el tratamiento con mayor porcentaje de grasa abdominal (PGI) es el  $T_1$  al igual que los datos del PGA, lo que denota una correlación entre estas variables.

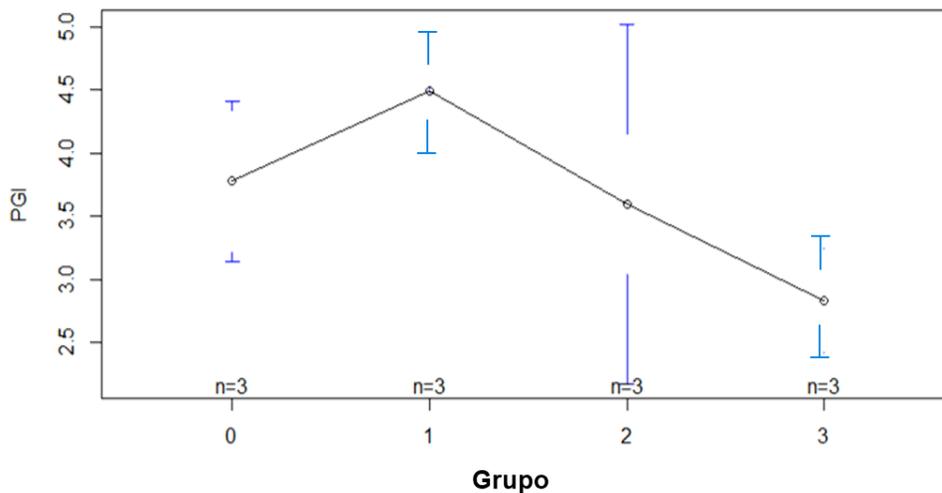


Figura 23. Grafica de Intervalos por grupos- PGI.

En la Tabla 18 se muestra el análisis de varianza para el PGA, donde se muestra que el Tomillo y su interacción con el Tiempo de Pastoreo son significativos, el cuál mostró diferencias significativas entre tratamientos debido a la inclusión de tomillo (p-value<0.05) y a su interacción con el tiempo en pastoreo (p-value<0.05).

Tabla 18. ANOVA para PGA Normalizado.

<b>Fuente</b>	<b>DF</b>	<b>SC</b>	<b>MS</b>	<b>F</b>	<b>p-value</b>
Horas	1	0.18901	0.18901	1.8488	0.21101
Tomillo	1	0.56392	0.56392	5.5159	0.04678 *
Horas: Tomillo	1	0.75072	0.75072	7.3430	0.02667 *
Error	8	8.081789	0.10224		
Horas	1	0.18901	0.18901	1.8488	0.21101

Significancia: 0 \*\*\*\*0.001 \*\*\*0.01 \*\*0.05 Grados de libertad (DF). Suma de Cuadrados (SC). Cuadrados Medios (MS). Valor Fisher Calculado (F).

Con respecto al PGI al ANOVA de Tabla 19 muestra la significancia de los factores, aquí se puede observar que al igual que para el PGI el Tomillo y su interacción con el Tiempo de Pastoreo son significativos.

Tabla 19. ANOVA - PGI.

<b>Fuente</b>	<b>DF</b>	<b>SC</b>	<b>MS</b>	<b>F</b>	<b>p-value</b>
Tiempo de pastoreo	1	0.00141	0.00141	0.0135	0.910303
Tomillo	1	2.56216	2.56216	24.5572	0.001113 **
Tiempo de pastoreo: Tomillo	1	1.65236	1.65236	15.8372	0.004064 **
Error	8	0.83467	0.10433		

Significancia: 0 \*\*\*\*0.001 \*\*\*0.01 \*\*0.05 Grados de libertad (DF). Suma de Cuadrados (SC). Cuadrados Medios (MS). Valor Fisher Calculado (F).

En este experimento se encontró significativa la interacción de los factores para las dos variables sin embargo con respecto a lo planteado en los objetivos, solo los datos obtenidos para el PGA son útiles para delimitar el área experimental.

En la Figura 24 se puede observar el efecto estandarizado de los factores sobre esta variable, en este caso y de acuerdo con el ANOVA de la tabla 19, el Tiempo de pastoreo (A) resulta significativo, sin embargo de acuerdo con el gráfico se puede observar que la concentración de tomillo utilizada en este experimento presenta una tendencia a aumentar el PGA, ya que se encuentra en el área

positiva, lo que para este caso indica que si la concentración de tomillo es mayor, el PGA también lo es, sin embargo como la interacción Tomillo: Tiempo de pastoreo se encuentra en el área negativa, el modelo sugiere que el Tiempo en pastoreo es una variable importante aunque por sí sola no tenga efecto en el PGA.

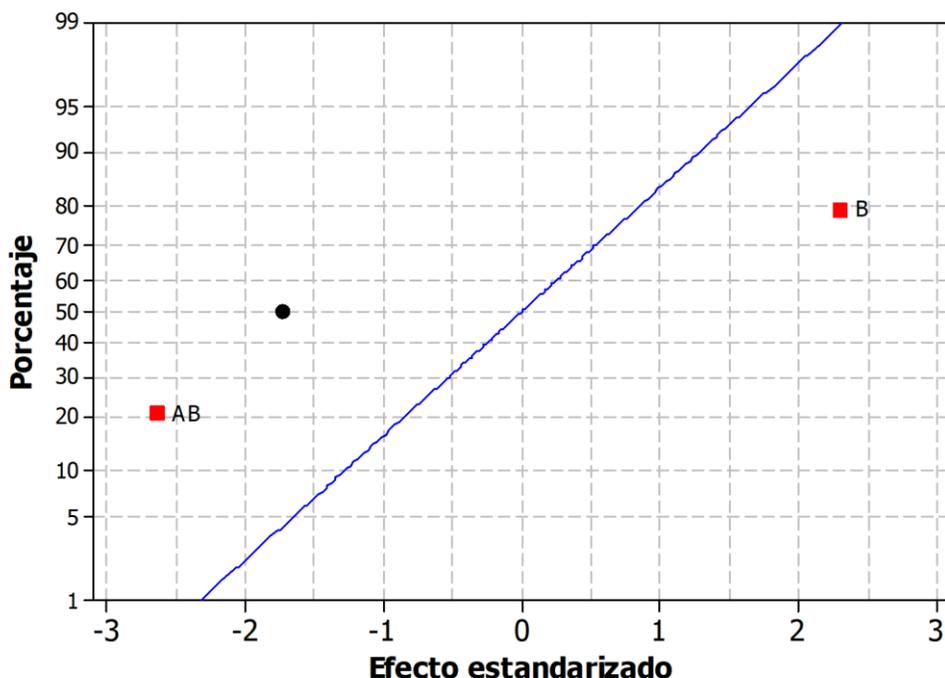


Figura 24. Gráfica Normal de efectos estandarizados -PGA. Tiempo en pastoreo (A), Concentración de Tomillo (B). ■ Significativo. ● No significativo.

De acuerdo al análisis de varianza se observó un aumento en el PGA para las aves a las que se les suministró el aditivo y se mantuvieron sin acceso al pastoreo (T1) y para las aves con suministro del aditivo se observó una disminución (T3), por lo que la interacción de los factores en un nivel óptimo pueden disminuir el PGA.

#### 5.4 Disminución del porcentaje de grasa

A partir de los datos del experimento anterior se determinaron los niveles experimentales de las variables de control. Los datos obtenidos al igual que en el E1 se validaron estadísticamente, en la Tabla 20, se muestra el resumen de esta

validación. Aquí se puede observar que todos los supuestos tanto para para la grasa intramuscular como para la grasa abdominal se cumplen, por lo que se procedió con el análisis.

*Tabla 20. Validación estadística de los datos Experimento MSR.*

<b>Característica</b>	<b><math>\sigma^2=\sigma^2</math></b>	<b>PW Sistema</b>	<b>PW Tomillo</b>	<b>N(<math>\mu, \sigma</math>)</b>
PGA	0.60	0.99	0.99	0.09
PGI	0.34	1	0.99	0.19
PPT	0.74	0.99	1	0.84
CC	0.40	0.84	0.78	1.316e-12
L*	0.42	0.76	0.72	0.37
a*	0.99	0.92	0.99	0.50
b*	0.91	0.99	0.99	0.09
D	0.94	0.68	0.99	0.16
COH	0.80	0.51	0.60	2.48e-05
EL	0.79	0.98	0.42	0.04
MAST	0.97	0.81	0.99	0.10

*Porcentaje de grasa abdominal (PGA), Porcentaje de grasa intramuscular (PGI), Porcentaje de proteína Total (PPT), Luminosidad (L\*), Índice rojo (a\*), Índice de amarillo (b\*), Capacidad de Retención de Agua (CRA), Dureza (D), Cohesividad (COH), Elasticidad (EL\*), Masticabilidad (MAST).*

De acuerdo a lo observado en el experimento anterior, donde se observó una relación entre las variables PGI y PGA se planteó un análisis de correlación entre estas. Encontrando que el PGI es predictor del PGA (Coeficiente de correlación: 0.79). Este resultado concuerda con lo expuesto por Fouad (2014), que considera que el PGA es un indicador confiable para evaluar el contenido total de grasa corporal en las especies aviares, por lo que el modelo de optimización de realizará para la variable de porcentaje de grasa abdominal.

Adicionalmente se realizaron análisis de varianza para verificar si las condiciones en el experimento afectaron en las variables de calidad, sin embargo como se observa en la Tabla 21 y en la Figura 24 no se encontró evidencia de cambios en esta, al igual que lo observado en el E1.

Tabla 21. Prueba de Tukey - Características de Calidad Experimento MSR.

TRAT	PGA	PGI	PPS	L*	a*	b*
T <sub>0</sub>	1.12±0.03 <sup>ae</sup>	5.71±0.02 <sup>b</sup>	22.9±1.12	55.14±0.31 <sup>a</sup>	13.79±1.42 <sup>a</sup>	26.86±1.43 <sup>a</sup>
T <sub>1</sub>	0.74±0.12 <sup>ae</sup>	3.73±0.01 <sup>a</sup>	23.93±0.84	53.64±2.3 <sup>a</sup>	15.56±1.25 <sup>a</sup>	24.16±2.27 <sup>a</sup>
T <sub>2</sub>	1.18±0.05 <sup>be</sup>	3.6±0.21 <sup>a</sup>	18.69±0.13	54.73±0.49 <sup>a</sup>	13.66±0.8 <sup>a</sup>	24.5±2.15 <sup>a</sup>
T <sub>3</sub>	1.65±0.12 <sup>ae</sup>	5.41±0.25 <sup>b</sup>	23±0.19	55.84±2.97 <sup>a</sup>	13.63±1.65 <sup>a</sup>	25.87±0.87 <sup>a</sup>
T <sub>4</sub>	1.55±0.05 <sup>de</sup>	4.66±0.19 <sup>c</sup>	24.52±1.1	53.96±0.27 <sup>a</sup>	14.73±1.2 <sup>a</sup>	26.36±2.19 <sup>a</sup>
T <sub>5</sub>	0.7±0.04 <sup>de</sup>	3.46±0.19 <sup>a</sup>	23.97±1.38	54.36±1.5 <sup>a</sup>	16.8±2.05 <sup>a</sup>	27.58±2.71 <sup>a</sup>
T <sub>6</sub>	0.82±0.08 <sup>be</sup>	2.33±0.04 <sup>d</sup>	24.54±0.8	52.64±0.25 <sup>a</sup>	15.94±1.87 <sup>a</sup>	26.59±1.37 <sup>a</sup>
T <sub>7</sub>	0.78±0.09 <sup>ae</sup>	3.31±0.26 <sup>a</sup>	23.88±0.24	54.2±2.24 <sup>a</sup>	13.86±1.36 <sup>a</sup>	26.15±0.28 <sup>a</sup>
T <sub>8</sub>	0.74±0.18 <sup>ae</sup>	2.63±0.15 <sup>d</sup>	24.88±0.44	52.73±3.14	16.33±1.94 <sup>a</sup>	29.27±1.95 <sup>a</sup>
T <sub>9</sub>	1.04±0.15 <sup>ce</sup>	4.25±0.11 <sup>c</sup>	23.69±0.83	53.15±1.43 <sup>a</sup>	15.96±1.49 <sup>a</sup>	27.14±2.59 <sup>a</sup>

TRAT	ΔE	CRA	D	COH	EL	MAST
T <sub>0</sub>		8.01±1.47 <sup>a</sup>	14.08±3.73 <sup>a</sup>	0.63±0.11 <sup>a</sup>	0.76±0.06 <sup>a</sup>	3.97±1.27 <sup>a</sup>
T <sub>1</sub>	2.48±0.45 <sup>a</sup>	24.16±2.27 <sup>a</sup>	10.46±2.66 <sup>a</sup>	0.5±0.03 <sup>a</sup>	0.67±0.06 <sup>a</sup>	2.47±0.67 <sup>a</sup>
T <sub>2</sub>	2.09±0.1 <sup>a</sup>	24.5±2.15 <sup>a</sup>	11.91±2.91 <sup>a</sup>	0.56±0.08 <sup>a</sup>	0.7±0.08 <sup>a</sup>	2.84±0.35 <sup>a</sup>
T <sub>3</sub>	2.16±0 <sup>a</sup>	25.87±0.87 <sup>a</sup>	9.89±1.78 <sup>a</sup>	0.57±0.19 <sup>a</sup>	0.73±0.09 <sup>a</sup>	2.62±1.13 <sup>a</sup>
T <sub>4</sub>	2.31±0.14 <sup>a</sup>	26.36±2.19 <sup>a</sup>	10.73±4.7 <sup>a</sup>	0.46±0.04 <sup>a</sup>	0.66±0.02 <sup>a</sup>	2.35±0.74 <sup>a</sup>
T <sub>5</sub>	3.83±0.06 <sup>b</sup>	27.58±2.71 <sup>a</sup>	10.42±2.69 <sup>a</sup>	0.5±0.04 <sup>a</sup>	0.66±0.05 <sup>a</sup>	2.37±0.86 <sup>a</sup>
T <sub>6</sub>	4.09±0.09 <sup>b</sup>	26.59±1.37 <sup>a</sup>	13.35±3.14 <sup>a</sup>	0.48±0.05 <sup>a</sup>	0.65±0.02 <sup>a</sup>	2.87±0.87 <sup>a</sup>
T <sub>7</sub>	2.48±0.45 <sup>a</sup>	26.15±0.28 <sup>a</sup>	12.19±3.35 <sup>a</sup>	0.56±0.1 <sup>a</sup>	0.71±0.07 <sup>a</sup>	3.03±0.96 <sup>a</sup>
T <sub>8</sub>	2.09±0.1 <sup>a</sup>	29.27±1.95 <sup>a</sup>	10.25±1.72 <sup>a</sup>	0.5±0.04 <sup>a</sup>	0.71±0.01 <sup>a</sup>	2.61±0.3 <sup>a</sup>
T <sub>9</sub>	2.16±0 <sup>a</sup>	27.14±2.59 <sup>a</sup>	11.8±1.17 <sup>a</sup>	0.53±0.03 <sup>a</sup>	0.7±0.01 <sup>a</sup>	2.93±0.25 <sup>a</sup>

Tratamiento (TRAT), T<sub>0</sub>: 0 h pastoreo – 0 g/kg tomillo; T<sub>1</sub>: 1.5 h pastoreo – 1.6 g/kg tomillo; T<sub>2</sub>: 1.5 h pastoreo – 8.6 g/kg tomillo; T<sub>3</sub>: 9 h pastoreo – 1.6 g/kg tomillo; T<sub>4</sub>: 9 h pastoreo – 8.6 g/kg tomillo ; T<sub>5</sub>: 5.5 h pastoreo – 5 g/kg tomillo ; T<sub>6</sub>: 5.5 h pastoreo – 0 g/kg tomillo ; T<sub>7</sub>: 5.5 h pastoreo – 10 g/kg tomillo ; T<sub>8</sub>: 0 h pastoreo – 5 g/kg tomillo ; T<sub>9</sub>: 11 h pastoreo – 5 g/kg tomillo. Porcentaje de grasa abdominal (PGA, Porcentaje de grasa intramuscular (PGI), Porcentaje de proteína soluble (PPS), Luminosidad (L\*), Índice rojo (a\*), índice de amarillo (b\*). Capacidad de Retención de Agua (CRA), Dureza (D), Cohesividad (COH), Elasticidad (EL), Masticabilidad(MAST).

Valores con índices similares no muestran diferencia significativa p<0.05.

En la Figura 25 se puede observar que el tratamiento con mayor porcentaje de grasa abdominal (PGI) es el T1 al igual que los datos del PGA, lo que denota una correlación entre estas variables.

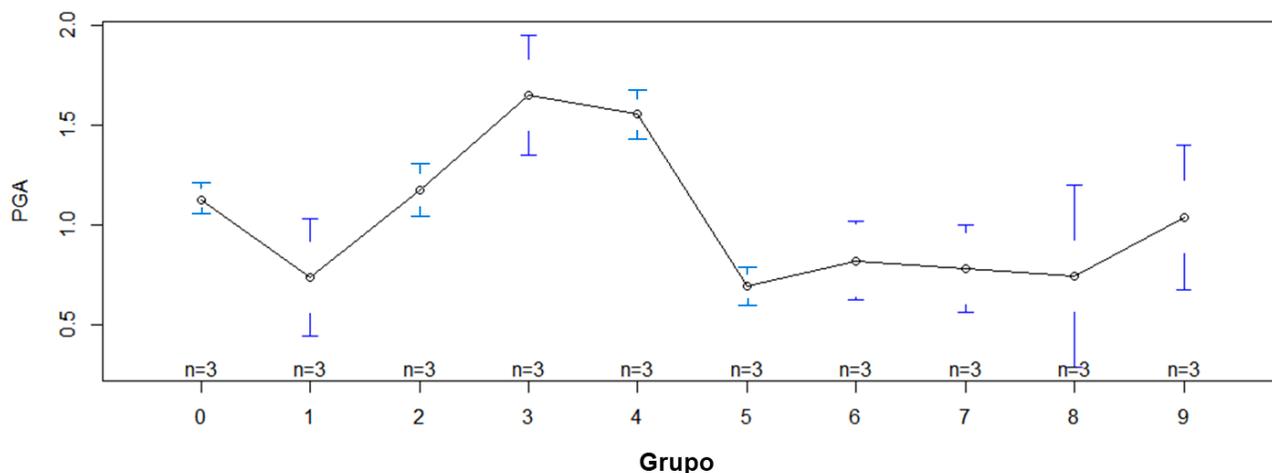


Figura 25. Grafica de Intervalos por grupos - PGA.

Se realizó el análisis a través de la metodología de superficie de respuesta y de acuerdo con la Tabla 22, donde se realizó el modelado estadístico, se encontraron significativos ambos factores, sin embargo su interacción, no mostró significancia, en la Figura 26, se puede observar que, para disminuir el PGA, se requiere mantener la cantidad de tomillo entre 4 y 6 y un tiempo en pastoreo menor a 5 horas, para obtener valores menores al 0.06% de grasa abdominal.

Tabla 22. Modelado estadístico para MSR.

<b>Fuente</b>	<b>DF</b>	<b>SC</b>	<b>MS</b>	<b>F</b>	<b>p-value</b>
FO(x1,x2)	2	1.19014	0.59507	10.7828	0.0006***
TWI(x1,x2)	1	0.22141	0.22141	4.012	0.058254
PQ(x1,x2)	2	0.8433	0.42165	7.6405	0.003211**
Error	21	1.15892	0.05519		
<b>Fuente</b>	<b>DF</b>	<b>SC</b>	<b>MS</b>	<b>F</b>	<b>p-value</b>
FO(x1,x2)	2	1.1901	0.59507	9.4843	0.001071**
TWI(x1,x2)	2	0.8433	0.42165	6.7204	0.005274**
PQ(x1,x2)	22	1.3803	0.06274		
Error	2	1.1901	0.59507	9.4843	0.001071

Significancia: 0 \*\*\*\*0.001 \*\*\* 0.01 \*\* 0.05 Grados de libertad (DF). Suma de Cuadrados (SC). Cuadrados Medios (MS). Valor Fisher Calculado (F).

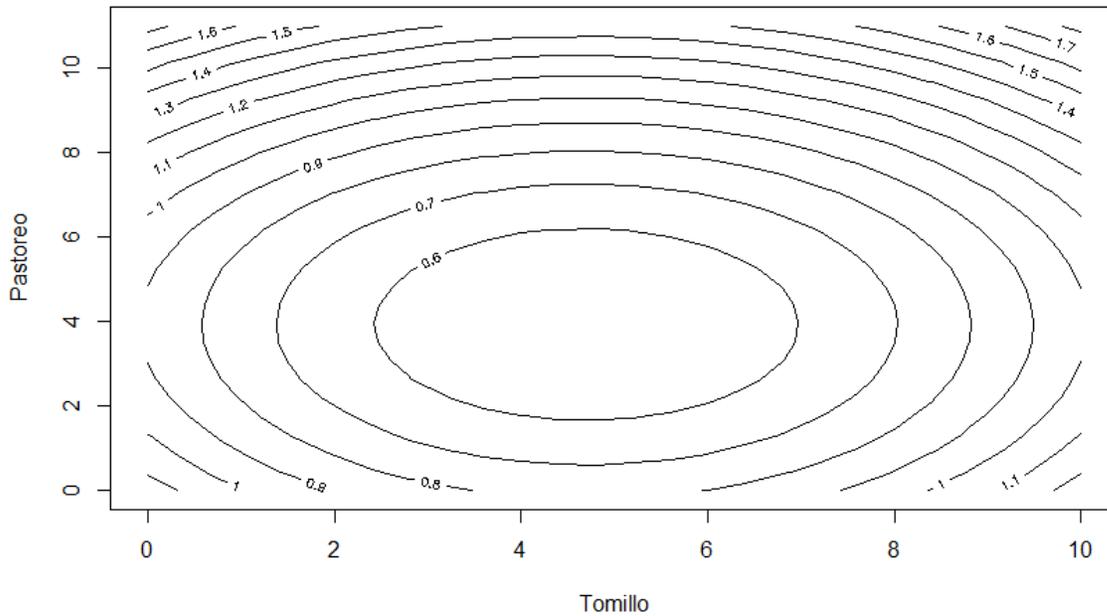


Figura 26. Figura de contornos Porcentaje de Grasa Abdominal (PGA).

Dada la representación gráfica de la superficie de respuesta y el ANOVA realizado para este experimento se encontró significativa la interacción de los factores para las dos variables como se puede ver en la Tabla 22. Se determinaron los coeficientes del modelo de regresión final, obteniendo la ecuación 5, con un valor de  $R^2$  ajustada de 0.5221 y un p-value de 0.0003567, aunque es significativo, no explica más del 52% del proceso.

$$Y=0.555630 + 0.050688 x_1 + 0.292556x_2 - 0.422333x_1^2 + 0.512333 x_2^2+ E \quad (5)$$

Y para este modelo se encontró un punto de estabilidad para el Tomillo y el pastoreo en (4.699953, 3.929678), como se puede observar en la Figura 27.

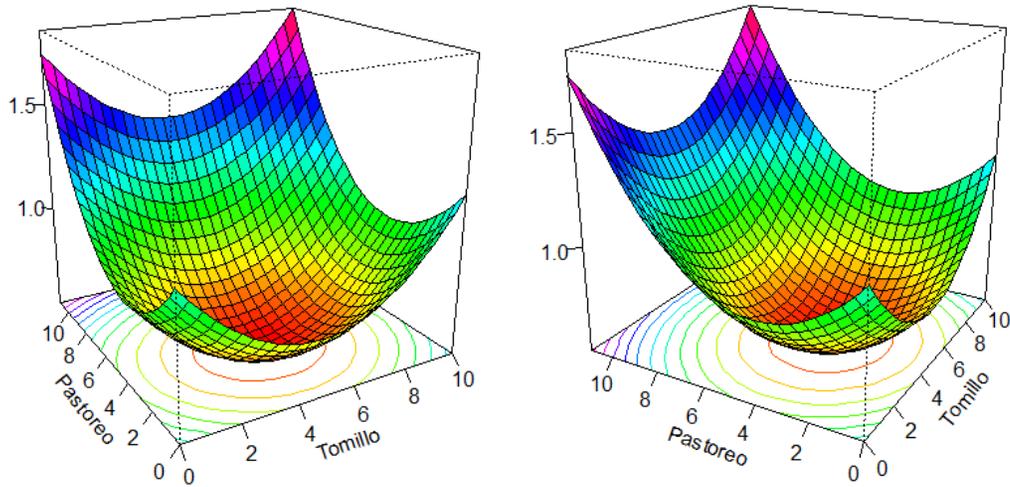


Figura 27. Gráfica SRM - FO+PQ

Estos resultados concuerdan con el trabajo de Hassan y Awad (2017), que observaron una mejor eficiencia para los grupos de aves a los que se les suministró 5 g/kg de tomillo, encontrando punto óptimo para un sistema en libre pastoreo muy cercano a este nivel usado en sistemas convencionales estos sistemas sin embargo para el efecto en sistemas de libre pastoreo no existen datos reportados, por lo que se considera un punto de partida para experimentar con diferentes tiempos para validar su efecto en combinación con otros factores.

## 6. CONCLUSIONES

A través de la inclusión de tomillo en polvo en la dieta y el tiempo de pastoreo se logró mejorarla calidad nutrimental de la carne, porque se encontró una tendencia en la disminución de grasa en los grupos que se criaron con la combinación de estos factores sin afectar el contenido proteico de la carne obtenida. Aunque los datos obtenidos no mostraron diferencias en la calidad fisicoquímica ya que todas las muestras analizadas mostraron resultados similares, no impide que estos factores puedan ser aplicados en sistemas de crianza semi-intensivos así como en sistemas intensivos.

Tanto el tomillo como el tiempo de pastoreo afectan significativamente el porcentaje de grasa (intramuscular y abdominal). Sin embargo éstos no tienen un efecto directo en el porcentaje proteico, el color, la capacidad de retención de agua ni la textura.

El modelado estadístico puede aplicarse para lograr una disminución de grasa ya que el diseño obtenido durante este trabajo mostró una tendencia a la disminución de grasa, sin embargo el porcentaje de ajuste al fenómeno sólo permite usarlo como un modelo informativo, esto debido a que el tamaño de muestras utilizadas en el mismo fueron pequeñas. Este modelo puede ser utilizado como base para buscar valores óptimos, sin embargo es posible que requiera de otros factores de control y un mejor manejo de las condiciones de crianza. Esto se puede lograr con una nave escalada con materiales que ayuden al control ambiental durante el periodo de engorde.

## 7. REFERENCIAS

Abdulkarimi, R., M. Daneshyar, y A. Aghazadeh. 2011. Thyme (*Thymus vulgaris*) extract consumption darkens liver, lowers blood cholesterol, proportional liveryabdominal fat weights in broiler chickens. *Ital J Anim Sci.* 10:20–101. doi:10.4081/ijas.2011.e20.

Barrantes, A., V. C., T. R., B. R., y S. Okumoto. 2006. Análisis De La Capacidad Productiva Y Adaptativa De Dos Líneas Genéticas De Gallinas Ponedoras ( Sex Link E Isa Brown ) Bajo Un Sistema De Pastoreo En El Trópico. 2:121–128.

Bautista, Y. 2013. Colegio de postgraduados. *Control.* 34:741–746. Available from: [http://www.biblio.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/handle/10521/256/Sanchez\\_Borja\\_M\\_DC\\_Fitosanidad\\_2010.pdf?sequence=1](http://www.biblio.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/handle/10521/256/Sanchez_Borja_M_DC_Fitosanidad_2010.pdf?sequence=1)

Bautista, Y., C. Narciso, A. Pro, A. S. Hernández, C. M. Becerril, E. Sosa, and J. Velasco. 2016. Efecto del estrés por calor y tiempo de espera ante mortem en las características fisicoquímicas y la calidad de la carne de pollo. 48:89–97. doi:10.4067/S0301-732X2016000100011.

Braña, D., E. Ramírez Rodríguez, M. de la S. Rubio Lozano, A. Sánchez Escarlante, G. Torrescano Urrutia, M. L. Arenas de Moreno, J. A. Partida de la Peña, E. Ponce de Alquiricia, y F. G. Ríos Rincón. 2011. *Manual de Análisis de Calidad en Muestras de Carne.*

Cabello, G. 2010. Los sistemas de articulación de la industria avícola queretana, impacto del entorno global en el ámbito local. Universidad Iberoamericana.

Caine, W. R., J. L. Aalhus, D. R. Best, M. E. R. Dugan, y L. E. Jeremiah. 2003. Relationship of texture profile analysis and Warner-Bratzler shear force with sensory characteristics of beef rib steaks. *Meat Sci.* 64:333–339. doi:10.1016/S0309-1740(02)00110-9.

Carden, A. E., P. R. Goe y M. J. Schang. Efecto de sexo y raza sobre la composición corporal en pollos parrilleros 2: Distribución del músculo y de la grasa. 1978.

Castañeda, M. del P., D. Braña, y W. Martínez. 2013. *Pollo Mexicana.*

Castellini, C., C. Mugnai, y A. D. Bosco. 2002. Effect of organic production system on

broiler carcass and meat quality. 60:219–225.

Castromán, G., M. Del Puerto, y A. Ramos. 2013. (DOI) Organic and Conventional Chicken Meat Produced In Uruguay: Colour, Ph, Fatty Acids Composition and Oxidative Status. *Am. J. Food Nutr.* 1:12–21. doi:10.12691/ajfn-1-2-2. Available from: <http://pubs.sciepub.com/ajfn/1/2/2/>

Chang, H. J., Q. Wang, G. H. Zhou, X. L. Xu, y C. B. Li. 2010. Influence of weak organic acids and sodium chloride marination on characteristics of connective tissue collagen and textural properties of beef semitendinosus muscle. *J. Texture Stud.* 41:279–301. doi:10.1111/j.1745-4603.2010.00226.x.

Delgado, E. J., P. Castañeda, D. Braña, y P. Espinosa. 2014. Patrones fotográficos para la evaluación del color en piel y en carne de pollo.

Diego Braña Varela, A. V. Izquierdo, J. A. E. G. G. M. L. M. M. P. Díaz, J. L. J. Barrera, G. M. Trejo, y A. L. E. Carrillo. 2012. Calidad en puntos de venta de Carne.

Estrada, M. M., y S. M. Márquez. 2005. Interacción de los factores ambientales con la respuesta del comportamiento productivo en pollos de engorde. *Rev Col Cienc Pec.* 18:246–257.

Fanatico, A. C., P. B. Pillai, L. C. Cavitt, C. M. Owens, y J. L. Emmert. 2005. Evaluation of slow-growing broiler genotypes grown with and without outdoor access: Growth performance and carcass yield.

Fouad, A. M. 2014. Nutritional Factors Affecting Abdominal Fat Deposition in Poultry: A Review. 27:1057–1068.

Gaafar, K. M., R. Abou-Elkhair, N. M. Elbahy, M. A. Helal, H. D. H. Mahboub, y G. Sameh. 2014. Bioactive Effect of Dietary Supplementation with Essential Oils Blend of Oregano, Thyme and Garlic oils on Performance of Broilers Infected with *Eimeria* species. *Glob. Vet.* 13:977–985. doi:10.5829/idosi.gv.2014.13.06.9137.

Hassan, F. A. M., y A. Awad. 2017. Impact of thyme powder ( *Thymus vulgaris* L .) supplementation on gene expression profiles of cytokines and economic ... Impact of thyme powder ( *Thymus vulgaris* L . ) supplementation on gene expression profiles of

cytokines and economic efficiency of broi. doi:10.1007/s11356-017-9251-7.

Hernández Bautista, J., J. L. Aquino López, y F. G. Rincón Ríos. 2013. Efecto del manejo pre-mortem en la calidad de la carne. *Cienc. y Tecnol. la Carne*. 7:41–64.

Jiang, J. F., X. M. Song, X. Huang, J. L. Wu, W. D. Zhou, H. C. Zheng, y Y. Q. Jiang. 2012. Effects of alfalfa meal on carcass quality and fat metabolism of Muscovy ducks. *Br. Poult. Sci.* 53:681–688. doi:10.1080/00071668.2012.731493.

Kannan, G., C. B. Chawan, B. Kouakou, y S. Gelaye. 2002. Influence of packaging method and storage time on shear value and mechanical strength of intramuscular connective tissue of chevon. *Journal of Animal Science*. 80:2383.

Khan, S. Naz, Z. Nikousefat, V. Tufarelli, y V. Laudadio. 2012. Thymus vulgaris: alternative to antibiotics in poultry feed. *Worlds Poult. Sci. J.* 68:401–408. doi:10.1017/s0043933912000517.

Leng, L., H. Zhang, J. Q. Dong, Z. P. Wang, X. Y. Zhang, S. Z. Wang, Z. P. Cao, Y. M. Li, y H. Li. 2016. Selection against abdominal fat percentage may increase intramuscular fat content in broilers. *J. Anim. Breed. Genet.* 133:422–428. doi:10.1111/jbg.12204. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1111/jbg.12204>

Lin, C. Y., H. Y. Kuo, y T. C. Wan. 2014a. Effect of free-Range rearing on meat composition, physical properties and sensory evaluation in taiwan game hens. *Asian-Australasian J. Anim. Sci.* 27:880–885. doi:10.5713/ajas.2013.13646.

López, S., H. Rincón-Reyes, R. Muñoz, A. Higuera, y A. M. A.-F. H. Urdaneta. 2007. Parámetros Productivos Y Química Sanguínea En Pollos De Engorde Alimentados Con Tres Niveles Diéticos. *XVII*:150–160.

Lu, Q., J. Wen, y H. Zhang. 2007. Effect of chronic heat exposure on fat deposition and meat quality in two genetic types of chicken. *Poult. Sci.* 86:1059–1064.

Marx, S. D., S. JM, R. C. Prestes, E. Schnitzler, O. CS, D. IM, B. GT, y J. Steffens. 2016. Characteristics of Abdominal Chicken Fat. *Brazilian J. Poult. Sci.* 18:269–276.

México, U. 2013. Contenido Nutricional de Carne de Pollo.

Ming, C., L. Gioielli, y V. Sotero. 2002. Fraccionamiento de la grasa abdominal de pollo. *Grasas y Aceites*. 53:298–303.

Murray, raul S., M. Munner, M. Sánchez, N. Echegaray, y A. Rovirosa. 2014. Hormonas Exógenas En Carne De Pollo , Creencias a La Crianza De Aves De Corral Exogenous Hormones in Chicken , Popular Beliefs and. 15:63–76.

Perez, M. V., y R. A. Villegas. 2009. Procedimientos para el manejo de residuos organicos avicolas. 71.

Picoli, K. P., A. E. Murakami, C. R. A. Duarte, C. Eyng, I. C. Ospina-Rojas, y E. M. Massuda. 2014. Effect of Dietary Restriction and Hay Inclusion in the Diet of Slow-Growing Broilers. *Ital. J. Anim. Sci.* 13:3216. doi:10.4081/ijas.2014.3216. Available from: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.4081/ijas.2014.3216>

Pirmohammadi, A., M. Daneshyar, P. Farhoomand, J. Aliakbarlu, y F. Hamian. 2016. Effects of *Thymus vulgaris* and *Mentha pulegium* on colour , nutrients and peroxidation of meat in heat-stressed broilers. 46.

Poltowicz, K., y J. Doktor. 2011. Effect of free-range raising on performance, carcass attributes and meat quality of broiler chickens. *Anim. Sci. Pap. Reports*. 29:139–149.

Pulido, H. G., y R. de la V. Salazar. 2009. Control estadístico de Calidad y seis sigma. 2da ed. (S. A. D. C. V. McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, editor.).

Pym, R. 2008. Genética y cría de aves de corral en los países en desarrollo. 1–3.

Qiao, M., D. L. Fletcher, D. P. Smith, y J. K. Northcutt. 2002. Effect of Raw Breast Meat Color Variation on Cooked Meat Quality. *Poult. Sci.* 81:276–280.

Rizzi, C., y G. M. Chiericato. 2010. Chemical composition of meat and egg yolk of hybrid and Italian breed hens reared using an organic production system. *Poult. Sci.* 89:1239–1251. doi:10.3382/ps.2008-00045. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20460671>

Roby, M. H. H., M. A. Sarhan, K. A. H. Selim, y K. I. Khalel. 2013. Evaluation of antioxidant activity, total phenols and phenolic compounds in thyme (*Thymus vulgaris* L.), sage (*Salvia officinalis* L.), and marjoram (*Origanum majorana* L.) extracts. *Ind. Crops Prod.* 43:827–

831. doi:10.1016/j.indcrop.2012.08.029. Available from:  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.08.029>

Rosero, J. P., E. F. Guzman, y F. J. Lopez. 2012. Evaluación del comportamiento productivo de las líneas de pollos de engorde Cobb 500 y Ross 308. *Biotechnol. en el Sect. Agropecu. y agroindustrial*. 10:8–15.

Rudy, M., M. Marchel, y P. Duma. 2016. Determining the relationship between parameters of texture and chemical composition of highly-efficient smoked sirloins. *J. Microbiol. Biotechnol. Food Sci.* 5:1–3. doi:10.15414/jmbfs.2016.5.special1.1-3. Available from: [http://www.jmbfs.org/issue/february-2016-vol-5-special-1/jmbfs-2016\\_001-rudy/?issue\\_id=4120&article\\_id=0](http://www.jmbfs.org/issue/february-2016-vol-5-special-1/jmbfs-2016_001-rudy/?issue_id=4120&article_id=0)

SAGARPA, S. de A. y G. 2013. Lineamientos para la Operación Orgánica de las actividades agropecuarias. CAPÍTULO. Secr. Agric. Ganad. Desarro. Rural. PESCA Y Aliment. ACUERDO. 2007–2008.

SAGARPA, S. de A. y G. 2014. ACUERDO POR EL QUE SE DAN A CONOCER LAS REGLAS DE OPERACIÓN DE LOS PROGRAMAS DE LA SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN P.

Sañudo, C., P. Albertí, J. Franco, J. Olleta, M. Campo, y B. Panea. 1999. Calidad instrumental de la carne de siete razas bovinas españolas. *Eurocarne*; 73 37-54.

SENASICA. 2011. 2011 Acuerdo senasica vacunación.

Taylor, P., E. Demir, Ş. Sarica, M. A. Özcan, y M. S. Mez. 2010. The use of natural feed additives as alternatives for an antibiotic growth promoter in broiler diets. 3–5.

UNA. 2012. SITUACIÓN DE LA AVICULTURA MEXICANA. Available from: <http://www.una.org.mx/index.php/component/content/article/15-panorama/3-avicultura>

UNA. 2016. Compendio de Indicadores Económicos del Sector Avícola 2016. Available from: <https://www.una.org.mx/index.php/component/content/article/2-uncategorised/19-indicadores-economicos>

USDA. 2007. Organic Production.

Vargas, J., A. Fonseca, G. Murillo, y F. Arias. 2009. Evaluación de líneas de pollo (*Gallus gallus*) de engorde Ross 308 y Cobb 500 en operación de Cargill en Nicaragua. Available from: <http://hdl.handle.net/11036/246>

Villanueva, C. 2015. Manual de producción y manejo de aves de patio Manual de producción y manejo de aves de patio.

Wang, K. H., S. R. Shi, T. C. Dou, y H. J. Sun. 2009. Effect of a free-range raising system on growth performance, carcass yield, and meat quality of slow-growing chicken. *Poult. Sci.* 88:2219–2223. doi:10.3382/ps.2008-00423.

Zhao, Q., M. Zhao, J. Li, B. Yang, G. Su, C. Cui, y Y. Jiang. 2009. Effect of hydroxypropyl methylcellulose on the textural and whipping properties of whipped cream. *Food Hydrocoll.* 23:2168–2173. doi:10.1016/j.foodhyd.2009.04.007. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2009.04.007>

Zhuang, H., y E. M. Savage. 2010. Comparisons of sensory descriptive flavor and texture profiles of cooked broiler breast fillets categorized by raw meat color lightness values. *Poult. Sci.* 89:1049–1055. doi:10.3382/ps.2009-00422. Available from: <https://academic.oup.com/ps/article-lookup/doi/10.3382/ps.2009-00422>