

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**FACULTAD DE AGRONOMÍA**  
**FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA**



**TESIS**

**EFFECTO DE INMUNOCASTRACIÓN Y SEXO SOBRE EFICIENCIA DE  
CRECIMIENTO Y CALIDAD DE LA CARNE DE CERDOS**

**PRESENTA**

**MVZ. MARÍA ELENA SANTANA GUTIÉRREZ**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO  
DE MAESTRÍA EN CIENCIA ANIMAL**

**SEPTIEMBRE, 2018**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**FACULTAD DE AGRONOMÍA**  
**FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA**

**TESIS**

**“EFECTO DE INMUNOCASTRACIÓN Y SEXO SOBRE EFICIENCIA DE  
CRECIMIENTO Y CALIDAD DE LA CARNE DE CERDOS”**

**PRESENTA**

**MVZ. MARÍA ELENA SANTANA GUTIÉRREZ**

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO  
DE MAESTRÍA EN CIENCIA ANIMAL**

**GENERAL ESCOBEDO, NUEVO LEÓN, MÉXICO**

**SEPTIEMBRE 2018**

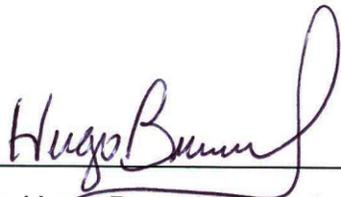
“EFECTO DE INMUNOCASTRACIÓN Y SEXO SOBRE EFICIENCIA DE  
CRECIMIENTO Y CALIDAD DE LA CARNE DE CERDOS”

POR

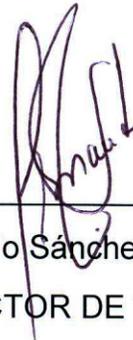
MVZ. MARÍA ELENA SANTANA GUTIÉRREZ

*Como requisito parcial para obtener el grado de MAESTRÍA EN CIENCIA ANIMAL*

Aprobación de la Tesis:



Dr. Hugo Bernal Barragán  
DIRECTOR DE TESIS



Dr. Fernando Sánchez Dávila  
CODIRECTOR DE TESIS



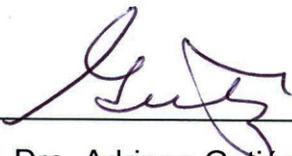
Ph.D. Miguel Cervantes Ramírez  
CODIRECTOR DE TESIS.



Dra. Adriana Morales Trejo  
CODIRECTORA DE TESIS



Dr. Gerardo Méndez-Zamora  
CODIRECTOR DE TESIS



Dra. Adriana Gutiérrez Díez  
SUBDIRECTOR DE POSGRADO



Dr. Rogelio A. Ledezma Torres  
SUBDIRECTOR DE POSGRADO

## **Dedicatoria y agradecimientos**

A Dios, por permitirme llegar hasta donde me encuentro, por darme la paciencia, la sabiduría y fuerza para desarrollarme profesionalmente, por dejarme coincidir con personas maravillosas que dejaron huella.

A mis padres, por impulsarme a cumplir cada una de las metas que me he puesto y acompañarme hasta el final de estas.

A mis hermanos, por su paciencia y por estar conmigo en todo momento

A mi familia, por estar pendiente de mí por apoyarme y alentarme a seguir adelante a pesar de cualquier obstáculo que se me ha presentado.

A CONACYT, por el apoyo económico brindado para realizar mis estudios.

Al Posgrado en Conjunto Agronomía Veterinaria, por el conocimiento impartido durante estos dos años, el cual espero poder retribuirles.

A la Facultad de Agronomía, por facilitarme el uso de sus instalaciones: Unidad Académica Marín, Centro de Investigación y Desarrollo en la Industria Alimentaria, Laboratorio de Nutrición y Calidad de los alimentos, Laboratorio de Ingeniería, y abrirme las puertas para llevar a cabo la fase experimental.

A mi director de tesis, Dr. Hugo Bernal Barragán, por su apoyo en la realización de este proyecto, así como por el conocimiento impartido y los consejos dados.

Al Dr. Fernando Sánchez Dávila, por coordinación del equipo de trabajo en el campus Marín que permitió la realización del proyecto.

Al Dr. Miguel Cervantes Ramírez y a la Dra. Adriana Morales Trejo, por sus consejos durante todo el desarrollo del proyecto.

Al Dr. Gerardo Méndez-Zamora, por enseñarme a querer un área de la veterinaria, como es el procesamiento de la carne.

A la Unidad de Producción en Marín, N.L.; por abrirme las puertas para poder llevar a cabo la fase experimental.

Al CIDIA por abrirme las puertas para realizar las pruebas de la carne de cerdo.

A M.C. Nydia Corina Vázquez Aguilar, gracias por todo tu apoyo y por permitir que las chavas del servicio social se incorporaran al proyecto para ayudarme (Estefanía, Carina, Esmeralda).

Al Ing. Zayd Eliud Rangel Nava, por su apoyo para la utilización del equipo en el análisis químico físico de la carne.

A mis dos hermanos Adalberto y Mario y a mi primo José Luis, por acompañarme a Marín cada que necesitaba ir; por todo muchísimas gracias.

Al Ing. Esteban Gerardo Campos Badillo, por el apoyo durante la crianza de los animales y el manejo de los mismos.

A Enrique Yudel Moreno Flores, gracias por estar al pendiente de los nacimientos de los lechones desde el primer día.

Al Sr. Antonio Pérez Cárdenas, por enseñarme como se realiza la crianza de los cerdos, la cual para mí era una especie nueva por aprender a manejar.

A Kenia Mariela Degollado Aguayo, Carina Macías Hernández y Yuridiana Villalobos Martínez, muchas gracias por acompañarme, ayudarme y las risas.

A mis compañeros Diana Maricruz Salas Sánchez, Nohemi Alejandra Becerra Ramos, Denisse López Marín, Luisa Catalina González Navarro, Domenica Cedillo Rosales, Alvin Gustavo Carrillo Hurtado, Gustavo Sobrevilla Hernández, Jaime Eduardo Elizondo Cantú; por estar ahí cuando más sentíamos que íbamos a flaquear; y alentarnos unos a los otros por terminar esta etapa de nuestras vidas. Por acompañarme cuando ocupaba ayuda para realizar las labores en la granja, por las risas y todo lo que vivimos durante esta hermosa etapa.

A Karen Marcela, por estar presente en esta etapa de mi vida; por escuchar y aconsejar en cada una de estas, muchas gracias amiga.

Al Dr. José González Salinas por escucharme, aconsejarme y alentarme a continuar con cada una de las metas que me he puesto.

A cada una de las personas que me escucho hablar y emocionarme al hablar de mi proyecto; así como el cuestionarme acerca de este y hacerme encontrar la forma de dar una respuesta a cada uno de estos cuestionamientos.

# Índice general

Dedicatoria y agradecimientos	iv
Índice general	vii
Lista de cuadros	xii
Lista de figuras	xiv
Abreviaturas	xv
Resumen	x
Abstract	xx
1. INTRODUCCIÓN	1
2. Revisión bibliográfica	4
2.1 Crecimiento de acuerdo al sexo	4
2.2 Eje hipotalámico hipofisario gonadal	5
2.3 Olor del verraco	6
2.3.1 Fisiología de 16-androstenona	7
2.3.2 Fisiología del escatol	9
2.3.2.1 Fase I	10
2.3.2.2 Fase II	11
2.4 Castración quirúrgica	11

2.5	Métodos alternativos a la castración quirúrgica	13
2.5.1	Selección genética de animales	13
2.5.2	Producción de carne de cerdos machos enteros	13
2.5.3	Castración química	15
2.5.4	Inmunocastración	16
2.6	Crecimiento de cerdos inmunocastrados	17
2.7	Calidad en carne	19
2.7.1	Análisis químico de la carne	20
2.7.2	Análisis físicoquímico de la carne	22
2.7.2.1	Color	22
2.7.2.2	pH	23
2.7.2.3	Capacidad de retención de agua	25
2.7.2.4	Análisis del perfil de textura	27
2.8	Evaluación sensorial de la carne	29
2.8.1	Panel entrenado	30
2.8.2	Prueba de consumidores	30
2.9	HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	31

2.9.1 Hipótesis	31
2.9.2 Objetivo general	31
2.9.3 Objetivos específicos	31
<b>3 MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>32</b>
3.1 Manejo de los animales antes de la inmunocastración	32
3.1.1 Parto	33
3.1.2 Castración quirúrgica y cuidados post-operatorios	33
3.1.3 Destete	35
3.1.4 Recría	35
3.1.5 Engorda	36
3.2 Inmunocastración y manejo post-inmunocastración	38
3.3 Dietas	38
3.4 Diseño experimental	39
3.5 Evaluación de comportamiento productivo	39
3.6 Variables de sacrificio	39
3.7 Obtención de muestras sanguíneas	40
3.8 Determinación de testosterona sérica	40

3.9	Análisis de fisicoquímico de la carne	41
3.9.1	Perdida por cocción y análisis de perfil de textura	42
3.9.2	Evaluación sensorial	44
3.10	Análisis estadístico	45
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	47
4.1	Comportamiento productivo	47
4.1.1	Peso vivo y peso final de cerdos	47
4.1.2	Ganancia diaria de peso	49
4.1.3	Consumo de alimento	50
4.1.4	Eficiencia alimenticia	50
4.2	Pesos de órganos	50
4.2.1	Peso de vísceras	50
4.2.2	Gónadas y glándulas accesorias	54
4.3	Determinación sérica de testosterona	55
4.4	Análisis de canal	58
4.4.1	Peso de canal caliente y fría y longitudes de canal	58
4.4.2	Grasa dorsal	60

4.4.3	Peso pierna, paleta, costillar y lomo	62
4.5	Calidad de la carne	63
4.5.1	Análisis químico de la carne	63
4.5.2	Análisis físico de la carne	66
4.5.2.1	pH, capacidad de retención de agua y pérdida por cocción	66
4.5.2.2	Color	68
4.5.3	Análisis del perfil de textura	71
4.5.4	Área del Lomo	74
4.6	Evaluación sensorial	75
5	CONCLUSIONES	77
6	BIBLIOGRAFÍA	78
7	Anexos	90

## Lista de cuadros

<b>Cuadro 1</b>	Parámetros del perfil de textura	28
<b>Cuadro 2</b>	Peso de cerdos de acuerdo al sexo a semana 16, 22 y sacrificio	47
<b>Cuadro 3</b>	Edades (días) de cerdos de acuerdo al sexo al inicio de la prueba, a la semana 22 y al sacrificio durante la prueba experimental	48
<b>Cuadro 4</b>	Comportamiento productivo de acuerdo al sexo	49
<b>Cuadro 5</b>	Características de órganos de cerdos de acuerdo al sexo	52
<b>Cuadro 6</b>	Características de gónadas y glándulas accesorias	54
<b>Cuadro 7</b>	Concentraciones de testosterona (ng/mL de suero sanguíneo)	55
<b>Cuadro 8</b>	Pesos de toma de muestras para concentraciones de testosterona	56
<b>Cuadro 9</b>	Características de canal de cerdos de acuerdo al sexo	58
<b>Cuadro 10</b>	Cantidad de grasa dorsal de cerdos de acuerdo al sexo	60
<b>Cuadro 11</b>	Peso de piezas de canal de cerdos de acuerdo al sexo	62
<b>Cuadro 12</b>	Análisis químico de carne en fresco de cerdo de acuerdo al sexo	64
<b>Cuadro 13</b>	Análisis físico de carne de cerdo	66
<b>Cuadro 14</b>	Determinación del color de carne de cerdo de acuerdo al sexo	68

<b>Cuadro 15</b>	Análisis del perfil de textura (dureza, adhesividad y elasticidad) de carne de cerdo de acuerdo al sexo	71
<b>Cuadro 16</b>	Análisis del perfil de textura (cohesividad, resistencia, gomosidad y masticabilidad) de carne de cerdo de acuerdo al sexo	73
<b>Cuadro 17</b>	Fuerza de corte y área del lomo de cerdos de acuerdo al sexo	74
<b>Cuadro 18</b>	Evaluación sensorial de consumidor por atributos de carne de cerdos	76

## Lista de figuras

<b>Figura 1</b>	Composición química de la estructura del músculo esquelético	21
<b>Figura 2</b>	Luminosidad (L), tendencia al color rojo ( $a^*$ ) y al color amarillo ( $b^*$ ) de carne de cerdo de acuerdo al sexo	70

## Lista de abreviaturas

<b>a*</b>	Tendencia al color rojo
<b>ADG</b>	Ganancia de peso diario
<b>ADFI</b>	Consumo de alimento
<b>APT</b>	Análisis del perfil de Textura
<b>ATP</b>	Adenosin trifosfato
<b>b*</b>	Tendencia al color amarillo
<b>C*</b>	Chroma
<b>C</b>	Castrados
<b>°C</b>	Grados centígrados
<b>cm</b>	Centímetro
<b>CRA o WHC</b>	Capacidad de retención de agua
<b>Da</b>	Dalton
<b>E</b>	Entero
<b>FC</b>	Fuerza de corte
<b>FSH</b>	Hormona folículo estimulante
<b>GH</b>	Hormona del crecimiento
<b>GnRH</b>	Hormona liberadora de gonadotropinas

<b>g</b>	Gramo
<b>g mm</b>	Gramo por milímetro
<b>g s</b>	Gramo por segundo
<b>H*</b>	Ángulo Hue
<b>H</b>	Hembra
<b>h</b>	Hora
<b>HMOI</b>	Hidroxi-3-metilindol
<b>I3C</b>	Indol-3-carboinol
<b>IMC</b>	Inmunocastrado
<b>in<sup>2</sup></b>	Pulgada cuadrada
<b>J</b>	Joule
<b>kg</b>	Kilogramo
<b>kcal</b>	Kilocalorías
<b>L*</b>	Luminosidad
<b>LD</b>	<i>Longissimus dorsi</i>
<b>LH</b>	Hormona Leuteinizante
<b>LYD</b>	Landrance X Yorkshire X Duroc
<b>MS</b>	Materia Seca

<b>mm</b>	Milímetro
<b>min</b>	Minuto
<b>mms</b>	Milímetro por segundo
<b>mL</b>	Mililitro
<b>m<sup>2</sup></b>	Metro cuadrado
<b>N</b>	Newton
<b>nm</b>	Nanómetro
<b>ng</b>	Nanogramo
<b>O D</b>	Unidad óptica
<b>PC</b>	Perdida por cocción
<b>PCC</b>	Peso de canal caliente
<b>PCF</b>	Peso de canal fría
<b>pH</b>	Potencial de hidrogeno
<b>PET</b>	Tereftalato de polietileno
<b>PS</b>	Peso al sacrificio
<b>RCC</b>	Rendimiento de canal caliente
<b>RCF</b>	Rendimiento de canal fría
<b>rpm</b>	Revoluciones por minuto

<b>TMB</b>	3, 3', 5, 5' - tetrametil – bencidina
<b>SEM</b>	Error Medio de la Media
<b>µg</b>	Microgramo
<b>µl</b>	Microlitro
<b>vs</b>	Versus

## Resumen

En este estudio se evaluó el efecto de la inmunocastración sobre la eficiencia del crecimiento, composición fisicoquímica, textura y evaluación organoléptica; así como en la calidad de la canal de cerdos de acuerdo a su sexo. Un total de 28 cerdos (Yorkshire-Landrace X Duroc-Pietrain) se utilizaron con un peso inicial de  $68.8 \pm 1.2$  kg, distribuidos aleatoriamente en cuatro tratamientos (n=7 por tratamiento): T1= hembras; T2= machos castrados quirúrgicamente a los 15 días de edad; T3= machos inmunocastrados (aplicando dos series de inyecciones subcutáneas del análogo de la GnRH a los 115 y 145 días de edad); T4= machos enteros. Los animales se pesaron semanalmente, el consumo de alimento fue medido semanalmente; se determinó la concentración de testosterona por medio de ELISA con un kit comercial. El peso de canal y sus variables fueron analizadas al sacrificio; así como también se realizó un análisis fisicoquímico de la carne utilizando el músculo *Longissimus dorsi*. No se encontraron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) en el consumo alimento. Se encontraron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en la ganancia diaria de peso, así como también en las características del aparato reproductor y glándulas accesorias. No se encontraron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) en el pH de la carne, el color y en el análisis de perfil de textura. Se concluye que los cerdos inmunocastrados tienen un potencial para ser integrados en el mercado comercial de la carne en cerdo en México.

## Abstract

The current study was conducted to evaluate the effect of immunocastration upon growth parameters and growth efficiency, physical chemical carcass composition, texture and sensory evaluation of pork meat of pigs according to gender. Twenty eight Yorkshire-Landrace X Duroc-Pietrain pigs with an initial body weight of  $68.8 \pm 1.2$  kg were randomly allocated in four experimental groups (n=7 each treatment): T1= gilts; T2= barrows; T3= immunocastrates (males received two series of 2 ml subcutaneous injections of an antiGnRH at 115 and 145 days of age); T4= entire males. The pigs were weighted weekly, feed intake was recorded by week, and serum testosterone was analyzed using a commercial ELISA kit, in blood samples taken at 115, 145 days of age and at slaughter. Carcass weight and measurements were recorded at slaughter; and physical-chemical analysis of meat was determined in *Longissimus dorsi* muscle. ADFI (feed intake) was similar ( $P > 0.05$ ) among treatments. Gilts had lower final body weight ( $P < 0.05$ ) than others (121.6 vs. 134.4 kg). Immunocastrated pigs and entire male pigs had higher ( $P < 0.05$ ) ADG (0.984 vs. 0.855 kg/d). However, feed efficiency was higher in entire males than others. Reproductive organs and accessory glands of immunocastrated pigs were smaller and lighter than those of entire males. There were no differences ( $P > 0.05$ ) in pH, color and texture profile of meat. In conclusion, immunocastrated pigs can be considered as good alternative for the commercial high quality pork meat production in Mexico.

# 1 INTRODUCCIÓN

La carne forma parte de una dieta equilibrada, orientada a aportar nutrientes benéficos para la salud, ya que posee altos niveles proteicos, vitamínicos, así como minerales y de micronutrientes esenciales para la salud del ser humano (FAO, 2004).

En la década de los 60's hasta mediados de los 70's del siglo XX, la carne de mayor producción y consumo fue la de origen vacuno, en la década de los 90's el mercado internacional se reorientó hacia la comercialización de carne de cerdo, sobre todo debido a los cambios en los patrones de consumo, derivado del rápido desarrollo de las economías de los países en desarrollo (FAO, 2009). Actualmente China ocupa el primer lugar en la producción de cerdos con una cifra de 54;445,500 toneladas de 118;168,709 toneladas en el mundo (FAO, 2016). En el caso de México, ocupa el 15° lugar con una producción de 1;290,591 toneladas (SAGARPA, 2017).

En este sentido sobre la producción porcina, el interés del crecimiento de los cerdos se encuentra centrado en el aumento de carne magra a expensas de la acumulación de tejido adiposo (Claus y Weiler, 1994). Los cerdos enteros presentan un rápido crecimiento, consumen menos alimento y su tasa de conversión alimenticia es más eficiente comparados con los machos castrados (Lundström *et al.*, 2009). Estas ventajas se encuentran explicadas debido a la producción de hormonas anabólicas testiculares (Claus *et al.*, 1994). Los cerdos enteros presentan a partir de la pubertad, el problema del "olor del verraco", el cual es causado por la producción y acumulación de androstenona y escatol en la canal (Zamaratskaia *et al.*, 2015). Los cerdos

destinados a consumo humano son castrados con el fin de controlar el problema del olor.

A nivel mundial se estima que alrededor de 600 millones de lechones son castrados quirúrgicamente y que de ellos, aproximadamente 4.5 millones mueren por complicaciones post-castración quirúrgica. Considerando que en México se tienen aproximadamente 16.6 millones de cerdos (FAO, 2016) se puede asumir que se tienen 1.7 millones de cerdas vientre y 3.9 millones de partos por año, por lo que en México se castran aproximadamente 20 millones de lechones cada año.

En la mayoría de las granjas los lechones se castran quirúrgicamente, realizándose este procedimiento sin el uso de una analgesia o una anestesia, sin embargo, desde el inicio del siglo XXI, la comunidad científica impulsada por una idea de buscar el bienestar animal en todos los ámbitos (animales de compañía, animales de producción, animales de espectáculo, etc.) busca alternativas a este método.

En la Declaración Europea sobre alternativas a la castración quirúrgica de cerdos machos en el año 2010, la Unión Europea propuso poner fin a la castración quirúrgica de lechones a partir del 2018 (EC, 2010). En el año 2002, Noruega aprobó un mandato de ley en el cual se hace obligatoria la utilización de un anestésico en todas las prácticas de castración. En Holanda dentro de las producciones orgánicas se utiliza la anestesia local obligatoria, y en el 2007 se aprobó un mandato de ley al respecto (Fredriksen *et al.*, 2009). Noruega, en el 2009, y Suiza en el 2010, prohibieron la castración quirúrgica sin anestesia, por lo que todos los cerdos que sean castrados quirúrgicamente en estos países deben ser anestesiados.

Debido a que aún se tiene una generalizada aplicación de la castración realizada sin anestesia y sin analgesia, que trae como consecuencia dolor y gran estrés para los animales (Prunier *et al.*, 2006; EC, 2010), en los últimos años se ha estado buscando una alternativa biotecnológica para reducir estos problemas, consistente en el uso de una vacuna, que es un análogo de la GnRH.

Aunque ya se cuenta con tecnología para realizar la inmunocastración, su aplicación práctica aún no se encuentra bien establecida. Por ello, el presente trabajo se realizó con el fin de generar información del efecto que la inmunocastración tiene sobre la eficiencia del crecimiento de los cerdos, así como en aspectos de calidad y aceptación de la carne de los cerdos inmunocastrados, que pudieran servir de base para conocer la conveniencia de ampliar la aplicación de esta tecnología.

## **2. Revisión bibliográfica**

### **2.1 Crecimiento de acuerdo al sexo**

El crecimiento de los animales se encuentra influenciado por diversos factores, como el ambiente, la edad y el sexo (Lundström *et al.*, 2009). El efecto del sexo de los animales sobre el crecimiento, ha sido estudiado en diversas investigaciones sobre el aumento de peso diario en cerdos machos enteros y machos castrados (Zamaratskaia *et al.*, 2008; Škrlep *et al.*, 2010a) y comportamiento productivo en machos castrados respecto a hembras (Morales *et al.*, 2011; Daza *et al.*, 2016).

De acuerdo a Morales *et al.* (2011), el consumo de alimento de cerdos machos castrados entre los 25 y 130 kg de peso, es mayor que en hembras y en machos enteros.

Zamaratskaia *et al.* (2008) reportaron eficiencia alimenticia similar para cerdos de diferentes sexos de 25 a 128 kg. Sin embargo Škrlep *et al.* (2010a) reportan que machos enteros tienen mejor eficiencia alimenticia (0.354) que machos castrados (0.310).

Respecto al rendimiento en canal se han obtenido resultados divergentes. Škrlep *et al.* (2010a) reportaron que no hay diferencia en rendimiento de canal, pero Zamaratskaia *et al.* (2008) y Morales *et al.* (2011) mencionaron que los cerdos machos enteros y las hembras sacrificados a 128 kg presentaron mayor rendimiento en canal; que los cerdos castrados.

Una diferencia altamente significativa fue registrada para la cobertura de grasa dorsal, ya que en los estudios de Škrlep *et al.* (2010b) y Morales *et al.* (2011), los machos castrados tuvieron mayor cobertura de grasa dorsal que los otros sexos. La cobertura de grasa dorsal de las hembras fue mejor que la de machos castrados (Daza *et al.*, 2016). El porcentaje de carne magra en la canal de los machos enteros fue significativamente mayor a la de los machos castrados y las hembras (Zamaratskaia *et al.*, 2008; Morales *et al.*, 2011).

## **2.2 Eje hipotalámico hipofisario gonadal**

El eje hipotalámico hipofisario gonadal es el encargado de la regulación de la secreción de muchas hormonas que tienen funciones reguladoras claves para crecimiento, reproducción, lactancia, entre otras.

La hormona GnRH producida en el hipotálamo, es transportada por vía sanguínea en pequeñas vesículas hacia la adenohipófisis. En la adenohipófisis la GnRH se liga a los receptores transmembranales de GnRH de las células gonadotrópicas para estimular secreción y circulación de Hormona Folículo Estimulante (FSH) y Hormona Luteinizante (LH) (Tursktra *et al.*, 2006).

En los machos la LH estimula la síntesis y secreción de andrógenos por las células de Leydig del testículo. Altos niveles de andrógenos, directa e indirectamente inhiben la secreción de LH por medio de una retroalimentación negativa, el cual actúa en la hipófisis e hipotálamo, en donde se inhibe la secreción de GnRH. La hormona FSH es responsable de la iniciación de la espermatogénesis. Para ello FSH se liga a

receptores específicos en las células de Sertoli para estimular la producción de muchos factores de crecimiento y proteínas captadoras de andrógenos, necesarios para el mantenimiento de los altos niveles de testosterona en los túbulos seminíferos. Además estas células secretan inhibina la cual realiza una retroalimentación negativa para la regulación de la secreción de FSH (Tursktra *et al.*, 2006).

### **2.3 Olor del verraco**

El olor característico de los cerdos, es causado por distintas sustancias relacionadas con su desarrollo sexual (Zadinová *et al.*, 2016). Las sustancias responsables son principalmente la androstenona (5-alpha-Androst-16-en-3-one) (Claus *et al.*, 1994), y también participa como causante del olor de verraco el escatol (3-metil indol), producido en el intestino grueso por la degradación bacteriana del triptófano (Babol *et al.*, 2004), además del indol (Große-Brinkhaus *et al.*, 2015).

Se sabe que 3 $\alpha$ -androstenol (3 $\alpha$ -OL) y 3 $\beta$ - androstenol (3 $\beta$ -OL), desarrollados durante el metabolismo de la androstenona (Zamaratskaia y Squires, 2009), juegan un mínimo papel dentro de la producción del olor (Xue y Dial, 1997).

El llamado “olor de verraco”, puede disminuir la calidad de la carne de cerdo (Babol *et al.*, 2004; Doran *et al.*, 2004). Los niveles aceptables de estos compuestos por los consumidores se encuentra entre un rango de 0.5 – 1.0  $\mu\text{g/g}$  para la androstenona y de 0.20 - 0.25  $\mu\text{g/g}$  para el escatol (gramos de grasa).

### 2.3.1 Fisiología de 16-androstenona

La androstenona es una feromona esteroidal sintetizada en las células de Leydig en los testículos de los mamíferos, en paralelo con otras hormonas anabólicas testiculares, y es metabolizada en el hígado. Parte de esta feromona se acumula en tejido adiposo y es responsable de un olor parecido a orina (Font i Furnols *et al.*, 2008). Esta hormona es un derivado de la pregnenolona a partir de la formación de 5,16-androstadien-3 $\beta$ -ol por la enzima andien- $\beta$  sintetasa (Robic *et al.*, 2008).

La producción de androstenona se encuentra regulada por el eje hipotalámico-hipofisario-gonadal, con participación especial de la hormona leuteinizante (LH), secretada gracias a la hormona liberadora de gonadotropina (GnRH), de acuerdo con Zamaratskaia *et al.* (2009). Estos autores reportaron que la síntesis de andrógenos inicia de manera transitoria entre las 2-4 semanas de vida, por lo cual se registra un aumento de la circulación de androstenona así como de otras hormonas esteroides. Sin embargo, la biosíntesis de la androstenona se expresa mayormente durante la pubertad, asociada al desarrollo de las células de Leydig y a la estimulación que se recibe del sistema neuroendocrino.

La androstenona producida en los testículos es liberada al sistema circulatorio vía la vena espermática. Debido a su propiedad hidrofóbica es transportada hacia tejido adiposo donde es almacenada en un proceso reversible. Una parte de la liberación de androstenona al ambiente se realiza a través de la orina como 5 $\beta$ - androstenol y algunas trazas en heces (Xue y Dial, 1997).

Las glándulas salivales son otro sitio de almacenamiento de andrógenos (16-androsteno), que hayan sido transportados hacia las glándulas submaxilares a través de la circulación sanguínea, unidos a una proteína transportadora llamada feromaxina (Babol *et al.*, 1996). Androstenona liberada a través de la saliva actúa como feromona, influyendo en la aceleración de la pubertad en las cerdas, así como también provocando el efecto de lordosis, que es una posición característica de inmovilidad de una cerda en celo al tener contacto con la feromona, con el fin de permitir que el cerdo la monte (Gray y Squires, 2013).

Durante el periodo de engorda los cerdos enteros manifiestan un incremento en el nivel de andrógenos. Los cerdos inmunocastrados presentan este incremento hasta la semana 18-20 de edad, cuando, debido a la aplicación del análogo de GnRH, sus niveles de andrógenos se reducen severamente. Por ese motivo los cerdos inmunocastrados presentan una tasa de crecimiento mayor y una mayor eficiencia en acumulación de tejido, que los cerdos castrados quirúrgicamente (Turkstra y Meloen, 2006).

### 2.3.2 Fisiología del escatol

El escatol o 3-metil indol (3MI) es un metabolito formado a partir del aminoácido L-triptófano, por la microflora (ambiente anaeróbico) en el intestino grueso de los cerdos. En un primer paso ocurre la formación de ácido indol-3-acético a partir de la desaminación del aminoácido triptófano, con la participación de diferentes especies bacterianas tales como *Bacteroides fragilis*, *Citrobacter*, *E. coli*, y *Clostridium* spp. En un segundo paso ocurre una decarboxilación de ácido indol-3-acético a escatol, con la participación de *Lactobacillus* sp. Estas bacterias representan menos del 0.01 % de la microflora total del intestino (Bernal Barragán, 1992; Wesoly *et al.*, 2012).

Del intestino grueso, este metabolito es absorbido en el torrente sanguíneo por difusión pasiva, y es depositado en los tejidos grasos (Doran *et al.*, 2002; Gray y Squires, 2013). Análogamente se forman otros metabolitos como el indol, que también contribuye al olor del verraco (Wesoly *et al.*, 2012). El nivel de la producción de este metabolito depende de los factores nutricionales, estadio fisiológico del animal, edad del animal, raza, entre otros. (Bernal Barragán, 1992; Babol *et al.*, 2004). Para otros animales (perro, vacas, cabras) y para el hombre este metabolito es una neumotoxina (Robic *et al.*, 2008).

El metabolismo del escatol se realiza en el hígado en dos fases. Primeramente el escatol es transportado vía la vena porta hacia este órgano en donde la mayoría de los derivados del indol son metabolizados por enzimas específicas (Wesoly *et al.*, 2012), para agregar un grupo hidroxilo, el cual se puede utilizar para la unión del conjugado en la fase II. La mayor parte de la primera fase se lleva a cabo en el

citocromo P450. En la fase 2 se llevan a cabo una sulfatación (Zamaratskaia *et al.*, 2009).

### **2.3.2.1 Fase I**

Dentro de esta fase se encuentran dos enzimas del citocromo P450, con mucha actividad y tienen un rol importante, estas son CYP2A y CYP2E1 (de esta última se tienen más descripciones) (Robic *et al.*, 2008).

Las isoformas del citocromo P450, CYP2A y CYP2E1 así como también de la enzima aldehído oxidasa, son los responsables primarios del metabolismo del escatol. Se han identificado 7 metabolitos en esta fase, los cuales son producidos usando los microsomas del hígado. El metabolito que se encuentra en mayor concentración (aproximadamente 45%) es el 3-hidroxi-3-metilindolenina. Los otros metabolitos son 3-hidroxi-3-metilindol (HMOI), indol-3-carbinol (I3C), 2-aminoacetofenona (2AAP), 3-metoxindole (3 MOI), 5-hidroxi-3-metilindol (5-OH-3MI) y 6-hidroxi-3-metilindol (6-OH-3MI), algunos de estos sirven durante la fase II como sustratos para la conjugación con el sulfato o ácido glucorónico (Zamaratskaia *et al.*, 2009; Gray *et al.*, 2013).

El CYP2E1 es una enzima microsomal que se encuentra involucrada en el metabolismo de un gran número de moléculas de bajo peso molecular (como los xenobióticos). En los cerdos esta enzima tiene un efecto importante en la catálisis del escatol y un metabolismo hepático defectuoso del escatol que conducirá a su acumulación en tejido graso. De esta forma, altos niveles de esta enzima están relacionados con bajos niveles de escatol en grasa (Robic *et al.*, 2008).

### **2.3.2.2 Fase II**

Para la depuración del escatol un paso que tiene gran importancia es la sulfatación por medio de la enzima fenol sulfotransferasa (SLUT1A). En el estudio realizado por Robic *et al.* (2008), se encontró que existe un polimorfismo en este gen el cual causa una disminución significativa en la sulfatación.

Debido a su carácter lipofílico el escatol se almacena en tejido adiposo, esto ocurre cuando los niveles en sangre son elevados en un periodo prolongado. Las concentraciones de escatol en este tejido disminuyen cuando la formación del escatol en el colon se reduce debido a la reducción de la alimentación (Wesoly *et al.*, 2012).

El tejido adiposo difiere su composición de ácidos grasos dependiendo del sitio anatómico. Se ha establecido que los cerdos con mayor cantidad de carne magra tienen una menor capacidad de sintetizar y depositar ácidos grasos insaturados (Wesoly *et al.*, 2012). Las altas o bajas concentraciones de escatol son el resultado de varios pasos independientes como son la formación, absorción, metabolismo y su acumulación en tejido adiposo.

## **2.4 Castración quirúrgica**

La castración quirúrgica es una práctica que se realiza en cerdos machos desde el año 4000-3000 a.C. (Zamaratskaia *et al.*, 2015), con el fin de prevenir problemas de comportamiento agresivo de los machos enteros, así como también disminuir el olor del verraco (Fredriksen *et al.*, 2009), el cual es ocasionado principalmente por la acumulación de androstenona y escatol en grasa (Zamaratskaia *et al.*, 2015). La

castración quirúrgica es efectiva para el control del problema generado por androstenona, ya que con ello se descarta la síntesis de tal compuesto.

El término castración, se refiere a la eliminación de los testículos o de la función testicular. Dentro de la ganadería existen numerosas técnicas de castración (Petherick, 2010). Según datos obtenidos por Fredriksen *et al.* (2009), en la industria porcícola de la Unión Europea existe una amplia variedad de formas para realizar este procedimiento, como por ejemplo la suspensión de las patas del lechón utilizando un soporte para la castración o la sujeción del lechón con una sola mano.

La castración quirúrgica de los lechones se realiza entre los 3 a 7 días de edad y no debe tardar más de 30 segundos (el 65 % de los países de la Unión Europea lo realizan así). La edad a la que se realiza la castración difiere de acuerdo a cada una de las granjas y países. En algunas granjas productoras este procedimiento se realiza después de la primera semana de edad, esto con el fin de que los testículos sean de un mayor tamaño y ya hayan descendido al escroto, facilitando así el trabajo y evitando con ello hernias inguinales. El procedimiento consiste en realizar, con ayuda de un bisturí, una o dos incisiones de aproximadamente de 2 cm de longitud sobre la piel del escroto. Posteriormente se realiza separación de los tejidos que rodean al testículo para poder extraerlo; una vez que esto se realiza se procede a localizar el cordón espermático para realizar su corte, utilizando la hoja de bisturí (Prunier *et al.*, 2006; FAO, 2009; Fredriksen *et al.*, 2009).

## **2.5 Métodos alternativos a la castración quirúrgica**

Algunos de los métodos alternativos para la castración quirúrgica que se han estado implementando a lo largo de los años en la producción animal, son selección genética de animales, el uso de animales enteros, la castración química y la inmunocastración (Sutherland *et al.*, 2017).

### **2.5.1 Selección genética de animales**

La acumulación tanto de escatol como de androstenona en la grasa se encuentra afectada por varios factores genéticos y debido a la gran variabilidad de razas existen diferencias en los niveles que estos presentan. Algunas razas puras, como la Duroc, presentan altos niveles de androstenona en grasa en el 50 % de los cerdos machos (Zamaratskaia y Squires, 2009).

La selección genética en cerdos puede ser posible, dado la alta heredabilidad ( $h^2 = 0.25 - 0.88$ ) de la androstenona. En cambio, la heredabilidad del escatol está dentro de niveles medios (0.19 - 0.54) (Robic *et al.*, 2008). Por lo que se puede buscar la reducción de ambos componentes por selección genética.

### **2.5.2 Producción de carne de cerdos machos enteros**

El uso de machos enteros para carne para consumo humano, se propuso como alternativa a una mayor demanda de carne más magra por parte de los consumidores, además de la reducción en los costos de producción. El primer país en exportar

machos enteros fue Dinamarca, pero estos fueron rechazados principalmente por los consumidores en Alemania y Francia. La Unión Europea permite el comercio de esta carne siempre y cuando los pesos de las canales sean menores a 80 kg (Bonneau, 1998).

Alrededor del 80 % de los cerdos en Europa son castrados, sin embargo existen algunos países que son las excepciones como lo son el Reino Unido e Irlanda, España, Portugal y Chipre, de estos últimos 2/3 de su producción son machos enteros (Blanch *et al.*, 2012).

Las ventajas de la producción de machos enteros son: una tasa de crecimiento hasta 13 % superior, reducción del consumo de alimento de hasta un 9 %, una conversión alimenticia más eficiente y generalmente 20 % menos contenido de grasa que los castrados (Nadêje *et al.*, 2000). Aún con estas ventajas su principal desventaja sigue siendo “el olor del verraco”.

Para poder definir los efectos genotípicos en el olor del verraco, primero es necesario definir su fenotipo. Los verracos deben tener testículos funcionales para que el fenotipo del olor de verraco y el potencial de la producción testicular se puedan evaluar.

Existen tres tipos diferentes del fenotipo del olor del verraco, los cuales tienen relación con la maduración de los animales:

- a) Cerdos con maduración temprana y con alto potencial para síntesis de androstenona.

- b) Verracos con maduración tardía, y con alto potencial para la síntesis de androstenona
- c) Verracos con bajo potencial de síntesis de androstenona

La selección de verracos con bajos niveles de androstenona, y con maduración tardía conlleva problemas con el olor del verraco, a medida que el peso a sacrificio aumenta y se acercan a su madurez sexual; y con esto se puede afectar el estado sexual de las hembras (Zamaratskaia y Squires, 2009).

### **2.5.3 Castración química**

Existen pocos estudios en donde se ha explorado la posibilidad de usar la castración química, que consiste en la destrucción local del tejido testicular mediante la inyección intratesticular de compuestos químicos como formaldehído, ácido láctico, ácido acético, sal de plata, o sal de zinc. Con el uso de estos métodos se minimiza el desarrollo de una infección, sin embargo implica el causar un dolor a medida que el producto e vaya introduciendo (Prunier *et al.*, 2006, Rault *et al.*, 2011).

#### **2.5.4 Inmunocastración**

La manipulación del eje hipotalámico hipofisario gonadal, es una potencial herramienta para el bloqueo de la función gonadal en los mamíferos, que puede ocasionar retraso de la pubertad, prevenir problemas de comportamiento, prevenir olores sexuales, tratar enfermedades relacionadas con la reproducción, entre otras (Tursktra *et al.*, 2006).

La inmunocastración tiene su principio de acción en la modificación del eje hipotálamo hipofisario gonadal, por medio de la aplicación exógena de análogos de GnRH, con la consecuente formación de anticuerpos y respuesta inmune hacia la GnRH endógena. Este neuropéptido (GnRH) estimula la secreción de la Hormona Folículo Estimulante (FSH) y la Hormona Luteinizante (LH), las cuales a su vez estimulan la producción en el testículo de esteroides, tales como la testosterona, y la androstenona (Zamaratskaia *et al.*, 2009).

La inmunización de cerdos machos enteros con el agonista del factor liberador de gonadotropina (GnRH), suprime la actividad testicular, lo cual conlleva a la reducción del tamaño testicular, así como la reducción de los niveles de testosterona y androstenona (Dunshea *et al.*, 2001; Jaros *et al.*, 2005). Existen estudios previos en los cuales muestran mejores resultados al realizar dos aplicaciones del agonista de GnRH y un rápido desarrollo de anticuerpos contra GnRH endógena después de la segunda vacunación (Dunshea *et al.*, 2001; Škrlep *et al.*, 2010a). La inmunización contra la GnRH endógena no inhibe el desarrollo de la GH (hormona del crecimiento) en machos enteros (Metz *et al.*, 2002).

Brunius *et al.*, (2011), así como Font-i-Furnols *et al.* (2012), proponen un calendario de vacunación con aplicación de la primera dosis a los 70-72 días de edad, y la segunda vacunación a los 98-100 días de edad. Cada una de las aplicaciones consiste en 2 ml del análogo de la GnRH, de acuerdo a las especificaciones del proveedor.

La vacuna Improvac<sup>®</sup> (Pfizer Animal Health), representa una alternativa que puede ser considerada como amigable para el bienestar del animal (Thun *et al.*, 2006), en el aspecto de la castración de cerdos. Desde 1998 se tiene permitido el uso de la vacuna Improvac<sup>®</sup> en Australia (Fredriksen *et al.*, 2009). En el 2007, Suiza se convirtió en el primer país europeo que autorizó la inmunocastración con la vacuna Improvac<sup>®</sup> de Pfizer Animal Health (Dunshea *et al.*, 2001). De acuerdo a Campbell *et al.* (2007), el precio de vacunación por cerdo es de 2 a 3 euros.

## **2.6 Crecimiento de cerdos inmunocastrados**

De acuerdo a Turkstra y Meloen, (2006), durante la engorda, las características de crecimiento de los cerdos inmunocastrados son similares a los de los cerdos enteros, hasta el momento en que por efecto de la inmunocastración los niveles de andrógenos se reducen notoriamente. Debido a ello, los cerdos inmunocastrados presentan una tasa de crecimiento mayor y más eficiente que la de los cerdos castrados quirúrgicamente.

Comparando el crecimiento de cerdos inmunocastrados con el de los castrados quirúrgicamente, los primeros presentan un mayor porcentaje de carne magra. Este aspecto puede ser considerado por la industria de la producción de carne como un

parámetro de calidad que tiene un efecto directo para el productor (Jaros *et al.*, 2005). Las hembras a las que se les aplica la inmunocastración, no muestran efectos sobre los parámetros de la calidad de la carne (Martínez-Macipe *et al.*, 2015).

La inmunocastración aumenta la tasa de consumo de alimento, comparado con los valores de machos enteros, por lo que se tiene un efecto directo sobre el crecimiento del animal, además de presentar un aumento en la grasa dorsal (Dunshea *et al.*, 2001). Los cerdos inmunocastrados tienen, antes de la segunda aplicación de la vacuna, una ganancia de peso similar a los cerdos enteros y a los cerdos castrados quirúrgicamente (925 g/día). Después de la segunda aplicación de la vacuna, los cerdos inmunocastrados muestran una ganancia de peso mayor (900-1200 g/día) que los machos enteros y castrados (Zamarastkaia *et al.*, 2008). De acuerdo a Font-i-Furnols *et al.* (2012), las cerdas hembras presentan datos de crecimiento similares a los de cerdos castrados quirúrgicamente (800 g/día).

Los machos castrados quirúrgicamente presentan una conversión alimenticia de 3.23 kg alimento/kg de peso y los cerdos inmunocastrados una conversión de 3.05 kg alimento/kg de peso (Šklep *et al.*, 2010; Zamarastkaia *et al.*, 2008). Cerdos enteros, hembras y cerdos inmunocastrados presentan longitud de canal (80-82 cm) similar (Martínez-Macipe *et al.*, 2016).

## **2.7 Calidad en Carne**

Existen muchas definiciones para al término “calidad” en lo que corresponde a la carne de cerdo. En 1994 se dijo que la calidad de los cerdos es 50 % responsabilidad del producto y 50 % del empacador (Berg, 2000).

La calidad de la carne de cerdo tiene una influencia multifactorial, los cuales incluyen los factores genéticos, el manejo de los animales antes del sacrificio y el manejo de los animales post sacrificio (Pettigrew y Esnaola, 2001).

En 1995 se definió a la “calidad” como una asociación de varias características como lo son la frescura, la apariencia, la satisfacción de consumidor, la funcionalidad y la inocuidad de la carne; así mismo se enumeraron ocho factores de producción y procesamiento que influyen en la calidad, los cuales son (Berg, 2000):

1. Genética
2. Nutrición
3. Promotores de crecimiento
4. Manejo/transporte antes del sacrificio
5. Aturdimiento
6. Escaldado
7. Manejo post sacrificio
8. Embalaje y almacenamiento

El término de “alta calidad” en carne de cerdo actualmente usado en la industria porcina, no tiene una definición única. Debido a que la calidad en la carne es una combinación tanto objetiva como subjetiva de varias mediciones que se llevan a cabo en el mercado, sobre todo en el mercado internacional. Las mediciones más comunes que se utilizan para la determinación de la calidad de carne de cerdo son el color, pH, capacidad de retención de agua, firmeza y marmoleo, las cuales se realizan por medio de una inspección visual o una pruebas de laboratorio (PIC, 2016).

En Estados Unidos de Norte América las mediciones más importantes son color y el pH, con las cuales se clasifican en cuatro categorías generales, las cuales son: rojas, firmes y no exudativas (RFN); oscuro, firme y seco (DFD); rojo, suave y exudativo (RSE); y pálido, suave y exudativo (PSE) (American Meat Science Association).

### **2.7.1 Análisis químico de la carne**

El estudio de la composición química de la carne indica en qué forma varía la concentración de nutrientes en ella contenidos.

La carne se encuentra formada por cinco componentes químicos principales que son: la humedad (agua), proteínas, lípidos, carbohidratos y materiales inorgánicos (minerales o cenizas) (Braña-Varela *et al.*, 2011; Keeton *et al.*, 2014). La composición química de la carne se ve afectada por diversos factores como son la especie, madurez, tipo de músculo a evaluar, transportación, etc. Esta característica también se ve afectada en caso de que se agreguen aditivos como sales y fosfatos.

En la Figura 1 se muestra la composición química de la estructura del músculo esquelético (ver 1.1.8.3).

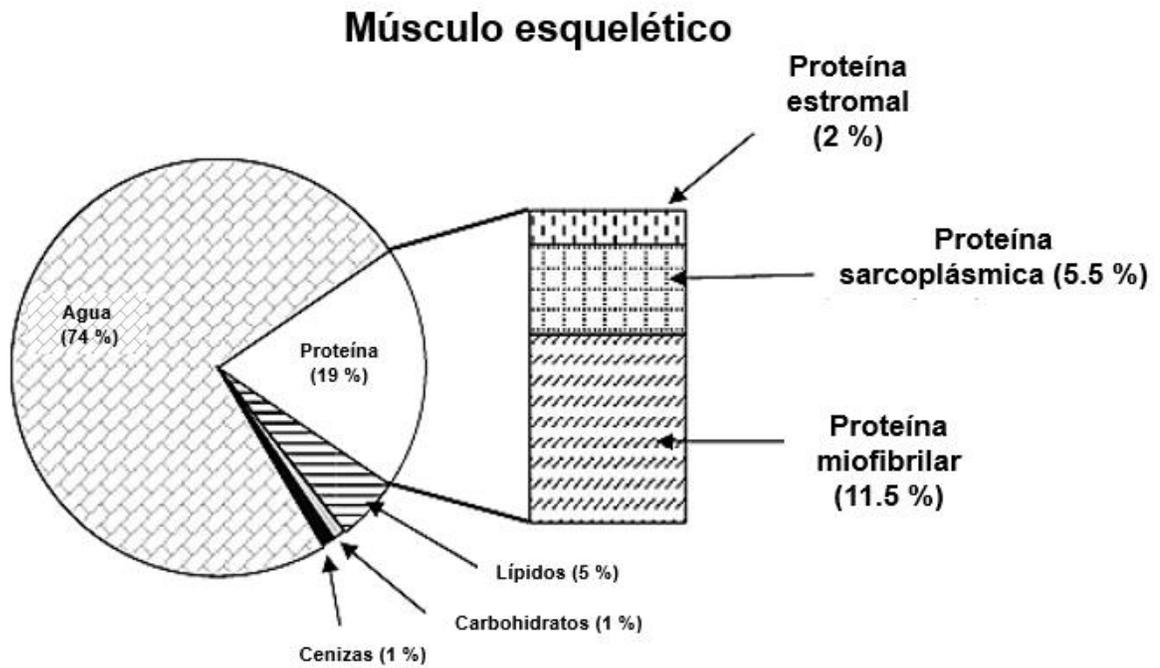


Figura 1. Composición química de la estructura del músculo esquelético.  
Fuente: Keeton *et al.* (2014).

## **2.7.2 Análisis físico de la carne**

### **2.7.2.1 Color**

Es el atributo sensorial más importante en carne fresca, debido a que es el atributo por el cual el consumidor evalúa rápidamente la calidad y frescura de la carne. Los consumidores se oponen a que la carne fresca de cerdo presente una coloración pálida (seco y duro después de la cocción) u oscura (tiempo de vida de anaquel) (Faustman y Surman, 2017).

La coloración se ve influenciada por la concentración y al estado redox de los pigmentos heme, los cuales son mejor conocidos como mioglobina. La Mioglobina es una proteína sarcoplasmática soluble en agua, con una estructura globular que contiene 153 aminoácidos compuesto por 8 alfa hélices y un grupo heme en el centro de la proteína; su función es la oxigenación del músculo (Ramanathan y Mancini, 2018). En el cerdo la mioglobina tiene un peso molecular de 16,953 Dalton (Da); y es considerada la más primitiva de los animales domésticos.

En general la coloración oscura y roja es debido a mayores concentraciones de mioglobina. La concentración varía de acuerdo a la especie (en el cerdo la concentración es de 0.06 %), el tipo de fibra muscular, a la edad del animal, entre otras. (Faustman y Surman, 2014).

La forma en que se puede encontrar la mioglobina en la carne fresca son tres: oximioglobina (la carne se expone al oxígeno atmosférico), deoximioglobina (forma ferrosa no oxigenada, aspecto rojo púrpura) y metmioglobina (oxidación del hierro a un estado férrico, coloración marrón) (Faustman y Surman, 2014).

La reducción en el pH (< 5.4) está asociada con una carne con coloración pálida, esto debido a la desnaturalización parcial sarcoplasmática y de proteína miofibrilares; en cambio, pH altos (> 6.0) se relacionan con carne oscuras (England *et al.*, 2017).

### **2.7.2.2      pH**

Dentro de las propiedades fisicoquímicas se encuentra el factor del pH de la carne, el cual es un factor importante para la determinación de la calidad de la carne. Existen factores que afectan esta variable como lo son el manejo antes del sacrificio (estrés).

El pH es el logaritmo negativo de la concentración de la reacción de los iones de hidrogeno ( $H^+$ ), con una molécula de agua para producir un ion hidroxonio ( $H_3O^+$ ) (Honikel, 2014). La importancia del potencial de hidrógeno (pH) está en que influye en el color, la capacidad de retención de agua, el sabor, terneza y vida de anaquel de la carne.

El pH del tejido muscular de un animal vivo es neutro (7-7.04). Inmediatamente después del sacrificio, el aporte de oxígeno a través de la sangre y de los nutrientes hacia el músculo cesa, por lo que se comienza un metabolismo anaeróbico para transformar el 1 % del glucógeno disponible en ATP con el fin de mantener la temperatura e integridad estructural. La mayoría del glucógeno se descompone en ácido láctico en las primeras 12 horas después del sacrificio, por lo tanto la acumulación de este comienza un proceso de acidificación y como respuesta el pH comienza a descender (Heinz y Hautzinger, 2007).

El pH final de la carne se alcanza en diferentes momentos después del sacrificio dependiendo de la especie, el tipo de músculo y estrés durante el periodo antes del sacrificio e inmediatamente después del sacrificio y puede variar de 5.3 a 7.0.

El valor del pH en pleno desarrollo del *rigor mortis* se denomina como pH final. Dentro de las 6 a 8 horas *post mortem* se alcanzan valores de 5.5-5.8 en músculo normales de cerdo (Honikel, 2014).

### **2.7.2.3 Capacidad de retención de agua**

La capacidad de retención de agua (CRA; siglas en inglés, WHC por Water Holding Capacity) se define como la capacidad que posee la carne para retener agua durante el corte, cocción, molienda, prensado, así como también durante el transporte, procesamiento y almacenamiento. El término WHC se refiere tanto al agua contenido de la carne, como también al agua que es adicionada durante el procesamiento de la misma (Berg, 2000; Waner, 2017).

La composición química del músculo es de 75 % de agua, 20 % proteína, 5 % lípidos, 1 % carbohidratos y menos del 1% son vitaminas y minerales (Waner, 2017).

La disposición del agua es en capas alrededor de moléculas polares y entre capas de materiales celulares. Tiene movimiento restringido debido a una variedad de fuerzas. Aproximadamente el 5% del agua contenida en el tejido muscular existe como el "agua de hidratación verdadera" unida a proteínas por adsorción monomolecular o multimolecular. Esta agua no es 'libre'; tiene una estructura parecida a un hielo (cristal líquido), que no se congela, no se ve afectada por las cargas en la proteína muscular (pH), y no está disponible para participar en las reacciones (Brewer, 2014).

Después del sacrificio, el agua se mueve al sarcoplasma desde los espacio intramiofibrilares, debido al estrechamiento de las miofibrillas. Este proceso se mantiene hasta que el pH desciende; con este proceso el ATP (trifosfato de adenosina) deja de estar disponible y por tanto el agua y iones se mueven y pasan a través del sarcolema al espacio extracelular misma (Waner, 2017).

En un músculo (con pH 7.0), más del 95 % del agua se encuentra en el espacio extracelular. Después del sacrificio, aproximadamente el 15 % se encuentra en el espacio entre las células, esto lo podemos apreciar como gotas en la superficie de la carne.

Desde la perspectiva estructural, la pérdida de agua se ve influenciada por:

- Contracción longitudinal y transversal de las miofibrillas
- Ruptura de la estructura de la membrana celular
- Integridad del citoesqueleto intracelular (afecta la contracción de la célula)
- Desarrollo de espacios entre las células
- Desarrollo de proteínas sarcoplásmicas y miofibrilares (atrapar el agua)

La CRA del cerdo puede ser la característica más importante, ya que una deficiente WHC da como resultado pérdidas en el peso del producto, pérdida de nutrientes; así como también afecta la textura, aspecto y jugosidad de la carne (Berg, 2000).

Músculo, grasa y hueso son componentes mayoritarios de la canal de los animales. La composición química de la carne cambia conforme el animal va madurando, por lo que al nacer el 65 % es músculo, el 25 % es hueso y el 8 % es grasa. Cuando el animal alcanza la madurez, el 55 % es músculo, el 28 % es grasa y el 15 % es hueso. En los tejidos el porcentaje de humedad, proteína y cenizas desciende conforme la grasa se incrementa (Keeton *et al*, 2014).

#### **2.7.2.4 Análisis de Perfil de textura**

El análisis de perfil de textura (APT) fue desarrollado en los inicio de los años 60's con el fin de estudiar las propiedades mecánicas de los alimentos y su relación con su textura (Mochizuki, 2001). Este análisis consiste en simular la masticación de un trozo de comida del tamaño de un bocado (1.2 cm), sometiéndolo a dos ciclos de compresión de un 70- 80%, a partir de lo cual se establece una relación de tiempo-fuerza y con ello se obtienen parámetros de textura a medir en alimentos (Bourne, 1978). Como parte del análisis de perfil de textura se evalúan las siguientes variables: dureza, fracturabilidad, adhesividad, elasticidad, cohesividad, gomosidad, masticabilidad y resistencia.

**Cuadro 1. Parámetros del Perfil de Textura**

<b>Parámetro</b>	<b>Definición</b>	<b>Cómo se obtiene</b>	<b>Unidades</b>
Fracturabilidad	Fuerza necesaria para fracturar la muestra	Fuerza al primer pico. Donde la gráfica alcanza su máximo nivel y decae (cae la fuerza) esto durante la primera compresión	Newtons (N)
Dureza	Fuerza necesaria para lograr una deformación determinada	Máxima fuerza durante el primer ciclo de compresión	Newtons (N)
Adhesividad	Trabajo necesario para vencer la fuerza de una atracción entre la muestra y una superficie	Área negativa después del primer ciclo de compresión. Trabajo necesario para separar la superficie del equipo y la muestra	Joule (J)
Cohesividad	Resistencia de un material a una segunda deformación con relación a como se comportó con la primera deformación	Área de trabajo de la segunda compresión dividida entre el área de trabajo de la primera compresión	Relación A2/A1
Elasticidad	Capacidad de la muestra deformada para recuperar su forma o longitud después de la primera compresión	Relación o porcentaje de la altura original de la muestra. Distancia de altura detectada durante la segunda compresión entre la distancia de compresión original	
Gomosidad	Fuerza necesaria para desintegrar una muestra de alimento semisólido a un estado al que facilite su ingesta	Dureza por Cohesividad	Newtons (N)
Masticabilidad	Fuerza necesaria para masticar un alimento sólido hasta un estado que permita su ingesta	Dureza por Cohesividad por Elasticidad	Newtons (N)
Resistencia	Que tan bien una muestra "lucha por recuperar su altura original"	Divides la energía ascendente de la primera compresión por la energía descendente de la primera compresión	

Fuente: Mochizuki (2001) y Torres *et al.* (2015).

## 2.8 Evaluación sensorial de la carne

El eslabón final dentro de la producción cárnica es el consumidor. La percepción y preferencias de los consumidores son afectada por muchos factores, mencionados por Font i Furnols *et al.*, (2008), así como por Jiménez-Colmero *et al.*, (2016), como a continuación:

- Características de los consumidores: edad, estado de salud, religión y nivel de educación.
- Propiedades del producto: color, marmoleo, ternera, jugosidad, sabor, propiedades nutricionales, el procesamiento (petfriendly)
- Nivel socio económico

Los factores de consumo (ternera y sabor) son de alta importancia para la industria porcina, debido a su definición en el orden de competencia en el mercado. Por este motivo es necesario llevar a cabo evaluaciones sensoriales de carne (Jiménez-Colmero *et al.*, 2016).

Las evaluaciones sensoriales están definidas como una disciplina usada para evocar, medir, analizar e interpretar las reacciones de los humanos a las características sensoriales de la carne (Miller, 2017). Las evaluaciones sensoriales utilizan procedimientos tanto objetivos como subjetivos; dentro de estos la escala utilizada es importante. Las escalas pueden utilizar números o palabras para expresar la intensidad o nivel del atributo que se está midiendo (AMSA, 2015). Por otro lado, los tipos generales de pruebas sensoriales que

pueden ser estudiadas o evaluadas de acuerdo al interés del producto o estudio pueden ser: panel entrenado, panel semientrenado, experto y de consumidor.

### **2.8.1 Panel entrenado**

El uso de un panel de personas entrenadas como instrumento para cuantificar o identificar las propiedades sensoriales del cerdo es una práctica utilizada para evaluar las diferencias de calidad alimentaria en la carne, y están relacionadas con el desarrollo y aplicación de nuevas tecnologías para la rastreabilidad y evaluación rutinaria de los productos (USDA, 2010). Para llevar a cabo una evaluación sensorial de este tipo se deben considerar tres áreas: 1) las condiciones ambientales, el producto y el panel que se utilizarán, 2) selección y entrenamiento del panel; y 3) tipo y estructura de las pruebas a utilizar.

### **2.8.2 Panel de consumidores**

Los principales factores a considerar en la determinación de las percepciones de los consumidores sobre las características sensoriales de los alimentos son: 1) la evaluación del consumidor no es una prueba de comercialización, sino una evaluación de las propiedades sensoriales de la carne (gusto, olfato, vista, sensación o sonar); 2) no utilizar términos de atributos descriptivos entrenados, 3) atención al diseño y desarrollo de la evaluación (instrucciones y preguntas) y 4) atención a la manipulación, preparación y presentación del producto (USDA, 2010).

## **2.9 HIPÓTESIS Y OBJETIVOS**

### **2.9.1 Hipótesis**

La inmunocastración mejora el crecimiento de los cerdos sin afectar la calidad y aceptación de la carne, por lo que representa una alternativa biotecnológica viable para aplicarse en sustitución de la castración quirúrgica en sistemas de producción porcícola.

### **2.9.2 Objetivo general**

Evaluar el efecto de la inmunocastración en el crecimiento, calidad y aceptación de la carne de cerdos inmunocastrados y con castración quirúrgica.

### **2.9.3 Objetivos específicos**

Determinar el efecto de la inmunocastración sobre los aumentos de peso, el consumo voluntario y la eficiencia alimenticia de cerdos en crecimiento machos con/sin castración y hembras.

Evaluar las propiedades fisicoquímicas, textura y evaluación sensorial de la carne por efecto de la condición sexual de cerdos.

Determinar la retención de proteína en carne de hembras y machos enteros, castrados quirúrgicamente e inmunocastrados

Determinar el efecto de la inmunocastración sobre las propiedades organolépticas de la carne de cerdos.

### 3 MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo de investigación se realizó en la Unidad Académica Marín, de la Facultad de Agronomía (FA), de la Universidad Autónoma de Nuevo León, ubicada en el municipio de Marín, Nuevo León (UANL), México, localizado a una latitud 25° 52' 30.79" N, y longitud -100° 2' 42.5" O, a una altitud de 357 m. Durante el período experimental se tuvo temperatura máxima promedio de 40° C y una temperatura mínima promedio de 21° C. La etapa de evaluación de la canal, se realizó en el Centro de Investigación y Desarrollo en Industrias Alimentarias, en el Laboratorio de Nutrición y Calidad de Alimentos y en el Laboratorio de Ingeniería de la FA, UANL, localizados en el Campus de Ciencias Agropecuarias, municipio de General Escobedo, N.L., México.

#### 3.1 Manejo de los animales antes de la inmunocastración

Los 28 lechones utilizados en el estudio provinieron de 4 partos de cerdas (Yorkshire-Landrace), que fueron servidas con un semental Duroc-Pietrain. Estas cerdas se movieron a la sala de maternidad una semana antes de la fecha esperada de parto. Fueron colocadas en jaulas individuales de maternidad, contando con acceso *ad libitum* a alimento y agua. Un día antes de la fecha probable de parto, las cerdas fueron restringidas de alimento.

### **3.1.1 Parto**

Los partos, se monitorearon y atendieron por el personal técnico de la granja. Al comenzar la labor de parto, se recibía y atendía a cada uno de los lechones. Los lechones fueron secados con el higienizante (Mistral, Grupo Olmix, EUA) el cual además les ayuda conservar el calor durante las primeras horas después del nacimiento. Cada una de las jaulas de maternidad contó con un nido lechonero, el cual tenía un foco de luz para ayudar a conservar la temperatura de los lechones (aproximadamente 30 °C). La cerda se quedó con los lechones hasta los 21 días de edad (edad de destete).

### **3.1.2 Castración quirúrgica y cuidados post-operatorios**

Del total de lechones de las 4 camadas se seleccionaron 28 cerdos al azar, de los cuales siete machos se seleccionaron al azar para ser castrados quirúrgicamente a la semana de edad, como se realiza actualmente en las granjas porcinas comerciales (Rault *et al.*, 2011).

En el procedimiento se utilizaron los siguientes materiales e implementos:

- Guantes
- Mango de bisturí
- Hojas de bisturí
- Desinfectante (azul de metileno)
- Bote con agua

- Toallas secantes de papel

El procedimiento se llevó a cabo de la siguiente manera:

1. El lechón fue sujetado exponiendo las caderas.
2. Utilizando los dedos índice y pulgar, se presionaron ambos testículos para exponerlos.
3. Se realizó una incisión en la piel del escroto sobre cada uno de los testículos con dirección caudal (asegurándose que las incisiones se realizaran bajo el saco escrotal, para el drenado de los fluidos).
4. Se sacó uno de los testículos por la incisión y se jaló ligeramente, asegurándose de que el cordón espermático también estuviera afuera de la incisión.
5. Con ayuda del bisturí se cortó el cordón espermático, con un movimiento de raspado para ayudar a disminuir la hemorragia.
6. El proceso se repitió con el otro testículo.
7. Se aseguró de que no hubiera ningún cordón que sobresaliera por las incisiones; en caso de ello, se cortó.
8. Las incisiones se rociaron con el antiséptico.
9. Se regresó al lechón a su corral.

Los lechones fueron monitoreados para asegurar de que no presentaran hinchazón y/o secreciones; se volvió a aplicar desinfectante al día siguiente del procedimiento de castración.

### **3.1.3 Destete**

A las camadas completas se les comenzó a ofrecer alimento preiniciador peletizado (Trouw Nutrition, México) a partir del 7° día con la finalidad de que durante la lactancia se fueran acostumbrando al consumo de alimento seco. Los lechones fueron destetados a los 21 días, para lo cual la madre fue retirada de la jaula de maternidad y llevada a los corrales de gestación. Los lechones se trasladaron dos días después del destete a la sala de recría.

### **3.1.4 Recría**

En la sala de recría, los lechones fueron colocados en grupos de cinco por corral. Fueron distribuidos de acuerdo con el sexo, y se distribuyeron de la siguiente manera: un corral de hembras, dos de machos enteros y uno de machos castrados. Las dimensiones de las jaulas de recría fueron de 152 por 244 cm (área de 3.7 m<sup>2</sup> de superficie) con capacidad de 13 a 15 cerdos con un peso de hasta 30 kg, con piso de plástico acanalado, para evitar la acumulación de excretas.

Una vez que los lechones se trasladaron a los corrales de recría, fueron introducidas botellas de plástico (PET), con la finalidad distraerlos y evitar peleas por establecimiento del rango social.

Cada uno de los corrales, contó con un comedero tipo tolva y bebederos tipo chupón. La alimentación de los lechones fue gradual, iniciando con una alimentación a base de alimento peletizado preiniciador por cinco días. Posteriormente se comenzó a mezclar

poco a poco el alimento peletizado pre-iniciador. Este procedimiento se realizó con la finalidad de evitar diarreas y se mantuvieron en la sala de recría hasta un peso vivo de  $25 \pm 5$  kg de peso.

### **3.1.5 Engorda**

Posteriormente, los lechones fueron trasladados al área de engorda, siendo este procedimiento gradual, permaneciendo así hasta el momento de la aplicación de la primera inmunocastración. Cada uno de los corrales contó con un comedero de tolva (capacidad de 40 kg) y dos bebederos por corral. Al igual que en la recría, se utilizaron botellas de plástico (PET) para evitar peleas, esto se utilizó durante los primeros tres días (periodo de adaptación).

### 3.2 Inmunocastración y manejo post-inmunocastración

El procedimiento de inmunocastración fue realizado en siete animales seleccionados al azar de entre los cerdos que se mantuvieron enteros hasta que alcanzaron un peso promedio de  $68.7 \pm 2.4$  kg y una edad promedio de  $114.5 \pm 1.5$  días (16 semanas).

El procedimiento se llevó a cabo en un corral del área de engorda, de la siguiente manera:

1. Se tomó una cuerda o un lazo corredizo de cuerda para sujetar al animal.
2. Estando colocados a un costado del hombro del cerdo, se sostuvo la cuerda con ambas manos y fue deslizada en el hocico por detrás de los colmillos superiores.
3. Se ajustó el nudo corredizo mediante un movimiento hacia arriba y se empujó hacia delante para sujetar al cerdo.
4. Se realizó limpieza del área de inoculación con un antiséptico (MICRODACYN, Oculus).
5. Se aplicaron 2 ml del análogo de la GnRH (cada ml contiene 200 mg del GnRF Conjugado proteico; Zoetis, México) en forma subcutánea en la base de la oreja, utilizando jeringa desechable de 5 ml, con una aguja desechable de calibre 16 extensión  $\frac{3}{4}$ .
6. Después de la aplicación, se asperjó el área de inoculación con antibiótico en spray (Pederol, Virbac).
7. Se retiró el lazo corredizo para liberar al animal.

8. Se repitió el procedimiento en los mismos cerdos 30 días antes del sacrificio (145 días de edad) (Zamarastkaia *et al.*, 2015).

Después de las aplicaciones, se revisó el área de inoculación para detectar alguna reacción al producto. En caso de ver alguna reacción, se realizó limpieza del área de inoculación y aplicación de antibiótico en spray, por una semana.

Una vez aplicada la inmunocastración, los cerdos(as) de cada tratamiento se colocaron en corrales individuales de 1.4 m<sup>2</sup> (siete corrales/tratamiento; Anexo 2). Se proporcionó en forma individual alimento y agua *ad libitum*. El alimento proporcionado contenía 3,438 kcal/kg de energía metabolizable y un 18.3% de proteína cruda. El experimento finalizó cuando los animales alcanzaron los 130.5 ± 5.1 kg de peso vivo, con una edad de 185.4 ± 2.7 días.

### **3.3 Dietas**

La dieta utilizada fue formulada a base de sorgo grano y harina de soya de acuerdo con las recomendaciones de NRC (2012) y Rojas *et al.* (2016). El alimento fue analizado para determinar su contenido de proteína, grasa y energía, utilizando los procedimientos de la AOAC (2005) así como la determinación de energía utilizando una bomba calorimétrica (Oliveira *et al.*, 2016).

### **3.4 Diseño experimental**

Con base en los pasos pre-experimentales anteriores, los 28 cerdos fueron distribuidos aleatoriamente en cuatro grupos experimentales (n=7 por tratamiento): T1= hembras; T2= machos castrados quirúrgicamente a los 15 días de edad; T3= machos inmunocastrados (aplicando dos series de inyecciones subcutáneas del análogo de la GnRH a los 115 y 145 días de edad); T4= machos enteros.

### **3.5 Evaluación del comportamiento productivo**

Las variables que se evaluaron fueron aumento diario de peso, consumo de alimento y eficiencia alimenticia. Los animales fueron pesados dentro de una jaula en una báscula Gallagher (Australia) con capacidad para 1000 kg y una división mínima (incrementos) de 0.100 kg. El alimento fue pesado utilizando una báscula Torrey, con capacidad para 50 kg y una división mínima (incrementos) de 0.01 kg.

### **3.6 Variables de sacrificio**

Los animales se sacrificaron atendiendo las indicaciones de la NOM -033-SAG/ZOO (2014), con un peso promedio de  $130.5 \pm 5.1$  kg, a razón de cuatro cerdos cada semana. Las canales fueron almacenadas a  $4.0 \pm 1.0$  °C por 24 h. Las variables que se midieron fueron: peso de sacrificio (PS, tomado antes del sacrificio), peso de la canal caliente (PCC) y fría (PCF). Con estas variables se determinó el rendimiento de canal caliente ( $RCC = (PCC/PS) * 100$ ) y rendimiento de canal fría ( $RCF = (PCF/PS) * 100$ ). El peso de canal caliente se midió con una báscula Gallagher (Australia) con

capacidad para 1000 kg y una división mínima (incrementos) de 0.100 kg; y el peso de canal fría y las piezas de la canal se midieron con una báscula de recibo (Torrey) con capacidad de 200 kg y una división mínima de 50 g.

### **3.7 Obtención de muestras sanguíneas**

Cuatro muestreos de sangre se realizaron para la obtención de suero sanguíneo. Los muestreos se realizaron en edades de  $90.6 \pm 1.5$  días,  $114.6 \pm 1.5$  días,  $144.6 \pm 1.8$  días y  $185.4 \pm 2.7$  días. En caso de ser necesario, los animales fueron tranquilizados aplicando 1 ml de Xilacina 10% (PiSA Agropecuaria, México). Las muestras fueron tomadas vía punción de la vena yugular con aguja calibre 16 y en un tubo Vacutainer rojo (para suero). Las muestras fueron transportadas al Laboratorio de Nutrición y Calidad de los Alimentos de la FA, UANL y fueron centrifugados a 10000 rpm a  $4^{\circ}$  C por 20 min. Posteriormente los sueros fueron obtenidos con una micropipeta y puestos en tubos Eppendorf y congelados a  $-20^{\circ}$  C para su posterior análisis.

### **3.8 Determinación de testosterona sérica**

La determinación de testosterona en suero se realizó utilizando un kit de ELISA (MexLab, México). Los reactivos se prepararon de acuerdo a las especificaciones del laboratorio. Posteriormente, se pusieron en la placa 25  $\mu$ l de estándares y muestras en los pozos designados. Después, 100  $\mu$ l de la solución de trabajo de testosterona

conjugada se le agregaron a los pozos, se agitaron suavemente durante 20 segundos para mezclar los reactivos y se cubrieron los pozos por 1 hora a temperatura ambiente.

Pasada la hora, los pozos se lavaron en tres ocasiones con 300  $\mu$ l de solución buffer cada vez. Posteriormente, los pozos se vaciaron golpeando suavemente en papel absorbente. Un total de 100  $\mu$ l de sustrato TMB se agregaron y se volvieron a cubrir los pozos e incubar a temperatura ambiente durante 15 min. Después se agregaron 50  $\mu$ l de solución stop a cada uno de los pozos y se mezcló suavemente durante 15 segundos. Posterior al procedimiento, la absorción de luz se leyó en cada muestra de la placa a 450 nm O.D. Las concentraciones de testosterona (ng de testosterona/mL) se calcularon utilizando la ecuación obtenida de los valores registrados para la curva estándar incubada a la par que las muestras.

### **3.9 Análisis fisicoquímico de la carne**

La composición química de la carne del músculo *Longissimus dorsi* (LD) fue analizada de acuerdo a la AOAC (2005) para humedad, proteína, grasa y cenizas. Después de 24 h *post mortem*, se determinó el pH, color y la capacidad de retención de agua (% CRA) del músculo LD, siendo determinadas por cuadruplicado para cada tratamiento. El pH fue determinado con un potenciómetro de punción (Orion 3 star ThermoFisher Scientific, U.S.A.), introduciendo el electrodo directamente en el músculo. El color fue medido con un colorímetro (Minolta Chroma Meter 2002; Konica Minolta Holdings, Inc., Tokyo, Japón), basado en el sistema CIE Lab ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ). Finalmente, la capacidad de retención de agua (CRA) fue medida mediante el método por compresión descrito

por Tsai y Ockerman (1981). Para ello se pesó una muestra de  $300 \pm 0.5$  mg de carne, en una balanza analítica con capacidad de 220 g y una división mínima de 0.1 mg; y se colocó entre dos papeles filtro, entre dos placas de plástico acrílico y se aplicó una fuerza de 4.0 kg por 20 min. La CRA se calculó con la siguiente fórmula ( $CRA (\%) = 100 - [(peso\ inicial - peso\ final)/peso\ inicial] \times 100$ ).

### **3.9.1 Pérdida por cocción y análisis de textura de la carne**

La carne fue cocida de acuerdo con el método empleado por Intarapichet *et al.* (2008). Para ello, muestras de músculo LD fueron empacadas al vacío y cocidas a  $75.0 \pm 0.1$  °C durante 1 h por inmersión en un baño de agua. Después las muestras fueron enfriadas durante 20 min por inmersión en agua, las piezas fueron removidas de las bolsas, escurriendo cuidadosamente para registrar el peso de cocido, los pesos fueron medidos en una báscula etiquetadora (Torrey) con capacidad de 20 kg y una división mínima de 5 g. El peso fresco y el peso cocido de cada músculo fueron registrados para evaluar la pérdida por cocido (PC) con la siguiente fórmula:

$$\% PC = [((peso\ crudo\ de\ pieza - peso\ cocido\ de\ pieza) / peso\ crudo\ de\ pieza) * 100].$$

La fuerza de corte (FC) y el análisis del perfil de textura (APT) se evaluó con un texturómetro (TA.XT2i Stable Micro Systems Serrey, England). La navaja Warner-Bratzler fue adaptada al texturómetro, y se utilizaron diez rectángulos de 2.0 x 1.0 x 1.0 cm largo, ancho y alto. Los cortes fueron realizados en paralelo a la dirección de

las fibras musculares. Las condiciones establecidas en el equipo fueron velocidad de  $2 \text{ mms}^{-1}$  en pre-prueba,  $2 \text{ mms}^{-1}$  en prueba,  $10 \text{ mms}^{-1}$  en post-prueba, y una distancia de 30 mm (Intarapichet *et al.* 2008).

El valor de FC (g) fue tomado del punto máximo de la curva obtenida con la prueba.

El APT de las muestras de carne fue realizado en ocho cilindros estandarizados por tratamiento con un sacabocados a 1.5 cm de alto y 2.5 cm de diámetro, los cuales se obtuvieron perpendicularmente a la dirección de las fibras musculares. Un pistón cilíndrico fue usado para comprimir la muestra durante dos ciclos de prueba, comprimiendo la muestra a 60 % de la altura original, con un intervalo de tiempo de 5 s entre los dos ciclos de compresión.

Curvas de deformación fuerza-tiempo fueron obtenidas de las condiciones establecidas en el texturómetro de velocidad pre-prueba  $1.0 \text{ mms}^{-1}$ , en prueba  $5.0 \text{ mms}^{-1}$ , y post-prueba de  $5.0 \text{ mms}^{-1}$ . Los siguientes parámetros fueron obtenidos y definidos de acuerdo a Bourne (1978) y Alonso *et al.* (2010): dureza (g), adhesividad (g s), elasticidad (mm), cohesividad, gomosidad (g), masticabilidad (g mm), y resistencia.

Se determinó el área de lomo de acuerdo a Ray (2004) y Dos Santos *et al.* (2014). Para ello se tomó la impresión del lomo en una hoja de papel y se marcó el contorno con ayuda de un lápiz. Las mediciones se realizaron con ayuda de una gradilla. La gradilla se colocó encima de la impresión y se contaron los puntos que entraban dentro del área; posteriormente el total de puntos se divide entre un factor (20 puntos = una pulgada cuadrada) (Ray, 2004) para obtener el área del lomo en pulgadas cuadradas.

### **3.9.2 Evaluación sensorial**

Una evaluación sensorial afectiva por atributos se realizó con la participación de 192 consumidores, en 6 sesiones de pruebas. Cada uno de los consumidores recibió aleatoriamente muestras de carne de 10 g (método de cocción descrito en el punto 4.4) de cada tratamiento (cada evaluador recibió cuatro muestras), colocadas en platos de plástico, identificadas con tres dígitos aleatorios, además de un vaso con agua, con la finalidad de que el consumidor se limpiara el paladar entre cada una de las muestras a probar (AMSA, 2015).

Cada uno de los consumidores, recibió un cuestionario (Anexo 1) para realizar la evaluación de las muestras. Los atributos olor, sabor, jugosidad, blandura y aceptabilidad global fueron evaluados utilizando una escala hedónica de 7 puntos, donde 7=me gusta mucho, 6=me gusta, 5=me gusta ligeramente, 4=ni me gusta ni me disgusta, 3=me disgusta ligeramente, 2=me disgusta y 1=me disgusta mucho.

### 3.10 Análisis estadístico

Los datos obtenidos del comportamiento productivo fueron analizados mediante un modelo lineal:

$$y_{ijk} = \mu + T_i + \delta_j + (T\delta)_{ij} + \Phi_{k(ij)} + \lambda + \varepsilon_{ijk}.$$

Donde:

$y_{ijk}$  = variables medidas durante el tiempo de experimentación

$\mu$  = media general

$T_i$  = efectos fijos del  $i$ -ésimo tratamiento

$\delta_j$  = efecto de  $j$ -ésimo día durante el periodo de engorda

$(T\delta)_{ij}$  = efecto fijo de la interacción entre el  $i$ -ésimo tratamiento y el  $j$ -ésimo día

$\Phi_{k(ij)}$  = efecto anidado, donde cada  $i$ -ésimo tratamiento fue anidado en el corral en el  $j$ -ésimo día

$\lambda$  = efecto de la covariable peso inicial

$\varepsilon_{ijk}$  = error aleatorio normalmente distribuido con media cero y varianza  $\sigma^2$  [ $\varepsilon_{ijk} \sim N(0, \sigma^2)$ ]

Cuando el efecto de la interacción entre los tratamientos y días fue significativo ( $P \leq 0.05$ ), se realizó la comparación de medias de Tukey (SAS, 2006).

Las variables de calidad de la carne y evaluación sensorial de la carne fueron analizadas mediante un análisis de varianza bajo un diseño de bloques completos al azar, donde el bloque representó los días de sacrificio donde en cada día estuvieron todos los tratamientos considerados, obtenido con el procedimiento del modelo lineal general (GLM; SAS 2006) y el modelo estadístico:

$$y_{ij} = \mu + T_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}.$$

Dónde:

$y_{ij}$  = variables respuesta;

$\mu$  = media general;

$T_i$  = efecto del  $i$ -ésimo tratamiento;

$B_j$  = efecto del  $j$ -ésimo bloque

$\varepsilon_{ij}$  = error aleatorio distribuido en forma normal con media cero y varianza  $\sigma^2$  [ $\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$ ].

Cuando existió efecto de los tratamientos ( $P \leq 0.05$ ), la comparación de medias fue realizada con la prueba estadística Tukey, estableciendo 0.05 como nivel de significancia.

## 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Comportamiento productivo

#### 4.1.1 Peso vivo y peso final de cerdos

Los pesos registrados al iniciar la prueba fueron similares ( $P > 0.05$ ) entre tratamientos (Cuadro 2). El peso al sacrificio de cerdos inmunocastrados y castrados fue diferente al peso de las hembras ( $P < 0.05$ ), aún y cuando las edades de los cerdos al sacrificio fueron similares entre tratamientos ( $P > 0.05$ ; Cuadro 3). Los reportes de Gispert *et al.* (2010) y Daza *et al.* (2016) coinciden con los resultados del presente estudio, mientras que Van den Broeke *et al.* (2016) no encontraron diferencia significativa en el peso al sacrificio de cerdos de diferentes sexos, contrario a lo encontrado en el presente estudio.

**Cuadro 2. Pesos de cerdos de acuerdo al sexo a semana 16, 22 y sacrificio.**

Tratamiento	Peso inicial (kg)	Peso Semana 22 (kg)	Peso sacrificio (PS, kg)
<b>n</b>	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>26</b>
<b>Hembra</b>	80.19	111.33	121.67 <sup>b</sup>
<b>Castrado</b>	89.06	119.44	133.39 <sup>a</sup>
<b>Inmunocastrado</b>	86.10	120.69	136.17 <sup>a</sup>
<b>Entero</b>	85.54	121.81	133.78 <sup>ab</sup>
<b>EEM</b>	3.026	4.092	2.795
<b>P-values</b>			
<b>Tratamiento (T<sub>i</sub>)</b>	0.190	0.195	0.005
<b>Bloque (B<sub>j</sub>)</b>	0.480	0.635	0.000
<b>Interacción (TB<sub>ij</sub>)</b>	0.411	0.321	0.087

<sup>a,b</sup> literales diferentes en columna son estadísticamente diferentes ( $P < 0.05$ ).

<sup>1</sup> EEM = error estándar de la media

Pauly *et al.* (2008) reportaron pesos de machos castrados y enteros similares ( $P > 0.05$ ), sin embargo Gallegos-Lara *et al.* (2015) reportaron que cerdos inmunocastrados tuvieron mayor peso que machos castrados, lo cual difiere con los datos obtenidos en el presente trabajo.

**Cuadro 3. Edades (días) de cerdos de acuerdo al sexo al inicio de la prueba, a la semana 22 y al sacrificio durante la prueba experimental.**

<b>Tratamiento</b>	<b>Edad inicial (días)</b>	<b>Edad en días pesada intermedia</b>	<b>Edad al Sacrificio (días)</b>
<b>n</b>	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>26</b>
<b>Hembra</b>	133 <sup>b</sup>	169 <sup>b</sup>	184
<b>Castrado</b>	134 <sup>b</sup>	170 <sup>ab</sup>	184
<b>Inmunocastrado</b>	140 <sup>a</sup>	175 <sup>a</sup>	191
<b>Entero</b>	133 <sup>b</sup>	169 <sup>b</sup>	184
<b>EEM</b>	1.817	1.817	2.765
<b>P-values</b>			
<b>Tratamiento (Ti)</b>	0.019	0.019	0.200
<b>Bloque (Bj)</b>	0.340	0.042	0.010
<b>Interacción (TB<sub>ij</sub>)</b>	0.068	0.068	0.037

<sup>a,b,c</sup> literales diferentes en columna son estadísticamente diferentes ( $P < 0.05$ ).

<sup>1</sup> EEM = error estándar de la media

#### 4.1.2 Ganancia diaria de peso

Los cerdos enteros registraron mayores aumentos de peso ( $P > 0.05$ ) que las hembras y los castrados (Cuadro 4), mientras que los cerdos inmunocastrados tuvieron aumentos de peso intermedios. Puls *et al.* (2014) registraron ganancias diarias de peso mayores (1.150 kg/día) en cerdos inmunocastrados que en cerdos enteros, castrados y hembras (peso promedio de 1.014 kg/día). Zamarastkaia *et al.* (2008) reportaron ganancias diarias de peso similares para cerdos enteros, castrados e inmunocastrados.

**Cuadro 4. Comportamiento productivo de acuerdo al sexo**

Tratamiento	GDP	Consumo diario de alimento	Eficiencia
<b>n</b>	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>27</b>
<b>Hembra</b>	0.865 <sup>b</sup>	4.830	0.179 <sup>b</sup>
<b>Castrado</b>	0.846 <sup>b</sup>	4.844	0.178 <sup>b</sup>
<b>Inmunocastrado</b>	0.960 <sup>ab</sup>	4.788	0.205 <sup>ab</sup>
<b>Entero</b>	1.009 <sup>a</sup>	4.789	0.211 <sup>a</sup>
<b>EEM</b>	0.047	0.05	0.009
<b>P-values</b>			
<b>Tratamiento (T<sub>i</sub>)</b>	0.046	0.762	0.009
<b>Bloque (B<sub>j</sub>)</b>	0.299	0.062	0.299
<b>Interacción (TB<sub>ij</sub>)</b>	0.414	0.762	0.567

a,b. literales diferentes en columna son estadísticamente diferentes ( $P < 0.05$ ).

<sup>1</sup> EEM = error estándar de la media

### **4.1.3 Consumo de alimento**

El consumo de alimento para los cuatro tratamientos fue similar ( $P > 0.05$ , Cuadro 4). Este resultado difiere con los encontrados por Elsbernd *et al.* (2015) y Stupka *et al.* (2016); donde reportan diferencias significativas ( $P < 0.05$ ), siendo los cerdos castrados los que consumen mayor cantidad de alimento (3.16 kg/día y 2.83 kg/día, respectivamente), comparado con los otros sexos en donde las hembras tienen el menor consumo (2.58 kg/día y 2.91 kg/día, respectivamente); seguido por los cerdos inmunocastrados (3.04 kg/día y 2.68 kg/día) y por último los cerdos enteros (2.93 kg/día y 2.62 kg/día).

### **4.1.4 Eficiencia alimenticia**

Los cerdos castrados y las hembras tuvieron eficiencias alimenticias menores ( $P < 0.05$ ); mientras que los cerdos inmunocastrados tuvieron eficiencia alimenticia intermedia y los machos enteros tuvieron la mejor eficiencia alimenticia. Las eficiencias alimenticias de hembras, machos enteros y castrados fueron similares a las reportadas por Puls *et al.* (2014).

## **4.2 Peso de órganos**

### **4.2.1 Peso de vísceras**

El peso promedio del sistema cardiorrespiratorio más el hígado de los tratamientos no fue diferente ( $P > 0.05$ ) entre los tratamientos. Los cerdos castrados y enteros

presentaron pesos de corazón similares. Se registró una tendencia ( $P = 0.058$ ) a que el corazón de las hembras fuera más pesado que el de los cerdos inmunocastrados (Cuadro 5). En un estudio previo los pesos del corazón fueron similares entre los cerdos de diferentes sexos (Grela *et al.*, 2013). En dos estudios en donde solamente utilizaron machos castrados, machos inmunocastrados y machos enteros, no encontraron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) entre los tratamientos (Pauly *et al.*, 2009; Huber *et al.*, 2017).

En el presente estudio el peso promedio de los pulmones fue de 0.80 kg, y fue similar entre los sexos de cerdos (Cuadro 5). Resultados similares habían sido reportados por Huber *et al.* (2017) y Boler *et al.* (2016), quienes no encontraron diferencias significativas entre sexos de cerdos en el peso de sus pulmones.

**Cuadro 5. Características de órganos de cerdos de acuerdo al sexo**

	<b>Peso Corazón, Pulmones, Tráquea, Hígado (kg)</b>	<b>Peso Corazón (kg)</b>	<b>Peso Pulmones (kg)</b>	<b>Peso Hígado (kg)</b>	<b>Peso Tracto Digestivo (kg)</b>
<b>N</b>	<b>25</b>	<b>25</b>	<b>25</b>	<b>25</b>	<b>25</b>
<b>Hembra</b>	3.76	0.47	0.89	1.67	9.03
<b>Castrado</b>	4.04	0.46	0.75	1.89	10.20
<b>Inmunocastrado</b>	4.80	0.44	0.73	1.99	11.40
<b>Entero</b>	4.71	0.46	0.83	1.83	9.88
<b>EEM</b>	0.404	0.027	0.101	0.100	0.669
<b>P-values</b>					
<b>Tratamiento (T<sub>i</sub>)</b>	0.252	0.058	0.593	0.145	0.112
<b>Bloque (B<sub>j</sub>)</b>	0.271	0.012	0.305	0.014	0.008
<b>Interacción (TB<sub>ij</sub>)</b>	0.894	0.285	0.541	0.392	0.612

<sup>a,b</sup> literales diferentes en columna son estadísticamente diferentes (P<0.05).

<sup>1</sup> EEM = error estándar de la media

El peso del hígado fue similar ( $P > 0.05$ ) para cerdos castrados y enteros. Se registró una tendencia ( $P = 0.145$ ) a un menor peso del hígado en las hembras que en los cerdos inmunocastrados (Cuadro 5). Los resultados del presente trabajo coinciden con los reportados por Boler *et al.* (2014) quienes reportan que el hígado de los machos inmunocastrados tiene un peso mayor (1.95 kg) al de las hembras (1.68 kg). En los estudios realizados por Pauly *et al.* (2009) y Huber *et al.* (2017), utilizando machos enteros, machos castrados y machos inmunocastrados, obtuvieron pesos similares de hígado para los machos inmunocastrados y enteros.

En el presente estudio el tracto digestivo de los cerdos inmunocastrados tuvo tendencialmente ( $P = 0.112$ ) mayor peso (11.40 kg) que el de las hembras (9.03 kg).

El tracto digestivo de los machos castrados y los machos enteros fue intermedio al de las hembras y machos inmunocastrados ( $P = 0.112$ ). En cambio, Boler *et al.* (2014), reportaron que los cerdos enteros tienen un sistema digestivo con peso menor (7.08 kg) al de los cerdos inmunocastrados, castrados y hembras (peso promedio de 8.37 kg). También Aluwé *et al.* (2014) encontraron que los cerdos inmunocastrados tienen un sistema digestivo con mayor peso (8.90 kg) en comparación con el de machos castrados y enteros (7.70 kg y 7.60 kg,  $P < 0.05$ ).

#### 4.2.2 Gónadas y glándulas accesorias

El peso de los testículos en cerdos inmunocastrados fue menor ( $P = 0.001$ ) al de los cerdos enteros (Cuadro 6).

**Cuadro 6. Características de gónadas y glándulas accesorias**

	<b>Peso testicular g</b>	<b>Longitud Testicular cm</b>	<b>Peso Epidídimo g</b>	<b>Peso Glándula Bulbouretral g</b>
<b>n</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>7</b>
<b>Inmunocastrado</b>	271 <sup>b</sup>	8.8 <sup>b</sup>	154 <sup>b</sup>	73 <sup>b</sup>
<b>Entero</b>	707 <sup>a</sup>	11.6 <sup>a</sup>	253 <sup>a</sup>	213 <sup>a</sup>
<b>EEM</b>	42.718	0.612	17.663	11.788
<b>P-values</b>				
<b>Tratamiento (T<sub>i</sub>)</b>	0.000	0.019	0.003	0.000
<b>Bloque (B<sub>j</sub>)</b>	0.934	0.238	0.817	0.195
<b>Interacción (TB<sub>ij</sub>)</b>	0.103	0.152	0.769	0.020

<sup>a,b</sup>. literales diferentes en columna son estadísticamente diferentes ( $P < 0.05$ ).

<sup>1</sup> EEM = error estándar de la media

También en el presente estudio la longitud testicular fue menor ( $P = 0.019$ ) en los cerdos inmunocastrados (Cuadro 6). Estos resultados coinciden con estudios previos (Sladek *et al.*, 2018), que reportaron una reducción de la longitud testicular en cerdos inmunocastrados (4.9 cm) en comparación con cerdos enteros (11.2 cm). En el Cuadro 6, podemos ver las diferencias de pesos del epidídimo entre cerdos enteros e inmunocastrados ( $P = 0.003$ ). También se registró un menor peso ( $P = 0.001$ ) de la glándula bulbouretral de los cerdos inmunocastrados que en los cerdos enteros. Estos resultados coinciden con los reportados por Brunius *et al.* (2011), Boler *et al.* (2014) y Zamaratskaia *et al.* (2008) quienes indicaron que existe una reducción en el tamaño y

peso de los órganos reproductivos y de las glándulas accesorias; lo cual probablemente sea resultado de la interacción entre la edad de aplicación de la vacuna y de la etapa de desarrollo en que se encuentra el cerdo. Aunque la disminución de los órganos reproductivos, no es indicador del funcionamiento de la vacuna, ya que se han presentado casos donde los cerdos enteros al sacrificio presentan menor tamaño de testículos y peso de glándulas bulbouretrales.

### 4.3 Determinación sérica de testosterona

Los niveles séricos de testosterona en hembras y machos castrados determinados en muestras obtenidas a 43.7, 68.8, 97.2 y 130.4 kg, fueron menores a 0.10 ng/mL (Cuadro 7; Figura 2).

**Cuadro 7. Concentraciones de Testosterona (ng/mL de suero sanguíneo)**

<b>Tratamiento</b>	<b>muestreo 1 11 mayo 17</b>	<b>muestreo 2 05 junio 17</b>	<b>muestreo 3 05 julio 17</b>	<b>muestreo 4 sacrificio</b>
<b>n</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>
<b>Hembra</b>	0.09 <sup>b</sup>	0.09	0.05 <sup>b</sup>	0.03 <sup>b</sup>
<b>Castrado</b>	0.07 <sup>b</sup>	0.09	0.07 <sup>b</sup>	0.05 <sup>b</sup>
<b>Inmunocastrado</b>	1.32 <sup>a</sup>	1.75	5.71 <sup>a</sup>	0.23 <sup>b</sup>
<b>Entero</b>	1.25 <sup>a</sup>	4.19	3.61 <sup>ab</sup>	6.82 <sup>a</sup>
<b>EEM</b>	0.397	1.315	1.117	0.666
<b>P-values</b>				
<b>Tratamiento (T<sub>i</sub>)</b>	0.031	0.090	0.005	0.000
<b>Bloque (B<sub>j</sub>)</b>	0.680	0.999	0.814	0.753
<b>Interacción (TB<sub>ij</sub>)</b>	0.161	0.584	0.753	0.971

<sup>a,b</sup> literales diferentes en columna son estadísticamente diferentes (P<0.05).

<sup>1</sup> EEM = error estándar de la media

El 5 de Julio de 2017, cuando los cerdos tuvieron un peso promedio de 97.2 kg (Cuadro 8), a los 145 días de edad, es decir antes de iniciar con el proceso de inmunización contra GnRH, los cerdos que serían inmunocastrados tuvieron niveles de testosterona sérica similares a los de los machos enteros). Posteriormente, a los 185 días de edad, después de haber inmunizado por segunda ocasión contra GnRH, cuando los cerdos tenían un peso de 130.4 kg (Cuadro 8), los niveles de testosterona de los cerdos inmunocastrados descendieron ( $P < 0.05$ ), mientras que los cerdos enteros tuvieron niveles más altos (Cuadro 7).

**Cuadro 8. Pesos de toma de muestras para Concentraciones de Testosterona**

<b>Tratamiento</b>	<b>muestreo 1 11 mayo 17 Pesos kg</b>	<b>muestreo 2 05 junio 17 Pesos kg</b>	<b>muestreo 3 05 julio 17 Pesos kg</b>	<b>muestreo 4 sacrificio Pesos kg</b>
<b>n</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>
<b>Hembra</b>	42.58	65.05	89.88	122.98
<b>Castrado</b>	45.38	70.75	98.13	129.75
<b>Inmunocastrado</b>	43.55	70.63	96.35	135.92
<b>Entero</b>	43.20	67.97	96.10	133.00
<b>EEM</b>	2.127	2.476	3.472	5.180
<b>P-values</b>				
<b>Tratamiento (T<sub>i</sub>)</b>	0.812	0.429	0.300	0.266
<b>Bloque (B<sub>j</sub>)</b>	0.000	0.000	0.000	0.361
<b>Interacción (TB<sub>ij</sub>)</b>	0.017	0.324	0.663	0.566

a,b. literales diferentes en columna son estadísticamente diferentes ( $P < 0.05$ ).

<sup>1</sup> EEM = error estándar de la media

En concordancia con el presente estudio, Yamasakul *et al.* (2017) encontraron niveles de testosterona sérica similares entre inmunocastrados (1.993 ng/mL) y enteros (2.080 ng/mL), antes de la primera vacunación, y bajas concentraciones ( $P < 0.05$ ) de testosterona en machos castrados (0.182 ng/mL). Estos autores concluyeron que la inmunización puede disminuir los precursores de la testosterona, el cual es un precursor de la androstenona y escatol; los cuales son responsables del olor del verraco.

Coincidencia adicional del presente trabajo se tiene con Yamasakul *et al.* (2017) en las concentraciones determinadas antes de la segunda vacunación, cuando los machos inmunocastrados tuvieron mayores concentraciones (2.48 ng/ml) de testosterona que en los machos enteros. Además los resultados de Yamasakul *et al.* (2017) coinciden también con mayores concentraciones de testosterona (3.73 ng/mL) registradas en los cerdos machos enteros antes del sacrificio.

Turkstra *et al.* (2002) registraron que los machos enteros presentan las mayores concentraciones de testosterona antes de la segunda inmunización (3.29 ng/mL) contra GnRH (inmunocastración) y al sacrificio (2.37 ng/mL) que los machos castrados, los cuales tuvieron concentraciones de 0.06 ng/mL en ambos muestreos, con lo cual los resultados de la presente investigación coinciden.

#### 4.4 Análisis de canal

##### 4.4.1 Peso de canal caliente y fría y longitudes de canal

El peso de canal caliente (PCC) fue menor en hembras (99.6 kg) que en los otros sexos (peso promedio 109.8 kg;  $P < 0.05$ ). Dunshea *et al.* (2001) observaron datos similares a los del presente trabajo. Sin embargo, Pomar *et al.* (2001) reportaron pesos similares para hembras y machos. Boler *et al.* (2014) reportaron que entre hembras, castrados, inmunocastrados y enteros no existen diferencias significativas en el peso de canal caliente.

**Cuadro 9. Características de canal de cerdos de acuerdo al sexo**

	<b>PCC (kg)</b>	<b>PCF (kg)</b>	<b>RCC (%)</b>	<b>RCF (%)</b>	<b>LC (cm)</b>
<b>n</b>	<b>24</b>	<b>24</b>	<b>24</b>	<b>24</b>	<b>24</b>
<b>Hembra</b>	99.6 <sup>b</sup>	97.2	81.8	79.8	73.1
<b>Castrado</b>	109.8 <sup>a</sup>	107.5	82.2	80.6	77.6
<b>Inmunocastrado</b>	108.9 <sup>a</sup>	107.8	80.0	79.1	77.0
<b>Entero</b>	110.6 <sup>a</sup>	105.7	81.6	79.0	76.0
<b>EEM</b>	2.314	3.207	0.714	1.202	1.217
<b>P-values</b>					
<b>Tratamiento (T<sub>i</sub>)</b>	0.008	0.060	0.151	0.717	0.076
<b>Bloque (B<sub>j</sub>)</b>	0.000	0.003	0.156	0.242	0.006
<b>Interacción (TB<sub>ij</sub>)</b>	0.046	0.167	0.735	0.426	0.040

<sup>a,b</sup> literales diferentes en columna son estadísticamente diferentes ( $P < 0.05$ ).

<sup>1</sup> EEM = error estándar de la media

\* PCC = peso canal caliente; PCF = peso canal fría; RCC = rendimiento canal caliente; RCF = rendimiento canal fría; LC = longitud de la canal.

En el presente trabajo, peso de canal fría (PCF) fue menor ( $P = 0.06$ ) en las canales de hembras que en los otros sexos (Cuadro 9). Las canales frías de los cerdos castrados e inmunocastrados presentaron el peso mayor. En el estudio realizado por Gispert *et al.* (2010), las hembras presentaron mayor peso de canal fría ( $P < 0.05$ ) que las de otros sexos, lo cual difiere con lo encontrado en el presente trabajo. Van den Broeke *et al.* (2016) reportaron pesos similares para hembras, castrados, enteros e inmunocastrados. Flores-Rondón *et al.* (2009) solamente trabajaron con machos castrados y enteros, y en ese trabajo ambos tratamientos tuvieron pesos similares de canal fría. En un estudio realizado con machos enteros, castrados e inmunocastrados, Aluwé *et al.* (2015) reportaron que los cerdos enteros presentan menores pesos de canal fría, lo cual es diferente a lo encontrado en el presente trabajo.

Aunque en el presente trabajo en el peso de canal caliente se encontraron diferencias ( $P < 0.05$ ), el rendimiento de canal caliente (% RCC) ( $P > 0.05$ ), y el rendimiento de canal fría (promedio 79.6%) fueron similares ( $P > 0.05$ ) entre sexos (Cuadro 9). Caldara *et al.* (2013), reportaron rendimientos de canal caliente y fría similares entre cerdos castrados, inmunocastrados y hembras, lo que coincide con el presente trabajo. Flores-Rondon *et al.* (2009) utilizaron machos castrados y enteros y reportaron rendimientos de canal similares entre sexos. En cambio, Boler *et al.* (2016), reportaron que las hembras y los machos castrados presentan los mayores rendimientos de canal caliente (79%;  $P < 0.05$ ).

Las canales de las cerdas del presente trabajo fueron tendencialmente ( $P = 0.076$ ) más cortas, que las de los demás sexos (Cuadro 9). Martínez-Macipe *et al.* (2016) y

Daza *et al.* (2016) encontraron que cerdos castrados, hembras e inmunocastrados presentan longitudes de canal de 84.2 cm, 84.3 cm y 86.6 cm, respectivamente.

#### 4.4.2 Grasa dorsal

La grasa dorsal fue medida en tres partes de la canal (primera costilla, última costilla y última vértebra lumbar), y en estas tres mediciones no hubo diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) entre tratamientos (Cuadro 10). A pesar de no encontrar diferencia significativa ( $P > 0.05$ ) en la grasa dorsal a la última vértebra lumbar, los cerdos inmunocastrados presentaron la mayor cantidad de grasa (4.3 cm).

**Cuadro 10. Cantidad de grasa dorsal de cerdos de acuerdo al sexo**

	<b>Grasa Primera costilla (cm)</b>	<b>Grasa Última costilla (cm)</b>	<b>Grasa Última vértebra lumbar (cm)</b>
<b>n</b>	<b>25</b>	<b>25</b>	<b>25</b>
<b>Hembra</b>	3.2	2.5	2.5
<b>Castrado</b>	3.2	2.8	3.1
<b>Inmunocastrado</b>	3.0	1.8	4.3
<b>Entero</b>	3.0	2.3	2.6
<b>EEM</b>	0.380	0.352	1.016
<b>P-values</b>			
<b>Tratamiento (T<sub>i</sub>)</b>	0.952	0.244	0.602
<b>Bloque (B<sub>j</sub>)</b>	0.019	0.496	0.800
<b>Interacción (TB<sub>ij</sub>)</b>	0.313	0.109	0.907

<sup>a,b</sup>, literales diferentes en columna son estadísticamente diferentes ( $P < 0.05$ ).

<sup>1</sup> EEM = error estándar de la media

Flores-Rondón *et al.* (2009) no encontraron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) en las mediciones de grasa de los tres sitios, que realizó en las canales de machos enteros y machos castrados. Grela *et al.* (2013) reportaron que las hembras presentan 2.61 cm, los machos castrados 3.14 cm, los inmunocastrados 2.53 cm y los machos enteros 2.44 cm de grasa a la primera costilla. Estos resultados son similares numéricamente a los del presente estudio, y similarmente ellos reportaron que la cobertura de la grasa dorsal en la primera y en la última costilla fue similar entre sexos ( $P > 0.05$ ).

Choe *et al.* (2016) reportaron que los cerdos de la raza Duroc presentan 2.3 cm y la cruce de Landrace X Yorkshire X Duroc presenta 2.2 cm de grasa, valores similares a los encontrados en el presente estudio, pudiendo haberse debido esto a que los cerdos utilizados en ambos trabajos fueron de cruzamientos de razas similares.

#### 4.4.3 Peso de pierna, paleta, costillar y lomo

En el presente estudio el peso de la pierna, paleta y lomo fue similar entre los sexos evaluados ( $P > 0.05$ ); mientras que el costillar fue diferente entre los tratamientos ( $P < 0.05$ , Cuadro 11). Estos resultados son superiores al peso promedio de 11.3 kg, reportado por Font *et al.* (2009), quienes no encontraron diferencia significativa entre los tratamientos. Lowe *et al.* (2016) también reportaron pesos similares para pierna de machos castrados (12.3 kg), machos inmunocastrados (12.1 kg) y hembras (12.1 kg,  $P > 0.05$ ). Stupka *et al.* (2017), reportaron pesos promedio de 8.5 kg para la pierna.

En el presente estudio el peso de paleta de cerdos inmunocastrados (9.7 kg) fue mayor al de los otros sexos ( $P = 0.084$ ; Cuadro 11). También Lowe *et al.* (2016) reportaron que el peso de paleta de los cerdos inmunocastrados fue mayor (10.8 kg) al de los cerdos castrados (10.3 kg) y al de las hembras (9.6 kg).

**Cuadro 11. Peso de piezas de la canal de cerdos de acuerdo al sexo.**

	Pierna (kg)	Paleta (kg)	Costillar (kg)	Lomo (kg)
<b>n</b>	<b>25</b>	<b>25</b>	<b>25</b>	<b>25</b>
<b>Hembra</b>	14.30	7.96	11.09 <sup>ab</sup>	12.50
<b>Castrado</b>	14.38	8.10	11.63 <sup>ab</sup>	12.88
<b>Inmunocastrado</b>	14.34	9.66	12.86 <sup>a</sup>	12.22
<b>Entero</b>	14.20	8.04	10.35 <sup>b</sup>	12.51
<b>EEM</b>	0.786	0.496	0.578	6.399
<b>P-values</b>				
<b>Tratamiento (T<sub>i</sub>)</b>	0.998	0.084	0.040	0.373
<b>Bloque (B<sub>j</sub>)</b>	0.001	0.026	0.001	0.786
<b>Interacción (TB<sub>ij</sub>)</b>	0.016	0.845	0.008	0.362

<sup>a,b</sup>. literales diferentes en columna son estadísticamente diferentes ( $P < 0.05$ ).

<sup>1</sup> EEM = error estándar de la media

El peso del costillar para cerdos inmunocastrados (12.86 kg) fue mayor ( $P = 0.04$ ) al del costillar de machos enteros, mientras que el costillar de hembras y castrados tuvo un peso intermedio (11.1 kg y 11.6 kg).

El lomo de los cerdos tuvo un peso similar (peso promedio 12.5 kg) en los cuatro sexos evaluados ( $P > 0.05$ ). Lowe *et al.* (2016) reportaron que lomos de cerdos castrados e inmunocastrados tuvieron mayor peso (14.8 y 14.7 kg, respectivamente) que el de otros sexos.

## **4.5 Calidad de la carne**

### **4.5.1 Análisis químico de la carne**

La composición química de la carne fue estadísticamente similar ( $P > 0.05$ ) entre los tratamientos evaluados (Cuadro 12). El contenido de materia seca del músculo *Longissimus dorsi* fue similar ( $P = 0.177$ ) para los sexos evaluados en el presente estudio (Cuadro 12). Jukna y Valaitiene (2012) reportaron 26.77% de materia seca de la carne. Choi *et al.* (2014) reportaron que el músculo de cerdos de la raza Duroc tiene 26.9% de materia seca, y que el músculo de la cruce de cerdos Landrace X Yorkshire X Duroc (LYD) tiene 26.3% de materia seca.

**Cuadro 12. Análisis químico de carne en fresco de cerdo de acuerdo al sexo.**

<b>Tratamiento</b>	<b>MS</b>	<b>Cenizas</b>	<b>Grasa</b>	<b>Proteína</b>
<b>n</b>	<b>52</b>	<b>52</b>	<b>52</b>	<b>52</b>
<b>Hembra</b>	28.30	0.89 <sup>b</sup>	3.02	22.16
<b>Castrado</b>	28.49	1.26 <sup>a</sup>	3.15	22.68
<b>Inmunocastrado</b>	27.26	1.08 <sup>ab</sup>	2.09	22.53
<b>Entero</b>	27.89	1.09 <sup>ab</sup>	2.94	23.17
<b>EEM</b>	0.424	0.094	0.333	0.779
<b>P-values</b>				
<b>Tratamiento (T<sub>i</sub>)</b>	0.177	0.034	0.105	0.796
<b>Bloque (B<sub>j</sub>)</b>	0.602	0.499	0.623	0.209
<b>Interacción (TB<sub>ij</sub>)</b>	0.004	0.376	0.323	0.406

<sup>a,b</sup> literales diferentes en columna son estadísticamente diferentes (P<0.05).

<sup>1</sup> EEM = error estándar de la media

\* MS = materia seca

En el presente estudio, el músculo *Longissimus dorsi* de los cerdos castrados tuvo un contenido de cenizas (1.26%) mayor (P = 0.034) al de las hembras (0.89%). Needham et al (2015) analizaron la carne de cerdos inmunocastrados y enteros y no encontraron diferencia en el contenido de cenizas (1.4 y 1.3%, respectivamente). Zymantiene *et al.* (2008) y Jukna y Valaitiene (2012) reportaron que el contenido de cenizas para el músculo *Longissimus dorsi* es de 1.17% y 1.18%, es decir, resultados similares a los obtenidos en la carne de machos enteros (1.09 %) e inmunocastrados (1.08 %) del presente estudio.

El contenido de grasa de los inmunocastrados (2.09%) fue menor (P = 0.105) al de los otros sexos (promedio 3.04%; Cuadro 12). Estos valores coinciden con el contenido de 2.78% reportado por Lukač *et al.* (2015). También Choi *et al.* (2014) reportaron

resultados similares a los del presente trabajo al comparar el contenido de grasa en carne de cerdos de raza Duroc (2.98% de grasa) y de una cruce de Landrace X Yorkshire X Duroc (LYD) (2.19% de grasa).

En el presente trabajo, el contenido de proteína ( $22.6 \pm 0.37\%$ ) del músculo *Longissimus dorsi* fue similar ( $P > 0.05$ ) entre los sexos estudiados (Cuadro 12). Expresando el contenido de proteína en base a 100% materia seca, el músculo de Inmunocastrados y de machos enteros tienen aprox. 83% de Proteína, mientras que el músculo de hembras y de castrados tienen aprox. 78.9% pero estos valores no alcanzaron a ser diferentes significativamente ( $P > 0.05$ ).

Bučko *et al.* (2015) determinaron la composición química de la carne de hembras (24.15 % proteína y 1.19 de grasa), castrados (23.72 % de proteína y 1.74 % de grasa) y enteros (23.77 % de proteína y 1.30 % de grasa). Zymantiene *et al.* (2008) y Lukač *et al.* (2015), reportaron que el lomo de cerdo tiene entre 22.5 y 22.8% de proteína, resultados similares a los del presente trabajo.

## 4.5.2 Análisis físicoquímico de la carne

### 4.5.2.1 pH, capacidad de retención de agua y pérdida por cocción

El pH de la carne de cerdos castrados fue menor (5.45 vs 5.54;  $P < 0.05$ ) al de la carne de cerdo de los otros sexos (Cuadro 13). Estos resultados coinciden para los cerdos inmunocastrados con los de Aluwé *et al.* (2013) quienes reportaron resultados similares para los inmunocastrados, pero difieren en el caso de los machos castrados, para los cuales se presenta un pH mayor (5.6), y para el caso de los cerdos enteros, para los cuales reportan un pH menor (5.4). Gispert *et al.* (2010) y Škrlep *et al.* (2010b) reportaron pH mayores a los del presente estudio; para cerdos castrados (pH 6.4), para los cerdos enteros (pH 6.2), y para cerdos inmunocastrados (pH 6.3).

**Cuadro 13. Análisis físico de carne de cerdo**

Tratamiento	pH*	CRA (%)	PC* (%)
<b>N</b>	<b>130</b>	<b>104</b>	<b>126</b>
<b>Hembra</b>	5.53 <sup>a</sup>	62.93	19.15
<b>Castrado</b>	5.45 <sup>b</sup>	60.34	22.94
<b>Inmunocastrado</b>	5.54 <sup>a</sup>	60.66	21.31
<b>Entero</b>	5.53 <sup>a</sup>	63.49	23.29
<b>EEM</b>	0.018	1.191	1.804
<b>P-values</b>			
<b>Tratamiento (Ti)</b>	0.0004	0.130	0.268
<b>Bloque (Bj)</b>	0.0001	0.0001	0.000
<b>Interacción (TB<sub>ij</sub>)</b>	0.0001	0.053	0.612

<sup>a,b</sup> literales diferentes en columna son estadísticamente diferentes ( $P < 0.05$ ).

<sup>1</sup> EEM = error estándar de la media

\* pH = potencial de hidrógeno ; CRA = capacidad de retención de agua ; PC = pérdida por cocción.

La CRA de los cerdos castrados e inmunocastrados (promedio 60.5%) fue tendencialmente menor ( $P = 0.130$ ) a la de hembras y cerdos machos enteros (Cuadro 13). Choi *et al* (2014) reportaron de 58.6% de CRA en carne de cerdos Duroc y de 59.5% para la cruce de cerdos Landrace X Yorkshire X Duroc; estos valores son menores a los encontrados en el presente trabajo. Tomović *et al.* (2014) reportaron CRA de 59.3% y 61.4%, para las razas de cerdos Large White y Landrace, respectivamente, valores similares a los reportados en el presente estudio.

En el presente experimento, la PC de la carne de hembras tuvo valor menor ( $P = 0.268$ ) a la de los otros sexos, en los que los valores oscilaron entre 21.3 y 23.3% (Cuadro 13). La PC (promedio  $21.67 \pm 1.80$ ) fue similar ( $P > 0.05$ ) entre los tratamientos evaluados, en concordancia con lo reportado por Jeong *et al.* (2018). Jeong *et al.* (2018) reportaron PC en sus cuatro tratamientos de 34.0% promedio, lo cual es un valor mayor al registrado en este trabajo. En cambio, Caldara *et al.* (2013) reportaron pérdidas por cocción de 24.6% para las hembras, 26.7% para los machos castrados y de 23.7% para los cerdos inmunocastrados, valores más cercanos a los reportados en este trabajo.

#### 4.5.2.2 Color

La luminosidad de la carne (Cuadro 14; Figura 2) fue mayor para cerdos inmunocastrados y enteros y menor para los cerdos castrados (67.02 vs 64.87;  $P < 0.01$ ). Las variables  $a^*$  (tendencia a rojo) y C (saturación) tuvieron valores bajos en cerdos machos enteros, mientras que las hembras y los cerdos inmunocastrados tuvieron los valores mayores ( $P < 0.01$ ; Cuadro 14). En el caso de la variable  $b^*$  (tendencia amarillo) los valores de los diferentes sexos fueron similares ( $P = 0.139$ ). Para la variable Hue (matiz) no hubo diferencias entre sexos ( $P > 0.05$ ).

**Cuadro 14. Determinación del color de carne de cerdo de acuerdo al sexo**

Tratamiento	L*	a*	b*	C	H
<b>n</b>	<b>130</b>	<b>130</b>	<b>130</b>	<b>130</b>	<b>130</b>
<b>Hembra</b>	65.32 <sup>ab</sup>	15.05 <sup>a</sup>	8.07	17.13 <sup>a</sup>	28.42 <sup>b</sup>
<b>Castrado</b>	64.87 <sup>b</sup>	14.59 <sup>ab</sup>	7.84	16.49 <sup>ab</sup>	28.62 <sup>a</sup>
<b>Inmunocastrado</b>	67.10 <sup>a</sup>	14.71 <sup>a</sup>	8.33	16.95 <sup>a</sup>	29.55 <sup>a</sup>
<b>Entero</b>	66.95 <sup>a</sup>	13.82 <sup>b</sup>	8.09	16.02 <sup>b</sup>	30.60 <sup>a</sup>
<b>EEM</b>	0.550	0.232	0.148	0.217	0.613
<b>P-values</b>					
<b>Tratamiento (Ti)</b>	0.0042	0.0008	0.1399	0.0006	0.0278
<b>Bloque (Bj)</b>	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
<b>Interacción (TB<sub>ij</sub>)</b>	0.0001	0.0001	0.0001	0.0032	0.0001

<sup>a,b</sup> literales diferentes en columna son estadísticamente diferentes ( $P < 0.05$ ).

<sup>1</sup> EEM = error estándar de la media

\* L = luminosidad;  $a^*$  = tendencia al color rojo;  $b^*$  = tendencia al color amarillo; C = Chroma; H = ángulo Hue.

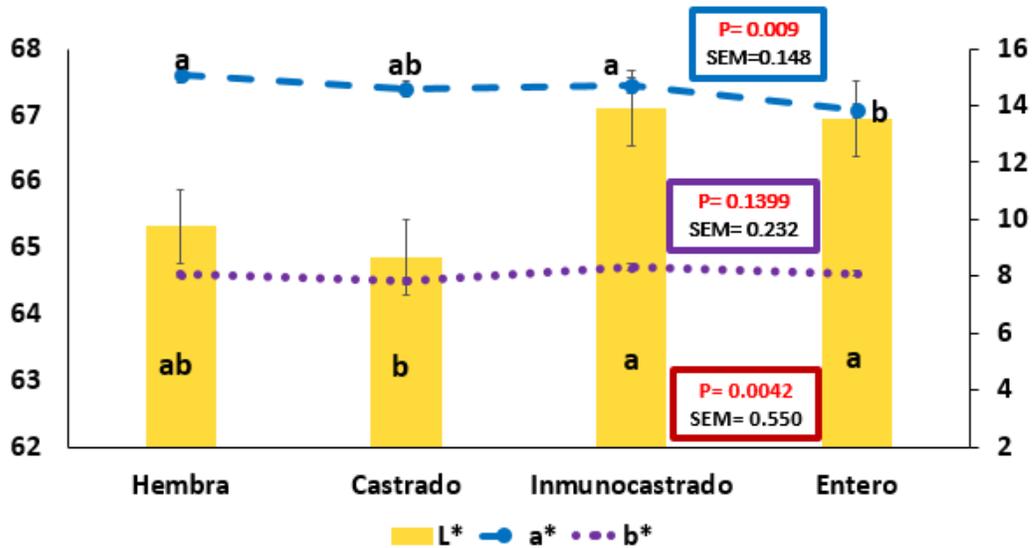


Figura 2. Luminosidad (L), tendencia al color rojo (a\*) y al color amarillo (b\*) de carne de cerdo de acuerdo al sexo. <sup>a,b</sup> literales en columna son estadísticamente diferentes (P<0.05)

Los valores del presente estudio son numéricamente mayores a los reportados por Gispert *et al.* (2010), Škrlep *et al.* (2012), Van den Broeke *et al.* (2016), para las variables L\* y a\*. Para la variable L\* (luminosidad) Aluwé *et al.* (2013), Martínez-Macipe *et al.* (2015) y Van den Broeke *et al.* (2016) no encontraron diferencias para la carne de hembras, castrados y enteros.

Aluwé *et al.* (2013) reportaron que la carne de los cerdos inmunocastrados presentó mayor tendencia hacia color rojo, lo cual coincide con lo observado en el presente estudio. Sin embargo, estos autores mencionaron que los cerdos castrados tienen una menor tendencia en a\*, pero en el presente estudio se observó una tendencia opuesta. Aluwé *et al.* (2013), reportaron que la carne del cerdo entero presenta la mayor tendencia (P < 0.05) y que la del cerdo inmunocastrado presenta una menor tendencia

hacia el color amarillo ( $b^*$ ). Estos resultados difieren a los del presente estudio, en el que no hubo diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) entre la carne.

En lo que respecta a las variables C (saturación) y H (tono) concuerdan con lo encontrado con Needham y Hoffman (2015) donde no hubo diferencias. Sin embargo, ellos encontraron que la carne de los cerdos enteros presenta una mayor saturación (9.97) en comparación con los cerdos inmunocastrados (9.88), lo cual contrasta con los resultados obtenidos en el presente trabajo, en el que la carne de los cerdos enteros presentó una menor saturación en comparación con la carne del cerdo inmunocastrado. Los cerdos inmunocastrados presentaron numéricamente un mayor tono que la carne de los cerdos castrados; lo cual concuerda con lo reportado por Needham y Hoffman (2015).

### 4.5.3 Análisis de perfil de texturas

La carne de cerdos enteros registró mayor ( $P < 0.05$ ) dureza y fuerza de corte, que la carne de los otros sexos (Cuadros 12 y 13). La fuerza de corte (FC) reportada por Aluwé *et al.* (2013), Martínez-Macipe *et al.* (2015) y Van de Broeke *et al.* (2016), fue similar ( $P > 0.05$ ) entre los sexos. Las fuerzas de corte del presente estudio son numéricamente similares a las reportadas por Aluwé *et al.* (2013), pero ellos reportaron que la carne de cerdos enteros presenta una menor fuerza de corte (28.1) mientras que en el presente trabajo, la carne del cerdo inmunocastrado tuvo menor fuerza de corte.

**Cuadro 15. Análisis del Perfil de Textura (Dureza, Adhesividad y Elasticidad) de carne de cerdo de acuerdo al sexo.**

Tratamiento	Dureza (N)	Adhesividad (g sec)	Elasticidad (mm)
<b>n</b>	<b>261</b>	<b>258</b>	<b>262</b>
<b>Hembra</b>	37.411 <sup>b</sup>	-4.654	0.460
<b>Castrado</b>	44.345 <sup>b</sup>	-4.737	0.476
<b>Inmunocastrado</b>	42.964 <sup>b</sup>	-4.982	0.457
<b>Entero</b>	46.416 <sup>a</sup>	-4.737	0.467
<b>EEM</b>	2.393	0.510	0.005
<b>P-values</b>			
<b>Tratamiento (T<sub>i</sub>)</b>	0.032	0.973	0.067
<b>Bloque (B<sub>j</sub>)</b>	0.008	0.205	0.001
<b>Interacción (TB<sub>ij</sub>)</b>	0.176	0.585	0.325

<sup>a,b</sup>. literales diferentes en columna son estadísticamente diferentes ( $P < 0.05$ ).

<sup>1</sup> EEM = error estándar de la media

Akit *et al.* (2018) analizaron la carne de cerdos inmunocastrados (4.30 kg lo que es igual a 42.17 N) y hembras (4.36 kg lo que es igual a 42.76 N); y no encontró diferencias significativas en la dureza ( $P > 0.05$ ), sus datos son similares numéricamente a los encontrados por nosotros. Alonso *et al.* (2010) reporta una dureza de 132.54 N para el músculo *Longissimus dorsi*, la cual representa casi el triple de los valores obtenidos en el presente experimento. Pero Choe *et al.* (2016) reportaron una dureza de 29.54 N, la cual es inferior a la determinada en el presente estudio.

La adhesividad (Cuadro 15) fue similar para todos los sexos evaluados, con un promedio de -4.77 g sec ( $P = 0.973$ ). La elasticidad del músculo *Longissimus dorsi* de los inmunocastrados y de las hembras fue tendencialmente menor ( $P = 0.067$ ) a la de los otros sexos. Alonso *et al.* (2010) reportaron una elasticidad de 0.65 mm y una cohesividad de 1.19 para el músculo *Longissimus dorsi*, lo cual es mayor respecto al presente estudio para cada uno de los tratamientos en cada una de estas variables.

La cohesividad (Cuadro 16) fue menor en los machos enteros y mayor en los castrados ( $P = 0.048$ ). Previamente se reportaron valores de cohesividad de entre 1.19 (Alonso *et al.*, 2010) y 1.53 (Akit *et al.*, 2018) para el músculo *Longissimus dorsi*, los cuales son mayores a los determinados en el presente estudio en la carne de los diferentes sexos.

**Cuadro 16. Análisis del Perfil de Textura (Cohesividad, Resistencia, Gomosidad y Masticabilidad) de carne de cerdo de acuerdo al sexo**

Tratamiento	Cohesividad	Resistencia	Gomosidad (g)	Masticabilidad (gmm)
<b>n</b>	<b>262</b>	<b>262</b>	<b>262</b>	<b>262</b>
<b>Hembra</b>	0.520	0.224 <sup>ab</sup>	19.057 <sup>b</sup>	8.701 <sup>b</sup>
<b>Castrado</b>	0.536	0.230 <sup>a</sup>	23.931 <sup>a</sup>	11.531 <sup>a</sup>
<b>Inmunocastrado</b>	0.523	0.216 <sup>b</sup>	22.117 <sup>ab</sup>	10.119 <sup>ab</sup>
<b>Entero</b>	0.516	0.219 <sup>ab</sup>	23.833 <sup>a</sup>	11.139 <sup>a</sup>
<b>EEM</b>	0.005	0.003	1.1816	0.584
<b>P-values</b>				
<b>Tratamiento (T<sub>i</sub>)</b>	0.048	0.029	0.006	0.001
<b>Bloque (B<sub>j</sub>)</b>	0.0001	0.0001	0.013	0.022
<b>Interacción (TB<sub>ij</sub>)</b>	0.732	0.562	0.247	0.315

<sup>a,b</sup> literales diferentes en columna son estadísticamente diferentes (P<0.05).

<sup>1</sup> EEM = error estándar de la media

La carne de los cerdos enteros y hembras presentan resistencias similares (0.224 y 0.219) para ambos sexos, pero los cerdos castrados presentaron los mayores valores (P = 0.029; Cuadro 16), y los inmunocastrados tuvieron la menor resistencia.

La carne de los cerdos enteros y de los cerdos castrados presentan los valores más altos (P < 0.05) de gomosidad y masticabilidad (Cuadro 16). Esto tiene relación con la fuerza necesaria para poder ser ingeridos. Choe *et al.* (2016) reportaron valores de gomosidad (13.56) y de masticabilidad (12.46) que difieren con los encontrados en este trabajo.

#### 4.5.4 Área del lomo

Las hembras presentaron la mayor ( $P < 0.01$ ) área del lomo ( $34.3 \text{ cm}^2$ ), a diferencia de los otros sexos, que promediaron  $31.1 \text{ cm}^2$  (Cuadro 17). Estudios previos de Caldara *et al.* (2013); Martínez-Macipe *et al.* (2016) y Flores-Rondón *et al.* (2009) reportaron que los cerdos enteros y cerdos castrados presentan mayor área del lomo ( $44.3 \text{ cm}^2$  y  $38.6 \text{ cm}^2$ , respectivamente), a la registrada en el presente trabajo.

**Cuadro 17. Fuerza de corte y área del lomo de cerdos de acuerdo al sexo**

Tratamiento	Fuerza de Corte	Área del Lomo ( $\text{cm}^2$ )
<b>n</b>	<b>259</b>	<b>129</b>
<b>Hembra</b>	22.995 <sup>b</sup>	34.3 <sup>a</sup>
<b>Castrado</b>	22.709 <sup>b</sup>	31.4 <sup>b</sup>
<b>Inmunocastrado</b>	21.209 <sup>b</sup>	31.3 <sup>b</sup>
<b>Entero</b>	26.626 <sup>a</sup>	30.6 <sup>b</sup>
<b>EEM</b>	0.731	0.086
<b>P-values</b>		
<b>Tratamiento (T<sub>i</sub>)</b>	0.000	0.000
<b>Bloque (B<sub>j</sub>)</b>	0.0001	0.000
<b>Interacción (TB<sub>ij</sub>)</b>	0.5992	0.001

<sup>a,b</sup>, literales diferentes en columna son estadísticamente diferentes ( $P < 0.05$ ).

<sup>1</sup> EEM = error estándar de la media

#### **4.6 Evaluación sensorial**

En la prueba organoléptica de consumidor por atributos calificaron la carne de inmunocastrados con tendencia a tener mejor sabor ( $> 5.0$ ), más jugosidad ( $> 4.5$ ), mayor blandura ( $> 5.0$ ) y mejor aceptabilidad global ( $> 5.0$ ) que la de machos enteros (Cuadro 18). Contrariamente, en el olor la carne con mejor preferencia fue de castrado y entero ( $> 5.0$ ), es posible que esta diferencia es la costumbre del consumo de carne proveniente de cerdos castrados y enteros, que en México es amplia.

La aceptabilidad en todas y cada una de estas características fue mayor al grado de neutralidad (4.0) de la escala hedónica utilizada. Estos resultados difieren de lo reportado por Foint i Furnols *et al.* (2008), en el sentido de mejor olor y sabor de la carne de hembras y castrados ( $P < 0.05$ ) respecto a los otros sexos; sin embargo, similar al presente estudio, sus resultados indican una aceptación favorable para la carne de cerdo de los diferentes sexos.

**Cuadro 18. Evaluación sensorial de consumidor por atributos de carne de cerdos. (n= 832)**

	<b>Olor</b>	<b>Sabor</b>	<b>Jugosidad</b>	<b>Blandura</b>	<b>Aceptabilidad Global</b>
<b>n</b>	<b>832</b>	<b>832</b>	<b>832</b>	<b>832</b>	<b>832</b>
<b>Hembra</b>	5.18	5.04	4.91	5.30	5.25
<b>Castrado</b>	5.22	5.03	4.64	5.19	5.03
<b>Inmunocastrado</b>	5.18	5.18	4.84	5.36	5.18
<b>Entero</b>	5.29	4.92	4.71	5.12	5.02
<b>EEM</b>	0.083	0.084	0.089	0.089	0.079
<b>P-value</b>					
<b>Tratamiento (Ti)</b>	0.745	0.152	0.101	0.210	0.093

<sup>a,b</sup> literales diferentes en columna son estadísticamente diferentes (P<0.05).

<sup>1</sup> EEM = error estándar de la media

## 5 CONCLUSIONES

Las ganancias de peso diario y eficiencia alimenticia de los cerdos inmunocastrados y de los machos enteros son mejores que las de cerdos castrados y hembras.

Las concentraciones de testosterona, así como los pesos de testículos y glándulas accesorias de los machos inmunocastrados son menores a las de machos enteros.

Los pesos al sacrificio y peso de canal caliente no fueron diferentes entre machos inmunocastrados y hembras.

El contenido de grasa y proteína en carne de cerdos inmunocastrados no es diferente entre los sexos.

Las características fisicoquímicas, así como los resultados de la evaluación sensorial respecto a las características de olor, sabor, jugosidad, blandura y aceptabilidad global de la carne de cerdos de diferentes sexos; permiten concluir que los cerdos inmunocastrados tienen el potencial para ser integrados en el mercado comercial actual de carne de cerdo en México.

El comportamiento productivo de los cerdos inmunocastrados fue favorable desde el inicio del experimento; comparándolo con los cerdos castrados fue mejor; la calidad y aceptación de la carne de cerdos inmunocastrados es similar a los demás tratamientos, por lo que el uso de la inmunocastración como alternativa para la castración quirúrgica es favorable. El uso de esta alternativa biotecnológica que se encuentra en el mercado, no es desfavorable para la producción porcina que actualmente se maneja y sería una mejoraría en el bienestar de los animales.

## 6 BIBLIOGRAFÍA

- Akit, H., Collins, C., Fahri, F., Hung, A., D'Souza, D., Leury, B., Dunshea, F. 2018. Dietary lecithin improves feed efficiency without impacting meat quality in immunocastrated male pigs and gilts fed a summer ration containing added fat. *Animal Nutrition*. 4:203–209
- Alonso V., del Mar Campo M., Provincial L., Roncalés P., Beltrán. J.A. 2010. Effect of protein level in commercial diets on pork meat quality. *Meat Science*. 85: 7-14.
- Aluwé, M., K.C.M. Langendries, K.M. Bekaert, F.A.M. Tuyttens, D.L. De Brabander, S. De Smet, S. Millet. 2013. Effect of surgical castration, immunocastration and chicory-diet on the meat quality and palatability of boars. *Meat Science*.94 (3) 402-407.
- Aluwé, M., F.A.M. Tuyttens, S. Millet. 2015. Field experience with surgical castration with anaesthesia, analgesia, immunocastration and entire male pigs: performance, carcass traits and boar taint prevalence. *Animal*. 9:3, 500-508.
- American Meat Science Association (s.f.) TheMeatWeEat.com, recuperado en 2018, de <http://www.meatscience.org/TheMeatWeEat/topics/fresh-meat/grades-of-meat>
- AMSA, 2015. Research Guidelines for Cookery, Sensory Evaluation and Instrumental Measurements of Fresh Meat. American Meat Science Association, Champaign, IL.  
[https://www.meatscience.org/docs/default-source/publications-resources/amsa-sensory-and-tenderness-evaluation-guidelines/research-guide/2015-amsa-sensory-guidelines-1-0.pdf?sfvrsn=42d380b3\\_6](https://www.meatscience.org/docs/default-source/publications-resources/amsa-sensory-and-tenderness-evaluation-guidelines/research-guide/2015-amsa-sensory-guidelines-1-0.pdf?sfvrsn=42d380b3_6)
- AOAC. 2005. Official Methods of Analysis. 16th ed. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, V.A
- Babol, J., Squires, E.J., Bonneau, M. 1996. Factors regulating the concentrations of 16-androstene steroids in submaxillary salivary glands of pigs. *Journal of Animal Science*. 74. 413–419.

- Babol, J., Zamaratskaia, G., Juneja, R. K., Lundström, K. 2004. The effect of age on distribution of skatole and indole levels in entire male pigs in four breeds: Yorkshire, Landrace, Hampshire and Duroc. *Meat Science*, 67(2), 351–358.
- Berg, E. P. (2000). Instrumentation to Meat Pork Quality. 53rd Annual Reciprocal Meat Conference., págs. 16-20. American Meat Science Association. Obtenido de [https://www.meatscience.org/docs/default-source/publications-resources/rmc/2000/instrumentation-to-measure-pork-quality.pdf?sfvrsn=da58bbb3\\_2](https://www.meatscience.org/docs/default-source/publications-resources/rmc/2000/instrumentation-to-measure-pork-quality.pdf?sfvrsn=da58bbb3_2)
- Bernal Barragán H. 1992. Physiologische und nutritive Einflüsse auf die Bildung von Skatol (3-Methylindol) im Dickdarm von Schweinen. Doctoral Thesis. Universität Hohenheim, Alemania. 170 pp.
- Blanch, M., N. Panella-Riera, P. Chevillon, M. F. i Furnols, M. Gil, J. M. Gil, Z. Kallas, M. A. Oliver. 2012. Impact of consumer's sensitivity to androstenone on acceptability of meat from entire male pigs in three European countries: France, Spain and United Kingdom. *Meat Science*. 90:572–578.
- Boler, D.D., C.L. Puls, D.L. Clarks, M.Ellis. 2014. Effects of immunological castration (Improvast) on changes in dressing percentage and carcass characteristics of finishing pigs. *Journal Animal Science*.91:359–368
- Bourne, M. C., Kenny, J. F., Barnard, J. 1978. Computer-assisted readout of data from texture profile analysis curves. *Journal of Texture Studies*, 9: 481–494.
- Bonneau, M. 1998. Use of entire male for pig meat in the European Union. *Meat Science*, 49 (1) S257 S272
- Braña Varela, D., Ramírez Rodríguez, E., Rubio Lozano, M. d., Sánchez Escalante, A., Torrescano Urrutia, G., Arenas de Moreno, M., Ríos Rincón, F. 2011. Manual de Análisis de Calidad en Muestras de Carne. México: SAGARPA.
- Brewer, M.S. 2014. CHEMICAL AND PHYSICAL CHARACTERISTICS OF MEAT | Water-Holding Capacity. Editor(s): Michael Dikeman, Carrick Devine. *Encyclopedia of Meat Sciences (Second Edition)*. Academic Press. Pages 274-282.

- Brunius C, Zamaratskaia G, Andersson K, Chen G, Norrby M, Madej A, Lundström K. 2011. Early immunocastration of male pigs with Improvac®- effect on boar taint, hormones and reproductive organs. *Vaccine*; 29:9514-20.
- Bučko, O., Bahelka, I., Petrák, J., Hellová, D., Debrecéni, O. 2015. The difference is the nutritional composition of pork and fat of barrows, boars and gilts of finishing pigs. *Research in pig breeding*. 9, p. 1--5.
- Caldara, F.R.; Moi, M.; dos Santos, L.S., Paz, I.C. de L.A.; Garcia, R.G.; Nãas, I. de A.; Fernandes, A.R.M. 2013. Carcass characteristics and qualitative attributes of pork from immunocastrated animals. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 26, 1630-1636.
- Channon, H.A., D'Souza, D.N., Dunshea, F.R. 2018. Eating quality traits of shoulder roast and stir fry cuts outperformed loin and silverside cuts sourced from entire and immunocastrated male pigs. *Meat Science*. 136:104-115
- Choe, J.-H., Choi, M.-H., Rhee, M.-S., Kim, B.-C. 2016. Estimation of Sensory Pork Loin Tenderness Using Warner-Bratzler Shear Force and Texture Profile Analysis Measurements. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 29(7), 1029–1036.
- Choi, J.-S., Lee, H.-J., Jin, S.-K., Choi, Y.-I., Lee, J.-J. 2014. Comparison of Carcass Characteristics and Meat Quality between Duroc and Crossbred Pigs. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 34(2), 238–244.
- Claus, R., Weiler, U. 1994. Endocrine regulation of growth and metabolism in the pig: a review. *Livestock Production Science*, 37, 245-260.
- Claus, R., Weiler, U., Herzog, A. 1994. Physiological aspects of androstenone and skatole formation in the boar- a review with experimental data. *Meat Science*, 38, 289-305.
- Daza, A., Latorre, M.A., Olivares, A., López Bote, C.J. 2016. The effects of male and female immunocastration on growth performances and carcass and meat quality of pigs intended for dry-cured ham production: a preliminary study. *Livestock Science*, 190, 20-26.

- Doran, E., Whittington, F.W., Wood, J.D., McGivan, J.D. 2002. Cytochrome P450IIE1 (CYP2E1) is induced by skatole and this induction is blocked by androstenone in isolated pig hepatocytes. *Chemico-Biological Interactions*. 140, 81-92.
- Doran, E., Whittington, F. M., Wood, J. D., McGivan, D. 2004. Characterisation of androstenone metabolism in pig liver microsomes. *Chemico-Biological Interactions*. 147(2), 141–149.
- Dos Santos, L. S., Caldara, F. R., Dos Santos, R. D. K. S., de Alencar Nääs, I., Foppa, L., Garcia, R. G., Paz, I. C. D. L. A. 2014. Comparison of methodologies for assessment of pork loin eye area. *Boletim de Indústria Animal*, 71(3), 211-216.
- Dunshea, F. R., Colantoni, C., Howard, K., McCauley, I., Jackson, P., Long, K. A., Lopaticki, S., Nugent, E.A., Simons, J.A., Walker, J., Hennessy, D.P. 2001. Vaccination of boars with a GnRH vaccine (Improvac®) eliminates boar taint and increases growth performance. *Journal of Animal Science*. 79, 2524–2535.
- EC. 2010. European declaration on alternatives to surgical castration of pigs [online 16/12/10]. Available from:  
[http://ec.europa.eu/food/animals/docs/aw\\_prac\\_farm\\_pigs\\_cast-alt\\_declaration\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/food/animals/docs/aw_prac_farm_pigs_cast-alt_declaration_en.pdf) [20.05.11].
- England, E.M., Matarneh S.K., Scheffler T.L., Gerrard, D.E. 2017. Chapter 4 - Perimortal Muscle Metabolism and its Effects on Meat Quality, Editor(s): Peter P. Purslow, In Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, *New Aspects of Meat Quality*, Woodhead Publishing. Pages 63-89.
- Elsbernd, A. J., Stalder, K. J., Karriker, L. A., Patience, J. F. 2015. Comparison among gilts, physical castrates, entire males, and immunological castrates in terms of growth performance, nitrogen and phosphorus retention, and carcass fat iodine value. *Journal of Animal Science*. 93, 5702–5710.
- FAO. 2009. Farmer’s Hand Book on pig production (for the small holders at village level) Food and Agriculture Organization of the United Nations with Financial Assistance from the European Commission. CASTRATION. Pag: 31-32.

- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) 2014. Recuperado el 2017, de Departamento de Agricultura y Protección al Consumidor Producción y Sanidad Animal.
- FAO. 2016. *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Recuperada el 20 de abril del 2018, de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QA>
- Faustman, C., Suman, S. P. 2017. Chapter 11 - The Eating Quality of Meat: I—Color, Editor(s): Fidel Toldra. In Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. Lawrie's Meat Science (Eighth Edition). Woodhead Publishing. Pages 329-356,
- Fredriksen, B., Font i Furnols, M., Lundström, K., Migdal, W., Prunier, A., Tuytens, F. A.M., Bonneau, M. 2009. Practice on castration of piglets in Europe. *Animal*, 3, 1480–1487.
- Flores-Rondón, C., Leal-Ramírez, M., Rodas-González, A., Aranguren-Méndez, J., Román-Bravo, R., Ruiz-Ramírez, J. 2009. Efecto de la condición sexual y pesos al sacrificio sobre las características de la canal y la calidad de la carne de cerdo. *Revista Científica- FCV-Luz*. 19(2), 165-172.
- Font-i- Furnols, M., Gispert, M., Guerrero, L., Velarde, A., Tibau, J., Soler, J., Hortós, M., Garcia-Regueiro, J.A., Pérez, J., Suárez, P., Oliver, M.A. 2008. Consumers' sensory acceptability of pork from immunocastrated male pigs. *Meat Science*. 80:1013-1018.
- Font i Furnols MA, Farcía-Regueiro, J.A., Díaz, I., Hortós, M., Valarde, A., Oliver, M.À, Gispert, M. 2009. Efecto de la immunocastración de cerdos en las características de calidad de canal y carne, los niveles de androstenona y escatol y la composición en ácidos grasos. *Eurocarne*. 181.
- Font-i- Furnols, M., Gispert, M., Soler, J., Diaz, M., Garcia-Regueiro, J.A., Diaz, I., Pearce, M.C. 2012. Effect of vaccination against gonadotropin-releasing factor on growth performance, carcass, meat and fat quality of male Duroc pigs for dry-cured ham production. *Meat Science*. 91: 148-154.

- Gispert M, M. Àngels Oliver, A. Velarde, P. Suarez, J. Pérez, M. Font i Furnols. 2010. Carcass and meat quality characteristics of immunocastrated male, surgically castrated male, entire male and female pigs. *Meat Science*. 85, 664–670.
- Gray, M. A., Squires, E.J. 2013. Effects of nuclear receptor transactivation on steroid hormone synthesis and gene expression in porcine Leydig cells. *Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology*. 133:93–100.
- Grela, E.R., Kowalczyk-Vasilev, E., Klebaniuk, R., 2013. Performance, pork quality and fatty acid composition of entire males, surgically castrated or immunocastrated males, and female pigs reared under organic system. *Polish Journal of Veterinary Science*. 16, 107–114
- Große-Brinkhaus, C., L. C. Storck, L. Frieden, C. Neuhoff, K. Schellander, C. Looft, E. Tholen. 2015. Genome-wide association analyses for boar taint components and testicular traits revealed regions having pleiotropic effects. *BMC Genetics*. 16:1–16.
- Heinz, G., Hautzinger, P. 2007. *Meat Processing Technology for Small to Medium Scale Producers*. RAP Publication 2007/20. FAO, Bangkok.
- Honikel, K.O. 2014. CHEMICAL AND PHYSICAL CHARACTERISTICS OF MEAT: pH Measurement, Editor(s): Michael Dikeman, Carrick Devine, *Encyclopedia of Meat Sciences (Second Edition)*, Academic Press, Pages 262-266.
- Intarapichet K. O., Maikhunthod B., Thungmanee N. 2008. Physicochemical characteristics of pork fed palm oil and conjugated linoleic acid supplements. *Meat Science*. 80: 788-794.
- Jaros, P., Bürgi, E., Stärk, K. D. C., Claus, R., Hennessy, D., Thun, R. 2005. Effect of active immunization against GnRH on androstenone concentration, growth performance and carcass quality in intact male pigs. *Livestock Production Science*, 92(1), 31–38.
- Jeong, Jong Youn & H Choi, J & Han, Duck & Lee, D & Hennessy, D & J Kim, C. 2018. The effects of immunocastration on meat quality and sensory properties of pork loins.

- Jiménez-Colmenero, F, Herrero, A.M., Cofrades, S., Ruiz-Capillas, C. 2016. Meat: Eating Quality and Preservation. Editor(s): Benjamin Caballero, Paul M. Finglas, Fidel Toldrá. Encyclopedia of Food and Health. Academic Press. Pages 685-692.
- Jukna, V. Valaitiene, V. 2012. The Comparison of Meat Nutritional and Technological Properties in Different Animals. VETERINARIJA ir ZOOTECHNIKA. 59: 34-39.
- Keeton, J.T., Ellerbeck, S.M., Núñez de González, M.T. 2014. CHEMICAL AND PHYSICAL CHARACTERISTICS OF MEAT | Chemical Composition. Editor(s): Michael Dikeman, Carrick Devine. Encyclopedia of Meat Sciences (Second Edition) Academic Press. Pages 235-243,
- Lundström, K., Matthews, K. R., Haugen, J. 2009. Pig meat quality from entire males. *Animal*, 3, 1497–1507.
- Lukač, D. R., Vidović, V. S., Stoisavljević, A. Lj., Puvača, N. M., Džinić, N. R., Tomović V.M. 2015. Basic chemical composition of meat and carcass quality of fattening hybrids with different slaughter weight. *Hemijska Industrija*. 69 (2) 121–126.
- Lowe, B. K., K. A. Kroscher, M. A. Tavárez, F. K. McKeith, A. L. Schroeder, A. C. Dilger. 2016. Effects of feeding ractopamine to physically castrated barrows, immunologically castrated barrows, and gilts on carcass characteristics, cutting yields, and fresh meat quality. *Professional Animal Scientist*. 32:346–356.
- Martinez- Macipe, M., Rodríguez, P., Izquierdo, M., Gispert, M., Manteca, X., Mainau, E., Hernandez, F.I., Claret, A., Guerrero, L., Dalmau, A. 2015. Comparasion of meat quality parameters in surgical castrated versus vaccinated against gonadotrophin-releasin factor male and female Iberian pigs reared in free-ranging conditions. *Meat Science*. 111:116-121.
- Martinez-Macipe, M., Rodríguez, P., Izquierdo, M., Gispert, M., Manteca, X., Mainau, E., Dalmau, A. 2016. Comparison of meat quality parameters in surgical castrated versus vaccinated against gonadotrophin-releasing factor male and female Iberian pigs reared in free-ranging conditions. *Meat science*. 111, 116-121.

- Metz, C., K. Hohl, S. Waidelich, W. Drochner, R. Claus. 2002. Active immunization of boars against GnRH at an early age: consequences for testicular function, boar taint accumulation and N-retention. *Livestock Production Science*. 74:147–157.
- Miller, R.H. 2017. Chapter 15 - The Eating Quality of Meat: V—Sensory Evaluation of Meat. Editor(s): Fidel Toldra. In *Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. Lawrie's Meat Science (Eighth Edition)*. Woodhead Publishing. Pages 461-499.
- Morales, J.I., Cámara, L., Berroscoso, J.D., López, J.P., Mateos, G.G., Serrano, M.P. 2011. Influence of sex and castration on growth performance and carcass quality of crossbred pigs from 2 Large White sire lines. *Journal of Animal Science*. 89, 3481-3489.
- Mochizuki, Y. 2001, Texture Profile Analysis. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, 00: H2.3.1-H2.3.7. doi:[10.1002/0471142913.fah0203s00](https://doi.org/10.1002/0471142913.fah0203s00)
- Nadêje B, Koucký M, Ševčková S, Adamec T and Laštovková J 2000. Assessment of boar and barrow meat. *Czech Journal of Animal Science* 45, 539–544
- Needham, T., L.C. Hoffman. 2015. Physical meat quality and chemical composition of the Longissimus thoracis of entire and immunocastrated pigs fed varying dietary protein levels with and without ractopamine hydrochloride. *Meat Science*. 110, 101-108.
- NOM- 033-SAG/ZOO 2014. Métodos para dar muerte a los animales domésticos y silvestres. *Diario Oficial de la Federación*: 26 de Agosto del 2015.
- NRC. 2012. Models for estimating nutrient requirements of swine. The National Academic Press, Washington, DC.
- Oliveira, M.S., Stein, H.H. 2016. Digestibility of energy, amino acids, and phosphorus in a novel source of soy protein concentrate and in soybean meal fed to growing pigs. *Journal of Animal Science*, 94: 3343-3352.
- Pauly C., P. Spring, J. V. O Doherty, S. Ampuero Kragten, G. Bee. 2008. Performances, meat quality and boar taint of castrates and entire male pigs fed a standard and a raw potato starch-enriched diet. *Animal*. 2:11, 1707-1715.

- Pauly, C, Spring, P, O'Doherty, JV, Kragten, SA, Bee, G 2009. Growth performance, carcass characteristics and meat quality of group-penned surgically castrated, immunocastrated (Improvac®) and entire male pigs and individually penned entire male pigs. *Animal*. **3**, 1057-1066.
- Petherick, J.C., 2010. Castration. In: Mills, D.S., Marchant-Forde, J.N., McGreevy, P.D., Morton, D.B., Nicol, C.J., Phillips, C.J.C., Sandøe, P., Swaisgood, R. (Eds.). *The Encyclopedia of Applied Animal Behaviour and Welfare*. CAB International, Abingdon, United Kingdom, pp. 2–83.
- Pettigrew, J, Esnaola, M.A. 2001. Swine nutrition and pork quality: A review. *Journal of Animal Science*.79:E316.
- PIC. 2016. Pork Meat Quality: Understanding Industry Measurements and Guidelines. The Pig Site:  
<http://www.thepigsite.com/articles/5341/pork-meat-quality-understanding-industry-measurements-and-guidelines/>
- Pomar, C., Rivest, J., Jean dit Baillleul, P, Marcoux, M. 2001. Predicting loin-eye area from ultrasound and grading probe measurements of fat and muscle depths in pork carcasses. *Canadian Journal of Animal Science*. 81:429–434.
- Prunier, A., Bonneau, M., von Borell, E. H., Cinotti, S., Gunn, M., Fredriksen, B., Morton, DB. Tuyttens, FAM., Velarde, A. 2006. A review of the welfare consequences of surgical castration in piglets and the evaluation of non-surgical methods. *Animal Welfare*, 15(3):277–89.
- Puls, C. L., A. Rojo, M. Ellis, D. D. Boler, F. K. McKeith, J. Killefer, A. M. Gaines, P. D. Matzat, and A. L. Schroeder. 2014. Growth performance of immunologically castrated (with Improvest) barrows (with or without ractopamine) compared to gilt, physically castrated barrow, and intact male pigs. *Journal of Animal Science*. 92:2289–2295.
- Ramanathan, R., Mancini, R.A. 2018. Role of mitochondria in beef color: A review. *Meat Muscle Biology*. doi:10.22175/mmb2018.05.0013
- Rault, J.-L., D. C. Lay, J. N. Marchant-Forde. 2011. Castration induced pain in pigs and other livestock. *Applied Animal Behavior Science*. 135:214–225.

- Ray F.K. 2004. Pork carcass evaluation and procedures. Division of Agricultural Sciences and Natural Resources. Oklahoma State University.
- Robic, A., Larzul, C., Bonneau, M. 2008. Genetic and metabolic aspects of androstenone and skatole deposition in pig adipose tissue: a review. *Genetics Selection Evolution*. 40: 129-143.
- Rojas, O.J., Stein, H.H. 2016. Effects of particle size of yellow dent corn on physical characteristics of diets and growth performance and carcass characteristics of growing–finishing pigs. *Journal of Animal Science*. 94: 614-628.
- SAGARPA. 2017. ATLAS AGROALIMENTARIO 2017. Primera Edición. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.
- Škrlep, M., Šegula, B., Zajec, M., Kastelic, M., Košorok, S., Fazarinc, G. 2010a. Effect of immunocastration (Improvac®) in fattening pigs I: growth performance, reproductive organs and malodorous compounds. *Slovenian Veterinary Research*. 47 (2):57-64.
- Škrlep, M., Šegula, B., Prevolnik, M., Kirbiš, A., Fazarinc, G., Čandek-Potokar, M. 2010b. Effect of immunocastration (Improvac®) in fattening pigs II: carcass traits and meat quality. *Slovenian Veterinary Research*. 47: 65–72.
- Škrlep, M., N. Batorek, M. Bonneau, M. Prevolnik, V. Kubale, M. Čandek-Potokar. 2012. Effect of immunocastration in group-housed commercial fattening pigs on reproductive organs, malodorous compounds, carcass and meat quality. *Czech Journal of Animal Science*. 57 (6): 290-299.
- Stupka R., Čítek J., Vehovský K., Zadinová K., Okrouhlá M., Urbanová D., Stádník L. 2017: Effects of immunocastration on growth performance, body composition, meat quality, and boar taint. *Czech Journal of Animal Science*. 62, 249–258.
- Sutherland, M. A., B. L. Backus, T. A. Brooks, J. J. McGlone. 2017. The effect of needle-free administration of local anesthetic on the behavior and physiology of castrated pigs. *J. Vet. Behav. Clin. Appl. Res.* 21:71–76.
- Thun, R., Gajewski, Z., Janett, F. 2006. Castration in male pigs: techniques and animal welfare issues. *Journal of Physiology and Pharmacology*, 57(suppl. 8), 189–194.

- Turkstra, JA, Zeng, XY, van Diepen, JTM, Jongbloed, AW, Oonk, HB, van de Wiel, DFM, Meloen, RH. 2002. Performance of male pigs immunized against GnRH is related to the time of onset of biological response. *Journal of Animal Science* 80, 2953–2959.
- Turkstra, J., Meloen, R. 2006. Active immunisation against gonadotropin-releasing hormone, an active tool to block the fertility axis in mammals. *Veterinary Sciences Tomorrow*. Vol. 2006
- Tomovic, V., Zlender, B., Jokanović, M., Tomovic, M., Sojic, B., Skaljic, S., Tasic, T., Ikonc, P., Soso, M., Hromis, N. 2014. Technological quality and composition of the M. semimembranosus and M. *longissimus dorsi* from Large White and Landrace Pigs. *Agricultural and Food Science*, 23(1), 9-18.
- Torres, J.D.; González-Morelo K., Acevedo D. (2015). Análisis del perfil de textura en frutas, productos cárnicos y quesos. *Revista RECITEIA: Revisiones de la Ciencia, Tecnología e Ingeniería de los Alimentos*, 14(2), 63-75.
- USDA National Institute of Food and Agriculture, New Technologies for Ag Extension project. 2010. *Extension Issues Innovation Impact A part of the Cooperative extension system*. Obtenido de Extension Issues Innovation Impact A part of the Cooperative extension system:  
[https://articles.extension.org/pages/27315/sensory-evaluation-of-pork#Evaluation\\_of\\_Sensory\\_Characteristics\\_Using\\_Consumer\\_Sensory\\_Panels](https://articles.extension.org/pages/27315/sensory-evaluation-of-pork#Evaluation_of_Sensory_Characteristics_Using_Consumer_Sensory_Panels)
- Van den Broeke, A., F. Leen, A. Aluwé, B. Ampe, J. Van Meensel, S. Millet. 2016. The effect of GnRH vaccination on performance, carcass and meat quality and hormonal regulation in boars, barrows and gilts. *Journal of Animal Science*. 94: 2811-2820.
- Warner, R.D. 2017. Chapter 14 - The Eating Quality of Meat—IV Water-Holding Capacity and Juiciness. Editor(s): Fidel Toldra´. In Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. Lawrie´s Meat Science (Eighth Edition). Woodhead Publishing. Pages 419-459.

- Wesoly, R., Weiler, U. 2012. Nutritional Influences on skatole formation and skatole metabolism in the pig. *Animals*, 2,221-242.
- Xue, J.L., Dial, G. D. 1997. Raising intact male pigs for meat: detecting and preventing boar taint. *Swine health and production*, 5(4), 151-158.
- Yamsakul, P., Patchanee, P., Yano, T., Boonma, T., Somkert, C., Sathanawongs, A.. 2017. Gonadotropin-releasing hormone immunization and castration in male pigs: Effects on growth, hormonal levels, antibody titer response, testicular function, back fat, and consumers' sensory perceptions. *Korean Journal of Veterinary Research*. 57:23–29.
- Zadinová, K., Stupka, R., Stratil, A., Čítek, J., Vehovský, K., Urbanová, D. 2016. Boar taint– The effects of selected candidate genes associated with androstenone and skatole levels– A review. *Animal Science Papers and Reports*. 34:107–128.
- Zamaratskaia, G., Andersson, H.K., Chen, G., Andersson, K., Madej, A., Lundström, K. 2008. Effect of Gonadotropin-releasing Hormone Vaccine (Improvac TM) on steroid hormones, boar taint compounds and performance in entire male pigs. *Reproduction in Domestic Animals*, 43: 351-359.
- Zamaratskaia, G., Zlabek, V., Chen, G., Madej, A. 2009. Modulation of porcine cytochrome P450 enzyme activities by surgical castration and immunocastration. *Animal*; 3(8):1124–32.
- Zamaratskaia, G., E. J. Squires. 2009. Biochemical, nutritional and genetic effects on boar taint in entire male pigs. *Animal*. 3:1508–21
- Zamaratskaia, G., Krøyer, R.M. 2015. Immunocastration of male pigs-situation today. *Journal Procedia Food Science*, 5, 324-32
- Žymantienė J., Jukna V., Jukna Č., Želvytė R., Oberauskas V. 2008. Comparison of meat quality characteristics between commercial pigs and snails. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*. Vol. 58, No. 1. P. 23–26.

## 7 Anexos



### Hoja de respuesta para la evaluación afectiva en Carne de Cerdo

Nombre: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

Código: \_\_\_\_\_

Instrucciones:

1. Escriba el código de las muestra.
2. Usted tiene una muestra en la charola, por favor, indique su agrado para cada atributo según la escala que se le presenta.
3. Marque con una **X** en el espacio de acuerdo a la calificación que usted seleccione.

#### OLOR A CERDO

Me gusta mucho	Me gusta	Me gusta ligeramente	Ni me gusta ni me disgusta	Me disgusta ligeramente	Me disgusta	Me disgusta mucho

#### SABOR

Me gusta mucho	Me gusta	Me gusta ligeramente	Ni me gusta ni me disgusta	Me disgusta ligeramente	Me disgusta	Me disgusta mucho

#### JUGOSIDAD

Me gusta mucho	Me gusta	Me gusta ligeramente	Ni me gusta ni me disgusta	Me disgusta ligeramente	Me disgusta	Me disgusta mucho

#### BLANDURA

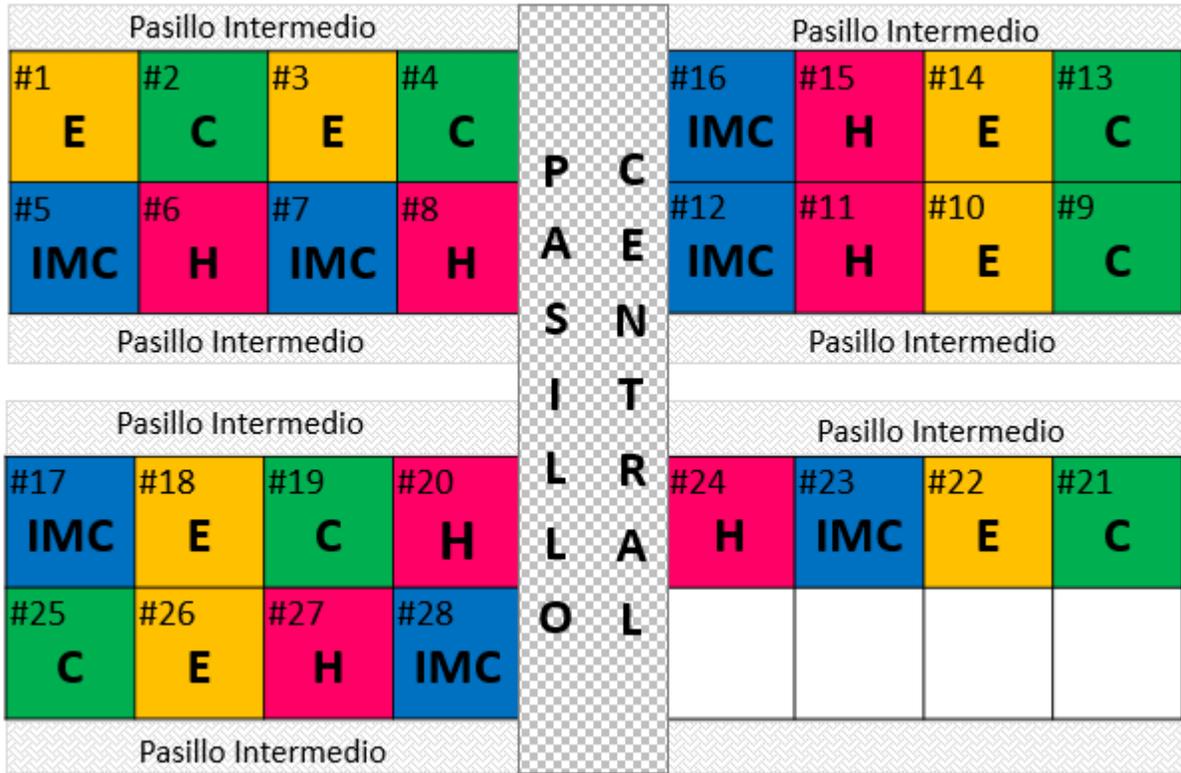
Me gusta mucho	Me gusta	Me gusta ligeramente	Ni me gusta ni me disgusta	Me disgusta ligeramente	Me disgusta	Me disgusta mucho

#### ACEPTABILIDAD GLOBAL

Me gusta mucho	Me gusta	Me gusta ligeramente	Ni me gusta ni me disgusta	Me disgusta ligeramente	Me disgusta	Me disgusta mucho

**¡ MUCHAS GRACIAS ¡**

Anexo 1. Formato evaluación sensorial de la carne con consumidores



Anexo 2. Distribución de corrales para experimento