



Facultad de Veterinaria  
Universidad Zaragoza



# Trabajo Fin de Grado en

## Veterinaria

Carne sin olor a verraco: alternativas a la castración quirúrgica

Boar taint-free meat: alternatives to surgical castration

Autor/es

Joaquín Cueto Puente

Director/es

José Ignacio Martí Jiménez

Facultad de Veterinaria

2020

---

## ÍNDICE

I.- RESUMEN/ABSTRACT.....	1
II.- INTRODUCCIÓN.....	1
1. "Olor a verraco" .....	1
1.1. Origen.....	1
1.2. Métodos de detección .....	3
2. Castración quirúrgica .....	5
2.1 Consecuencias de la castración quirúrgica.....	6
2.2 Situación actual y perspectivas de futuro para la castración quirúrgica .....	9
III.- JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS.....	10
IV.- METODOLOGÍA.....	11
V.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	11
Métodos alternativos a la castración quirúrgica .....	11
1.- Producción de machos enteros.....	11
1.1.- Factores genéticos .....	12
1.2.- Factores nutricionales.....	14
1.3.- Estrategias de manejo.....	15
2.- Inmunocastración .....	16
2.1.- Objetivos y principios de la inmunocastración .....	16
2.2.- Consideraciones prácticas.....	17
2.3.- Efectos de la inmunocastración .....	19
3.- Castración quirúrgica con alivio del dolor.....	24
3.1.- Anestesia general.....	24
3.2.- Anestesia local .....	26
3.3.- Analgesia .....	27
3.4.- Pros y contras de la castración quirúrgica con alivio del dolor .....	28
4.- Otras alternativas.....	29
VI.- CONCLUSIONES/CONCLUSIONS.....	30
VII.- VALORACIÓN PERSONAL .....	30
VIII.- BIBLIOGRAFÍA .....	31

## **I.- RESUMEN**

La castración quirúrgica sin alivio del dolor es una práctica común, tradicionalmente realizada con el fin de evitar la presencia de los componentes responsables del "olor a verraco". Esta cada vez se enfrenta a mayores críticas, motivadas por el dolor asociado a la misma, que tienen como fin erradicarla. Por ello, uno de los principales objetivos de este trabajo será exponer las diversas alternativas que existen para controlar el olor sexual. Para ello, se ha realizado una revisión bibliográfica sobre el tema, y se han presentado unos resultados que desarrollan las principales alternativas disponibles a la castración quirúrgica: producción de machos enteros, inmunocastración y castración quirúrgica con alivio del dolor. Todas ellas tienen sus pros y sus contras, sin embargo, ninguna puede compararse al equilibrio de rentabilidad-productividad que ofrece la misma. En conclusión, son necesarias investigaciones más exhaustivas con el fin de erradicar y abandonar la castración quirúrgica en un futuro.

## **ABSTRACT**

Surgical castration without pain relief is a common practice, traditionally performed with the aim of avoiding boar taint compounds' presence. Due to its association with pain, criticism claiming for its eradication is constantly increasing. Therefore, one of the main objectives of this study is to expose the different currently available alternatives to control boar taint. In order to achieve it, a bibliographic review on the subject has been carried out, and the results submitted describe the main alternatives available to surgical castration: entire male production, immunocastration and surgical castration with pain relief. All of them have their pros and cons, however, none can be compared to the profitability-productivity levels that surgical castration offers. To conclude, further research is needed in order to eradicate and drop out surgical castration in the future.

## **II.- INTRODUCCIÓN**

### **1.- "Olor a verraco"**

#### **1.1.- Origen**

Los cerdos machos enteros pueden acumular en sus tejidos una serie de compuestos cuya presencia puede derivar en un desagradable olor y sabor al ser percibidos por un sector de la población durante el cocinado de la carne de alguno de los citados cerdos machos enteros. Este fenómeno es conocido como olor sexual u "olor a verraco" (Bonneau & Weiler, 2019; Weiler & Bonneau, 2019). Dentro de los compuestos que provocan el olor a verraco,

encontramos dos que se consideran los principales responsables: androstenona y escatol (Claus et al., 1994). Al tratarse de compuestos lipofílicos, estos se acumulan en el tejido adiposo de los animales en crecimiento durante el período cercano al sacrificio como consecuencia del desarrollo puberal. En canales donde la concentración de compuestos supere el umbral de sensibilidad individual, los consumidores sensibles pueden percibir el olor o sabor de la carne como desagradable y consecuentemente dar lugar a quejas por parte de los mismos (Font i Furnols et al., 2003).

Por un lado, la androstenona ( $5\alpha$ -androst-16-ene-3ona) es un esteroide testicular con un olor similar a la orina (Patterson, 1968). La producción de androstenona se lleva a cabo en las células de Leydig y está regulada por el eje Hipotálamo-Hipófisis-Gonadal. La producción de androstenona es llevada a cabo junto a la de otras hormonas gonadales (andrógenos y estrógenos; Gower, 1972). Tras su liberación a la sangre, la androstenona puede ser catabolizada por el hígado, para ser almacenada reversiblemente por un lado en el tejido adiposo y por otro lado en las glándulas salivares, es en estas últimas donde es reducida a  $\alpha$ -androstenol y  $\beta$ -androstenol (Booth, 1987). Ambas hormonas son excretadas por la saliva, actuando como feromonas masculinas, cumpliendo con su significado biológico, ya que inducen la pubertad de las cerdas jóvenes a la par que provocan el comportamiento de apareamiento en la cerda (Bonneau & Weiler, 2019). Los niveles de androstenona en la grasa de los cerdos machos enteros oscilan entre 0,1-0,2  $\mu\text{g/g}$  y 5-10  $\mu\text{g/g}$  (Walstra et al., 1999).

Por otro lado, el escatol (3-metil-indol) es un metabolito del aminoácido triptófano con olor fecal (Bonneau & Weiler, 2019) sintetizado en el colon por la degradación microbiana de la porción indigerible pero fermentable de la alimentación y los restos celulares intestinales. El escatol se absorbe del intestino grueso y circula por la sangre, donde puede ser catabolizado en el hígado o almacenado de forma reversible en el tejido adiposo. La principal razón por la que los cerdos machos enteros tienen niveles más altos en el tejido adiposo que en los cerdos machos castrados o las cerdas jóvenes es que la degradación hepática se reduce debido a la inhibición de la actividad de unas enzimas catabólicas (CYP2E1 y CYP2A) cuando las concentraciones de androstenona, testosterona o  $17\beta$ -estradiol son altas (Zamaratskaia et al., 2007). Los niveles de escatol en la grasa de los cerdos machos enteros oscilan entre 0,01-0,02  $\mu\text{g/g}$  y 0,5-1,0  $\mu\text{g/g}$ . (Walstra et al., 1999).

Con el fin de evitar la acumulación de estos compuestos (androstenona y escatol) y la consecuente percepción del olor sexual en la carne de cerdo, la castración quirúrgica de los lechones macho ha sido una práctica tradicional durante siglos y sigue siendo común en la mayoría de los países (Bonneau & Weiler, 2019).

## 1.2.- Métodos de detección

Para la detección y cuantificación de los componentes responsables del “olor a verraco” en la carne de los cerdos machos enteros se han desarrollado una amplia gama de métodos analíticos, abarcando enfoques inmunológicos y cromatográficos combinados con diferentes procedimientos de limpieza de muestras (Bee et al., 2015). Los resultados de estos análisis se utilizaron para establecer los umbrales de sensibilidad de la androstenona y el escatol con el objetivo de definir la apreciación sensorial de la carne de los machos enteros (Bonneau et al., 2000; Pauly et al., 2010). Sin embargo, los resultados de un estudio entre diversos laboratorios comparando los diferentes métodos utilizados para la detección de los componentes responsables del olor sexual mostraron una variabilidad no despreciable, demostrando la urgente necesidad de una armonización y normalización de los análisis de la androstenona y el escatol (Haugen et al., 2012).

Además, es evidente que para los propósitos comerciales, un método de referencia armonizado y validado es un requisito previo que ayuda a crear confianza entre todas las partes interesadas de la cadena (Bee et al., 2015). Por ello, se han desarrollado diversos métodos de detección de los componentes del “olor a verraco” destacando dos: método de referencia para la determinación de los principales componentes del “olor a verraco”; y métodos de detección rápida aplicados en la línea de sacrificio (Bee et al., 2015; Haugen et al., 2012).

### 1.2.1.- Método de referencia

A raíz de lo previamente citado, el Centro Común de Investigación (*Joint Research Center*), servicio científico interno de la Comisión Europea encargado de proporcionar asesoramiento científico y técnico a la Comisión Europea y a los Estados Miembros de la Unión Europea (UE) en apoyo a sus políticas, fue el encargado de desarrollar un método de referencia (Buttinger et al., 2014).

El Centro Común de Investigación desarrolló un método de análisis basado en la preparación común de una muestra, empezando por tomar una muestra de grasa licuada procedente del tejido adiposo del cuello, seguido de una limpieza de la misma por medio de una cromatografía de exclusión por tamaño (SEC). La medición de las sustancias objetivo (componentes del “olor a verraco”) se realiza por medio de una espectrometría de masas por dilución isotópica. Los niveles de detección son inferiores a 0,001 mg/kg para el escatol y 0,005 mg/kg para la androstenona (Buttinger et al., 2014).

El método ha demostrado ser robusto y estar libre de interferencias de base. Además, con respecto a la tasa de recuperación, repetitividad y la incertidumbre de la medición, el método

es lo suficientemente fiable y sensible para determinar los componentes responsables del "olor a verraco" dentro de los valores de los umbrales sensoriales. Por último, sus características de rendimiento cumplen con los requisitos de los métodos oficiales de control alimentaria en el ámbito de la contaminación alimentaria y por lo tanto, es apto para su finalidad prevista (Buttinger et al., 2014).

### ***1.2.2.- Métodos de detección rápida aplicados en la línea de sacrificio***

Actualmente hay una gran necesidad de encontrar un método que permita realizar una detección rápida en la línea de sacrificio en los mataderos para identificar las canales con niveles inaceptables de componentes del "olor a verraco" que puedan hacerlas inadecuadas para la producción de productos de alta calidad (Lundstöröm et al., 2009).

En lo referente a los métodos rápidos de detección en la línea de sacrificio se describen dos: métodos analíticos y métodos sensoriales.

#### **a. Métodos analíticos**

Durante años se ha trabajado duramente en el desarrollo de métodos que permitan determinar los niveles de escatol y androstenona en el tejido de los cerdos macho. Métodos como la cromatografía (líquida o de gases), espectrometría de masas, espectrofotometría o métodos inmunológicos (inmunoensayos) está siendo utilizados por los laboratorios sin mucho éxito (Haugen et al., 2012).

Asimismo, se han desarrollado otras alternativas para la determinación del "olor a verraco". Por ejemplo, el método colorimétrico para medir los equivalentes del escatol en el tejido adiposo, desarrollado en Dinamarca, permitía una medición rápida y simple pero no ofrecía información sobre los niveles de androstenona (Mortensen & Sorensen, 1984). Otro ejemplo que también fue investigado es el método de la nariz electrónica, en el que mediante la aplicación de un sensor de gas se detectaban los componentes del olor sexual en fase gaseosa (Haugen, 2006).

A pesar de haberse desarrollado e investigado, todos los métodos anteriormente citados ofrecen una viabilidad limitada al laboratorio y no han sido debidamente validados (Haugen et al., 2012).

No obstante, recientemente se han anunciado algunos métodos prometedores como un dispositivo totalmente automatizado y rápido aplicado en la línea de sacrificio (Birkler et al., 2018) o un instrumento basado en un sensor para la detección de los componentes responsables del olor sexual (Hart et al., 2016). Ambos parecen estar cerca de llegar al mercado y podrían aplicarse por un precio razonable de 1-2 euros por canal controlada.

## b. Métodos sensoriales

El análisis del “olor a verraco” ha sido tradicionalmente realizado por un panel sensorial formado por un grupo de expertos entrenados y se ha relacionado con los niveles de androstenona y escatol en el tejido adiposo de los cerdos macho (Lundstöröm et al., 2009).

Los métodos de clasificación basados en la detección olfativa por expertos humanos también conocidos bajo el término *Human Nose Score* (HNS; Bee et al., 2015) se utilizan habitualmente en los mataderos, en particular en aquellos países donde la producción de cerdos machos enteros se ha desarrollado recientemente como Bélgica o los Países Bajos (Bonneau & Weiler, 2019).

En lo que respecta a la precisión relativa a la sensibilidad y especificidad del sistema HNS, hasta ahora únicamente un estudio a nivel industrial ha evaluado su validez (Mathur et al., 2012). En este estudio se concluyó que estos métodos son simples, fáciles de usar, rápidos y bastante baratos. No obstante, la irrupción de variables como la capacitación de los evaluadores, el muestreo y los criterios para evaluar la contaminación de una canal provocaron que la eficacia para proteger a los consumidores de la insatisfacción no fuera documentada satisfactoriamente (Mathur et al., 2012).

En conclusión, existen diferentes métodos para la determinación de la androstenona y el escatol en el tejido adiposo de los cerdos machos. Sin embargo, ninguno de ellos ha resultado tan exitoso como se esperaba. A través de una serie de estudios de comparación ente laboratorios se ha demostrado la existencia de un sesgo significativo en sus resultados, tras lo cual, abordan la necesidad de una mayor armonización y estandarización para la cuantificación de los componentes del “olor a verraco” (Haugen et al., 2012), por lo que, antes de que la castración quirúrgica pueda ser completamente abandonada, es imperativo disponer de un método universalmente aceptado, objetivo y reproducible para detectar la presencia de los componentes

## 2.- Castración quirúrgica

La castración quirúrgica se realiza generalmente por medios quirúrgicos en los lechones machos durante los primeros días o semanas de edad. Tanto la Directiva 2008/120/CE (Council Directive 2008/120/EC Laying down Minimum Standards for the Protection of Pigs, 2008) como el Real Decreto 1135/2002 (Real Decreto 1135/2002, de 31 de Octubre, relativo a las normas mínimas para la protección de los cerdos, 2002) estipulan que "en caso de que la castración se realice a partir del séptimo día de vida se llevará a cabo únicamente mediante una anestesia y una analgesia prolongada practicada por un veterinario". Por tanto, según la actual normativa europea, los lechones pueden ser castrados sin anestesia durante la primera semana de vida,

si bien es cuestionable desde el punto de vista del bienestar animal (Prunier et al., 2006; Von Borell et al., 2009a).

La metodología de la castración fue descrita en un informe para la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria sobre los aspectos relacionados con el bienestar animal aplicados a la castración quirúrgica realizado en 2004. En este informe se describe la castración de los lechones como un proceso de corta duración (30 segundos sin anestesia) que se lleva a cabo rápidamente. Los lechones deben ser sujetados durante la castración para minimizar cualquier movimiento, ya sea entre las piernas del operador, en un banco plano o en un dispositivo disponible en el mercado. Tras esto, se presionan los testículos para exteriorizarlos y se realiza una incisión sobre el escroto o dos incisiones, una sobre cada testículo, en ambos casos de unos 2 centímetros (dependiendo del tamaño de los testículos). A continuación, se extraen uno o ambos testículos y se quitan, ya sea cortando el cordón (mediante un bisturí afilado raspando el cordón para limitar el sangrado) o tirando del cordón desgarrando los tejidos para que se rompan en algún lugar de su longitud (EFSA, 2004). En lo referente a este último método, la Directiva 2008/120/CE estipula que la castración deberá realizarse por medios distintos al mismo (Council Directive 2008/120/EC Laying down Minimum Standards for the Protection of Pigs, 2008); no obstante, la practicidad de castrar lechones sin desgarrar los tejidos es discutible (EFSA, 2004). Tras extraer los testículos, se desinfecta la herida abierta y los lechones son devueltos rápidamente a su corral (EFSA, 2004).

### **2.1.- Consecuencias de la castración quirúrgica**

La castración quirúrgica lleva consigo una serie de consecuencias para el bienestar de los lechones tanto favorables como desfavorables. En lo concerniente a los aspectos desfavorables, la castración produce dolor para los lechones, tanto durante como después de la cirugía (Von Borell et al., 2009a). Esto es demostrado, por un lado, por el registro de vocalizaciones de alta frecuencia, indicadores de dolor, atribuibles, en parte, a la propia cirugía ya que dichas vocalizaciones son más frecuentes, de mayor intensidad y de mayor duración en cerdos castrados que en cerdos no castrados (Marx et al., 2003). Además, las vocalizaciones fueron de mayor intensidad en aquellos animales en los que no hubo una analgesia previa (Von Borell et al., 2009b). Por otro lado también se observó un aumento en los niveles de cortisol (indicador de estrés) durante las horas siguientes a la castración (Carroll et al., 2006), así como un aumento de la frecuencia cardiaca, adrenalina, noradrenalina (Morales et al., 2017) y de la expresión de la proteína c-fos en neuronas de la médula espinal (Nyborg et al., 2000), marcador de actividad neuronal que se expresa cuando las neuronas se ven sometidas a un estímulo, en este caso, la castración quirúrgica.

A parte de estas reacciones fisiológicas, fueron observados cambios en el comportamiento de los lechones castrados, algunos solo durante las horas siguientes a la cirugía (menor movimiento, temblores, espasmos, rascado de los cuartos traseros; Llamas Moya et al., 2008), mientras que otros fueron observados hasta días después de la castración, como el movimiento de la cola, que fue registrado con mayor frecuencia en cerdos castrados durante los 4 días después de la castración (Hay et al., 2003). Asimismo, el aislamiento de los lechones castrados, la desincronización de la actividad conductual, una menor interacción social y la adopción por parte de varios lechones de la “postura del perro sentado” (Llamas Moya et al., 2008) fueron cambios observados durante los días posteriores a la castración. Además, se hallaron indicios de que la castración quirúrgica puede perjudicar la salud de los cerdos a largo plazo. Se ha observado una mayor prevalencia de neumonía y una mayor incidencia de inflamación crónica (debido a la pericarditis, pleuritis, neumonía, inflamación de la cola) en cerdos machos castrados comparados con las hembras (Prunier et al., 2006).

En definitiva, la castración quirúrgica es un proceso doloroso y estresante (Prunier et al., 2006), en el que los lechones pueden llegar a experimentar dolor hasta varios días después de la intervención, durante los cuales padecen tanto cambios fisiológicos como conductuales. A raíz de los cambios previamente citados, los lechones castrados permanecen menos tiempo en las glándulas mamarias de sus madres (masajeando y/o succionando; Hay et al., 2003), lo que puede suponer un mayor deterioro de su salud en comparación con los cerdos machos enteros, lo que conduce a una mayor mortalidad en lechones castrados quirúrgicamente que en machos intactos (Morales et al., 2017).

No obstante, la castración quirúrgica también tiene aspectos positivos con respecto al bienestar animal ya que reduce los comportamientos indeseables, como los comportamientos agresivos y sexuales (EFSA, 2004). Por ejemplo, la castración evita la manifestación de la conducta de monta así como comportamientos agresivos observados en el conjunto de machos más inquietos, lo que resulta en una reducción a largo plazo en el bienestar de los animales dominados (Rydhmer et al., 2006). Además, evita la aparición de lesiones en el pene, común en machos enteros (Reiter et al., 2017).

Por otro lado, al margen de las consecuencias sobre el bienestar animal, la castración quirúrgica tiene una serie de consecuencias nutricionales y organolépticas. En primer lugar, la castración quirúrgica de los lechones tiene un efecto negativo en la conversión de alimentos (EFSA, 2004) ya que tras la castración, los lechones aumentan su consumo diario de alimento sin compensación en la tasa de crecimiento; es decir, se requiere entre un 10% y un 15% más de alimento para producir la misma cantidad de carne en comparación con un macho entero. Además, la excreción de nitrógeno por parte de los cerdos castrados es un 15% mayor que la

de los cerdos no castrados (Lundstöröm et al., 2009). En resumen, la cría y engorde de cerdos castrados lleva consigo mayores gastos en alimentación, así como un mayor impacto ambiental en comparación con los machos enteros.

En segundo lugar, la castración quirúrgica de los lechones provoca una serie de cambios en las características de la canal y la calidad de la carne. Este conjunto de variaciones fueron cuantificadas en un meta-análisis (Pauly et al., 2012) que integra toda la información obtenida de 28 estudios publicados entre 1990 y 2010. Como conclusiones, se observó que debido a la producción de hormonas masculinas, las canales de los machos enteros son más magras que las de los machos castrados (Pauly et al., 2012), lo que supone un mayor precio de venta. En contraposición, los machos castrados mostraron un mayor contenido de grasa intramuscular (Pauly et al., 2012), lo que es favorece la obtención de un producto final de mayor calidad.

Además, en lo concerniente a la composición de ácidos grasos, el tejido adiposo de los machos no castrados contiene menos ácidos grasos saturados y más ácidos grasos poliinsaturados (Pauly et al., 2012), lo que puede deparar en una grasa blanda con baja estabilidad oxidativa (Wood et al., 2004). El uso de estas canales podría conllevar una serie de profundas adaptaciones por parte de los países procesadores de carne que solicitan canales con grasa firme (Hadorn et al., 2008). En contrapartida, el tejido adiposo de los machos castrados contiene menos agua, más ácidos grasos saturados y menos polinsaturados (Pauly et al., 2012), lo que hace que esta grasa sea más firme y menos propensa al enranciamiento durante el almacenamiento y maduración de productos curados en seco (Wood et al., 2004).

Por todo ello, al comparar el impacto de las diferentes alternativas a la castración quirúrgica hay que tener en cuenta otros factores al margen del olor a verraco, como las características de la canal y la calidad de la carne y la grasa, las cuales pueden afectar del mismo modo a la aceptación del consumidor.

En resumen, la castración quirúrgica temprana evita la aparición del olor sexual al evitar la acumulación de la androstenona y el escatol en el tejido adiposo. Además de esta, la castración tiene otras ventajas ya que previene comportamientos indeseables (agresivos y sexuales) típicos del período de engorde y mejora el manejo de los animales en cuestión. Asimismo, la calidad de la grasa y la carne son también mejores en los castrados que en los machos enteros. Las desventajas de la castración quirúrgica son: la reducción del bienestar relacionado con el dolor infligido durante la castración (cambios fisiológicos y conductuales), el aumento de los costes económicos (mano de obra para realizar la castración, alimentación), un mayor impacto ambiental y una reducción en el valor de la canal como consecuencia de un elevado contenido en grasa.

## 2.2.- Situación actual y perspectivas de futuro para la castración quirúrgica

La castración quirúrgica sigue siendo una práctica común en la mayoría de países europeos pero cada vez se enfrenta a mayores críticas (Weiler & Bonneau, 2019) debido al dolor asociado a la cirugía, como se ha descrito anteriormente. Muchos lechones en Europa son castrados quirúrgicamente sin ningún tipo de anestesia y/o analgesia (Backus et al., 2018). En 2010, con la iniciativa de la Comisión Europea y la Presidencia belga, en representación de los agricultores europeos, industrias cárnicas, minoristas, científicos, veterinarios (representados por la Federación de Veterinarios de Europa) y las Organizaciones No Gubernamentales dedicadas al bienestar animal (De Briyne et al., 2016) se pusieron de acuerdo sobre la "Declaración Europea sobre las alternativas a la castración quirúrgica de los cerdos" (European Commission, 2010). La Declaración estipulaba que "como primer paso a partir del 1 de Enero de 2012, las castraciones en cerdos, en caso de ser llevadas a cabo, deberán ser realizadas con analgesia y/o anestesia prolongada con métodos mutuamente reconocidos" y añadía que "como segundo paso y a largo plazo, la castración quirúrgica de los cerdos debería ser abandonada para el 1 de Enero de 2018" (European Commission, 2010).

Con esta Declaración, todas las partes europeas interesadas en detener la castración quirúrgica se comprometieron a erradicarla para 2018 siempre que se encontrasen soluciones satisfactorias para hacer frente a los diversos retos (como el ya citado "olor a verraco") asociados a la producción de cerdos machos enteros (European Commission, 2010), típica de países con una macada tradición en producir cerdos con estas características como Reino Unido, Irlanda, España o Portugal (De Briyne et al., 2016).

Durante estos años, se han desarrollado varias alternativas a la castración quirúrgica sin alivio del dolor, las cuales serán examinadas más adelante en este trabajo, y algunas se aplican en diversos países de Europa, como Noruega y Suiza, donde el 99% y 97% respectivamente de los cerdos machos son castrados con analgesia y anestesia (Backus et al., 2018) o Bélgica que presenta el porcentaje más alto de cerdos inmunocastrados (18%). A pesar de ello, el 75% de los cerdos machos siguen siendo castrados quirúrgicamente en la UE (Backus et al., 2018; De Briyne et al., 2016).

Ciertamente ninguna de las alternativas disponibles es totalmente satisfactoria y, encima, hay todavía algunos países, especialmente en la Europa Oriental, como Hungría, en los que se continúa castrando al 100% de los cerdos macho sin ningún tipo de analgesia o anestesia (Backus et al., 2018), ya que no se considera un asunto relevante. Cada alternativa debe ser considerada cuidadosamente en función de las limitaciones del contexto local y las ventajas e inconvenientes que la acompañan (Bonneau & Weiler, 2019).

Relacionado con la ambición de erradicar la castración quirúrgica y encontrar soluciones eficaces a ella, nació IPEMA: *Innovative Approaches for Pork Production with Entire Males* (Enfoques Innovadores para la Producción Porcina con Machos Enteros), una de las acciones del programa COST (*European Cooperation in Science and Technology*, que apoya la cooperación transnacional entre investigadores/as, ingenieros/as y expertos/as en todo Europa; Acciones COST, 2020). IPEMA, que funciona desde 2017, tiene como objetivo encontrar soluciones integradas para facilitar el desarrollo de alternativas a la castración quirúrgica de lechones en las que se tenga en cuenta la calidad de la carne (aparición del olor sexual), el bienestar animal, los costes de gestión y producción, así como la aceptación de las partes interesadas, consumidores y ciudadanos (IPEMA, 2020).

Para finalizar, las alternativas disponibles a la castración quirúrgica sin alivio del dolor han sido revisadas en un informe preparado para la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA). En este informe se incluyen como alternativas: el semen sexado, para producir únicamente hembras, la inyección de compuestos químicos en los testículos para destruir los tejidos, la administración de hormonas exógenas para inhibir el eje Hipotálamo-Pituitario-Gonadal, la castración química con alivio de dolor, la inmunocastración y la producción de machos enteros (EFSA, 2004).

### **III.- JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS**

El "olor a verraco" es un olor o gusto desagradable que algunos consumidores pueden percibir al comer o cocinar la carne de cerdo debido a la acumulación de dos sustancias (androsteno y escatol) en la grasa de los cerdos macho. Actualmente, la técnica más utilizada para evitar la acumulación de dichas sustancias es la castración quirúrgica sin alivio del dolor, práctica común en muchos países de Europa al estar permitida en lechones menores de 7 días por la legislación europea (Directiva 2008/120/CE). A pesar de tener asociadas una serie de ventajas, el dolor provocado en los animales durante la castración, así como otras consecuencias derivadas de la misma, la hacen cuestionable desde el punto de vista del bienestar animal y ha provocado una ola de críticas, acompañada de un movimiento que busca el desarrollo de alternativas eficaces con el objetivo final de erradicarla.

Por todo ello, los objetivos de este trabajo serán conocer: el origen del "olor a verraco"; la metodología actual empleada para evitar su presencia en la carne de cerdo; exponer las diversas alternativas que existen para controlar el "olor a verraco".

## IV.- METODOLOGÍA

Para lograr los objetivos planteados anteriormente se ha realizado una revisión bibliográfica acerca del origen del "olor a verraco", de la castración quirúrgica, técnica que actualmente más se realiza para evitar su acumulación y de las diversas alternativas a la misma, incidiendo en sus ventajas e inconvenientes. Toda esta información ha sido recogida de artículos y revistas científicas, plataformas online de conocimiento científico especializadas en el sector porcino y libros especializados en producción porcina.

Las herramientas fundamentales empleadas han sido buscadores académicos, tales como *PubMed*, *Web of Science* (WOS) y *Google Scholar* o repositorios de información veterinario como *IVIS (International Veterinary Information Services)*. Las palabras clave para realizar la búsqueda fueron: "*boar taint*", "*castration*", "*surgical castration*", "*alternatives*", "*piglet*", "*pig*", "*meat quality*" y "*welfare*".

Con la finalidad de ordenar las referencias bibliográficas encontradas sobre el tema, se ha contado con la ayuda de un gestor de referencias (Mendeley). Se ha empleado el formato de la sexta edición de la *American Psychological Association* (APA, 2018) para señalar las citas y referencias bibliográficas.

## V.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Métodos alternativos a la castración quirúrgica

#### 1.- Producción de machos enteros

La cría y engorde de machos enteros es una alternativa a la castración quirúrgica que se lleva realizando en varios países de la UE desde la década de 1960 (Weiler & Bonneau, 2019). Irlanda, Portugal, España, Países Bajos y Reino Unido son algunos de los países que tienen un historial de producción de machos enteros, en los que al menos el 80% de los cerdos machos son producidos como machos enteros (De Briyne et al., 2016).

La producción de machos enteros lleva asociada tanto una serie de ventajas como inconvenientes. En lo que respecta a las ventajas, en primer lugar, dejar a los cerdos enteros evita un trabajo engorroso (Bonneau & Weiler, 2019) y mejora el bienestar de estos animales en los primeros momentos de su vida, ya que no están sujetos al dolor e incomodidad de la castración (Von Borell et al., 2009a). Es importante considerar que esta alternativa tiene una gran aceptación por parte de los consumidores, que va más allá de la dimensión social, llegando al plano económico, ya que la sociedad considera que el bienestar animal tiene valor económico, provocando que la gente esté dispuesta a pagar un precio mayor por una mejora en el bienestar de los animales, es decir, está dispuesta a pagar por evitar el dolor al que son

sometidos los lechones durante la castración quirúrgica (Bee et al., 2015). Además, tal como se ha indicado previamente, criar machos enteros supone una reducción de costes en alimentación (EFSA, 2004) y un menor impacto en el medio ambiente (Lundstöröm et al., 2009), así como canales más magras y con tejido adiposo que contiene más ácidos grasos poliinsaturados, lo que lo convierte en más saludable (Pauly et al., 2012).

Por otro lado, en lo concerniente a los inconvenientes, la producción de machos enteros a pesar de mejorar la calidad de vida de los lechones al comienzo de la misma, va asociada a una reducción a largo plazo del bienestar de aquellos animales que son acosados por los cerdos más dominantes los cuales exhiben comportamientos agresivos y expresan una mayor conducta de monta (Rydhmer et al., 2006) que provoca la aparición de lesiones en el pene (Reiter et al., 2017). Además, estos cerdos más dominantes son los que muestran un carácter más inquieto lo que dificulta el manejo de los animales por parte del ganadero (Bonneau & Weiler, 2019). Asimismo, la mayor producción de hormonas masculinas deriva en un aumento de la actividad de los machos enteros en el periodo anterior al sacrificio, dando lugar a una mayor frecuencia de lesiones en las canales y a carne oscura, firme y seca (DFD; Batorek et al., 2012b; Bonneau et al., 2018; Pauly et al., 2012). La mayor frecuencia de DFD junto a un menor contenido de grasa intramuscular (Pauly et al., 2012) hacen que la carne procedente de cerdos machos enteros sea de menor calidad en comparación con la de los cerdos castrados. Igualmente, el aumento de los ácidos poliinsaturados (Pauly et al., 2012) se traduce en una grasa blanda con baja estabilidad oxidativa (Wood et al., 2004) que junto al menor contenido en grasa resultan perjudiciales para la elaboración de productos curados en seco (Bonneau et al., 2018). Por último, la presencia de los componentes responsables del olor sexual en la carne de cerdo y la consecuente apreciación por parte de los consumidores es un grave riesgo para la satisfacción de los mismos (Font i Furnols et al., 2003; Lundstöröm et al., 2009).

Por lo tanto, si la producción de machos enteros es la alternativa escogida para acabar con la castración quirúrgica, es bien sabido, por medio de estudios realizados con panelistas capacitados o consumidores, que para disminuir el desagrado hacia la carne procedente de machos enteros un objetivo prioritario es conseguir unos niveles bajos de androstenona y escatol (Bee et al., 2015). Para alcanzarlo, se deberá implementar una combinación de factores genéticos, nutricionales y de manejo (Bee et al., 2015; Weiler & Bonneau, 2019).

### **1.1.- Factores genéticos**

La selección genética para obtener cerdos con niveles bajos de androstenona y escatol es una estrategia que ya ha sido incluida en algunos programas de reproducción (Bonneau & Weiler, 2019). Antes de escoger dicha estrategia como posible alternativa para actuar contra el

problema de la acumulación de los componentes del olor sexual (androstenona y escatol) hay que tener en cuenta que hay numerosos factores ambientales que pueden influenciar en los niveles de escatol (Wesoly & Weiler, 2012) mientras que los factores genéticos son particularmente importantes para la androstenona y, en cambio, el escatol únicamente está bajo cierta influencia genética (Dugué et al., 2020). La selección genética es, por tanto, una opción valiosa para reducir el riesgo de contaminación por androstenona (Dugué et al., 2020) que deberá combinarse con posibles estrategias de manejo y/o alimentación para reducir del mismo modo el riesgo de contaminación por escatol (Bee et al., 2015), las cuales se describirán en el siguiente epígrafe.

La producción de cerdos machos enteros seleccionados genéticamente para tener bajos niveles de olor sexual podría ser la alternativa final para evitar la castración quirúrgica, pero hay que tener en cuenta una serie de inconvenientes asociados a dicha selección. El mayor inconveniente de la selección genética es la posible relación antagónica de la misma con los componentes de la fertilidad (Strathe et al., 2013b) lo que dificulta la inclusión de dicha selección en líneas maternas (Bee et al., 2015). En contraposición, las líneas paternas de cerdos con poco "olor a verraco" ya se utilizan en la práctica. Sin embargo, es en las ya citadas líneas maternas donde la selección sería más necesaria, ya que las cerdas presentan niveles de androstenona más elevados comparados con las líneas de sementales (Bonneau & Weiler, 2019).

Además de consecuencias sobre los caracteres reproductivos, la selección genética contra la androstenona y el escatol provocaría pérdidas por goteo y tendría efectos negativos sobre la ganancia media diaria y el contenido de grasa intramuscular (Haberland et al., 2014).

Dejando a un lado esta serie de desventajas, el desarrollo de la selección contra los componentes del olor sexual tiene un futuro prometedor (Bee et al., 2015). Esta estrategia sería muy efectiva debido a las altas heredabilidades asociadas a los componentes del olor sexual (Strathe et al., 2013a); de hecho ya se han estimado altas correlaciones genéticas entre la androstenona y el estradiol plasmático (Parois et al., 2015), hormona esteroidea sexual que influye directamente en la reproducción de las cerdas e indirectamente en el desarrollo de los lechones en términos de peso y composición corporal (Chen et al., 2015). Como dicha hormona es más fácil, barata y rápida de medir en animales vivos (bioquímica sanguínea) en comparación con la androstenona, sería un objetivo eficiente contra el que seleccionar para obtener unos cerdos con menor "olor a verraco" (Dugué et al., 2020). Además, esta selección también podría tener un impacto positivo en el comportamiento de los cerdos machos al limitar los comportamientos agresivos y sexuales (Parois et al., 2015).

En conclusión, hay evidencias de que la selección contra el 17 $\beta$ -estradiol, por las altas correlaciones genéticas con la androstenona, es una opción valiosa para reducir el riesgo de contaminación por olor sexual (Dugué et al., 2020). Sin embargo, debido al impacto que esta puede tener sobre la fertilidad, madurez sexual, ganancia media diaria y atributos de calidad de la carne como la pérdida por goteo y el contenido en grasa intramuscular, la selección contra el “olor a verraco” debe ser aplicada con cautela (Haberland et al., 2014; Strathe et al., 2013a; Strathe et al., 2013b). Estas incertidumbres son las razones por las que la mayoría de las organizaciones europeas de cría son reacias a incluir el “olor a verraco” en sus programas de selección genética (Bee et al., 2015) y por ellas es necesario un estudio que profundice más en el tema (Dugué et al., 2020).

## **1.2.- Factores nutricionales**

En primer lugar, en lo que respecta a las estrategias nutricionales, cabe recordar que el escatol es un metabolito del aminoácido triptófano sintetizado en el colon por la degradación microbiana de la porción indigerible pero fermentable de los alimentos y los restos celulares (Bonneau & Weiler, 2019) por lo que, una medida para controlar los niveles de escatol sería que los ingredientes de la dieta pudiesen ser utilizados para minimizar la degradación bacteriana del triptófano en el intestino grueso, dando lugar en última instancia a un menor nivel de escatol (Bee et al., 2015). Otra medida, sería la adición a la dieta de piensos no digeribles/fermentables durante unos días o semanas antes del sacrificio (Wesoly & Weiler, 2012).

Al margen de esta estrategia básica, hay otras opciones para reducir los niveles de escatol de la carne de los cerdos machos enteros. Por ejemplo, aumentar el aporte de energía en el intestino grueso con el objetivo de alterar la microbiota de tal manera que se produzca menos escatol y esto resulte en la reducción del nivel de escatol en grasa (Wesoly & Weiler, 2012). Para conseguirlo, los piensos suministrados a los cerdos una semana antes del sacrificio deben proporcionar polisacáridos fermentables no digeribles. Por otro lado, los piensos conocidos que tienen un impacto positivo en el nivel de escatol son de fécula de patata, achicoria, tupinambo o alcachofa de Jerusalén y semillas de altramuz (Bee et al., 2015). Por último, otra medida de alimentación disponible para controlar el escatol es la adición de inulina (glúcido complejo, compuesto de cadenas monoculares de fructosa) al pienso (Wesoly & Weiler, 2012).

En definitiva, todas estas estrategias son viables para reducir los niveles de escatol de la carne de los cerdos machos enteros. Sin embargo, el gran inconveniente de estas medidas es que no son eficaces para controlar los niveles de androstenona (Zamaratskaia & Rasmussen, 2018).

### 1.3.- Estrategias de manejo

Como ya hemos citado previamente, la producción de cerdos machos enteros como alternativa a la castración quirúrgica lleva consigo un aumento de la incidencia de comportamientos agresivos y de monta. Se desconoce si este hecho está relacionado con mayores niveles de androstenona en la grasa de los cerdos; mientras unos autores encontraron una relación entre el comportamiento agresivo de los cerdos y el nivel de androstenona medido en el tocino dorsal (Giersing et al., 2000) otros no establecieron dicha relación (Zamaratskaia et al., 2005). Sin embargo, hay una convincente creencia científica de que tanto las características de la granja como las del manejo de los cerdos desde el día de su nacimiento hasta el de su sacrificio están potencialmente asociados a la presencia de “olor a verraco” (Bee et al., 2015). Por ejemplo, observaciones de anteriores estudios revelaron que las condiciones de alojamiento como la superficie por animal ( $m^2$ /cerdo) o el tipo de suelo podrían influir en la prevalencia de escatol en las canales de los cerdos machos enteros (Bee et al., 2015).

Por otro lado, los resultados de una encuesta realizada a 152 productores holandeses del sector porcino que se dedicaban a la producción de machos enteros acerca de la posible relación de las características de la granja y el manejo con una mayor acumulación de los componentes del olor sexual, revelaron que una frecuencia menor de “olor a verraco” a nivel de granja estaba asociada a una serie de variables: grupos más pequeños, menor superficie ( $m^2$ ) por cerdo, instalaciones más nuevas, no restricción de la alimentación en el último periodo antes del transporte, ayuno más largo anterior al sacrificio y mayor peso medio (Van Wagenberg et al., 2013). Aluwé et al. (2015) concluyeron que esta información podría usarse como herramienta de control con el objetivo de desarrollar estrategias de intervención a nivel de granja para reducir la variabilidad observada en el nivel de “olor a verraco”.

Por último, la mezcla de machos enteros procedentes de diferentes corrales durante el transporte y la posterior estancia en el matadero provocan un aumento de los comportamientos de monta (Van Staaveren et al., 2015) con consecuencias desconocidas para el olor sexual (Giersing et al., 2000; Zamaratskaia et al., 2005). Por lo tanto, el transporte y el tiempo en el matadero previo al sacrificio pueden tener efectos significativos en los componentes del “olor a verraco” presentes en las canales de los machos enteros, por lo que el esfuerzo de todas las medidas de manejo anteriores puede echarse a perder por una manipulación y transporte inapropiados (Weiler & Bonneau, 2019).

En conclusión, la gestión del problema del “olor a verraco” requiere un enfoque integrado a lo largo de toda la cadena de suministro, combinando factores genéticos, nutricionales y de manejo para reducir la contaminación de las canales (Bonneau & Weiler, 2019) siempre que la

incidencia de canales contaminadas por los componentes del olor sexual pueda reducirse a un nivel aceptable mediante las estrategias previamente desarrolladas, el abandono de la castración quirúrgica será un objetivo alcanzable que reportará grandes beneficios tanto para la industria porcina debido a una drástica reducción de los costes de producción como para la sociedad en general gracias a la mejora del bienestar animal y la reducción del impacto en el medio ambiente (Bee et al., 2015). Sin embargo, para ello es imperativo la disponibilidad un método aceptado y validado internacionalmente apto para determinar la contaminación de las canales que cumpla a largo plazo con los requisitos de una industria altamente simplificada como son los mataderos (De Briyne et al., 2016). En el momento en el que dicho método esté disponible, las canales podrán ser eficazmente analizadas para detectar los componentes del olor sexual en la línea del matadero y la castración quirúrgica podrá ser sustituida completamente por la producción de machos enteros u otra de las alternativas disponibles.

## **2.- Inmunocastración**

La inmunocastración o castración inmunológica es una alternativa atractiva a la castración quirúrgica. A día de hoy se utiliza cada vez con más frecuencia en muchos países con el objetivo de reducir la presencia de los componentes responsables del “olor a verraco” y mejorar así la calidad de la carne (Zamaratskaia & Rasmussen, 2015). En 1986 se demostró que una vacuna contra la hormona liberadora de Gonadotropina (GnRH) era efectiva para prevenir el “olor a verraco” (Caraty & Bonneau, 1968), abriendo el camino hacia el desarrollo de una vacuna comercial (Dunshea et al., 2001) y una nueva alternativa a la castración quirúrgica.

### **2.1.- Objetivos y principios de la inmunocastración**

El objetivo de la inmunocastración es desactivar las funciones testiculares mediante la neutralización de las hormonas del eje Hipotálamo-Pituitario-Gonadal (Zamaratskaia & Rasmussen, 2015). Básicamente, la inmunocastración se basa en el bloqueo inmunológico de la señal enviada por la GnRH, disminuyendo así la secreción de la hormona luteinizante (LH) y la hormona foliculoestimulante (FSH) así como otros esteroides testiculares (Čandek-Potokar et al., 2017).

En resumen, la inmunocastración implica la vacunación de los animales contra algunas hormonas que controlan la función reproductiva (Čandek-Potokar et al., 2017). La inmunocastración utiliza el sistema inmunológico natural del animal para lograr los efectos de la castración. La vacuna contiene un análogo de GnRH fisiológicamente inactivo covalentemente conjugado a una proteína portadora inmunógena. Este análogo no tiene actividad hormonal pero contiene los epítomos necesarios para estimular una respuesta

efectiva de anticuerpos anti-GnRH y bloquear la estimulación del eje Hipotálamo-Pituitario-Gonadal (Čandek-Potokar et al., 2014). En consecuencia, la GnRH, al ser neutralizada por los anticuerpos, no estimula la producción de LH y FSH, lo que conlleva la regresión de los órganos reproductivos (Škrlep et al., 2014) y el consecuente descenso de la testosterona, lo que en última instancia conduce a que los animales se comporten como castrados, mostrando cambios en el comportamiento (reducción de la agresión, aumento del apetito y la ingesta) y en el crecimiento (Van den Broeke et al., 2016).

El progreso hacia el desarrollo de una vacuna para la inmunización contra la hormona liberadora de Gonadotropina (GnRH) ha avanzado durante los últimos años (Čandek-Potokar et al., 2017). La vacuna contra los componentes responsables del “olor a verraco” (denominada Improvac en Europa, Improvest en los Estados Unidos) está disponible en el mercado, fue desarrollada en Australia y ahora la produce Zoetis (Zamaratskaia & Rasmussen, 2015). Esta vacuna fue aprobada para su uso en cerdos en muchos países (incluida la UE a partir de 2009), pero su aplicación práctica sigue siendo limitada (Čandek-Potokar et al., 2017).

## 2.2.- Consideraciones prácticas

Para alcanzar una inmunización activa, según las recomendaciones del fabricante, son necesarias al menos dos aplicaciones de la vacuna con un intervalo mínimo de 4 semanas (Zamaratskaia & Rasmussen, 2015). Las inyecciones subcutáneas se aplican en la base de la oreja con un inyector especial diseñado por el productor de la vacuna para prevenir la autoinyección accidental (Čandek-Potokar et al., 2017), ya que aunque muy poco probable, el riesgo de que esta ocurra también debe considerarse como una desventaja asociada a la inmunocastración (Kress et al., 2019).

Por un lado, la 1ª dosis de la vacuna prepara el sistema inmune del cerdo y provoca un pequeño aumento de los anticuerpos anti-GnRH, esta primera dosis puede ser administrada en cualquier momento tras la 8-9 semanas de edad, según el fabricante de Improvac, la 1ª dosis debería ser administrada hacia la semana 17-18 o antes. Por otro lado, tras la 2ª dosis, una fuerte respuesta de anticuerpos causa una supresión temporal de la función testicular. Esta dosis debe ser administrada (si nos referimos al sistema estándar de producción de cerdos donde los cerdos son sacrificados con 6 meses) como tarde 4-5 semanas antes del sacrificio, es decir, deberá ser administrada durante la semana 21-22 si los cerdos son sacrificados con 26 semanas de edad (Zamaratskaia et al., 2008a; Zamaratskaia et al., 2008b).

No obstante, hay ocasiones en las que un régimen de vacunación de tres dosis podría ser necesario; por ejemplo en el caso de detectar cerdos que no han respondido correctamente a la 2ª dosis de la vacuna (*non-respondent pigs*) y que muestran un comportamiento sexual

prolongado o un mayor tamaño testicular, una dosis adicional sería necesaria (Henessy, 2006). Asimismo, en el caso de animales más viejos o sistemas en los que se produzcan cerdos de mayor peso (sacrificados a los 14 meses de edad), un régimen de vacunación de 3 dosis podría ser necesario para asegurar la inactivación de la GnRH endógena y conseguir así la reducción de los niveles de los componentes del “olor a verraco” (Čandek-Potokar et al., 2017; Zamaratskaia & Rasmussen, 2015). Además, en estos esquemas de vacunación en los que se opta o es necesario el uso de tres dosis de la vacuna hay que tener en cuenta que, desde la perspectiva económica, el coste de las 2 (ó 3) inyecciones de la vacuna, sumado a los costes de mano de obra para realizar las vacunaciones es una desventaja (De Roest et al., 2009). Además del coste extra y la dificultad añadida de vacunar por 2ª o 3ª vez a animales pesados o animales en los que la inmunización no ha sido efectiva, hay que sumar los costes tanto económicos de la propia herramienta de detección como del coste del trabajo suplementario derivados de llevar algún tipo de control tras la segunda vacunación para detectar precisamente a los animales que no han respondido correctamente a la inmunización (De Roest et al., 2009).

En relación con la edad a la que se vacunan los cerdos, se han realizado varios estudios utilizando esquemas de vacunación alternativos. En uno de estos estudios, realizado por Brunius et al. (2011), se investigó la eficacia de la vacunación temprana con Improvac aplicado a cerdos machos enteros a las 10 y 14 semanas de edad (pre o principios de la pubertad) y se demostró que los niveles de androstenona y escatol en cerdos machos enteros vacunados en las semanas 10 y 14 no diferían de los cerdos vacunados según las instrucciones del fabricante. Asimismo, en otro estudio, se probó que 2 semanas después de la 2ª vacunación los niveles de androstenona y escatol estaban por debajo del umbral sensorial (Zamaratskaia & Rasmussen, 2015). Además, se demostró que el efecto de la inmunocastración puede durar hasta 22 semanas tras la 2ª inyección (Zamaratskaia et al., 2008b).

A pesar de la existencia de estos programas de vacunación alternativos, el esquema más habitual en los sistemas estándar de producción es el recomendado por el fabricante, ya mencionado. Este programa permite explotar al completo el potencial de crecimiento de los cerdos machos enteros hasta la 2ª dosis, ya que la 1ª no tiene un impacto aparente en las hormonas esteroides (Čandek-Potokar et al., 2017). A partir de la inmunización, unos pocos días tras la segunda vacunación, los animales se comportan como castrados, cambiando rápidamente su metabolismo con una fuerte disminución del comportamiento agresivo y de monta y un marcado aumento de la ingesta de alimentos a niveles superiores a los observados en los machos castrados quirúrgicamente en la misma etapa del crecimiento (Zamaratskaia et al., 2008b). En adición a lo mencionado anteriormente, cuánto más tiempo transcurra desde la

2ª vacunación hasta el sacrificio, mayor será la diferencia entre los inmunocastrados y los machos enteros y/o la similitud con los castrados quirúrgicamente (Škrlep et al., 2012b). Por último, aunque poco importantes, las ventajas económicas derivadas del periodo anterior a la 2ª vacuna siguen ahí, a menos que, como se ha dicho, la 2ª vacunación se realice mucho antes del sacrificio (European Commission, 2019; Kress et al., 2019)

### **2.3.- Efectos de la inmunocastración**

#### ***2.3.1.- Efectos de la inmunocastración sobre los componentes del “olor a verraco”***

La inmunocastración bloquea la síntesis de esteroides testiculares, incluyendo la androstenona, interfiriendo en el eje Hipotalámico-Pituitario-Gonadal. Así, la producción de androstenona se suprime como consecuencia de la supresión de la función testicular (Čandek-Potokar et al., 2017). Por tanto, la inmunocastración no solo previene la formación de androstenona, sino que también reduce tanto la síntesis de los esteroides anabólicos como el nivel del otro componente del olor sexual, el escatol (Dunshea et al., 2001; Zamaratskaia et al., 2008a). Aunque el escatol sea producido en el intestino por la degradación microbiana del aminoácido triptófano y la inmunocastración no tenga un efecto directo en la síntesis del mismo, la reducción de los niveles de escatol en cerdos inmunocastrados está relacionada con el impedimento en la producción de androstenona y estrógenos previamente citado. Tanto la androstenona como el 17β-estradiol se identificaron como potenciales inhibidores de la expresión y/o actividad de las principales enzimas metabolizadoras del escatol CYP2E1 y CYP2A (Zamaratskaia et al., 2007). De hecho, la actividad de las enzimas metabolizadoras del escatol en el hígado son mayores en cerdos inmunocastrados y castrados quirúrgicamente que en machos enteros (Brunius et al., 2012). Así, en ausencia de androstenona y 17β-estradiol, el metabolismo hepático del escatol no es inhibido, y los metabolitos del escatol producidos son fácilmente eliminados por el organismo (Zamaratskaia & Rasmussen, 2015).

En conclusión, en lo que respecta a la prevención del “olor a verraco”, la inmunocastración es comparable a la castración quirúrgica, ya que tanto la androstenona como el escatol se reducen en los tejidos de los cerdos inmunocastrados a niveles encontrados en los cerdos castrados quirúrgicamente (Čandek-Potokar et al., 2017; Zamaratskaia & Rasmussen, 2015).

#### ***2.3.2.- Efectos de la inmunocastración en el crecimiento, la calidad de la canal y la calidad de la carne***

Considerando todo el período de engorde (desde la primera vacunación hasta el sacrificio), un meta-análisis de los efectos de la inmunocastración en el crecimiento de los cerdos mostró que los cerdos inmunocastrados crecen más rápido que los cerdos castrados quirúrgicamente y los cerdos machos enteros (Batorek, et al., 2012a). La explicación es que los machos

inmunocastrados son fisiológicamente machos enteros hasta la segunda vacunación y hasta entonces explotan el potencial de crecimiento de los machos enteros (Čandek-Potokar et al., 2017). Después de la segunda vacunación, comienzan a producirse cambios rápidos en el estado hormonal caracterizados por la caída de los niveles de esteroides (Claus et al., 2007) lo que conduce a que los animales se comporten como castrados, mostrando un mayor apetito e ingesta de alimentos; lo que en definitiva resulta en una tasa de crecimiento mayor, siempre y cuando la inmunización efectiva sea alcanzada (Van den Broeke et al., 2016).

En conclusión, el desarrollo muscular se beneficia de la presencia de las hormonas anabólicas andrógenos y estrógenos hasta la 2ª vacunación. Después, el desarrollo de la grasa se estimula enormemente debido a la sobrealimentación que tiene lugar tras la segunda dosis de la vacuna. Todo ello hace que la tasa de crecimiento global durante el período de crecimiento y finalización sea generalmente más alta en los machos inmunocastrados que en los enteros y los castrados quirúrgicamente (Bonneau & Weiler, 2019).

En lo referente a la calidad de la canal, un estudio reveló que tras una inmunización eficaz, los machos inmunocastrados aumentan la deposición de tejido graso mientras que la deposición de proteínas sigue siendo similar a la de los machos enteros y diferente de la de los machos castrados quirúrgicamente, que depositan grasa en lugar de proteínas (es decir, grasa en lugar de músculo; Batorek et al., 2013).

Asimismo, resumiendo 30 artículos, el meta-análisis de Batorek et al. (2012a) mostró que los machos inmunocastrados exhiben una grasa dorsal más gruesa que los machos enteros, lo que resulta en un menor porcentaje de carne magra en la canal. Por otro lado, una comparación entre los machos inmunocastrados y los castrados quirúrgicamente mostró sus ventajas en cuanto a la calidad de la canal (menor grasa, jamón y paleta más pesados; Čandek-Potokar et al., 2017).

En conclusión, la calidad de la canal observada en los machos inmunocastrados se encuentra entre las observadas en los machos enteros y los machos castrados quirúrgicamente (Bonneau & Weiler, 2019).

Respecto a los efectos de la inmunocastración en la calidad de la carne, los resultados del meta-análisis de Batorek et al. (2012a) muestran que la calidad de la carne de los machos inmunocastrados y la de los castrados quirúrgicamente es muy similar. Por otra parte, en comparación con los machos enteros (aparte de evitar la presencia de los componentes responsables del olor sexual), los machos inmunocastrados exhiben una calidad de carne superior al tener más grasa intramuscular y una mayor ternura. Además de esto, su grasa también está más saturada, lo que es beneficioso desde el punto de vista tecnológico.

Al margen de estas disparidades, en general, para la mayoría de los parámetros de la calidad de la carne no hubo diferencias significativas entre la carne de los cerdos inmunocastrados y la de los castrados quirúrgicamente (Zamaratskaia & Rasmussen, 2015).

### ***2.3.3.- Efectos de la inmunocastración en el bienestar animal***

La inmunocastración en sí misma, como procedimiento, se considera una alternativa relativamente favorable para el bienestar animal. En comparación con la castración quirúrgica sin anestesia, excluye el dolor agudo asociado a la cirugía, el dolor se limita a la inserción de la aguja durante la aplicación de las vacunas (Prunier et al., 2006). No obstante, la inyección de la vacuna también puede causar reacciones adversas en el lugar de la inyección, pero estas son descritas a menudo como reacciones leves (Dunshea et al., 2001; Einarsson, 2006). Por otro lado, la inyección de la vacuna desencadena un proceso sistémico que altera la homeostasis hormonal del animal, por lo que se podrían esperar efectos en otros tejidos a parte de los testículos (Čandek-Potokar et al., 2017). Un estudio previo sugirió que la inmunización contra la GnRH originaba daños en el hipotálamo (Molenaar et al., 1993). Sin embargo, esto no se confirmó en estudios posteriores (Hilbe et al., 2006), probablemente por la mejora de la fórmula de la vacuna.

Como ya hemos mencionado, durante el período anterior a la segunda administración de la vacuna, los machos inmunocastrados son fisiológicamente machos no castrados, por lo que comparado con los castrados quirúrgicamente muestran un comportamiento similar al de los machos enteros. Esto se traduce en mayor comportamiento agresivo y de monta, así como, un mayor número de lesiones cutáneas (Andersson et al., 2012). Sin embargo, tras la 2ª dosis de la vacuna, el comportamiento agresivo y de monta se reduce a niveles observados en cerdos castrados quirúrgicamente de 5-6 meses de edad (Čandek-Potokar et al., 2017). Poco después de la inmunización efectiva, se reducen los comportamientos indeseables previamente citados, mientras que la conducta de alimentación se vuelve similar a la de los machos castrados quirúrgicamente (Zamaratskaia et al., 2008b). En relación con esto último, es necesario considerar la alimentación como un aspecto relevante para el bienestar animal de los cerdos inmunocastrados. A medida que su apetito aumenta tras la segunda vacunación, su alimentación debe adaptarse para asegurar que estén tranquilos y saciados para no provocar efectos negativos en su composición corporal (Čandek-Potokar et al., 2017). Más específicamente, la restricción alimentaria en machos inmunocastrados provocó niveles de agresión similares (evaluado por la incidencia de lesiones cutáneas en las canales) en machos inmunocastrados alimentados de manera restrictiva y machos enteros y mayores a los

observados en machos inmunocastrados alimentados ad libitum y machos castrados quirúrgicamente (Batorek et al., 2012b).

#### ***2.4.- Herramientas para evaluar la eficacia de la inmunocastración***

Varios estudios han demostrado que el efecto de la inmunocastración es muy consistente entre los individuos. Aún así, en experimentos tanto a pequeña como a gran escala (Škrlep et al., 2012a) se detectaron individuos que no respondieron correctamente a la inmunización (0,3%). La causa de que los cerdos no respondan adecuadamente a la vacuna se ha atribuido al estado de salud, a la malnutrición de los cerdos o al hecho de que algunos cerdos son criptórquidos o simplemente escapan de la vacunación en un establecimiento de producción comercial (Čandek-Potokar et al., 2017; Zamaratskaia & Rasmussen, 2015). Este hecho expone la necesidad de desarrollar buenas herramientas para la eficacia de la inmunocastración.

En primer lugar, se valoró evaluar la eficacia de la vacunación en cerdos vivos basándose en la observación del tamaño testicular o extrayendo sangre para realizar análisis hormonales, lo que en la práctica resulta difícil y económicamente insostenible (Čandek-Potokar et al., 2017). Asimismo, las observaciones de comportamiento (e.g. altas tasas de montaje) podrían utilizarse como señales de advertencia a nivel de granja para detectar posibles cerdos no inmunizados, sin embargo no es práctico en los sistemas agrícolas a gran escala (Čandek-Potokar et al., 2017).

Por otro lado, después del sacrificio, un método fiable es la evaluación de los componentes responsables del “olor a verraco” (descrito en Introducción; Zamaratskaia & Rasmussen, 2015). Otra opción sería controlar el tamaño y el peso de los testículos, demostrada su disminución significativa tras una inmunocastración exitosa. Sin embargo, el tamaño y/o peso de los testículos está fuertemente relacionado con el peso del cerdo, por lo que puede no ser un indicador suficientemente fiable de una vacunación exitosa debido a la superposición parcial de las distribuciones entre los cerdos inmunizados con éxito y los cerdos machos enteros (Zamaratskaia et al., 2008a).

Por último, otro estudio mostró una tasa de éxito del 100% en la predicción de los individuos que no habían respondido a la inmunocastración al combinar la información sobre el peso de todos los órganos reproductivos (Čandek-Potokar et al., 2014).

#### ***2.5.- Situación actual y aceptación pública de la inmunocastración***

La inmunocastración es considerada como una de las alternativas más apropiadas y atractivas disponibles para detener la castración quirúrgica sin anestesia de los lechones macho (Čandek-Potokar et al., 2017).

Actualmente, fuera de Europa, la inmunocastración se ha utilizado a gran escala durante las dos últimas décadas en Australia y Nueva Zelanda y recientemente se ha desarrollado con fuerza en América del Sur, particularmente en Brasil (Bonneau & Weiler, 2019). Sin embargo, a pesar del hecho de que la vacuna para la inmunocastración ha estado disponible en la UE desde 2009, su uso es limitado debido a una aceptación generalmente baja en el mercado (Aluwé et al., 2015).

Las encuestas con la parte interesada europea en el marco del proyecto PIGCAS (*Attitudes, Practices and State of the Art Regarding Piglet Castration in Europe*; Actitudes, Prácticas y Estado del Arte Respecto a la Castración de Lechones en Europa) mostraron escasas perspectivas de futuro para la inmunocastración (se prefería la castración quirúrgica con anestesia y/o analgesia) y además se observó que el principal inconveniente de la inmunocastración era el miedo a la aceptación de los consumidores (Bonneau et al., 2009). Sin embargo, la opinión de los consumidores sobre la inmunocastración no se ha investigado a fondo. Además la mayoría de ellos no están bien informados sobre el “olor a verraco” y los métodos usados para prevenirlos (Škrlep et al., 2014).

En definitiva, el desarrollo de la inmunocastración en Europa se ve obstaculizado por una fuerte reticencia por parte de los participantes de la cadena alimentaria, basándose en el supuesto rechazo de la práctica por parte de los consumidores (CASTRUM, 2017; European Commission, 2019). Este rechazo, a raíz del desconocimiento general previamente mencionado, tiene como principal argumento un temor irracional a que el consumo de la carne de cerdo inmunocastrado pudiera afectar a la fertilidad humana (Bonneau & Weiler, 2019). Sin embargo, la seguridad para los consumidores está bien documentada (Clarke et al., 2008; EPA, 2010). El fragmento antigénico de GnRH de la vacuna tiene únicamente un 0,2% de potencia para la liberación de LH cuando se compara con las inyecciones del decapeptido (GnRH). Por otro lado, la proteína portadora también se utiliza para otras vacunas y no ha mostrado actividad tóxica u hormonal. Además, la anexión del fragmento conjugado de GnRH a la proteína portadora no ha mostrado actividad hormonal, independientemente de si es administrada por vía oral o inyectada (Clarke et al., 2008; EPA, 2010).

A pesar de la existencia de dicho temor irracional, hay países europeos donde la inmunocastración tiene un papel importante, como Bélgica, donde al 15% de los machos se les practica la inmunocastración (De Briyne et al., 2016). Asimismo, en otros países europeos (Suecia, República Checa, Eslovaquia, Rumania, Italia, España...) la inmunocastración se realiza a baja escala (<10%; De Briyne et al., 2016) ya sea en respuesta a la demanda social de detener la castración o para beneficiarse de las ventajas económicas de los machos inmunocastrados en comparación con los castrados quirúrgicamente (Bonneau & Weiler, 2019).

En conclusión, según la encuesta del proyecto PIGCAS, los científicos perciben la inmunocastración como una mejor alternativa a la castración quirúrgica con anestesia o analgesia al ser más práctica y tener beneficios tanto económicos como para el bienestar animal (Edwards et al., 2009). En general, parece que el principal obstáculo para una implantación más amplia de la inmunocastración reside en el miedo de los consumidores y como aceptarían las alternativas, por lo que la comunicación sobre los pros y los contras de la inmunocastración es prioritaria para prevenir reacciones adversas por parte de los productores y de los consumidores (Weiler & Bonneau, 2019).

### **3.- Castración quirúrgica con alivio del dolor**

El uso de anestesia y analgesia para prevenir o mitigar el dolor durante la castración quirúrgica como alternativa a la práctica de la misma sin alivio del dolor fue revisado en 2006 (Prunier et al., 2006) y más recientemente en 2011, en un informe técnico presentado a la EFSA (Spoolder et al., 2011).

Para prevenir o mitigar el dolor durante la castración quirúrgica se pueden llevar a cabo diferentes estrategias antes durante o después de la misma tanto locales como generales (Spoolder et al., 2011). Básicamente distinguimos 3 estrategias: anestesia general, anestesia local y analgesia.

#### **3.1.- Anestesia general**

##### **3.1.1.- Anestesia general por inhalación**

Desde la revisión de la EFSA en 2004 (EFSA, 2004), se han investigado, desarrollado y aplicado más a fondo dos tipos principales de anestesia inhalatoria (isoflurano y CO<sub>2</sub>; Spoolder et al., 2011).

En primer lugar, para realizar la castración quirúrgica con isoflurano es necesario un equipo costoso con el que proporcionar a los lechones una mezcla de isoflurano y aire (u O<sub>2</sub>; Spoolder et al., 2011). Una de las opciones investigadas consiste en un novedoso dispositivo inhalador que reduzca la contaminación del medio ambiente y la exposición del personal. Este método provocó una buena anestesia para más del 90% de los lechones castrados en condiciones de campo pero es costoso para las granjas pequeñas (Spring et al., 2009). Hodgson (2006) llegó a la conclusión de que la anestesia con isoflurano proporciona una inducción y mantenimiento anestésico seguro y rápido, condiciones óptimas para la castración y recuperaciones breves y suaves. Sin embargo, un estudio posterior (Schulz et al., 2007) evaluó los efectos del estrés de la anestesia con isoflurano durante la castración de los lechones mediante la evaluación de la concentración de adrenalina y cortisol en sangre. Tras la evaluación de los resultados

concluyeron que la anestesia con isoflurano por sí misma no provoca estrés. Sin embargo, criticaron que dicha anestesia no inhibe por sí misma los aumentos de cortisol después de la castración, es decir, no parece suprimir el dolor, como indica el grado similar de elevación de cortisol en lechones castrados con y sin anestesia; por ello, añadieron que dicha anestesia debe complementarse con un AINE (Antiinflamatorio no esteroideos) como Meloxicam para reducir el dolor tras la castración (Schulz et al., 2007).

Además de este inconveniente, el isoflurano es un gas con un potente efecto invernadero que puede afectar al medio ambiente y a los trabajadores, quienes de vez en cuando informan sobre dolores de cabeza y mareos al realizar la anestesia (Bonneau & Weiler, 2019).

En segundo lugar, como alternativa a la castración sin alivio de dolor, está disponible el uso del CO<sub>2</sub> como anestésico inhalatorio (Spoolder et al., 2011). El CO<sub>2</sub> en diferentes concentraciones combinado con el O<sub>2</sub> provoca una rápida amnesia, analgesia y relajación muscular y tiene una fase corta de recuperación (Svendsen, 2006). En una serie de estudios (Gerritzen et al., 2008; Kluivers-Poodt et al., 2007; Svendsen, 2006) se sugirió una mezcla del 70% de CO<sub>2</sub> y 30% de O<sub>2</sub> como combinación óptima. Gerritzen et al. (2008), describieron que la electroencefalografía indicaba pérdida de conciencia tras 30 segundos, los lechones no mostraron ninguna reacción en la electroencefalografía y en el electrocardiograma hasta la castración y se recuperaron tras 59 segundos.

La anestesia con CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> aunque barata, resulta aversiva para los lechones, los cuales experimentan algo de dolor y molestias durante la cirugía (Prunier et al., 2006; Von Borell et al., 2009a). Además, el aumento de las concentraciones de CO<sub>2</sub> aumenta la aversión de los cerdos como se ha demostrado en el contexto del aturdimiento de los mismos previo al sacrificio (Velarde et al., 2007). Por tanto, establecer la concentración óptima de CO<sub>2</sub> es un objetivo prioritario para promover la implantación de la anestesia con CO<sub>2</sub> como alternativa a la castración quirúrgica sin alivio del dolor (Spoolder et al., 2011). Para ello se debe encontrar un equilibrio entre el tiempo de exposición y el grado de aversión durante dicha exposición (Nowak et al., 2007). Además, el margen de seguridad entre las dosis necesarias para provocar la inconsciencia y la dosis letal es limitado. Todo ello hace que sean necesarias mayores investigaciones al respecto (Spoolder et al., 2011).

Por último, la anestesia con CO<sub>2</sub> causa un impacto negativo en el bienestar animal, como lo demuestra el estrés asociado a las elevadas respuestas de epinefrina y norepinefrina (Muhlbauer et al., 2009). Además de este estudio, la Asociación de Anestesiólogos Veterinarios publicó una declaración de intenciones en la que afirmaban que "con respecto al bienestar de los animales y el objetivo de aliviar el dolor durante y después de la castración de los lechones, la anestesia con CO<sub>2</sub> no parece ser una técnica apropiada o aconsejable".

### **3.1.2.- Anestesia general vía parenteral**

La anestesia general también puede lograrse mediante inyección intramuscular (o a veces intravenosa) de las sustancias activas ketamina y azaperona o acepromazona provocando una analgesia neuroleptica (Spoolder et al., 2011). Se ha demostrado que dicha analgesia tiene un efecto transitorio positivo en el aumento de peso de los cerdos castrados que persiste durante unas 4 semanas (Bako & Bilkei, 2004).

Con respecto a la dosis y combinación óptima de los fármacos empleados para lograr la anestesia, el aumento de la dosis de ketamina (5, 8, 10mg/kg peso corporal-PC) en combinación con azaperona (2 mg/kg PC) reduce las reacciones de defensa a la castración y aumenta la duración de la neuroleptanalgesia (Almanjd & Bilkei, 2008). Otro estudio informó que la anestesia con azaperona/ketamina era más eficaz con una combinación 2/25 mg/kg PC, esta combinación redujo (pero no siempre eliminó) las vocalizaciones y reacciones de defensa durante la castración, aunque el retraso en la cicatrización y la recuperación prolongada siguen siendo un problema (Kmiec, 2005). Lahrman et al. (2006) confirmaron que esta combinación proporcionaba una analgesia somática y visceral, así como hipnosis y relajación muscular. Además, en este mismo estudio se declaró que este método no tiene ninguna desventaja en comparación a la castración tradicional sin anestesia en lo que respecta a la supervivencia, salud o crecimiento de los lechones hasta el destete (Lahrman et al., 2006). No obstante, otros estudios indican que la anestesia general con las mismas dosis de azaperona y ketamina intramuscular e intravenosa no fueron suficientes para inducir una adecuada profundidad anestésica en todos los lechones, deducido por la persistencia del reflejo podal y el tono mandibular y la presencia de vocalizaciones y movimientos de retirada de las extremidades (Spoolder et al., 2011).

Por otro lado, la ketamina está severamente restringida por sus propiedades alucinógenas. Y además, debido a que el tiempo de recuperación de la anestesia por ketamina es largo, el animal tiene mayor riesgo de ser aplastado por la cerda, además de experimentar hipotermia. Por lo tanto, es necesario un seguimiento minucioso para evitar una elevada mortalidad (Bonneau & Weiler, 2019).

### **3.2.- Anestesia local**

El uso de anestésicos locales como la lidocaína (combinada con adrenalina para reducir el sangrado y alargar la duración de la anestesia) o la procaína (menos usada por su menor velocidad de acción y duración; Spoolder et al., 2011) para aliviar el dolor resultante de la castración quirúrgica se ha tratado más a fondo en varios artículos. En uno de ellos, se confirmaron los hallazgos previos de que la inyección de lidocaína en el cordón espermático o

en los testículos es eficaz para reducir los signos de nocicepción causados por la castración (Haga & Ranheim, 2005). Asimismo, sostuvieron que la castración de los lechones sin anestesia local es más dolorosa que inyectar lidocaína (Haga & Ranheim, 2005). Sin embargo, Zankl et al. (2007) no encontraron una reducción significativa de la concentración sérica de cortisol (como indicador de dolor) mediante el uso de anestésicos locales. No obstante, Kluijvers-Poodt et al. (2007), utilizando un conjunto más amplio de parámetros de dolor (incluyendo vocalizaciones, fisiología y comportamiento) encontraron una reducción (pero no eliminación) del dolor y la respuesta al estrés durante la castración mediante el uso de lidocaína. De manera similar, Leidig et al. (2009), informaron que la inyección intratesticular de procaína reduce la intensidad del dolor experimentado durante la castración, evaluado también por un amplio conjunto de indicadores. En cambio, ambos añadieron que los beneficios de la castración con anestesia local pueden ser considerados demasiado pequeños para cumplir los requisitos de la UE porque una proporción significativa del estrés y el malestar experimentados durante el proceso fueron resultado del manejo y manipulación de los lechones, y dicho tiempo de manipulación se incrementó significativamente por la combinación de anestesia local y la posterior castración (Kluijvers-Poodt et al., 2007; Leidig et al., 2009).

El manejo durante la práctica de la anestesia local es fundamental. La inyección de un anestésico local en el cordón espermático o en los testículos debe realizarse cuidadosamente para conseguir que dichos anestésicos cumplan su función, mitigándose o eliminándose el dolor durante la cirugía. Además, el tiempo entre la inyección y la cirugía debe ser el mínimo posible. Si dicho procedimiento no se lleva a cabo de esta manera la anestesia local puede no ser efectiva y el efecto positivo de la anestesia local sobre el bienestar de los lechones durante la castración sería relativamente limitado (Haga & Ranheim, 2005; Leidig et al., 2009).

Por último, varios autores informaron acerca de los efectos positivos resultantes de combinar la anestesia local y la analgesia preventiva (Prunier et al., 2006; Schulz et al., 2007).

### **3.3.- Analgesia**

El uso de la analgesia para prevenir o mitigar el dolor provocado por la castración quirúrgica es otra alternativa disponible para realizar de manera exitosa la castración quirúrgica con alivio del dolor (Spoolder et al., 2011). Los medicamentos más comúnmente utilizados para la analgesia en cuestión son el Meloxicam y el Flunixin (AINEs) y el Metamizol (derivado no opioide de la pirazolona; Bonneau & Weiler, 2019).

Como ya hemos citado en el apartado anterior, la administración combinada de analgesia y anestesia es muy recomendable (Prunier et al., 2006; Schulz et al., 2007). La analgesia administrada antes de la anestesia mejora la eficiencia de la reducción del dolor tanto durante

como después de la castración, mientras que por sí sola no reduce el dolor durante la cirugía, pero es eficaz mitigando el dolor tras la realización de la misma (Spoolder et al., 2011).

Varios estudios han evaluado e informado sobre la aplicación de diferentes analgésicos y su eficacia en la reducción del dolor provocado durante y después de la cirugía. Dos de estos estudios (Keita et al., 2010; Zöls et al., 2006) demostraron que la aplicación preoperatoria de Meloxicam redujo los niveles de cortisol y ACTH en sangre después de la operación. Asimismo, Keita et al. (2010) confirmaron que la administración preventiva de 0,4 mg/kg de Meloxicam por vía intramuscular es capaz de producir cierta analgesia postoperatoria tras la castración quirúrgica de los lechones. Además, estos autores calificaron a los lechones según la presencia o ausencia de dolor de acuerdo a sus comportamientos y descubrieron que la mayor parte de los lechones tratados con Meloxicam no mostraba alteraciones en el comportamiento tanto a las 2 como a las 4 horas post castración pero no hubo diferencias con los animales control a los 30 minutos, 1 y 24 horas después de la cirugía (Keita et al., 2010; Zöls et al., 2006).

### **3.4.- Pros y contras de la castración quirúrgica con alivio del dolor**

La anestesia (general o local) es efectiva para prevenir el dolor durante la castración, pero no para aliviar el dolor postoperatorio. En cambio, la analgesia es efectiva después de la cirugía, pero no durante ella. Únicamente combinadas, la analgesia y la anestesia, son totalmente efectivas evitando el dolor (Bonneau & Weiler, 2019). Sin embargo, una gran desventaja de esta alternativa es que se trata de un procedimiento costoso, especialmente si se necesitan veterinarios que la realicen. Los costes operacionales por cerdo macho sometido a la castración se han calculado de la siguiente manera: analgesia realizada por el ganadero 0,3 €; analgesia realizada por un veterinario 0,7 €; anestesia con CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> realizada por el ganadero 0,5 €; anestesia local realizado por el ganadero <1 €, anestesia local realizado por veterinarios 2 €; anestesia con isoflurano realizada por el ganadero 1,3 €; y anestesia con isoflurano combinada con analgesia realizado por un veterinario 4 € (De Roest et al., 2009; European Commission, 2013). A parte de los elevados costes asociados a ella, esta alternativa acarrea otras desventajas; en primer lugar, la castración, aún con alivio de dolor, sigue siendo necesaria y los riesgos que la acompañan (e.g. infección postquirúrgica) persisten (Morales et al., 2017). Asimismo, el potencial anabólico de los cerdos castrados es alrededor de un 10-20% menor que el de los machos enteros. Así, un total del 10-15% más de alimento es necesario para producir la misma cantidad de carne de cerdos castrados que de no castrados, lo que se traduce en mayores costes de alimentación y un mayor impacto ambiental, por una mayor excreción de nitrógeno (alrededor del 15%; Weiler & Bonneau, 2019).

Por otro lado, no todo son desventajas, esta alternativa tiene todas las ventajas de la castración quirúrgica previamente descritas. En resumen, ante todo, la castración quirúrgica con alivio de dolor evita los problemas de calidad provocados por la presencia de los componentes responsables del olor sexual. Además evita también cambios en la composición de los ácidos grasos y las canales son aptas para elaborar todos los productos tradicionales del cerdo (CASTRUM, 2017). Igualmente, el manejo es más sencillo y el bienestar es mayor que en los machos enteros, ya que, primero se mitiga o elimina el dolor asociado a la cirugía (Prunier et al., 2006; Von Borell et al., 2009a) y segundo, se suprimen las conductas agresivas y sexuales específicas del sexo (Von Borell et al., 2009a).

#### **4.- Otras alternativas**

Al margen de las 3 alternativas que ya han sido descritas, el informe de la EFSA (2004) incluye otras 3 alternativas que no pueden ser consideradas de manera realista: sexado de los espermatozoides para producir únicamente hembras; inyección de compuestos químicos en los testículos para destruir tejidos; y administración de hormonas exógenas para inhibir el eje Hipotalámico-Pituitario-Gonadal.

En primer lugar, en lo concerniente al sexado de los espermatozoides para producir únicamente hembras, contrariamente a la situación en el bovino, en porcino resulta extremadamente ineficiente y caro (Bonneau & Weiler, 2019) ya que es necesario una gran cantidad de semen para inseminar una cerda (Von Borell et al., 2009a). Por todo ello, el semen sexado no es todavía una alternativa realista a la castración quirúrgica sin alivio del dolor.

En segundo lugar, la destrucción local de tejido testicular mediante la inyección de compuestos químicos (sales y ácidos) es una alternativa disponible a la castración quirúrgica que todavía necesita una mayor investigación en relación con el bienestar animal (ya que la inyección de los químicos desencadena la inflamación de los testículos y el escroto, lo que resulta doloroso para el animal), y a la reducción de los componentes responsables del olor sexual (Prunier et al., 2006) para considerarse como una alternativa realista a la castración quirúrgica sin alivio del dolor.

En tercer y último lugar, la administración de hormonas exógenas para inhibir el eje Hipotalámico-Pituitario-Gonadal puede efectuarse mediante la administración de esteroides agonistas o antagonistas o también puede ser inducido por la administración continua de la hormona liberadora de Gonadotropina (GnRH). Sin embargo, el uso de estas hormonas no está permitido en la UE para la producción cárnica y sería considerado inaceptable para los consumidores, por lo que la administración de hormonas exógenas para inhibir el eje

Hipotalámico-Pituitario-Gonadal no puede considerarse como una alternativa realista a la castración quirúrgica sin alivio del dolor (Prunier et al., 2006).

## **VI.- CONCLUSIONES**

- La producción de machos enteros es una alternativa tradicional y atractiva, pero el riesgo asociado a la presencia de los componentes responsables del olor sexual, y la inexistencia de un método para su detección aceptado y validado internacionalmente, imposibilitan el abandono general de la castración quirúrgica.

- La inmunocastración es una alternativa prometedora, si bien el miedo al rechazo por parte de los consumidores hace necesarias campañas de comunicación acerca de su seguridad y sus ventajas para fomentar su uso.

- La castración quirúrgica con analgesia y anestesia es una alternativa práctica que posee todas las ventajas de la castración tradicional, aunque los altos costes que la acompañan dificultan su implantación.

- No existe una alternativa ideal que pueda compararse con el equilibrio de rentabilidad-productividad que ofrece la castración quirúrgica.

## **CONCLUSIONS**

- Entire male production is a traditional and attractive alternative, but the risk associated to boar taint compounds' and the lack of an internationally accepted and validated method for its detection make it impossible to eradicate surgical castration.

- Immunocastration is a promising alternative, although the risk of consumers' rejection make communication campaigns about its safety and advantages necessary to encourage its use.

- Surgical castration with analgesia and anesthesia is a practical alternative that has all the traditional castration advantages; however, its high costs make it difficult to implement.

- There is not any ideal alternative that can be compared to the profitability-productivity levels offered by surgical castration.

## **VII.- VALORACIÓN PERSONAL**

La realización de este trabajo me ha permitido ampliar mis conocimientos acerca de la castración quirúrgica de los cerdos, así como de las alternativas disponibles a la misma. Además, me ha proporcionado una visión de su situación actual y sus perspectivas de futuro, así como del sector porcino en general.

Como alumno de la Facultad de Veterinaria de la Universidad de Zaragoza me gustaría agradecer todo lo que esta me ha aportado, tanto emocional como académicamente y que me ha convertido en la persona que soy actualmente, lo cual se ve reflejado en este Trabajo de Fin de Grado.

Por último, quiero agradecerle a mi tutor, José Ignacio Martí Jiménez, el tiempo y la total disponibilidad que ha invertido en orientarme y ayudarme durante la realización de todo el trabajo. Gracias por hacer de las conversaciones del trabajo un momento agradable, divertido y relajado.

## VIII.- BIBLIOGRAFÍA

*Acciones COST.* (2020). Retrieved October 15, 2020, from <https://www.ehu.eus/es/web/europeanprojects/beste-programak/cost>

Almanjd, P., & Bilkei, G. (2008). New findings on general anaesthesia for suckling piglets castration. *Tierarztl. Umsch.*, *63*, 496–500.

Aluwé, M., Tuytens, F. A. M., & Millet, S. (2015). Field experience with surgical castration with anaesthesia, analgesia, immunocastration and production of entire male pigs: Performance, carcass traits and boar taint prevalence. *Animal*, *9*(3), 500–508. <https://doi.org/10.1017/S1751731114002894>

American Psychological Association. (2018). *Normas APA 6a edición*. <http://www.normasapa.net/category/formato-apa/>

Andersson, K., Brunius, C., Zamaratskaia, G., & Lundström, K. (2012). Early vaccination with Improvac®: Effects on performance and behaviour of male pigs. *Animal*, *6*(1), 87–95. <https://doi.org/10.1017/S1751731111001200>

Backus, G., Higuera, M., Juul, N., Nalon, E., & de Briyne, N. (2018). *Second progress report 2015 – 2017 on the European declaration on alternatives to surgical castration of pigs*. 1–18.

Bako, A., & Bilkei, G. (2004). A clinical trial of the effects of neuroleptic analgesia in piglet castration. *Tierärztliche Umschau*, *59*, 340–344.

Batorek, N., Čandek-Potokar, M., Bonneau, M., & Van Milgen, J. (2012). Meta-analysis of the effect of immunocastration on production performance, reproductive organs and boar taint compounds in pigs. *Animal*, *6*(8), 1330–1338. <https://doi.org/10.1017/S1751731112000146>

Batorek, N., Noblet, J., Dubois, S., Bonneau, M., Čandek-Potokar, M., & Labussiere, E. (2013). Effect of immunocastration in combination with addition of fat to diet on quantitative oxidation of nutrients and fat retention in male pigs. In J. Oltjen, E. Kebreab, & H. Lapierre

(Eds.), *Energy and Protein Metabolism and Nutrition in Sustainable Animal Production. Vol. 134* (Wageningen, pp. 185–186).

Batorek, N., Škrlep, M., Prunier, A., Louveau, I., Noblet, J., Bonneau, M., & Čandek-Potokar, M. (2012). Effect of feed restriction on hormones, performance, carcass traits, and meat quality in immunocastrated pigs. *Journal of Animal Science*, *17*(1), 4593–4603. <https://doi.org/10.15159/AR.19.004>

Bee, G., Chevillon, P., & Bonneau, M. (2015). Entire male pig production in Europe. *Animal Production Science*, *55*(11–12), 1347–1359. <https://doi.org/10.1071/AN15279>

Birkler, R. I. D., Borggaard, C., Støier, S., & Lund, B. L. W. (2018). Fully automated and rapid at-line method for measuring boar taint related compounds in back fat. *Adv. Anim. Biosci.*, *9*(S33).

Bonneau, M., Čandek-Potokar, M., Škrlep, M., Font-I-Furnols, M., Aluwé, M., & Fontanesi, L. (2018). Potential sensitivity of pork production situations aiming at high-quality products to the use of entire male pigs as an alternative to surgical castrates. *Animal*, *12*(6), 1287–1295. <https://doi.org/10.1017/S1751731117003044>

Bonneau, M., Oliver, M. A., Fredriksen, B., Edwards, S. A., Ouedraogo, A., Spoolder, H., von Borell, E. H., Lundström, K., de Roest, K., Prunier, A., Tuyttens, F. A. M., Migdal, W., & Font i Furnols, M. (2009). *PIGCAS, Attitudes, Practices and State of the Art Regarding Piglet Castration in Europe. Report on Recommendations for Research and Policy Support.*

Bonneau, M., Walstra, P., Claudi-Magnussen, C., Kempster, A. J., Tornberg, E., Fischer, K., Diestre, A., Siret, F., Chevillon, P., Claus, R., Dijksterhuis, G., Punter, P., Matthews, K. R., Agerhem, H., Béague, M. P., Oliver, M. A., Gispert, M., Weiler, U., Von Seth, G., Leask, H., Font i Furnols, M., Homer, D.B., Cook, G. L. (2000). An international study on the importance of androstenone and skatole for boar taint: IV. Simulation studies on consumer dissatisfaction with entire male pork and the effect of sorting carcasses on the slaughter line, main conclusions and recommendations. *Meat Science*, *54*(3), 285–295. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(99\)00105-9](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(99)00105-9)

Bonneau, M. & Weiler, U. (2019). Pros and cons of alternatives to piglet castration: Welfare, boar taint, and other meat quality traits. *Animals*, *9*(11), 1–12. <https://doi.org/10.3390/ani9110884>

Booth, W. D. (1987). Factors affecting the pheromone composition of voided boar saliva. *Journal of Reproduction and Fertility*, *81*(2), 427–431. <https://doi.org/10.1530/jrf.0.0810427>

Brunius, C., Rasmussen, M. K., Lacoutière, H., Andersson, K., Ekstrand, B., & Zamaratskaia, G. (2012). Expression and activities of hepatic cytochrome P450 (CYP1A, CYP2A and CYP2E1) in entire and castrated male pigs. *Animal*, *6*(2), 271–277.

<https://doi.org/10.1017/S1751731111001674>

Brunius, C., Zamaratskaia, G., Andersson, K., Chen, G., Norrby, M., Madej, A., & Lundström, K. (2011). Early immunocastration of male pigs with Improvac<sup>®</sup> - Effect on boar taint, hormones and reproductive organs. *Vaccine*, 29(51), 9514–9520. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2011.10.014>

Buttinger, G., Karasek, L., Verlinde, P., & Wenzl, T. (2014). In house validation of a reference method for the determination of boar taint compounds by LC-MSMS. In *EUR - Scientific and Technical Research Reports*. <https://doi.org/10.2787/88600>

Čandek-Potokar, M., Prunier, A., & Škrlep, M. (2014). Testes weight is not a reliable tool for discriminating immunocastrates from entire males. *Proceedings of the International Symposium of Animal Science*, 43–49.

Čandek-Potokar, M., Škrlep, M., & Zamaratskaia, G. (2017). Immunocastration as Alternative to Surgical Castration in Pigs. *Theriogenology*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.68650>

Caraty, A., & Bonneau, M. (1968). Active immunisation of male pig against gonadoliberine: Effects on gonadotropic hormone secretion and 5-alpha-androst-16-ene-3-one levels in adipose tissue. *Comptes Rendus de l'Académie Des Sciences*, 303, 673–676.

Carroll, J. A., Berg, E. L., Strauch, T. A., Roberts, M. P., & Kattesh, H. G. (2006). Hormonal profiles, behavioral responses, and short-term growth performance after castration of pigs at three, six, nine, or twelve days of age. *Journal of Animal Science*, 84(5), 1271–1278. <https://doi.org/10.2527/2006.8451271x>

CASTRUM. (2017). *Pig castration: methods of anaesthesia and analgesia for all pigs and other alternatives for pigs used in traditional products*. <http://boars2018.com/wpcontent/uploads/2017/02/Castrum-study.pdf>

Chen, G., Bai, Y., Ren, L., Zhu, D., Li, Y., Fang, M., Al-Kateb, H., & Doran, O. (2015). Metabolism of androstenone, 17 $\beta$ -estradiol and dihydrotestosterone in primary cultured pig hepatocytes and the role of 3 $\beta$ -hydroxysteroid dehydrogenase in this process. *PLoS ONE*, 10(1), 1–7. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0113194>

Clarke, I. J., Walker, J. S., Henessy, D., Kreeger, J., Nappier, J. M., & Crane, J. S. (2008). Inherent Food Safety of a Synthetic Gonadotropin-Releasing Factor (GnRF) Vaccine for the Control of Boar Taint in Entire Male Pigs. *Int. J. Appl. Res. Vet. Med.*, 6, 7–14.

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(2), 289–305. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(94\)90118-X](https://doi.org/10.1016/0309-1740(94)90118-X)

Claus, R., Lacorn, M., Danowski, K., Pearce, M. C., & Bauer, A. (2007). Short-term endocrine and metabolic reactions before and after second immunization against GnRH in boars. *Vaccine*, 25(24), 4689–4696. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2007.04.009>

Council Directive 2008/120/EC laying down minimum standards for the protection of pigs, Official Journal of the European Union L47/5 (2008). <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1487548100586&uri=CELEX:32008L0120>

De Briyne, N., Berg, C., Blaha, T., & Temple, D. (2016). Pig castration: Will the EU manage to ban pig castration by 2018? *Porcine Health Management*, 2(2016), 1–11. <https://doi.org/10.1186/s40813-016-0046-x>

De Roest, K., Montanari, C., Fowler, T., & Baltussen, W. (2009). Resource efficiency and economic implications of alternatives to surgical castration without anaesthesia. *Animal*, 3(11), 1522–1531. <https://doi.org/10.1017/S1751731109990516>

Dugué, C., Prunier, A., Mercat, M. J., Monziols, M., Blanchet, B., & Larzul, C. (2020). Genetic determinism of boar taint and relationship with growth traits, meat quality and lesions. *Animal: An International Journal of Animal Bioscience*, 14(7), 1333–1341. <https://doi.org/10.1017/S1751731120000105>

Dunshen, 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(10), 2524–2535. <https://doi.org/10.2527/2001.79102524x>

Edwards, S. A., Oliver, M. A., Ouedraogo, A., Gonzales, J., Gil, M., Fredriksen, B., Von Borell, E., Baumgartner, J., Giershing, M., Jaegglin, N., Prunier, A., Tuytens, F. A. M., Spooler, H., Lundström, K., Zamaratskaia, G., Matthews, K., Haugen, J. E., Squires, E. J., de Roest, K., Montanari, C., Fowler, T., Baltussen, W., Migdal, W., Font i Furnols, M., Bonneau, M. (2009). *PIGCAS, Attitudes, Practices and State of the Art Regarding Piglet Castration in Europe. Report on Evaluation of Research and Other Information.*

EFSA. (2004). Opinion of the Scientific Panel on Animal Health and Welfare on a request from the Commission related to welfare aspects of the castration of piglets 1 ( Question N ° EFSA-Q-2003 - 091 ) Adopted on the 12 th and 13 th July 2004. *The EFSA Journal*, 1(July), 1–18.

Einarsson, S. (2006). Vaccination against GnRH: Pros and cons. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 48(SUPPL.1). <https://doi.org/10.1186/1751-0147-48-S1-S10>

European Medicines Agency (EMA). (2010). *Improvac EPAR—Scientific Discussion. 2010.* [https://www.ema.europa.eu/en/documents/scientific-discussion/improvac-epar-scientificdiscussion\\_en.pdf](https://www.ema.europa.eu/en/documents/scientific-discussion/improvac-epar-scientificdiscussion_en.pdf)

European Commission. (2010). *European Declaration on alternatives to surgical castration of pigs*. 2.

European Commission. (2013). *Study and economic analysis of the costs and benefits of ending surgical castration of pigs*.

European Commission. (2019). *Establishing Best Practices on the Production, the Processing and the Marketing of Meat from Uncastrated Pigs or Pigs Vaccinated against Boar Taint (Immunocastrated)*.

Font i Furnols, M., Gispert, M., Diestre, A., & Oliver, M. A. (2003). Acceptability of boar meat by consumers depending on their age, gender, culinary habits, and sensitivity and appreciation of androstenone odour. *Meat Science*, 64(4), 433–440. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(02\)00212-7](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(02)00212-7)

Gerritzen, M. A., Kluivers-Poodt, M., Reimert, H. G. M., Hindle, V., & Lambooi, E. (2008). Castration of piglets under CO<sub>2</sub>-gas anaesthesia. *Animal*, 2(11), 1666–1673. <https://doi.org/10.1017/S1751731108002887>

Giersing, M., Lundström, K., & Andersson, A. (2000). Social effects and boar taint: Significance for production of slaughter boars (*Sus scrofa*). *Journal of Animal Science*, 78(2), 296–305. <https://doi.org/10.2527/2000.782296x>

Gower, D. B. (1972). 16-Unsaturated C<sub>19</sub> steroids a review of their chemistry, biochemistry and possible physiological role. *Journal of Steroid Biochemistry*, 3(1). [https://doi.org/10.1016/0022-4731\(72\)90011-8](https://doi.org/10.1016/0022-4731(72)90011-8)

Haberland, A. M., Luther, H., Hofer, A., Tholen, E., Simianer, H., Lind, B., & Baes, C. (2014). Efficiency of different selection strategies against boar taint in pigs. *Animal*, 8(1), 11–19. <https://doi.org/10.1017/S1751731113001857>

Hadorn, R., Eberhard, P., Guggisberg, D., Piccinali, P., & Schlichtherle-Cerny, H. (2008). Effect of fat score on the quality of various meat products. *Meat Science*, 80(3), 765–770. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.03.020>

Haga, H. A., & Ranheim, B. (2005). Castration of piglets: the analgesic effects of intratesticular and intrafunicular lidocaine injection. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, 32(1), 1–9.

Hart, J., Crew, A., McGuire, N., & Doran, O. (2016). *Sensor and Method for Detecting Androstenone or Skatole in Boar Taint* (EP2966441 A1, 1 January 2016). <https://google.com/patents/EP2966441A1?cl=en>.

Haugen, J. E. (2006). The use of chemical sensor array technology, the electronic nose, for detection of boar taint. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 48(SUPPL.1), 1–3. <https://doi.org/10.1186/1751-0147-48-S1-S15>

Haugen, J. E., Brunius, C., & Zamaratskaia, G. (2012). Review of analytical methods to measure boar taint compounds in porcine adipose tissue: The need for harmonised methods. *Meat Science*, *90*(1), 9–19. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.07.005>

Hay, M., Vulin, A., Génin, S., Sales, P., & Prunier, A. (2003). Assessment of pain induced by castration in piglets: Behavioral and physiological responses over the subsequent 5 days. *Applied Animal Behaviour Science*, *82*(3), 201–218. [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(03\)00059-5](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(03)00059-5)

Hennessy, D. (2006). Global control of boar taint. Part 4. Immunological castration in action. *Pig Progress*, *22*, 14–16.

Hilbe, M., Jaros, P., Ehrensperger, F., Zlinszky, K., Janett, F., Hässig, M., & Thun, R. (2006). Histomorphological and immunohistochemical findings in testes, bulbourethral glands and brain of immunologically castrated male piglets. *Schweizer Archiv Fur Tierheilkunde*, *148*(11), 599–608. <https://doi.org/10.1024/0036-7281.148.11.599>

Hodgson, D. S. (2006). An inhaler device using liquid injection of isoflurane for short term anesthesia in piglets. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, *33*(4), 207–213. <https://doi.org/10.1111/j.1467-2995.2005.00258.x>

IPEMA. (2020). Retrieved October 15, 2020, from [www.ca-ipema.eu](http://www.ca-ipema.eu)

Keita, A., Pagot, E., Prunier, A., & Guidarini, C. (2010). Pre-emptive meloxicam for postoperative analgesia in piglets undergoing surgical castration. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, *37*(4), 367–374. <https://doi.org/10.1111/j.1467-2995.2010.00546.x>

Kluyvers-Poodt, M., Hopster, H., & Spoolder, H. A. M. (2007). Castration under anaesthesia and/or analgesia in commercial pig production. *Animal Sciences Group, Wageningen-UR*. <http://edepot.wur.nl/45006>

Kmiec, M. (2005). *Castration of piglets without or with general anesthesia (Azaperone-Ketamine): practicability, animal welfare, economy* (p. 121).

Kress, K., Millet, S., Labussière, É., Weiler, U., & Stefanski, V. (2019). Sustainability of Pork production with immunocastration in Europe. *Sustainability (Switzerland)*, *11*(12), 8–10. <https://doi.org/10.3390/SU11123335>

Lahrman, K. H., Kmiec, M., & Stecher, R. (2006). Piglet castration with ketamine/azaperone-anesthesia: concurring with animal welfare, practical, but economic? *Praktische Tierarz*, *87*, 802–809.

Leidig, M. S., Hertrampf, B., Failing, K., Schumann, A., & Reiner, G. (2009). Pain and discomfort in male piglets during surgical castration with and without local anaesthesia as determined by vocalisation and defence behaviour. *Applied Animal Behaviour Science*, *116*(2–4), 174–178. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2008.10.004>

Llamas Moya, S., Boyle, L., Lynch, B., & S., A. (2008). Effect of surgical castration on the behavioural and acute phase responses of 5-day-old piglets. *Applied Animal Behaviour Science*, *111*, 133–145.

Lundstöröm, K., Matthews, K. R., & Haugen, J. E. (2009). Pig meat quality from entire males. *Animal*, *3*(11), 1497–1507. <https://doi.org/10.1017/S1751731109990693>

Marx, G., Horn, T., Thielebein, J., Knubel, B., & Von Borell, E. (2003). Analysis of pain-related vocalization in young pigs. *Journal of Sound and Vibration*, *266*(3), 687–698. [https://doi.org/10.1016/S0022-460X\(03\)00594-7](https://doi.org/10.1016/S0022-460X(03)00594-7)

Mathur, P. K., ten Napel, J., Bloemhof, S., Heres, L., Knol, E. F., & Mulder, H. A. (2012). A human nose scoring system for boar taint and its relationship with androstenone and skatole. *Meat Science*, *91*(4), 414–422. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.02.025>

Molenaar, G. J., Lugard-Kok, C., Meloen, R. H., Oonk, R. B., de Koning, J., & Wessing, C. J. G. (1993). Lesions in the hypothalamus after active immunisation against GnRH in the pig. *Journal of Neuroimmunology*, *48*(1), 1–11. [https://doi.org/10.1016/0165-5728\(93\)90052-Z](https://doi.org/10.1016/0165-5728(93)90052-Z)

Morales, J., Dereu, A., Manso, A., de Frutos, L., Piñeiro, C., Manzanilla, E. G., & Wuyts, N. (2017). Surgical castration with pain relief affects the health and productive performance of pigs in the suckling period. *Porcine Health Management*, *3*, 1–6. <https://doi.org/10.1186/s40813-017-0066-1>

Mortensen, A., & Sorensen, S. (1984). Relationship between boar taint and skatole determined with a new analysis method. In *Proceedings of the 30th European Meeting of Meat Research Worker* (pp. 394–396).

Muhlbauer, I. C., Otten, W., Luppig, W., Palzer, A., Zöls, S., Elicker, S., Ritzmann, M., & Heinritz, K. (2009). Investigation about CO<sub>2</sub> gas anaesthesia as an alternative option for piglet castration without anaesthesia. *Praktische Tierarz*, *90*, 460–464.

Nowak, B., Mueffling, T. V., & Hartung, J. (2007). Effect of different carbon dioxide concentrations and exposure times in stunning of slaughter pigs: Impact on animal welfare and meat quality. *Meat Science*, *75*(2), 290–298. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.07.014>

Nyborg, P., Sorig, A., Lykkegaard, K., & Svendsen, O. (2000). Nociception after castration of juvenile pigs determined by quantitative estimation of c-Fos expressing neurons in the spinal cord dorsal horn. *Dansk Veterinaertidsskrift*, *83*, 16–17.

Parois, S. P., Prunier, A., Mercat, M. J., Merlot, E., & Larzul, C. (2015). Genetic relationships between measures of sexual development, boar taint, health, and aggressiveness in pigs. *Journal of Animal Science*, *93*(8), 3749–3758. <https://doi.org/10.2527/jas.2014-8290>

Patterson, R. L. S. (1968). 5 $\alpha$ -androst-16-ene-3-one:—Compound responsible for taint in boar fat. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *19*(1), 31–38.

<https://doi.org/10.1002/jsfa.2740190107>

Pauly, C., Luginbühl, W., Ampuero, S., & Bee, G. (2012). Expected effects on carcass and pork quality when surgical castration is omitted - Results of a meta-analysis study. *Meat Science*, 92(4), 858–862. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.06.007>

Pauly, C., Spring-Staehli, P., O'Doherty, J. V., Kragten, S. A., Dubois, S., Messadène, J., & Bee, G. (2010). The effects of method of castration, rearing condition and diet on sensory quality of pork assessed by a trained panel. *Meat Science*, 86(2), 498–504. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.05.042>

Prunier, A., Bonneau, M., von Borell, E. H., Cinotti, S., Gunn, M., Fredriksen, B., Giersing, M., Morton, D. B., Tuytens, F. A. M., & 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), 277–289.

Real Decreto 1135/2002, de 31 de octubre, relativo a las normas mínimas para la protección de cerdos., BOE, de 20 de noviembre de 2002 1 (2002).

Reiter, S., Zöls, S., Ritzmann, M., Stefanski, V., & Weiler, U. (2017). Penile injuries in immunocastrated and entire male pigs of one fattening farm. *Animals*, 7(9), 1–7. <https://doi.org/10.3390/ani7090071>

Rydhmer, L., Zamaratskaia, G., Andersson, H. K., Algiers, B., Guillemet, R., & Lundström, K. (2006). Aggressive and sexual behaviour of growing and finishing pigs reared in groups, without castration. *Acta Agriculturae Scandinavica A: Animal Sciences*, 56(2), 109–119. <https://doi.org/10.1080/09064700601079527>

Schulz, C., Ritzmann, M., Palzer, A., Heinritzi, K., & Zöls, S. (2007). Effect of isoflurane-anesthesia on postoperative pain due to castration of piglets. *Berliner Und Munchener Tierarztliche Wochenschrif*, 120, 177–182.

Škrlep, M., Batorek, N., Bonneau, M., Prevolnik, M., Kubale, V., & Čandek-Potokar, M. (2012a). 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. <https://doi.org/10.17221/5964-cjas>

Škrlep, M., Čandek-Potokar, M., Batorek, N., Šegula, B., Prevolnik, M., Plugiese, C., & Bonneau, M. (2012b). Length of the interval between immunocastration and slaughter in relation to boar taint and carcass traits. *20th International Symposium Animal Science Days*, 247–251.

Škrlep, M., Batorek-Lukač, N., Prevolnik-Povše, M., & Čandek-Potokar, M. (2014). Theoretical and practical aspects of immunocastration. *Stočarstvo*, 68, 39–49.

Spoolder, H., Bracke, M., Mueller-Graf, C., & Edwards, S. (2011). Preparatory Work for the

Future Development of Animal Based Measures for Assessing the Welfare of Sow, Boar and Piglet including Aspects Related to Pig Castration. Technical Report Submitted to EFSA. *EFSA Supporting Publications*, 8(7), 1–108. <https://doi.org/10.2903/sp.efsa.2011.en-178>

Spring, P., Kupper, T., & Pauly, C. (2009). ProSchwein: Alternatives to the conventional castration of piglets. *Agrarforschung*, 16(1), 16–21.

Strathe, A. B., Velandar, I. H., Mark, T., & Kadarmideen, H. N. (2013a). Genetic parameters for androstenone and skatole as indicators of boar taint and their relationship to production and litter size traits in Danish Landrace. *Journal of Animal Science*, 91(6), 2587–2595. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-6107>

Strathe, A. B., Velandar, I. H., Mark, T., Ostersen, T., Hansen, C., & Kadarmideen, H. N. (2013b). Genetic parameters for male fertility and its relationship to skatole and androstenone in Danish Landrace boars. *Journal of Animal Science*, 91(10), 4659–4668. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6454>

Svendsen, O. (2006). Castration of piglets under carbon dioxide anaesthesia. *Acta Pharmacol. Sin.*, 27, 112–112.

Van den Broeke, A., Leen, F., Aluwé, M., Ampe, B., Van Meensel, J., & Millet, S. (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(7), 2811–2820. <https://doi.org/10.2527/jas.2015-0173>

Van Staaveren, N., Teixeira, D. L., Hanlon, A., & Boyle, L. A. (2015). The effect of mixing entire male pigs prior to transport to slaughter on behaviour, welfare and carcass lesions. *PLoS ONE*, 10(4), 1–15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0122841>

Van Wagenberg, C. P. A., Snoek, H. M., Van Der Fels, J. B., Van Der Peet-Schwering, C. M. C., Vermeer, H. M., & Heres, L. (2013). Farm and management characteristics associated with boar taint. *Animal*, 7(11), 1841–1848. <https://doi.org/10.1017/S1751731113001328>

Velarde, A., Cruz, J., Gispert, M., Carrión, D., Ruiz de la Torre, J. L., Diestre, A., & Menteca, X. (2007). Aversion to carbon dioxide stunning in pigs: effect of carbon dioxide concentration and halothane genotype. *Animal Welfare*, 16, 513–522.

Von Borell, E., Baumgartner, J., Giersing, M., Jäggin, N., Prunier, A., Tuytens, F. A. M., & Edwards, S. A. (2009a). Animal welfare implications of surgical castration and its alternatives in pigs. *Animal*, 3(11), 1488–1496. <https://doi.org/10.1017/S1751731109004728>

Von Borell, E., Bünger, B., Schmidt, T., & Horn, T. (2009b). Vocal type classification as a tool to identify stress in pigs under on-farm conditions. *Animal Welfare*.

Walstra, P., Claudi-Magnussen, C., Chevillon, P., Von Seth, G., Diestre, A., Matthews, K. R., Homer, D. B., & Bonneau, M. (1999). An international study on the importance of

androstenedione and skatole for boar taint: Levels of androstenedione and skatole by country and season. *Livestock Production Science*, 62(1), 15–28. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(99\)00054-8](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(99)00054-8)

Weiler, U., & Bonneau, M. (2019). Why it is so difficult to end surgical castration of boars in Europe: Pros and cons of alternatives to piglet castration. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 333(1), 1–6. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/333/1/012001>

Wesoly, R., & Weiler, U. (2012). Nutritional influences on skatole formation and skatole metabolism in the pig. *Animals*, 2(2), 221–242. <https://doi.org/10.3390/ani2020221>

Wood, J. D., Richardson, R. I., Nute, G. R., Fisher, A. V., Campo, M. M., Kasapidou, E., Sheard, P. R., & Enser, M. (2004). Effects of fatty acids on meat quality: A review. *Meat Science*, 66(1), 21–32. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(03\)00022-6](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(03)00022-6)

Zamaratskaia, G., Andersson, H. K., Chen, G., Andersson, K., Madej, A., & Lundström, K. (2008a). Effect of a gonadotropin-releasing hormone vaccine (Improvac™) on steroid hormones, boar taint compounds and performance in entire male pigs. *Reproduction in Domestic Animals*, 43(3), 351–359. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2007.00914.x>

Zamaratskaia, G., Gilmore, W. J., Lundström, K., & Squires, E. J. (2007). Effect of testicular steroids on catalytic activities of cytochrome P450 enzymes in porcine liver microsomes. *Food and Chemical Toxicology*, 45(4), 676–681. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2006.10.023>

Zamaratskaia, G., & Rasmussen, M. K. (2018). Is it possible to reduce androstenedione by dietary means? *Adv.Anim.Biosci.*, 9(S22).

Zamaratskaia, G., Rydhmer, L., Chen, G., Madej, A., Andersson, H. K., & Lundström, K. (2005). Boar taint is related to endocrine and anatomical changes at puberty but not to aggressive behaviour in entire male pigs. *Reproduction in Domestic Animals*, 40(6), 500–506. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2005.00613.x>

Zamaratskaia, G., & Rasmussen, M. K. (2015). Immunocastration of Male Pigs – Situation Today. *Procedia Food Science*, 5, 324–327. <https://doi.org/10.1016/j.profoo.2015.09.064>

Zamaratskaia, G., Rydhmer, L., Andersson, H. K., Chen, G., Lowagie, S., Andersson, K., & Lundström, K. (2008b). Long-term effect of vaccination against gonadotropin-releasing hormone, using Improvac™, on hormonal profile and behaviour of male pigs. *Animal Reproduction Science*, 108(1–2), 37–48. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2007.07.001>

Zankl, A., Ritzmann, M., Zöls, S., & Heinritzi, K. (2007). Analysis of efficacy of local anaesthetics administered prior to castration of male suckling piglets. *Deutsche Tierärztliche Wochenschrift*, 114, 418–422.

Zöls, S., Ritzmann, M., & Heinritzi, K. (2006). Effect of analgesics on castration of male piglets. *Berliner Und Munchener Tierärztliche Wochenschrift*, 119, 193–196.