

Artículo de revisión

Técnica de inmunocastración en producciones porcícolas. Una revisión

Immunocastration technique in pig production.
A review

Jesús Alejandro Botero Giraldo¹

Resumen

Los cerdos macho se castran para reducir su comportamiento agresivo, facilitar el manejo y prevenir el olor a verraco, un olor distintivo que puede ser percibido durante la preparación o la ingestión de carne proveniente de cerdos enteros. Habitualmente en las granjas comerciales los machos son castrados durante las primeras semanas de vida de manera quirúrgica, a través de la realización de dos incisiones en el escroto con un elemento cortante, considerándose un procedimiento doloroso y estresante. Frente a esta situación, técnicas menos invasivas como la inmunocastración resulta en una alternativa a la castración quirúrgica, evitando los efectos indeseables de esta, como: dolor, estrés, malestar, pérdidas indirectas por complicaciones quirúrgicas, infecciones, hernias, mortalidad y baja eficiencia alimenticia, entre otros. Entre tanto, con el presente trabajo se pretende realizar una revisión detallada sobre esta técnica utilizada en las producciones porcícolas.

Palabras claves. Cerdos, Vacuna, Castración, Bienestar animal, Inmunocastración.

1. Corporación Universitaria del Huila – CORHUILA. Correo de correspondencia: jesus.botero@corhuila.edu.co

Cómo citar. Botero Giraldo, J. A. (2024). Técnica de inmunocastración en producciones porcícolas. Una revisión. Revista Agropecuaria y Agroindustrial La Angostura, 9(1), 13-29.



Abstract

Male pigs are castrated to reduce their aggressive behavior, facilitate handling and prevent the smell of boar taint, a distinctive odor that can be perceived during the preparation or consumption of meat from entire pigs. Typically, in commercial farms, males are surgically castrated during the first weeks of life by making two incisions in the scrotum with a cutting instrument, which it is considered a painful and stressful procedure. Faced with this situation, less invasive techniques such as immunocastration offer an alternative to surgical castration, avoiding its undesirable effects such as pain, stress, discomfort, indirect losses due to surgical complications, infections, hernias, mortality, and decreased feed efficiency, among others. Meanwhile, the present study aims to conduct a detailed review of this technique used in swine production.

Keywords. Pigs, Vaccine, Castration, Animal welfare, Immunocastration.

14

Introducción

La castración de los cerdos es un procedimiento de rutina en las granjas comerciales, sin embargo, los problemas de bienestar relacionados con este procedimiento se han destacado en los últimos años, demostrando que la castración quirúrgica induce dolor durante y después del proceso (Prunier et al., 2006; von Borell et al., 2009; Sutherland et al., 2012). Sobre esto la Comisión Europea elaboró una declaración en 2010 sobre alternativas a la castración quirúrgica en cerdos, alentando a los estados miembros a comprometerse a prohibir la castración quirúrgica a partir de enero de 2018, surgiendo como alternativa la producción

de cerdos macho enteros inmunocastrados (European Commission, 2010).

La técnica de inmunocastración se ha destacado por ser capaz de minimizar los daños causados por la castración quirúrgica, reduciendo el olor sexual de los machos intactos (Dunshea et al., 2001); el cual es producido por dos compuestos, la androstenona (5- α -androst-16-ene-3-ona) y el escatol (3-metil-indol), que se acumulan principalmente en el tejido adiposo. La androstenona es un esteroide testicular con un olor a orina definido, mientras que el escatol es un producto de la degradación del triptófano, que exhibe un intenso olor fecal (Babol et al., 2004).

La técnica de inmunocastración se define como un método de castración mediante el uso de una vacuna antagonista de la hormona liberadora de gonadotropina (anti-GnRH), la que produce una reducción de las gonadotropinas plasmáticas hormona luteinizante (LH) y hormona folículo estimulante (FSH), y en consecuencia de testosterona y androstenona. Al inhibir la producción de estos componentes se evita el olor y sabor característico en la carne de todo el macho, además, permite que los animales se beneficien de los efectos de los esteroides testiculares en el momento intermedio de crecimiento y deposición de la carne, asegurando su plena expresión de su potencial de crecimiento (Dunshea et al., 2001). Con el presente trabajo se pretende realizar una revisión detallada sobre la técnica de inmunocastración utilizada en las producciones porcícolas

Castración en lechones

La castración de animales machos utilizados para la producción de carne se practica ampliamente desde hace siglos, principalmente para facilitar el control de su comportamiento (los machos enteros tienden a ser más agresivos), pero también debido a la mayor propensión de los castrados a depositar grasa (Čandek-Potokar et al., 2017). Actualmente, el mercado de consumo es cada vez más exigente, demandando productos de mejor calidad elaborados bajo criterios respetuosos con el medio ambiente y el bienestar animal (Figuerola, 2020)

La castración en lechones generalmente se realiza de forma quirúrgica durante los primeros días o semanas de vida (Vela, 2012). Según la legislación de la Unión Europea, la castración de lechones machos se puede realizar sin anestesia/analgesia dentro de los primeros siete días de vida. Sin embargo, esta práctica ha sido criticada desde el punto de vista del bienestar animal (Prunier et al., 2006). Dado que los testículos y la piel del escroto están inervados por nociceptores asociados a las transmisiones del dolor, por tanto, este procedimiento resulta en un evento doloroso y estresante cuando se realiza sin anestesia ni analgesia pre y postoperatoria (Villarreal, 2016).

Para identificar todas las ventajas y desventajas de los diferentes métodos de castración, es necesario evaluar el dolor relacionado con la castración, además, de las consecuencias fisiológicas, conductuales y de salud que pueden derivarse de la castración. Estas consecuencias pueden deberse al propio proceso de castración (manipulación y cirugía), pero también a la privación de hormonas testiculares (Čandek-Potokar et al., 2017).

Consecuencias generales de la castración sobre el bienestar. Las consecuencias de la castración sobre el bienestar pueden deberse a la propia cirugía, así como a la privación de hormonas testiculares. De hecho, las hormonas testiculares influyen en el comportamiento, por tanto, pueden estar relacionadas con el bienestar de los machos (Pérez, 2018). Varios experimentos indican

claramente que la castración quirúrgica induce respuestas endocrinas y conductuales que se aceptan como indicadores de dolor (Hay et al., 2003).

Durante la castración quirúrgica, las vocalizaciones de alta frecuencia (> 1000 Hz) se deben, al menos en parte, a la cirugía de los animales, ya que se han identificado frecuencias de mayor intensidad y duración en los lechones castrados que en los manipulados simulando la castración (Weary et al., 1998). El análisis de las vocalizaciones durante el procedimiento de castración general sugiere que el dolor es más agudo durante la extracción de los testículos y el corte de los cordones espermáticos (Vela, 2012). Esto está respaldado por la observación de que la anestesia local es más eficaz para reducir la resistencia conductual cuando se cortan los cordones (Vela, 2012).

Inmediatamente después de la castración quirúrgica, la medición de hormonas en plasma indica claramente la activación de los ejes suprarrenal y simpático (Prunier et al., 2005). En consecuencia se produce un aumento de la hormona adrenocorticotrópica (ACTH) en hasta 40 veces su valor plasmático, alcanzando un pico máximo diez minutos después de la cirugía, seguido de un aumento de cuatro veces en el cortisol plasmático, con valores máximos entre 30 y 60 minutos después de la cirugía (Prunier et al., 2005). En esta afección también ocurre un aumento muy rápido y transitorio de la adrenalina plasmática, seguido de un aumento más duradero

de la noradrenalina plasmática. Paralelamente a estas reacciones fisiológicas, se modifica la conducta. Los lechones castrados pasan menos tiempo sobre las glándulas mamarias (masajeando y/o amamantando), permanecen más inactivos mientras están despiertos y muestran más comportamientos relacionados con dolor (postración, rigidez, temblores) (Hay et al., 2003). Sin embargo, las posturas (posición ventral y lateral, sentada y de pie) y su posicionamiento en la paridera no se modifican (Hay et al., 2003).

Otro punto de gran importancia negativa es la inmunosupresión más pronunciada en los machos castrados. La influencia de la castración sobre el sistema inmunológico de los lechones fue demostrada por Lessard et al. (2002), quienes observaron respuestas de anticuerpos más bajas en lechones castrados a los 10 o 17 días de edad, y aquellos expuestos dos veces a un antígeno. Los efectos inmunosupresores de la castración pueden estar relacionados con la reacción al estrés, especialmente la liberación de cortisol y catecolaminas, o la falta de andrógenos testiculares, ya que se sabe que estas hormonas promueven la inmunocompetencia (Viscarra, 2021).

Prohibición de la Castración. La eliminación de la técnica de castración en bovinos y ovinos en la mayoría de los países se debió al nuevo perfil de consumidor, que busca alimentos magros. Al mismo tiempo, la producción de machos enteros también determina una reducción

de los costos de producción (Bonneau, 1998). Sin embargo, la producción de cerdos macho enteros se ha visto obstaculizada por la presencia de olor sexual, aunque presiones alineadas con el bienestar han obligado a la cadena a abandonar la práctica de la castración (Vela, 2012).

La Comisión Europea y representantes de los ganaderos europeos, la industria cárnica, los minoristas, los científicos, los veterinarios y las Organizaciones no gubernamentales (ONG) de bienestar animal han firmado una declaración para poner fin a la castración quirúrgica de los cerdos antes del 1 de enero de 2018 (Zammerini et al., 2013). La iniciativa es actualmente voluntaria, sin embargo, la Comisión Europea apoya firmemente las medidas adoptadas por las partes interesadas; así, en países como Noruega y Suiza la técnica de castración ya está prohibida (Harper, 2008).

Se han intensificado las investigaciones de alternativas para la castración en la producción porcina, por tanto, en la actualidad se tienen en cuenta las siguientes consideraciones: a) Aplicación de anestesia/analgesia en cirugía, que incrementa los costos por la carga de trabajo adicional y el precio de los anestésicos (de Roest et al., 2009); b) Sexado de espermatozoides para la producción exclusiva de hembras, sin embargo, esta opción aún no está lo suficientemente avanzada para su uso práctico; c) Inmunocastración e inmunización contra la hormona endógena GnRH que permite explotar el potencial de crecimiento de todo el macho con

un mínimo estrés vacunal, pero con desventajas como el riesgo de autoinmunización y la baja aceptación por parte de los consumidores (Prunier et al., 2006; de Roest et al., 2009); d) La producción de machos enteros con bajo peso de sacrificio (90 kg), reduce el riesgo de olor sexual en la canal, pero con presenta una baja viabilidad económica y no elimina completamente el problema del olor sexual (Zamaratskaia et al., 2005; Aldal et al., 2005).

Inmunocastración

El objetivo de la inmunocastración es inhibir el desarrollo y la función testicular mediante la neutralización de las hormonas del eje hipotalámico-pituitario-gonadal por anticuerpos. La inmunización puede dirigirse contra la hormona pituitaria (LH) o la hormona hipotalámica (GnRH). Sin embargo, la inmunización contra LH es menos efectiva que la inmunización contra GnRH (Dunshea et al., 2001).

La mayoría de los estudios de inmunocastración en cerdos han utilizado la inmunización activa contra GnRH, aunque también se ha considerado la posibilidad de utilizar la inmunización pasiva. Dado que, efectivamente, la inmunización de cerdos macho contra GnRH es eficaz para inhibir el desarrollo del tracto genital, además, de reducir las concentraciones plasmáticas de LH, FSH y testosterona (Dunshea et al., 2001).

Protocolos de vacunación. Los protocolos de vacunación se pueden definir como tempranos o tardíos. El primero enfatiza la necesidad de

provocar una castración completa con resultados inequívocos sobre el peso testicular, haciendo muy fácil la diferenciación en la línea de sacrificio (Oonk et al., 1995), esto se logra mediante un programa de inmunización que asegura la castración temprana de los animales. Sin embargo, la mayoría de las ventajas económicas de los machos intactos no se mantienen (Zeng et al., 2002; Turkstra et al., 2002).

Por otra parte, la segunda alternativa se centra en mantener el rendimiento en cerdos macho intactos. En este procedimiento se administran dos vacunas con un intervalo mínimo de cuatro semanas, mientras que, entre la segunda dosis y el sacrificio, el intervalo debe ser de cuatro o máximo cinco semanas. El desafío es mantener la secreción testicular de esteroides anabólicos en un nivel alto hasta lo más tarde posible, y aun así dejar tiempo suficiente para que las concentraciones de escatol y androstenona disminuyan a niveles aceptables antes del sacrificio y después de las vacunas. En comparación con los machos intactos, los cerdos inmunizados crecen más rápido (una vez logrado el efecto de castración), tienen una eficiencia alimenticia similar con mayor contenido de grasa en su canal; aunque menores comparados con los porcinos quirúrgicamente castrados (Dunshea et al., 2001; Cronin et al., 2003).

Una vez realizada la inmunocastración, el comportamiento de los cerdos es similar al de los cerdos castrados quirúrgicamente. Ambos exhiben comportamientos agresivos y

de montaje reducidos con una mayor duración del comportamiento alimentario en comparación con los machos intactos (Cronin et al., 2003).

Desventajas de la inmunocastración.

Desde una perspectiva de bienestar, el procedimiento es obviamente menos dañino para el cerdo en comparación con la castración quirúrgica sin anestésicos ni analgésicos (Kress et al., 2019). Sin embargo, se pueden considerar algunas desventajas al implementar la inmunocastración. En este contexto, el costo del tratamiento debe ser al menos equivalente a las ganancias económicas obtenidas al suspender la castración (de Roest et al., 2009).

Otro aspecto tiene que ver con la exigencia de un control efectivo en la línea de sacrificio. Cuando la inmunocastración se realiza tempranamente, el tamaño de los testículos se reduce tan drásticamente, que es fácil comprobar la ausencia de olor sexual en el cadáver. Cuando se lleva a cabo sólo unas semanas antes del sacrificio, con objeto de obtener las ventajas del estado completo de un macho intacto, la reducción testicular en algunos casos no se distingue fácilmente de los testículos de algunos machos intactos (Oonk et al., 1995). En estos casos, existe incertidumbre sobre la ausencia de olor sexual en la canal.

Otro aspecto negativo tiene que ver con la seguridad para los humanos. Dado que la vacuna tiene una condición inmunogénica no específica de especie, puede ser activa en humanos en

caso de autoinyección accidental (EMA, 2010). Aunque se ha desarrollado un dispositivo en la pistola de vacunación para reducir el riesgo, este peligro no puede controlarse por completo (de Roest et al., 2009).

Finalmente, respecto a la posibilidad de que el animal desarrolle dolor, no se han realizado investigaciones directas. Sin embargo, como las vacunas GnRH están dirigidas contra hormonas producidas en los propios tejidos del animal, estas pueden inducir daño celular lejos del lugar de administración o en áreas de los testículos. Molenaar et al. (1993) observaron que la inmunización anti-GnRH en cerdos provocaba lesiones en el hipotálamo. Aunque, se desconoce si este resultado, si induce o no dolor en el animal. En cualquier caso, el dolor resultante de la inmunización debe compararse con la inflamación por la castración quirúrgica.

Producción de cerdos macho enteros

El alcance de la producción de cerdos macho enteros difiere entre los distintos países, aunque no hay cifras exactas. Sin embargo, el proyecto PIGCAS de la Unión Europea (Actitudes, prácticas y estado del arte sobre la castración de lechones en Europa), ha recopilado información sobre el alcance del procedimiento de castración (Fredriksen & Hexeberg, 2009). Las cifras de 2006 muestran que la castración se llevó a cabo en el 80-100% de los machos en la mayoría de los países de la Unión Europea, dejando sólo un pequeño número intacto, equivalente

a aproximadamente 25 millones por año. No obstante, en Reino Unido, Irlanda y Australia, casi todos los cerdos se dejan intactos; de mismo modo que en Portugal, España y Grecia, en un gran porcentaje (Fredriksen & Hexeberg, 2009). Los Países Bajos también han aumentado la producción de cerdos macho enteros, así en 2012 alrededor del 50% de los cerdos macho no fueron castrados (van Wagenberg et al., 2013).

Las ventajas de los cerdos macho intactos se pueden encontrar en las características del canal y de la producción, que difieren de aquellos animales castrados. Aluwé et al. (2015) informaron mejores ganancias y porcentaje de carne de cerdos macho enteros, pero ninguna diferencia en la ganancia diaria promedio. Sin embargo, las investigaciones han demostrado un menor rendimiento en canal. De Roest et al. (2009) citan una mayor tasa de crecimiento de machos enteros de hasta el 13%, una disminución en el consumo de alimento de alrededor del 9%, una tasa de conversión alimenticia más eficiente de hasta un 14% e incluso un depósito de tejido muscular de más del 20%, en comparación con los animales castrados. Esto puede ser más beneficioso para el productor, ya que hay menores costos de producción y de alimentación, resultando en productos (carne) más saludables, desde el punto de vista dietético.

Las desventajas asociadas con la producción de cerdos macho enteros fueron reportadas por Lundström et al. (2009), quienes afirman que existe una mayor frecuencia de

peleas dependiendo de las condiciones previas al sacrificio (mezcla durante el transporte y/o estabulación antes del sacrificio), provocando daños en la canal y desarrollo de carne dura, seca y oscura (DFD). Los machos enteros suelen presentar cambios en la composición de la grasa y una menor cantidad de tejido adiposo, lo que puede suponer una desventaja para la industria procesadora. Además, la mayor prevalencia del olor sexual tiene un impacto importante en la calidad de la carne y el valor económico (Ulloa, 2018).

Asimismo, sobre las características del canal, Bonneau (1998) informa que la pérdida de nitrógeno en el estiércol es menor en machos intactos que en machos castrados debido a la reducción de la ingesta de alimentos y a una mejor eficiencia en la retención de nitrógeno; reduciendo la excreción de contaminantes, lo que puede ser beneficioso para un sistema de producción más limpio.

Cambios fisiológicos y efectos sobre el comportamiento. El aumento de la agresividad en cerdos macho intactos puede generar cambios fisiológicos en los animales, provocando cambios en el comportamiento (dificultando el manejo), provocando un aumento de la frecuencia cardíaca, que a su vez desencadenará también cambios en la frecuencia respiratoria, el pH y las concentraciones de oxígeno y dióxido de carbono en la sangre, lo que provoca estrés (Vela, 2012).

El comportamiento agresivo en los cerdos engeneral sepuede definir como comportamientos específicos de cada especie asociados con amenazas, presiones, empujones, arremetidas y mordiscos. Normalmente se dirige hacia la región del hombro y la cabeza, y se realiza en paralelo o antiparalelo (Hagelsø & Studnitz, 1996). La agresión se considera un rasgo bastante estable de los cerdos individuales, lo que significa que los cerdos expresan diferencias de personalidad en su tendencia a mostrar un comportamiento agresivo (Clark & D'Eath, 2013). La frecuencia del comportamiento depende en gran medida del entorno de los animales (sistema y manejo), se ha encontrado que diferentes factores afectan el nivel de comportamiento agresivo en un grupo de cerdos, tales como recursos limitados (por ejemplo, alimenticios), agrupación (formación de jerarquía), densidad y tamaño del grupo (Street & Gonyou, 2008).

El comportamiento agresivo es un importante indicador de bienestar, especialmente cuando se trata de cerdos macho intactos. Altos niveles de agresión pueden afectar el bienestar de los animales, generando sentimientos negativos como miedo, agotamiento o dolor. Además, puede provocar reacciones de estrés, provocar lesiones cutáneas y, en casos extremos, la muerte (Velarde & Geers, 2007).

Con el estrés se produce una activación del sistema nervioso simpático y del eje hipotalámico-pituitario-suprarrenal, lo que conduce a un aumento de la adrenalina y el cortisol en sangre.

Este proceso dará como resultado un aumento en la concentración de glucosa plasmática, que ocurre debido a la glucogenólisis hepática y al catabolismo proteico (Shaw & Tume, 1992). El efecto final de estos cambios metabólicos es estabilizar los niveles séricos de glucosa y almacenar glucógeno para obtener energía (Lehninger et al., 2002).

En situaciones de estrés intenso se puede producir agotamiento muscular, resultante de la intensa degradación del glucógeno muscular, formando grandes cantidades de ácido láctico que puede ser liberado al torrente circulatorio. Además, se producirá liberación de catecolaminas y aumentó de la actividad enzimática como respuesta al miedo o la excitación, provocando una glucogenólisis rápida (Shaw & Tume, 1992). Por tanto, el análisis de las concentraciones de lactato en sangre es una herramienta importante para evaluar el estrés en los cerdos.

Olor sexual. El procedimiento de castración se lleva a cabo principalmente para evitar el olor sexual masculino. Al conservar cerdos macho enteros, el riesgo de la prevalencia de este defecto es significativamente mayor (Fàbrega et al., 2009). Esta condición corresponde a un olor desagradable que se percibe frecuentemente durante la cocción de la carne y que también puede afectar el sabor; lo anterior asociado a altas concentraciones de androsterona (5- α -androsteron-16-ene-3-one) y escatol (3-metil-indol) en el tejido adiposo de cerdos machos intactos (Babol et al., 1995). La

androsterona tiene un olor a orina definido y el escatol tiene un olor fecal intenso (Bonneau et al., 2000).

El escatol se produce en el tracto gastrointestinal por degradación microbiana del aminoácido triptófano, proveniente de proteínas dietéticas o endógenas (Xue & Dial, 1997; Claus et al., 1994). La cantidad producida está regulada principalmente por la disponibilidad de triptófano, la composición y la actividad de las bacterias intestinales involucradas en el proceso de degradación (Zamaratskaia & Squires, 2009). En el tracto gastrointestinal, el escatol se absorbe a través de la pared intestinal hacia la sangre, donde una parte será transportada a través de la vena porta hasta el hígado para generar un proceso metabólico, para posteriormente ser excretado por el riñón. El escatol no absorbido se excreta directamente a través de las heces (Zamaratskaia & Squires, 2009).

El proceso del metabolismo del escatol incluye dos fases que involucran diferentes enzimas hepáticas, de las cuales se identificó al citocromo P4502E1 (CYP2E1) como la principal responsable de este proceso (Rasmussen et al., 2011). El escatol que no se degrada en el hígado se deposita en el tejido adiposo provocando el olor sexual (Zamaratskaia & Squires, 2009). Xue & Dial (1997) afirman que el 87% del escatol disponible producido en el tracto gastrointestinal se absorbe a través de la pared intestinal y se transporta al hígado; mientras que el 13% restante está

contenido en las heces. El escatol se produce en machos, castrados y hembras intactas, pero se sugiere que el proceso de degradación y la tasa de eliminación son menores en los cerdos machos que, en las hembras, lo que resulta en niveles más altos en los cerdos intactos en comparación con los castrados (Babol et al., 2004).

Debido al proceso de síntesis de escatol, se considera principalmente que el compuesto se ve afectado por las condiciones ambientales (Babol et al., 1995), principalmente debido a la alimentación (Hansen et al., 2006; 2008). Sin embargo, el escatol también está relacionado con el peso vivo del animal (Zamaratskaia et al., 2005), y a variaciones entre razas (Babol et al., 2004).

La androsterona es una hormona esteroide sintetizada en los testículos de los cerdos, más concretamente en las células de Leydig (Hernandez, 2011; Zamaratskaia & Squires, 2009). La producción está controlada por la LH, que a su vez depende de GnRH (Zamaratskaia & Squires, 2009). Su biosíntesis es baja en machos jóvenes y aumenta gradualmente, junto con otros esteroides testiculares, en la madurez sexual, convirtiendo la pubertad en un aspecto central en el proceso de regulación (Babol et al., 1995; Zamaratskaia & Squires, 2009).

Desde los testículos, la androsterona se libera a la circulación sistémica a través de la vena espermática, siendo transportada y almacenada en el tejido adiposo o transportada a las glándulas salivales, donde funciona como feromona (Xue

& Dial, 1997). Otra parte de la androsterona se metaboliza en el hígado mediante diferentes enzimas y se excreta a través de la orina (Zamaratskaia & Squires, 2009).

Los niveles de androsterona están relacionados principalmente con la edad y la etapa de madurez sexual, como también ocurre con otros esteroides testiculares (Babol et al., 1995). Así, se ha sugerido el sacrificio de animales jóvenes y de bajo peso como estrategia para reducir la frecuencia de cadáveres con olor sexual (Aluwé et al., 2011; Fàbrega et al., 2011). Sin embargo, las correlaciones entre el peso al sacrificio y los niveles de androsterona no siempre son significativas, debido al mayor efecto de la madurez sexual sobre el propio peso al sacrificio.

Como la concentración de androsterona en la grasa depende de factores genéticos, que median la alta heredabilidad, se sugirió la selección genética como un medio eficaz para reducir los niveles de androsterona (Zamaratskaia & Squires, 2009; Winding et al., 2012). Además, otros factores como la raza pueden influir en la concentración de androsterona en la grasa, así como en los niveles de escatol, siendo la raza Landrace la que tiene las concentraciones más bajas en grasa; en tanto que, las razas Hampshire y Duroc tienen niveles más altos de androsterona en comparación con Yorkshire y Landrace (Xue & Dial, 1996).

La relación entre androsterona y escatol se ha discutido en la literatura, pero aún no existe una aclaración definitiva. La androsterona, cuyos

niveles aumentan durante la pubertad, muestra una relación intrínseca con los niveles de escatol, que también coinciden con el momento de la pubertad (Babol et al., 2004; Zamaratskaia et al., 2005). Zamaratskaia et al. (2005) sugirieron una asociación entre escatol y androstenona, y Zamaratskaia & Squires (2009) encontraron una correlación positiva entre estos compuestos. Por otra parte, Babol et al. (1999) observaron que niveles elevados de esteroides sexuales, incluida la androsterona, reducen el metabolismo y la posterior eliminación del escatol, lo que da lugar a niveles elevados de escatol en la grasa de los animales. Doran et al. (2002) y Rasmussen et al. (2011) informan que una de las principales enzimas (CYP2E1) involucradas en el metabolismo hepático del escatol puede inhibirse con concentraciones más altas de androsterona; mientras que los niveles bajos de citocromo P4502E1 (CYP2E1) en el hígado pueden provocar una disminución del metabolismo y la eliminación del escatol como documentaron Squires & Lundström (1997).

Conclusiones

La inmunocastración es un procedimiento inmunológico, donde se generan anticuerpos contra la GnRH, suprimiendo temporalmente las funciones testiculares y evitando el olor sexual en la carne de los cerdos inmunocastrados. Frente a esto la inmunocastración en cerdos es una alternativa práctica y segura para reemplazar procedimientos invasivos como lo es las castraciones que se realizan con métodos quirúrgicos, sin embargo, su aplicación aún es escasa, pues su aceptación, introducción y difusión pueden generar incertidumbres y resistencia por parte de los productores del gremio porcino.

Referencias bibliográficas

- Aldal, I., Andresen, Ø., Egeli, A. K., Haugen, J.-E., Grødum, A., Fjetland, O., & Eikaas, J. L. H. (2005). Levels of androstenone and skatole and the occurrence of boar taint in fat from young boars. *Livestock Production Science*, 95(1–2), 121–129. <https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2004.12.010>
- Aluwé, M., Millet, S., Bekaert, K. M., Tuytens, F. A. M., Vanhaecke, L., De Smet, S., & De Brabander, D. L. (2011). Influence of breed and slaughter weight on boar taint prevalence in entire male pigs. *Animal: An International Journal of Animal Bioscience*, 5(8), 1283–1289. <https://doi.org/10.1017/s1751731111000164>
- 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: An International Journal of Animal Bioscience*, 9(3), 500–508. <https://doi.org/10.1017/s1751731114002894>
- Babol, J., Squires, E. J., & Gullett, E. A. (1995). Investigation of factors responsible for the development of boar taint. *Food Research International (Ottawa, Ont.)*, 28(6), 573–581. [https://doi.org/10.1016/0963-9969\(95\)00042-9](https://doi.org/10.1016/0963-9969(95)00042-9)
- Babol, J., Squires, E. J., & Lundström, K. (1999). Relationship between metabolism of androstenone and skatole in intact male pigs. *Journal of Animal Science*, 77(1), 84. <https://doi.org/10.2527/1999.77184x>
- Babol, J., Zamaratskaia, G., Juneja, R. K., & Lundström, K. (2004). The effect of age on distribution of skatole and indole levels in entire male pigs in four breeds: Yorkshire, Landrace, Hampshire and Duroc. *Meat Science*, 67(2), 351–358. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2003.11.008>
- Bonneau, M. (1998). Use of entire males for pig meat in the European Union. *Meat Science*, 49, S257–S272. [https://doi.org/10.1016/s0309-1740\(98\)90053-5](https://doi.org/10.1016/s0309-1740(98)90053-5)
- Bonneau, M., Kempster, A. J., Claus, R., Claudi-Magnussen, C., Diestre, A., Tornberg, E., Walstra, P., Chevillon, P., Weiler, U., & Cook, G. L. (2000). An international study on the importance of androstenone and skatole for boar taint: I. Presentation of the programme and measurement of boar taint compounds with different analytical procedures. *Meat Science*, 54(3), 251–259. [https://doi.org/10.1016/s0309-1740\(99\)00102-3](https://doi.org/10.1016/s0309-1740(99)00102-3)
- Čandek-Potokar, M., Škrlep, M., & Zamaratskaia, G. (2017). Immunocastration as Alternative to Surgical Castration in Pigs. *InTech*, 6, 109-126. doi: 10.5772/intechopen.68650
- Clark, C. C. A., & D'Eath, R. B. (2013). Age over experience: Consistency of aggression

- and mounting behaviour in male and female pigs. *Applied Animal Behaviour Science*, 147(1–2), 81–93. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2013.04.014>
- 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)
- Cronin, G. M., Dunshea, F. R., Butler, K. L., McCauley, I., Barnett, J. L., & Hemsworth, P. H. (2003). The effects of immuno- and surgical-castration on the behaviour and consequently growth of group-housed, male finisher pigs. *Applied Animal Behaviour Science*, 81(2), 111–126. [https://doi.org/10.1016/s0168-1591\(02\)00256-3](https://doi.org/10.1016/s0168-1591(02)00256-3)
- de Roest, K., Montanari, C., Fowler, T., & Baltussen, W. (2009). Resource efficiency and economic implications of alternatives to surgical castration without anaesthesia. *Animal: An International Journal of Animal Bioscience*, 3(11), 1522–1531. <https://doi.org/10.1017/s1751731109990516>
- Doran, E., Whittington, F. W., Wood, J. D., & McGivan, J. D. (2002). Cytochrome P450IIE1 (CYP2E1) is induced by skatole and this induction is blocked by androstenone in isolated pig hepatocytes. *Chemico-Biological Interactions*, 140(1), 81–92. [https://doi.org/10.1016/s0009-2797\(02\)00015-7](https://doi.org/10.1016/s0009-2797(02)00015-7)
- Dunshea, F. R., Colantoni, C., Howard, K., McCauley, I., Jackson, P., Long, K. A., Lopaticki, S., Nugent, E. A., Simons, J. A., Walker, J., & Hennessy, D. P. (2001). Vaccination of boars with a GnRH vaccine (Improvac) eliminates boar taint and increases growth performance. *Journal of Animal Science*, 79(10), 2524. <https://doi.org/10.2527/2001.79102524x>
- European Commission. (2010). European Declaration on alternatives to surgical castration of pigs. https://food.ec.europa.eu/system/files/2016-10/aw_prac_farm_pigs_cast-alt_declaration_en.pdf
- European Medicines Agency (EMA). (2010). EPAR - Scientific Discussion. https://www.ema.europa.eu/en/medicines/what-we-publish-medicines-and-when/european-public-assessment-reports-background-and-contexthttps://www.ema.europa.eu/en/documents/scientific-discussion/Improvac-epar-scientificdiscussion_en.pdf
- Fàbrega, E., Gispert, M., Tibau, J., Hortós, M., Oliver, M. A., & Furnols, M. F. i. (2011). Effect of housing system, slaughter weight and slaughter strategy on carcass and meat quality, sex organ development and androstenone and skatole levels in Duroc finished entire male pigs. *Meat Science*, 89(4), 434–439. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.05.009>

- Fàbrega, E., Soler, J., Cros, J., Grispart, M., Tibau, J., & Velarde, A. (2009). Resultados de diversas alternativas a la castración quirúrgica en cerdos. *Suis*, 59, 26-34. https://recercat.cat/bitstream/id/16479/Fabrega_2009.pdf
- Figueroa Rodríguez, J. S. (2020). Evaluación de la ganaciadepeso encerdosinmunocastrados y cerdos castrados quirurgicamente en el municipio de Ocamonte Santander [Trabajo de Grado Pregrado, Universidad de Pamplona]. Repositorio Hualago Universidad de Pamplona. <http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/handle/20.500.12744/931>
- Fredriksen, B., & Hexeberg, C. (2009). The effect of removing animals for slaughter on the behaviour of the remaining male and female pigs in the pen. *Research in Veterinary Science*, 86(2), 368–370. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2008.06.005>
- Hagelsø Giersing, M., & Studnitz, M. (1996). Characterization and investigation of aggressive behaviour in the pig. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A Animal Science*, v.27, p.56-60.
- Hansen, L. L., Mejer, H., Thamsborg, S. M., Byrne, D. V., Roepstorff, A., Karlsson, A. H., ... Tuomola, M. (2006). Influence of chicory roots (*Cichorium intybus* L) on boar taint in entire male and female pigs. *Animal Science*, 82(3), 359–368. doi:10.1079/ASC200648
- Hansen, L.L., Stolzenbach, S., Jensen, J. A., Henckel, P., Hansen-Møller, J., Syriopoulos, K., & Byrne, D. V. (2008). Effect of feeding fermentable fibre-rich feedstuffs on meat quality with emphasis on chemical and sensory boar taint in entire male and female pigs. *Meat Science*, 80(4), 1165–1173. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.05.010>
- Harper A. (2008). Castration of pigs. Virginia Cooperative Extension Newsletter Archive [Internet]. https://www.sites.ext.vt.edu/newsletter-archive/livestock/aps-08_01/aps-0111.html
- Hernández, J. (2011). Métodos para evitar el olor sexual en el cerdo macho. Recuperado el 2012. de *Revista Venezolana Porcina*, (65), 90.
- Hernández, J. (2011). Métodos para evitar el olor sexual en el cerdo macho. *Revista Venezolana Porcina*, (65).
- Kress, K., Millet, S., Labussière, É., Weiler, U., & Stefanski, V. (2019). Sustainability of pork production with immunocastration in Europe. *Sustainability*, 11(12), 3335. <https://doi.org/10.3390/su11123335>
- Lehninger, A. L., Lee, N. D., Cox, M. M., Simões, A. A., & Lodi, W. R. N. (2002). *Lehninger Principios De Bioquímica* (3. ed). Sarvier. <https://search.worldcat.org/es/title/lehninger-principios-de-bioquimica/oclc/55922965>

- Lessard, M., Taylor, A. A., Braithwaite, L., & Weary, D. M. (2002). Humoral and cellular immune responses of piglets after castration at different ages. *Canadian Journal of Animal Science*, 82(4), 519–526. <https://doi.org/10.4141/a02-011>
- Lundström, K., Matthews, K. R., & Haugen, J.-E. (2009). Pig meat quality from entire males. *Animal: An International Journal of Animal Bioscience*, 3(11), 1497–1507. <https://doi.org/10.1017/s1751731109990693>
- 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)
- nHay, 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)
- Oonk, H. B., Turkstra, J. A., Lankhof, H., Schaaper, W. M. M., Verheijden, J. H. M., & Meloen, R. H. (1995). Testis size after immunocastration as parameter for the absence of boar taint. *Livestock Production Science*, 42(1), 63–71. [https://doi.org/10.1016/0301-6226\(94\)00070-n](https://doi.org/10.1016/0301-6226(94)00070-n)
- Pérez Restrepo, M. I. (2018). Beneficios de la Inmunocastración sobre la Castración Quirúrgica, en la Calidad de la Canal en Cerdos de Engorde Beneficiados en FrigoColanta. [Trabajo de Grado Pregrado]. Corporación Universitaria Lasallista <http://hdl.handle.net/10567/2260>
- 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 (South Mimms, England)*, 15(3), 277–289. <https://doi.org/10.1017/s0962728600030487>
- Prunier, A., Mounier, A. M., & Hay, M. (2005). Effects of castration, tooth resection, or tail docking on plasma metabolites and stress hormones in young pigs¹. *Journal of Animal Science*, 83(1), 216–222. <https://doi.org/10.2527/2005.831216x>
- Rasmussen, M. K., Zamaratskaia, G., & Ekstrand, B. (2011). *in vitro* cytochrome P450 2E1 and 2A activities in the presence of testicular steroids. *Zuchthygiene [Reproduction in Domestic Animals]*, 46(1), 149–154. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2010.01613.x>
- Shaw, F. D., & Tume, R. K. (1992). The assessment of pre-slaughter and slaughter treatments of livestock by measurement of plasma

constituents—A review of recent work. *Meat Science*, 32(3), 311–329. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(92\)90095-I](https://doi.org/10.1016/0309-1740(92)90095-I)

Squires, E. J., & Lundström, K. (1997). Relationship between cytochrome P450IIE1 in liver and levels of skatole and its metabolites in intact male pigs. *Journal of Animal Science*, 75(9), 2506. <https://doi.org/10.2527/1997.7592506x>

Street, B. R., & Gonyou, H. W. (2008). Effects of housing finishing pigs in two group sizes and at two floor space allocations on production, health, behavior, and physiological variables¹. *Journal of Animal Science*, 86(4), 982–991. <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0449>

Sutherland, M. A., Davis, B. L., Brooks, T. A., & Coetzee, J. F. (2012). The physiological and behavioral response of pigs castrated with and without anesthesia or analgesia¹. *Journal of Animal Science*, 90(7), 2211–2221. <https://doi.org/10.2527/jas.2011-4260>

Turkstra, J. A., Zeng, X. Y., van Diepen, J. T. M., Jongbloed, A. W., Oonk, H. B., van de Wiel, D. F. M., & Melen, R. H. (2002). Performance of male pigs immunized against GnRH is related to the time of onset of biological response¹. *Journal of Animal Science*, 80(11), 2953–2959. <https://doi.org/10.2527/2002.80112953x>

Ulloa Zhicay, T. J. (2018). Evaluación de dos

métodos de castración en los parámetros productivos en cerdos mestizos. [Trabajo de Grado Pregrado]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Macas. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/8795>

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: An International Journal of Animal Bioscience*, 7(11), 1841–1848. <https://doi.org/10.1017/s1751731113001328>

Vela Girón, Á. M. (2012). Efecto de la Inmunocastración y Castración Quirúrgica en los Parámetros Productivos de Cerdos. [Trabajo de Grado Pregrado]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/2157>

Velarde, A., & Geers, R. (Eds.). (2007). On farm monitoring of pig welfare. Brill | Wageningen Academic. <https://doi.org/10.3920/978-90-8686-591-8>

Villarroel Román, N. V. (2016). Evaluación de una vacuna experimental para inmunocastración en machos porcinos de criadero. [Trabajo de Grado Pregrado]. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/140662>

- Viscarra Vásconez, J. A. (2021). Análisis comparativo de la inmunocastración (GnRF) y castración quirúrgica en el rendimiento productivo en cerdos de engorde. [Trabajo de Grado Pregrado]. Universidad Técnica de Babahoyo. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/9373>
- von Borell, E., Baumgartner, J., Giersing, M., Jägglin, N., Prunier, A., Tuytens, F. A. M., & Edwards, S. A. (2009). Animal welfare implications of surgical castration and its alternatives in pigs. *Animal: An International Journal of Animal Bioscience*, 3(11), 1488–1496. <https://doi.org/10.1017/s1751731109004728>
- Weary, D. M., Braithwaite, L. A., & Fraser, D. (1998). Vocal response to pain in piglets. *Applied Animal Behaviour Science*, 56(2–4), 161–172. [https://doi.org/10.1016/s0168-1591\(97\)00092-0](https://doi.org/10.1016/s0168-1591(97)00092-0)
- Windig, J. J., Mulder, H. A., ten Napel, J., Knol, E. F., Mathur, P. K., & Crump, R. E. (2012). Genetic parameters for androstenone, skatole, indole, and human nose scores as measures of boar taint and their relationship with finishing traits¹. *Journal of Animal Science*, 90(7), 2120–2129. <https://doi.org/10.2527/jas.2011-4700>
- Xue, J., Dial, G.D. (1997). Raising intact male pigs for meat: Detecting and preventing boar taint. *Swine Health and Production*, 5(4), 151–158.
- Zamaratskaia, G., & Squires, E. J. (2009). Biochemical, nutritional and genetic effects on boar taint in entire male pigs. *Animal: An International Journal of Animal Bioscience*, 3(11), 1508–1521. <https://doi.org/10.1017/s1751731108003674>
- Zamaratskaia, G., Babol, J., Andersson, H. K., Andersson, K., & Lundström, K. (2005). Effect of live weight and dietary supplement of raw potato starch on the levels of skatole, androstenone, testosterone and oestrone sulphate in entire male pigs. *Livestock Production Science*, 93(3), 235–243. <https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2004.10.007>
- Zammerini, D., Panella-Riera, N., Tarsitano, M. A., Borrissier, F., Olivares, A., Garrido, M. D., ... & Oliver, M. A. (2013). Prevalencia de olor sexual en cerdos machos enteros españoles. Resultados preliminares con la técnica "human nose". DIALNET. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8728217>
- Zeng, X. Y., Turkstra, J. A., Jongbloed, A. W., van Diepen, J. T. M., Melen, R. H., Oonk, H. B., Guo, D. Z., & van de Wiel, D. F. M. (2002). Performance and hormone levels of immunocastrated, surgically castrated and intact male pigs fed ad libitum high- and low-energy diets. *Livestock Production Science*, 77(1), 1–11. [https://doi.org/10.1016/s0301-6226\(02\)00024-6](https://doi.org/10.1016/s0301-6226(02)00024-6)