



Reseña

La castración inmunológica de los cerdos machos: estado actual

Immunological castration of male pigs: current status

Roberto Basulto Baker ^{1*} <https://orcid.org/0000-0002-1966-120X>

¹ Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología (CIGB), CP 70100, Apdo. 387, Camagüey, Cuba.

¹ Autor para la correspondencia: roberto.basulto@cigb.edu.cu

RESUMEN

Antecedentes: La ceba de los cerdos enteros tiene las desventajas del olor sexual en la carne y los problemas de bienestar por el comportamiento agresivo y la monta. La castración quirúrgica reduce estos comportamientos y facilita el manejo, incrementa el peso, mejora las cualidades de la carne y la libera de olor y sabor a verraco. Sin embargo, es una práctica polémica ya que causa heridas, dolor, estrés, somete a los animales a riesgos por infecciones, inflamaciones crónicas y complicaciones post-operatorias. **Objetivo.** Examinar el estado actual de la inmunocastración como alternativa viable a la castración quirúrgica de los cerdos machos.

Desarrollo: La inmunocastración es una opción segura, comercialmente factible, amigable con el bienestar animal y viable para la producción sostenible de cerdos, pues favorece la calidad de la carne, la rentabilidad económica y la protección del medio ambiente. Sin embargo, su aplicación es insuficiente, excepto en Australia, Brasil y Nueva Zelanda y predomina la castración quirúrgica en la mayoría de los países.

Conclusiones: La inmunocastración es una tecnología relativamente reciente, su aceptación, introducción y extensión pueden generar incertidumbres y resistencia por parte de los diferentes actores de la cadena de producción porcina. Esta práctica demanda de los productores mayor disciplina tecnológica para obtener los beneficios esperados. La extensión de su uso requiere su aprobación por todas las partes interesadas que integran la cadena de producción, además, mercados que demanden la carne de estos cerdos y de actores dispuestos a comercializarla.

Palabras claves: cerdos, GnRH, inmunocastración, vacunas peptídicas (*Fuente: MeSH*)

Como citar (APA)

Basulto Baker, R. (2020). La castración inmunológica de los cerdos machos: estado actual. *Revista de Producción Animal*, 32(3). <https://revistas.reduc.edu.cu/index.php/rpa/article/view/e3527>



©El (los) autor (es), Revista de Producción Animal 2020. Este artículo se distribuye bajo los términos de la licencia internacional Attribution-NonCommercial 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), asumida por las colecciones de revistas científicas de acceso abierto, según lo recomendado por la Declaración de Budapest, la que puede consultarse en: Budapest Open Access Initiative's definition of Open Access.

Recibido: 2/7/2020;

Aceptado: 25/7/2020;

INTRODUCCIÓN

La castración quirúrgica de los cerdos se realiza desde los años 4000 a 3000 antes de Cristo (Zamaratskaia y Rasmussen, 2015). Los cerdos frecuentemente se castran, antes de los 7 días de edad (Kress, Millet, Labussière, Weiler y Stefanski, 2019), para incrementar su peso, mejorar las cualidades de su carne, facilitar su manejo y eliminar la cría promiscua. También disminuye el riesgo de sabor a verraco en su carne, con la reducción de los contenidos de androstenona (esteroide gonadal) y escatol (producto de la degradación intestinal del triptófano) en el tejido graso (Čandek-Potokar, Škrlep y Zamaratskaia, 2017).

Sin embargo, esta es una práctica controversial en términos de la salud y el bienestar animal (Kress *et al.*, 2019). Los lechones responden a la castración quirúrgica con vocalizaciones específicas (Von Borell *et al.*, 2009) y comportamientos indicativos de dolor (Kress *et al.*, 2019). Después de la castración, aumentan los niveles de cortisol, hormona adrenocorticotrópica (ACTH, por sus siglas en inglés) y lactato, indicadores fisiológicos del estrés (Prunier, Mournier y Hay, 2005). La castración quirúrgica causa heridas (Kress *et al.*, 2019), es irreversible y somete a los animales a riesgos por infecciones, inflamaciones crónicas y complicaciones post-operatorias (Giersing, Ladewig y Forkman, 2006) que derivan en retraso en la producción y pérdidas económicas (Čandek-Potokar, Škrlep y Zamaratskaia, 2017). Además, en la primera semana de vida, la mortalidad es mayor en los cerdos castrados por vía quirúrgica que en los cerdos sin castrar o enteros (6,3 % vs. 3,6 %) (Morales *et al.*, 2017).

Los cerdos castrados quirúrgicamente consumen en total entre 10 y 15 % más alimento para producir la misma cantidad de carne, y excretan casi 15 % más nitrógeno comparados con los cerdos enteros. Esto resulta en un incremento en los costos de alimentación e impacto ambiental (Lundström, Matthews y Haugen, 2009). Además, aumenta las pérdidas económicas por el elevado contenido de grasa en la canal (Bonneau y Weiler, 2019).

La Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE, 2019) recomienda que esta intervención debe realizarse sólo cuando sea necesaria, de tal modo que se minimice cualquier dolor, estrés o sufrimiento del animal. Entre las opciones que ofrece la OIE para fortalecer el bienestar animal están el empleo de machos adultos sin castrar o inmunocastrados, en lugar de castrados quirúrgicamente. La Declaración Europea sobre alternativas a la castración quirúrgica de los cerdos estipula que a partir de 2018 esta se eliminará por completo (EC, 2010).

Una alternativa mínimamente invasiva y atractiva a la castración quirúrgica es la inmunización activa contra la hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH, por sus siglas en inglés) de

mamíferos (GnRH I), también llamada inmunocastración o castración inmunológica (Zamaratskaia y Rasmussen, 2015). Este procedimiento emplea el sistema inmune de los cerdos para generar anticuerpos contra la GnRH I. Estos suprimen temporalmente las funciones testiculares y evitan el olor sexual en la carne de los cerdos inmunocastrados (EMA, 2010).

Esta revisión examina el estado actual de la inmunocastración como alternativa viable a la castración quirúrgica de los cerdos machos.

DESARROLLO

GnRH de mamíferos o GnRH I

La GnRH u hormona liberadora de la hormona luteinizante (LHRH, por sus siglas en inglés) es una molécula clave en el control de la reproducción de los mamíferos (Whitlock, Postlethwait y Ewer, 2019). La GnRH de mamíferos, designada GnRH I (pGlu-His-Trp-Ser-Tyr-Gly-Leu-Arg-Pro-GlyNH₂) se aísla por vez primera a partir de hipotálamos de cerdos (Matsuo, Baba, Nair, Arimura y Schally, 1971). Este péptido está estructuralmente conservado en todas las especies de mamíferos, en el tamaño (10 amino ácidos) y en los dominios amino (pGlu-His-Trp-Ser) y carboxilo terminal (Pro-Gly.NH₂) (Millar, Pawson, Morgan, Rissman y Lu, 2008).

Regulación del eje hipotálamo-hipófisis-gónadas por la GnRH I

La GnRH I es procesada en las neuronas hipotalámicas a partir de un polipéptido precursor y transportada por los axones hacia los pequeños vasos sanguíneos de la zona externa de la eminencia media. Este péptido se libera en forma de pulsos sincronizados de las terminaciones nerviosas de las neuronas, en el sistema portal hipofisiario. Los vasos sanguíneos que irrigan a la hipófisis anterior, le permiten a la GnRH I llegar hasta allí. En la hipófisis, la GnRH I se une a sus receptores presentes en las células gonadotrópicas para estimular la liberación en la circulación sanguínea de la hormona folículo estimulante (FSH, por sus siglas en inglés) y la hormona luteinizante (LH, por sus siglas en inglés) (Whitlock, Postlethwait y Ewer, 2019).

En los cerdos, la LH estimula la síntesis y secreción de los andrógenos (testosterona y dihidrotestosterona) por las células de Leydig. La testosterona actúa sobre las células de Sertoli y es necesaria para que ocurra la espermatogénesis. Además, la testosterona ejerce un efecto de retroalimentación negativa sobre la secreción de la LH mediante la supresión de la descarga pulsátil de la GnRH I por el hipotálamo. La secreción de la LH también está controlada por otras hormonas como la dopamina y la prolactina (Čandek-Potokar, Škrlep y Zamaratskaia, 2017). La FSH actúa directamente en los túbulos seminíferos de los testículos (células germinales y células de Sertoli) y estimula el inicio de la espermatogénesis, mientras que, en adultos, junto con la

testosterona, puede mantener la producción de esperma. Las células de Sertoli producen inhibina que ejerce un efecto de retroalimentación negativa sobre la secreción de FSH por la hipófisis. En los cerdos la hormona de crecimiento también estimula la maduración funcional de las células de Sertoli. Las hormonas tiroideas juegan un papel crucial en el desarrollo normal de los testículos, tanto de las células de Sertoli como las de Leydig (Čandek-Potokar, Škrlep y Zamaratskaia, 2017). La interrelación entre las hormonas producidas por la hipófisis anterior y las gónadas junto a la acción del hipotálamo, desencadenan el comportamiento (monta, agresión, etc.), los caracteres y función sexual, incluida la libido en ambos sexos.

La GnRH I: molécula diana para manipular el eje hipotálamo-hipófisis-gónadas

La manipulación del eje hipotálamo-hipófisis-gónadas centrada en la GnRH I es una herramienta potencial para bloquear la función gonadal en los mamíferos machos y hembras, con el fin de retrasar la pubertad, evitar comportamientos sexuales y agresivos y los olores desagradables en las carnes. Además, se emplea para producir la infertilidad, tratar enfermedades relacionadas con la reproducción y las dependientes de esteroides gonadales, como el cáncer de próstata, cáncer de mama y la endometriosis (Rosenfield y Pizzutto, 2018).

El objetivo de la inmunocastración consiste en desactivar las funciones testiculares y afectar el comportamiento masculino al neutralizar el eje hipotálamo-hipófisis-gónadas. La inmunización activa contra la GnRH I incluye la inyección de un análogo de la GnRH I, que se conjuga a una proteína foránea y combina con un adyuvante (Heegaard, Fang y Jungersen, 2016) para iniciar la formación de anticuerpos que neutralicen la acción de la GnRH I endógena (Zamaratskaia y Rasmussen, 2015). La GnRH I es un hapteno y un antígeno propio. Entre las estrategias para obtener anticuerpos contra esta molécula están generar una o múltiples copias de péptidos análogos de GnRH I que sean vistos como no propios por el sistema inmune. Estos péptidos deben acoplarse a proteínas transportadoras como: el toxoide tetánico, toxoide de la difteria o sus epítopos sintéticos T cooperadores, hemocianina de la lapa californiana (KLH, por sus siglas en inglés), ovoalbúmina (OVA, por sus siglas en inglés) (Gupta y Minhas, 2017) y albúmina de suero bovino (BSA, por sus siglas en inglés).

Vacunas comerciales para la inmunocastración de los cerdos

En la actualidad, Improvac[®] y sus marcas globales relacionadas: Improvest[®] (EE.UU. y Canadá), Vivax[®] e Innosure[®], están disponibles para la inmunocastración de los cerdos (Kress *et al.*, 2019). Esta vacuna se desarrolló en Australia (CSL Limited, Parkville, Victoria, Australia) y es actualmente producida por Zoetis Inc. (antes por Pfizer Ltd.). Su uso se aprueba en Australia y Nueva Zelanda en 1998 para prevenir el olor sexual en la carne de los cerdos.

El ingrediente farmacéutico activo de Improvac[®] es un péptido análogo incompleto de la GnRH I que se conjuga al toxoide de la difteria y adyuva con el dietil amino etilo (DEAE)-Dextrano (McNamara, 2014).

Una vacuna similar, Ceva Valora[®], que contiene tres péptidos sintéticos como inmunógeno es comercializada por Ceva Animal Health. En esta, la GnRH está covalentemente unida en su extremo N terminal a secuencias de células T cooperadoras. Sin embargo, esta vacuna aún no está disponible en el mercado europeo (EC, 2019).

Efectos de la inmunocastración en cerdos

Vacunación con Improvac[®]

A los cerdos se les vacuna con Improvac[®] dos veces, por vía subcutánea en la base del cuello, justo detrás de la oreja. La primera dosis se administra después de las ocho semanas de edad y la segunda como mínimo cuatro semanas después de la primera dosis y entre cuatro y seis semanas antes del sacrificio (EC, 2019). Cuando la persona que vacuna está bien entrenada y aplica correctamente las dos dosis de Improvac[®], casi el 100 % de los animales responden adecuadamente y apenas el 0,3 % requiere una tercera vacunación. La mayoría de estos casos se debe a la no aplicación de la vacuna (EC, 2019). Un reciente estudio de Kress *et al.* (2020) concluye que una cuidadosa aplicación de esta vacuna garantiza resultados confiables, aún bajo diferentes condiciones de alojamiento de los cerdos.

Los cerdos que se ceban por un período de tiempo mayor (que se sacrifican a los 14 meses de edad), podrían requerir un régimen de vacunación de tres dosis para asegurar la inactivación eficiente de la GnRH endógena y la eliminación del olor a verraco. Esta tercera dosis se aplica a partir de las 10 semanas posteriores a la segunda dosis y entre 4 y 6 semanas antes de la fecha planificada para el sacrificio (EC, 2019).

La inmunocastración se realiza en el período de finalización para aprovechar todo el potencial de crecimiento de los cerdos enteros hasta la segunda vacunación (Zamaratskaia y Rasmussen, 2015). La primera dosis prepara el sistema inmunológico del cerdo, pero no causa ningún cambio fisiológico relevante en el animal. La segunda dosis estimula al sistema inmune la producción de anticuerpos específicos que supriman la función testicular. El procedimiento de administrar la vacuna, desde una perspectiva de bienestar, es obviamente menos dañino para el cerdo, en comparación con la castración quirúrgica sin anestesia o analgésicos (Nautrup, Vlaenderen, Aldaz y Mah, 2018).

Niveles de testosterona y escatol

Los efectos que provoca Improvac[®] son reversibles. Las concentraciones de androstenona y escatol disminuyen significativamente entre la segunda y tercera semanas posteriores a la segunda dosis y permanecen así hasta aproximadamente 10 semanas después de la segunda

vacunación (EC, 2019). De esta manera los cerdos inmunizados con Improvac[®] se liberan del olor sexual en sus carnes.

La producción de androstenona se suprime como consecuencia de la atrofia testicular. La disminución de escatol es más probable debido al aumento del metabolismo hepático y su posterior depuración, en ausencia de esteroides testiculares, en particular la androstenona y los estrógenos (Zamaratskaia y Rasmussen, 2015).

Características de los órganos reproductivos

Al sacrificio, la vacunación con Improvac[®] provoca una reducción del peso de los testículos (entre 16 y más de 90 %), glándulas bulbouretrales (entre 50 y más de 90 %) y vesículas seminales (entre 36 y más de 90 %) (Škrlep *et al.*, 2010; Einarsson *et al.*, 2011; Stupka *et al.*, 2017; Sládek, *et al.*, 2018; Kress *et al.*, 2020). Las diferencias reportadas en los pesos de los órganos reproductivos están relacionadas con el momento de inicio y de la segunda vacunación con Improvac[®] y el tiempo transcurrido entre esta última y el sacrificio (Nautrup *et al.*, 2018; Zoels *et al.*, 2020).

Las vesículas seminales, comparadas con testículos, glándulas bulbouretrales y próstatas, sufren una mayor reducción de su peso en cerdos inmunocastrados. Por esta razón Bonneau (2010) sugiere comprobar la efectividad de la inmunocastración de los cerdos en base al tamaño de las vesículas seminales y no de los testículos.

La observación y/o medición del tamaño y el peso de los testículos, aunque se usan, no se consideran métodos efectivos para determinar la eficacia de la vacunación con Improvac[®], debido a la variación del tamaño de los testículos entre los cerdos (Čandek-Potokar, Prevolnik y Škrlep, 2014; EC, 2019). El tamaño de la glándula bulbouretral puede ser un buen indicador del éxito de la inmunocastración (Čandek-Potokar, Prevolnik y Škrlep, 2014). Sin embargo, es una glándula muy pequeña y podría dañarse durante el sacrificio de los animales. El método más seguro para demostrar la efectividad de la inmunocastración es la determinación de la testosterona ya que sus niveles tienden a correlacionarse con los de androstenona.

Comportamiento productivo

Los resultados del reciente meta análisis realizado por Nautrup *et al.* (2018) que incluye 78 estudios publicados, confirman las ventajas de rendimiento de crecimiento de los cerdos inmunocastrados con Improvac[®] en comparación con los castrados físicamente y los enteros. Los animales inmunocastrados tienen una mayor ganancia diaria de peso, una conversión alimenticia más favorable y un riesgo similar de olor sexual en la carne, comparados con los cerdos castrados. Estos autores obtienen que los cerdos inmunocastrados tienen mayor peso al sacrificio, comparados con los enteros (aproximadamente 3,0 kg, $P < 0,0001$) y castrados físicamente

(aproximadamente 2,0 kg, $P = 0,018$). Nautrup *et al.* (2018) concluyen que el crecimiento óptimo de los cerdos inmunocastrados sólo puede ser obtenido al suministrarles una dieta formulada específicamente para ellos. Además, que estos resultados productivos dependen del tiempo entre la segunda vacunación y el sacrificio.

Bienestar, comportamiento y salud de los cerdos

Los cerdos inmunocastrados con Improvac[®] se comportan como cerdos enteros (Dunshea *et al.*, 2013) hasta después de la administración de la segunda vacuna y, por lo tanto, muestran una conducta agresiva incrementada. El comportamiento agresivo y sexual son indicadores importantes del bienestar animal, ya que los altos niveles de agresión y monta ocasionan estrés, miedo y lesiones a los cerdos (Rydhmer *et al.*, 2006).

Entre cuatro y seis semanas después de la segunda vacunación, el comportamiento sexual y agresivo (la monta, la lucha, el empuje y la manipulación de la cabeza y cola) se reducen significativamente al nivel de los cerdos castrados quirúrgicamente (Škrlep, Batorek-Lukač, Prevolnik-Povše y Čandek-Potokar, 2014; Karaconji, Lloyd, Campbell, Meaney y Ahern, 2015), debido a los bajos niveles de testosterona y estrógenos. Es por ello, que los cerdos inmunocastrados tienen una menor ocurrencia y severidad de las lesiones cutáneas comparados con los verracos enteros al sacrificio (Rydhmer, Lundström y Andersson, 2010).

La inmunocastración también reduce la frecuencia y severidad de las lesiones del pene en comparación con los cerdos enteros de la misma edad y peso (Reiter, Zöls, Ritzmann, Stefanski y Weiler, 2017; Zoels *et al.*, 2020). Todos estos efectos incrementan el bienestar animal al evitar la castración quirúrgica dolorosa, el riesgo de infecciones, además, de disminuir el estrés, miedo y las lesiones (Kress *et al.*, 2019; Weiler y Bonneau, 2019; Zoels *et al.*, 2020).

Las reacciones adversas más frecuentes relacionadas con la administración de Improvac[®] son la inflamación en el sitio de inyección, la que se resuelve gradualmente, aunque puede persistir entre el 20 y el 30 % de los animales por más de seis semanas, y un aumento temporal de la temperatura rectal de unos 0,5 °C durante las 24 horas siguientes a la vacunación (EMA, 2009). Estas reacciones pueden evitarse o minimizarse si la vacunación se realiza por personal previamente entrenado y de acuerdo a las especificaciones de su productor (Kress *et al.*, 2019).

Impacto ambiental

Improvac[®] no contiene productos químicos ni agentes microbiológicos que representen un riesgo para el medio ambiente. Además, los cerdos vacunados no excretan metabolitos de Improvac[®] (EMA, 2010).

La mejora de la conversión alimenticia implica que los cerdos vacunados con Improvac[®] producen menos heces al año que los castrados quirúrgicamente (De Moraes *et al.*, 2013). Esto

reduce el impacto medioambiental de la producción porcina, al disminuir la emisión de gases de efecto invernadero, la cantidad de nitrógeno y fósforo de las heces. Los cerdos castrados con Improvac[®] tienen un potencial de calentamiento global 3,7 % y 5,0 % menor por kg de peso vivo y por kg de carne, respectivamente, comparados con los castrados físicamente (De Moraes *et al.*, 2013). La inmunocastración del cerdo contribuye a desarrollar una producción porcina sostenible (Kress *et al.*, 2019; Morgan *et al.*, 2019).

Ventajas económicas

En Europa, una dosis de la vacuna Improvac[®] cuesta entre 1,4 y 1,5 euros (EC, 2019). Los costos adicionales de vacunación, mano de obra y alimentación se compensan con más ingresos al incrementar la producción de cerdos por lugar y año (Kress *et al.*, 2019).

Los datos de rendimiento de 12 estudios realizados en EE.UU. estiman que la vacunación con Improvest[®] tiene una ventaja potencial para el productor de 10,32 USD por animal. Para los empacadores el rendimiento esperado es de 5,04 USD por canal y se asocia con un aumento de la carne magra (Buhr *et al.*, 2013). En un reciente estudio, Morgan *et al.* (2019) concluyen que las propuestas de alternativas amigables con el bienestar animal, entre ellas la inmunocastración de los cerdos, pueden resultar económicamente ventajosas para el mercado porcino de EE.UU.

Situación en el mundo con la inmunocastración de los cerdos

En el año 2013 se estimó (De Moraes *et al.*, 2013) que el 95 % de los cerdos en el mundo eran castrados físicamente para eliminarles el olor a verraco. Entre 2015 y 2018 se duplicó la cifra de cerdos inmunocastrados en el mundo (Kress *et al.*, 2019) lo que demuestra que la aplicación de esta tecnología está en crecimiento.

En 2010 se acordó la “Declaración Europea sobre alternativas a la castración quirúrgica de los cerdos”. Esta Declaración estipula que, a partir del 1 de enero de 2012 la castración quirúrgica de estos animales, sólo se realizará con analgesia y/o anestesia y a partir de 2018 se eliminará por completo (EC, 2010). Sin embargo, la mayoría de los países de Europa aún realizan la castración quirúrgica de los cerdos sin anestesia ni analgesia (Backus, Higuera, Juul, Nalon y de Briyne, 2018).

El estudio realizado por De Briyne, Berg, Blaha y Temple (2016) en 24 países de Europa, reconoce que sólo el 2,7 % de los cerdos son inmunocastrados, 36 % no se castran y el 61 % son castrados quirúrgicamente (con analgesia y anestesia 5 %, sólo con analgesia 41 % y sin anestesia ni analgesia 54 %). Eslovaquia y Bélgica tienen los porcentajes estimados más altos de cerdos inmunocastrados, 10 y 18 %, respectivamente. Dieciocho países europeos castran quirúrgicamente 80 % o más de sus cerdos. España, Noruega, República Checa, Rumania y Suecia reportaron un ligero incremento de los cerdos inmunocastrados en los últimos 3 a 5 años.

La producción de cerdos enteros para el consumo de carne es relativamente reciente para la mayoría de los países de Europa, excepto Reino Unido, Irlanda, España y Portugal que producen entre 80 y 100 % (**Tabla 1**). En los últimos años también se incrementó la producción de estos animales en Alemania, Bélgica, Francia y Países Bajos (Backus *et al.*, 2018).

Tabla 1. Porcentos de cerdos comercializados enteros, inmunocastrados y castrados por cirugía en 24 países de Europa (Backus *et al.*, 2018).

País	Cerdos enteros, %	Inmuno-castrados, %	Castrados por cirugía, %	Población porcina x 1000, cabezas
Austria	5	0	95	2846
Alemania	20	<1	80	27 600
Bélgica	8	15	80	6351
Checa, R.	5	5	90	1548
Dinamarca	<2	0	>97	12 402
Eslovaquia	0	10	90	637
Eslovenia	1	0	99	288
España	80	5	15	28 500
Estonia	0	0	100	359
Finlandia	4	0	96	1258
Francia	22	<0,1	78	11 835
Hungría	1	0	99	2935
Irlanda	100	0	0	1468
Islandia	0	0	99	36
Italia	2	5	93	8561
Letonia	0	0	100	368
Luxemburgo	1	0	99	90
Noruega	<1	6	94	1644
Países Bajos	65	0	35	12 013
Portugal	85	2,5	12,5	2014
Reino Unido	98	<1	2	4383
Rumania	0	5	95	5180
Suecia	1	9	90	1354
Suiza	5	2,5	92,5	1573
Total	34,0 %	2,8 %	63,0 %	

Backus *et al.* (2018) obtienen en las encuestas a los expertos europeos que el 63 % de los cerdos son castrados, la mayoría de ellos sin anestesia ni analgesia, el 34 % no se castran y sólo el 2,8 %

son inmunocastrados (**Tabla 1**). Estos resultados son similares a los de De Briyne *et al.* (2016). En el estudio de Backus *et al.* (2018) se evidencia que aún existen grandes diferencias entre los países de Europa relativo a la producción del cerdo. La mayoría de estos todavía no ponen fin a la castración quirúrgica e incumplen con la Declaración Europea sobre alternativas a la castración quirúrgica de los cerdos. En la actualidad esta situación se mantiene similar (Kress *et al.*, 2019).

En resumen, varios países europeos han comenzado a sustituir la castración quirúrgica por la producción de cerdos enteros y/o inmunocastrados. Sin embargo, en la mayoría de ellos, aún predomina la castración quirúrgica.

En EE.UU. la inmunocastración de los cerdos no ha sido aplicada extensivamente (Rueff, Mellencamp y Pantoja, 2019). En Australia, Brasil y Nueva Zelanda la inmunocastración está más extendida. En Australia y Brasil se emplea en más del 50 % de los cerdos (Čandek-Potokar, Škrlep, y Zamaratskaia, 2017; Mancini, Menozzi y Arfini, 2017; D'Souza, Hewitt, y van Barneveld, 2018). La prohibición de sacrificar los cerdos enteros en Brasil (Decreto No. 9.013, Brasil), entre otros factores, favorece una mayor generalización del uso de la inmunocastración.

Por qué la inmunocastración no está tan extendida

La vacuna Improvac[®] está aprobada en más de 60 países (Zamaratskaia y Rasmussen, 2015), entre ellos, Brasil, la Unión Europea (2009), Japón (2010), China (2010) y EE.UU. (2011). Sin embargo, en la práctica su aplicación es aún limitada.

En Europa su uso es escaso, ya que la percepción de la inmunocastración es muy heterogénea entre los países (Mancini, Menozzi y Arfini, 2017). Además, existe una baja aceptación de este procedimiento por parte del mercado porcino (Aluwé, Tuyttens y Millet, 2015a; Kress *et al.*, 2019). Por su parte, los productores de cerdos muestran desconfianza en que esta alternativa prevenga el olor sexual en la carne y en su eficiencia económica (Aluwé, Vanhonacker, Millet y Tuyttens, 2015b). Además, les preocupa la facilidad para utilizar la inmunocastración en diferentes sistemas productivos (Čandek-Potokar, Škrlep y Zamaratskaia, 2017). En este estudio la mayor preocupación de los productores es el riesgo de la auto inyección accidental. Estos accidentes pueden producir en las personas que administran Improvac[®] los mismos efectos que se observan en los cerdos y sus consecuencias son mayores tras otras dosis accidentales. Sin embargo, la incidencia de una auto inyección accidental después de usar más de 7 millones de dosis de Improvac[®] es de 0,00004 % (EMA, 2010). Para minimizar este riesgo, esta vacuna sólo debe administrarse con el dispositivo de seguridad que suministra su productor y por personal debidamente entrenado.

Otro de los inconvenientes para extender el uso de la inmunocastración se relaciona con el temor a su aceptación por parte de los consumidores (Kallas *et al.*, 2013; Škrlep, *et al.*, 2014; Aluwé *et al.*, 2015b). Los consumidores europeos se consideraban más prudentes y conservadores. Sin embargo, estudios realizados en Suiza, Noruega y Bélgica indican que ese temor puede estar

sobrevalorado y que los consumidores adecuadamente informados la aceptan (Čandek-Potokar, Škrlep, y Batorek Lukac, 2015).

Por otra parte, la generalidad de los consumidores no está bien informada sobre el olor sexual en la carne de cerdo, las alternativas para prevenirlo, entre ellas, la inmunocastración y sus beneficios (Kallas *et al.*, 2013; Škrlep *et al.*, 2014; Mancini, Menozzi y Arfini, 2017). Sin embargo, los consumidores informados sobre sus beneficios expresan una elevada aceptación y preferencia por la misma en comparación con la castración física, aun cuando la carne de los cerdos inmunocastrados es más costosa (Zamaratskaia *et al.*, 2008; Vanhonacker y Verbeke, 2011).

Las encuestas realizadas por Di Pasquale *et al.* (2019) muestran que en los consumidores italianos predomina una percepción positiva sobre la inmunocastración, con un relativamente bajo nivel de percepción de riesgo y una buena disposición para pagar más por la carne de estos cerdos. El nivel de información suministrado sobre este procedimiento no afecta la percepción de los consumidores.

En el estudio de Mancini, Menozzi y Arfini (2017) la mayoría de los consumidores desconfía de la seguridad de los alimentos elaborados de carne de cerdos inmunocastrados. La Agencia Europea de Medicamentos (EMA, por sus siglas en inglés) concluye que la carne de cerdos vacunados con Improvac[®] es totalmente inocua para el consumo humano (EMA, 2010). Esta vacuna no es activa cuando se ingiere, no deja residuos en la carne de cerdo que pudieran afectar a la salud humana y no muestra actividad hormonal. Por su parte, la Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos (FDA, por sus siglas en inglés) determina que la carne de cerdos vacunados con Improvest[®] es segura para la alimentación, ya que no contiene residuos que puedan afectar la salud humana (FDA, 2011).

CONCLUSIONES

La inmunocastración es una alternativa segura, comercialmente factible, amigable con el bienestar animal y viable para la producción sostenible de cerdos, ya que favorece la calidad de la carne, la rentabilidad económica y la protección del medio ambiente. No obstante, su aplicación es escasa y aún predomina la castración quirúrgica en la mayoría de los países. Es una tecnología relativamente reciente, su aceptación, introducción y extensión pueden generar incertidumbres y resistencia por parte de los actores de la cadena de producción porcina. Esta nueva práctica impone cambios en la cultura de los productores con relación a la crianza y exige de ellos mayor disciplina tecnológica para obtener los beneficios esperados. La generalización de su uso requiere de su aprobación por las partes interesadas que integran la cadena de producción, la compensación a los productores de los costos adicionales por la compra y administración de la

vacuna, de mercados que demanden la carne de estos cerdos y actores dispuestos a comercializarla.

REFERENCIAS

- Aluwé, M., Tuytens, F.A.M., & Millet, S. (2015a). 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>
- Aluwé, M., Vanhonacker, F., Millet, S., & Tuytens, A.M. (2015b). Influence of hands-on experience on pig farmers' attitude towards alternatives for surgical castration of male piglets. *Research in Veterinary Science*, 103, 80-86. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2015.09.019>
- 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. <https://www.boarsontheway.com/wp-content/uploads/2018/08/Second-progress-report-2015-2017-final-1.pdf> [Consultado: 20 de abril de 2020].
- Bonneau, M. (2010). Accessory sex glands as a tool to measure the efficacy of immunocastration in male pigs. *Animal*, 4(6), 930-932. <https://doi.org/10.1017/S1751731110000091>
- Bonneau, M., & Weiler, U. (2019). Pros and Cons of Alternatives to Piglet Castration: Welfare, Boar Taint, and Other Meat Quality Traits. *Animals*, 9(11), 884, 1-12. <https://doi.org/10.3390/ani9110884>
- Buhr, B., Tonsor, G., Zering, K., DiPietre, D., Cowles, B., & de Moraes, P.J.U. (2013). Comprehensive economic analysis of Improvest[®] adoption by the US pork industry. Zoetis Inc. (june 2013). Technical update. <https://www.zoetisus.com/products/pork/improvest/pdf/ImprovestEconomicTechnicalBulletin.pdf> [Consultado: 29 de mayo de 2019].
- Čandek-Potokar, M., Prevolnik, M., & Škrlep, M. (2014). Testes Weight is not a reliable tool for discriminating immunocastrates from entire males. Paper presented to International Symposium on Animal Science, Belgrade-Zemun, 23-25 September. https://www.researchgate.net/profile/Marjeta_Candek-Potokar/publication/273767098_TESTES_WEIGHT_IS_NOT_A_RELIABLE_TOOL_FOR_DISCRIMINATING_IMMUNOCASTRATES_FROM_ENTIRE_MALES/links/550bd9a50cf265693cefaa80/TESTES-WEIGHT-IS-NOT-A-RELIABLE-TOOL-FOR-DISCRIMINATING-IMMUNOCASTRATES-FROM-ENTIRE-MALES.pdf

- Čandek-Potokar, M., Škrlep, M., & Batorek Lukac, N. (2015). Raising entire males or immunocastrates-outlook on meat quality. *Procedia Food Science* 5, 30-33. <https://doi.org/10.1016/j.profoo.2015.09.008>
- Čandek-Potokar, M., Škrlep, M., & Zamaratskaia, G. (2017). Immunocastration as alternative to surgical castration in pigs. *Theriogenology*, 6, 109-126. <https://dx.doi.org/10.5772/intechopen.68650>
- Decreto No. 9.013, de 29 de março de 2017, Brasília, Brasil; 2017. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2017/Decreto/D9013.htm#art541 [Consultado: 30 de julio de 2020].
- D'Souza, D.N., Hewitt, R.J.E., & van Barneveld, R.J. (2018). Pork production with entire males and immunocastrates in Australia. https://meetings.eaap.org/wp-content/uploads/2018/Session7/S07_01_DSouza.pdf [Consultado: 29 de mayo de 2019].
- 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(1), 29, 1-11. <https://doi.10.1186/s40813-016-0046-x>
- De Moraes, P.J., Allison, J., Robinson, J.A., Baldo, G.L., Boeri, F., & Borla, P. (2013). Life cycle assessment (LCA) and environmental product declaration (EPD) of an immunological product for boar taint control in male pigs. *Journal of Environmental Assessment Policy and Management*, 15(01), 1350001. <https://doi.org/10.1142/S1464333213500014>
- Di Pasquale, J., Nannoni, E., Sardi, L., Rubini, G., Salvatore, R., Bartoli, L., Adinolfi F., & Martelli, G. (2019). Towards the Abandonment of Surgical Castration in Pigs: How is Immunocastration Perceived by Italian Consumers?. *Animals*, 9(5), 198. <https://doi.org/10.3390/ani9050198>
- Dunshea, F.R., Allison, J.R.D., Bertram, M., Boler, D.D., Brossard, L., Campbell, R., ... & Ferguson, N. (2013). The effect of immunization against GnRF on nutrient requirements of male pigs: A review. *Animal*, 7(11), 1769-1778. <https://doi.10.1017/S1751731113001407>
- Einarsson, S., Brunius, C., Wallgren, M., Lundström, K., Andersson, K., Zamaratskaia, G., & Rodriguez-Martinez, H. (2011). Effects of early vaccination with Improvac® on the development and function of reproductive organs of male pigs. *Animal Reproduction Science*, 127(1-2), 50-5. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2011.06.006>
- EC (European Commission). (2010). European Declaration on Alternatives to Surgical Castration of Pigs. https://ec.europa.eu/food/sites/food/files/animals/docs/aw_prac_farm_pigs_castalt_declaration_en.pdf [Consultado: 30 de julio de 2019].

- EC (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). https://ec.europa.eu/food/sites/food/files/animals/docs/aw_prac_farm_pigs_cast-alt_establishing-best-practices.pdf [Consultado: 11 de mayo del 2020].
- EMA (European Medicines Agency). (2009). EPAR Summary for the Public. https://www.ema.europa.eu/en/documents/overview/Improvac-epar-summary-public_en.pdf [Consultado: 2 de abril de 2020].
- EMA (European Medicines Agency). (2010). EPAR-Scientific Discussion. https://www.ema.europa.eu/en/documents/scientific-discussion/Improvac-epar-scientific-discussion_en.pdf [Consultado: 9 de abril de 2020].
- FDA (Food and Drug Administration). (2011). Implantation or Injectable Dosage Form New Animal Drugs; Gonadotropin Releasing Factor-Diphtheria Toxoid Conjugate. <https://www.federalregister.gov/documents/2011/05/13/2011-11762/implantation-or-injectable-dosage-form-new-animal-drugs-gonadotropin-releasing-factor-diphtheria> [Consultado: 6 de julio de 2020].
- Giersing, M., Ladewig, J., & Forkman, B. (2006). Animal welfare aspects of preventing boar taint. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 48(S1), 1-3. <https://doi.10.1186/1751-0147-48-S1-S3>
- Gupta, S.K., & Minhas, V. (2017). Wildlife population management: are contraceptive vaccines a feasible proposition?. *Frontiers in bioscience (Scholar edition)*, 9, 357-374. <https://doi.10.2741/s492>
- Heegaard, P.M., Fang, Y., & Jungersen, G. (2016). Novel adjuvants and immunomodulators for veterinary vaccines. In *Vaccine Technologies for Veterinary Viral Diseases* (pp. 63-82). Humana Press, New York, NY. https://doi.10.1007/978-1-4939-3008-1_5
- Kallas, Z., Gil, J.M., Panella-Riera, N., Blanch, M., Font-i-Furnols, M., Chevillon, P., ... & Oliver, M.A. (2013). Effect of tasting and information on consumer opinion about pig castration. *Meat Science*, 95(2), 242-249. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.05.011>
- Karaconji, B., Lloyd, B., Campbell, N., Meaney, D.F., & Ahern, T. (2015). Effect of an anti-gonadotropin-releasing factor vaccine on sexual and aggressive behaviour in male pigs during the finishing period under Australian field conditions. *Australian Veterinary Journal*, 93(4), 121-123. <https://doi.org/10.1111/avj.12307>
- 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>

- Kress, K., Weiler, U., Schmucker, S., Čandek-Potokar, M., Vrecl, M., Fazarinc, G., ... & Stefanski, V. (2020). Influence of Housing Conditions on Reliability of Immunocastration and Consequences for Growth Performance of Male Pigs. *Animals*, *10*(1), 27. <https://doi.org/10.3390/ani10010027>
- Lundström, 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>
- Mancini, M.C., Menozzi, D., & Arfini, F. (2017). Immunocastration: Economic implications for the pork supply chain and consumer perception. An assessment of existing research. *Livestock Science*, *203*, 10-20. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2017.06.012>
- Matsuo, H., Baba, Y., Nair, R.M., Arimura, A., & Schally, A.V. (1971). Structure of the porcine LH- and FSH-releasing hormone. I. The proposed amino acid sequence. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, *43*(6), 1334-1339. [https://doi.org/10.1016/S0006-291X\(71\)80019-0](https://doi.org/10.1016/S0006-291X(71)80019-0)
- McNamara, M.K. (2014). U.S. Patent No. 8,741,303. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Millar, R.P., Pawson, A.J., Morgan, K., Rissman, E.F., & Lu, Z.L. (2008). Diversity of actions of GnRHs mediated by ligand-induced selective signaling. *Frontiers in Neuroendocrinology*, *29*(1), 17-35. <https://doi.org/10.1016/j.yfrne.2007.06.002>
- 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*(18), 1-6. <https://doi.org/10.1186/s40813-017-0066-1>
- Morgan, L., Itin-Shwartz, B., Koren, L., Meyer, J.S. Matas, D., Younis, A., Novak, S., Weizmann, N., Rapaic, O., Ahmad, W.A., Klement, E., & Raz, T. (2019). Physiological and economic benefits of abandoning invasive surgical procedures and enhancing animal welfare in swine production. *Scientific Reports*, *9*:16093, 1-14. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-52677-6>
- Nautrup, B.P., Vlaenderen, I.V., Aldaz, A., & Mah, C.K. (2018). The effect of immunization against gonadotropin-releasing factor on growth performance, carcass characteristics and boar taint relevant to pig producers and the pork packing industry: A meta-analysis. *Research in Veterinary Science*, *119*, 182-195. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2018.06.002>
- OIE (Organización Mundial de Sanidad Animal). (2019). Código Sanitario para los Animales Terrestres. <https://www.oie.int/es/normas/codigo-terrestre/> [Consultado: 06 de enero de 2020].

- Prunier, A., Mournier, A.M., & Hay, M. (2005). Effects of castration, tooth resection, or tail docking on plasma metabolite and stress hormones in young pigs. *Journal of Animal Science*, 83(1), 216-222. <https://doi.org/10.2527/2005.831216x>
- 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>
- Rosenfield, D., & Pizzutto, C. (2018). Wildlife population control - reproductive physiology under the influence of contraceptive methods in mammalian wildlife, with emphasis on immunocontraception: the best choice? A literature review. *Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science*, 55(1), 1-16. <https://doi.org/10.11606/issn.1678-4456.bjvras.2018.129431>
- Rueff, L., Mellencamp, M.A., & Pantoja, L.G. (2019). Performance of immunologically castrated pigs at a commercial demonstration farm over 3.5 years. *Journal of Swine Health and Production*, 27(6), 322-328.
- Rydhmer, L., Zamaratskaia, G., Andersson, H.K., Algiers, Bo, Guillemet, R., & Lundström, K. (2006). Aggressive and sexual behavior of growing and finishing pigs reared in groups, without castration. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A: Animal Science*, 56(2), 109-119. <https://doi.org/10.1080/09064700601079527>
- Rydhmer, L., Lundström, K., & Andersson, K. (2010). Immunocastration reduces aggressive and sexual behaviour in male pigs. *Animal*, 4(6), 965-972. <https://doi.org/10.1017/S175173111000011X>
- Škrlep, M., Šegula, B., Zajec, M., Kastelic, M., Košorok, S., Fazarinc, G., & Čandek-Potokar, M. (2010). Effect of immunocastration (Improvac®) in fattening pigs I: growth performance, reproductive organs and malodorous compounds. *Slovenian Veterinary Research*, 47(2), 57-64.
- Škrlep, M., Batorek-Lukač, N., Prevolnik-Povše, M., & Čandek-Potokar, M. (2014). Theoretical and practical aspects of immunocastration. *Stočarstvo: Časopis za unapređenje stočarstva*, 68(2), 39-49.
- Sládek, Z., Prudíková, M., Knoll, A., Kulich, P., Steinhäuserová, I., & Bořilová, G. (2018). Effect of early immunocastration on testicular histology in pigs. *Veterinarni Medicina*, 63(1), 18-27.
- Stupka, R., Čítek, J., Vehovský, K., Zadinová, K., Okrouhlá, M., Urbanová, D., & Stádník, L. (2017). Effects of immunocastration on growth performance, body composition, meat quality, and boar taint. *Czech Journal of Animal Science*, 62(6), 249-58.

- Vanhonacker, F., & Verbeke, W. (2011). Consumer response to the possible use of a vaccine method to control boar taint v. physical piglet castration with anaesthesia: a quantitative study in four European countries. *Animal*, 5(7), 1107-1118. <https://doi.org/10.1017/S1751731111000139>
- Von Borell, E., Baumgartner, J., Giersing, M., Jäggin, N., Prunier, A., Tuytens, F.A.M., & Edwards, S.A. (2009). Animal welfare implications of surgical castration and its alternatives in pigs. *Animal*, 3(11), 1488-1496. <https://doi.org/10.1017/S1751731109004728>
- 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. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 333, No. 1, p. 012001). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/333/1/012001>
- Whitlock, K., Postlethwait, J., & Ewer, J. (2019). Neuroendocrinology of reproduction: Is gonadotropin-releasing hormone (GnRH) dispensable?. *Frontiers in Neuroendocrinology*, 53, 100738, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.yfrne.2019.02.002>
- Zamaratskaia, G., Andersson, H.K., Chen, G., Andersson, K., Madej, A., & Lundström, K. (2008). 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., & Rasmussen, M.K. (2015). Immunocastration of male pigs - situation today. *Procedia Food Science*, 5(2), 324-327. <https://doi.org/10.1016/j.profoo.2015.09.064>
- Zoels, S., Reiter, S., Ritzmann, M., Weiß, C., Numberger, J., Schütz, A., ... & Weiler, U. (2020). Influences of Immunocastration on Endocrine Parameters, Growth Performance and Carcass Quality, as Well as on Boar Taint and Penile Injuries. *Animals*, 10(2), 346. <https://doi.org/10.3390/ani10020346>

CONFLICTO DE INTERESES

El autor declara que no existen conflicto de intereses.