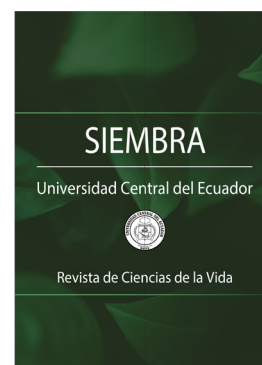


Meta-análisis del efecto del uso de la vacuna anti-GnRH sobre el rendimiento productivo y la calidad de canal en porcinos

Meta-analysis of the effect of the use of anti-GnRH vaccine on productive performance and carcass quality in pigs



Debra Andrea Trujillo-Torres¹, Eduardo Fabián Aragón-Vásquez², Renán Patricio Mena-Pérez³, Jimmy Rolando Quisirumbay-Gaibor⁴

Siembra 12 (1) (2025): e7219

Recibido: 16/09/2024 / Revisado: 20/11/2024 / Aceptado: 14/01/2025

¹ Universidad Central del Ecuador. Facultad de Medicina Veterinaria. Av. Universitaria, 170129. Quito, Pichincha, Ecuador.

✉ datrujillo@uce.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0009-8556-7420>

² Universidad Central del Ecuador. Facultad de Medicina Veterinaria. Av. Universitaria, 170129. Quito, Pichincha, Ecuador.

✉ earagon@uce.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-5142-0721>

³ Universidad Central del Ecuador. Facultad de Medicina Veterinaria. Av. Universitaria, 170129. Quito, Pichincha, Ecuador.

✉ rpmena@uce.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-4560-4858>

⁴ Universidad Central del Ecuador. Facultad de Medicina Veterinaria. Av. Universitaria, 170129. Quito, Pichincha, Ecuador.

✉ jrquisirumbay@uce.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-1612-8503>

*Autor de correspondencia:

jrquisirumbay@uce.edu.ec

Resumen

La castración quirúrgica ha sido una práctica común en el cerdo para evitar el olor sexual, sin embargo, afecta el bienestar animal. La inmunocastración se presenta como una alternativa, pues tras el uso de la vacuna se estimula la producción de anticuerpos contra la hormona GnRH. Se induce la inhibición temporal de la función testicular y de la liberación de esteroides, los cuales generan el olor sexual de la carne de cerdo. Existe gran cantidad de información publicada sobre el uso de este recurso con resultados variables en el desempeño productivo. Este estudio se realizó con la finalidad de evaluar el efecto de la aplicación de la vacuna anti-GnRH sobre el rendimiento productivo y la calidad de canal en porcinos. Se realizaron 16 meta-análisis para determinar tamaño de efecto, con dos tipos de grupo control (machos castrados y enteros), a partir de 45 artículos científicos (3.685 repeticiones), bajo el modelo de efectos aleatorios. El uso de la vacuna anti-GnRH mejoró el consumo diario de alimento [CDA] ($-78,78 \text{ g día}^{-1}$, $p = 0,00028$), la conversión alimenticia [CA] ($-0,16854 \text{ kg kg}^{-1}$, $p < 0,00001$), la eficiencia alimenticia [EA] ($+0,03558 \text{ kg kg}^{-1}$, $p < 0,00001$) y el porcentaje magro ($+1,3\%$, $p < 0,00001$) versus machos castrados quirúrgicamente. Los cerdos enteros (control) presentaron resultados superiores para todas las variables analizadas, a excepción de la ganancia diaria de peso ($+32,67 \text{ g día}^{-1}$, $p = 0,00005$) que se vio favorecida por el uso de la vacuna. Se concluye que el uso de la vacuna anti-GnRH favorece al rendimiento productivo (CDA, CA y EA) en comparación con los cerdos castrados quirúrgicamente, no así versus cerdos enteros.

Palabras clave: Vacunación, castración, cerdos, olor sexual.

Abstract

Surgical castration has been a common practice in pigs to prevent boar taint, however, it affects animal welfare. Immunocastration has been used as an alternative approach; it involves the administration of a vaccine that stimulates the production of antibodies directed against the GnRH

SIEMBRA

<https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/SIEMBRA>

ISSN-e: 2477-8850

Periodicidad: semestral

vol. 12, núm 1, 2025

siembra.fag@uce.edu.ec

DOI: <https://doi.org/10.29166/siembra.v12i1.7219>



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NoComercial

hormone. This induces a temporary inhibition of testicular function accompanied by the release of steroids known to generate the characteristic boar taint odor. Substantial published information documents the utilization of this intervention, yielding variable outcomes for productive performance. The present study was conducted to evaluate the effect of the application of the anti-GnRH vaccine on productive performance and carcass quality in pigs. Sixteen meta-analyses were performed to determine the effect size, with two types of control groups (castrated and entire males), from 45 scientific articles (3,685 repetitions) under a random effects model. Results show that the utilization of the anti-GnRH vaccine significantly improved daily feed intake [DFI] ($-78.78 \text{ g day}^{-1}$, $p = 0.00028$), feed conversion [FC] ($-168.54 \text{ g kg}^{-1}$, $p < 0.00001$), feed efficiency [FE] ($+35.58 \text{ g kg}^{-1}$, $p < 0.00001$) and lean percentage ($+1.3\%$, $p < 0.00001$), in comparison with surgically castrated males. Control non-castrated pigs presented superior outcomes for all variables analyzed, except for daily weight gain ($+32.67 \text{ g day}^{-1}$, $p = 0.00005$), which was favored by the use of the vaccine. It is concluded that the use of the anti-GnRH vaccine favors productive performance (DFI, FC and FE) compared to surgically castrated pigs, but not versus entire pigs.

Keywords: Vaccination, castration, pigs, boar taint.

1. Introducción

La castración quirúrgica en cerdos macho destinados a la producción de carne ha sido practicada desde hace mucho tiempo, principalmente en la etapa de lechones en la primera semana de vida, con la finalidad de eliminar las moléculas (androsteno y escatol) generadoras de olores y sabores no deseados conocidos como el “olor a verraco”, además de reducir problemas de comportamiento que arrancan desde la pubertad (Zamaratskaia y Rasmussen, 2015).

La práctica de la castración quirúrgica ha sido muy cuestionada, ya que generalmente se lleva a cabo sin anestesia ni analgesia causando dolor, estrés y una recuperación más larga (frente a la inmunocastración), siendo un tema muy controversial en cuanto al bienestar animal (Kress et al., 2019). El “olor y sabor a verraco” no es detectado por todos los consumidores y hay alternativas que evitan su detección, como el faenamiento del cerdo antes de la pubertad (Wang et al., 2023). Actualmente, del 14 al 93% de los cerdos macho producidos en Europa aún son sometidos a castración quirúrgica (van Ferneij, 2022), siendo Bélgica uno de los pocos países donde la inmunocastración emerge como una alternativa prometedor (de Briyne et al., 2016). En Australia, aproximadamente un 40% de la producción porcina utiliza la inmunocastración, siendo inferior a los valores reportados por Europa y América Latina. Brasil, al ser uno de los exportadores de carne más grandes del mundo, hace uso mayoritario de la inmunocastración, con un 65% de los cerdos sometidos a esta práctica. Por lo que es importante destacar que Brasil cuenta con dos de los diez principales productores cárnicos a nivel mundial, como son: JBS S.A. (siglas por su fundador José Batista Sobrinho) y BRF (Brazil Foods), mismos que optan por esta alternativa a fin de promover el bienestar animal y satisfacer las necesidades del consumidor (de Roest et al., 2009; Iocca et al., 2015).

La Organización Mundial de Sanidad Animal recomienda el uso de machos jóvenes (antes de la pubertad) sin castrar o inmunocastrados con el fin de fortalecer el bienestar animal, ya que la inmunocastración es una práctica mínimamente invasiva. Misma que implica la inmunización activa contra la hormona liberadora de gonadotropinas [GnRH] lo que suprime las funciones testiculares y como resultado evita el “olor sexual” en la carne (Morales et al., 2017). Se reporta que la inmunocastración reduce la espermatogénesis y el número de células de Leyding. Adicionalmente se informa cambios en las glándulas sexuales accesorias (Mitjana et al., 2020).

La inmunocastración cuenta con información científica publicada acerca del efecto de la aplicación de la vacuna anti-GnRH sobre el rendimiento productivo y la calidad de canal en porcinos. Los resultados son variables entre sí e incluyen un sin número de factores (edad de aplicación, intervalo entre dosis, niveles dietarios de energía, proteína, peso de faenamiento), que dificulta el análisis para poder conocer el beneficio de esta vacuna (Basulto Baker, 2020). Por lo anterior, este artículo tiene por objetivo analizar el efecto de la aplicación de la vacuna anti-GnRH sobre la calidad de canal y el rendimiento productivo en porcinos a través del uso de meta-análisis.

2. Materiales y Métodos

2.1. Búsqueda de artículos científicos

Entre julio y septiembre del año 2023 se realizó una búsqueda electrónica de artículos científicos en revistas indexadas en las siguientes bases electrónicas: CAB Direct, Elsevier biobase-CABS, Google Scholar, MEDLINE, PubMed, Science Direct (Journal), Scopus, Academic Search Complete, Scielo, CAB Abstract, y Directory of Open Access Journals.

Se utilizó una combinación de palabras clave (sin operadores booleanos), entre ellas: vacuna anti-GnRH, calidad de la canal, conversión alimenticia, consumo de alimento, porcinos, rendimiento de la canal y sus equivalentes en inglés y portugués, sin restricción de fecha. Cabe recalcar que el periodo de los artículos científicos incluidos para el estudio fue 1982-2023, con un total de 289 artículos localizados.

2.2. Criterios de inclusión y exclusión

Se incluyeron artículos de investigación en español, inglés y portugués, en los que se empleó la vacuna anti-GnRH (inmunocastración) exclusivamente a porcinos sanos destinados al engorde. Para que los artículos hayan sido incluidos debían haber utilizado porcinos machos y detallar información respecto al número de unidades experimentales por tratamiento (repeticiones), incluir al menos dos tratamientos (grupo control: machos castrados o enteros), incluir mínimo una de las variables dependientes de interés con sus respectivos valores de la media y variabilidad: desviación estándar [SD], coeficiente de variación [CV], o error estándar de la media [SEM].

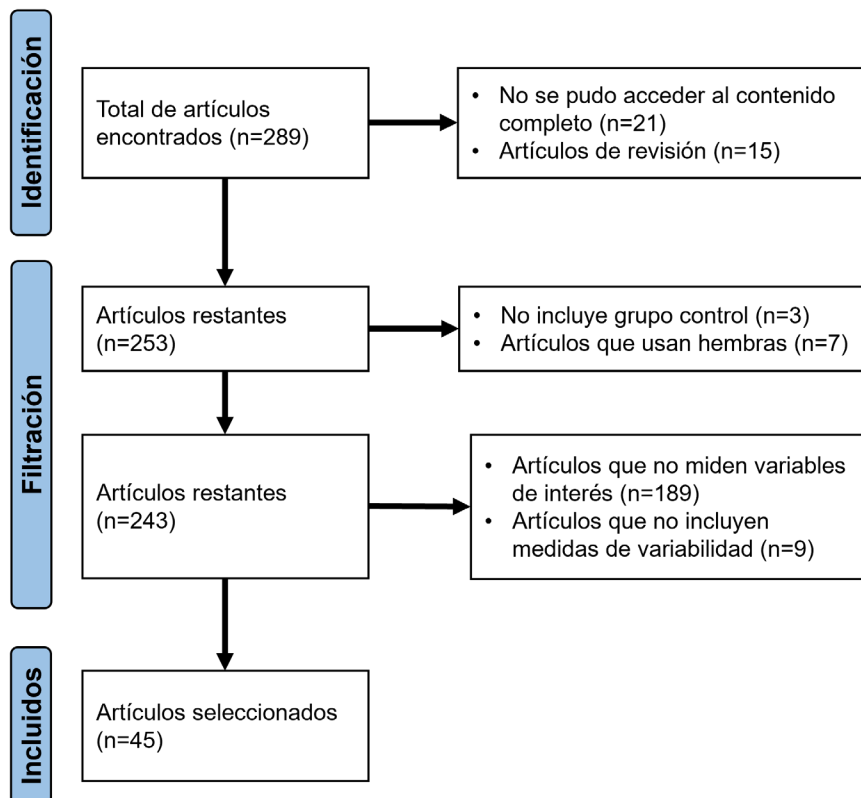


Figura 1. Flujograma de selección y descarte de artículos científicos.
Figure 1. Flowchart for selection and discarding of scientific articles.

2.3. Variables analizadas

Las variables de interés utilizadas fueron ganancia diaria de peso [GDP] (g día^{-1}), consumo diario de alimento [CDA] (g día^{-1}), conversión alimenticia [CA] (kg kg^{-1}), eficiencia alimenticia [EA] (kg kg^{-1}), porcentaje magro

(%), enrojecimiento y pH (30-45 min y 24 h). Finalmente se seleccionaron un total de 45 artículos (Figura 1): Aluwé et al. (2013, 2015), Andersson et al. (2012), Andreo et al. (2018), Argemí-Armengol et al. (2022), Batorek et al. (2012), Bonneau et al. (1994), Braña et al. (2013), Channon et al. (2018), Cronin et al. (2003), Dalla Costa et al. (2020), Daza et al. (2016), Dunshea et al. (2001), Fernandes et al. (2017), Font-i-Furnols et al. (2012), Fuchs et al. (2009), Grela et al. (2013, 2018), Iocca et al. (2015), Jeong et al. (2011), Kantas et al. (2014), Kress et al. (2019), Lealiifano et al. (2011), Metz et al. (2002), Molist et al. (2014), Morales et al. (2010, 2013), Needham y Hoffman (2015), Needham et al. (2017), Oliver et al. (2003), Oliviero et al. (2016), Pauly et al. (2009), Pérez-Ciria et al. (2022), Puls et al. (2014a, 2014b), Quiniou et al. (2012), Rikard-Bell et al. (2009), Seiquer et al. (2019), Škrlep et al. (2010, 2012, 2020a), Turkstra et al. (2002), van den Broeke et al. (2022), Zamaratskaia et al. (2008), Zoels et al. (2020).

En todos los trabajos se usaron dos dosis de 2 ml vía subcutánea, el intervalo de aplicación varió entre 14 y 84 días. La edad a la primera dosis estuvo entre los 29 y 140 días, y la edad de aplicación de la segunda estuvo entre 84 y 182 días.

2.4. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se utilizó el software MIX 2.0 Pro en Microsoft Excel (Bax, 2016), empleando un modelo de efectos aleatorios. Se incluyó un total de 16 meta-análisis: ocho para rendimiento productivo y ocho para rendimiento y calidad de canal. En cada una de ellas se consideró dos tipos de grupos control (castrados y enteros) debido a la diferencia biológica entre ambas categorías. El tamaño de efecto entre el grupo tratamiento y el control se determinó por diferencia de medias (Ledesma et al., 2008).

El número de repeticiones para las variables del rendimiento productivo fueron 1.805, y para las variables de rendimiento y calidad de canal fueron 1.880, como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Número de repeticiones para meta-análisis de rendimiento productivo y calidad de canal.
Table 1. Number of repetitions used for the meta-analysis of productive performance and carcass quality.

	Rendimiento productivo	Repeticiones (n)	Rendimiento y calidad de canal	Repeticiones (n)
		Total		Total
Anti-GnRH vs Control castrados	GDP	541	Porcentaje magro	128
	CDA	395	Enrojecimiento	554
	CA	224	pH 30-45 min	364
	EA	197	pH 24 h	476
Anti-GnRH vs Control enteros	GDP	144	Porcentaje magro	88
	CDA	142	Enrojecimiento	46
	CA	110	pH 30-45 min	96
	EA	52	pH 24 h	128
TOTAL		1.805	TOTAL	1.880

3. Resultados

3.1. Rendimiento productivo

El efecto expresado como la diferencia de medias [DM] de los grupos analizados indicó un incremento de GMD de 16.78 g día⁻¹ en el grupo de inmunocastrados en comparación con el grupo control castrados quirúrgicamente. Así mismo, se observa un aumento de la GDP en 32,67 g día⁻¹ ($p = 0,00005$) por encima del grupo control enteros (Tabla 2).

En cuanto al CDA, se observó una reducción de 78,78 g día⁻¹ en aquellos cerdos que recibieron la vacuna anti-GnRH ($p = 0,0028$), en comparación con el grupo control de cerdos castrados quirúrgicamente. Por el contrario, el CDA mostró un aumento considerable de 132,92 g día⁻¹ ($p = 0,00052$) en los cerdos del tratamiento

en comparación con el grupo control de cerdos enteros.

En la variable CA se observó una disminución, encontrándose que la vacuna anti-GnRH favoreció de manera significativa al grupo evaluado ($p \leq 0,00001$) en comparación con los cerdos castrados. Es decir, los cerdos del grupo control castrados consumieron 168,54 g de alimento adicionales frente a los cerdos tratados con la vacuna anti-GnRH para hacer 1 kg de peso vivo. Los cerdos del grupo control enteros presentaron una menor CA, los cerdos a los que se les aplicó la vacuna anti-GnRH consumieron 73,11 g más de alimento para formar 1 kg de peso vivo.

Tabla 2. Tamaño de efecto de la administración de la vacuna anti-GnRH sobre GDP, CDPA, CA y EA en porcinos.
Table 2. Effect size of anti-GnRH vaccine administration on ADG, ADFI, FC and FE in pigs.

	Parámetro productivo*	Tratamiento		Control		Tamaño de efecto**	
		Media	SD	Media	SD	DM	p
Anti-GnRH vs Control castrados	GDP	978,89032	120,04513	951,71613	135,53971	16,78075	0,11632
	CDA	2478,9583	687,94069	2543,16667	667,08462	-78,78727	0,00028
	CA	2,76222	0,47333	2,93778	0,59404	-0,16854	<0,00001
	EA	0,40727	0,0321	0,37027	0,03375	0,03558	<0,00001
Anti-GnRH vs Control enteros	GDP	947,44545	88,92126	924,02727	77,19898	32,67982	0,00005
	CDA	2371,25	394,87566	2233,75	299,61583	132,92236	0,00052
	CA	2,661	0,52619	2,459	0,42855	0,07311	0,02574
	EA	0,3975	0,03748	0,4175	0,02899	-0,02389	0,00621

* GDP: Ganancia Diaria de Peso / *Daily Weight Gain*; CDA: Consumo Diario de Alimento / *Daily Feed Intake*; CA: Conversión alimenticia / *Feeding conversion*; EA: Eficiencia Alimenticia / *Feeding efficiency*.

** DM: diferencia de medias / *mean differences*; p: valor de probabilidad / *p-value*.

En cuanto al parámetro EA, los cerdos vacunados ganaron 35,58 g de peso adicional a partir de cada kg de alimento consumido en comparación con el grupo control castrados ($p \leq 0,00001$). Por el contrario, al analizar el grupo control enteros se evidencia una mejor EA ($p = 0,00621$), ya que ganaron 23,89 g de peso adicional a partir de cada kg de alimento consumido en comparación con el grupo tratamiento.

Tabla 3. Tamaño de efecto de la administración de la vacuna anti-GnRH sobre porcentaje magro, enrojecimiento y pH (30 – 45 min y 24h) post mortem en porcinos.

Table 3. Effect size of anti-GnRH vaccine administration on post-mortem lean percentage, redness and pH (30 – 45 min and 24 h) in pigs.

	Rendimiento productivo	Tratamiento		Control		Tamaño de efecto*	
		Media	SD	Media	SD	DM	p
Anti-GnRH vs Control castrados	Porcentaje magro	55,33333	3,29886	54,06667	3,74933	1,30245	<0,00001
	Enrojecimiento	7,13143	2,05404	8,08857	2,41538	-0,99668	0,02495
	pH 30-45 min	6,29615	0,23035	6,25	0,30635	0,04835	0,07738
	pH 24 h	5,49692	0,15887	5,51	0,1698	-0,01804	0,04624
Anti-GnRH vs Control enteros	Porcentaje magro	58,86667	3,75695	59,33333	3,11748	-0,56999	0,13119
	Enrojecimiento	6,1	0	6,55	0,07071	-0,46318	0,01016
	pH 30-45 min	6,324	0,11718	6,306	0,04278	0,04863	0,14923
	pH 24 h	5,8	0,46472	5,64	0,42071	0,03859	0,20481

* DM: diferencia de medias / *mean differences*; p: valor de probabilidad / *p value*.

3.2. Rendimiento y calidad de canal

La administración de la vacuna anti-GnRH incrementó en 1,3% el porcentaje magro ($p < 0,00001$) en comparación con los cerdos castrados. Así mismo, el pH (30-45 min) *post mortem* incrementó en 0,04835 ($p = 0,07738$)

por encima del grupo control, como se muestra en la Tabla 3. Por el contrario, el enrojecimiento fue mayor en los cerdos castrados en 0,99668 ($p = 0,02495$) por encima de los cerdos vacunados. De manera similar se encontró el pH 24 horas *post mortem*, 0,01804 ($p = 0,04624$) superior a los cerdos vacunados.

Al comparar cerdos inmunocastrados versus enteros, el porcentaje magro ($p = 0,13119$) y enrojecimiento ($p = 0,01016$) fueron superiores en el grupo control en 0,56999 y 0,46318, respectivamente, por encima de los cerdos con anti-GnRH. El pH medido a los 30-45 min ($p = 0,14923$) y 24 horas ($p = 0,20481$) *post mortem* fueron superiores en el grupo tratamiento en 0,04863 y 0,03859, respectivamente.

4. Discusión

Se evidenció que la aplicación de la vacuna anti-GnRH favoreció el rendimiento productivo, ya que se encontró mejoría del CDA ($p = 0,00028$), CA ($p < 0,00001$) y EA ($p < 0,00001$) frente a cerdos castrados. Estos resultados son similares a los reportados por Kantas et al. (2014), en los que los cerdos castrados quirúrgicamente presentaron una CA 11% ($p = 0,0005$) más alta frente a cerdos inmunocastrados. Sin embargo, la GDP fue superior en los cerdos inmunocastrados 892 g día⁻¹ frente a los 820 g día⁻¹ ($p < 0,05$) de los cerdos castrados.

Por el contrario, en comparación con el grupo cerdos enteros, la aplicación de la vacuna anti-GnRH no favoreció el rendimiento productivo, ya que se evidenció mejor CDA ($p = 0,00052$), CA ($p = 0,02574$) y EA ($p = 0,00621$) en el grupo control, a excepción de la GDP, que favoreció al grupo vacunado ($p = 0,00005$). Sin embargo, en el estudio realizado por Kantas et al. (2014) se encontró que la GDP no fue diferente entre los cerdos enteros (888 g día⁻¹) versus los inmunocastrados (892 g día⁻¹).

La inmunocastración ha sido evaluada a través de un gran número de estudios que tuvieron como finalidad mejorar la calidad de la carne, demostrando que, en comparación con la castración quirúrgica, mejoró la calidad de la canal y el rendimiento productivo (Wang et al., 2023). Dentro del proceso de inmunocastración, entre la segunda semana posterior a la vacuna de refuerzo, los niveles de testosterona comienzan a disminuir debido a la ausencia de las hormonas GnRH, FSH y LH, causando que el metabolismo de los inmunocastrados cambie progresivamente a un metabolismo de machos castrados quirúrgicamente, dando como resultado el aumento del apetito y menor eficiencia en el uso del alimento (Brunius et al., 2011). Es así como, debido a su mayor consumo de alimento (+10 a 12%), se estaría ingiriendo mayores niveles de energía generando un mayor depósito de tejido adiposo (+9%), en especial frente a cerdos enteros (Moore et al., 2016). Por tanto, en el presente meta-análisis se evidenció el beneficio de la aplicación de la vacuna anti-GnRH en el rendimiento productivo en comparación con los cerdos castrados. Es importante mencionar que la aplicación de la vacuna anti-GnRH actúa a partir de la segunda a tercera semana posterior a la segunda dosis de refuerzo, causando la disminución de las concentraciones de androstenona y escatol durante, aproximadamente, 10 semanas después de la segunda vacunación, que hace que los cerdos inmunocastrados no liberen el “olor sexual” (Reyes-Bermúdez y Marín-Hernández, 2018).

Por otro lado, Jaros et al. (2005) indican que la falta de hormona GnRH impide un mejor desempeño en etapa de recría y engorde, ya que los machos enteros poseen una mayor tasa de deposición de proteína y menor deposición grasa por acción de la testosterona, obteniendo una mejor conversión alimenticia, rendimiento magro y ganancia diaria de peso. Sin embargo, el engorde de machos enteros presenta la gran desventaja de la presencia del “olor sexual” en la canal. Fue así como en este meta-análisis, los cerdos enteros presentaron un mejor desempeño productivo por el efecto de la testosterona frente a los inmunocastrados. Esto coincide con los resultados presentados por van den Broeke et al. (2016), donde los cerdos enteros en distintas etapas (entre 20 a 105 kg) presentan una tendencia ($p > 0,05$) a superar a los inmunocastrados en la variable GDP. Sin embargo, entre los 105 y 133 kg los inmunocastrados tienen una mayor GDP versus los cerdos enteros, 984 vs 877 g día⁻¹ ($p = 0,014$) respectivamente. Otra desventaja en el uso de machos enteros es la menor ingestión de alimento, gastan más energía y reducen la tasa de crecimiento a niveles por debajo del potencial óptimo debido al aumento de la agresividad y comportamiento sexual (Pauly et al., 2009). En el estudio realizado por Metz et al. (2002), 116 kg de peso vivo, se aprecia que los cerdos enteros consumieron 2,60 kg día⁻¹ frente a los 2,78 kg día⁻¹ de los animales inmunocastrados ($p < 0,01$). Lo anterior coincide con lo reportado por van den Broeke et al. (2022), trabajo en el que los cerdos enteros consumieron 2,48 kg día⁻¹ en comparación a los 2,97 kg día⁻¹ de los cerdos inmunocastrados ($p < 0,001$).

En cuanto al rendimiento y calidad de canal en el presente meta-análisis se evidenció que los cerdos que recibieron la vacuna anti-GnRH mostraron un mayor porcentaje magro y pH (30-45 min) en comparación con

los cerdos castrados. Los cerdos castrados presentaron un mayor enrojecimiento y pH (24 h *post mortem*) que el grupo vacunado. Por el contrario, los cerdos vacunados presentaron menor porcentaje magro y enrojecimiento, y un mayor pH (30-45 min, 24h) en comparación con los cerdos enteros. Rosenvold y Andersen (2003) manifiestan que factores como sistema de producción, grupo racial, alimentación y manejo *ante-mortem* de los animales y manejo *post-mortem* de la carne, llegan a interferir en las características de rendimiento y calidad de canal. Cabe recalcar que el manejo *ante-mortem* es muy importante, ya que factores como ayuno, transporte, aturdimiento y especie influyen en la fisiología del estrés, que puede afectar a la calidad de la canal (Rosenvold y Andersen, 2003).

En este trabajo no se encontraron diferencias en el nivel de pH medido entre 30 y 45 min *post mortem* en ninguna de las comparaciones realizadas. En todos los grupos el pH osciló entre 6,25 y 6,32, por lo que no se estaría presentando una carne PSE, sino más bien una tendencia hacia una carne DFD (oscura, firme y seca) (pH mayor o igual a 6,3). Esto coincide con lo reportado por Castrillón et al. (2005), quienes mencionan que podrían considerarse como una carne normal aquellas cuyo pH oscila entre 5,9 y 6,2 (medidos a los 45 min). De manera similar, en el estudio realizado por Dalla Costa et al. (2020) no se encontraron diferencias entre cerdos inmunocastrados y aquellos castrados quirúrgicamente, sin embargo, hubo valores altos entre 6,5 y 6,65. Estos valores de pH más altos estarían ocasionados por el consumo temprano de los niveles de glucógeno muscular (Henckel et al, 2002).

En el pH medido a las 24 horas *post mortem* si se encontró diferencia significativa, presentándose un pH más bajo en aquellos cerdos inmunocastrados (5,49) versus los cerdos castrados quirúrgicamente (5,51). Lo anterior coincide con lo reportado por Dalla Costa et al. (2020), quienes también encontraron un pH más bajo en inmunocastrados (5,68) frente a los castrados quirúrgicamente (5,72). Un pH (24 horas) se ve afectado de manera significativa cuando el stock de glucógeno muscular es inferior a 53 mol g⁻¹, que en el caso de los cerdos inmunocastrados se asocia a un menor consumo de alimento frente a los castrados quirúrgicamente (Henckel et al, 2002). No se encontró diferencias entre los cerdos inmunocastrados (5,8) y enteros (5,64), sin embargo, en estos últimos el pH fue más bajo. Los cerdos enteros gastan de forma más temprana su glucógeno debido a su mayor actividad física por la presencia de testosterona (Batorek et al. 2012). Aquellas mediciones de pH inferiores a 5,5 indican una tendencia hacia una carne PSE, Dalla Costa et al. (2017) consideran un pH normal entre 5,5 y 5,8 (medidos a las 24 horas).

Con respecto al porcentaje magro en cerdos en condiciones intensivas de producción (alimentación balanceada), se debe esperar un porcentaje de carne magra mayor al 50% (peso vivo 100 kg) (Overholt et al., 2016). En el presente estudio, en todos los grupos analizados, se obtuvo un porcentaje de carne magra mayor al 50%, en los machos castrados fue de 54,06% mientras que, en los cerdos inmunocastrados fue de 55,33%, observándose un mejor valor, sin embargo no representó una diferencia significativa. Estos resultados coinciden con Andersson et al. (2012) ya que reportan que los cerdos inmunocastrados (56,9%) y los castrados quirúrgicamente (57%) obtuvieron valores más bajos en comparación con los machos enteros (57,7%). Así mismo, Pauly et al. (2009) reportan que los cerdos inmunocastrados (56,3%) presentan canales más magras en comparación con los cerdos castrados quirúrgicamente (54,5%), viéndose favorable la aplicación de la vacuna anti-GnRH.

Por último, en cuanto a las características visuales de la canal se analizó el enrojecimiento, a pesar de que varios factores y pigmentos influyen en la coloración del músculo. La oxidación de la mioglobina a oximioglobina es el principal contribuyente en el color rojo brillante de la carne (Wallace et al., 1982). Los resultados para los determinantes del color de la carne son inconsistentes en la literatura (Pauly et al., 2009). En el presente meta-análisis se evidenció que los cerdos castrados presentaron mayor enrojecimiento en comparación con los inmunocastrados, mismos resultados fueron obtenidos por Daza et al. (2016). Este efecto está asociado a un mayor consumo de alimento y por lo tanto mayor ingestión de nutrientes para la hematopoyesis (Henckel et al, 2002; Wang et al., 2023). En este meta-análisis se evidenció que los cerdos enteros presentaron mayor enrojecimiento frente a los cerdos inmunocastrados. Sin embargo, hay autores que no describen diferencias relevantes (Aluwé et al., 2013; Gispert et al., 2010) cuando se compara cerdos inmunocastrados versus machos enteros. En machos enteros la presencia de testosterona genera una mayor actividad física y metabólica que demanda de mayor cantidad de oxígeno y producción de elementos hematopoyéticos dando una mayor coloración a los tejidos (Škrlep et al. 2020b). Varios factores pueden influir en el color de la carne de cerdo, como el manejo de los animales durante el transporte y en el matadero, el método de sacrificio y las condiciones de recolección de datos (Mancini y Hunt, 2005).

5. Conclusiones

El uso de la vacuna anti-GnRH favorece el rendimiento productivo (CDA, CA y EA) y magro en comparación con cerdos castrados quirúrgicamente, no así cuando la comparación se la hace con los cerdos enteros.

Contribuciones de los autores

- Debra Andrea Trujillo-Torres: investigación, curación de datos, recursos
- Eduardo Fabián Aragón-Vásquez: conceptualización, redacción – borrador original
- Renán Patricio Mena-Pérez: validación, redacción – borrador original
- Jimmy Rolando Quisirumbay-Gaibor: análisis formal, metodología, administración del proyecto, redacción – revisión y edición

Implicaciones éticas

Los autores declaran que no existen implicaciones éticas.

Conflicto de interés

Los autores declaran que no existen conflictos de interés financieros o no financieros que podrían haber influido en el trabajo presentado en este artículo.

Referencias

- Aluwé, M., Langendries, K. C. M., Bekaert, K. M., Tuytens, F. A. M., Brabander, D. L. de, Smet, S. de, y Millet, S. (2013). Effect of surgical castration, immunocastration and chicory-diet on the meat quality and palatability of boars. *Meat Science*, 94(3), 402-407. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.02.015>
- Aluwé, M., Tuytens, F. A. M., y 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>
- Andersson, K., Brunius, C., Zamaratskaia, G., y 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>
- Andreo, N., Bridi, A. M., Silva, C. A. da, Peres, L. M., Giangareli, B. D. L., Santos, É. R. dos, Rogel, C. P., Vero, J. G., y Ferreira, G. A. (2018). Immunocastration and its effects on carcass and meat traits of male pigs. *Semina: Ciências Agrárias*, 39(6), 2531. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2018v39n6p2531>
- Argemí-Armengol, I., Villalba, D., Vall, L., Coma, R., Roma, J., y Álvarez-Rodríguez, J. (2022). Locally grown crops and immunocastration in fattening heavy pigs: Effects on performance and welfare. *Animals*, 12(13), 1629. <https://doi.org/10.3390/ani12131629>
- Basulto Baker, R. (2020). La castración inmunológica de los cerdos machos: estado actual. *Revista de Producción Animal*, 32(3), 40-56. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2224-79202020000300040
- Batorek, N., Škrlep, M., Prunier, A., Louveau, I., Noblet, J., Bonneau, M., y Čandek-Potokar, M. (2012). Effect of feed restriction on hormones, performance, carcass traits, and meat quality in immunocastrated pigs. *Journal of animal science*, 90(12), 4593-4603. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5330>
- Bax, L. (2016). *MIX 2.0 - Professional software for meta-analysis in Excel*. Version 2.0.1.5. BiostatXL. <https://www.meta-analysis-made-easy.com/>
- Bonneau, M., Dufour, R., Chouvet, C., Roulet, C., Meadus, W., y Squires, E. J. (1994). The effects of immunization against luteinizing hormone-releasing hormone on performance, sexual development, and levels of boar taint-related compounds in intact male pigs. *Journal of Animal Science*, 72(1), 14-20. <https://doi.org/10.2527/jas.1994.72114>

org/10.2527/1994.72114x

- Braña, D. V., Rojo-Gómez, G. A., Ellis, M., y Cuarón, J. A. (2013). Effect of gender (gilt and surgically and immunocastrated male) and ractopamine hydrochloride supplementation on growth performance, carcass, and pork quality characteristics of finishing pigs under commercial conditions. *Journal of Animal Science*, 91(12), 5894-5904. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6545>
- Brunius, C., Zamaratskaia, G., Andersson, K., Chen, G., Norrby, M., Madej, A., y Lundström, K. (2011). Early immunocastration of male pigs with Improvac® – Effect on boar taint, hormones and reproductive organs. *Vaccine*, 29(51), 9514-9520. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2011.10.014>
- Castrillón, W. E., Fernández, J. A., y Restrepo, L. F. (2005). Determinación de carne PSE (Pálida, suave y exudativa) en canales de cerdo. *Vitae*, 12, 23-28. <https://www.redalyc.org/pdf/1698/169815869003.pdf>
- Channon, H. A., D'Souza, D. N., y Dunshea, F. R. (2018). Eating quality traits of shoulder roast and stir fry cuts outperformed loin and silverside cuts sourced from entire and immunocastrated male pigs. *Meat Science*, 136, 104-115. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.10.019>
- Cronin, G. M., Dunshea, F. R., Butler, K. L., McCauley, I., Barnett, J. L., y 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)
- Dalla Costa, F. A., Lopes, L. S., y Dalla Costa, O. A. (2017). Effects of the truck suspension system on animal welfare, carcass and meat quality traits in pigs. *Animals*, 7(1), 5. <https://doi.org/10.3390/ani7010005>
- Dalla Costa, O. A., Tavernari, F. de C., Lopes, L. dos S., Dalla Costa, F. A., Feddern, V., y de Lima, G. J. M. M. (2020). Performance, carcass and meat quality of pigs submitted to immunocastration and different feeding programs. *Research in Veterinary Science*, 131, 137-145. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2020.04.015>
- Daza, A., Latorre, M. A., Olivares, A., y López Bote, C. J. (2016). The effects of male and female immunocastration on growth performances and carcass and meat quality of pigs intended for dry-cured ham production: A preliminary study. *Livestock Science*, 190, 20-26. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2016.05.014>
- de Briyne, N., Berg, C., Blaha, T., y Temple, D. (2016). Pig castration: will the EU manage to ban pig castration by 2018? *Porcine Health Management*, 2(1), 29. <https://doi.org/10.1186/s40813-016-0046-x>
- de Roest, K., Montanari, C., Fowler, T., y 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>
- Dunshea, F. R., Colantoni, C., Howard, K., McCauley, I., Jackson, P., Long, K. A., Lopaticki, S., Nugent, E. A., Simons, J. A., Walker, J., y 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>
- Fernandes, A. R., Pena, M. S. de, Carmo, M. A. do, Coutinho, G. de A., y Benevenuto Junior, A. A. (2017). Desempenho, características de carcaça e qualidade de carne de suínos sob castração cirúrgica ou imunológica. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 18(2), 303-312. <https://doi.org/10.1590/s1519-99402017000200009>
- Font-i-Furnols, M., Gispert, M., Soler, J., Diaz, M., Garcia-Regueiro, J. A., Diaz, I., y Pearce, M. C. (2012). Effect of vaccination against gonadotrophin-releasing factor on growth performance, carcass, meat and fat quality of male Duroc pigs for dry-cured ham production. *Meat Science*, 91(2), 148-154. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.01.008>
- Fuchs, T., Nathues, H., Koehrmann, A., Andrews, S., Brock, F., Sudhaus, N., Klein, G., y Beilage, E. (2009). A comparison of the carcass characteristics of pigs immunized with a 'gonadotrophin-releasing factor (GnRF)' vaccine against boar taint with physically castrated pigs. *Meat Science*, 83(4), 702-705. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.08.007>
- Gispert, M., Àngels Oliver, M., Velarde, A., Suarez, P., Pérez, J., y Font i Furnols, M. (2010). Carcass and meat quality characteristics of immunocastrated male, surgically castrated male, entire male and female pigs. *Meat Science*, 85(4), 664-670. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.03.021>
- Grela, E. R., Czech, A., Kusior, G., Szczotka-Bochniarz, A., y Klebaniuk, R. (2018). The effect of feeding system and sex on the performance and selected gastrointestinal features of fattening pigs. *Polish Journal of Veterinary Sciences*, 21(1), 157-165. <https://doi.org/10.24425/119034>
- Grela, E. R., Kowalczyk-Vasilev, E., y Klebaniuk, R. (2013). Performance, pork quality and fatty acid composition of entire males, surgically castrated or immunocastrated males, and female pigs reared under organic

- system. *Polish Journal of Veterinary Sciences*, 16(1), 107-114. <https://doi.org/10.2478/pjvs-2013-0015>
- Henckel, P., Karlsson, A., Jensen, M. T., Oksbjerg, N., y Petersen, J. S. (2002). Metabolic conditions in porcine *longissimus* muscle immediately pre-slaughter and its influence on peri-and post mortem energy metabolism. *Meat Science*, 62(2), 145-155. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(01\)00239-X](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(01)00239-X)
- Iocca, A. F. S., Lucas, D. S., Fausto, D. A., Delgado, E. F., Pértile, S. F. N., y Janzanti, N. S. (2015). Imunocastração e ractopamina na qualidade de lombos suínos processados com sal e tripolifosfato. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 50(5), 417-425. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015000500009>
- Jaros, P., Bürgi, E., Stärk, K. D. C., Claus, R., Hennessy, D., y Thun, R. (2005). Effect of active immunization against GnRH on androstenedione concentration, growth performance and carcass quality in intact male pigs. *Livestock Production Science*, 92(1), 31-38. <https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2004.07.011>
- Jeong, J.-Y., Choi, J.-H., Choi, Y.-S., Han, D.-J., Kim, H.-Y., Lee, M.-A., Lee, D.-H., y Kim, C.-J. (2011). The Effects of Immunocastration on meat quality and sensory properties of pork bellies. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 31(3), 372-380. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2011.31.3.372>
- Kantas, D., Papatsiros, V., Tassis, P., Tzika, E., Pearce, M. C., y Wilson, S. (2014). Effects of early vaccination with a gonadotropin releasing factor analog-diphtheria toxoid conjugate on boar taint and growth performance of male pigs. *Journal of Animal Science*, 92(5), 2251-2258. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6924>
- Kress, K., Weiler, U., Schmucker, S., Čandek-Potokar, M., Vrecl, M., Fazarinc, G., Škrlep, M., Batorek-Lukač, N., y Stefanski, V. (2019). 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>
- Lealiifano, A. K., Pluske, J. R., Nicholls, R. R., Dunshea, F. R., Campbell, R. G., Hennessy, D. P., Miller, D. W., Hansen, C. F., y Mullan, B. P. (2011). Reducing the length of time between slaughter and the secondary gonadotropin-releasing factor immunization improves growth performance and clears boar taint compounds in male finishing pigs. *Journal of Animal Science*, 89(9), 2782-2792. <https://doi.org/10.2527/jas.2010-3267>
- Ledesma, R., Macbeth, G., y Cortada de Kohan, N. (2008). Tamaño del efecto: Revisión teórica y aplicaciones con el sistema estadístico ViSta. *Revista Latinoamericana de Psicología*, 40, 425-439. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-05342008000300003
- Mancini, R. A., & Hunt, M. C. (2005). Current research in meat color. *Meat Science*, 71(1), 100-121. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.03.003>
- Metz, C., Hohl, K., Waidelich, S., Drochner, W., y Claus, R. (2002). Active immunization of boars against GnRH at an early age: consequences for testicular function, boar taint accumulation and N-retention. *Livestock Production Science*, 74(2), 147-157. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(01\)00292-5](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(01)00292-5)
- Mitjana, O., Bonastre, C., Tejedor, M. T., Garza, L., Latorre, M. Á., Moreno, B., y Falceto, M. V. (2020). Immuno-castration of female and male pigs with anti-gonadotrophin releasing hormone vaccine: Morphometric, histopathological and functional studies of the reproductive system. *Animal Reproduction Science*, 221, 106599. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2020.106599>
- Molist, F., Gerritsen, R., Van der Aar, P., y Prüst, H. (2014). Influence of a gonadotropin-releasing hormone vaccine and dietary standardized ileal digestible lysine level on growth performance and carcass quality of grower-finisher pigs. *Journal of Animal Science*, 92(11), 4956-4963. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-6134>
- Moore, K. L., Mullan, B. P., Kim, J. C., y Dunshea, F. R. (2016). Standardized ileal digestible lysine requirements of male pigs immunized against gonadotrophin releasing factor1. *Journal of Animal Science*, 94(5), 1982-1992. <https://doi.org/10.2527/jas.2015-9622>
- Morales, J. I., Serrano, M. P., Cámara, L., Berrocoso, J. D., López, J. P., y Mateos, G. G. (2013). Growth performance and carcass quality of immunocastrated and surgically castrated pigs from crossbreds from Duroc and Pietrain sires. *Journal of Animal Science*, 91(8), 3955-3964. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-6068>
- Morales, J., Dereu, A., Manso, A., de Frutos, L., Piñeiro, C., Manzanilla, E. G., y 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), 18. <https://doi.org/10.1186/s40813-017-0066-1>
- Morales, J., Gispert, M., Hortos, M., Pérez, J., Suárez, P., y Piñeiro, C. (2010). Evaluation of production performance and carcass quality characteristics of boars immunised against gonadotropin-releasing hormone (GnRH) compared with physically castrated male, entire male and female pigs. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 8(3), 599-606. <https://doi.org/10.5424/sjar/2010083-1255>
- Needham, T., Hoffman, L. C., y Gous, R. M. (2017). Growth responses of entire and immunocastrated male

- pigs to dietary protein with and without ractopamine hydrochloride. *Animal*, 11(9), 1482-1487. <https://doi.org/10.1017/S1751731117000271>
- Needham, T., y Hoffman, L. C. (2015). Physical meat quality and chemical composition of the Longissimus thoracis of entire and immunocastrated pigs fed varying dietary protein levels with and without ractopamine hydrochloride. *Meat Science*, 110, 101-108. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.06.017>
- Oliver, W. T., McCauley, I., Harrell, R. J., Suster, D., Kerton, D. J., y Dunshea, F. R. (2003). A gonadotropin-releasing factor vaccine (Improvac) and porcine somatotropin have synergistic and additive effects on growth performance in group-housed boars and gilts. *Journal of Animal Science*, 81(8), 1959-1966. <https://doi.org/10.2527/2003.8181959x>
- Oliviero, C., Ollila, A., Andersson, M., Heinonen, M., Voutilainen, L., Serenius, T., y Peltoniemi, O. (2016). Strategic use of anti-GnRH vaccine allowing selection of breeding boars without adverse effects on reproductive or production performances. *Theriogenology*, 85(3), 476-482. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2015.09.027>
- Overholt, M. F., Arkfeld, E. K., Mohrhauser, D. A., King, D. A., Wheeler, T. L., Dilger, A. C., Shackelford, S. D., y Boler, D. D. (2016). Comparison of variability in pork carcass composition and quality between barrows and gilts. *Journal of Animal Science*, 94(10), 4415-4426. <https://doi.org/10.2527/jas.2016-0702>
- Pauly, C., Spring, P., O'Doherty, J. V., Ampuero Kragten, S., y Bee, G. (2009). Growth performance, carcass characteristics and meat quality of group-penned surgically castrated, immunocastrated (Improvac®) and entire male pigs and individually penned entire male pigs. *Animal*, 3(7), 1057-1066. <https://doi.org/10.1017/S1751731109004418>
- Pérez-Ciria, L., Miana-Mena, F. J., Álvarez-Rodríguez, J., y Latorre, M. A. (2022). Effect of castration type and diet on growth performance, serum sex hormones and metabolites, and carcass quality of heavy male pigs. *Animals*, 12(8), 1004. <https://doi.org/10.3390/ani12081004>
- Puls, C. L., Ellis, M., McKeith, F. K., Gaines, A. M., y Schroeder, A. L. (2014b). Effects of ractopamine on growth performance and carcass characteristics of immunologically and physically castrated barrows and gilts. *Journal of Animal Science*, 92(10), 4725-4732. <https://doi.org/10.2527/jas.2014-7882>
- Puls, C. L., Rojo, A., Ellis, M., Boler, D. D., McKeith, F. K., Killefer, J., Gaines, A. M., Matzat, P. D., y Schroeder, A. L. (2014a). Growth performance of immunologically castrated (with Improvest) barrows (with or without ractopamine) compared to gilt, physically castrated barrow, and intact male pigs. *Journal of Animal Science*, 92(5), 2289-2295. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6861>
- Quiniou, N., Monziols, M., Colin, F., Goues, T., y Courboulay, V. (2012). Effect of feed restriction on the performance and behaviour of pigs immunologically castrated with Improvac®. *Animal*, 6(9), 1420-1426. <https://doi.org/10.1017/S1751731112000444>
- Reyes-Bermúdez, G. M., y Marín-Hernández, D. E. (2018). Determinación de parámetros productivos y económicos en cerdos castrados e inmunocastrados, municipio de Ilobasco, departamento de Cabañas, El Salvador. *Revista Agrociencia*, 1(06), 34-43. <https://www.agronomia.ues.edu.sv/agrociencia/index.php/agrociencia/article/view/112>
- Rikard-Bell, C., Curtis, M. A., van Barneveld, R. J., Mullan, B. P., Edwards, A. C., Gannon, N. J., Henman, D. J., Hughes, P. E., y Dunshea, F. R. (2009). Ractopamine hydrochloride improves growth performance and carcass composition in immunocastrated boars, intact boars, and gilts. *Journal of Animal Science*, 87(11), 3536-3543. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2002>
- Rosenvold, K., y Andersen, H. J. (2003). Factors of significance for pork quality—a review. *Meat Science*, 64(3), 219-237. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(02\)00186-9](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(02)00186-9)
- Seiquer, I., Palma-Granados, P., Haro, A., Lara, L., Lachica, M., Fernández-Figares, I., y Nieto, R. (2019). Meat quality traits in longissimus lumborum and gluteus medius muscles from immunocastrated and surgically castrated Iberian pigs. *Meat Science*, 150, 77-84. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.12.004>
- Škrlep, M., Batorek, N., Bonneau, M., Prevolnik, M., Kubale, V., y Čandek-Potokar, M. (2012). Effect of immunocastration in group-housed commercial fattening pigs on reproductive organs, malodorous compounds, carcass and meat quality. *Czech Journal of Animal Science*, 57(6), 290-299. <https://doi.org/10.17221/5964-CJAS>
- Škrlep, M., Poklukar, K., Kress, K., Vrecl, M., Fazarinc, G., Batorek Lukač, N., Weiler, U., Stefanski, V., y Čandek-Potokar, M. (2020a). Effect of immunocastration and housing conditions on pig carcass and meat quality traits. *Translational Animal Science*, 4(2), 1224-1237. <https://doi.org/10.1093/tas/txaa055>
- Škrlep, M., Šegula, B., Prevolnik, M., Kirbiš, A., Fazarinc, G., y Čandek-Potokar, M. (2010). Effect of im-

- munocastration (Improvac®) in fattening pigs II: Carcass traits and meat quality. *Slovenian Veterinary Research*, 47(2), 65-72. <https://www.slovetres.si/index.php/SVR/issue/view/22>
- Škrlep, M., Tomašević, I., Mörlein, D., Novaković, S., Egea, M., Garrido, M. D., Linares, M. B., Peñaranda, I., Aluwé, M., y Font-i-Furnols, M. (2020b). The use of pork from entire male and immunocastrated pigs for meat products—An overview with recommendations. *Animals*, 10(10), 1754. <https://doi.org/10.3390/ani10101754>
- Turkstra, J. A., Zeng, X. Y., Van Diepen, J. T. M., Jongbloed, A. W., Oonk, H. B., Van de Wiel, D. F. M., y Meloen, R. H. (2002). Performance of male pigs immunized against GnRH is related to the time of onset of biological response. *Journal of Animal Science*, 80(11), 2953-2959. <https://doi.org/10.2527/2002.80112953x>
- van den Broeke, A., Aluwé, M., Kress, K., Stefanski, V., Škrlep, M., Batorek, N., Ampe, B., y Millet, S. (2022). Effect of dietary energy level in finishing phase on performance, carcass and meat quality in immunocastrates and barrows in comparison with gilts and entire male pigs. *Animal*, 16(1), 100437. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100437>
- van den Broeke, A., Leen, F., Aluwé, M., Ampe, B., van Meensel, J., y Millet, S. (2016). The effect of GnRH vaccination on performance, carcass, and meat quality and hormonal regulation in boars, barrows, and gilts1. *Journal of Animal Science*, 94(7), 2811-2820. <https://doi.org/10.2527/jas.2015-0173>
- van Ferneij, J. -P. (2022). *Situación de la castración de cerdos en la Unión Europea*. 3tres3.com. https://www.3tres3.com/latam/articulos/situacion-de-la-castracion-de-cerdos-en-la-union-europea_12644/
- Wallace, W. J., Houtchens, R. A., Maxwell, J. C., y Caughey, W. S. (1982). Mechanism of autooxidation for hemoglobins and myoglobins. Promotion of superoxide production by protons and anions. *Journal of Biological Chemistry*, 257(9), 4966-4977. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(18\)34620-9](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(18)34620-9)
- Wang, C., Yang, C., Zeng, Y., y Zhang, M. (2023). GnRH-immunocastration: an alternative method for male animal surgical castration. *Frontiers in Veterinary Science*, 10, 1248879. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1248879>
- Zamaratskaia, G., Andersson, H. K., Chen, G., Andersson, K., Madej, A., y 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., y 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>
- Zoels, S., Reiter, S., Ritzmann, M., Weiß, C., Numberger, J., Schütz, A., Lindner, P., Stefanski, V., y 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>