

Uso de anillo de goma para la castración en bovinos: neurobiología del dolor, aspectos legales, éticos y etológicos

Daniel Mota Rojas^{1*}, Agustín Orihuela², Adriana Domínguez Oliva¹, Pamela Anahí Lendez^{3,4}, Marcelo Ghezzi⁴ y Fabio Napolitano⁵

Resumen: Uno de los métodos más empleados y permitidos para castración de bovinos es el uso de anillos de goma. Al colocar anillos alrededor de los testículos de becerros menores de tres meses, se consigue la castración a través de isquemia y muerte del tejido testicular. Aunque se le atribuyen ventajas como un método de bajo costo e indoloro, por lo cual es un procedimiento aceptado en normativas nacionales e internacionales, se han observado respuestas asociadas al dolor como alteraciones en el comportamiento y endocrinas. El objetivo de esta revisión es el análisis comparativo de la castración quirúrgica y el anillo de goma, las consecuencias sensitivas, fisiológicas, productivas, conductuales y los aspectos legales sobre el uso del anillo de goma para la castración en bovinos. De acuerdo con los hallazgos, los becerros a los que se les castra con anillos de goma presentan aumentos en las concentraciones de cortisol plasmático, sustancia P y haptoglobina. Por otra parte, alteraciones en la postura como arqueamiento de la espalda y recumbencia lateral con extensión de los miembros pelvianos son cambios asociados al dolor. De igual manera, un aumento en la presentación de pisadas y patadas y lamidos al área afectada se han observado con el uso de este método de castración. Actualmente se recomienda la castración con anillos de goma en conjunto con la administración de analgésicos locales. No obstante, debido a que el uso de analgesia en becerros es limitado, se requiere que las normativas consideren el potencial dolor –y sus consecuencias– generadas por este método de castración en becerros.

Palabras clave: Becerros, Dolor agudo, Analgesia local, Sensibilización periférica.

¹ Departamento de Producción Agrícola y Animal. Universidad Autónoma Metropolitana. Ciudad de México. México

² Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, México.

³ Anatomy Area, Faculty of Veterinary Sciences (FCV), Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNCPBA), University Campus, Tandil, Argentina.

⁴ Centro de Investigación Veterinaria de Tandil CIVETAN, UNCPBA-CICPBA-CONICET (UNCPBA), University Campus, Tandil, Argentina.

⁵ Scuola di Scienze Agrarie, Forestali, Alimentari ed Ambientali, Università degli Studi della Basilicata, Potenza, Italia.

* Autor de correspondencia. e-mail: dmota@correo.xoc.uam.mx

Abstract: *One of the most used and approved methods for castration of bovines is by using rubber bands. By placing the bands around less than 3-month-old calves' testicles, castration is achieved through ischemia and death of the testicular tissue. Rubber ring castration has the advantage of being a low-cost and easy method, which is why it is an accepted procedure in national and international regulations. However, responses associated with pain such as behavioral and endocrine alterations have been observed. The objective of this review is the comparative analysis of surgical and rubber ring castration, considering the sensory, physiological, productive, and behavioral consequences, as well as the legal aspects of rubber ring castration in cattle. According to the findings, calves that are castrated with rubber bands show increases in plasma cortisol, substance P, and haptoglobin concentrations. On the other hand, alterations in posture such as arching of the back and lateral recumbency with extension of the pelvic limbs are changes associated with pain. Likewise, an increase in stomping, kicking, and licking the affected area has been observed with the use of this castration method. Castration with rubber bands is currently recommended with the administration of local analgesics. However, because the use of analgesia in calves is limited, regulations are required to consider the potential pain – and its consequences – generated by this method of castration in calves.*

Keywords: *Calves, Acute pain, Local analgesia, Peripheral sensitization.*

INTRODUCCIÓN

La castración es un procedimiento que comúnmente se realiza en las unidades de producción. Su objetivo es producir ganado dócil para el trabajo de tiro, reducir la reproducción indeseada y modificar la calidad de la canal (Mota-Rojas, 2013; Mota-Rojas, 2014; 2015). De manera general, existen tres tipos de castración: 1) con anillos de goma colocados en el 32% de becerros de una semana de edad y el 85% de los animales de tres meses; 2) con pinzas de Burdizzo o técnica de Burdizzo, la cual se realiza entre el 1–43% de animales; y 3) la castración quirúrgica, llevada a cabo entre el 18–39% de los becerros (Stafford y Mellor, 2005; Abdulkhaliq *et al.* 2007). El uso de anillos de goma se considera un método sencillo, económico e indoloro para castrar los animales. No obstante, independientemente del método de castración, todos involucran efectos negativos como el daño tisular, el subsecuente dolor agudo y la elevación de los niveles séricos de cortisol (Marquette *et al.* 2023).

En Australia, el 70–75% de las granjas emplean el anillo de goma, mientras que en el Reino Unido su uso es superior al 85% (Molony y Kent 2007; Paull *et al.* 2012). Esta técnica se basa en la oclusión de la circulación local del testículo, ocasionando congestión local, isquemia y muerte del tejido testicular. La presión que ejercen los anillos o bandas de goma induce dolor agudo en los animales debido a la sensibilización de las fibras sensitivas (Mota-Rojas, 2014, 2015; Orihuela y Ungerfeld, 2019a; Hernández-Avalos *et al.* 2021). Una alternativa que se propone para controlar o mitigar el dolor por la castración

con anillos de goma es el uso de analgésicos; sin embargo, los reportes encuentran que la administración de analgesia no siempre disminuye las alteraciones fisiológicas y de comportamiento asociadas al dolor (Ting *et al.* 2003; Stafford y Mellor, 2005; Mota-Rojas, 2013; Repenning *et al.* 2013; Mota-Rojas *et al.* 2016). Por esta razón, el objetivo de este artículo de revisión es el análisis comparativo de la castración quirúrgica y el anillo de goma, las consecuencias sensitivas, fisiológicas, productivas, conductuales y los aspectos legales sobre el uso del anillo de goma para la castración en bovinos.

Comparativa entre la castración quirúrgica y el uso del anillo de goma

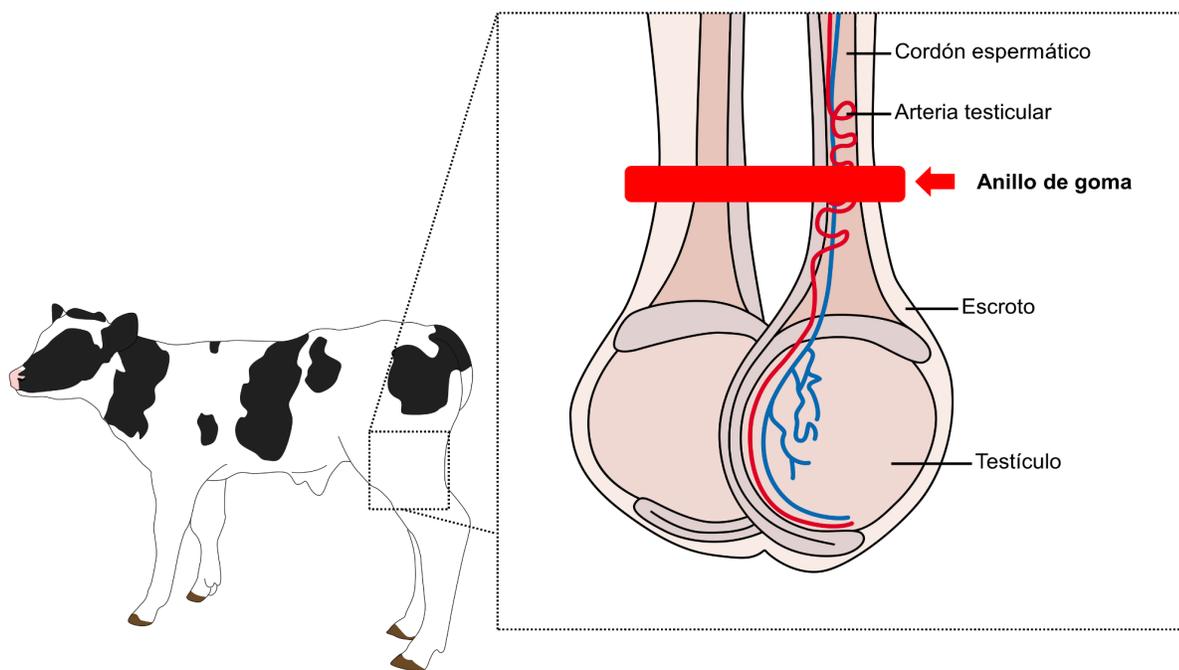
La castración en el bovino se considera una de las prácticas rutinarias en las unidades de producción. La castración se realiza con el objetivo de reducir la incidencia de reproducción no deseada en animales de baja calidad (Archer *et al.* 2004; Mota-Rojas 2013), así como el reducir la agresividad de los animales y la conducta sexual (Prunier *et al.* 2006). Por ejemplo, Price *et al.* (2003) evaluaron la frecuencia de conductas agresivas en ocho novillos de carne (Hereford, Angus y Hereford x Angus) castrados vía inmunización activa contra la hormona liberadora de la gonadotropina y con castración quirúrgica. En los animales castrados se observó que los golpes iniciados por cada animal y la participación en combates se redujo de forma significativa, lo que sugiere que la castración ayuda a reducir la agresividad de los novillos y, en consecuencia, facilitar el manejo de los animales.

En conjunto con la reducción de la agresividad producto de la castración, la reducción de las lesiones debido a las agresiones y monta entre congéneres también puede ayudar a disminuir el número de hematomas presentes en la canal (Kenny y Tarrant, 1987; Jago *et al.* 1997; Katz, 2007). Diversos estudios han encontrado una relación entre la presencia de cortes oscuros, la frecuencia de hematomas en la canal y la frecuencia de agresiones entre congéneres en las unidades de producción (Kenny y Tarrant, 1987; Tarrant, 1989; Partida *et al.* 2007; Huertas *et al.* 2015; Mota-Rojas *et al.* 2016). Otra ventaja de la castración es el posible incremento de la ganancia diaria de peso en los animales a pesar del incremento inmediato del cortisol producto del manejo (Obritzhauser *et al.* 1998; Martins *et al.* 2011; Álvarez-Rodríguez *et al.* 2017; Canozzi *et al.* 2017; Roberts *et al.* 2018; Mota-Rojas *et al.* 2018). En este sentido, Kim *et al.* (2015) evaluaron el efecto de la castración sobre el crecimiento y las características de la canal en 12 toros alce de cinco años. Observaron que la ganancia total y ganancia de peso promedio diaria fue mayor en los animales. En consecuencia, tuvieron un peso final mayor. Además, en los animales castrados, se observó que hubo menor humedad y menor contenido de grasa en los cortes. Con estos resultados, posiblemente queda claro que la castración tiene un beneficio conductual y productivo, lo cual facilitaría el manejo al productor.

A pesar de que la castración conlleva ciertos beneficios, el método elegido influye en la respuesta. La castración con anillos de goma se considera un método económico y simple para aplicar a temprana

edad en ganado bovino en sistemas intensivos (Stafford *et al.* 2000; Boesch *et al.* 2006). La figura 1 esquematiza el sitio anatómico de colocación del anillo de goma. El anillo se coloca en la base del escroto para comprimir la arteria y vena testicular, así como los conductos espermáticos. Dicha oclusión reduce el aporte sanguíneo a nivel del testículo, además de la circulación de espermatozoides en el cordón espermático (Kent *et al.* 2001). En animales de mayor edad se suelen emplear bandas de goma que permitan la compresión adecuada del cuello del escroto (Orihuela y Ungerfeld 2019a).

Figura 1. Sitio de colocación del anillo de goma para la castración de terneros



El anillo se coloca en la base del escroto para ocluir la arteria y vena testicular, acompañado del conducto del epidídimo. Esto provoca la disminución de la circulación espermática.

La interrupción a la circulación en los testículos genera una respuesta inflamatoria y, con ello, dolor agudo (Kent *et al.* 1995). Fisher *et al.* (2001) compararon el efecto de la castración quirúrgica con el uso de anillos de goma en toros de carne. En estos animales se observó que, independientemente del método de castración, la concentración de haptoglobina plasmática incrementó en un 50% sin afectar las concentraciones de cortisol. Además, el peso de los animales castrados con anillos de goma fue 0.20 kg menor. Estos resultados permitieron a los autores concluir que el uso del anillo de goma produce menos efectos agudos, pero tiene mayor supresión del crecimiento, lo cual significa que podría ser un método no tan adecuado.

La posible explicación de este efecto se debe a que la oclusión ocasionada por el anillo de goma genera congestión sanguínea a nivel local. Las células inmunes presentes liberan citocinas proinflamatorias como interleucina (IL)-1, IL-6, IL-10, factor de necrosis tumoral- α y prostaglandina F 2α , las cuales ocasionan la activación de fibras simpáticas de forma prolongada (Sherwood y Toliver-Kinsky 2004). Estos mediadores promueven sistemas catabólicos a causa de un tono simpático elevado, por esta razón es posible que se vea limitado el crecimiento (Grandin *et al.* 2023) as well as the selected stunning and bleeding methods, can cause acute pain, distress, and suffering. In water buffaloes, although stunning is known to be performed before bleeding to induce unconsciousness, no emphasis is made on the nociceptive events during this process. Particularly, current mechanical stunning methods applied to cattle are unsuitable for water buffaloes due to anatomical differences in the skull from other large ruminants. Furthermore, although very high-pressure pneumatic (200–220 psi. Cabe mencionar que el modelo experimental en humanos sostiene que la misma congestión local y la respuesta neurohormonal puede causar la activación de las células endoteliales que conlleva una activación simpática en tejidos periféricos, pero que lleva a una respuesta sistémica (Colombo *et al.* 2014). Por consiguiente, la evidencia científica muestra que el uso del anillo de goma como método de castración no es el más adecuado y posiblemente tendría más consecuencias que beneficios.

Dicha inflamación a nivel escrotal motiva a los animales a invertir más tiempo en enfocarse a la atención de la herida y menos tiempo al consumo de alimento (Coria-Avila *et al.* 2022). De hecho, un estudio realizado por Thornton *et al.* (2002) moving, eating, lying, playing and abnormal postures. The times spent performing each group of behaviours on the days following castration (days 2, 3 and 4 evaluó la respuesta conductual en 46 ovinos de la raza Suffolk bajo dos métodos de castración (anillo de goma y pinzas de Burdizzo). Encontraron que, independientemente del método de castrado, el tiempo de juego y el de descanso disminuyeron significativamente las primeras cuatro semanas posteriores a la castración. Además, en las primeras cuatro a seis semanas posteriores, se registró un incremento en la frecuencia de posturas anormales. Para los autores estos resultados demuestran que el método de castración con anillo de goma genera dolor agudo de forma prolongada.

Por consiguiente, la evidencia científica muestra que la castración con anillo de goma puede alterar de forma negativa la respuesta conductual, producto de la inflamación como consecuencia de la

oclusión de la circulación a nivel escrotal. Dicha respuesta puede también afectar de manera negativa el nivel productivo. Sin embargo, para comprender estas consecuencias se discutirán a detalle en temas subsecuentes.

Consecuencias sensitivas del uso del anillo de goma

Lo discutido anteriormente señala que el uso del anillo de goma puede ocasionar que la inflamación del tejido escrotal a causa de la oclusión de la circulación local. Una revisión sistemática realizada por Bretschneider *et al.* (2005) menciona que la castración mediante el anillo de goma es menos estresante que la castración quirúrgica debido a que el rendimiento productivo y la respuesta de estrés es mayor con la castración quirúrgica. Estos datos coinciden con un estudio comparativo entre la castración quirúrgica y la castración con anillo de goma en becerros Friesian de cuatro a 11 meses. Se encontró que en ambos métodos de castración hubo un incremento de 15 nmol/L del cortisol salival (Fell *et al.* 1986). Resultados que podrían cuestionar la idea sobre si el uso del anillo de goma es un método más doloroso en comparación a la castración quirúrgica.

Los estudios que muestran incrementos en las concentraciones de cortisol sanguíneo indican que existe una respuesta de estrés similar a la castración quirúrgica. Desde una perspectiva estrictamente neurobiológica, la congestión local activa células endoteliales y células del sistema inmune, ocasionando que las fibras sensitivas a nivel escrotal sean activadas lo que lleva a la transducción y transmisión de las señales nociceptivas (Bell, 2018). No sobra decir que la inflamación local puede conllevar a la alteración de las fibras sensitivas, ya que la liberación de citocinas proinflamatorias como la IL-1, IL-6, factor de necrosis tumoral y prostaglandina F2 α , ocasiona que el potencial de acción de las neuronas sensitivas, este fenómeno facilita la transmisión de las señales dolorosas, culminando en hiperalgesia (Jensen y Finnerup 2014). La explicación anterior confirma que los animales experimentan dolor agudo debido al uso del anillo de goma, lo cual contrapone todo punto de vista de bienestar animal.

Debido a la presencia de dolor agudo y crónico en este procedimiento, es necesario el uso de analgésicos como la lidocaína para el tratamiento de este signo. De manera interesante una comparativa entre el uso del anillo de goma y el burdizzo, el uso de lidocaína no generó una castración totalmente indolora, además no se presentó el descenso de la frecuencia de comportamientos como patadas o lamido en los 15 h posterior a la castración (Thüer *et al.* 2007). Esto posiblemente se contrapone con la lógica sobre el uso de los analgésicos, de hecho resultados reportados de otros autores se ha encontrado que el uso de tratamientos analgésicos como el meloxicam o la lidocaína reduce la concentración plasmática de cortisol y la respuesta conductual de dolor el tiempo de lamido o la frecuencia de patadas (Mellema *et al.* 2007; Marti *et al.* 2018; Nogues *et al.* 2021; Ede *et al.* 2022).

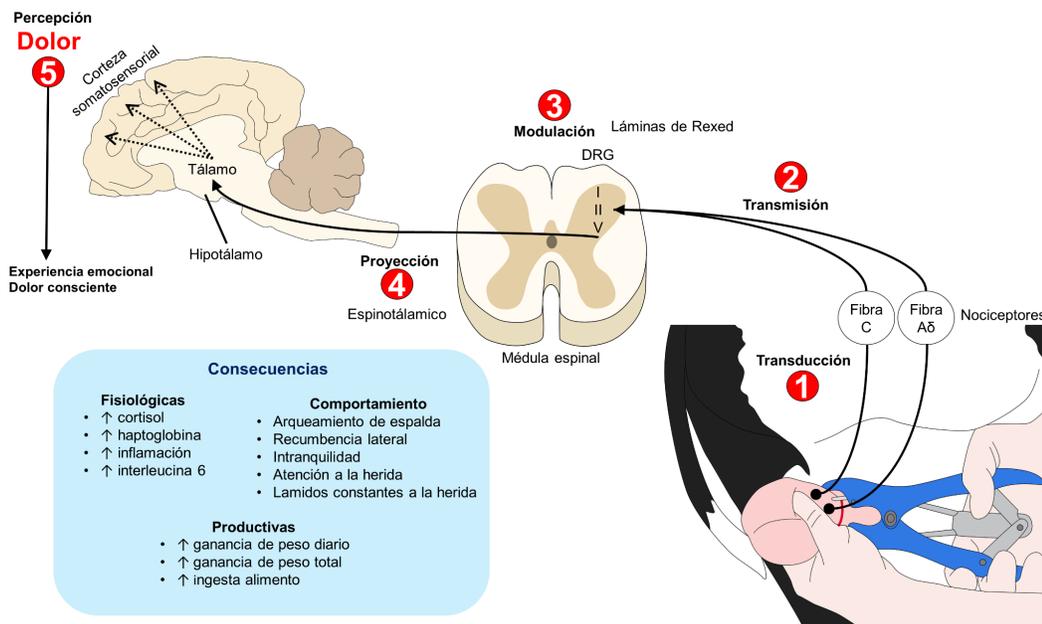
La respuesta inflamatoria tiene influencia en la efectividad que tienen los analgésicos locales para el control del dolor. Desde una perspectiva farmacológica, estos fármacos dependen del pH del medio donde se administran, de tal forma que al encontrarse en un medio ácido estos fármacos pueden ser inactivados (Rioja, 2017). Por tanto, su actividad puede verse limitada o simplemente nulificada. Esto explica porque la inflamación generada por el anillo de goma es el principal causante de la alteración sensitiva durante la castración. Por ello, deben considerarse estrategias distintas para el control de este signo. Por ejemplo, se ha reportado que el uso de analgésicos no esteroideos como el meloxicam en combinación con la lidocaína reduce de forma significativa el nivel de dolor en bovinos durante la castración quirúrgica (Meléndez et al. 2018). Al tomar en cuenta que algunos reportes sostienen que el uso del meloxicam reduce los niveles de haptoglobina, puede incrementar la ganancia de peso diaria e incluso reduce la inflamación escrotal posterior a la castración quirúrgica (Brown et al. 2015; Olson et al. 2016; Roberts et al. 2015; Ellison, 2017). Entonces, es importante tomar en cuenta que la castración quirúrgica es un evento único y el estímulo sensitivo que no se verá afectado por otro factor adicional durante la castración. Sin embargo, el uso del anillo de goma es un evento prolongado que puede tardar hasta 9 días, lo cual prolonga los eventos sensitivos y lleva a la necesidad de tiempos más largos de la administración de analgésicos.

Por tanto, la evidencia científica muestra que el uso del anillo de goma tiene consecuencias sensitivas graves en los animales, lo cual permite cuestionar si este método es adecuado a pesar de ser simple y económico. De igual forma, debido a su método para lograr la castración, la evidencia es contrastante en la efectividad de los tratamientos analgésicos. Por tal motivo, es necesario señalar que debido al proceso inflamatorio es crucial el uso de analgésicos si se pretende castrar a los animales con la finalidad de evitar las consecuencias sensitivas y conservar los beneficios productivos. No sobra decir, que si es necesario cuestionar la necesidad de mantener este método de castración que podría atentar contra el nivel de bienestar animal.

Consecuencias fisiológicas

La percepción del dolor en aquellos animales en los que se emplean los anillos de goma para castración involucra alteraciones que alteran las respuestas fisiológicas (Mota-Rojas *et al.* 2016; Orihuela y Ungerfeld, 2019b). Los cambios fisiológicos a nivel cardiovascular, respiratorio o endocrino se derivan de la activación del sistema nervioso simpático y sus dos principales ejes: el simpático-adreno-medular e hipotálamo-hipófisis-adrenal. La activación de ambas vías genera la secreción de catecolaminas (p. ej., adrenalina, noradrenalina) y glucocorticoides (cortisol), respectivamente. A su vez, estos mediadores interactúan con otros sistemas generando taquicardia, taquipnea, hipertermia, entre otras (Figura 2).

Figura 2. Percepción de dolor en becerros castrados con anillos de goma



La inflamación ocasionada por la interrupción al riego sanguíneo testicular induce la activación de nociceptores en el escroto. La activación de dichas vías del dolor culmina en la percepción consciente del dolor, lo cual conlleva alteraciones fisiológicas, de comportamiento y productivas.

El cortisol se considera uno de los principales indicadores de estrés y dolor en animales de granja (Idris *et al.* 2021; Koenneker *et al.* 2023) especially those kept on high levels of nutrition for the purpose of maximising growth rates, which leads to a significant heat increment in their bodies. Consequences include compromised health and productivity and mortalities during extreme events, as well as serious economic loss. Some measures of heat stress, such as plasma cortisol and temperature in the rectum, vagina, or rumen, are invasive and therefore unlikely to be used on farms. These may cause additional stress to the animal due to handling, and that stress in itself can confound the measure. Consequently, it is desirable to find non-invasive alternatives. Panting score (PS. Por ello, diversos artículos evalúan la respuesta fisiológica del uso de anillos de goma para castración a través de las concentraciones de cortisol y otros marcadores de dolor como la sustancia P y haptoglobina, antes y después del procedimiento. Ejemplo de esto es el estudio realizado por Marti *et al.* (2017) en becerros de diferentes edades (una semana, dos meses, y cuatro meses de edad). Las concentraciones de cortisol salival, así como de sustan-

cia P, haptoglobina, y temperatura rectal de becerros sometidos a castración simulada (grupo control), con anillo de goma, y con cuchillo fueron determinadas. Aunque los autores no mostraron diferencias significativas entre las concentraciones de ninguno de los parámetros, las concentraciones de cortisol salival en animales castrados con anillos (2.05–2.85 nmol/L) fueron mayores a las de castración con cuchillo (1.84–2.43 nmol/L) y al grupo control (1.88–2.60 nmol/L).

De igual forma, Becker *et al.* (2012) tampoco registró diferencias significativas en las concentraciones de cortisol plasmático de becerros Simmental y Simmental×Red Holstein de cuatro a seis semanas de edad sometidos a cinco tipos de castración: 1) con un solo anillo de goma; 2) con un anillo de goma y pinzas Burdizzo (colapso de arterias testiculares); 3) anillo de goma removido nueve días después; 4) tres anillos de goma en el cuello escrotal; y 5) grupo control con castración simulada. Sin embargo, todos los métodos tuvieron un aumento promedio de 3.54 nmol/L. En contraste, la inflamación alrededor del área escrotal mostró que el tercer método tuvo menor inflamación (1cm) que los otros métodos (hasta 7 cm en el uso solitario de un anillo de goma).

Otro estudio que evaluó las concentraciones sanguíneas de cortisol y haptoglobina en becerros Belmont Red de tres y seis meses de edad fue el de Petherick *et al.* (2015). A los 120 minutos de culminado el procedimiento, las concentraciones más altas de cortisol se registraron en becerros de seis meses de edad castrados con anillos de goma (50 nmol/L), a diferencia de la castración quirúrgica (30 nmol/L) y el grupo control (18 nmol/L). Una diferencia similar fue observada en la haptoglobina, la cual fue significativamente más alta al día 14 en los animales castrados con anillos de goma (0.98 mg/mL) que en el grupo control (0.73 mg/mL) y en el procedimiento quirúrgico (0.78 mg/mL). Aunado a estos cambios, los animales castrados con anillos de goma tuvieron una mayor presentación de comportamiento activos como caminar (11%) y movimientos de cola (47 movimientos) (Petherick *et al.* 2015). Esto sugiere que la castración, independientemente de la técnica, es un evento doloroso y estresante para los animales (Fell *et al.* 1986; Marti *et al.* 2017), en el cual el uso de anillos de goma puede generar lesiones al tejido, retrasar la curación de la herida o predisponer a infecciones (Petherick *et al.* 2015).

Resultados similares fueron reportados por Stafford *et al.* (2002), quienes compararon métodos de castración en becerros cruza con Friesian de dos a cuatro meses de edad. Al comparar las concentraciones de cortisol del grupo control (simulación de castración) con la de aquellos castrados con anillos de goma y bandas de goma, los becerros de control no registraron incrementos de cortisol (valores entre 7.0–10.0 nmol/L) después del procedimiento. En contraste, incrementos significativos se encontraron en los otros dos métodos (anillo de goma: basal de 8.1 nmol/L incrementó a 99 nmol/L; banda de goma: de 9.7 nmol/L incrementó a 101 nmol/L). Estos resultados indican que los métodos de castración generan dolor agudo dentro de los primeros 30 minutos, particularmente el método de banda de goma debido a la presión ejercida.

Asimismo, Thüer *et al.* (2007) comparó la respuesta de becerros Simmental o Simmental×Red Holstein de 21–28 días entre animales sin castración y aquellos que fueron castrados con anillos de goma y con la técnica de Burdizzo. Al considerar las concentraciones de cortisol sérico y el comportamiento, se encontró que los animales no castrados y a los que se les colocaron anillos de goma tuvieron bajo puntaje de dolor (1 y 3 puntos, respectivamente), a diferencia de los 6 puntos registrado en el grupo Burdizzo. En cuanto a las concentraciones de cortisol sérico, en ambos métodos de castración hubo un incremento en las concentraciones de aproximadamente 40 nmol/L en el método Burdizzo y de 30 nmol/L con el anillo de goma a los 20 minutos de realizado el procedimiento. No obstante, no se observaron diferencias significativas entre los animales del grupo control y los animales en el grupo anillo de goma a quienes se les administró lidocaína, lo que sugiere que, aunque la castración con anillo de goma genera dolor en los animales, es un grado de dolor menor que el observado con la castración Burdizzo.

Otros estudios reportan que la castración quirúrgica resultó en mayores concentraciones de cortisol salival en becerros de 4–11 semanas de edad (10.2 ± 2.6 nmol/L) que en aquellos castrados con anillos de goma (3.2 ± 0.6 nmol/L) (Fell *et al.* 1986). Estos resultados son similares a lo observado en becerros British Friesian, en quienes las concentraciones de cortisol plasmático no fueron diferentes entre los animales castrados y aquellos en el grupo control (simulación de castración) (mantenidas en 4 ng/mL) (Mellor *et al.* 1991). Pang *et al.* (2009) en becerros Continental de 12 meses de edad castrados con anillos de goma y por la técnica Burdizzo. Al realizar análisis genéticos para determinar el nivel de inflamación, se encontró que aquellos animales castrados con anillos de goma tuvieron una mayor reacción inflamatoria asociada a la expresión de mRNA testicular de interleucina-6 testicular. Algo interesante que fue observado por autores que han comparado métodos de castración, es que la administración de anestésicos locales y analgésicos disminuyó las concentraciones de cortisol en un promedio de 75 nmol/L (Stafford *et al.* 2002). Esto indica que las respuestas adversas de la castración pueden aminorarse con tratamiento encaminado a reducir el dolor.

En cuanto a las respuestas de comportamiento, se ha mostrado que, tanto las técnicas de Burdizzo y el anillo de goma, generan alteraciones en la postura y en el comportamiento. Particularmente, la castración con anillo de goma en becerros de 21–28 días generó un aumento en la presentación de pisadas y patadas (14.5 ± 2.1), inquietud (9.1 ± 1.2) y lamidos al área afectada (1.8 ± 0.3) que animales en el grupo sin castración (o manejo simulando castración) (1.4 ± 0.3 , 0.0 ± 0.0 , y 0.7 ± 0.3 , respectivamente) (Thüer *et al.* 2007). Además, la proporción de posturas anormales como arqueamiento de la espalda o recumbencia lateral con extensión de miembros pelvianos fue mayor en los grupos castrados en las dos primeras horas (Burdizzo: 49.23 ± 23 y anillo goma: 46 ± 28) (Thüer *et al.* 2007).

De manera similar, Molony *et al.* (1995) encontró incrementos en las concentraciones de cortisol plasmático en becerros Ayrshire de una semana de edad, castrados con la técnica Burdizzo, con anillos de goma, con la combinación de ambos métodos, y quirúrgicamente. Aunque los valores más altos fue-

ron registrados en aquellos animales castrados con Burdizzo (80 nmol/L), los becerros con los anillos de goma mantuvieron altas concentraciones de cortisol por más tiempo (entre 50 y 40 nmol/L por 84 minutos vs. 36 minutos). Además, alteraciones en el comportamiento y postura de los becerros como intranquilidad (incidencia de 56), girar la cabeza al sitio de lesión (200 veces), lamer la herida (29.3 veces), parado anormal (39.9 veces), decúbito lateral (75.6 veces) fueron frecuentes en los animales castrados con anillos de goma. Una mayor atención a la herida también fue observada por Nogues *et al.* (2021), quienes reportaron que los animales de 28 días de edad con castración con anillo de goma presentan mayor tiempo de atención de la herida mediante lamidas (16.0 ± 3.3 lamidas más que el grupo control). Debido a ello, los autores concluyeron que la castración con anillos produce mayor dolor a largo plazo y que la técnica Burdizzo se considera una alternativa para mejorar el bienestar de los becerros.

De manera adicional, el efecto que el dolor puede causar a largo plazo ha sido evaluado por Ede *et al.* (2022) en becerros Holstein de 16 días de edad. En esos animales se determinó el grado de aversión a las 48, 72, y 96 horas de becerros castrados quirúrgicamente y aquellos con anillos de goma. No se encontraron diferencias entre ambos grupos y los autores lo atribuyen al efecto farmacológico de los sedantes, anestésicos locales, y analgésicos esteroidales no inflamatorios que contribuyen al manejo multimodal del dolor y evitan una sensibilización que los animales puedan asociar a experiencias negativas. Otros autores mencionan que el dolor después de la castración con anillos de goma puede persistir hasta los 42 días posteriores (Molony *et al.* 1995).

Actualmente se han adoptado nuevas técnicas de evaluación como la termografía infrarroja, un método que puede evaluar aumentos en la temperatura superficial de la piel debido a procesos inflamatorios, patológicos, o cambios vasomotores (Mota-Rojas, *et al.* 2021a; Mota-Rojas, *et al.* 2021b; Gómez-Prado *et al.* 2022; Mota-Rojas *et al.* 2023). Ejemplo de esto es evaluar la temperatura escrotal en becerros de cuatro meses de edad sometidos a castración simulada, con anillo de goma y con cuchillo. En estos animales se encontró que la temperatura escrotal fue similar en el grupo control y en el de castración con cuchillo (36.7 y 36.6 °C, respectivamente), pero fue significativamente mayor en el grupo de anillo de goma (37.8 °C). Estos resultados sugieren que el uso de anillos de goma podría generar una mayor respuesta al estrés o un retraso en la curación de la herida, lo cual también fue observado como un número reducido de plaquetas ($670 \cdot 10^3/\mu\text{L}$) (Marti *et al.* 2017).

De igual manera, Nogues *et al.* (2021) compararon la temperatura superficial del escroto, la respuesta conductual, la cicatrización de la herida, el peso diario y el tiempo que pasaban lamiendo la herida en 21 terneros castrados quirúrgicamente y con anillos de goma. Se observó que la temperatura superficial en la región del escroto fue 1.7 °C más alta cuando se usó el anillo de goma. Estos resultados sugieren que la inflamación del tejido fue mayor con el uso de anillos de goma. Esto también repercute en otros indicadores como la conducta, ya que los animales castrados con anillos de goma disminuyeron en un 4.2% el tiempo de exploración e incrementaron el número de lamidas al sitio de lesión en un

16.0 ± 3.3 número de lamidas por día. Adicionalmente, los mismos autores observaron que aquellos terneros con anillos de goma tuvieron una menor ingesta (1.8 ± 0.6 kg) y menor ganancia de peso (11.9 ± 5.1 kg). A pesar de que se discute que con la castración quirúrgica se pueden generar respuestas conductuales como el incremento de patadas o zancadas, dicha respuesta puede solo enfocarse en el acto quirúrgico (Robertson *et al.* 1994; Roberts *et al.* 2018).

Por tanto, la castración mediante el anillo de goma genera la alteración de parámetros cardiorrespiratorios, hemodinámicos y neuroendocrinos en respuesta al dolor. Esto significa un efecto negativo en la salud y bienestar de los bovinos. Además, la presencia de dolor agudo y la respuesta endocrina podría modificar el rendimiento productivo en cuestión de ganancia de peso o el peso final de los animales, aspecto que serán discutidos a continuación.

Consecuencias productivas

La castración de terneros con anillos de goma causa alteraciones fisiológicas, endocrinas y de comportamiento, las cuales también tienen un impacto en el desempeño productivo, sobre todo en la ganancia diaria de peso (GDP) o en el peso final de los animales (Mota-Rojas, 2014, 2015). Este efecto ha sido evaluado en becerros con una semana, dos meses, y cuatro meses de edad, en quienes se han reportado diferencias significativas de peso final en todas las edades (Marti *et al.* 2017). En aquellos becerros castrados con anillos, se registraron pesos finales promedio de 111, 120, y 202 kg, respectivamente, mientras que los becerros intactos alcanzaron mayor crecimiento con pesos de 114, 126, y 206 kg, respectivamente. Asimismo, Molony *et al.* (1995) reportó menor GDP en becerros castrados con anillos de goma (0.88 ± 0.14 kg) en comparación con animales enteros (0.98 ± 0.15 kg), con la técnica Burdizzo (0.91 ± 0.18 kg), o con castración quirúrgica (0.94 ± 0.09 kg).

El efecto que la inflamación local causada por la castración con anillos de goma también fue observada por Nogues *et al.* (2021), quien encontró que la ganancia de peso total fue menor en becerros de 28 días de nacidos castrados con anillos de goma, en comparación con animales castrados quirúrgicamente (11.9 ± 5.1 kg menos). Asimismo, en otro estudio evaluando el efecto de la castración con anillos de goma, métodos quirúrgicos, y la adición de anestésicos locales (lidocaína), se encontró que todos los animales castrados tuvieron un menor consumo de materia seca (control: 18.2 lb/día vs. 17.5 lb/día) (Rust *et al.* 2007). De manera particular, aquellos donde se utilizaron anillos de goma tuvieron menores GDP (1.63 lb/día vs. 4.60 lb/día), y la administración de lidocaína no mejoró dichos indicadores.

Aunque un estudio comparativo entre cinco métodos de castración no encontró diferencias significativas al registrar los pesos de los animales a las 10 semanas, los animales no castrados tuvieron un peso promedio mayor al final de la evaluación (135–142 kg) que aquellos a los que se les aplicaron

anillos de goma (120–138 kg) (*Becker et al.* 2012). Esto coincide con lo reportado por González *et al.* (2010), quienes evaluaron a 89 terneros Angus de 34 días que fueron castrados con anillo de goma con o sin administración de analgesia. La castración con anillo de goma sin medicación registró un menor consumo de alimento y GDP en la semana cuatro, en conjunto con una reducción del tiempo que los animales permanecen recostados y la longitud de los pasos. Estos resultados sugieren que el dolor o inflamación causada por el método de castración influye de manera significativa en la cantidad de alimento consumido y, por lo tanto, en el peso de los animales, lo cual podría traducirse a pérdidas económicas.

Otro ejemplo es el estudio de Lents *et al.* (2006), quienes compararon la GDP en 168 toros de dos a tres meses de edad castrados con anillos de goma o con implantes de estrógenos (36 mg de zeranol). En los animales con los anillos de goma se registró una GDP significativamente baja, 0.05 kg/día por debajo de las ganancias de los animales implantados. De igual forma, a los 30 días previos al destete, el peso de estos toros se redujo 4.3 kg, lo que sugiere que la castración con anillos afecta la ganancia de peso durante los 30 días subsecuentes. Una revisión realizada por Bretschneider (2005) encontró que la pérdida de peso aumenta cuadráticamente con la edad de castración ($R^2=0.86$). Además, la edad para castrar a los toros se asocia a la calidad de la carne, ya que castraciones a temprana edad disminuyen la frecuencia de cortes oscuros en el canal y mejoran la calidad de la carne al obtener cortes marmoleados y tiernos (Urrutia, 2012).

Los resultados anteriores destacan que la castración con anillos de goma puede tener efectos conductuales como disminuir el tiempo de descanso, y por lo tanto, menos tiempo en la rumia. Esto afecta el rendimiento productivo, obteniendo animales con menor peso al destete o con GDP reducidos. Por tanto, desde una perspectiva productiva debido a la percepción que lleva a experimentar los animales puede causar una disminución del rendimiento productivo de los terneros, en consecuencia, la disminución de la ganancia de peso diaria y menor peso corporal. De modo que debe ser cuestionable su utilidad y consecuencias productivas con la finalidad de mantener los estándares de las unidades de producción.

Aspectos legales

Aunque se ha discutido que la castración con anillos de goma tiene consecuencias sensitivas, productivas y fisiológicas en los animales, a la fecha, es una técnica que se sigue empleando en diversas unidades de producción alrededor del mundo. En una encuesta realizada por Canozzi *et al.* (2022) sobre los factores que influyen en la percepción del nivel de dolor en animales castrados, se encontró que la mayoría de los veterinarios consideraron que los animales de unidades de producción no son tan sensibles al dolor como los animales de compañía y que no hay necesidad de mitigar el dolor. Con estos resultados

se muestra claramente que existe una marcada percepción diferida del dolor que perciben los animales de unidades de producción o criados en fincas ganaderas o complejos agropecuarios y, con ello, se limita su tratamiento. En el caso de los productores, aunque algunos de ellos reconocen que las prácticas rutinarias pueden ser dolorosas para los animales, éstas se llevan a cabo sin analgésicos debido al costo y acceso a los fármacos (Mota-Rojas, 2013; Mota-Rojas *et al.* 2016; Mota-Rojas *et al.* 2018; Orihuela y Ungerfeld, 2019b). De manera que es posible resumir que la falta de capacitación del personal sea el motivo principal por lo que se mantiene esta práctica en las unidades de producción.

En cuanto a la opinión del público en general, García-Castro *et al.* (2022) mencionan que el 85.57% de los consumidores tiene especial interés del nivel de bienestar de los animales destinados a la producción. Nadluecnick *et al.* (2022) absence of hunger and thirst, and ability to express motivated behavior, to which farmers usually attach different importance. The objectives of this study were to evaluate animal welfare on Slovenian commercial pig farms, to determine whether farmers' perceived importance of animal welfare differ from actual animal welfare on farms and to determine, if farmer's age, gender, their level of education and participation in vocational training have an influence. For that purpose, we created an Animal Welfare Protocol/Questionnaire for Pig Farms (AWQ/P-P observaron que la puntuación dada por el productor para las condiciones del ambiente, estado de salud y estatus general era entre 0.6–1 puntos significativamente más alta en comparación con el análisis observacional. Estos resultados muestran que existe una discrepancia entre la percepción y las condiciones reales de bienestar de los animales en las unidades de producción, que motiva a mantener este tipo de prácticas.

El ámbito legal ha buscado regular estas prácticas. Por ejemplo, Suiza en su artículo 65 TSchV publicado desde el 2001 sostiene que no está permitido el realizar la castración sin anestesia, citando que “*el uso del anillo de goma está prohibido para tal fin*” (Steiner *et al.* 2002). Esto coincide con la legislación en Reino Unido en la ley de protección de los animales desde 1964, la cual prohíbe el uso de anillos de goma u otro dispositivo para restringir el flujo de sangre al escroto en toros, ovejas, cabras o cerdos a la edad de 2 – 3 meses” (Protection of Animals, 1964). Contrario a estos dos ejemplos, Nueva Zelanda permite el uso de anillos de goma en el ganado vacuno o en ovejas, siempre y cuando se administren analgésicos bajo vigilancia veterinaria (Animal Welfare Regulation, 2021).

Por el contrario, en Latinoamérica la legislación sobre este método no es clara e incluso no está contemplado en las normas o leyes de protección de los animales (Mota-Rojas, 2014). De hecho, un estudio realizado por Teixeira *et al.* (2018) sostiene que el 79.5% de la ciudadanía en la Región Metropolitana de Santiago, Chile, se opone a la castración sin anestesia en los animales de granja. Estos autores observaron que la participación en la producción animales se asoció a una mayor aceptación de las prácticas de manejo y las posibilidades de apoyar la castración sin anestesia. Estos resultados ayudan comprender por qué no existe una regulación sería acerca de estas prácticas en las unidades de producción.

CONCLUSIONES

El uso de anillos de goma es un método simple y económico que se recomienda para facilitar la castración de los animales. No obstante, esta técnica genera inflamación a nivel escrotal y la sensibilización de fibras nociceptivas que culminará en la percepción de dolor.

El uso del anillo de goma ocasiona cambios a nivel fisiológico asociado a la percepción del dolor. En consecuencia, se pueden observar alteraciones en el comportamiento como arqueamiento de la espalda o recumbencia lateral debida al dolor. Asimismo, la activación del eje hipotálamo-hipófisis-adrenal afecta el rendimiento productivo de los animales al reducir la GDP y el peso final al mercado. Aunque se reconocen los cambios que se pueden observar debido a la castración con anillos de goma, la legislación en torno a este método de castración es limitada; mientras unos países prohíben su uso, otros lo recomiendan siempre y cuando se administren analgésicos. Por el contrario, en Latinoamérica se requiere mayor atención a su uso y, en general, a la importancia de realizar métodos que reduzcan el dolor en animales de producción o a realizarlos junto con un protocolo analgésico que reduzca el dolor y como consecuencia mejore el nivel de bienestar.

BIBLIOGRAFÍA

- Abdulkhaliq, A. M., Meyer, H. H., Busboom, J. R., y Thompson, J. M., 2007, "Growth, carcass and cooked meat characteristics of lambs sired by Dorset rams heterozygous for the Callipyge gene and Suffolk and Texel rams" *Small Ruminant Research*, 71(1-3), 92-97. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2006.05.005>
- Álvarez Rodríguez, J., Albertí, P., Ripoll, G., Blasco, I., y Sanz, A., 2017, "Effect of castration at 10 months of age on growth physiology and behavior of male feral beef cattle" *Animal Science Journal*, 88(7), 991-998. <https://doi.org/10.1111/asj.12728>
- Archer, N., Johnston, A., y Khalid, M., 2004, "Differences in the acute pain responses of two breeds of lamb following castration and tail docking with the rubber ring method" *Animal Welfare*, 13(2), 135-141. <https://doi.org/10.1017/S0962728600026877>
- Becker, J., Doherr, M. G., Bruckmaier, R. M., Bodmer, M., Zanolari, P., y Steiner, A., 2012, "Acute and chronic pain in calves after different methods of rubber-ring castration" *The Veterinary Journal*, 194(3), 380-385. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2012.04.022>
- Bell, A., 2018, "The neurobiology of acute pain" *The Veterinary Journal*, 237, 55-62. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2018.05.004>
- Boesch, D., Steiner, A., y Stauffacher, M., 2006, "Kälberkastration: Eine Befragung von Schweizer Mutterkuhhaltern" *Schweizer Archiv Für Tierheilkunde*, 148(5), 231-244. <https://doi.org/10.1024/0036-7281.148.5.231>
- Bretschneider, G., 2005, "Effects of age and method of castration on performance and stress response of beef male cattle: A review" *Livestock Production Science*, 97(2-3), 89-100. <https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2005.04.006>
- Brown, A. C., Powell, J. G., Kegley, E. B., Gadberry, M. S., Reynolds, J. L., Hughes, H. D., Carroll, J. A., Burdick Sanchez, N. C., Thaxton, Y. V., Backes, E. A., y Richeson, J. T., 2015, "Effect of castration timing and oral meloxicam administration on growth performance, inflammation, behavior, and carcass quality of beef calves" *Journal of Animal Science*, 93(5), 2460-2470. <https://doi.org/10.2527/jas.2014-8695>
- Canozzi, M. E. A., Borges, J. A. R., y Barcellos, J. O. J., 2022, "Which factors can influence the perception of pain by veterinarians and animal scientists from Brazil?" *Journal of Veterinary Behavior*, 47, 59-69. <https://doi.org/10.1016/j.jveb.2021.10.003>
- Canozzi, M. E. A., Mederos, A., Manteca, X., Turner, S., McManus, C., Zago, D., y Barcellos, J. O. J., 2017, "A meta-analysis of cortisol concentration, vocalization, and average daily gain associated with castration in beef cattle" *Research in Veterinary Science*, 114, 430-443. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2017.07.014>

- Colombo, P. C., Onat, D., Harxhi, A., Demmer, R. T., Hayashi, Y., Jelic, S., LeJemtel, T. H., Bucciarelli, L., Keschull, M., Papapanou, P., Uriel, N., Schmidt, A. M., Sabbah, H. N., y Jorde, U. P., 2014, "Peripheral venous congestion causes inflammation, neurohormonal, and endothelial cell activation" *European Heart Journal*, 35(7), 448–454. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/eh456>
- Coria Avila, G. A., Herrera-Covarrubias, D., García, L. I., Toledo, R., Hernández, M. E., Paredes-Ramos, P., Corona-Morales, A. A., y Manzo, J., 2022, "Neurobiology of Maternal Behavior in Nonhuman Mammals: Acceptance, Recognition, Motivation, and Rejection" *Animals*, 12(24), 3589. <https://doi.org/10.3390/ani12243589>
- Ede, T., Nogues, E., von Keyserlingk, M. A. G., y Weary, D. M., 2022, "Pain in the hours following surgical and rubber ring castration in dairy calves: Evidence from conditioned place avoidance" *JDS Communications*, 3(6), 421–425. <https://doi.org/10.3168/jdsc.2022-0241>
- Fell, L. R., Wells, R., y Shutt, D. A., 1986, "Stress in calves castrated surgically or by the application of rubber rings" *Australian Veterinary Journal*, 63(1), 16–18. <https://doi.org/10.1111/j.1751-0813.1986.tb02864.x>
- Fisher, A., Knight, T., Cosgrove, G., Death, A., Anderson, C., Duganzich, D., y Matthews, L., 2001, "Effects of surgical or banding castration on stress responses and behaviour of bulls" *Australian Veterinary Journal*, 79(4), 279–284. <https://doi.org/10.1111/j.1751-0813.2001.tb11981.x>
- García Castro, F. E., Medrano-Galarza, C., Cubides-Cárdenas, J. A., Zúñiga López, A., y Ahumada-Beltrán, D. G., 2022, "Consumers perceptions about the welfare of farm animals in Colombia" *Agronomía Mesoamericana*, 34(1), 50817. <https://doi.org/10.15517/am.v34i1.50817>
- Gómez Prado, J., Pereira, A. M. F., Wang, D., Villanueva-García, D., Domínguez-Oliva, A., Mora-Medina, P., Hernández-Avalos, I., Martínez-Burnes, J., Casas-Alvarado, A., Olmos-Hernández, A., Ramírez-Necochea, R., Verduzco-Mendoza, A., Hernández, A., Torres, F., y Mota-Rojas, D., 2022, "Thermoregulation mechanisms and perspectives for validating thermal windows in pigs with hypothermia and hyperthermia: An overview" *Frontiers in Veterinary Science*, 9, 1023294. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.1023294>
- González, L. A., Schwartzkopf-Genswein, K. S., Caulkett, N. A., Janzen, E., McAllister, T. A., Fierheller, E., Schaefer, A. L., Haley, D. B., Stookey, J. M., y Hendrick, S., 2010, "Pain mitigation after band castration of beef calves and its effects on performance, behavior, Escherichia coli, and salivary cortisol" *Journal of Animal Science*, 88(2), 802–810. <https://doi.org/10.2527/jas.2008-1752>
- Grandin, T., Velarde, A., Strappini, A., Gerritzen, M., Ghezzi, M., Martínez-Burnes, J., Hernández-Ávalos, I., Domínguez-Oliva, A., Casas-Alvarado, A., y Mota-Rojas, D., 2023, "Slaughtering of Water Buffalo (*Bubalus bubalis*) with and without Stunning: A Focus on the Neurobiology of Pain, Hyperalgesia, and Sensitization" *Animals*, 13(15), 2406. <https://doi.org/10.3390/ani13152406>

- Hernández Avalos, I., Mota-Rojas, D., Mendoza-Flores, J. E., Casas-Alvarado, A., Flores-Padilla, K., Miranda-Cortes, A. E., Torres-Bernal, F., Gómez-Prado, J., y Mora-Medina, P., 2021, “Nociceptive pain and anxiety in equines: Physiological and behavioral alterations” *Veterinary World*, 14(11), 2984–2995. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2021.2984-2995>
- Huertas, S. M., van Eerdenburg, F., Gil, A., y Piaggio, J., 2015, “Prevalence of carcass bruises as an indicator of welfare in beef cattle and the relation to the economic impact” *Veterinary Medicine and Science*, 1(1), 9–15. <https://doi.org/10.1002/vms3.2>
- Idris, M., Uddin, J., Sullivan, M., McNeill, D. M., y Phillips, C. J. C., 2021, “Non-Invasive Physiological Indicators of Heat Stress in Cattle” *Animals*, 11(1), 71. <https://doi.org/10.3390/ani11010071>
- Jago, J. G., Bass, J. J., y Matthews, L. R., 1997, “Evaluation of a vaccine to control bull behaviour” *Proc. N. Z. Soc. Anim. Prod.*, 57, 91–95.
- Jensen, T. S., y Finnerup, N. B., 2014, “Allodynia and hyperalgesia in neuropathic pain: clinical manifestations and mechanisms” *The Lancet Neurology*, 13(9), 924–935. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(14\)70102-4](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(14)70102-4)
- Katz, L. S., 2007, “Sexual behavior of domesticated ruminants” *Hormones and Behavior*, 52(1), 56–63. <https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2007.03.012>
- Kenny, F. J., y Tarrant, P. V., 1987, “The behaviour of young Friesian bulls during social re-grouping at an abattoir. Influence of an overhead electrified wire grid” *Applied Animal Behaviour Science*, 18(3–4), 233–246. [https://doi.org/10.1016/0168-1591\(87\)90219-X](https://doi.org/10.1016/0168-1591(87)90219-X)
- Kent, J., Molony, V., y Graham, M., 2001., “The Effect of Different Bloodless Castrators and Different Tail Docking Methods on the Responses of Lambs to the Combined Burdizzo Rubber Ring Method of Castration” *The Veterinary Journal*, 162(3), 250–254. <https://doi.org/10.1053/tvjl.2001.0598>
- Kent, J., Molony, V., y Robertson, I., 1995, “Comparison of the Burdizzo and rubber ring methods for castrating and tail docking lambs” *Veterinary Record*, 136(8), 192–196. <https://doi.org/10.1136/vr.136.8.192>
- Kim, S. W., Kim, K. W., Park, S. B., Kim, M. J., y Yim, D. G., 2015., “The effect of castration time on growth and carcass production of elk bulls” *Journal of Animal Science and Technology*, 57(1), 39. <https://doi.org/10.1186/s40781-015-0072-2>
- Koenneker, K., Schulze, M., Pieper, L., Jung, M., Schmicke, M., y Beyer, F., 2023 “Comparative assessment of the stress response of cattle to common dairy management practices” *Animals*, 13(13), 2115. <https://doi.org/10.3390/ani13132115>
- Lemos Teixeira, D., Larraín, R., Melo, O., y Hötzel, M. J., 2018, “Public opinion towards castration without anaesthesia and lack of access to pasture in beef cattle production” *PLOS ONE*, 13(1), e0190671. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0190671>

- Lents, C. A., White, F. J., Floyd, L. N., Wettemann, R. P., y Gay, D. L., 2006, "Effects of Method and Timing of Castration and the Use of an Estrogenic Growth Stimulant on Weight Gain of Bull Calves" *The Professional Animal Scientist*, 22(2), 126–131. [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)31076-7](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)31076-7)
- Marquette, G. A., Ronan, S., y Earley, B., 2023, "Review: castration – animal welfare considerations" *Journal of Applied Animal Research*, 51(1), 703–718. <https://doi.org/10.1080/09712119.2023.2273270>
- Marti, S., Meléndez, D. M., Pajor, E. A., Moya, D., Gellatly, D., Janzen, E. D., y Schwartzkopf-Genswein, K. S., 2018, "Effect of a single dose of subcutaneous meloxicam prior to band or knife castration in 1-wk-old beef calves: II. Inflammatory response and healing" *Journal of Animal Science*, 96(10), 4136–4148. <https://doi.org/10.1093/jas/sky291>
- Marti, S., Meléndez, D. M., Pajor, E. A., Moya, D., Heuston, C. E. M., Gellatly, D., Janzen, E. D., y Schwartzkopf-Genswein, K. S., 2017, "Effect of band and knife castration of beef calves on welfare indicators of pain at three relevant industry ages: II. Chronic pain" *Journal of Animal Science*, 95(10), 4367–4380. <https://doi.org/10.2527/jas2017.1763>
- Martins, L. T., Gonçalves, M. C., Tavares, K. C. S., Gaudêncio, S., Santos Neto, P. C., Dias, A. L. G., Gava, A., Saito, M. E., Oliveira, C. A., Mezzalira, A., y Vieira, A. D., 2011, "Castration methods do not affect weight gain and have diverse impacts on the welfare of water buffalo males" *Livestock Science*, 140(1–3), 171–176. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.03.026>
- Meléndez, D. M., Marti, S., Pajor, E. A., Moya, D., Gellatly, D., Janzen, E. D., y Schwartzkopf-Genswein, K. S., 2018, "Effect of a single dose of meloxicam prior to band or knife castration in 1-wk-old beef calves: I. Acute pain" *Journal of Animal Science*, 96(4), 1268–1280. <https://doi.org/10.1093/jas/sky034>
- Mellema, S. C., Doherr, M. G., Wechsler, B., Thüer, S., y Steiner, A., 2007, "Einfluss der Lokalanästhesie auf Schmerz und Stress verursacht durch unblutige Kastrationsmethoden beim jungen Lamm" *Schweizer Archiv Für Tierheilkunde*, 149(5), 213–225. <https://doi.org/10.1024/0036-7281.149.5.213>
- Mellor, D. J., Molony, V., y Robertson, I. S., 1991, "Effects of castration on behaviour and plasma cortisol concentrations in young lambs, kids and calves" *Research in Veterinary Science*, 51(2), 149–154. [https://doi.org/10.1016/0034-5288\(91\)90005-9](https://doi.org/10.1016/0034-5288(91)90005-9)
- Molony, V., Kent, J. E., 2007, "Sheep welfare: castration and tail docking", en D.I. Aitken, (ed.), *Diseases of sheep* (4th ed.). Blackwell Publishing, USA, 27–31.
- Molony, V., Kent, J. E., y Robertson, I. S., 1995, "Assessment of acute and chronic pain after different methods of castration of calves" *Applied Animal Behaviour Science*, 46(1–2), 33–48. [https://doi.org/10.1016/0168-1591\(95\)00635-4](https://doi.org/10.1016/0168-1591(95)00635-4)

- Mota Rojas, D. 2013, *Neurobiología del dolor y analgesia en animales de granja castrados: aspectos que propician su bienestar*. Posgrado CBS. Universidad Autónoma Metropolitana. México.
- Mota Rojas, D. 2014, *¿Castración quirúrgica con o sin anestesia?: Efecto en la calidad de la carne*. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Mota Rojas, D. 2015, *El dolor agudo y crónico, aspectos neurobiológicos*. Posgrado CBS. Universidad Autónoma Metropolitana. México.
- Mota-Rojas, D., Ceballos, M.C., y Orihuela, A., 2016, “Prácticas dolorosas en animales de granja”, en *“Bienestar animal, una visión global en Iberoamérica”*. Mota-Rojas et al. (Ed). 3er. ed., Elsevier, Barcelona, España, 137–154.
- Mota Rojas, D., Orihuela, A., Strappini-Asteggiano, A., Cajiao-Pachón, M.N., Agüera-Buendía, E., Mora-Medina, P., Ghezzi, M., Alonso-Spilsbury, M.L. 2018, Teaching animal welfare in veterinary schools in Latin America. *International Journal of Veterinary Science and Medicine*; 6, 131-40. <https://doi.org/10.1016/j.ijvsm.2018.07.003>
- Mota Rojas, D., Ogi, A., Villanueva-García, D., Hernández-Ávalos, I., Casas-Alvarado, A., Domínguez-Oliva, A., Lendez, P., y Ghezzi, M., 2023, “Thermal Imaging as a Method to Indirectly Assess Peripheral Vascular Integrity and Tissue Viability in Veterinary Medicine: Animal Models and Clinical Applications” *Animals*, 14(1), 142. <https://doi.org/10.3390/ani14010142>
- Mota Rojas, D., Olmos-Hernández, A., Verduzco-Mendoza, A., Lecona-Butrón, H., Martínez-Burnes, J., Mora-Medina, P., Gómez-Prado, J., Orihuela, A., 2021, “Infrared thermal imaging associated with pain in laboratory animals. *Experimental Animals*, 70(1), 1–12. <https://doi.org/10.1538/expanim.20-0052>
- Mota Rojas, D., Pereira, A. M. F., Wang, D., Martínez-Burnes, J., Ghezzi, M., Hernández-Avalos, I., Lendez, P., Mora-Medina, P., Casas, A., Olmos-Hernández, A., Domínguez, A., Bertoni, A., y de Mira Geraldo, A., 2021, “Clinical Applications and Factors Involved in Validating Thermal Windows Used in Infrared Thermography in Cattle and River Buffalo to Assess Health and Productivity” *Animals*, 11(8), 2247. <https://doi.org/10.3390/ani11082247>
- Nadlučnik, E., Golinar Oven, I., Tomažič, I., Plut, J., Dovč, A., y Štukelj, M., 2022, “Discrepancies between farmers’ perceptions and actual animal welfare conditions on commercial pig farms” *Frontiers in Veterinary Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.1010791>
- Nogues, E., von Keyserlingk, M. A. G., y Weary, D. M., 2021, “Pain in the weeks following surgical and rubber ring castration in dairy calves” *Journal of Dairy Science*, 104(12), 12881–12886. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20127>
- Obritzhauser, W., Deutz, A., y Köfer, J., 1998, “Comparison of two castration methods in cattle: plasma cortisol levels, leukocyte count and behavioral changes” *Tierärztliche Praxis. Ausgabe G, Grosstiere/Nutztiere*, 26(3), 119–126.

- Olson, M. E., Ralston, B., Burwash, L., Matheson-Bird, H., y Allan, N. D., 2016, "Efficacy of oral meloxicam suspension for prevention of pain and inflammation following band and surgical castration in calves" *BMC Veterinary Research*, 12(1), 102. <https://doi.org/10.1186/s12917-016-0735-3>
- Orihuela, A., y Ungerfeld, R., 2019a, "Castración", en *Prácticas Zootécnicas Dolorosas: Evaluación y Alternativas para el Bienestar Animal*, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México, 35–78
- Orihuela, A., y Ungerfeld, R., 2019b, "*Prácticas zootécnicas dolorosas. Evaluación y alternativas para el bienestar animal*", Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México.
- Pang, W., Earley, B., Sweeney, T., Gath, V., y Crowe, M. A., 2009, "Temporal patterns of inflammatory gene expression in local tissues after banding or burdizzo castration in cattle" *BMC Veterinary Research*, 5(1), 36. <https://doi.org/10.1186/1746-6148-5-36>
- Partida, J. A., Olleta, J. L., Campo, M. M., Sañudo, C., y María, G. A., 2007, "Effect of social dominance on the meat quality of young Friesian bulls" *Meat Science*, 76(2), 266–273. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.11.008>
- Paull, D. R., Small, A. H., Lee, C., Palladin, P., y Colditz, I. G., 2012, "Evaluating a novel analgesic strategy for ring castration of ram lambs" *Veterinary Anaesthesia and Analgesia*, 39(5), 539–549. <https://doi.org/10.1111/j.1467-2995.2012.00716.x>
- Petherick, J. C., Small, A. H., Reid, D. J., Colditz, I. G., y Ferguson, D. M., 2015, "Welfare outcomes for 3- and 6-month-old beef calves in a tropical environment castrated surgically or by applying rubber rings" *Applied Animal Behaviour Science*, 171, 47–57. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2015.08.018>
- Price, E. O., Adams, T. E., Huxsoll, C. C., y Borgwardt, R. E., 2003, "Aggressive behavior is reduced in bulls actively immunized against gonadotropin-releasing hormone" *Journal of Animal Science*, 81(2), 411–415. <https://doi.org/10.2527/2003.812411x>
- Protection of Animals, 2007, "Anaesthetics Act 1964" disponible en: <https://www.legislation.gov.uk/ukpga/1964/39>
- Prunier, A., Bonneau, M., von Borell, E. H., Cinotti, S., Gunn, M., Fredriksen, B., Giersing, M., Morton, D. B., Tuytens, F. A. M., y Valverde, A., 2006, "A review of the welfare consequences of surgical castration on piglets and the evaluation of non-surgical methods" *Animal Welfare*, 15(3), 277–289.
- New Zealand Legislation, 2018, "Animal Welfare (Care and Procedures) Regulation" disponible en: <https://www.legislation.govt.nz/regulation/public/2018/0050/latest/whole.html>
- Repenning, P. E., Ahola, J. K., Callan, R. J., French, J. T., Giles, R. L., Bigler, B. J., Coetzee, J. F., Wulf, L. W., Peel, R. K., Whittier, J. C., Fox, J. T., y Engle, T. E., 2013, "Impact of oral meloxicam administration before and after band castration on feedlot performance and behavioral response

- in weanling beef bulls” *Journal of Animal Science*, 91(10), 4965–4974. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-6070>
- Rioja Garcia, E., 2017, “Local Anesthetics” en *Veterinary Anesthesia and Analgesia*, John Wiley & Sons, USA, 332–354. <https://doi.org/10.1002/9781119421375.ch17>
- Roberts, S. L., Hughes, H. D., Burdick Sanchez, N. C., Carroll, J. A., Powell, J. G., Hubbell, D. S., y Richeson, J. T., 2015, “Effect of surgical castration with or without oral meloxicam on the acute inflammatory response in yearling beef bulls” *Journal of Animal Science*, 93(8), 4123–4131. <https://doi.org/10.2527/jas.2015-9160>
- Roberts, S. L., Powell, J. G., Hughes, H. D., y Richeson, J. T., 2018, “Effect of castration method and analgesia on inflammation, behavior, growth performance, and carcass traits in feedlot cattle” *Journal of Animal Science*, 96(1), 66–75. <https://doi.org/10.1093/jas/skx022>
- Robertson, I. S., Kent, J. E., y Molony, V., 1994, “Effect of different methods of castration on behaviour and plasma cortisol in calves of three ages” *Research in Veterinary Science*, 56(1), 8–17. [https://doi.org/10.1016/0034-5288\(94\)90189-9](https://doi.org/10.1016/0034-5288(94)90189-9)
- Rust, R. L., Thomson, D. U., Loneragan, G. H., Apley, M. D., Swanson, J. C., 2007, “Effect of different castration methods on growth performance and behavior responses of postpubertal beef bulls” *The Bovine Practitioner*, 111–119. <https://doi.org/10.21423/bovine-vol41no2p111-119>
- Sherwood, E. R., y Toliver-Kinsky, T., 2004, “Mechanisms of the inflammatory response” *Best Practice & Research Clinical Anaesthesiology*, 18(3), 385–405. <https://doi.org/10.1016/j.bpa.2003.12.002>
- Stafford, K., Mellor, D., Todd, S., Bruce, R., y Ward, R., 2002, “Effects of local anaesthesia or local anaesthesia plus a non-steroidal anti-inflammatory drug on the acute cortisol response of calves to five different methods of castration” *Research in Veterinary Science*, 73(1), 61–70. [https://doi.org/10.1016/S0034-5288\(02\)00045-0](https://doi.org/10.1016/S0034-5288(02)00045-0)
- Stafford, K. J., Mellor, D. J., y McMeekan, C. M., 2000, “A survey of the methods used by farmers to castrate calves in New Zealand” *New Zealand Veterinary Journal*, 48(1), 16–19. <https://doi.org/10.1080/00480169.2000.36151>
- Stafford, K., y Mellor, D., 2005, “The welfare significance of the castration of cattle: A review” *New Zealand Veterinary Journal*, 53(5), 271–278. <https://doi.org/10.1080/00480169.2005.36560>
- Steiner, A., Bettschart, R., y Schatzmann, U., 2002, “Kastration von männlichen Lämmern und Kälbern: Erläuterungen und Kommentare zu Art. 65 TschV” *Schweizer Archiv Für Tierheilkunde*, 144(3), 107–113. <https://doi.org/10.1024/0036-7281.144.3.107>
- Tarrant, P. V., 1989, “Animal Behaviour and Environment in the Dark- Cutting Condition in Beef- A Review” *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, 13(1), 1–21.
- Thornton, P. D., y Waterman-Pearson, A. E., 2002, “Behavioural Responses to Castration in Lambs” *Animal Welfare*, 11(2), 203–212. <https://doi.org/10.1017/S0962728600028153>

- Thüer, S., Mellema, S., Doherr, M. G., Wechsler, B., Nuss, K., y Steiner, A., 2007, “Effect of local anaesthesia on short- and long-term pain induced by two bloodless castration methods in calves” *The Veterinary Journal*, 173(2), 333–342. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2005.08.031>
- Ting, S. T. L., Earley, B., Hughes, J. M. L., y Crowe, M. A., 2003, “Effect of ketoprofen, lidocaine local anesthesia, and combined xylazine and lidocaine caudal epidural anesthesia during castration of beef cattle on stress responses, immunity, growth, and behavior” *Journal of Animal Science*, 81(5), 1281–1293. <https://doi.org/10.2527/2003.8151281x>
- Urrutia, N. C., 2012, “Técnicas de castación del ganado bovino” *TecnoVet*, 12, 24–26.

