

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

**Instituto de Ciencias Agrícolas
Instituto en Investigaciones en Ciencias Veterinarias**



**EFFECTO DE LA CASTRACIÓN QUIRÚRGICA VS
INMUNOCASTRACIÓN SOBRE EL COMPORTAMIENTO
CONDUCTUAL, CALIDAD DE LA CANAL Y CARNE EN
MACHOS HOLSTEIN DE ENGORDA**

T E S I S

QUE COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

PRESENTA

GEORGINA VALENTINA CERVANTES CAZAREZ

DIRECTORA

DRA. CRISTINA PÉREZ LINARES

CO-DIRECTOR DE TESIS

DR. FRANCISCO GERARDO RIOS RINCÓN

La presente tesis "EFECTO DE LA CASTRACIÓN QUIRÚRGICA VS INMUNOCASTRACIÓN SOBRE EL COMPORTAMIENTO CONDUCTUAL, CALIDAD DE LA CANAL Y CARNE EN MACHOS HOLSTEIN" realizada por la C. Georgina Valentina Cervantes Cazarez dirigida por la Dra. Cristina Pérez Linares ha sido evaluada y aprobada por el Comité Particular abajo indicado, como requisito parcial para obtener el grado de:

Doctor en Ciencias Agropecuarias

Comité Particular

Cristina Pérez Linares

Dra. Cristina Pérez Linares
Directora de Tesis

[Firma]
Dr. Francisco Gerardo Ríos Rincón
Co-Director

Fdo Figueroa Saavedra.

Dr. Fernando Figueroa Saavedra
Sinodal

[Firma]
Dr. Alberto Barreras Serrano
Sinodal

[Firma]
Dr. Eduardo Sánchez López
Sinodal

AGRADECIMIENTOS

A Dios por estar siempre conmigo y haberme dado fuerzas, valor, paciencia y sobre todo por no dejar vencerme y sacar adelante un proyecto más en mi vida.

Al Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias de la Universidad Autónoma de Baja California, por la oportunidad de poder realizar mis estudios de posgrado.

A mis maestros por haberme transmitido sus conocimientos día a día, por su paciencia y dedicación.

A mis asesores de tesis: Dr. Fernando Figueroa Saavedra, Dr. Eduardo Sánchez López, Dr. Alberto Barreras Serrano y Dr. Francisco Gerardo Ríos Rincón que, con sus oportunos consejos y correcciones, me han orientado, enseñado y estimulado para hacer posible la realización de la misma.

A mi tutora por su paciencia, su dedicación, por guiarme y transformarme en lo que hoy he logrado, muchas gracias Dra. Cristina Pérez Linares.

A mi familia por su apoyo incondicional, por estar conmigo en las buenas y en las malas.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico brindado con su beca tan oportuna a lo largo de estos tres años.

Dedicatoria

Les dedico este trabajo a los dos grandes ángeles que Dios me dio, a mi madre que desde el cielo me ha estado guiando y dando fortaleza, también a mi mejor amigo Ramón Valencia Avalos el cual se ha convertido en mi hermano, quien siempre ha estado a mi lado en todo momento desde que inicie este trabajo.

ÍNDICE DEL CONTENIDO

	Página
RESUMEN	vi
ABSTRACT.....	vii
CAPITULO 1.....	1
INTRODUCCIÓN.....	2
CAPITULO 2.....	3
REVISION DE LITERAURA.....	4
Castración.....	4
Tipo de castración.....	4
Castración quirúrgica.....	4
Castración por método de Burdizzio.....	6
Castración por método de banda.....	6
Inmunocastración.....	6
Comportamiento conductual.....	8
Calidad de la canal y carne en machos castrados.....	12
LITERATURA CITADA.....	18
CAPITULO 3.....	24
ARTICULOS GENERADOS	25
Artículo 1. Composición de la castración quirúrgica al nacimiento <i>versus</i> inmunocastración sobe el comportamiento conductual y parámetros sanguíneos (testosterona y cortisol) en machos Holstein en engorda.....	25

Artículo 2. Comparación de la castración quirúrgica al nacimiento <i>versus</i> inmunocastración sobre las características de la canal y carne en machos Holstein.....	36
CAPITULO 4.....	50
CONCLUSIONES GENERALES.....	51

RESUMEN

El objetivo fue evaluar la castración quirúrgica vs inmunocastración sobre los parámetros productivos, comportamiento conductual y calidad de la canal y carne, en 720 becerros Holstein con peso promedio de 240 kg y de entre 7 y 8 meses. La castración quirúrgica fue a las 24 h de nacidos en el lugar de origen. Al arribo, los becerros se eligieron al azar 360 machos castrados en 4 corrales con 90 machos cada uno: T1 y 360 machos enteros al azar en 4 corrales con 90 animales cada uno, tratamiento inmunocastrados: T2. A los machos del T2 se les administró 1 ml de vía SC, al día 1, 21, 101 y 181 del periodo de engorda y a la par se determinó los niveles de testosterona. A los machos del T1 se les inyectó 1 ml de solución salina para efecto placebo. Se registró el peso corporal los días 1, 21, 101 y 181 y antes del sacrificio (día 242). Se evaluó el comportamiento sexual (montas y signos de Flehmen), agresividad (amenazas y topetazos) y social (olfateos, acicalamiento, cabeza baja y vocalizaciones). El sacrificio fue al día 242, con un peso 594.95 kg en T2 y 620.74 kg en T1. No hubo diferencias ($P>0.05$) en variables de comportamiento conductual entre los tratamientos. Tanto el comportamiento conductual como los niveles de testosterona fueron similares en T1 y T2. En el peso final al sacrificio, PCC, PCF, EGD y AOC no hubo diferencia significativa ($P<0.05$) con valores superiores en T1. En lo parámetro de calidad de la carne, el pH y EC fueron similares ($P>0.05$) entre tratamientos, b*, C* y H* fueron superiores ($P<0.05$) en T2. En la producción de carne, al castrar los machos de raza Holstein al nacimiento, se logran animales más pesados y con mejores características en la canal, sin embargo, es muy importante poder evaluar el impacto del bienestar animal por el método de castración al nacimiento.

Palabras clave: inmunocastración, machos Holstein, canal, carne

ABSTRACT

The objective was to evaluate surgical castration vs immunocastration on the productive parameters, behavioral performance and quality of the carcass and meat, in 720 Holstein calves with an average weight of 240 kg and between at 7 and 8 months. Surgical castration was 24 hours after birth in the place of origin. Upon arrival, the steers were randomly assigned: 360 castrated males in 4 pens with 90 males each: T1 and 360 intact males in 4 pens with 90 animals each, immunocastrated treatment: T2. At T2, 1 ml SC was administered, on day 1, 21, 101 and 181 days of fattening and on the same days testosterone levels were determined. T1 were given 1 ml of saline solution as a placebo. Live weight was recorded on days 1, 21, 101 and 181 and before slaughter (day 242). Sexual (mounting and signs of Flehmen), aggressive (threats and butting) and social behavior (sniffing, grooming, lowered head and vocalizations) were evaluated. The sacrifice was on day 242, with a weight of 594.95 kg in T2 and 620.74 kg in T1. There were no differences ($P>0.05$) in behavioral performance variables between treatments. Both behavioral performance and testosterone levels were similar at T1 and T2. The final weight at slaughter, PCC, PCF, EGD and AOC were different ($P<0.05$) with higher values in T2. In meat, pH and EC were similar ($P>0.05$) between treatments, b*, C* and H* were higher ($P<0.05$) in T2. For production purposes, castrating Holstein steers+ at birth results in heavier animals with better carcass characteristics; however, it is important to evaluate the impact on animal welfare by castration at birth.

Keywords: immunocastration, Holstein steers, carcass, meat

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

En los últimas décadas, la engorda de machos de la raza Holstein, ha tenido un gran impacto en la industria, este ganado es de raza lechera y no de carne, a diferencia de las razas cárnicas tienen un temperamento relajado y son juguetones, sin embargo pueden ser peligrosos si se dejan como toretes (Glenn et al., 2007). La castración en este ganado permite que el animal sea más dócil reduciendo su comportamiento agresivo y sexual facilitando su manejo bajo un sistema de engorda intensivo (Morón-Fuenmayor et al., 2010).

La castración de becerros de engorda logra aumentar la calidad de la canal y la carne y facilita su manejo, sin embargo, requiere de técnicas diferentes ya que puede provocar dolor prolongado e inducir estrés en el animal, además reduce las concentraciones plasmáticas de hormonas anabólicas asociadas al crecimiento muscular y, en consecuencia, disminuyen los parámetros productivos (Mach, 2011).

La inmunocastración ha resultado ser una técnica novedosa a testículo cerrado dirigido a mejorar el bienestar animal (Amatayakul-Chantler et al., 2013), los machos vacunados producen anticuerpos vs factor liberador de gonadotropina (GnRh) resultando en la disminución en las concentraciones de testosterona y la actividad física ya que se bloquea el eje hipotálamo- hipófisis – gonadal (Janet et al., 2012), dando ventajas importantes que incluyen una mejor calidad de la canal, redistribución de grasa, y reducción en el daño en la canal mejorando el bienestar animal (Amatayakul-Chantler et al., 2012).

CAPÍTULO 2

REVISIÓN DE LITERATURA

Castración

Durante siglos, el ganado de carne ha sido castrado debido a las dificultades de manejo y el aumento de moretones en la canal y la presencia de carne oscura (Mach et al., 2009) producido por la conducta sexual y agresiva de los toros. Un estudio en prácticas veterinarias en EE. UU. Indicó que la castración quirúrgica con bisturí, la eliminación testicular con un emasculador y los anilladores son los métodos más comunes usados para castrar ganado (Coetzee et al., 2010).

Tipos de castración

Existen diversas técnicas de castración y la implementación de estos va depender del manejo, la facilidad y costo del producto. (Robertson et al., 1979; Price et al., 2003). Las técnicas son físicas (cirugía, colocación de ligas de goma con pinzas elastradoras o emasculación mediante el uso de las pinzas de Burdizzo) y métodos químicos (inyección de sustancias tóxicas e inmunocastrador). Es importante recalcar que los métodos físicos son usados sin la aplicación de anestesia y dependiendo de la técnica y edad del becerro pueden provocar dolor (Thüer et al., 2007), inclusive la muerte como lo menciona Marti et al. (2017).

Castración quirúrgica: La castración consiste en eliminar las gónadas con 2 objetivos específicos, bloquear las facultades de la reproducción y el efecto de las hormonas sexuales, provocando en los machos la disminución del comportamiento agresivo y que sean menos peligrosos con los humanos durante su crianza, y cumplir con las demandas del mercado en lo que concierne a la calidad y ventas del ganado (Alberta, 2008). La castración facilita el manejo de los animales ya que produce docilidad en el ganado en el sistema intensivo (Morón-Fuenmayor et al., 2010).

La castración de terneros machos es necesaria para el comercio, facilitar el manejo y prevenir la reproducción. Sin embargo, algunos métodos de castración son traumáticas y da lugar a pérdidas económicas a causa de la infección y de miasis (Neto et al., 2014). Por lo tanto, de acuerdo con Devant et al. (2012) la castración quirúrgica tiene un efecto perjudicial importante en el rendimiento de peso durante dos semanas después de la castración. Esta práctica reduce la agresividad del animal y

aumenta la calidad de la carne. Por efecto, los novillos usualmente tienen mayor valor comercial que los toros (Morón et al., 2005).

Al realizar la castración a los 8 a 9 meses de edad busca aprovechar al máximo el potencial de crecimiento en la fase prepuberal (de los 6 a los 9 meses) y disminuir de manera significativa el comportamiento conductual agresivo y sexual, así como mejorar la calidad de la canal y la carne (aumento del marmoleo y blandura de la carne). No obstante, la principal desventaja de castrar los terneros a esta edad es la reducción en los parámetros productivo como ganancia media diaria (GMD) por el intenso dolor (agudo y crónico) y de la disminución de las hormonas anabolizantes (Mach et al., 2010).

Sin embargo, Knight et al. (2000) al castrar a la edad de 8 a 9 meses, mediante el método de testículo abierto (quirúrgico) y colocación de ligas de goma con pinzas elastradoras, demostraron que la GMD se reducía a lo largo de 3 meses post castración. De Freitas et al. (2008) mencionan que la baja ganancia total de peso y rendimiento de los animales castrados puede ser explicada por la disminución del efecto anabolizante de la testosterona, ya que tiene una correlación positiva con estas dos características.

La castración es indicada, principalmente, para reducir la agresividad de los machos y para mejorar la terneza de la carne. Sin embargo, la castración es un proceso traumático que no solo incrementa el nivel de estrés generado por el destete, sino que también repercute negativamente sobre la ganancia de peso de los terneros. Considerando que el ternero es el producto a vender, los efectos negativos de la castración y, consecuentemente, sobre el ingreso económico del criador, deberían ser minimizados para incrementar la rentabilidad del sistema (Bretschneider, 2009).

Castración por método de Burdizzio: En un estudio realizado por Mach et al. (2009), el 23 % de los animales castrados por este método no tuvieron completa atrofia testicular, por lo que los niveles de testosterona no se redujeron a cero sugiriendo que el método de castración por Burdizzio no podría ser 100% efectivo en el ganado pre-pubertales. La técnica de Burdizzio se considera el método más humano de castración en terneros (Boesch et al., 2008). Aunque con su estudio podría ser demostrado que los terneros perciben dolor durante y después de la castración dentro de la primera semana de vida. En un estudio realizado con toros Holstein de ocho meses de edad

utilizando el método de castración de Burdizzio observaron que redujo la ganancia diaria de peso, peso final y el peso de la canal caliente comparado con animales enteros (Mach et al., 2009).

Castración por método de banda: Algunos estudios indican que la castración en banda puede producir dolor crónico cuando no se usa analgesia o anestesia (Molony et al., 1995; Thüer et al., 2007; González et al., 2010). Reduce el consumo de alimento durante un largo periodo debido al tiempo que tarda en desprenderse los testículos y el dolor que éste causa (Marti et al., 2015). Warnock et al. (2012) también observaron una baja ingesta de alimento en terneros castrados en comparación con los toros.

Inmunocastración: Una alternativa a la castración física es la inmunización vs la hormona liberadora de gonadotropina (GnRH) la inmunocastración es una técnica de castración novedosa el cual es aplicado como vacuna que contiene péptidos sintéticos de GnRH similares a los propios del ternero, provocando la producción de anticuerpos contra GnRH propios del organismo (Marti et al., 2017). Provoca respuestas autoinmunes afectando directamente a la estructura y la función de las gónadas masculinas, interfiriendo con su capacidad de producir gametos (espermatozoides) y los esteroides sexuales (testosterona) (Hardy y Braid, 2007).

Al respecto, Zanella et al. (2009) afirman que la inmunocastración es una alternativa a la castración quirúrgica usando esta vacuna que estimula la producción de anticuerpos contra la síntesis de la hormona liberadora de gonadotropina, la cual inhibe la liberación de la hormona luteinizante (LH) y la folículo estimulante (FSH) y así suprimir la función testicular en los machos con una subsecuente disminución de concentración de testosterona en sangre.

La inmunización contra la hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH), llamada inmunocastración, ha sido propuesta como una herramienta alternativa para la castración del ganado debido a que disminuye los niveles de hormonas anabólicas además de no comprometer el bienestar animal en comparación a otras técnicas (Price et al., 2003).

La inmunocastración se utiliza como una herramienta de manejo clave para tener ventajas importantes que incluyen una mejor calidad de la canal y reducción del

comportamiento sexual agresivo. Las vacunas de AntiGnRH estimulan anticuerpos neutralizantes lo cual se traduce en inmunocastración, lo que da como resultado una supresión en la producción de Testosterona, siendo un novedoso método de castración no quirúrgica enfocado al bienestar animal (Atamayakul et al., 2013).

Adicionalmente la inmunocastración, proporciona una solución para la problemática del olor sexual y disminuye el dolor infligido por la castración a testículo abierto y el comportamiento conductual agresivo observado en toretes (Skrlep et al., 2012). Muchos estudios han demostrado que la castración inmunológica puede ser muy eficiente en prevenir el comportamiento conductual sexual y agresivo de los toros (Jago et al., 1997; Price et al., 2003; Marti et al., 2015).

Es sabido que la testosterona tiene un efecto anabólico, el aumento de peso de los toros vacunados que tenían niveles más bajos de testosterona no se diferencian de los animales de control lo que es similar a conclusiones de estudios anteriores. Esto se explica por la disminución de actividad física en los animales vacunados, aumentando su crecimiento muscular (Janett et al., 2012).

En estudios realizados por Amatayakul et al. (2012), Atamayakul et al. (2013) y Pérez- Linares et al. (2017) reportaron que los niveles de testosterona habían disminuido después de la segunda dosis de la aplicación del anti GnRh (Bopriva) y durante el estudio sostuvieron los niveles de testosterona disminuida.

Comportamiento conductual

Hay diversos factores como la raza, sexo, edad entre otros, que median el comportamiento sexual y agresivo de los toros. De acuerdo a la composición racial los *Bos taurus* presentan mayores niveles de testosterona a diferencia de los *Bos indicus* (Chase et al., 1997) y que los toros de razas lecheras como los Holstein, son más peligrosos durante cualquier tipo de manejo ya que estos, tienen mayor sensibilidad al sonido ($P=0.02$) y al contacto ($P<0.01$) que los bovinos de razas productoras de carne (Lanier et al., 2000; Grandin, 2006).

Los toros de razas lecheras, especialmente los toros Jersey, son más peligrosos que los toros de las razas cárnicas europeas; los toros de esta raza con la madurez se vuelven más peligrosos, el comportamiento de un toro cambia a medida que madura, de la agresión juguetona a la agresión defensiva. Por otra parte, los toros

productores de leche criados para la producción de carne presentan un mayor número de peleas y montas entre sí. Sin embargo, se sacrifican antes de que presenten un comportamiento agresivo hacia los humanos. Las peleas entre ellos son de manera juguetóna, aunque se pueden causar lesiones graves y también a las personas que los manejan (Stafford, 2005).

En los últimos años, la producción de machos Holstein para engorda, ha tenido un gran impacto en la industria, los machos Holstein son diferentes de las razas europeas o continentales en su temperamento amable y juguetón; sin embargo, son animales que suelen ser más peligrosos si se dejan como toros (Duff, 2007).

En el bovino, las peleas constituyen una parte regular del comportamiento social, regulando el espacio vital entre individuos y determinando cuales machos tiene la oportunidad de aparearse en el año. Los bovinos tienen patrones característicos como manotear el suelo y mugen durante las peleas. Los combates son usualmente individuales y muy raramente se dan los ataques combinados sobre otro animal (Petryna y Bavera, 2002).

En los sistemas de producción intensivos se ve afectado otro patrón de comportamiento, como es la facilitación social. La falta de espacio y el incremento en la agresión es por la ruptura en la sincronización social, aumentando el rango de variación individual en los patrones de conductas de mantenimiento (comer, desplazarse, descansar y acicalarse) (Miranda de la Lama, 2008).

El comportamiento sexual y las hormonas sexuales como la testosterona son una parte muy importante de la vida de los animales que regulan la conducta de la mayoría de los mamíferos (Justel et al., 2010). Freitas et al. (2008) mencionan que el propósito de la castración es reducir los problemas de manejo relacionado al comportamiento agresivo y sexual porque hace al animal más dócil y mitiga la conducta sexual, así como sodomía Katz (2007) reportó una disminución en el comportamiento sexual después de la castración. A su vez, Mach et al. (2009) reportaron una reducción en las frecuencias de peleas, desplazamientos y comportamiento sexual.

En los machos más jóvenes y lotificados en grupos de mismo sexo con altos niveles de estrés son muy comunes las montas homosexuales. Siendo muy común

que los animales subordinados podrían ser montados excesivamente por los dominantes. Esto determina que la motivación para este comportamiento es menos relacionada a una razón sexual y más a dominancia. La monta puede considerarse un evento tranquilo si el buller acepta al rider, pero si el buller se fuerza a aceptar la monta, la motivación tal vez se dé dominancia por parte del rider. En el caso de la monta forzada, el bienestar del buller es comprometida seriamente (Phillips, 2002).

Ramírez, 2005 considera que el buller libera abundantes feromonas sexuales que estimula a los riders por las intensas interacciones homosexuales que se observa. Los bovinos presentan este síndrome que se caracteriza por montas repetidas a un novillo (buller) por algunos compañeros de corral a los cuales se les denomina riders o jinetes por ser esta una conducta sexual, el buller se comporta como hembra y los riders o jinetes como machos, la causa de este síndrome es atribuida a diversos factores como la densidad del lote y utilización de diferentes promotores de crecimiento

Freitas et al. (2015) evaluaron el comportamiento de toros F1 Holstein/cebú así como los niveles de testosterona, siendo la frecuencia de montas, excitabilidad, comportamiento de dominancia y concentración de testosterona menor en toros castrados a testículo abierto en comparación con toros tratados con anti GnRh esto podría ser explicado por el aumento de testosterona final en los toros inmunocastrados, por tal motivo concluye que la utilización de anti GnRh no mantiene efectivamente los niveles bajo de testosterona ya que la engorda duró solo 85 días.

Sin embargo, Price et al. (2003) utilizaron toros, castrados e inmunocastrados de raza Hereford y cruce Hereford x Angus menciona que aunque los toros inmunocastrados y novillos no difirieron en el comportamiento con respecto a las amenazas y topetazos, tanto los toros inmunizados como los novillos iniciaron menos amenazas y participaron en menos topetazos que los toros enteros. Cabe destacar que, en relación a los toros no castrados, la inmunización redujo la frecuencia de amenazas y participación de topetazos a los niveles típicos observados en los novillos. Estas observaciones indican que la inmunocastración activa contra el GnRH reduce la incidencia del comportamiento agresivo en los machos por lo tanto es un efectiva alternativa para la castración quirúrgica y el manejo del ganado.

Sin embargo, Marti et al. (2015) al evaluar el comportamiento en animales inmunocastrados y castrados por el método de banda hubo diferencias en el comportamiento sexual (montas) y comportamiento social (acicalamiento) siendo más frecuentes en los toros inmunocastrados. En comparación con machos enteros el método de castración por Burdizzio tiene efecto similar en el comportamiento conductual logrando la disminución de frecuencias de topetazo, amenazas, montas y signo de Flehmen (Mach et al., 2009).

Halafaia et al. (2001) mencionan que las interacciones agresivas y la sodomía pueden originarse por estar inactivos y otros factores, como una agrupación con jerarquías de dominación, confinamiento con alta densidad de población y la violación de los espacios. Esto está asociado con factores ambientales tales como el estrés térmico y la ausencia de sombras esos factores podrían haber contribuido secundariamente a la frecuencia de montas, excitabilidad, dominancia de los animales.

Calidad de la canal y carne en machos castrados

A pesar de que los consumidores prefieren carne con menos grasa, los productores se motivaron para considerar el efecto positivo de la castración especialmente en color, olor, sabor etc de la carne (Segato et al., 2005). La castración mejora el acabado de las canales con un alto porcentaje de grasa intramuscular y mayor espesor de grasa dorsal (EGD) lo cual es deseado por los rastros porque las canales son protegidas contra los efectos de la refrigeración (Freitas et al., 2008).

Actualmente, los sistemas de producción de ganado para carne han considerado el engorde de terneros Holstein como opción, dado que estos animales ofrecen indiscutibles ventajas al ganadero ya que producen canales de alta calidad; los terneros Holstein pueden ingresar menos pesados (aproximadamente 136 kg) a los corrales de engorda, y pueden alcanzar hasta 590 kg después de aproximadamente un año de alimentación intensiva (Duff y McMurphy, 2007).

En varios países la clasificación de la carne es realizada mediante inspección visual de la canal. Un inspector certificado o clasificador utiliza plantillas para determinar primero el color de la grasa y de la carne, el AOC (*Longissimus dorsi*), el EGD, la madurez o edad del animal, así como su conformación, éstos se integran al

análisis para determinar el grado de calidad de la canal. Sin embargo, en México, la clasificación de la carne de bovinos en canal se rige por la norma mexicana NOM-004-SAGARPA-2018 según se establece, esta norma tiene cobertura nacional y se instrumentará en las plantas de sacrificio y rastros TIF (Tipo Inspección Federal) registrados por SAGARPA que operan bajo condiciones de sanidad e higiene establecidas en la norma oficial mexicana NOM-08-ZOO-1994 (Vilaboa et al., 2009).

Una de las ventajas de la castración es que incrementa la deposición de grasa intramuscular en el músculo *Longissimus dorsi*, una característica altamente deseable en algunos países como Korea. Sin embargo, la castración también puede afectar a la acumulación en otros depósitos de grasa (Baik et al., 2014).

Bruns et al. (2004) mencionan que el tejido graso es el último en depositarse y la acumulación de grasa en los músculos aumenta con la madurez de los animales; la deposición de grasa comienza con la grasa subcutánea, y el aumento de la grasa subcutánea invariable y positivamente afecta la acumulación de grasa intramuscular o el marmoleo. Se debe considerar, que los toros vacunados inmunocastrados (AntiGnRH) presentan características de la canal similares a los novillos y una mejor eficiencia alimenticia que los toros no tratados, lo que para los productores de carne representa un retorno económico importante (Janett et al., 2012). El contenido de calorías de la dieta y el grupo genético de los animales son correlacionados con el grado de finalización de los animales, niveles más altos de depósito de grasa subcutánea y marmoleo en el ganado (Lage et al., 2012).

De acuerdo a Amatayakul et al. (2013) al comparar animales inmunocastrados y castrados quirúrgicamente después del proceso de sacrificio de el grupo de los toros inmunocastrados obtuvieron una media mayor de peso de 8.4 kg en a diferencia de los castrados a testículo abierto. Además, los toros tratados con ANTIGnRh tuvieron un rendimiento en canal de 272.8 kg en comparación con los castrados a testículo abierto, el cual fue de 264.40 kg.

Sin embargo, la castración inmunológica con la vacuna ANTIGnRH es una alternativa beneficiosa para el bienestar animal y logra la misma calidad de carne que el ganado castrado quirúrgicamente ya que no se encontraron diferencias significativas ($P > 0.05$) en los parámetros de calidad de la carne. Este es un enfoque

atractivo en comparación con la castración física, ya que potencialmente permite a los productores capturar las ganancias de la producción al criar ganado macho intacto, al tiempo que mejora la calidad de la carne y controla el comportamiento no deseado a través de una intervención estratégica (Marti et al., 2017).

Estos hallazgos son similares con los reportados por Giulianna et al. (2014) al evaluar toros Nellore y cruce de Nellore x Angus castrados e inmunocastrados de acuerdo a sus resultados no hubo diferencias ($P>0.05$) entre castrados e inmunocastrados y sugieren que la inmunocastración puede ser utilizada por mejorar las características de la carne.

La blandura es una de las características de calidad más importante en la carne bovina. está muy influenciada por factores inherentes al animal, como su composición racial, el manejo y el tipo de alimentación, además de las prácticas durante el sacrificio y manipulación posterior de la carne. A pesar del elevado número de factores que intervienen en ello, resultados de investigaciones concluyen que la blandura puede ser incrementada a través de la mejora genética de los animales (Soria y Corva, 2004).

Andreo et al. (2013) evaluaron el efecto de la inmunocastración sobre la GDP, características de la canal y calidad de la carne en ganado Nellore enteros y inmunocastrados (Bopriva); los autores reportaron que los machos inmunocastrados tuvieron inferiores GDP, y de igual forma el PCC, rendimiento de la canal, pH, y AOC que las canales de los machos enteros; sin embargo, los autores concluyen que la inmunocastración es una alternativa para mejoramiento de la calidad de la carne por el alto depósito de grasa.

En un estudio similar realizado en machos Holstein, Pérez Linares et al. (2017) mencionan que las canales de los machos inmunocastrados tuvieron mayor peso, con mayor EGD y marmoleo, siendo todas estas características las que confieren un valor de mercado mayor que las canales de los toros Holstein intactos. Sin embargo en las características físico químicas de la carne no hubo diferencias ($P>0.05$) concluyendo que la inmunocastración en el ganado Holstein con Bopriva representa por hoy una alternativa atractiva para la industria ganadera, ya que considerando el bienestar animal es menos traumática que la castración tradicional.

Amatakayul et al. (2012) al comparar entre bovinos inmunocastrados e inmunocastrados implantados, reportaron que no hubo diferencias ($P > 0.05$) en los parámetros de calidad de la carne, solo en el AOC fue mayor ($P < 0.05$) en los bovinos inmunocastrados implantados (73.5 cm^2 vs 68.9 cm^2). Los autores mencionan que el uso de la vacuna anti GnRH (Bopriva) en *Bos indicus* x Pardo Suizo pueden proporcionar un mejor rendimiento en combinación con implantes (aumento de peso vivo y GDP) y mejora la calidad de la carne, con o sin implantes.

En un estudio realizado Mach et al. (2010) observaron que la suavidad de la carne proveniente de los bovinos castrados fue superior ($P > 0.05$) que los no castrados, debido a los cambios físicos químicos con mayor índice de proteólisis durante los primeros siete días *post mortem*; en investigaciones de Purchas et al. (2002) concluyeron que la carne de los bovinos castrados presentó mayor blandura que la de los bovinos no castrados debido a ambos efectos, mayor proteólisis muscular y mayor contenido de marmoleo. Al respecto, Mach et al. (2009), mencionan que la castración mejora la calidad de la canal y carne, incrementando la grasa en la canal, contenido de grasa intramuscular, suavidad y color luminoso y rojizo.

Los atributos sensoriales sabor, suavidad y jugosidad de la carne fueron mejor evaluados en bovinos castrados ($P < 0.05$) de acuerdo a un estudio realizado por Monrón-Fuenmayor et al. (2010), donde observaron que la terniza de los novillos ($P < 0.01$) resultó de moderada a ligeramente blanda, jugosa y más sabrosa con trazas de cantidad de tejido conectivo (CTC), en comparación con la carne de toretes que resultaron carnes ligeramente duras, jugosas y con mayor CTC.

Marti et al. (2017) mencionan hay una divergencia de datos reportados sobre animales enteros y castrados, y esta divergencia en los datos de rendimiento puede explicarse por la gran variedad de sistemas de producción de carne existentes alrededor de el mundo, por tal motivo la castración inmunológica se ha estudiado en diferentes razas, programas sanitarios como de vacunación, dietas y programas de implantes. Todos estos factores afectan el crecimiento de los animales y, en consecuencia, pueden alterar la respuesta del crecimiento animal a los programas de castración inmunológica. Por todas estas razones, es necesario realizar mas investigaciones para la evaluación de programas de castración inmunológica bajo los diferentes sistemas de producción (raza, dieta, implantes).

LITERATURA CITADA

- Andreo, N, A. M Bridi, M. A Tarsitano, L.M Peres, A.P.A da Costa Barbon, E.L de Andrade and P. E. F Prohmann. 2013. Influência da imunocastração (Bopriva®) no ganho de peso, características de carcaça e qualidade da carne de bovinos Nelore. *Semina: Ciências Agrárias*, 34(Supl2): 4121-4132.
- Amatayakul-Chantler, S,J.A. Jackson, J. Stegner, V. King, S. Rubio, R. Howard, E. Lopez and J. Walker. 2012. Immunocastration of *Bos indicus* × Brown Swiss bulls in feedlot with gonadotropin-releasing hormone vaccine Bopriva provides improved performance and meat quality. *J. Anim. Sci.* 90:3718–3728.
- Amatayakul-Chantler, S, F Hoa, J.A Jackson, R Roca, J Stegner, V King, S Rubio, R Howard, E Lopez and J Walker. 2013. Effects on performance and carcass and meat quality attributes following immunocastration with the gonadotropin releasing factor vaccine Bopriva or surgical castration of *Bos indicus* bulls raised on pasture in Brazil. *Meat Science*.95(1):78-84.
- Baik M., J. Young Jeong. T.T.Thao Vu, M. Yu Piao and H. Joong Kang. 2014. Effects of castration on the adiposity and expression of lipid metabolism genes in various fat depots of Korean cattle. *Livestock Sci*: 168:168–176.
- Boesch, D, A Steiner, M Stauffacher, 2006. Castration of calves: a survey among Swiss suckler beef farmers (Kaßberkastration: Eine Befragung von Schweizer Mutterkuhhaltern). *Schweiz. Arch. Tierheilk.* 148: 231–244.
- Bretschneider, G. 2005. Effects of age and method of castration on performance and stress response of beef male cattle: A review. *Livest. Prod. Sci.* 97:89–100.

- Bruns, K. W, R. H Pritchard and D. L Boggs. 2004. The relationships among body weight, body composition, and intramuscular fat content in steers. *J. Anim.Sci.* 82(5):1315-1322.
- Bustos O.E. y L. Torres. 2012. Reproducción estacional en el macho. *Int. J. Morphol.* 30(4):1266-1279.
- Chase C.C, P.J Chenoweth, R.E Larsen, T.A Olson, A.C Hammond, M.A Menchaca and R.D Randel. 1997. Growth and reproductive development from weaning through 20 months of age among breeds of bulls in subtropical Florida. *Theriogenology.* 47(3):723-745.
- Coetzee, J. F, A. L Nutsch, L. A. Barbur, and R. M. Bradbun. 2010. A survey of castration methods and association livestock management practices performed by bovine veterinarians in the United States. *BMC Vet. Res.* 6:12.
- Cunningham J. G. 2003. *Fisiologia Veterinaria.* Elsevier. 3ra ed. Madrid, España.
- Devant, M, S. Marti, and A. Bach. 2012. Effects of castration on eating pattern and physical activity of Holstein bulls fed highconcentrate rations under commercial conditions. *J. Anim. Sci.* 90:4505-4513.
- Duff, G. C, and C.P McMurphy. 2007. Feeding Holstein steers from start to finish. *The Veterinary Clinics of North America. Food Animal Practice.* 23(2): 281–297.
- Freitas, A. K, J Restle, P.S Pacheco, J. T Padua, M.E Lage, E.S Miyagi and G.F.R Silva. 2008. Características de carcaças de bovinos nelore inteiros vs castrados em duas idades, terminados em confinamento. *Revista Brasileira de Zootecnia.*37(6):1055-1102.
- Freitas, V. M, K.M Leão, F.R de Araujo Neto, T.C Marques, R.M Ferreira, L.L.F Garcia and E.B de Oliveira. 2015. Effects of surgical castration, immunocastration and homeopathy on the performance, carcass characteristics

and behaviour of feedlot-finished crossbred bulls. *Semina: Ciências Agrárias*, 36(3):1725–1734.

Giuliana, Z. M, M.H Faria, R.O Roça, C.T Santos, S.P Suman, A.B.G Faitarone, N.L.C Delbem, L.V.C Girao, J.M Homem, E.K Barbosa, L.S Su, F.V Resende, G.R Siqueira, A,D Moreira and T. V Savian. (2014). Immunocastration improves carcass traits and beef color attributes in Nellore. *Meat Sci.* 96: 884-891.

González, L. A., K. S. Schwartzkopf-Genswein, N. A. Caulekett, E. Janzen, T. A. McAllister, E. Fierheller, A. L. Schaefer, D. B. Harley, J. M. Stookey, and S. Hendrick. 2010. Pain mitigation after band castration of beef calves and its effects on performance, behavior, *Escherichia coli*, and salivary cortisol. *J. Anim. Sci.* 88:802–810.

Grandin T. 2006. Preventing Bull Accidents. Colorado State University. <http://www.grandin.com/behaviour/principles/preventing.bull.accidents.html>
Fecha de acceso: 04 de Octubre de 2012.

Malafaia, P, J.D Barbosa, C.H Tokarnia and C.M.C Oliveira. 2011. Distúrbios comportamentais em ruminantes não associados a doenças: origem, significado e importância. *Pesquisa Veterinária Brasileira.* 31(9): 781-790.

Hardy C. M. and A. L. Braid. 2007. Vaccines for immunological control of fertility in animals. *Rev. sci. tech. Off. Int. Epiz.* 26(2):461-470.

Jago, J. G, N. R. Cox, J. J. Bass, and L. R. Matthews. 1997. The effect of prepubertal immunization against gonadotropin-releasing hormone on the development of sexual and social behavior of bulls. *J. Anim. Sci.* 75:2609–2619.

Janett, F., T. Gerig, A.C. Tschuor, C. Amatayakul, J. Walker, R. Howard, H. Bollwein and R. Thun. 2012. Effect of vaccination against gonadotropin-releasing factor (GnRF) with Bopriva in the prepubertal bull calf. *Animal Reproduction Science.* 31:72-80.

- Justel N, M. Bentosela y E. Ruetti. 2010. Testosterona, emoción y cognición: estudios en animales castrados. *Interdisciplinaria* 27(2):191-208.
- Lanier J. L, T. Grandin, R. D. Green, D. Avery y K. McGee. 2000. La relación entre temperamento del animal y su reacción a estímulos súbitos de intermitentes. *J. Anim. Sci.* 78: 1467-1474.
- Marti, S, M. Devant, S. Amatayakul-Chantler, J.A. Jackson, E. López, E.D. Janzen, and K.S. Schwartkopf-Genswein. 2015. Effect of anti-gonadotropin-releasing factor vaccine and band castration on indicators of welfare in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 93:1581–1591.
- Miranda de la Lama G. C. 2008. Comportamiento y bienestar en la producción animal: hacia una interpretación integral. *Revista Electrónica Veterinaria* 4(10): 1-8.
- Molony, V, K. E. Kent, and I. S. Robertson. 1995. Assessment of acute and chronic pain after different methods of castration of calves. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 46:33–48.
- Morón, O. O.Araujo, S. Pietrosevoli, N. Gallardo, B. Sulbarán, y J. Peña. 2012. Efecto de la castración sobre la composición físicoquímica y características sensoriales en carne de bovinos mestizos comerciales. *Laboratorio Calidad de la Carne y Productos Cárnicos. Rev. Fac. Agron. (LUZ).* 27: 594-606.
- Ramírez I.L.N. 2005. *The Buller. Mundo Pecuario.* 1(3):62-63.
- Neto O. A, B. G. Gasperin., M. T. Rovani., G. F. Ilha., J. E. Nóbrega Jr., R. G. Mondadori., P. B.D. Gonçalves., A. Q. Antoniazzi. 2014. Intratesticular hypertonic sodium chloride solution treatment as a method of chemical castration in cattle. *Theriogenology* 82: 1007–1011.

- Pérez-Linares, C., L. Bolado-Sarabia, F. Figueroa-Saavedra, A. Barreras-Serrano, E. Sánchez- López, A.R. Tamayo-Sosa, R, and E. Gallegos. 2017. Effect of immunocastration with Bopriva on carcass characteristics and meat quality of feedlot Holstein bulls. *Meat Science*. 123:45-29.
- Philips C. 2002. *Cattle Behavior and Welfare*. Blackwell Science Ltd. Second edition. Iowa USA p.154.
- Price E., T. Adams, C. Huxsoll, and R. Borgwardt. 2003. Aggressive behavior is reduced in bulls actively immunized against gonadotropin-releasing hormone. *J. Anim. Sci.* 81: 411–415.
- Skrlep, M., N. Batorek, A. Prunier, I. Louveau, J. Noblet, M. Bonneau, and M. Candek-Potokar. 2012. Effect of immunocastration in group-housed commercial fattening pigs on reproductive organs, malodorous compounds, carcass and meat quality. *J. Anim. Sci.* 6: 290–299.
- Segato S., C. Elia, C. Mazzini, C. Bianchi and I. Andrighetto. 2005. Effect of castration age on carcass traits and meat quality of Simmental bulls. *Ital. J. Anim. Sci.* 4 (suppl. 2): 263-265.
- Soria, L.A. y P.M. Corva. Factores genéticos y ambientales que determinan la terneza de la carne bovina. 2004. *Arch Latinoam Prod Anim* 12(2):73-88.
- Stafford K.J. and D.J. Mellor. 2005. The welfare significance of the castration of cattle: A review. *New Zeland Veterinary Journal*. 53 (5): 271-278.
- Thüer S, S. Mellema, M. G. Doherr, B. Wechsler, K. Nuss and A. Steiner. 2007. Effect of local anesthesia on short- and long-term pain induced by two bloodless castration methods in calves. *The Veterinary Journal* 173(2): 333-342.
- Vilaboa, J.A, P.R Díaz, O.R Ruiz, D.R Platas, S.M González,F. L Juárez. 2009. Factores que influyen en la calidad de la carne bovina mexicana, Veracruz. *Revista Mexicana de Agronegocios*. [in press].

Warnock, T. M, T. A. Thrift, M. Irsik, M. J. Hersom, J. V. Yelich, T. D. Maddock, G. C. Lamb, and J. D. Arthington. 2012. Effect of castration technique on beef calf performance, feed efficiency, and inflammatory response. *J. Anim. Sci.* 90:2345–2352.

Zanella, R, E. L Zanella, J.J Reeves, J Hernandez, A.C Motta and D Avila. 2009. Características testiculares de touros imunizados com vacina anti-hormônio liberador do hormônio luteinizante. *Pesquisa Agropecuária Brasileira.* 44(10):1359-1363.

CAPÍTULO 3

ARTICULOS GENERADOS

Artículo 1. Comparación de la castración quirúrgica al nacimiento *versus* inmunocastración sobre el comportamiento conductual y parámetros sanguíneos (testosterona y cortisol) en machos Holstein en engorda.

ESTATUS: publicado en la revista: “REVISTA DE INVESTIGACIONES VETERINARIAS DEL PERÚ”

Cristina Pérez Linares, Jorge Armando Cervantes Cazarez, Fernando Figueroa Saavedra, Alma Rosa Tamayo Sosa, Alberto Barreras Serrano, Issa Carolina García Reynoso, José Leonardo Bolado Sarabia, Francisco Gerardo Ríos Rincón, Luis Antonio García Vega. (2020). Comparación de la castración quirúrgica al nacimiento *versus* inmunocastración sobre el comportamiento conductual y parámetros sanguíneos (testosterona y cortisol) en machos Holstein en engorda. <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v31i4.17361>

Comparación de la castración quirúrgica al nacimiento versus inmunocastración sobre el comportamiento conductual y parámetros sanguíneos (testosterona y cortisol) en machos Holstein en engorda

Comparison of surgical castration at birth versus immunocastration on behavioural response and blood parameters (testosterone and cortisol) in Holstein fattening bulls

Cristina Pérez Linares¹, Jorge Armando Cervantes Cazares¹, Fernando Figueroa Saavedra^{1,4}, Alma Rossana Tamayo Sosa¹, Alberto Barreras Serrano¹, Issa Carolina García Reynoso¹, José Leonardo Bolado Sarabia², Francisco Gerardo Ríos Rincón², Luis Antonio García Vega³

RESUMEN

Se comparó el comportamiento conductual y parámetros sanguíneos en toros inmunocastrados y quirúrgicamente castrados. Se utilizaron 720 machos Holstein de 7-8 meses de edad y peso aproximado de 240 kg. Un grupo fue inmunocastrado mediante vacunación con Bopriva (vacuna comercial anti-GnRH) los días 1, 21, 101 y 181 días de engorda y el otro grupo fue castrado quirúrgicamente al nacimiento. Se tomaron muestras de sangre los días de las vacunaciones para la determinación de testosterona y los días 181 y durante el desangrado en el sacrificio para analizar cortisol sanguíneo. Se evaluó el comportamiento sexual (montas y signos de flehmen), agresivo (amenazas y topetazos) y social (olfateos, acicalamiento, cabeza baja y vocalizaciones) no encontrándose diferencias significativas entre tratamientos. La concentración de testosterona en ambos tratamientos fue por debajo de 1 ng/ml en todos los muestreos. Los niveles de cortisol en el día 181 de engorda fueron más bajos ($p < 0.05$) con respecto al día de sacrificio en ambos tratamientos. El peso al sacrificio (242 días de engorda) fue de 595.0 kg en machos inmunocastrados y 620.74 kg en castrados quirúrgicamente.

Palabras clave: Bopriva, machos castrados, hormonas, engorda

¹ Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias, Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, Baja California, México

² Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Sinaloa, Culiacán, Sinaloa, México

³ Ganadera Mexicali S.A. de C.V., Mexicali, Baja California, México

⁴ E-mail: fernando_figueroa@uabc.edu.mx

Recibido: 27 de enero de 2020

Aceptado para publicación: 18 de agosto de 2020

Publicado: 25 de noviembre de 2020

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización Geográfica

El estudio se llevó a cabo en la ciudad de Mexicali, Baja California, México. La región se caracteriza por tener un clima seco desértico, con temperatura promedio de 34.7 °C (-5 °C en invierno y 50 °C en verano), precipitación pluvial de 37 mm y humedad relativa cerca del 50% (García, 2004).

Diseño del Estudio

Se utilizaron 720 machos Holstein con edades entre 7 y 8 meses y peso promedio de 240 kg, procedentes de una empresa lechera localizada en la ciudad de Torreón, Coahuila. La empresa que engorda ganado recibe mensualmente cerca de 1500 machos. La castración quirúrgica se realizó en la empresa lechera a las 24 h de nacidos, tomándose al azar 360 animales castrados para formar en cuatro semanas cuatro corrales con 90 animales cada uno. Asimismo, se seleccionaron 360 machos enteros en un lapso de un mes, los que fueron distribuidos en cuatro corrales con 90 animales cada uno. Los animales castrados conformaron el primer grupo experimental (T1: machos castrados quirúrgicamente), mientras que los machos enteros conformaron el segundo grupo experimental (T2: machos inmunocastrados).

Manejo del Ganado

Al día siguiente de la llegada de los animales a la empresa de engorda se les realiza el manejo rutinario que consiste en la aplicación del antiparasitario, vacunas para complejo respiratorio bovino y anticlostridial, descorne, y colocación de un implante a base de acetato de trembolona, estradiol y tilosina (Component TE-200, Laboratorio ELANCO, México) para aumentar la ganancia de peso y mejorar la conversión alimenticia. Además, a los animales de T2 se les administró 1 ml de Bopriva (Zoetis, Salud Animal, México), vía SC, como primer componente del esque-

ma de inmunocastración (1 ml a las 24 horas de la recepción – Día 1 –, y en los días 21, 101 y 181 del experimento). A los animales de T1 se les administró 1 ml de solución salina en las mismas fechas.

Se registró el peso vivo los días 1, 21, 101 y 181 del experimento y antes del sacrificio (día 242). Los animales fueron alimentados dos veces al día, siguiendo un sistema de seis dietas que cumplen con los requerimientos de proteína y energía (limitando la primera y aumentando la segunda entre dietas), fibra y minerales (Pond *et al.*, 2004). La base de ingredientes utilizados fue trigo hojueleado, sudán, cebo, una premezcla de minerales y DDG (granos secos de destilería). El uso de los DDG en la alimentación de bovinos está descrito por Klopfenstein *et al.* (2008), Depenbusch *et al.* (2009) y Pecka-Kie³b *et al.* (2017).

Testosterona Sérica y Cortisol Plasmático

Se seleccionaron 10 animales aleatoriamente por cada corral para la determinación de los niveles de testosterona sérica y cortisol plasmático. Se colectaron muestras de sangre (5 ml) de la vena coccígea los días del esquema de inmunocastración, más una muestra adicional durante el desangrado tras el sacrificio en la línea de producción en la planta de sacrificio para la determinación de testosterona. Las muestras para determinar cortisol plasmático se colectaron en el día 181 y durante el desangrado en tubos con heparina de sodio.

Las muestras fueron centrifugadas a 1372 g para obtener el suero y plasma, respectivamente, usando una centrifuga TRIAC (Clay Adams 0200, USA). Los sueros y plasma se almacenaron a -20 °C hasta su análisis. La concentración de testosterona sérica fue determinada usando el kit de testosterona ELISA (Bovine) Kit (Abnova Corporation, Taiwan), siguiendo las instrucciones del fabricante. El cortisol plasmático fue determinado con el Accu-Bind ELISA Microwells

ABSTRACT

The behavioural response and blood parameters were compared in immunocastrated and surgically castrated bovine males. In total, 720 Holstein males, 7-8 months old and approximately 240 kg body weight were used. One group was immunocastrated by vaccination with Bopriva (commercial anti-GnRH vaccine) on days 1, 21, 101 and 181 days of the fattening and the other group was surgically castrated at birth. Blood samples were taken on vaccination days for testosterone determination and on days 181 and during slaughtering to analyse blood cortisol. Sexual behaviour (mounts and flehmen signs) and aggressive (threats and head butting) and social behaviour (sniffing, grooming, lowered head, and vocalization) were evaluated, finding no significant differences between treatments. Testosterone concentration in both treatments was below 1 ng/ml in all samples. Cortisol levels on day 181 of fattening were lower ($p < 0.05$) with respect to the day of slaughtering in both treatments. Slaughter weight (242 days fattening) was 595.0 kg in immunocastrated males and 620.74 kg in surgically castrated males.

Key words: Bopriva, castrated male, hormone, fattening

INTRODUCCIÓN

La castración quirúrgica en la producción ganadera es una práctica que se realiza para disminuir el comportamiento agresivo y sexual de los machos y mejorar la calidad de la canal y la carne (Mach *et al.*, 2008; Moreira *et al.*, 2015). La castración proporciona canales con un alto porcentaje de marmoleo y grasa subcutánea, lo cual es deseable para la comercialización en las plantas de sacrificio (Freitas *et al.*, 2008). Con el fin de evitar la castración quirúrgica, se han realizado estudios utilizando la inmunocastración a través de una vacuna (Amatayakul-Chantler *et al.*, 2012; Miguel *et al.*, 2014; Marti *et al.*, 2015; Andreo *et al.*, 2016).

La vacuna anti-GnRH estimula la producción de anticuerpos que neutralizan al GnRH, suprimiendo la función testicular y, como consecuencia, una disminución en la concentración de testosterona circulante, disminuyendo el comportamiento sexual y sodomías y mejorando la calidad de la canal (Jannet *et al.*, 2012; Pérez-Linares *et al.*, 2017). Se ha observado una disminución en

montas, topetazos, olfateos y signos de flehmen en machos Holstein utilizando Bopriva (Bolado-Sarabia *et al.*, 2018). Esta alternativa ha sido muy aceptada como una opción para garantizar el bienestar animal.

En México, se realiza la castración de los machos Holstein al día siguiente de nacido, de modo que el animal se encuentra recuperado cuando inicia el periodo de engorda (alrededor de los 7 meses); sin embargo, no se tienen registros sobre las repercusiones de la castración en el animal. Una de las formas de evaluar el estrés en el ganado es cuantificando los niveles de cortisol; no obstante, se debe considerar que la adaptación al estrés depende de las intensidad y tipo de experiencias en el manejo del ganado (Dodzi y Mochenje, 2011).

Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue comparar el comportamiento conductual y parámetros sanguíneos de testosterona y cortisol en machos Holstein castrados quirúrgicamente al nacimiento con el de inmunocastrados con Bopriva durante el periodo de engorda.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización Geográfica

El estudio se llevó a cabo en la ciudad de Mexicali, Baja California, México. La región se caracteriza por tener un clima seco desértico, con temperatura promedio de 34.7 °C (-5 °C en invierno y 50 °C en verano), precipitación pluvial de 37 mm y humedad relativa cerca del 50% (García, 2004).

Diseño del Estudio

Se utilizaron 720 machos Holstein con edades entre 7 y 8 meses y peso promedio de 240 kg, procedentes de una empresa lechera localizada en la ciudad de Torreón, Coahuila. La empresa que engorda ganado recibe mensualmente cerca de 1500 machos. La castración quirúrgica se realizó en la empresa lechera a las 24 h de nacidos, tomándose al azar 360 animales castrados para formar en cuatro semanas cuatro corrales con 90 animales cada uno. Asimismo, se seleccionaron 360 machos enteros en un lapso de un mes, los que fueron distribuidos en cuatro corrales con 90 animales cada uno. Los animales castrados conformaron el primer grupo experimental (T1: machos castrados quirúrgicamente), mientras que los machos enteros conformaron el segundo grupo experimental (T2: machos inmunocastrados).

Manejo del Ganado

Al día siguiente de la llegada de los animales a la empresa de engorda se les realiza el manejo rutinario que consiste en la aplicación del antiparasitario, vacunas para complejo respiratorio bovino y anticlostridial, descorne, y colocación de un implante a base de acetato de trembolona, estradiol y tilosina (Component TE-200, Laboratorio ELANCO, México) para aumentar la ganancia de peso y mejorar la conversión alimenticia. Además, a los animales de T2 se les administró 1 ml de Bopriva (Zoetis, Salud Animal, México), vía SC, como primer componente del esque-

ma de inmunocastración (1 ml a las 24 horas de la recepción – Día 1 –, y en los días 21, 101 y 181 del experimento). A los animales de T1 se les administró 1 ml de solución salina en las mismas fechas.

Se registró el peso vivo los días 1, 21, 101 y 181 del experimento y antes del sacrificio (día 242). Los animales fueron alimentados dos veces al día, siguiendo un sistema de seis dietas que cumplen con los requerimientos de proteína y energía (limitando la primera y aumentando la segunda entre dietas), fibra y minerales (Pond *et al.*, 2004). La base de ingredientes utilizados fue trigo hojuleado, sudán, cebo, una premezcla de minerales y DDG (granos secos de destilería). El uso de los DDG en la alimentación de bovinos está descrito por Klopfenstein *et al.* (2008), Depenbusch *et al.* (2009) y Pecka-Kie**’**b *et al.* (2017).

Testosterona Sérica y Cortisol Plasmático

Se seleccionaron 10 animales aleatoriamente por cada corral para la determinación de los niveles de testosterona sérica y cortisol plasmático. Se colectaron muestras de sangre (5 ml) de la vena coccígea los días del esquema de inmunocastración, más una muestra adicional durante el desangrado tras el sacrificio en la línea de producción en la planta de sacrificio para la determinación de testosterona. Las muestras para determinar cortisol plasmático se colectaron en el día 181 y durante el desangrado en tubos con heparina de sodio.

Las muestras fueron centrifugadas a 1372 g para obtener el suero y plasma, respectivamente, usando una centrifuga TRIAC (Clay Adams 0200, USA). Los sueros y plasma se almacenaron a -20 °C hasta su análisis. La concentración de testosterona sérica fue determinada usando el kit de testosterona ELISA (Bovine) Kit (Abnova Corporation, Taiwan), siguiendo las instrucciones del fabricante. El cortisol plasmático fue determinado con el Accu-Bind ELISA Microwells

Kit (Monobind, USA), siguiendo las instrucciones del fabricante.

El análisis de las muestras se hizo en el Laboratorio de Patología Clínica del Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias de la Universidad Autónoma de Baja California.

Comportamiento Conductual

Se realizó una observación semanal por corral apoyados por dos observadores en forma simultánea (1 corral con machos castrados y 1 corral con machos inmunocastrados) durante una hora. Los observadores se colocaron en la parte frontal del corral para una mejor visión. Las observaciones se hicieron en horario matutino (entre 06:50 y 11:50 h) o en horario vespertino (12:30 y 17:40 h), a partir de la segunda vacunación con Bopriva (Día 21) y concluyó un día antes del sacrificio, haciendo un total de 30 visitas por corral.

Se registró el número de eventos por corral de cada tratamiento. Las variables para evaluar el comportamiento sexual fueron montas y signos de *flehmen*; el comportamiento agresivo mediante topetazos y amenazas; y el comportamiento social mediante olfateos, acicalamiento, cabeza baja y vocalizaciones.

Las montas se registraron cuando un animal se sube a otro animal por la parte trasera; el signo de *flehmen* consistió cuando el animal levanta el labio superior después de oler la región genital a otro animal; los topetazos se determinaron cuando dos animales se ponen frente a frente empujándose con las cabezas; los signos de amenazas fueron considerados cuando el animal baja la cabeza y patea con una pata delantera raspando el piso; el olfateo se registró cuando un animal olfateó a otro animal; el acicalamiento fue considerado si un animal lamia a otro animal en la cabeza, cuello u hombro; la cabeza baja fue registrada como un signo de sumisión hacia otro animal, y todos los tipos de vocalizaciones se registraron como evento social.

Sacrificio

Los animales fueron sacrificados a los 242 días de engorda, con un promedio de peso vivo de 607.8 ± 12.9 kg. Los animales fueron arreados por vaqueros a caballo hasta la planta de sacrificio (1 km de distancia), donde ingresaron a corrales de descanso con acceso a agua por cerca de 5 horas. Todos los animales fueron sacrificados en una planta de sacrificio Tipo Inspección Federal (TIF), siguiendo la metodología descrita en la Norma Oficial Mexicana NOM-033-SAG/ZOO-2014, «Método para dar muerte a los animales domésticos y silvestres».

Análisis Estadístico

Para comparar los niveles de testosterona entre tratamientos (castrados quirúrgicamente e inmunocastrados) y su comportamiento en el tiempo (a partir del día 21 de vacunación finalizando un día antes de su sacrificio) se utilizó un modelo de medidas repetidas en el tiempo que incluyó el efecto común más los efectos fijos del tratamiento, el factor tiempo, la interacción tratamiento*tiempo y el efecto aleatorio del error experimental. Para estudiar la interacción tratamiento*tiempo se modeló una estructura de covarianza entre los registros, evaluando tres posibles estructuras de covarianza: no estructurada [UN], simetría compuesta [CS] y auto regresiva de primer orden [AR(1)], a través del criterio de Akaike y de Schwartz, siendo la mejor la que presentó menores valores para estos dos indicadores.

El análisis de las variables de conducta (montas, topetazos, amenazas, signos de *flehmen*, olfateos, acicalamiento, cabeza baja y vocalizaciones) (30 visitas en total, además del tiempo de reposo *ante mortem* en los corrales de descanso) se realizó con el valor promedio sobre el total de eventos de los cuatro corrales por tratamiento. Para probar las diferencias entre tratamientos en su forma de comportamiento en los periodos se analizó utilizando un modelo lineal que incluía los efectos fijos de tratamiento y la interacción

tratamiento * periodo como covariable, más el efecto aleatorio del error. La comparación entre pendientes se realizó con el estadístico t de Student y la comparación entre medias de tratamiento se realizó utilizando medias ajustadas por la covariable en el modelo. La significancia fue declarada para valores de $p < 0.05$. El análisis se realizó utilizando el paquete estadístico SAS 9.4 con el procedimiento PROC GLM (modelo lineal general), la comparación de pendientes a través del enunciado ESTIMATE y para las medias mínimo cuadráticas el enunciado LSMEANS (SAS, 2015).

RESULTADOS

La concentración de testosterona en los animales de ambos tratamientos estuvo por debajo de 1 ng/ml en todos los momentos de evaluación de la vacunación (1, 21, 101 y 181

días de la engorda) y en el día del sacrificio (día 242). Los valores medios de las variables de comportamiento conductual durante el periodo de engorda no fueron significativamente diferentes entre tratamientos (Cuadro 1).

Los valores medios de cortisol sérico fueron menores en el día 181 de engorda con respecto a los niveles en el día de sacrificio de los animales (día 242) en ambos tratamientos ($p < 0.05$), lo que indica que el manejo previo de los animales al sacrificio propició un aumento en los niveles de cortisol independientemente de los tratamientos.

El peso vivo promedio en el día 1 de la engorda fue similar entre tratamientos; sin embargo, el peso de los machos castrados quirúrgicamente fue superior ($p < 0.05$) durante el periodo de engorda hasta el día del sacrificio en comparación con los machos inmunocastrados (Cuadro 3), tal y como lo describe Cervantes-Cazares *et al.* (2020).

Cuadro 1. Valores medios \pm error estándar (EE) en las variables de comportamiento conductual¹ de machos Holstein durante el periodo de engorda, según el tipo de castración

Variable	Castrados quirúrgicamente	Inmunocastrados	\pm EE	p>t
Comiendo	10.63	11.38	1.34	0.57
Topes	18.40	17.22	1.68	0.48
Olfateos	15.36	15.68	1.64	0.84
Acicalamiento	23.90	26.01	1.47	0.15
Parados	41.08	42.90	2.67	0.49
Echados	29.32	30.68	2.73	0.61
Montas	20.02	23.67	2.38	0.60
Amenazas	3.02	3.85	0.47	0.16
Flehmen	6.02	5.62	0.70	0.24
Vocalización	7.42	6.21	1.09	0.83
Cabeza baja	0.77	1.08	0.20	0.27

¹ Montas, amenazas, signos de *flehmen*, vocalización y cabeza baja se analizaron con el modelo de Kruskal-Wallis porque sus varianzas no fueron homogéneas

Cuadro 2. Valores medios \pm error estándar (EE) de cortisol ($\mu\text{g}/\text{dl}$) de machos Holstein durante el periodo de engorda, según el tipo de castración

	Día 181	Sacrificio	\pm EE	p>t
Castrados	1.89 ^b	2.86 ^a	0.38	0.02
Inmunocastrados	2.10 ^b	3.53 ^a	0.30	0.0002

^{a,b} Literales diferentes dentro de filas son estadísticamente diferentes ($p < 0.05$)

Cuadro 3. Peso vivo (kg) de machos Holstein castrados durante el periodo de engorda

Días de engorda	Castrados quirúrgicamente (T1)	Inmunocastrados (T2)
1	243.3 \pm 2.5	238.4 \pm 2.5
21	278.3 \pm 2.5	269.7 \pm 2.5
101	394.9 \pm 2.5	379.5 \pm 2.5
181	520.8 \pm 2.5	509.5 \pm 2.5
242	620.7 \pm 6.9	595.0 \pm 6.9

Según Malafaia *et al.* (2011), las interacciones agresivas y sexuales como la sodomía pueden ser originadas por el ocio de los animales, por la jerarquía de dominancia y por el confinamiento con una alta densidad de los animales en el corral, lo cual está asociado con factores ambientales como el alto estrés térmico. En el presente estudio, la densidad de carga en los corrales fue de 8.9 m² por animal, espacio suficiente en lotes de 90 animales donde la capacidad en corrales es de 100 animales, considerando que los animales llegan a un peso promedio final de 600 kg.

Los valores de concentración de testosterona reportados en el estudio concuerdan con lo reportado por otros investigadores. Así, Martí *et al.* (2017) reportaron en bovinos castrados quirúrgicamente e inmunocastrados concentraciones de testosterona por debajo de 1 ng/ml durante la engorda y Janett *et al.* (2012) reportaron valores de 0.5 ng/ml en bovinos inmunocastrados, mientras que Mach *et al.* (2009) obtuvieron valores de 1.8 \pm 0.68 ng/ml en bovinos castrados con burdizzo; y Price *et al.* (2003) reportaron concentraciones de 0.1 \pm 0.01 ng/ml a los 4 meses de la castración quirúrgica en bovinos.

El cortisol es un indicador fisiológico que permite observar la adaptación biológica del animal a condiciones de estrés por procesos de manejo previo en la engorda y transporte

DISCUSIÓN

Diversos estudios demuestran una reducción del comportamiento agresivo y sexual por efecto de la inmunocastración y un comportamiento conductual similar entre toros quirúrgicamente castrados y toros inmunocastrados (Huxsoll *et al.*, 1998; Price *et al.*, 2003; Martí *et al.*, 2015; Moreira *et al.*, 2015).

(Grandin, 2000; Losada-Espinosa *et al.*, 2015). Sus valores séricos se incrementan como respuesta de los animales a ambientes estresantes (Ndlovu *et al.*, 2008). Es de esperar que el día del sacrificio se presenten situaciones estresantes para los toros como son el arreo a caballo hasta la planta de sacrificio, el uso de picana eléctrica, y los ruidos propios de la planta de sacrificio que ocasionaron que aumentaran los niveles de cortisol en el ganado, independiente el tipo de castración (Lensink *et al.*, 2001; Ferguson y Werner, 2008; Terlouw *et al.*, 2008). Grandin y Shivley (2015) afirman que cuando el animal se siente con espacio restringido, como lo experimenta durante el último tramo de la manga para entrar al cajón de noqueo, se estimula un incremento de cortisol plasmático.

El peso promedio al sacrificio fue de 595.0 kg para los machos inmunocastrados y de 620.7 kg para los castrados quirúrgicamente ($p < 0.05$). Si bien era de esperarse una respuesta similar entre tratamientos, se requiere evaluar el impacto económico y los indicadores de bienestar animal a fin de poder hacer recomendaciones adecuadas a nivel de establo lechero y de corral de engorda.

CONCLUSIONES

- El comportamiento conductual y los niveles de testosterona durante los siete meses del periodo de engorda fueron similares entre machos tratados con un inmunocastrador y machos castrados quirúrgicamente al nacimiento.
- Los niveles de cortisol se incrementan, en respuesta a agentes estresantes el día de sacrificio de los animales independientemente el tipo de castración.
- El peso vivo promedio al sacrificio de los machos inmunocastrados fue significativamente superior que el de los machos castrados quirúrgicamente ($p < 0.05$).

LITERATURA CITADA

1. **Amatayakul-Chantler S, Jackson JA, Stegner J, King V, Rubio LMS, Howard R, Lopez E, et al. 2012.** Immunocastration of *Bos indicus* x Brown Swiss bulls in feedlot with gonadotropin-releasing hormone vaccine Bopriva provides improved performance and meat quality. *J Anim Sci* 90: 3718-3728. doi: 10.2527/jas.2011-4826
2. **Andreo N, Bridi AM, Soares AI, Prohmann PEF, Peres LM, Taritana MA, Takabayashi AA. 2016.** Fatty acid profile of beef from immunocastrated (BOPRIVA) Nellore bulls. *Meat Sci* 17: 12-17. doi: 10.1016/j.meatsci.2016.02.029
3. **Bolado-Sarabia JL, Pérez-Linares C, Figueroa-Saavedra F, Tamayo-Sosa AR, Barreras-Serrano A, Sánchez-López E, García-Reynoso IC, et al. 2018.** Effect of immunocastration on behaviour and blood parameters (cortisol and testosterone) of Holstein bulls. *Austral J Vet Sci* 50: 77-81. doi: 10.4067/S0719-81322018000200077
4. **Cervantes-Cazares JA, Pérez-Linares C, Figueroa-Saavedra F, Tamayo-Sosa AR, Barreras-Serrano A, Rios-Rincón FG, Sánchez-López E, et al. 2020.** Comparación de la castración quirúrgica al nacimiento versus inmunocastración sobre las características de la canal y carne en machos Holstein. *Rev Mex Cienc Pec* 11: 455-467. doi: 10.22319/rmcp.v11i2.4885
5. **Depenbusch BE, Coleman CM, Higgins JJ, Drouillard JS. 2009.** Effects of increasing levels of dried corn distillers grains with solubles on growth performance, carcass characteristics, and meat quality of yearling heifers. *J Anim Sci* 87: 2653-2663. doi: 10.2527/jas.2008-1496
6. **Dodzi MS, Muchenje V. 2011.** Avoidance-related behavioural variables and their relationship to milk yield in pasture-

- based dairy cows. *Appl Anim Behav Sci* 133: 11-17. doi: 10.1016/j.applamin.-2011.04.014
7. **Ferguson DM, Werner RD. 2008.** Have we underestimated the impact of pre-slaughter stress on meat quality in ruminants? *Meat Sci* 80: 12-19. doi: 10.1016/j.meatsci.2008.05.004
 8. **Freitas AK, Restle J, Pacheco PS, Padua JT, Lage ME, Miyagi SE, Silva GFR. 2008.** Características de carcaças de bovinos Nelore inteiros vs castrados em duas idades, terminados em confinamento. *Rev Bras Zootec* 37: 1055-1162. doi: 10.1590/51516-3598200-8000600016
 9. **García E. 2004.** Modiûcaciones al sistema de clasiûcación climática de Koppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). México DF: Univ. Autónoma de México. 90 p.
 10. **Miguel GZ, Faria MH, Roça RO, Santos CT, Suman SP, Faitarone AB, Delbem NL, et al. 2014.** Immunocastration improves carcass traits and beef color attributes in Nellore and Nellore x Aberdeen Angus crossbred animals finished in feedlot. *Meat Sci* 96: 884-891. doi: 10.1016/j.meatsci.2013.-08.030
 11. **Grandin T. 2000.** Livestock handling on transport. Wallingford, UK: CABI Publishing. 459 p.
 12. **Grandin T, Shivley C. 2015.** How farm animals react and perceive stressful situations such as handling, restraint, and transport. *Animals* 5: 1233-1251. doi: 10.3390/ani5040409
 13. **Huxsoll CC, Price EO, Adams, TE. 1998.** Testis function, carcass traits, and aggressive behavior of beef bulls actively immunized against gonadotropin-releasing hormone. *J Anim Sci* 76: 1760-1766. doi: 10.2527/1998.7671760x
 14. **Janett F, Gerig T, Tschuor AC, Amatayakul-Chantler S, Waljer J, Howard R, Bollwein H, et al. 2012.** Vaccination against gonadotropin-releasing factor (GNRF) with Bopriva® significantly decreases testicular development, serum testosterone levels and physical activity in pubertal bulls. *Theriogenology* 78: 182-188. doi: 10.1016/j.theriogenology.2012.01.035
 15. **Klopfenstein TJ, Erickson GE, Bremer VR. 2008.** Board-invited review: use of distillers by-products in the beef cattle feeding industry. *J Anim Sci* 86: 1223-1231. doi: 10.2527/jas.2007-0550
 16. **Lensink B, Fernández X, Gozzi G, Florand L, Veissier I. 2001.** The influence of farmers behavior on calves reactions to transport and quality of veal meat. *J Anim Sci* 79: 642-652. doi: 10.2527/2001.793642x
 17. **Losada-Espinosa M, Villaroel M, Marla MA, Miranda de la Lama GC. 2018.** Pre-slaughter cattle welfare indicators for use in commercial abattoirs with voluntary monitoring systems: A systematic review. *Meat Sci* 138: 34-48. doi: 10.1016/j.meatsci.2017.12.004
 18. **Malafaia P, Barbosa JD, Takarnia CH, Oliveira CMC. 2011.** Distúrbios comportamentais em ruminantes não associados a doenças: origem, significado e importância. *Pesqui Vet Brasil* 31: 781-790. doi: 10.1590/501100-736X2011-000900010
 19. **Mach N, Bach A, Velarde A, Devant M. 2008.** Association between animal, transportation, slaughterhouse practices, and meat pH in beef. *Meat Sci* 78: 232-238. doi: 10.1016/j.meatsci.2007.06.02
 20. **Mach N, Bach A, Realini C, Font-Furnols M, Velarde A, Devant M. 2009.** Burdizzo pre-pubertal castration effects on performance, behavior, carcass characteristics, and meat quality of Holstein bulls fed high-concentrate diets. *Meat Sci* 81: 329-334. doi: 10.1016/j.meatsci.2008.08.007
 21. **Marti S, Devant M, Amatayakul-Chandler S, Jackson JA, Lopez E, Janzen ED, Schwartzkopf-Genswein KS. 2015.** Effect of anti-gonadotropin-releasing factor vaccine and band castration on indicators of welfare in beef cattle. *J Anim Sci* 93: 1581-1591. doi: 10.2527/jas.2014-8346

22. **Marti S, Jackson JA, Sloomans N, Lopez E, Hodge A, Pérez-Juan M, Devant M, et al. 2017.** Effects on performance and meat quality of Holstein bulls fed high concentrate diets without implants following immunological castration. *Meat Sci* 126: 36-42. doi: 10.1016/j.meatsci.2016.11.013
23. **Moreira V, Martins K, Ribeiro F, Campos T, Moraes R, Franco LL, Barbosa E. 2015.** Efeitos da castração e homeopatia sobre o desempenho, características de carcaca e comportamento de bovinos machos cruzados terminados em confinamento. *Semin-Cienc Agrar* 36: 1725-1734. doi: 10.5433/1679-0359-2015v36n3p1725
24. **Ndlovu Y, Chimonyo M, Okoh AI, Munchenje V. 2008.** A comparison of stress hormone concentrations at slaughter in Nguni, Bonsmara and Angus steers. *African J Agric Res* 3: 93-100.
25. **Pecka-Kie'b E, Zachwieja A, Mięta D, Zawadzki W, Zielak-Steciwo A. 2017.** Use of corn dried distillers grains (DDGS) in feeding of ruminants. In: Jacob-Lopes E, Queiroz-Zepka L (eds). *Frontiers in bioenergy and biofuels*. IntechOpen, [Internet]. Available in: <https://www.intechopen.com/books/frontiers-in-bioenergy-and-biofuels/use-of-corn-dried-distillers-grains-ddgs-in-feeding-of-ruminants>
26. **Pérez-Linares C, Bolado-Sarabia JL, Figueroa-Saavedra F, Barreras-Serrano A, Sánchez-López E, Tamayo-Sosa AR, Godina AA, et al. 2017.** Effect of immunocastration with Bopriva on carcass characteristics and meat quality of feedlot Holstein bulls. *Meat Sci* 123: 45-49. doi: 10.1016/j.meatsci.-2016.08.006
27. **Pond WG, Church DB, Pond KR, Schoknecht PA. 2004.** Basic animal nutrition and feeding. 5th ed. New York, USA: Wiley & Sons. 608 p.
28. **Price EO, Adams TE, Huxsoll CC, Borgwardt RE. 2003.** Aggressive behavior is reduced in bulls actively immunized against gonadotropin-releasing hormone. *J Anim Sci* 81: 411-415. doi: 10.2527/2003.812411x
29. **SAS Institute Inc. 2015.** Statistical Analysis System. SAS software release 9.4. STAT 14.1. SAS, User's Guide. SAS Inst., Cary, N.C.
30. **Terlouw EMC, Arnould C, Auperin B, Berri C, Le Bihan-Duval E, Veronique ED, Mounier L. 2008.** Pre-slaughter conditions, animal stress and welfare: current status and possible future research. *Animal* 2: 1501-1507. doi: 10.1017/S1751731108002723

Artículo 2. Comparación de la castración quirúrgica al nacimiento *versus* inmunocastración sobre las características de la canal y carne en machos Holstein.

ESTATUS: publicado en la Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias.

Jorge Armando Cervantes Cazarez, Cristina Pérez Linares, Fernando Figueroa Saavedra, Alma R Tamayo Sosa, Alberto Barreras Serrano. Francisco G Ríos Rincón, Eduardo Sánchez López. (2020). Comparación de la castración quirúrgica al nacimiento *versus* inmunocastración sobre las características de la canal y carne en machos Holstein. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v11i2.4885>

Comparación de la castración quirúrgica al nacimiento *versus* inmunocastración sobre las características de la canal y carne en machos Holstein

Jorge A. Cervantes-Cazares ^a

Cristina Pérez-Linares ^{**}

Fernando Figueroa-Saavedra ^a

Alma R. Tamayo-Sosa ^a

Alberto Barreras-Serrano ^a

Francisco G. Ríos-Rincón ^b

Eduardo Sánchez-López ^a

Issa C. García-Reynoso ^a

Pedro Mendoza Peraza ^a

Angelina León Villanueva ^a

Luis A. García-Vega ^c

^a Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias, A. Obregón y J. Carrillo s/n Col. Nueva, Mexicali, Baja California, 21100, México.

^b Universidad Autónoma de Sinaloa. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Sinaloa, México.

^c Ganadera Mexicali, S.A. de C.V, Baja California, México.

*Autor de correspondencia: cristinapl@yahoo.com

Resumen:

El objetivo fue comparar el efecto de la castración quirúrgica al nacimiento vs inmunocastración, sobre las características de la canal y carne en machos Holstein en engorda; se utilizaron 720 machos Holstein aproximadamente de 7 a 8 meses de edad con peso inicial de 240.82 kg. Se formaron 2 tratamientos con 4 corrales de 90 animales en cada uno: toros castrados quirúrgicamente que fueron castrados 24 h después del nacimiento y toros inmunocastrados vacunados con Bopriva aplicando cuatro dosis, al día 1, 21, 101 y 181 de engorda. Se tomaron pesos individuales en cada vacunación. Los animales se sacrificaron a los 242 días de engorda. A partir de la segunda vacunación se observaron diferencias ($P<0.05$) en pesos, presentando valores más altos los animales castrados quirúrgicamente. El peso final al sacrificio, peso de la canal caliente, peso de la canal fría, espesor de grasa dorsal y área del ojo de la costilla fueron diferentes ($P<0.05$) entre tratamientos, observando valores más altos en los machos castrados quirúrgicamente. En la carne, el pH y EC fueron similares ($P>0.05$) entre tratamientos mientras que los valores de b^* , C^* y H^* fueron más altos ($P<0.05$) en los animales inmunocastrados. Para fines de producción, el sacrificar los machos Holstein al nacimiento, se obtienen animales más pesados y con mejores características en la canal; sin embargo es importante evaluar el impacto del bienestar animal por la castración al nacimiento.

Palabras clave: Inmunocastración, Machos Holstein, Evaluación de la canal.

Recibido: 07/05/2018

Aceptado: 11/04/2019

Introducción

En la producción del ganado de carne, la castración es frecuentemente utilizada como una herramienta de manejo que proporciona grandes ventajas, incluyendo una reducción en el comportamiento agresivo y sexual, lo que resulta en un fácil y seguro manejo, lo cual promueve una mejor calidad de las canales a través del incremento de la deposición de grasa de cobertura y menos daño en las canales por efecto de montas o agresiones en el corral de finalización, influyendo favorablemente en bienestar animal⁽¹⁻⁵⁾. Sin embargo, la castración quirúrgica requiere un trabajo y costo adicional, y provoca dolor prolongado en el animal^(6,7), infecciones y sangrados⁽⁸⁾ y en algunos casos la muerte⁽⁹⁾.

La inmunocastración es un método no quirúrgico enfocado a preservar el bienestar de los bovinos que ingresan al corral de finalización intensiva⁽¹⁰⁾; mediante este procedimiento, los machos inmunocastrados producen un anticuerpo contra GnRh y en consecuencia reduce las concentraciones de testosterona⁽¹¹⁾ y disminuye la actividad física⁽¹²⁾. En años recientes, en los corrales de engorda se han incluido a machos de la raza Holstein como una alternativa productiva; este grupo racial muestra características que lo hacen diferente de las razas productoras de carne tradicionales, ya que tiene un temperamento amigable y juguetón, pero pueden tornarse mayormente agresivos si se conservan como toros enteros⁽¹³⁾. El uso de la inmunocastración se ha probado en diferentes razas, con diferentes programas de vacunación, dietas y programas de implante⁽¹⁴⁻¹⁷⁾, sin embargo, es necesario evaluar la aplicación de programas de castración inmunológica bajo diferentes sistemas de producción (razas, dietas, implantes), en particular al ganado Holstein bajo un sistema de producción comercial donde se exige pesos finales mayores a 550 kg para su sacrificio. Por lo anterior el objetivo de este estudio fue comparar el efecto de la castración quirúrgica al nacimiento vs. inmunocastración sobre las características de la canal y carne en machos Holstein en engorda.

Material y métodos

Localización geográfica

El estudio se llevó a cabo en la ciudad de Mexicali, Baja California, el cual se encuentra ubicada a una 32° 32'00 N, 115° 12'41 O. La región está caracterizada por un clima seco desértico con una temperatura media de 34.7 °C (-5 °C invierno y 50 °C verano), con una precipitación pluvial de 37 mm, y una humedad relativa de acerca del 50 %⁽¹⁸⁾.

Diseño del estudio

Se utilizaron 720 machos Holstein de un mismo origen, con una edad de entre 7 y 8 meses a la llegada a la engorda y un peso vivo promedio de 240 kg. Para el estudio se consideraron dos tratamientos: machos castrados quirúrgicamente (T1) y machos inmunocastrados (T2), donde fueron asignados aleatoriamente en cada tratamientos ubicando 90 animales por corral con cuatro corrales por tratamiento. Los animales se castraron a las 24 h después del nacimiento en los corrales del establo lechero.

Manejo del ganado a la recepción de la engorda

A las 24 h de la recepción de los animales, todos los animales fueron vacunados, desparasitados, y se aplicó un implante (un producto a base de acetato de trenbolona, estradiol

y tylosina). A los animales inmunocastrados se les aplicó Bopriva® (Laboratorios Zoetis, Salud Animal, México) administrando 1 ml subcutáneamente en cuatro ocasiones: (24 h después de la recepción y en los días 21, 101 y 181 del experimento), mientras que a los animales castrados quirúrgicamente se les administró 1 ml de solución salina en los mismos días.

Se registró el peso vivo de cada animal durante los días 1, 21, 101 y 181 del experimento y antes del sacrificio. Los animales se alimentaron dos veces al día, siguiendo un programa de seis dietas típicas de la región norte del país compuesta de heno de trigo, sudán, sebo, DDG (granos secos de destilería), y una premezcla de minerales.

Niveles de testosterona sérica

Se seleccionaron aleatoriamente a 10 animales por corral para medir los niveles de testosterona sérica y se identificaron con un arete adicional. Las muestras de sangre se tomaron en los mismos días de aplicación de Bopriva y una muestra más durante el sacrificio de los animales, en la estación de desangrado en la línea de producción en la planta de sacrificio.

Aproximadamente 5 ml de sangre fue extraída de la vena coccígea; las muestras se centrifugaron a 3,500 rpm para obtener el suero, usando la centrifuga TRIAC (Clay Adams, Modelo 0200, New Jersey, U.S.A.), y almacenadas a -20 °C hasta que fue medida la concentración de testosterona, la cual se determinó usando el kit ELISA Testosterona (Bovina) ELISA Kit (Abnova Corporation, Taipei City, Taiwan), de acuerdo a las instrucciones del fabricante.

Sacrificio de los animales

Los animales se sacrificaron a los 242 días de engorda, una vez que alcanzaron un peso promedio de 607.85 ± 12.89 kg. El día de sacrificio los animales se arrearon por un vaquero a caballo cerca de 1.5 km hasta la planta de sacrificio. Los animales se mantuvieron en los corrales de reposo con acceso a agua por 5 h aproximadamente. Los animales se sacrificaron en una planta de sacrificio Tipo Inspeccion Federal (TIF), siguiendo la metodología descrita en la Norma Oficial Mexicana NOM-033-SAG/ZOO-2014, "Métodos para dar muerte a los animales domésticos y silvestres".

Evaluación de la canales

Las canales de ambos tratamientos se almacenaron a 2 °C por 24 h y se realizó el corte entre la 12.^a y 13.^a costilla para obtener los datos de las canales. En un total de 120 canales por tratamiento (grupo de machos castrados e inmunocastrados) fueron disponibles por la planta de sacrificio para ser considerados para el estudio de las variables en la canal. Se midió el peso de la canal caliente y peso de la canal fría, deposición de grasa dorsal, grasa pélvica renal y del corazón (KPH), marmoleo, área del ojo de la costilla (AOC), pH y color (L*, a*, b*, C* y H*). La grasa dorsal fue medida en mm utilizando una regla métrica⁽¹⁹⁾. El área del ojo de la costilla se evaluó usando una plantilla de plástico de acuerdo al método sugerido por Iowa State University. La cantidad estimada de grasa pélvica, renal y del corazón (KPH) se determinó subjetivamente y expresada como un porcentaje del peso de la canal caliente (PCC), y el marmoleo (en escala de trazas, ligero, pequeño, modesto, moderado, ligeramente abundante y moderadamente abundante)⁽²⁰⁾.

Calidad de la carne

A las 48 h postmortem, un total de 80 muestras de carne de aproximadamente 1,000 g se obtuvieron del músculo *Longissimus dorsi*, 10 muestras aleatorias por cada corral en ambos tratamientos. Las muestras fueron empacadas al vacío, refrigeradas y enviadas al Laboratorio de Calidad de Productos de Origen Animal del Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias de la Universidad Autónoma de Baja California. El pH se determinó usando un potenciómetro (HANNAH INSTRUMENTS Inc. pH 101): los valores de color (L*, a*, b*, C*, H*) fueron medidos en la superficie del corte del músculo *Longissimus dorsi* usando un espectrofotómetro MINOLTA CM-2002 (Minolta camera, Co., Ltd., Japan) con un componente especular incluido (SCI), un iluminante D₆₅, y un observador de 10°, donde L* es el índice de luminosidad, a* es la intensidad de color rojo y b* es la intensidad de color amarillo. El esfuerzo al corte se obtuvo usando piezas de carne de previamente cocidas obtenidas en forma perpendicular a las fibras musculares através de un sacabocado de 1 cm² de diámetro, utilizando un texturómetro (Lloyd Instruments, England) equipado con cuchillas Warner-Bratzler. Todas las mediciones se hicieron por triplicado.

Análisis estadístico

El modelo lineal estadístico utilizado para analizar la variación total en el estudio fue:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \xi_{ij} \text{ con } i = 1, 2 \text{ y } j = 1, 2, \dots, r$$

Donde:

Y_{ij} corresponde a los valores de pH, color y esfuerzo al corte registrados en la carne, como variables de respuesta;

μ es la media general, τ_i es el efecto fijo del tratamiento (castrados vs inmunocastrados);

ξ_{ij} es el efecto aleatorio del residual [$\xi_{ij} \sim NI(0, \sigma_e^2)$].

Cuando los tratamientos resultaron una fuente de variación significativa ($P \leq 0.05$), se compararon los valores medios de los tratamientos utilizando el procedimiento de Tukey. El análisis se realizó utilizando el procedimiento GLM del paquete estadístico SAS⁽²¹⁾. Para comparar los niveles medios de testosterona entre tratamientos, incluyendo su comportamiento en el tiempo (día 1, 21, 101, 181 y al desangrado), se utilizó el modelo lineal mixto:

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + A_{k(i)} + D_j + (\tau D)_{ij} + \xi_{ijk} \text{ con } i = 1, 2; j = 1, 2, \dots, 5, \text{ y } k = 1, 2, \dots, r$$

Donde:

Y_{ijk} es la concentración de testosterona del k-ésimo animal tomado en el j-ésimo tiempo y perteneciente al i-ésimo tratamiento, como variable de respuesta;

μ es la media general, τ_i es el efecto fijo del tratamiento;

$A_{k(i)}$ es el efecto aleatorio del animal dentro de tratamiento [$A_{k(i)} \sim NI(0, \sigma_a^2)$];

D_j es el efecto fijo del tiempo, en días, $(\tau D)_{ij}$ es el efecto de interacción tratamiento \times tiempo;

ξ_{ijk} es el efecto aleatorio del residual [$\xi_{ij} \sim NI(0, \sigma_e^2)$].

El análisis se efectuó empleando el procedimiento MIXED utilizando el enunciado REPEATED, del paquete estadístico SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC). Para el análisis de los registros repetidos, el cual incluyera las correlaciones entre los registros del mismo animal y las varianzas heterogéneas entre registros en el tiempo, se evaluaron las estructuras de covarianzas: no-estructurada (NE), simetría compuesta (SC) y autorregresiva de primer orden (AR1), a través de los criterios de Akaike y de Schwartz, seleccionando como la mejor aquella con los menores valores para estos dos indicadores. En este análisis la estructura de covarianza seleccionada fue la no-estructurada (NE). Cuando la interacción tratamiento \times tiempo resultó una fuente de variación significativa ($P \leq 0.05$), se compararon las medias

mínimo cuadráticas entre tratamientos, por cada nivel del factor tiempo, utilizando el procedimiento Tukey-Kramer⁽²²⁾.

Resultados y discusión

Ganancia de peso de los animales:

Los pesos promedios registrados durante los días de vacunación se muestran en el Cuadro 1. A partir de la aplicación de la segunda vacuna (día 21) se observaron diferencias significativas ($P < 0.05$) por tratamiento, presentando valores más altos los machos castrados, observándose este patrón hasta el día del sacrificio.

Cuadro 1: Valores medios \pm error estándar (EE) de peso (kg) de los animales por tratamiento en los días de vacunación hasta el sacrificio

Día de engorda	Castrados	Immunocastrados	EE	P > t
1	243.25	238.39	2.50	0.052 NS
21	278.30	269.70	2.49	0.006*
101	394.94	379.53	2.51	0.001*
181	520.80	509.52	2.54	0.001*
Sacrificio	620.74	594.95	6.90	0.002*

Se han reportado diferencias ($P > 0.05$) en el peso vivo de los animales con mayor peso en los machos tratados con bopriva que los castrados quirúrgicamente durante los 280 días de engorda, cuando la castración fue realizada a los 91 días de engorda⁽¹⁰⁾. En otro estudio⁽⁹⁾ reportaron pesos similares ($P > 0.05$) al sacrificio entre machos castrados quirúrgicamente e inmunocastrados con bopriva, realizando la castración dentro del periodo de la primera y segunda aplicación de los machos tratados con bopriva (15, 16 y 17 días después de la vacunación). Sin embargo, en el presente estudio, los animales se castraron al nacimiento, por lo que el tiempo de recuperación por alguna infección y pérdidas de peso ocasionadas por la castración no tuvieron repercusión a los 7 meses de edad, tiempo en que llegaron los animales de los corrales del establo a los corrales de la engorda.

Concentraciones de testosterona sérica

Los resultados de concentración de testosterona para ambos tratamientos se detectaron en niveles por debajo de 1 ng/ml durante todos los días de vacunación hasta el final del periodo de engorda. Los resultados confirman el efecto que tiene la vacuna en suprimir la

concentración de testosterona sérica en el ganado, similar a lo reportado en otras investigaciones^(4,9). Algunos autores sugieren que a los 7 meses puede ser la edad óptima para la inmunización contra GnRH y generar la máxima producción de anticuerpos en machos *Bos taurus*⁽²²⁾, como así fue llevado a cabo en este estudio.

Calidad de la canal y carne

En el Cuadro 2 se presentan los valores medios de las características de las canales por tratamiento. Los resultados de PCC y PCF fueron diferentes entre tratamientos ($P<0.05$) observando valores mas altos en las canales de machos castrados, otros estudios han observado que el PCC fueron similares en las canales de ambos tratamientos⁽¹⁴⁾. El EGD y AOC fueron diferentes ($P<0.05$) entre tratamientos, los valores más altos se observaron en las canales de machos castrados; mientras que el KPH fue similar ($P>0.05$) entre tratamientos. En otros estudios se han reportado valores similares ($P>0.05$) de EGD y AOC en canales de machos Nellore castrados e inmunocastrados⁽¹⁴⁾; mientras que los resultados de EGD del presente estudio han sido observados en machos castrados e inmunocastrados de animales de razas Nellore y Nellore x Angus⁽¹⁵⁾. Los valores de AOC se han reportado más bajos a los observados en este estudio⁽¹⁵⁾ (castrados: $81.06 \pm 1.78 \text{ cm}^2$ vs inmunocastrados: $83.61 \pm 1.73 \text{ cm}^2$); estas diferencias pudieron deberse al tipo de razas en los animales utilizadas en el estudio. Algunos autores afirman que el ganado Holstein son de una estructura corporal más grande y más largos, y tienen un periodo mayor de días de engorda, lo que le permite desarrollar canales de mayor tamaño que razas de ganado de carne⁽²³⁾.

Cuadro 2: Valores medios \pm error estándar (EE) de las variables de calidad de la canal por tratamiento

Variable	Castrados	Inmunocastrados	EE	$P > f$
PCC, kg	376.60 ^a	362.61 ^b	4.14	0.0009
PCF, kg	374.87 ^a	361.38 ^b	4.09	0.0011
EGD, cm	0.65 ^a	0.55 ^b	0.33	0.0042
AOC, cm ²	91.41 ^a	86.83 ^b	1.54	0.0048
KPH, %	1.49 ^a	1.60 ^a	0.09	0.2473

PCC= peso de la canal caliente; PCF= peso de la canal fría; EGD= espesor de grasa dorsal; AOC= área del ojo de la costilla; KPH= grasa pélvica, renal y del corazón.

^{a,b} Literales diferentes en el mismo renglón son diferentes ($P<0.05$).

Se han reportado valores similares ($P>0.05$) en machos castrados e inmunocastrados de EGD y AOC en ganado Holstein x Cebu⁽²⁴⁾ y en ganado Nellore^(10,14). En un estudio donde los animales se sacrificaron a un peso promedio mas bajo, 477 kg (castrados) y 486 kg (inmunocastrados)⁽⁹⁾, no observaron diferencias ($P>0.05$) en PCC, EGD y AOC en machos

Holstein, mientras que en este estudio los animales fueron sacrificados a pesos arriba de 600 kg los machos castrados y 594 kg los machos inmunocastrados. Es importante destacar, que las diferencias reportadas en este estudio con respecto a las variables de calidad de la canal de otros estudios^(10,14,15) pueden deberse a que la castración quirúrgica en estos estudios se realizó días antes o dentro del tiempo de la aplicación con Bopriva y en el presente estudio la castración fue a las 24 h del nacimiento y, a los 7 meses de edad, tiempo de llegada a los corrales de engorda, ya estaban totalmente recuperados de las implicaciones de una castración quirúrgica.

El número de canales que fueron clasificadas por marmoleo según la categoría de clasificación son descritas en el Cuadro 3; las frecuencias por categorías fueron similares ($P>0.05$) en ambos tratamientos. El mayor número de canales en ambos tratamientos se clasificaron en las categorías “ligero” y “pequeño” para marmoleo. Estos resultados son similares ($P>0.05$) a los reportados en otras investigaciones⁽²⁵⁾ entre canales de machos inmunocastrados y castrados; mientras que, en otro estudio no reportaron diferencias ($P>0.05$) en el porcentaje de grasa intramuscular entre canales de machos Holstein castrados e inmunocastrados⁽⁹⁾.

Cuadro 3: Clasificación del marmoleo en las canales por tratamiento

	Castrados (n= 126)	Inmunocastrados (n= 126)	Pr > X²
Trazas	3	0	--
Ligero	67	66	0.9309
Pequeño	46	50	0.6831
Modesto	9	0	--
Moderado	1	10	--

No se observaron diferencias ($P>0.05$) entre tratamientos para las categorías Ligero y Pequeño en prueba de hipótesis para igualdad de proporciones.

En el Cuadro 4, se observan los valores de las características físico-químicas de la carne de ambos tratamientos, los valores de pH de la carne fueron similares ($P>0.05$) en canales de machos castrados e inmunocastrados, observando valores similares a rangos de una carne con pH normal de 5.5 a 5.8⁽²⁶⁾; estos resultados fueron también han sido reportados con pH de 5.57 a las 24 h en canales de ganado Holstein⁽²⁷⁾.

Cuadro 4: Valores medios \pm error estándar (EE) de las variables fisico-químicas de la carne

Variables	Castrados	Immunocastrados	\pm EE	<i>P</i> > <i>f</i>
pH	5.54 ^a	5.56 ^a	0.04	0.7163
L*	32.14 ^a	32.74 ^a	0.43	0.1731
a*	11.97 ^a	10.70 ^b	0.33	0.0002
b*	7.93 ^b	12.86 ^a	0.47	0.0001
C*	14.63 ^b	16.87 ^a	0.48	0.0001
H*	33.23 ^b	49.28 ^a	1.21	0.0001
EC (N)	52.17 ^a	56.38 ^a	0.24	0.0919

EE= error estándar; EC= esfuerzo al corte.

^{a,b} Literales diferentes en el mismo renglón son diferentes (*P*<0.05).

Los valores de color (a*, b*, C* y H*) fueron diferentes por tratamiento. El valor de L* no mostró diferencias (*P*>0.05) entre castrados e inmunocastrados. Se han reportado valores de L* similares (*P*>0.05) en carne de machos castrados e inmunocastrados^(10,15). Lo mismo fue observado en investigaciones recientes⁽⁹⁾ donde registraron valores similares en valores de L*, a* y b* en canales de machos castrados (L*=33.9; a*=17.1; b*=2.6) e inmunocastrados (L*=34.0; a*=16.9; b*=2.4). A pesar de que la carne mostró un pH normal, los valores observados de color en este estudio son similares a los reportados de una carne DFD de una carne DFD (L*:34.8; a*:18.8; b*: 6.7)⁽²⁸⁾, lo que indica que los animales estuvieron expuestos a agentes estresantes previo al sacrificio.

No se observaron diferencias (*P*<0.05) en SF en las canales entre machos castrados e inmunocastrados. En concordancia con criterios ya establecidos⁽²⁹⁾, la blandura de la carne correspondió a una blandura intermedia (blanda: 22.26-35.10N; intermedia: 40.01-52.95N; dura: 57.85-70.60N). Lo mismo fue observado por otras investigaciones^(10,16), donde no se observaron diferencias en los valores de esfuerzo al corte en la carne de animales castrados quirúrgicamente e inmunocastrados. A su vez, no se han reportado⁽¹⁵⁾ diferencias en los valores de esfuerzo al corte debido a la condición sexual (machos castrados quirúrgicamente: 56.60 \pm 0.36N; inmunocastrados: 53.37 \pm 0.35N y machos enteros: 48.85 \pm 0.35N). En un estudio donde evaluaron el EC en machos, no reportaron diferencias entre castrados (51.9N) e inmunocastrados (52.9N) sacrificados a los 11 meses de edad⁽⁹⁾.

Conclusiones e implicaciones

Para fines de producción, con la castración quirúrgica a las 24 h de nacimiento en los machos Holstein, se pueden lograr animales mas pesados y con mejores características en la canal que las canales de machos inmunocastrados durante periodos de más de 200 días de engorda;

sin embargo, es necesario evaluar el impacto del bienestar animal en becerros tras la castración.

Agradecimientos

Nuestro agradecimiento por el apoyo proporcionado para la realización de este proyecto al personal de Ganadera Mexicali S.A. y de la planta de sacrificio TIF No. 511, así como también a la MVZ. Priscila Castro Osuna por su colaboración como asesor técnico del Laboratorio Zoetis.

Literatura citada:

1. Bouissou MF, Boissy A, Neindre PL, Veissier I. The social behaviour of cattle. In: Keeling LJ, Gonyou HW editors. Social behaviour in farm animals. Oxford, UK: CABI Publishing; 2001;113-274.
2. Price EO, Adams TE, Huxsoll CC, Borgwardt RE. Aggressive behavior is reduced in bulls actively immunized against gonadotropin-releasing hormone. *J Animal Sci* 2003;81(2):411-415.
3. Stookey JM, Watts JM. Production practices and wellbeing: Beef cattle. Oxford. UK.: Blackwell Publishing; 2004.
4. Amatayakul-Chantler S, Jackson JA, Stegner J, King V, Rubio LMS, Howard R, Lopez E, Walker J. Immunocastration of *Bos indicus* x Brown Swiss bulls in feedlot with gonadotropin-releasing vaccine Bopriva provides improved performance and meat quality. *J Anim Sci* 2012;90:3718-3728.
5. Marti S, Devant M, Amatayakul-Chandler S, Jackson JA, Lopez E, Janzen ED, Schwartzkopf-Genswein KS. Effect of anti-gonadotropin-releasing facto vaccine and band castrtion on indicators of welfare in beef cattle. *J Anim Sc* 2015;93:1581-1591.
6. Bonneau M, Enright W. Immunocastration in cattle and pigs. *Livest Prod Sci* 1995;42:193-200.
7. Mach N, Bach A, Realini C, Font-Furnols M, Velarde A, Devant M. Burdizzo pre-pubertal castration effects on performance, behavior, carcass characteristics, and meat quality of Holstein bulls fed high-concentrate diets. *J Meat Sci* 2009;81:329-334.
8. Turner AS, McIwraith CW. Thecniques in large animal surgery. Philadelphia, PA. Lea and Febiger; 1989.

9. Marti S, Jackson JA, Sloomans N, Lopez E, Hodge A, Pérez-Juan M, Devant M, Amatayakul-Chantler S. Effects on performance and meat quality of Holstein bulls fed high concentrate diets without implants following immunological castration. *J Meat Sci* 2017;126:36-42.
10. Amatayakul-Chantler S, Hoe F, Jackson JA, Roça RDO, Stegner JE, King V, Howard R, Lopez E, Walker J. Effects on performance and carcass and meat quality attributes following immunocastration with the gonadotropin releasing factor vaccine Bopriva or surgical castration of *Bos indicus* bulls raised on pasture in Brazil. *Meat Sci* 2013;95:78-84.
11. Thompson DL. Immunization against GnRH in male species (comparative aspects). *J Anim Sci* 2000;60:459-469.
12. Jannet F, Gerig T, Tschuor AC, Amatayakul-Chantler S, Howard R, Bollwein H, Thun R. Vaccination against gonadotropin-releasing factor (GNRF) with BOPRIVA® significantly decreases testicular development, serum testosterone levels and physical activity y pubertal Bulls. *Theriogenology* 2012;78:182-188.
13. Glenn CD, McMurphy CP. Feeding Holstein steers from start to finish. *Vet Clin Food Anim* 2007;23:281-297.
14. Ribeiro EL, Hernandez JA, Zanella EL, Shimokomaki M, Prudêncio-Ferreira SH, Youssef E, Reeves JJ. Growth and carcass characteristics of pasture fed LHRH immunocastrated, castrated and intact *Bos indicus* bulls. *J Meat Sci* 2004;68:285-290.
15. Giuliana ZM, Faria MH, Roça RO, Santos CT, Suman SP, Faitarone ABG, *et al.* Immunocastration improves carcass traits and beef color attributes in Nellore. *J Meat Sci* 2014;96:884-891.
16. Miguel GZ, Roca RO, Suman SP, Faria MH, Santos CT, Resende FD, *et al.* Immunocastration and surgical castration improves color attributes of beef from Nellore males. *J Meat Sci* 2014;96:462-463.
17. Andreo N, Bridi AM, Soares AL, Prohmann PEF, Peres LM, Tarsitano MA, De Lima GB, Takabayashi AA. Fatty acid profile of beef from immunocastrated (BOPRIVA®) Nellore bulls. *Meat Sci* 2016;117:12-17.
18. García E. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. México, DF. Instituto de Geografía, UNAM;1981.

19. Hale DS, Goodson K, Savell JW. USDA beef quality and yield grades. USA: USDA; 2013.URL: <http://meat.tamu.edu/beefgrading/>. Consultado 10 Abr, 2017.
20. AMSA, American Meat Science Association. Meat evaluation handbook. USA. American Meat Science Association; 2001.
21. SAS. SAS software release 9.4. STAT 14.1. Cary, NC, USA: SAS Institute. Inc. 2015.
22. Steel RG, Torrie J. Bioestadística: principios y procedimientos. México, D.F. McGraw-Hill Interamericana;1985.
23. Adams TE, Daley CA, Adams BM, Sakurai H. Testis function and feedlot performance of bulls actively immunized against gonadotropin-releasing hormone: Effect of age immunization. *J Anim Sci* 1996;71:950-954.
24. Duff GC, McMurphy CP. Feeding Holstein steers from start to finish. *Veterinary Clinics of North America: Food Anim Practice* 2007;23(2):281-297.
25. De Freitas VM, Leão KM, de Araujo Neto FR, Marques TC, Ferreira RM, Garcia LL F, de Oliveira EB. Effects of surgical castration, immunocastration and homeopathy on the performance, carcass characteristics and behaviour of feedlot-finished crossbred bulls. *Semina: Ciências Agrárias* 2015;36(3):1725-1734.
26. Mariño G, Vilca M, Ramos D. Evaluación del pH en canales de toros Holstein (*Bos taurus*) y Nelore (*Bos indicus*). *Rev Investig Vet Perú* 2005;16:90-95.
27. Silva JA, Patarata L, Martins C. Influence of ultimate pH on bovine meat tenderness during ageing. *J Meat Sci* 1999;52:453-459.
28. Wulf DM, Emmett RS, Leheska JM, Moeller SJ. Relationships among glycolytic potential, dark cutting (dark, firm, and dry) beef, and cooked beef palatability. *J Anim Sci* 2002;80:1895-1903.
29. Boleman SJ, Boleman SL, Miller RK, Taylor JF, Cross HR, Wheeler TL, Johnson DD. Consumer evaluation of beef of known categories of tenderness. *J Anim Sci* 1997;75:1521-1524.

Capítulo 4

CONCLUSIONES GENERALES

Los machos Holstein tanto castrados quirúrgicamente como inmunocastrados presentan similar comportamiento conductual durante el periodo de finalización en corral.

Para fines de producción, con la castración quirúrgica a las 24 h de nacimiento en los machos Holstein se pueden lograr bovinos con mayor peso corporal y con mejores características de la canal que en machos inmunocastrados durante periodos de más de 200 días de engorda; sin embargo, es necesario evaluar el impacto del bienestar animal en becerros tras la castración.