



Implantes promotores de crecimiento en ganado bovino. Efectos y rol en un escenario de mayor demanda y preocupación ambiental

Growth-promoting implants in cattle.
Effects and its role in a scenario of greater demand
and environmental concern

Vega, M.^a, Bravo, S.^{b,c} Arias, R.,^{b,c*}

^a Escuela de Graduados, Facultad de Ciencias Agrarias y Alimentarias,
Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.

^b Facultad de Ciencias Agrarias y Alimentarias, Instituto de Producción Animal,
Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.

^c Facultad de Ciencias Agrarias y Alimentarias, Centro de Investigación en Suelos Volcánicos,
Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.

ARTICLE INFO

Article history:
Received 05.11.2021
Accepted 11.04.2022

Keywords:
Anabolic implants
Steers
Heifers
Beef production
Beef quality

Original Research Article,
Animal Science

**Corresponding author:*
Rodrigo Arias
E-mail address:
rodrigo.arias@uach.cl

ABSTRACT

It has been predicted that for the next decades the demand for beef will increase because of the growth of the world population, especially those coming from grass-fed systems. This product, in addition to helping to mitigate climate change, produces food of high biological value in a sustainable way. In this context, the incorporation of technologies that increase the efficiency of agricultural systems is of vital importance. Thus, the concept of sustainable intensification has acquired great relevance. The anabolic growth promoting implants (IAPC) are a widely known technology that can help the beef producer increasing profitability and mitigate environmental impact. Therefore, it is essential to know the effect that its implementation has on production parameters (average daily gain, dry matter intake, and feed conversion), carcass and beef quality (hot carcass weight, loin eye area, dressing, tenderness, backfat, marbling, and general acceptability), and economic (return over investment). With this information, the producer can take better decisions based on his target market. The response to the use of IAPC is variable, which is mainly due to factors such as breed, production system and/or the potency of the implant, that is, its hormonal combination and concentration. The strategic use of IAPC together with beef aging has emerged as options to reduce its possible negative effect on marbling and tenderness, respectively. The IAPCs are a tool to optimize livestock systems and increase the profitability of the beef producer. However, there are few studies on its use in grassland-based livestock systems as well as on its impact on sustainability and mitigation of climate change.

RESUMEN

Se pronostica que para las próximas décadas la demanda de carne se incrementará producto del crecimiento de la población mundial, en especial la proveniente de sistemas pastoriles. Este tipo de producto además de contribuir a mitigar el cambio climático produce un alimento de alto valor biológico de una forma sostenible. Bajo ese contexto, la incorporación de tecnologías que aumenten la eficiencia de los sistemas agropecuarios cobran vital importancia. Los implantes anabólicos promotores del crecimiento (IAPC) surgen como una tecnología que permite al productor de carne a aumentar su rentabilidad y a mitigar el impacto ambiental. Por ello es fundamental conocer el efecto que su implementación tiene sobre parámetros productivos (ganancia diaria de peso, consumo de materia seca y conversión alimenticia), de calidad de la canal y de la carne (peso canal caliente, área ojo del lomo, rendimiento de la canal, terneza, cobertura grasa, marmoleo y aceptabilidad general), y económicos (retorno sobre la inversión). Con esta información el productor puede tomar mejores decisiones en función de su mercado objetivo. La respuesta al uso de IAPC es variable, lo cual se debe principalmente a factores como el tipo racial, sistema productivo y/o la potencia del implante, es decir, la combinación hormonal y de su concentración. El uso estratégico de IAPC junto con la maduración de la carne surgen como opciones para disminuir su posible efecto negativo sobre el marmoleo y la terneza respectivamente. Los IAPC son una herramienta para optimizar los sistemas ganaderos y aumentar la rentabilidad del productor de carne. No obstante, existen pocos estudios sobre su uso en sistemas ganaderos pastoriles, así como su impacto en la sostenibilidad y en la mitigación del cambio climático.

Palabras clave: Anabólicos, carne bovina, producción de carne, calidad de carne, novillos, vaquillas.

INTRODUCCIÓN

Se estima que la población mundial aumentará en un 34% para el 2050, desde 6.800 millones en el 2009 hasta 9.100 millones. Bajo ese contexto, la demanda de productos agropecuarios ejercerá, por lo tanto, una presión creciente sobre los ya escasos recursos naturales. La naturales se verá forzada a competir por las tierras y el agua con los asentamientos urbanos, cada vez más numerosos, pero además también tendrá que servir en otros frentes importantes: deberá adaptarse al cambio climático y contribuir a su mitigación de este, ayudar a preservar los hábitats naturales y conservar la biodiversidad. Para responder a estas demandas, los agricultores necesitarán de nuevas tecnologías para producir minimizando el impacto ambiental, empleando menos tierras y menos mano de obra (FAO, 2009).

En este sentido Capper y Hayes (2012), compararon modelos de producción de carne de Estados Unidos, con y sin tecnologías mejoradoras del crecimiento (implantes anabólicos, ionóforos, agonistas beta-adrenérgicos, aditivos). Los autores reportaron que se requieren 385×10^3 bovinos adicionales, para producir la misma cantidad de carne (454×10^6 kg). Además, un aumento en el consumo de agua ($20,14 \times 10^6$ L) y un incremento en la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) de larga vida media como el óxido nitroso (333 ton). En su conclusión señalan que el uso de tecnologías mejoradoras del crecimiento en bovinos de carne permite producir carne segura, asequible y nutritiva para las generaciones futuras de una manera más sostenible. En resumen, una mejora en la productividad, como resultado de las tecnologías de intensificación, ha reducido de manera demostrable el uso de recursos y las emisiones de GEI por unidad de alimento durante el siglo pasado, fundamentalmente a través de la dilución del efecto de mantenimiento (Capper y Bauman, 2013).

Por otro lado, Capper *et al.* (2021) evaluaron, bajo un modelo determinístico, sistemas de producción de carne en Brasil, con y sin uso de IAPC, señalando que los IAPC de alta potencia lograron reducir la emisión de GEI en un 15,8%, para producir 1×10^6 kg de canal caliente. Crawford *et al.* (2022), estimaron los efectos en los cambios en las dietas en los corrales de engorda y disponibilidad de tecnologías mejoradoras del crecimiento sobre el crecimiento animal y la huella de carbono de la alimentación del ganado en 1990 y 2020. Al comparar la ausencia y presencia de las tecnologías, tanto en 1990 como en 2020, los autores reportan que, el uso de tecnologías redujo las emisiones totales de gases de efecto invernadero por animal (CO_2 equivalente). Además, informan que los corrales de engorda en el año 2020 produjeron un 47,5% más de ganancia de peso con 1,4% menos de ganado y sólo se ha aumentado un 39,5% CO_2 equivalente, en consecuencia, las

tecnologías promotoras del crecimiento y la mejora en la formulación de dietas ha provocado un incremento en la eficiencia y reducción de la huella de carbono en corrales de engorda, en los últimos 30 años.

Por otra parte, el efecto de los compuestos anabólicos presentes en los IAPC (destino final, transporte y los efectos biológicos) es mayormente un punto de especulación, ya que esto apenas comienza a estudiarse y lo poco que se ha investigado se realizado en laboratorios y no en condiciones de campo, menos en condiciones de pastoreo (Kolok y Sellin, 2008).

Los implantes anabólicos promotores de crecimiento (IAPC), de uso común en numerosos países, incluyen hormonas estrogénicas, androgénicas, progestágenos o combinaciones de ellos, los cuales, a su vez, pueden estar clasificados como naturales o sintéticos (Cuadro 1). Principalmente, son tres los compuestos sintéticos más utilizados en producción bovina de carne. Estos son Zeranol (origen micótico), Acetato de Trembolona (TBA) y Acetato de Melengestrol, siendo este último ocupado en hembras y de administración oral. El TBA es un análogo de la testosterona y forma comúnmente parte de los implantes comercializados en combinación con estradiol (estrógeno; Johnson *et al.*, 2013). Su génesis y adopción se sustentó en la mejora de la tasa de crecimiento y de la eficiencia alimenticia. Sin embargo, bajo el concepto de intensificación sostenible, su uso puede contribuir también a reducir el impacto ambiental de la industria de la producción de carne bovina.

Las hormonas peletizadas son comprimidas en una matriz transportadora tal como lactosa, colesterol o polietilenglicol. La tasa y la duración de la liberación de hormonas comprimidas en los implantes varía según el tipo de matriz utilizada, tipo de hormona y concentración, y la presencia de múltiples hormonas (Arias, 2013). El grado de respuesta está determinado principalmente por el tipo hormonal, dosis administrada y el período de tiempo en que estos compuestos permanecen

Cuadro 1. Clasificación de las principales hormonas presentes en los implantes anabólicos.

Table 1. Classification on the main hormones present in anabolic implants.

Tipo hormonal	Natural	Sintético
Andrógenos	Testosterona	Acetato de trembolona
Estrógenos	17- β Estradiol Zeranol (micoestrógeno)	----
Progestágenos	Progesterona	Acetato de melengestrol

Fuente: Adaptado de Johnson, Ribeiro and Beckett (2013).

cen en circulación sanguínea. Los implantes estrogénicos ejercen su influencia principalmente a través de una mayor producción y liberación de somatotropina hepática e IGF1 (factor de crecimiento de insulina tipo I). Estas hormonas secundarias, estimulan la acumulación de proteínas musculares. Los implantes androgénicos actúan principalmente mediante una acción directa sobre el tejido muscular, estimulando síntesis de proteínas y reducción del catabolismo muscular. Una vez que se administra el implante en el animal, durante los primeros 14 a 28 días, se observa un aumento inicial en las hormonas liberadas en el plasma sanguíneo alcanzando valores de entre 3,9 y 8,6 veces el valor inicial. En la medida que avanza el tiempo la concentración va disminuyendo gradualmente hasta alcanzar valores normales de 2,0 a 5,0 pg/mL (Mader, 1998; Birkelo, 2003; Carvalho *et al.*, 2020). Este aumento también se observa a los 14 días después del reimplante, en caso de que se utilice. Por otra parte, las nuevas familias de IAPC son recubiertos con polímero que modifica el momento en el que las concentraciones máximas de hormonas circulan en el plasma sanguíneo (Smith *et al.*, 2018). Estos IAPC han sido diseñados para proporcionar el efecto de dos dosis en un solo implante, con una proporción de las hormonas recubiertas en un polímero que retrasa su liberación a la circulación del plasma sanguíneo.

Por otra parte, se ha observado efecto sinérgico al combinar hormonas estrogénicas y androgénicas (Reinhardt, 2007). Sin embargo, las vías metabólicas e interacciones que explican el efecto productivo en los bovinos aún son materia de estudio. Dayton y White (2014) describen que, en ensayos con novillos engordados a corral, y tratados con IAPC de combinación hormonal (estradiol-E2 y TBA) provoca un aumento del número de células satélite musculares, un aumento de la expresión de ARNm de IGF1 en tejido muscular y aumento en los niveles de IGF1 circulante. Los mismos autores reportaron que en cultivos de células satélite bovina (BSC) tratadas con TBA o E2, se observa una mayor expresión de ARNm de IGF1, un aumento en la tasa de proliferación y síntesis proteica, pero además una disminución en la tasa de degradación de proteínas. Al mismo tiempo, el crecimiento muscular bovino mejorado con esteroides anabólicos, implica una interacción compleja de numerosas vías y receptores por lo cual, estudios adicionales *in vivo* e *in vitro* son necesarios para comprender los mecanismos implicados en este complejo proceso.

Los IAPC promueven la deposición de músculo en lugar de grasa. Como resultado de lo anterior las canales bovinas tienden a ser más magras en comparación a la de animales no implantados. Johnson *et al.* (2013), señalan que existen estrategias de implantes que se pueden adaptar a cada tipo de animal y mercado, aumentando o disminuyendo la potencia de los IAPC ad-

ministrados. Por ejemplo, en el ganado continental de mayor estructura corporal se recomienda un implante de combinación TBA/E2 de potencia media, ya que puede proporcionar un tratamiento adecuado de esteroides anabólicos para lograr una ganancia adecuada sin afectar mayormente el grado de marmoleo. Por otra parte, las razas británicas tienen una estructura más pequeña, pudiendo beneficiarse de una combinación de TBA/E2 con mayor potencia, aumentando así la ganancia y tamaño corporal. Además, permite mejorar la eficiencia sin reducir sustancialmente el grado de marmoleo, debido a su propensión a depositar grasa intramuscular.

Una de las principales razones para utilizar IAPC es la reducción del costo de producción. Existen en el mercado IAPC disponibles para distintos sistemas de producción y categorías animales. Si bien estos provocan un aumento en la respuesta productiva y eficiencia del animal, también pueden tener efectos negativos en marmoleo, terneza y madurez esquelética (Duckett y Pratt, 2014), lo que es más relevante en aquellos mercados en que se paga por calidad de carne. En general el desarrollo de los IAPC se generó en Estados Unidos, donde las engordas se realizan mayoritariamente (> 95%) en corrales o patios de engorda con dietas de alta densidad energética, bien balanceadas y totalmente mezcladas. En efecto, muchas recrias también se realizan bajo estas condiciones, pero con una dieta menos energética. En otros países como el caso chileno, las recrias y engordas son pastoriles (o bien a galpón), pero con dietas con una mayor proporción de alimentos fibrosos que las observadas en los Estados Unidos. Sin embargo, no existen muchas investigaciones recientes del uso de IAPC en este tipo de sistema productivos. Además, durante las últimas tres décadas se han evidenciado importantes avances en las tecnologías de IAPC, así como en la genética bovina. Por ello, la presente revisión tiene por objeto recopilar información relevante sobre las consecuencias productivas, de la calidad de la canal y de la carne, y del retorno económico al uso de los IAPC.

Parámetros productivos

Ganancia diaria de peso (GDP)

El uso de IAPC permite lograr mejoras de un 6, 15 y 20% en GDP, en terneros y novillos en engorda a pastoreo y feedlot respectivamente (Duckett y Andrae, 2001). Duckett y Owens (1996), revisaron 33 estudios independientes de IAPC, en los cuales compararon el rendimiento del ganado no implantado con aquellos que recibieron un implante (de distinto tipo). En general el uso de IAPC aumentó la GDP promedio en 18% y mejoró la eficiencia alimenticia un 9%. Otros autores reportan ganancias de peso diaria 16 a 20% superior

en novillos implantados, comparados con el control (Duckett y Pratt, 2014). Por su parte, Arias *et al.* (2019), compararon dos implantes de alta potencia (Revalor® y Synovex Plus®) sobre un control sin IAPC en novillos engordados a pradera por 67 días, concluyendo que independiente de la marca comercial, los novillos implantados tuvieron una mayor GDP, alcanzado un 60,1% más que el control. En otro estudio se reportó que los novillos con IAPC pastoreando trigo lograron un peso final y una GDP superior que animales no implantados (Beck *et al.*, 2014). Bruns *et al.* (2005), reportaron que novillos con IAPC (E2-TBA) lograron GDP 11% superior al control con un aumento de peso vivo del 3% en comparación al control sin implante en una engorda de 56 días. Por su parte, McMurphy *et al.* (2013), compararon dos estrategias de IAPC al destete en novillos en pastoreo (40 mg TBA/8 mg E2 - 29 mg de Tartrato de Tilosina). Las estrategias consistieron en una primera etapa de pastoreo más una suplementación proteica, seguido de una segunda etapa de pastoreo (FG), más un posterior pastoreo de trigo. Al comparar los novillos en el pastoreo FG, no existió diferencia significativa en el peso vivo y GDP entre animales implantados y el control. Sin embargo, al comparar los novillos pastoreando trigo, se observaron diferencias para GDP y peso vivo, siendo superior en individuos con IAPC. Berthiaume *et al.* (2006), reportaron una GDP de 13% superior en novillos con IAPC de alta potencia en la fase de recría. En tanto, Platter *et al.* (2003), reportaron una GDP de 12 a 20% superior, evaluado desde el destete hasta el final de la engorda. Por su parte, Scheffler *et al.* (2003), informaron una GDP superior en novillos Holstein que recibieron dos y tres IAPC, comparado con aquellos implantados una sola vez (120 mg TBA y 24 mg E2 por implante) en una engorda de 291 días. Rivero *et al.* (2021), compararon la ganancia de peso vivo en novillos en etapa de recría-engorda, alimentados en base a pradera en el sur de Chile en distintas razas (Aberdeen Angus, Hereford, Holstein Friesian y Overo Colorado), usando un implante que contenía 40 mg TBA y 8 mg E2. Todas las razas, con la excepción de los Holstein, tuvieron una GDP superior al control en un 14,3%. Smith *et al.* (2019), comparó el efecto de IAPC de alta potencia con y sin recubierto para liberación retardada sobre la respuesta productiva y biológica, en novillos principalmente de raza Angus. Para la GDP, reportaron una diferencia sólo porcentual, de 25% para IAPC sin cobertura y de 14% para IAPC recubierto, obteniendo en promedio el uso de IAPC 19% sobre el grupo control.

Consumo voluntario de materia seca.

Berthiaume *et al.* (2006), señalan que el uso de IAPC de alta potencia en sistemas pastoriles redujo el consumo de alimento en un 6% al compararlo con el control (sin uso de IAPC). Mientras que Jennings *et al.* (2015),

no observaron diferencias en vaquillas alimentadas a corral, con IAPC de alta potencia aplicados 60 días antes de la faena en comparación con vaquillas implantadas a 140 y 100 días antes de la faena. Sin embargo, sí reportaron una mayor GDP, argumentando una mejora en la eficiencia de la conversión. Parr *et al.* (2010), indicaron diferencias para el consumo de materia seca, siendo mayor en novillos con IAPC en novillos híbridos (británica x continental), comparando el efecto combinado de IAPC alta potencia + clorhidrato de zilpaterol (β agonista adrenérgico). Hunter (2010), al revisar el efecto de los IAPC en ganado bovino, señaló que, para el caso del consumo de materia seca, se debe diferenciar si este aumento se debe al mayor peso vivo, o bien, a la estimulación del impulso de consumo, concluyendo que es razonable que se deba al mayor peso y no al efecto hormonal sobre el impulso de consumo. Smith *et al.* (2019), reportaron un aumento porcentual de 10% para IAPC sin cobertura y 2% para IAPC con cobertura, obteniendo como media un incremento en el consumo de materia seca de un 6% para novillos tratados con IAPC de alta potencia, sobre el control.

Conversión alimenticia

Los implantes aumentan tanto la ganancia de peso como el consumo de alimento. Sin embargo, la GDP suele ser mayor, en consecuencia, mejora la conversión alimenticia (NASEM, 2016). Por ejemplo, novillos con IAPC (E2 + TBA) lograron una mayor eficiencia de conversión (13%) que novillos no implantados (Bruns *et al.*, 2005). Duckett y Pratt (2013), reportaron eficiencias de conversión de 9 a 14% para novillos con IAPC en comparación con el control. Berthiaume *et al.* (2006), reportó mejoras de 14% en la eficiencia de conversión para novillos en recría. Smith *et al.* (2019), observó una mejor en la conversión alimenticia en un 13% en novillos con IAPC (con y sin cobertura) respecto al control.

Calidad de carne y de la canal

Peso canal caliente

En una engorda de 140 días novillos con IAPC (E2 + TBA) lograron un peso de la canal caliente superior que los sin IAPC, pero sin presentar diferencias en otras características de la canal (Bruns *et al.*, 2005). Duckett y Pratt (2014), señalan que al usar IAPC (andrógeno/estrógeno) con reimplantación, el peso de la canal caliente puede aumentar en 7,5% comparado con canales de animales sin IAPC. McMurphy *et al.* (2013), informaron una diferencia significativa de 31 kg en novillos con IAPC con diferentes estrategias de pastoreo. Berthiaume *et al.* (2006), reportaron mayores pesos vivos y de la canal caliente para novillos implantados (cruzas de

Cuadro 2. Efectos de los implantes anabólicos sobre parámetros productivos.
Table 2. Effects of anabolic implants on productive parameters.

Parámetro	Razas	Categoría	Composición y estrategia de IAPC ^a	Sistema productivo	Respuesta frente al control	Referencia
Ganancia de peso diaria	Varias	Novillos	33 ensayos, usando al menos: 24 mg 17 β E2; 140 mg TBA; 36 mg zeranol; 24 mg 17 β E2 - 120 mg TBA; 24 mg benzoato E2 - 200 mg progesterona	Feedlot	+18%	Duckett <i>et al.</i> , 1996.
	Varias	Novillos	Combinación andrógeno/estrógeno (2)	Varios	+20 %	Duckett y Pratt, 2014.
	Aberdeen Angus x Hereford	Novillos	200 mg TBA - 28 mg benzoato E2 (1) 140 mg TBA - 20 mg benzoato E2 (1)	Pastoreo	+60,1 %	Arias <i>et al.</i> , 2019.
	Británica y Continental	Novillos	40 mg TBA - 8 mg E2 - 28 mg tartrato de tilosina	Pastoreo	+11%	Beck <i>et al.</i> , 2014.
	Aberdeen Angus y Aberdeen Angus x Limousin	Novillos	120 mg TBA-24 mg 17 β E2 (1)	Feedlot	+11%	Bruns <i>et al.</i> , 2005.
	Británica x Continental	Novillos	120 mg TBA - 24 mg E2 (1) 200 mg TBA - 40 mg E2 (1)	Feedlot	+21-28%	Parr <i>et al.</i> , 2010.
	Aberdeen Angus	Novillos	200 mg TBA -28 mg E2 (1) 200 mg TBA - 28 mg E2 (1) (recubierto)	Feedlot	+19%	Smith <i>et al.</i> , 2019.
	Varias	Novillos	Varios según estado productivo, 100 mg progesterona-10 mg benzoato de estradiol (crianza); 36 mg de zeranol (post destete); 200 mg progesterona-20 mg benzoato de estradiol (recría); 120 mg TBA-24 mg 17 β E2 (engorda)	Feedlot	+12-20%	Platter <i>et al.</i> , 2003.
	Aberdeen Angus y Aberdeen Angus x Hereford	Novillos	20 mg de benzoato E2 - 200 mg de progesterona	Pastoreo de trigo/ pastoreo pradera natural en estado reproductivo,	+10%	McMurphy <i>et al.</i> , 2013.
	Aberdeen Angus x cruzas	Novillos	40 mg TBA - 8 mg E2 // 180 mg TBA - 24 mg 17 β E2	Recría con varias dietas.	+13%	Berthiaume <i>et al.</i> , 2006.
Holstein	Novillos	120 mg TBA-24 mg 17 β E2 (3)	Feedlot	+15%	Scheffler <i>et al.</i> , 2003.	

Consumo Materia Seca	Aberdeen Angus x cruzas	Novillos	40 mg TBA - 8 mg E2 // 180 mg TBA - 24 mg 17 β E2	Recria con varias dietas.	-6%	Berthiaume et al, 2006.
	Británica; Británica x Continental	Vaquillas	200 mg TBA - 25 mg 17 β E2	Feedlot	Sin diferencia.	Jennings et al, 2015.
	Aberdeen Angus y Aberdeen Angus x Limousin	Novillos	120 mg TBA-24 mg 17 β E2 (1)	Feedlot	Sin diferencia.	Bruns et al, 2005.
	Holstein	Novillos	80 mg TBA - 16 mg 17 β E2 // 180 mg TBA - 24 mg 17 β E2	Feedlot	+16,5%	Carvalho et al, 2020.
	Aberdeen Angus	Novillos	200 mg TBA -28 mg E2 (1) 200 mg TBA - 28 mg E2 (1) (recubierto)	Feedlot	+6%	Smith et al, 2019.
	Varias	Novillos	33 ensayos usando al menos: 24 mg 17 β E2; 140 mg TBA; 36 mg zeranoli; 24 mg 17 β E2 - 120 mg TBA; 24 mg benzoato E2 - 200 mg progesterona	Feedlot	+6%	Duckett et al, 1996.
	Británica x Continental	Novillos	120 mg TBA - 24 mg E2 (1) 200 mg TBA - 40 mg E2 (1)	Feedlot	Aumento después 56 días	Parr et al, 2010.
	General	Novillos	General	General	Aumento por mayor peso metabólico, no por mayor consumo provocado el IAPC	Hunter, 2010.
	Aberdeen Angus x cruzas	Novillos	40 mg TBA - 8 mg E2 // 180 mg TBA - 24 mg 17 β E2	Recria con varias dietas.	+16 %	Berthiaume et al, 2006.
	Aberdeen Angus y Aberdeen Angus x Limousin	Novillos	120 mg TBA-24 mg 17 β E2 (1)	Feedlot	+13%	Bruns et al, 2005.
Eficiencia conversión alimenticia	Holstein	Novillos	80 mg TBA - 16 mg 17 β E2 // 180 mg TBA - 24 mg 17 β E2	Feedlot	Sin diferencia	Carvalho et al, 2020.
	Varias	Novillos	Combinación andrógeno/estrógeno (2)	Feedlot	+10%	Duckett y Andrae, 2001.
	Aberdeen Angus	Novillos	200 mg TBA -28 mg E2 (1) 200 mg TBA - 28 mg E2 (1) (recubierto)	Feedlot	+13%	Smith et al, 2019.
	Varias	Novillos	Combinación andrógeno/estrógeno (1)	Varios	+14 %	Duckett y Pratt, 2014.

^a IAPC = Implante anabólico promotor de crecimiento. Número entre paréntesis indica cantidad de IAPC utilizados en el grupo descrito en la tabla.

Aberdeen Angus) respecto a los no implantados. Scheffler *et al.* (2003), indicaron pesos de canal caliente superiores en novillos que recibieron tres IAPC en engordas de 291 días al compararlos con aquellos con un solo IAPC y con el control sin IAPC. Por su parte, Schneider *et al.* (2007), realizaron un ensayo en vaquillas alimentadas a corral, que recibieron distintas estrategias de IAPC basados en un sólo implante inicial vs. un implante inicial y un reimplante con dosis que variaron entre 0 a 400 mg TBA y 0 a 40 mg E2, totalizando 12 combinaciones. En sólo tres de estos tratamientos, no se observó un aumento del peso de la canal caliente y del músculo *Longissimus dorsi*. Carvalho *et al.* (2020), informaron una diferencia de peso de la canal caliente 11% superior en novillos Holstein Friesian tratados con IAPC de alta potencia. Por su parte Guiroy *et al.* (2002), resumieron los resultados de 13 ensayos con diferentes estrategias de IAPC, con un total de 13640 animales (9052 novillos y 4588 vaquillas). Los datos de las canales se utilizaron para estandarizar y ajustar el peso final vacío a un 28% de grasa corporal. Los autores señalaron que todas las categorías evaluadas presentaron diferencias, por lo cual, aplicar tan sólo una dosis de IAPC logra aumentar el peso final vacío (28% de grasa corporal) al compararlo con el control sin IAPC, con valores que fluctúan entre 13,7 a 41,8 kg, según la categoría.

Área del ojo de lomo

Bruns *et al.* (2005), reportaron un aumento de 4,9 cm² del músculo *Longissimus dorsi* a nivel de su 12va costilla en novillos implantados comparado respecto del control sin IAPC. En tanto Duckett y Pratt (2014), reportaron un aumento de un 9% en el área del músculo *Longissimus dorsi* usando implantes con combinación hormonal y reimplantación. Por su parte, McMurphy *et al.* (2013), no observaron diferencias en novillos implantados bajo dos estrategias de pastoreo diferentes. En el estudio de Scheffler *et al.* (2003), los novillos que recibieron dos y tres IAPC tuvieron un área del lomo 7,6% y 11,7% mayor respectivamente, que los animales no implantados. Carvalho *et al.* (2020), reportaron diferencias similares para novillos Holstein Friesian tratados con IAPC de alta potencia, siendo el área del lomo un 6% superior respecto del control.

Rendimiento de la canal (RC) y Cobertura de grasa

Bruns *et al.* (2005), observaron un aumento significativo en el RC (0,6%) en novillos implantados comparado con no implantados. Scheffler *et al.* (2003), no observaron diferencias en novillos con más de un IAPC respecto del grupo control sin IAPC. Duckett y Owens (1996), no reportaron diferencias en RC, al igual que Barham *et al.* (2003), McMurphy *et al.* (2013), Scheffler

et al. (2003), quienes tampoco reportaron diferencias para rendimiento de la canal.

Roeber *et al.* (2000), comparó siete grupos de novillos con distintas estrategias de IAPC incluyendo un control sin IAPC, no encontrando diferencias entre los grupos para la cobertura grasa ajustada. Numerosos estudios han reportado que el uso de IAPC no afecta la cobertura de grasa en la canal (Bruns *et al.*, 2005; Berthiaume *et al.*, 2006; McMurphy *et al.*, 2013; Jennings *et al.*, 2015).

Terneza de la carne

La administración IAPC puede afectar la terneza de la carne, ya que los valores de fuerza de corte aumentan linealmente (0,13 kg) con la administración de 1 a 3 implantes, para luego estabilizarse (Duckett y Pratt, 2013). En tanto, Lean *et al.* (2018), señalan que múltiples implantes incrementan la fuerza de corte (WBSF) en 0,248 kg, mientras que un único implante sólo en 0,176 kg. No obstante, en cualquiera de los esquemas reportados la fuerza de corte es inferior a los 4,5 kg, lo que considera una carne blanda. Kerth *et al.* (2003), compararon varias estrategias de IAPC en vaquillas, señalando que el uso de un solo IAPC no tuvo efecto sobre la fuerza de corte, es decir, la terneza. Sin embargo, cuando las vaquillas fueron implantadas dos veces (Revalor-H en el día 0 y 84) mejoraron la terneza (0,31 kg) en comparación al grupo control sin implantar. Por otra parte, se ha reportado que en novillos cebuinos (*Bos indicus*) con IAPC, se ha observado un aumento en la fuerza de corte respecto al grupo control cuando las carnes tienen menos de 21 días de maduración (Barham *et al.*, 2003). Otros autores sugieren que los efectos que los IAPC tienen sobre la terneza y aceptabilidad, medida a través de paneles sensoriales han sido insignificantes (Nichols *et al.*, 2002). Scheffler *et al.* (2003), evaluaron la terneza del músculo *Longissimus dorsi* después de distintos días de maduración, señalando que luego de 3 días de maduración en varios tratamientos con IAPC la fuerza de corte fue mayor en comparación al control. No obstante, luego de 28 días de maduración, solo el tratamiento con el IAPC más agresivo presentó una fuerza de corte superior al control. En base a lo anterior, se sugiere que el proceso de maduración de la carne mitiga el potencial efecto negativo del implante sobre a terneza.

Marmoleo

Bruns *et al.* (2005), sugieren que la combinación de E2 + TBA usado de forma temprana en el periodo de engorda a corral, puede tener efectos adversos en el marmoleo. Duckett y Pratt (2014), reportan que el uso de los IAPC perjudica el marmoleo, y que la combinación de un primer implante estrogénico seguido de un reimplante

andrógeno/estrógeno es la estrategia que más perjudica al marmoleo, con una disminución de un 11,5% comparado con el control sin IAPC. Estos resultados concuerdan con lo planteado por Platter *et al.* (2003), quienes señalaron que se deben elegir las estrategias de implantes basadas en los objetivos del mercado de destino. Sin embargo, Parr *et al.* (2011), no observaron diferencias en novillos que recibieron IAPC de alta potencia (200 mg TBA y 40 mg 17 β estradiol o bien 120 mg TBA y 24 mg estradiol) respecto del grupo control sin IAPC. Resultados similares fueron reportados por Berthiaume *et al.* (2006), quienes no encontraron diferencias en el marmoleo de novillos con y sin IAPC. Reichhardt *et al.* (2021), comparando novillos Aberdeen Angus con Santa Gertrudis, no encontraron diferencias asociadas al uso de IAPC, pero sí de la raza, obteniendo un mayor marmoleo en novillos Aberdeen Angus. Ohnoutka *et al.* (2021), evaluaron los efectos de estrategias de implante con cobertura y de larga duración en vaquillas alimentadas de forma constante y con distintas fechas de sacrificio. Las vaquillas implantadas, independiente de la cantidad de días engordadas, tuvieron una menor puntuación de marmoleo que aquellas no implantadas.

Aceptabilidad general en panel sensorial

Kerth *et al.* (2003), no encontraron diferencias de aceptabilidad para vaquillas tratadas con diferentes estrategias de IAPC. Esto coincide con el meta-análisis de Lean *et al.* (2018), quienes evaluando diversas estrategias de IAPC, razas y manejos plantean que, a pesar de diferencia en fuerza de corte registrada, en los paneles sensoriales no se observó con una reducción de la ternera y que por el contrario múltiples IAPC mejoraron la ternera al compararla con un único IAPC. Por su parte, Barham *et al.* (2003), reportaron que los IAPC no influyeron en la aceptabilidad general en carne de novillos cebuinos (*Bos indicus*) y agregan que en su estudio sí hubo un efecto sobre la ternera. En tanto, Barham *et al.* (2012), plantean que la potencia del programa de implantes si tiene un efecto sobre la aceptabilidad. Los autores compararon grupos de animales de distintas edades y estrategias de implante. Resultados que concuerdan con lo presentado por Thompson *et al.* (2008), quienes reportaron una menor puntuación del panel sensorial para cortes de *Longissimus dorsi* provenientes de novillos que recibieron IAPC de alta potencia. Sin embargo, esto varía entre músculos pues para *Biceps femoris* la diferencia fue menor, mientras que para otros músculos no existió diferencia. O'Quinn *et al.* (2015), evaluaron 12 categorías de productos de carne de 3 regiones de los Estados Unidos para identificar las preferencias de sabor de los consumidores de carne bovina. Los resultados de su estudio sugieren que el uso de IAPC por sí solos o bien IAPC + zilpaterol clorhidrato (β agonista adrenérgico), tiene un efecto insignificante en las características del

sabor de la carne (4 sobre 13 variables evaluadas). Por otro lado, Platter *et al.* (2003), reportaron diferencias en la aceptabilidad de carne de novillos implantados con distintas estrategias al compararlo con el control sin implantes, siendo este último grupo preferido por el panel, recibiendo calificaciones más altas. Resultados similares fueron reportados por Roeber *et al.* (2000), quienes observaron diferencias para cortes provenientes de siete grupos de novillos con distintas estrategias de IAPC diferentes respecto del control. Sin embargo, para la percepción global, no existió diferencia significativa entre el control y los grupos con estrategias de implantes.

Aspectos económicos

Beck *et al.* (2014), reportaron un mayor retorno (US\$ 21) para los novillos implantados en un sistema de pastoreo de trigo. Por su parte, Duckett (1996), revisando el efecto de varias estrategias de IAPC, obtuvo un retorno medio de US\$ 58,67 por novillo implantado. Por su parte Reichhardt *et al.* (2021), comparando novillos de raza Aberdeen Angus y Santa Gertrudis reportaron un mayor retorno económico (US\$ 46/por cabeza) para los novillos Angus. En Chile, Arias *et al.* (2019), reportaron un retorno económico por novillo con IAPC de alta potencia de US\$ 63 más que el grupo control sin IAPC. El mayor retorno se explica por el aumento en GDP y el peso vivo final. En consecuencia, el valor en cada fase de la producción de carne implica un aumento de (US\$) 16, 25 y 51 por animal cuando se utilizan IAPC en terneros destetados, en animales de recría y en ganado en engorda en feedlot, respectivamente (Duckett y Andrae, 2001). Por su parte, Berthiaume *et al.* (2006), informaron una dilución del costo de alimentación por kilogramo de ganancia que alcanza a un 16%. Además, los autores plantean que disminuye el costo por kilogramo por unidad de superficie en un 13,4%. Agregan, que no usar esta tecnología junto a los ionóforos, usualmente asociado a sistemas "naturales", requiere un mercado que compense en un 15% en el pago a los productores para equiparar el margen de beneficio por kilogramo de carne producido con estas tecnologías. Arias *et al.* (2021), reportaron un retorno de la inversión de IAPC 26 veces mayor al costo marginal en novillos Holstein, 15 veces superior para híbridos de razas cárnicas (Angus x Hereford) y una rentabilidad negativa de -1 para novillos de raza Clavel chileno.

CONCLUSIONES

Los implantes anabólicos promotores de crecimiento mejoran el desempeño productivo y la eficiencia de los animales, permitiendo al productor un mayor retorno económico y un menor impacto ambiental. Estos aspectos cobran mayor relevancia en un escenario de

Cuadro 3. Efectos de los implantes anabólicos sobre parámetros post-mortem.
Table 3. Effects of anabolic implants on post-mortem parameters.

Parámetro	Razas	Categoría	Composición y estrategia de IAPC ^a	Sistema productivo	Respuesta frente al control	Referencia	
Peso canal caliente	Aberdeen Angus y Aberdeen Angus x Limousin	Novillos	120 mg TBA-24 mg 17 β E2 (1)	Feedlot	+3,8%	Bruns <i>et al.</i> , 2005.	
	Varias	Novillos	Combinación andrógeno/estrógeno (2)	Varios	+7,46%	Duckett y Pratt, 2014.	
	Aberdeen Angus y Aberdeen Angus x Hereford	Novillos	20 mg de benzoato E2 - 200 mg de progesterona	Pastoreo de trigo/pastoreo pradera natural en estado reproductivo	+31 kg	McMurphy <i>et al.</i> , 2013.	
	Aberdeen Angus x cruza	Novillos	40 mg TBA - 8 mg E2 // 180 mg TBA - 24 mg 17 β E2	Feedlot con varias dietas	+15% sobre dieta base.	Berthiaume <i>et al.</i> , 2006.	
	Holstein	Novillos	120 mg TBA-24 mg 17 β E2 (3)	Feedlot	+11%	Scheffler <i>et al.</i> , 2003.	
	Britanica x Continental	Vaquillas	12 tratamientos con implantes y cantidad de veces distintas (0-2)	Feedlot	9 de 12 fue superior	Schneider <i>et al.</i> , 2007.	
	Holstein	Novillos	80 mg TBA - 16 mg 17 β E2 // 180 mg TBA - 24 mg 17 β E2	Feedlot	+11%	Carvalho <i>et al.</i> , 2020.	
	Varias	Novillos y vaquillas	15 estrategias de implantes diferentes	Feedlot	Todos superiores	Guiroy <i>et al.</i> , 2002.	
	Área ojo de lomo	Aberdeen Angus y Aberdeen Angus x Limousin	Novillos	120 mg TBA-24 mg 17 β E2 (1-2)	Feedlot	+4,6 cm ²	Bruns <i>et al.</i> , 2005.
		Varias	Novillos	Combinación andrógeno/estrógeno (2)	Varios	+9 %	Duckett y Pratt, 2014.
Holstein		Novillos	120 mg TBA-24 mg 17 β E2 (3)	Feedlot	+12% Grupo con 3 IAPC	Scheffler <i>et al.</i> , 2003.	
Holstein		Novillos	80 mg TBA - 16 mg 17 β E2 // 180 mg TBA - 24 mg 17 β E2	Feedlot	+6%	Carvalho <i>et al.</i> , 2020.	

Aberdeen Angus y Aberdeen Angus x Limousin	Novillos	120 mg TBA-24 mg 17 β E2 (1)	Feedlot	+0,6%	Bruns <i>et al.</i> , 2005.	
Aberdeen Angus y Aberdeen Angus x Hereford	Novillos	20 mg de benzoato E2 - 200 mg de progesterona	Pastoreo de trigo/ pastoreo pradera natural en estado reproductivo	s/d.	McMurphy <i>et al.</i> , 2013.	
Rendimiento de la canal	Holstein	120 mg TBA-24 mg 17 β E2 (3)	Feedlot	s/d.	Scheffler <i>et al.</i> , 2003.	
	Varias	Varias, autores analizaron 33 ensayos, usando al menos: 24 mg 17 β E2; 140 mg TBA; 36 mg zeranol; 24 mg 17 β E2 - 120 mg TBA; 24 mg benzoato E2 - 200 mg progesterona	Feedlot	s/d.	Duckett <i>et al.</i> , 1996.	
	³ / ₈ Bos indicus - ⁵ / ₈ Bos taurus	200 mg progesterona -20 mg benzoato E2 (1) 120 mg TBA-24 mg 17 β E2 (1)	Feedlot	s/d.	Barham <i>et al.</i> , 2003.	
	Varias	Novillos	Combinación andrógeno/estrógeno (2)	Varios	Aumenta	
	Charolais x cruzas Aberdeen Angus- Hereford y Hereford x Brahman	Vaquillas	200 mg TBA - 20 mg 17 β E2 (2)	Feedlot	Disminuye 0,31 kg	
	³ / ₈ Bos indicus - ⁵ / ₈ Bos taurus	Novillos	200 mg progesterona -20 mg benzoato E2 (1) 120 mg TBA-24 mg 17 β E2 (1)	Feedlot	Mayor fuerza corte a los 3, 7 y 14 días de maduración. Posterior a 21 días sin diferencias	
	Terneza (fuerza corte Warner- Bratzler)	Holstein	Novillos	200 mg progesterona -20 mg benzoato E2 (3)	Feedlot	Fuerza de corte superior 3 días de maduración. Posterior 28 días, sólo aquellos con 3 IAPC mayor fuerza de corte
	Varias	Novillos y vaquillas	- Múltiples implantes - Único implante	Feedlots	Incremento en: - WBSF de 0,248 kg. - WBSF de 0,176 kg. En paneles sensoriales no se asoció con una reducción de la terneza y múltiples IAPC mejoraron la terneza vs. un IAPC.	
					Lean <i>et al.</i> , 2018.	

Aberdeen Angus y Aberdeen Angus x Limousin	Novillos	120 mg TBA-24 mg 17 β E2 (1)	Feedlot	Sin diferencia.	Bruns <i>et al.</i> , 2005.
Aberdeen Angus y Aberdeen Angus x Hereford	Novillos	20 mg de benzoato E2 - 200 mg de progesterona	Pastoreo de trigo/pastoreo pradera natural en estado reproductivo	Sin diferencia.	McMurphy <i>et al.</i> , 2013.
Holstein	Novillos	120 mg TBA-24 mg 17 β E2 (3)	Feedlot	Sin diferencia.	Scheffler <i>et al.</i> , 2003.
Aberdeen Angus, Hereford y Shorthorn	Novillos	Varios según grupos de tratamientos. 43,9 mg de estradiol - 200 mg TBA; 36 mg zeranol; 28 mg benzoato estradiol - 200 mg TBA; 24 mg benzoato de estradiol - 120 mg TBA.	Feedlot	Sin diferencia.	Roerber <i>et al.</i> , 2000.
Británica y Británica x Continental	Vaquillas	200 mg TBA - 25 mg 17 β E2	Feedlot	Sin diferencia.	Jennings <i>et al.</i> , 2015.
Varias	Novillos	Varias, autores analizaron 33 ensayos, usando al menos: 24 mg 17 β E2; 140 mg TBA; 36 mg zeranol; 24 mg 17 β E2 - 120 mg TBA; 24 mg benzoato E2 - 200 mg progesterona	Feedlot	Sin diferencia.	Duckett <i>et al.</i> , 1996.
Aberdeen Angus x cruza	Novillos	40 mg TBA - 8 mg E2 // 180 mg TBA - 24 mg 17 β E2	Feedlot con varias dietas	Sin diferencia.	Berthiaume <i>et al.</i> , 2006.
Aberdeen Angus y Aberdeen Angus x Limousin	Novillos	120 mg TBA-24 mg 17 β E2 (1)	Feedlot	IAPC temprano disminuyó marmoleo	Bruns <i>et al.</i> , 2005.
Varias	Novillos	Combinación andrógeno/estrógeno (2)	Varios	-11,49%	Duckett y Pratt, 2014.
Varias	Novillos	Varios, según estado productivo. 100 mg progesterona-10 mg benzoato de estradiol (crianza); 36 mg de zeranol (post destete); 200 mg progesterona-20 mg benzoato de estradiol (recrea); 120 mg TBA-24 mg 17 β E2 (engorda)	Feedlot	Todos los grupos con IAPC => menor marmoleo. Sin diferencias cuando se implantaron en crianza o recrea.	Platter <i>et al.</i> , 2003.
Varias	Vaquillas	En diferentes días del ensayo, 200 mg TBA - 20 mg benzoato de E2 (1) recubierto 200 mg TBA - 20 mg benzoato de E2 (1) 80 mg TBA - 8 mg E2 (1)	Feedlot	Todos los grupos implantados obtuvieron un puntaje menor.	Ohnoutka <i>et al.</i> , 2021.
Aberdeen Angus y Santa Gertrudis	Novillos	120 mg TBA-24 mg 17 β E2 (1)	Feedlot	Sin diferencias asociada al IAPC, pero si por raza (Aberdeen Angus mayor).	Reichhardt <i>et al.</i> , 2021.

³ / ₈ Bos indicus - ⁵ / ₈ Bos taurus	Novillos	200 mg progesterona - 20 mg benzoato E2 (1) 120 mg TBA-24 mg 17 β E2 (1)	Feedlot	Sin diferencia.	Barham <i>et al.</i> , 2003.
Aberdeen Angus y Beefmaster	Novillos	200 mg progesterona - 20 mg benzoato de E2 (1) 200 mg TBA - 28 mg benzoato de estradiol (1)	Feedlot	Menor puntuación con IAPC agresivos.	Barham <i>et al.</i> , 2012.
Aberdeen Angus	Novillos y vaquillas	140 mg TBA - 28 mg E2 (1 - novillos) 200 mg TBA - 20 mg E2 (1 - Vaquillas)	Feedlot	Menor puntuación en <i>Longissimus dorsi</i> . Sin diferencia en otros músculos.	Thompson <i>et al.</i> , 2008.
Panel sensorial (aceptabilidad general)	Varias	Varios, según estado productivo. 100 mg progesterona - 10 mg benzoato de estradiol (crianza); 36 mg de zeranól (post destete); 200 mg progesterona - 20 mg benzoato de estradiol (recrea); 120 mg TBA-24 mg 17 β E2 (engorda)	Feedlot	Menor puntuación. Sin diferencia con IAPC en crianza o recrea.	Platter <i>et al.</i> , 2003.
Aberdeen Angus, Hereford y Shorthorn	Novillos	Varios según grupos de tratamientos. 43,9 mg de estradiol - 200 mg TBA; 36 mg zeranól; 28 mg benzoato estradiol - 200 mg TBA; 24 mg benzoato de estradiol - 120 mg TBA.	Feedlot	Sin diferencia en aceptabilidad general y sabor. En otros atributos, si hubo diferencia.	Roeber <i>et al.</i> , 2000.

^a IAPC = Implantante anabólico promotor de crecimiento. Número entre paréntesis indica cantidad de IAPC utilizados en el grupo descrito en la tabla.

Cuadro 4. Efectos de los implantes anabólicos sobre parámetros económicos.
Table 4. Effects of anabolic implants on economic parameters.

Parámetro	Raza	Categoría	Composición y estrategia de IAPC ^a	Sistema productivo	Respuesta frente al control	Referencia
Retorno económico (US\$/novillo)	Británica y Continental	Novillos	40 mg TBA - 8 mg E2 - 28 mg tartrato de tilosina	Pastoreo	21	Beck <i>et al.</i> , 2014.
	Varias	Novillos	33 ensayos, usando al menos: 24 mg 17 β E2; 140 mg TBA; 36 mg zeranol; 24 mg 17 β E2 - 120 mg TBA; 24 mg benzoato E2 - 200 mg progesterona	Feedlot	58, 67	Duckett <i>et al.</i> , 1996.
Otros	Aberdeen Angus x Hereford	Novillos	200 mg TBA - 28 mg benzoato E2 (1) 140 mg TBA - 20 mg benzoato E2 (1)	Pastoreo	63	Arias <i>et al.</i> , 2019.
	Aberdeen Angus y Santa Gertrudis	Novillos	120 mg TBA-24 mg 17 β E2 (1)	Feedlot	46	Reichhardt <i>et al.</i> , 2021.
	Aberdeen Angus x cruza	Novillos	40 mg TBA - 8 mg E2 // 180 mg TBA - 24 mg 17 β E2	Feedlot con varias dietas	Dilución del costo de alimentación en un 16%.	Berthiaume <i>et al.</i> , 2006.
Otros	Aberdeen Angus x cruza	Novillos	40 mg TBA - 8 mg E2 // 180 mg TBA - 24 mg 17 β E2	Feedlot con varias dietas	Dilución costo por unidad de superficie en 13,4%	Berthiaume <i>et al.</i> , 2006.
	Varias	Novillos	Varias, dependiendo la fase productiva	Feedlot	Aumento del valor por animal en (US\$) \$16, \$25 y \$51 para crianza, recría y engorda respectivamente.	Duckett y Andrae, 2001.
	Holstein Angus x Hereford Clavel chileno	Novillos	140 mg TBA - 20 mg benzoato E2 (1)	Feedlot	26 veces retorno a la inversión de IAPC Holstein. 15 veces para híbridos. -1 vez para Clavel.	Arias <i>et al.</i> , 2021.

^a IAPC = Implante anabólico promotor de crecimiento. Número entre paréntesis indica cantidad de IAPC utilizados en el grupo descrito en la tabla.

aumento en la demanda de carne y de consumidores más exigentes en lo referente a calidad y forma de producción. Finalmente, es necesario seguir investigando sobre el impacto de esta herramienta tecnológica especialmente en sistemas pastoriles, principalmente por la mayor demanda de carne grass-fed y por el rol que cumplen estos sistemas en la conservación y mitigación del cambio climático.

DECLARACIÓN CONFLICTOS DE INTERÉS

Los autores no tienen ninguna relación financiera o personal con personas u organizaciones que puedan influir de manera inapropiada o sesgar el contenido del manuscrito.

REFERENCIAS

- Arias, R., 2013. Uso correcto de implantes promotores del crecimiento en bovinos de carne. [Archivo PDF]. Disponible en: <https://bit.ly/3KIWY3f>
- Arias, R., Santa-Cruz, C., Velásquez, A., 2019. Effect of high potency growth implants on average daily gain of grass-fattened steers. *Animals* (9), 587. <https://doi.org/10.3390/ani9090587>
- Arias, R., Manriquez, S., Velásquez A., 2021. Effect of an anabolic growth-stimulating implant on the productive and economic response of steers of three breeds. *Agro Sur* 49(2), 21–29. <https://doi.org/10.4206/agrosur.2021.v49n2-03>
- Barham, B.L., Brooks, J.C., Blanton, Jr, J.R., Herring, A.D., Carr, M.A., Kerth, C.R., Miller, M. F. 2003. Effects of growth implants on consumer perceptions of meat tenderness in beef steers. *Journal of Animal Science* (81), 3052–3056. <https://doi.org/10.2527/2003.81123052x>
- Barham, B., Beck, P., Apple, J., Whitworth, W., Miller, M., Gadberry, S., 2012. Effects of age entering feedlot and implant regimen on beef cattle performance, carcass characteristics, and sensory evaluation. *The Professional Animal Scientist* (28), 20–31. [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)30312-0](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)30312-0)
- Beck, P., Hess, T., Hubbell, D., Hufstедler, G.D., Fieser, B., Caldwell, J., 2014. Additive effects of growth promoting technologies on performance of grazing steers and economics of the wheat pasture enterprise. *Journal of Animal Science* (92), 1219–1227. <https://doi.org/10.2527/jas2013-7203>
- Berthiaume, R., Mandell, I., Faucitano, L., Lafrenière, C., 2006. Comparison of alternative beef production systems based on forage finishing or grain-forage diets with or without growth promotants: 1. Feedlot performance, carcass quality, and production costs. *Journal of Animal Science* (84), 2168–2177. <https://doi.org/10.2527/jas.2005-328>
- Birkelo, C.P., 2003. Pharmaceuticals, direct-fed microbials, and enzymes for enhancing growth and feed efficiency of beef. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice* (19), 599–624. [https://doi.org/10.1016/s0749-0720\(03\)00059-8](https://doi.org/10.1016/s0749-0720(03)00059-8)
- Bruns, K.W., Pritchard, R.H., Boggs, D.L., 2005. The effect of stage of growth and implant exposure on performance and carcass composition in steers. *Journal of Animal Science* (83), 108–116. <https://doi.org/10.2527/2005.831108x>
- Capper, J.L., Hayes, D.J., 2012. The environmental and economic impact of removing growth-enhancing technologies from U.S. beef production. *Journal of Animal Science* (90), 3527–3537. <https://doi.org/10.2527/jas2011-4870>
- Capper, J.L., Bauman, D.E., 2013. The role of productivity in improving the environmental sustainability of ruminant production systems. *Annual Reviews of Animal Biosciences* (1), 469–89. <https://doi.org/10.1146/annurev-animal-031412-103727>
- Capper, J.L., De Carvalho, T.B., Hancock, A.S., Sá Filho, O.G., Odeyemi, I., Bartram, D.J., 2021. Modeling the effects of steroid implant use on the environmental and economic sustainability of Brazilian beef production. *Translational Animal Science* (5), 1–21. <https://doi.org/10.1093/tas/txab144>
- Carvalho, P.H.V., Perry, G.A., Felix, T.L., 2020. Effects of steroidal implants on feedlot performance, carcass characteristics, and serum and meat estradiol-17 β concentrations of Holstein steers. *Translational Animal Science* (4), 206–13. <https://doi.org/10.1093/tas/txaa025>
- Crawford, D.M., Hales, K.E., Smock, T.M., Cole, N.A., Samuelson, K.L., 2022. Effects of changes in finishing diets and growth technologies on animal growth performance and the carbon footprint of cattle feeding: 1990 to 2020. *Applied Animal Science* (38), 47–61. <https://doi.org/10.15232/aas.2021-02199>
- Dayton, W.R., White, M.E., 2014. MEAT SCIENCE AND MUSCLE BIOLOGY SYMPOSIUM—Role of satellite cells in anabolic steroid-induced muscle growth in feedlot steers. *Journal of Animal Science* (92), 30–38. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-7077>
- Duckett, K., Wagner, D.G., Owens, F.N., Dolezal, H.G., Gill, D.R., 1996. Effects of estrogenic and androgenic implants on performance, carcass traits, and meat tenderness in feedlot steers: A Review. *The Professional Animal Scientist* (12), 205–214. [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)32526-2](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)32526-2)
- Duckett, S.K., Andrae, J.G., 2001. Implant strategies in an integrated beef production system. *Journal of Animal Science* (79 E. Suppl.), E110–E117. <https://doi.org/10.2527/jas2001.79E-SupplE110x>
- Duckett, S.K., Pratt, S.L., 2014. MEAT SCIENCE AND MUSCLE BIOLOGY SYMPOSIUM—Anabolic implants and meat quality. *Journal of Animal Science* (92), 3–9. <https://doi.org/10.2527/jas2013-7088>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2009. How to feed the World in 2050. FAO, Roma.
- Guiroy, P.J., Tadeschi, L.O., Fox, D.G., Hutcheson, P.J., 2002. The effects of implant strategy on finished body weight of beef cattle. *Journal of Animal Science* (80), 1791–1800. <https://doi.org/10.2527/2002.8071791x>
- Hunter, R.A., 2010. Hormonal growth promotant use in the Australian beef industry. *Animal Production Science* (50), 637–659. <https://doi.org/10.1071/AN09120>
- Jennings, M.A., Ribeiro, F.R.B., Young, T.R., Cribbs, J.T., Bernhard, B.C., Hosford, A.D., Harris, T.L., Anderson, M.J., Vogel, G.J., Scanga, J.A., Miller, M.F., Johnson, B.J., 2015. Ractopamine hydrochloride and estradiol-trenbolone

- acetate implants alter live performance and carcass components of heifers during the finishing phase. *The Professional Animal Scientist* (31), 543–551. <https://dx.doi.org/10.15232/pas.2014-01370>
- Johnson, B.J., Ribeiro, F.R.B., Beckett, J.L., 2013. Application of growth technologies in enhancing food security and sustainability. *Animal Frontiers* (3), 8–13. <https://doi.org/10.2527/af.2013-0018>
- Kerth, C.R., Montgomery, J.L., Morrow, K.J., Galyean, M.L., Miller, M.F., 2003. Protein turnover and sensory traits of longissimus muscle from implanted and nonimplanted heifers. *Journal of Animal Science* (81), 1728–1735. <https://doi.org/10.2527/2003.8171728x>
- Kolok, A.S., Sellin, M.K., 2008. The environmental impact of growth-promoting compounds employed by the United States beef cattle industry: History, current knowledge, and future directions, in: Whitacre, D.M. (Ed.), *Rev Environ Contam Toxicol*, Springer New York, New York, NY. pp. 1-30.
- Lean, I.J., Golder, H.M., Lees, N.M., McGilchrist, P., Santos, J.E.P., 2018. Effects of hormonal growth promotants on beef quality: a meta-analysis. *Journal of Animal Science* (96), 2675–2697. <http://dx.doi.org/10.1093/jas/sky123>
- Mader, T.L., 1998. Implants. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice* (14), 279–90. [https://doi.org/10.1016/S0749-0720\(15\)30254-1](https://doi.org/10.1016/S0749-0720(15)30254-1)
- McMurphy, C.P., Linneen, S.K., Mourer, G.L., Holland, B.P., Horn, G.H., Lalman, D.L., 2013. Effects of stocker-phase grazing system and implantation on performance and carcass characteristics of fall-born steers. *The Professional Animal Scientist* (29), 27–32. [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)30191-1](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)30191-1)
- National Academy of Sciences, Engineering and Medicine (NASEM), 2016. *Nutrient Requirements of Beef Cattle. Eighth Revised Edition*. Washington DC. The National Academies Press.
- Nichols, W.T., Galyean, M.L., Thomson, D.U., Hutcheson, J.P., 2002. Review: Effects of steroid implants on the tenderness of beef. *The Professional Animal Scientist* (18), 202–210. [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)31523-0](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)31523-0)
- O'Quinn, T.G., Woerner, D.R., Engle, T.E., Chapman, P.L., Legako, J.F., Belk, K.E., Tatum, J.D., 2015. Identifying consumer performances for specific beef flavor characteristics in relation to cattle production and postmortem processing parameters. *Meat Science* (112), 90–102. <https://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.11.001>
- Ohnoutka, C.A., Bondurant, R.G., Boyd, B.M., Hilscher, F.H., Nuttelman, B.L., Crawford, G.I., Streeter, M.N., Luebke, M.K., MacDonald, J.C., Smith, Z.K., Johnson, B.J., Erickson, G.E., 2021. Evaluation of coated steroidal combination implants on feedlot performance and carcass characteristics of beef heifers fed for constant or varying days on feed. *Applied Animal Science* (37), 41–51. <https://doi.org/10.15232/aas.2020-02013>
- Parr, S.L., Chung, K.Y., Galyean, M.L., Hutcheson, J.P., DiLorenzo, N., Hales, K.E., May, M.L., Quinn, M.J., Smith, D.R., Johnson, B.J., 2010. Performance of finishing beef steers in response to anabolic implants and zilpaterol hydrochloride supplementation. *Journal of Animal Science* (89), 560–570. <https://doi.org/10.2527/jas.2010-3101>
- Parr, S.L., Chung, K.Y., Hutcheson, J.P., Nichols, W.T., Yates, D.A., Streeter, M.N., Swingle, R.S., Galyean, M.L., Johnson, B.J., 2011. Dose and release pattern of anabolic implants affects growth of finishing beef steers across days on feed. *Journal of Animal Science* (89), 863–873. <https://doi.org/10.2527/jas.2010-3447>
- Platter, W.J., Tatum, J.D., Belk, K.E., Scanga, J.A., Smith, G.C., 2003. Effects of repetitive use of hormonal implants of beef carcass quality, tenderness, and consumer ratings of beef palatability. *Journal of Animal Science* (81), 984–996. <https://doi.org/10.2527/2003.814984x>
- Reinhardt, C., 2007. Growth-promotant implants: Managing the tools. *Veterinary Clinics Food Animal Practice* (23), 309–319. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2007.03.004>
- Reichhardt, C.C., Feuz, R., Brady, T.J., Motsinger, L.A., Briggs, R.K., Bowman, B.R., Garcia, M.D., Larsen, R., Thornton, K.J., 2021. Interactions between cattle breed type and anabolic implant strategy impact circulating serum metabolites, feedlot performance, feeding behavior, carcass characteristics, and economic return in beef steers. *Domestic Animal Endocrinology* (77), 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2021.106633>
- Rivero, M.J., Araya, L., Oyarzo, M., Cook, A.S., Morgan, S.A., Merino, V.M., 2021. Efficacy of hormonal growth promoter implants on the performance of grazing steers of different breeds in southern Chile. *Sustainability* (13), 9135. <https://doi.org/10.3390/su13169135>
- Roeber, D.L., Cannell, R.C., Belk, K.E., Miller, R.K., Tatum, J.D., Smith, G.C., 2000. Implant strategies during feeding: Impact on carcass grade and consumer acceptability. *Journal of Animal Science* (78), 1867–1874. <https://doi.org/10.2527/2000.7871867x>
- Scheffler, J.M., Buskirk, D.D., Rust, S.R., Cowley, J.D., Doumit, M.E., 2003. Effect of repeated administration of combination trenbolone acetate and estradiol implants on growth, carcass traits, and beef quality of long-fed Holstein steers. *Journal of Animal Science* (81), 2395–2400. <https://doi.org/10.2527/2003.81102395x>
- Schneider, B.A., Tatum, J.D., Engle, T.E., Bryant, T.C., 2007. Effects of heifer finishing of beef carcass traits and longissimus tenderness. *Journal of Animal Science* (85), 2019–2030. <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0004>
- Smith, Z.K., Kim, J., Johnson, B.J., 2019. Feedlot performance and biological responses to coated and non-coated steroidal implants containing trenbolone acetate and estradiol benzoate in finishing beef steers. *Journal of Animal Science* (97), 4371–4385. <https://doi.org/10.1093/jas/skz298>
- Smith, Z.K., Thompson, A.J., Hutcheson, J.P., Nichols, W.T., Johnson, B.J., 2018. Evaluation of coated steroidal implants containing trenbolone acetate and estradiol-17 β on live performance, carcass traits, and sera metabolites in finishing steers. *Journal of Animal Science* (96), 1704–1723. <https://doi.org/10.1093/jas/sky095>
- Thompson, J.M., McIntyre, B.M., Tudor, G.D., Pethink, D.M., Polkinghorne, R., Watson, R., 2008. Effects of hormonal growth promotants (HGPs) on growth, carcass characteristics, the palatability of different muscles in the beef carcass and their interaction with aging. *Australian Journal of Experimental Agriculture* (48), 1405–1414. <https://doi.org/10.1071/EA07131>

