

**EXTENSIÓN DEL ENGORDE A CORRAL DE NOVILLOS: DESEMPEÑO
PRODUCTIVO, CALIDAD DE RES Y DE CARNE Y RESULTADO ECONÓMICO**

Gabriel Alberto Zurbriggen

Trabajo de Tesis presentado como requisito parcial para optar por el título de

MAGÍSTER en PRODUCCIÓN ANIMAL

Área de Producción Animal

PROGRAMA DE POSGRADO EN CIENCIAS AGRARIAS

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MAR DEL PLATA

Balcarce, Argentina

Diciembre de 2020

**EXTENSIÓN DEL ENGORDE A CORRAL DE NOVILLOS: DESEMPEÑO
PRODUCTIVO, CALIDAD DE RES Y DE CARNE Y RESULTADO ECONÓMICO**

Gabriel Alberto Zurbriggen

.....

Enrique Pavan, Ing. Agr., *M.Sci., Ph.D.*

Director de Tesis

.....

Juan C. Elizalde, Ing. Agr., *M.Sci., Ph.D.*

Asesor

.....

Carlos S. Maglietti, Ing. Zoot., *M.Sci.*

Asesor

.....

Sebastián L. Riffel, Ing. Agr., *M.Sci.*

Asesor

**EXTENSIÓN DEL ENGORDE A CORRAL DE NOVILLOS: DESEMPEÑO
PRODUCTIVO, CALIDAD DE RES Y DE CARNE Y RESULTADO ECONÓMICO**

Gabriel Alberto Zurbriggen

Aprobada por:

.....

Irene Ceconi, Ing. Agr., *M.Sci., Ph.D.*

Evaluadora

.....

Pablo Guiroy, Ing. Prod. Agrop., *Ph.D.*

Evaluador

.....

Laura B. Pouzo, Lic., Dra.

Evaluadora

AGRADECIMIENTOS

A mis directores de tesis, quienes me guiaron y apoyaron en la realización de este trabajo.

A todo el grupo de nutrición y calidad de carne de INTA Balcarce por sumarme a su equipo y apoyarme durante el posgrado.

A los muchachos de la Reserva 7 por su gran ayuda durante el ensayo de campo.

A las chicas del laboratorio de calidad de carne por toda su ayuda.

A Jorge Ferrario por su colaboración con las ecografías y la discusión de resultados.

A Gloria Monterubbianesi por atender con gran predisposición mis consultas.

A Andrés Kloster y Néstor Latimori por elegirme para la beca de formación.

A Azul Natural Beef y su personal por su colaboración.

Por último y no menos importante, a mis amigos del casino y del posgrado por acompañarme durante todo este recorrido.

ÍNDICE

RESUMEN.....	x
ABSTRACT	xi
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. Engorde a corral en la Argentina	4
2.2. Duración del período de engorde	5
2.2.1. Modificaciones de la duración del engorde sobre el desempeño productivo....	6
2.2.2. Modificaciones de la duración del engorde sobre la calidad de la res.....	12
2.2.2.1 Área de ojo de bife	12
2.2.2.2 Espesor de grasa dorsal.....	14
2.2.2.3 Nivel de marmoreo	15
2.2.2.4 Color de la grasa	16
2.2.3. Calidad de carne	17
2.2.3.1 Color de la carne	17
2.2.3.2 Terneza de la carne.....	18
HIPÓTESIS.....	24
OBJETIVO GENERAL	24
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	24
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
3.1. Animales y dieta	26
3.2. Características de res y muestreo del músculo <i>longissimus dorsi</i>	28
3.3. Resistencia al corte y análisis químico del músculo <i>longissimus dorsi</i>	29
3.4. Costo marginal de la ganancia de peso.....	30
3.5. Análisis estadístico	31
4. RESULTADOS	38
4.1. Desempeño productivo.....	38
4.2. Características de res.....	44

4.3.	Resistencia al corte del <i>longissimus dorsi</i>	47
4.4.	Costo marginal de la ganancia de peso.....	48
5.	DISCUSIÓN.....	50
5.1.	Desempeño productivo.....	50
5.2.	Características de res.....	55
5.3.	Resistencia al corte del <i>longissimus dorsi</i>	60
5.4.	Costo marginal de la ganancia de peso.....	61
6.	CONCLUSIONES.....	64
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición de la dieta suministrada a novillos terminados a corral.....	27
Tabla 2. Precios y costos considerados para el cálculo del costo marginal de la ganancia de peso de novillos terminados a corral.....	31
Tabla 3. Efecto de la extensión del período de terminación a corral de novillos sobre las características de res.....	44
Tabla 4. Efecto de la extensión del período de terminación a corral de novillos sobre la composición del bloque de bifés.....	47
Tabla 5. Efecto de la extensión del período de terminación a corral de novillos sobre sobre la resistencia al corte del longissimus dorsi y su contenido de lípidos.....	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Evolución del área de ojo de bife medido sobre la res a través del período de terminación a corral de novillos.....	13
Figura 2. Evolución del espesor de grasa dorsal medida sobre la res a través del período de terminación a corral de novillos.....	14
Figura 3. Evolución del nivel de marmoreo medida sobre la res a través del período de terminación a corral de novillos.....	16
Figura 4. Evolución a través del período de terminación a corral a) del peso vivo desbastado y b) del porcentaje de rendimiento en res de novillos.	39
Figura 5. Evolución a través del período de terminación a corral a) de la ganancia de peso vivo desbastado (GPVD, línea sólida), de la ganancia de peso de res (GPR, línea de guiones) y b) de la transferencia a res de novillos.	40
Figura 6. Evolución del consumo de materia seca a través del período de terminación a corral de novillos.....	41
Figura 7. a) Evolución de la conversión alimenticia a nivel de peso vivo desbastado (CAPVD) y a nivel de peso de res (CAPR) a través del período de terminación a corral de novillos. b) Comparación de la tasa de aumento de la conversión alimenticia de novillos terminados a corral para los períodos de 64 a 119 y de 119 a 147 días en engorde.	43
Figura 8. Evolución a través del período de terminación a corral de novillos del a) área de ojo de bife, b) el espesor de grasa dorsal y c) el nivel de marmoreo a nivel de la 12° costilla medidos por ecografías.....	46
Figura 9. Evolución del costo marginal de la ganancia de peso de res (CMPR) y de peso vivo desbastado (CMPVD) a través de la extensión del período de terminación a corral de novillos.....	49
Figura 10. Relación entre el contenido de grasa intramuscular del longissimus dorsi y a) el peso de res; y b) el espesor de grasa dorsal medido en la res a la altura de la 12° costilla en novillos británicos.....	58

Figura 11. Evolución del precio de venta a peso de res requerido para la conveniencia económica del incremento del nivel de marmoreo del longissimus dorsi a través de la extensión del período de terminación a corral de novillos. 63

RESUMEN

Existen ocasiones en las que los productores retienen novillos en engorde que ya han alcanzado una terminación de mercado. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la extensión del engorde a corral de novillos una vez alcanzada una terminación de 8 mm de espesor de grasa dorsal (EGD) sobre el desempeño productivo, la calidad de res y de carne y el resultado económico. Sesenta y cuatro novillos británicos (308 kg), fueron agrupados en 4 bloques por peso y alojados en 16 corrales. A los corrales dentro de cada bloque se le asignó una de cuatro duraciones del engorde: 64, 91, 119 y 147 días. La dieta final (11,5 % PB y 2,80 Mcal EM kg MS⁻¹) se entregó diariamente, registrando oferta y rechazo para la estimación del consumo. Los animales se pesaron, con previo desbaste (18 horas), los días 0, 28, 64, 91, 119 y 147, siendo el día 0 el final del acostumbramiento. Además, se hicieron ecografías entre la 12 y 13^o costilla para la medición del EGD, el área de ojo de bife (AOB) y el nivel de marmoreo del *longissimus dorsi*. En el frigorífico se registró el peso de res y se muestreó el *longissimus dorsi*. Se estimó la evolución de la transferencia a res, la conversión alimenticia diaria a peso vivo desbastado y a peso de res a través del engorde. Se midió la resistencia al corte del *longissimus dorsi* con 3 y 14 días de maduración. Además, se calculó la evolución del costo marginal de la ganancia de peso vivo desbastado y de peso de res con la extensión del engorde. Entre los días 64 y 147, la transferencia a res aumentó a tasas crecientes, pasando de 0,67 a 0,86 kg kg⁻¹. La conversión a peso vivo desbastado presentó una respuesta cúbica ($P < 0,001$), mientras que a peso de res tuvo una respuesta cuadrática positiva ($P < 0,001$). Entre los días 64 y 147, la conversión a peso vivo desbastado aumentó de 9,98 a 15,76 kg kg⁻¹, mientras que a peso de res aumentó de 15,34 a 18,27 kg kg⁻¹. El EGD presentó una respuesta cuadrática positiva ($P < 0,001$), pasando de 8,0 a 13,8 mm entre los días 64 y 147. El nivel de marmoreo aumentó a tasas crecientes con el avance del engorde ($P < 0,001$), mientras que el AOB lo hizo a tasas decrecientes ($P < 0,001$). Con la extensión del engorde, la resistencia al corte con 3 días de maduración tendió a reducirse ($P = 0,066$), mientras que no hubo respuesta con 14 días ($P \geq 0,27$). Los costos marginales de la ganancia de peso vivo desbastado y de peso de res fueron mayores a los respectivos precios de venta, por lo que extender el engorde no resultó favorable económicamente. Se recomienda la venta con 8 mm de EGD.

Palabras clave: Conversión alimenticia, duración óptima de engorde, nivel de marmoreo, transferencia a res.

ABSTRACT

Producers often decide to hold pen-fed steers that have already reached the market endpoint for a longer period. The objective of this study was to evaluate the effects of extending the pen-feeding period beyond an adequate marketing endpoint of 8 mm of rib fat thickness (FT) on steers performance, carcass and beef quality and economic results. Sixty-four British steers (308 kg) were grouped into four blocks by weight and housed in 16 pens. Pens within each block were assigned to one of four feeding periods: 64, 91, 119 and 147 days. The final diet (11.5 % CP and 2.80 Mcal ME kg MS⁻¹) was delivered daily, the amount of feed offered and refused was registered for the estimation of DM intake. Steers were weighed, after 18 hours of restriction to feed access, on days 0, 28, 64, 91, 119 and 147, being day 0 the end of the adaptation period. Rib eye area (REA), FT, and marbling score of the *longissimus dorsi* were determined between the 12th and 13th ribs by ultrasound. At slaughter, hot carcass weight was registered and *longissimus dorsi* was sampled. Carcass transfer, feed conversion to shrunk body weight (ConSBW) and feed conversion to carcass weight (ConCW) evolution with days on feed (DOF) were estimated. *Longissimus dorsi* shear force was measured with 3 and 14 days of ageing. Also, marginal cost of gain evolution with DOF was estimated on a shrunk body weight (SBW) basis and on a carcass weight (CW) basis. Between 64 and 147 DOF, carcass transfer increased at an increasing rate, rising from 0.67 to 0.86 kg kg⁻¹. The ConSBW presented a cubic response ($P < 0.001$), whereas ConCW showed a positive quadratic response ($P < 0.001$). From 64 to 147 DOF, ConSBW increased from 9.98 to 15.76 kg kg⁻¹, while ConCW increased from 15.34 to 18.27 kg kg⁻¹. Subcutaneous FT presented a positive quadratic response ($P < 0.001$), increasing from 8.0 to 13.8 mm between 64 and 147 DOF. Marbling score augmented at increasing rates with DOF ($P < 0.001$), whereas REA rose at decreasing rates ($P < 0.001$). With the extension of the finishing period, *longissimus dorsi* shear force tended to decrease with 3 days of ageing period ($P = 0.066$), while there was no response with 14 days of ageing ($P \geq 0.27$). Marginal costs of SBW gain and CW gain were greater than the respective sale prices, consequently the extension of the finishing period was not economically favourable. It is recommended to sell at the endpoint of 8 mm of FT.

Key words: Carcass transfer, feed conversion, marbling score, optimal endpoint.

1. INTRODUCCIÓN

A pesar de la tradicional base pastoril de los sistemas ganaderos en Argentina, en las últimas décadas se incrementó el uso de dietas concentradas (Rearte, 2011). Estas dietas son usadas regularmente luego de un período de recría pastoril, durante los últimos 45 a 90 días de terminación para asegurar alcanzar el nivel terminación que demanda el mercado en un tiempo adecuado y también para reducir la carga animal en las pasturas (Pordomingo, 2013). No obstante, los productores ganaderos a menudo deciden retener en terminación, por un mayor período de tiempo, a novillos que ya han alcanzado un nivel de terminación acorde para el mercado. Esta decisión se basa en la creencia de que mejorarán sus ingresos, o porque la industria retrasa la compra en función de la aprobación de las cuotas de exportación.

La conversión alimenticia es una de las variables con mayor impacto en la rentabilidad del engorde a corral (Small *et al.*, 2010). Extender el período de terminación a corral puede incrementar la conversión alimenticia expresada en base al peso vivo (i.e. disminuye la eficiencia) (MacDonald *et al.*, 2007; Vasconcelos *et al.*, 2008; Wilken *et al.*, 2015). Por el contrario, como el rendimiento en res aumenta a través del período de engorde (May *et al.*, 1992; Bruns *et al.*, 2004; Vasconcelos *et al.*, 2008), y así también aumenta la transferencia de la ganancia de peso vivo a ganancia de peso de res (MacDonald *et al.*, 2007; Wilken *et al.*, 2015), la conversión alimenticia en base al peso de res no se vería afectada en la misma magnitud que en base al peso vivo. Según estas relaciones, se ha sugerido que cuando los novillos en terminación son alimentados por más tiempo que el punto de terminación promedio de la industria, los productores maximizarían su retorno si el precio de venta se fijara en base al peso de res (Wilken *et al.*, 2015; Bondurant *et al.*, 2016). Sin embargo, no hay información local sobre la extensión del período de engorde a partir del nivel de terminación habitual del mercado interno de 8 mm de espesor de grasa dorsal (**EGD**). Esto resulta relevante al considerar las diferencias en los sistemas de producción (e.g. no uso de implantes hormonales ni aditivos agonistas β -adrenérgicos), los niveles de terminación de mercado (menor peso de venta y nivel de engrasamiento), novillos con diferente *frame* y potencial de crecimiento y marmoreo respecto de Estados Unidos, donde la mayoría de los estudios previos fueron llevados a cabo (May *et al.*, 1992; Vasconcelos *et al.*, 2008; Wilken *et al.*, 2015; Bondurant *et al.*, 2016). El aumento en el potencial de crecimiento, por mayor *frame*, implantes hormonales y aditivos, promueve la deposición de proteína a expensas

de grasa, mejorando la conversión alimenticia y demandando mayores duraciones del engorde para alcanzar un mismo nivel de terminación (Johnson *et al.*, 2013).

La extensión del período de engorde afecta también las características de la res (May *et al.*, 1992; Van Koevering *et al.*, 1995; Bruns *et al.*, 2004; Vasconcelos *et al.*, 2008). Algunos autores reportaron incrementos lineales del EGD e incrementos a tasas decrecientes del nivel de marmoreo (May *et al.*, 1992; Van Koevering *et al.*, 1995; Vasconcelos *et al.*, 2008). Mientras que otros, evaluaron la respuesta en función del peso de res alcanzado, e indicaron que el EGD aumentó a tasas crecientes y el nivel de marmoreo aumentó de manera lineal (Bruns *et al.*, 2004). Respecto al área de ojo de bife (**AOB**), algunos autores que trabajaron con faenas seriadas indicaron aumentos lineales del mismo con los días en engorde (May *et al.*, 1992); mientras que otros, al incorporar mediciones ecográficas intermedias, observaron incrementos a tasas decrecientes (Bondurant *et al.*, 2016). Sin embargo, hay autores que no reportaron incrementos en el AOB con la extensión del período de engorde a partir de una primera faena a los 105 (Van Koevering *et al.*, 1995) y 136 (Vasconcelos *et al.*, 2008) días en engorde, lo cual indicaría que el *plateau* del AOB se alcanzó antes de la misma. Además, las características de res son afectadas en gran medida por el *frame* y el uso de implantes hormonales (McPhee *et al.*, 2006) y de aditivos agonistas β -adrenérgicos (Johnson *et al.*, 2013), por lo que se esperaría que animales de *frame* chico a mediano y sin el uso de reguladores de crecimiento presenten tasas de engrasamiento crecientes y tasas de aumento de AOB decrecientes con el avance de los días en engorde.

Por otro lado, la grasa de color amarillo, que suele presentarse en animales que consumen pasturas, resulta indeseable para los consumidores (Troy y Kerry, 2010). En este sentido, se ha reportado que entre 26 y 56 días bajo una dieta de terminación serían suficientes para blanquear la grasa de animales jóvenes luego de una recria pastoril (Forrest, 1981; Dunne *et al.*, 2006).

La terminación habitual del mercado local de 8 mm de EGD permite lograr una adecuada calidad de carne ya que se encuentra por encima del umbral propuesto de 7,6 mm para obtener adecuado color (Page *et al.*, 2001) y terneza de la carne (Dolezal *et al.*, 1982; Tatum *et al.*, 1982). Debido a la influencia del EGD y del nivel de marmoreo sobre la terneza de la carne (May *et al.*, 1992; Van Koevering *et al.*, 1995; Savell *et al.*, 2005; Nishimura, 2015), el efecto que la extensión del engorde tiene sobre estas variables y sobre la calidad de carne es relevante. Más aún, analizar cómo la extensión del período de terminación afecta la distribución de la grasa en la res sería de ayuda

para la definición de estrategias para atender mercados con diferentes requerimientos de marmoreo o de engrasamiento.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Engorde a corral en la Argentina

La Argentina experimentó un proceso de intensificación de los sistemas ganaderos en las últimas décadas, que surgió como respuesta a la competencia con la agricultura por el uso del suelo. El mismo se caracterizó por una reducción en la superficie ganadera, que devino en aumentos de la carga animal, manejos del pastoreo más ajustados y aumentos en los niveles de suplementación (Rearte, 2011). En este marco, en la Región Pampeana se han expandido los sistemas de terminación a corral, que aseguran la terminación y venta de los animales, para compensar parcialmente la producción que se realizaba a pasto. Los mismos se caracterizan por tener dietas de alta concentración energética, siendo los granos los principales recursos alimenticios (alrededor del 70 % de la dieta), duraciones cortas, de entre 45 y 90 días, y menores niveles de engrasamiento alcanzados en comparación con otros países (Pordomingo, 2013).

Se estima que más del 50 % de los animales terminados a corral en la Argentina ingresan al mismo, sin previa recría, con alrededor de 180 kg y se terminan con un peso final muy bajo (alrededor de 320 kg; Riffel y Elizalde, 2018). Estos planteos tienen baja rentabilidad y están altamente expuestos a las variaciones en la relación de precio de compra y venta, y en el precio del grano de maíz. Sin embargo, la terminación a corral puede integrarse con una etapa de recría previa, que permite que los novillos ingresen al corral con alrededor de 300 kg. Estos sistemas de recría y posterior terminación a corral evaluados de forma integrada logran no sólo un mayor margen, sino también mayor estabilidad en el mismo en comparación con un sistema de corral de animales livianos sin recría previa (Riffel y Elizalde, 2018) y a un sistema de recría sin terminación (Elizalde y Riffel, 2020). Esto se debe a la capacidad que tiene la recría de aumentar el peso de los animales a un bajo costo, que se complementa con la capacidad de las dietas concentradas de lograr la terminación en tiempo y forma de los mismos (Pordomingo, 2013; Elizalde y Riffel, 2020). A su vez, permite sostener alta carga animal sobre las pasturas, ya que no es necesario lograr altas ganancias individuales (que sí lo sería en caso de terminaciones pastoriles), y retirar los animales de las mismas en las épocas de baja producción forrajera.

Al considerar exclusivamente la terminación a corral, las variables de mayor impacto sobre la rentabilidad de la etapa son la relación de precio entre el novillo de venta y el

precio del novillo recriado, el precio del grano de maíz, la tasa de interés y la conversión alimenticia (Small *et al.*, 2010). Esta última se puede definir como los kilogramos de MS de dieta necesarios para generar un kilogramo de producto, y se puede expresar tanto a nivel de peso vivo como a nivel de peso de res. La importancia económica de uno u otro dependerá del criterio de definición del precio al momento de la venta. En aquellas ventas realizadas a peso vivo la conversión alimenticia a nivel de peso vivo es significativa a nivel económico, mientras que para ventas a peso de res cobrará importancia la conversión alimenticia a nivel de peso de res (Owens y Gardner, 2000; Streeter *et al.*, 2012; Wilken *et al.*, 2015).

2.2. Duración del período de engorde

Como fue mencionado, habitualmente la duración de los planteos de engorde a corral en Argentina suele ser corta, variando entre 45 y 90 días aproximadamente, y con niveles de engrasamiento bajos en relación a otros países (Pordomingo, 2013). Sin embargo, existen ocasiones en las que los productores ganaderos retienen los novillos en terminación, incluso cuando ya han alcanzado un nivel de terminación adecuado para el mercado. Esta decisión se basa en la expectativa de mejores precios de venta futuros, incertidumbre respecto a medidas políticas relacionadas a la exportación y los precios del grano de maíz o como una medida frente a la inestabilidad económica y financiera, retrasando la venta de manera de hacer coincidir el momento de ingreso de dinero con la necesidad de liquidez (e.g. compra de terneros, pago de insumos). Otras razones pueden ser que la industria retrasa la compra en función de la aprobación de las cuotas de exportación, o debido a la demanda de otros mercados que requieren mayores niveles de engrasamiento que el mercado interno.

Estas decisiones revisten suma importancia ya que el manejo de la duración del engorde influye, por un lado, sobre la conversión alimenticia y, por ende, en el resultado económico (Oltjen, 2012; Streeter *et al.*, 2012; Wilken *et al.*, 2015). Por otro lado, también afecta el nivel de engrasamiento y otras características de la res que, a su vez, influyen sobre la calidad de carne (May *et al.*, 1992; Van Koevering *et al.*, 1995; Bruns *et al.*, 2004; Savell *et al.*, 2005; Vasconcelos *et al.*, 2008; Nishimura, 2015; Bondurant *et al.*, 2016).

2.2.1. Modificaciones de la duración del engorde sobre el desempeño productivo

El aumento de los días en terminación de novillos en engorde a corral conlleva un aumento de la conversión alimenticia a peso vivo, tal como fue reportado por diversos autores (Vasconcelos *et al.*, 2008; Streeter *et al.*, 2012; Wilken *et al.*, 2015; Bondurant *et al.*, 2016). Esta respuesta se debe a que la ganancia diaria de peso vivo promedio disminuye conforme aumentan los días en engorde, mientras que el consumo de MS (**CMS**) se mantiene similar a lo largo del mismo o aumenta levemente (Vasconcelos *et al.*, 2008; Streeter *et al.*, 2012; Wilken *et al.*, 2015; Bondurant *et al.*, 2016).

En la medida que el animal aumenta de peso vivo durante el engorde, la composición de la ganancia de peso se modifica conforme se acerca a su peso vivo maduro, reduciéndose la proporción de tejido magro (agua y proteína) como componente de la ganancia de peso y aumentando la proporción de grasa en la misma (NRC, 1996; Bruns *et al.*, 2004), cuya energía retenida por unidad de peso es mayor (NRC, 1996). Además, con el aumento del peso vivo también aumenta el peso metabólico del novillo, que está relacionado con los requerimientos de mantenimiento (NRC, 1996). Lo hasta aquí descrito, sumado a que el consumo (y por lo tanto la energía metabolizable consumida) se mantiene estable (Streeter *et al.*, 2012) o aumenta levemente (Wilken *et al.*, 2015) durante la terminación, generarían una disminución en la energía metabolizable consumida disponible para la ganancia de peso vivo (NRC, 1996).

En los últimos años, surgió el concepto de transferencia a res que puede definirse como la proporción de la ganancia de peso vivo que es capturada como ganancia de peso de res (Streeter *et al.*, 2012). El rendimiento en res, definido como el cociente entre peso de res y peso vivo, aumenta de forma lineal con el aumento de los días en engorde (May *et al.*, 1992; Bruns *et al.*, 2004; Winterholler *et al.*, 2007; Vasconcelos *et al.*, 2008). Este aumento es acompañado por incrementos en el EGD, coincidiendo con el supuesto general de que, a mayor engrasamiento de la res, mayor es el rendimiento en res (Vasconcelos *et al.*, 2008). Esta respuesta, implicaría que la ganancia de peso de res presente una menor tasa de reducción respecto a la ganancia de peso vivo con el aumento de la duración del engorde. Por lo que la transferencia a res aumentaría con el avance del engorde aunque no necesariamente con la misma tasa que el aumento del rendimiento en res.

La transferencia a res es importante para la venta en base al peso de res ya que el costo marginal de la ganancia de peso de res a partir de un momento determinado del

engorde se debería estimar dividiendo el costo marginal de la ganancia de peso vivo por la transferencia a res, y no por el rendimiento en res esperado (Streeter *et al.*, 2012).

El estudio de la transferencia a res implica un desafío adicional. Esto se debe a que por una cuestión de diseño, en los experimentos de faenas seriadas los tratamientos no son faenados en el mismo momento y, por lo tanto, las variaciones asociadas al día del procesamiento en la planta de faena quedan ligadas al efecto del tratamiento. Por este motivo, Streeter *et al.* (2012) sugieren realizar el análisis de la transferencia a res con regresiones en función de los días en engorde que abarquen los pesos vivos finales y pesos de res todas las faenas y no un análisis por período entre faenas, de manera de reducir el sesgo en los resultados. Estos autores evidencian dicho sesgo al analizar la transferencia a res en base a períodos entre faenas de varios ensayos de la bibliografía, donde encontraron 4 experimentos que resultaron en un incremento en la transferencia con el aumento de los días en engorde, 2 experimentos que resultaron en disminuciones de la misma y 4 antecedentes que presentaron cambios variables en la transferencia con el avance del engorde. De la misma forma, el análisis de regresiones permitiría reducir el sesgo debido a variaciones entre pesadas sobre otras variables como el peso vivo y el rendimiento en res.

Streeter *et al.* (2012) estimaron la transferencia a res a partir de 8 experimentos con faenas seriadas de novillos y vaquillonas. Para esto utilizaron regresiones lineales del peso vivo desbastado y del peso de res en función de los días en engorde, calculando la transferencia como el cociente entre la pendiente de la regresión de peso de res y la pendiente de la regresión del peso vivo desbastado. Como resultado, obtuvieron que la transferencia a res durante los últimos 42 días en engorde (de un total de 195 días) fue de 0,86 kg kg⁻¹ para novillos y de 0,75 kg kg⁻¹ para vaquillonas, asumiendo que tanto la ganancia de peso vivo desbastado como la ganancia de peso de res fueron constantes entre los días 153 y 195.

Si bien este análisis de regresiones realizado por Streeter *et al.* (2012), redujo el sesgo de la estimación de la transferencia a res por período entre faenas, utiliza solamente los pesos finales (peso vivo y de peso de res) en las regresiones y asume ganancias de peso constante, lo que implica también asumir que la transferencia a res es constante. En este sentido, Wilken *et al.* (2015) trabajaron con regresiones para estimar la evolución de la transferencia a res a través del período de engorde. Para esto utilizaron información de 7 experimentos de terminación a corral con múltiples mediciones del peso vivo, incluyendo un total de 2 380 novillos en los que los animales

fueron enviados a faena con un EGD entre 12 y 13 mm. Como los experimentos no tuvieron faenas seriadas, los autores predijeron el rendimiento en res a partir de las ecuaciones de regresión de rendimiento en res de los estudios realizados por May *et al.* (1992) y Bruns *et al.* (2004). Además, ya que los días en engorde de los experimentos fueron diferentes, expresaron la duración del engorde como el porcentaje de los días para alcanzar el nivel de terminación objetivo de 12 mm de EGD. Como resultado, los autores reportaron un incremento lineal de la transferencia a res con el avance del engorde, pasando de una transferencia de 0,62 kg kg⁻¹ al comienzo del engorde a 0,90 kg kg⁻¹ al alcanzar los 12 mm de EGD. El inconveniente de esta metodología, si bien permitió estimar la evolución de la transferencia a res a través del engorde, es que el peso de res fue estimado a partir de la ecuación de rendimiento en res de la bibliografía y no a partir de datos intermedios propios de esta variable.

El aumento de la transferencia a res con el avance del engorde demuestra que el crecimiento de los componentes de res es mayor a los demás componentes del peso vivo desbastado (Streeter *et al.*, 2012). El peso vivo desbastado se conforma por dos compartimentos, el llenado del tracto gastrointestinal y el peso vacío. El peso vacío a su vez se divide en el peso de res y los demás componentes que no forman parte de la res, como cuero, cabeza, vísceras, entre otros (Di Marco, 2006).

Por un lado, el incremento de la transferencia sugiere una reducción del porcentaje del llenado gastrointestinal. Así, fue sugerido que el tracto gastrointestinal logra su máximo tamaño antes de alcanzarse el máximo peso vacío (Rohr y Daenicke, 1984; Owens *et al.*, 1995), diluyéndose su proporción en la medida que sigue aumentando el peso vacío con el avance del crecimiento del animal. Por otro lado, la mayor transferencia a res también indica un mayor crecimiento de los componentes de res relativo al peso vacío.

Carstens *et al.* (1991) evaluaron el crecimiento de los diferentes componentes del peso vivo en condiciones de alimentación *ad libitum* y de restricción (limitando la ganancia de peso vivo a 0,450 kg día⁻¹) y posterior aumento compensatorio. Para esto, los animales se pesaron el día de la faena sin desbaste previo para obtener el peso vivo lleno. Luego de la faena se pesaron por separado la res (incluyendo riñones), el cuero, la cabeza, las pezuñas, el tracto gastrointestinal vacío, el corazón, el hígado, la tráquea y los pulmones, y se estimó el peso de la sangre. El peso vacío se consideró como la suma de los pesos de la res, del tracto gastrointestinal vacío y de los demás componentes mencionados. Los novillos alimentados *ad libitum* mostraron un

crecimiento alométrico positivo del peso vacío y del peso de res respecto al peso vivo lleno. Es decir, tanto el peso vacío como el peso de res incrementaron su proporción dentro del peso vivo lleno en la medida que este último aumentó, evidenciándose una reducción de la proporción correspondiente al llenado gastrointestinal. Además, el crecimiento del peso de res relativo al peso vacío también presentó un crecimiento alométrico positivo en los animales alimentados *ad libitum*. Esto indica un mayor crecimiento de los componentes de la res respecto a otros componentes del peso vacío que no constituyen parte de la res. Estos resultados permiten explicar la respuesta de la transferencia a res al aumento de los días en engorde mencionada anteriormente.

Por su parte, los novillos con restricción y aumento compensatorio presentaron un crecimiento isométrico del peso vacío y del peso de res relativo al peso vivo lleno. De esta manera el peso vacío y el peso de res mantuvieron sus proporciones dentro del peso vivo lleno durante la terminación. Del mismo modo, el peso de res relativo al peso vacío también tuvo un crecimiento isométrico en los novillos con restricción alimenticia y posterior aumento compensatorio. Esto último ocurrió debido a un mayor crecimiento del hígado durante el aumento compensatorio.

Debido al aumento de la transferencia a res con el avance del engorde, la conversión alimenticia a nivel de peso de res no se vería afectada en igual magnitud que la conversión alimenticia a nivel de peso vivo. De acuerdo con esto, Wilken *et al.* (2015) indicaron que, mientras la conversión alimenticia a peso vivo aumentó de manera lineal de 5,29 a 7,51 kg kg⁻¹, presentando un deterioro de 42%, la conversión alimenticia a peso de res se mantuvo entre 8,01 y 9,05 kg kg⁻¹ desde el inicio de la terminación a corral hasta el nivel de terminación de 12 mm de EGD.

El costo marginal de la ganancia es una variable de suma importancia, ya que permite establecer un criterio para definir el momento óptimo de venta. Este último puede definirse como aquel en el que el costo marginal de la ganancia de peso iguala al precio de venta (Oltjen, 2012; Streeter *et al.*, 2012; Wilken *et al.*, 2015). A partir de la evolución de la conversión alimenticia, Wilken *et al.* (2015) estimaron el costo marginal de la ganancia de peso vivo y de peso de res a través del período de engorde, bajo tres escenarios de precio del grano de maíz. El costo marginal de la ganancia de peso vivo aumentó con el avance del engorde, en todos los escenarios de precios, con diferencias entre 0,40 y 1,25 U\$S kg⁻¹ entre el costo al ingreso a corral y el costo a la terminación de 12 mm de EGD. Por su parte, el costo marginal de la ganancia de peso de res presentó menores variaciones en el mismo período, presentando diferencias en costo

marginal de entre 0,05 y 0,30 U\$S kg⁻¹. Dada la mayor estabilidad del costo marginal de la ganancia de peso de res, la duración óptima desde el punto de vista económico suele ser mayor cuando las ventas son definidas a nivel de peso de res respecto a peso vivo (Streeter *et al.*, 2012).

Por su parte, Bondurant *et al.* (2016) evaluaron dos extensiones del engorde (21 y 42 días de extensión), a partir de una terminación de mercado de 12,5 mm de EGD, donde alcanzaron una terminación de 17,5 mm de EGD con la mayor extensión. Para el cálculo del resultado económico, tomaron en cuenta descuentos por exceso de grasa de cobertura y bonificaciones por nivel de marmoreo. Bajo un sistema de ventas a peso de res, extender el engorde permitió maximizar el margen ya que el costo marginal de la ganancia de peso de res se redujo con la extensión del engorde, junto con un incremento de la bonificación por marmoreo que compensó los descuentos por exceso de grasa de cobertura de la res.

Estos antecedentes fueron realizados en Estados Unidos, donde el peso medio de res en novillos aumentó de 326 a 409 kg entre 1986 y 2020 (USDA, 2020). Este incremento se puede atribuir a la continua selección genética por animales de mayor *frame* y al uso de cruzamientos (Blatz *et al.*, 1992), implantes hormonales y aditivos agonistas β -adrenérgicos (Johnson *et al.*, 2013). Estas tecnologías incrementan el potencial de crecimiento y promueven la deposición de proteína a expensas de grasa, mejorando así la conversión alimenticia (McPhee *et al.*, 2006; Johnson *et al.*, 2013; Maxwell *et al.*, 2015). En este contexto, gran parte de los trabajos revisados utilizan cruzamientos de razas británicas con continentales (Van Koeving *et al.*, 1995; Winterholler *et al.*, 2007; Vasconcelos *et al.*, 2008; Bondurant *et al.*, 2016), implantes hormonales (May *et al.*, 1992; Van Koeving *et al.*, 1995; Winterholler *et al.*, 2007; Vasconcelos *et al.*, 2008; Wilken *et al.*, 2015; Bondurant *et al.*, 2016) y agonistas β -adrenérgicos (Winterholler *et al.*, 2007; Vasconcelos *et al.*, 2008).

En el caso de los implantes hormonales, actualmente los más difundidos son los que combinan acetato de trembolona y estradiol (**TBA/E₂**) en diferentes concentraciones. Los mismos actúan incrementando la concentración del factor de crecimiento de insulina 1 (**IGF-1**) en el músculo y aumentando la actividad de células satélites, lo que estimula la síntesis y reduce la degradación de proteínas musculares (Johnson *et al.*, 2013). Por su parte, los agonistas β -adrenérgicos, son compuestos similares a las catecolaminas endógenas y se utilizan durante los últimos 20 a 42 días antes de la faena. Estos compuestos se unen a los receptores β -adrenérgicos de las fibras musculares

aumentando la síntesis y reduciendo la degradación de proteínas musculares (Johnson *et al.*, 2013).

En este sentido, Hermesmeier *et al.* (2000) evaluaron el desempeño productivo y la calidad de res de novillos cruzas engordados a corral hasta dos niveles de terminación objetivos diferentes, 10 y 14 mm de EGD, y compararon dos tipos de implantes (ambos con TBA/E₂) y un control sin implantes. Los animales implantados no difirieron entre sí pero presentaron mayor CMS (5,0 %) y ganancia de peso vivo (21,1 %), y una mejor conversión alimenticia a peso vivo (15,3 %) respecto de los animales sin implantes. Al comparar los niveles de terminación, los autores reportaron que los animales alimentados hasta los 14 mm de EGD (151 días en engorde) fueron 2,9 % menos eficientes que aquellos faenados a los 10 mm de EGD (117-131 días en engorde). Sin embargo, reportan una interacción entre uso de implantes y nivel de terminación, donde los animales implantados presentaron un importante incremento en peso vivo y peso de res entre los 10 y 14 mm de EGD comparado con los novillos no implantados.

Del mismo modo, Maxwell *et al.* (2015) indicaron una mejora en la conversión alimenticia a peso vivo del 26,6 % en novillos implantados con TBA/E₂ (con monensina y tylosina en la dieta) respecto de novillos bajo un sistema natural sin implantes ni antibióticos. Cuando además de estas tecnologías se incorporó el uso de agonistas β -adrenérgicos en los últimos 20 días de engorde, la mejora en conversión alimenticia a peso vivo en el período completo respecto del sistema natural fue del 33 % (Maxwell *et al.*, 2015). Según los autores esta respuesta se debe a una mejora en la conversión alimenticia del 45,6 % durante los últimos 20 días de engorde con la adición de los agonistas β -adrenérgicos y que este efecto sería aditivo al de los implantes hormonales.

Los agonistas β -adrenérgicos aprobados para su utilización en Estados Unidos son el clorhidrato de ractopamina (**RAC**) y el clorhidrato de zilpaterol (**ZH**). El ZH parecería tener un mayor efecto sobre la ganancia de peso de res respecto de la ganancia de peso vivo, evidenciado por un mayor incremento porcentual en las ganancias de peso de res (Vasconcelos *et al.*, 2008; Delmore *et al.*, 2010; Johnson *et al.*, 2013) y un incremento del rendimiento en res entre 1 y 2 puntos porcentuales (Vasconcelos *et al.*, 2008; Delmore *et al.*, 2010; Maxwell *et al.*, 2015). En este sentido, Delmore *et al.* (2010) hipotetizaron que el ZH regula el metabolismo y movilización de componentes que no forman parte de la res, aumentando la transferencia a res. Sin embargo, esto no resulta consistente con el uso de RAC (Johnson *et al.*, 2013).

En contraparte, en Argentina el peso medio de res (considerando todas las categorías) osciló entre 210 y 230 kg entre 1990 y 2018 (Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca, 2020). Esto se puede atribuir al menor *frame* de los animales, a la gran participación en las faenas de novillitos engordados a corral sin recría previa (Riffel y Elizalde, 2018) y la prohibición del uso de implantes hormonales y de aditivos agonistas β -adrenérgicos (Resol. 447/2004 Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos). De acuerdo con esto, el deterioro en la conversión alimenticia con la extensión del engorde podría ser más notorio para esto tipo de sistemas que utilizan animales de *frame* chico a mediano y que no usan reguladores de crecimiento, pudiendo ser recomendable anticipar las ventas tal como fue sugerido por Maxwell *et al.* (2015) para sistemas naturales (sin reguladores de crecimiento ni antibióticos). Por otra parte, a diferencia de lo que ocurre en Estados Unidos, el sistema de tipificación en Argentina no considera bonificaciones en el precio por nivel de marmoreo. Sin embargo, existen propuestas de modificación del mismo, por lo que el manejo de la duración del engorde a corral puede tener un importante impacto sobre el valor de las ventas de los sistemas ganaderos en el mediano plazo.

2.2.2. Modificaciones de la duración del engorde sobre la calidad de la res

El aumento de la duración de la terminación tiene implicancias sobre la calidad de res asociados a mayores pesos de res y mayores niveles de engrasamiento (May *et al.*, 1992; Van Koevering *et al.*, 1995; Bruns *et al.*, 2004; Vasconcelos *et al.*, 2008; Bondurant *et al.*, 2016), asumiendo que el manejo y alimentación de los animales sea adecuado. A su vez, la respuesta es afectada por el *frame* y el uso de implantes hormonales (McPhee *et al.*, 2006) y de agonistas β -adrenérgicos (Johnson *et al.*, 2013).

2.2.2.1 Área de ojo de bife

Se esperaría que el AOB crezca con el aumento del peso de res, al aumentar los días en engorde. Sin embargo, existen respuestas contrastantes en la bibliografía (Figura 1). En este sentido, May *et al.* (1992), quienes trabajaron con novillos previamente recriados, reportaron aumentos lineales del AOB con el aumento de la duración del engorde, pasando de 63,3 cm² al comienzo del mismo, a 93,2 cm² con 196 días. Por su parte, Bruns *et al.* (2004) usaron terneros de 8 meses y encontraron que el aumento fue lineal pero respecto al peso de res (relacionado con la duración del engorde), pasando de 59,0 cm² con 208 kg de peso de res a 74,6 cm² con 380 kg de peso de res. Sin embargo, si los valores de AOB se expresaran en función de los días en engorde, tenderían a presentar un aumento a tasas decrecientes, dada la

disminución en la ganancia de peso de res. Este aumento a tasas decrecientes y con menor AOB al *plateau* pueden deberse en parte también a la ausencia de uso de implantes hormonales en el ensayo de Bruns *et al.* (2004), que si fueron utilizados en el resto de los antecedentes resumidos en la Figura 1. En este sentido, el uso de implantes hormonales en animales de igual *frame* alimentados hasta un mismo nivel EGD, genera incrementos en el peso de res y el AOB (Hermesmeyer *et al.*, 2000; McPhee *et al.*, 2006).

De acuerdo con esta respuesta, Bondurant *et al.* (2016) estimaron la evolución del AOB a través del engorde utilizando un modelo con mediciones ecográficas intermedias además de las mediciones sobre la res. Estos autores encontraron que, en novillos que ingresaron a corral con 330 kg de peso vivo, el AOB aumentó a tasas decrecientes de 66,5 a 92,3 cm² entre el ingreso a la terminación y los 185 días en engorde (Figura 1).

Por otro lado, hay autores que no reportaron incrementos en el AOB con la extensión del período de engorde a partir de una primera faena. Van Koevering *et al.* (1995) indicaron que el AOB permaneció entre 82,6 y 85,9 cm² entre los 105 y 147 días en engorde. De manera similar, Vasconcelos *et al.* (2008) reportaron áreas de entre 96,3 y 99,1 cm² entre los 136 y 198 días en engorde (Figura 1). Esta falta de aumentos significativos con la extensión del engorde, considerando los elevados valores, podrían indicar que el *plateau* del AOB se alcanzó antes de la primera faena. En ambos trabajos los novillos ingresaron a corral con alrededor de 330 kg de peso vivo.

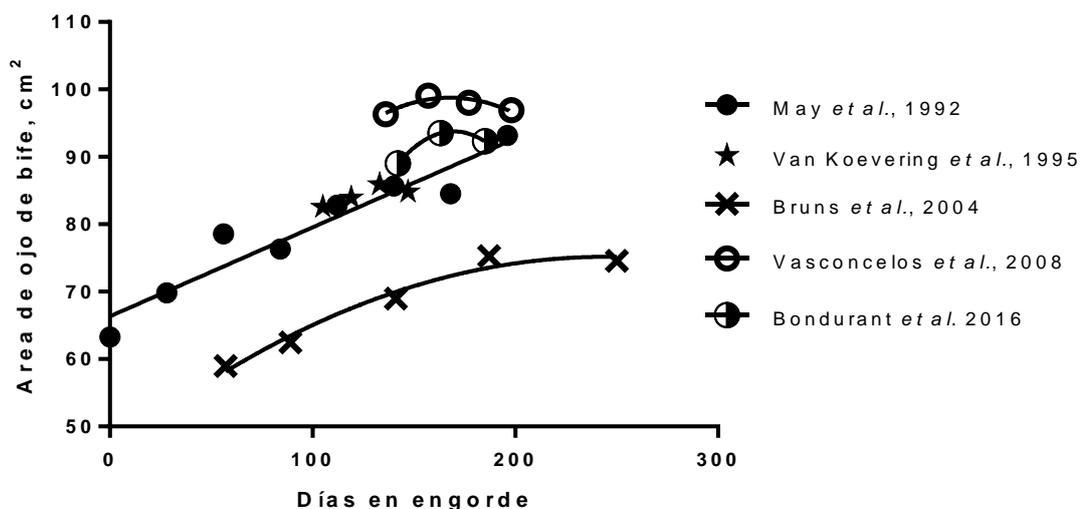


Figura 1. Evolución del área de ojo de bife medido sobre la res a través del período de terminación a corral de novillos. Se indican las medias de los tratamientos reportadas en la bibliografía.

2.2.2.2 Espesor de grasa dorsal

Es esperable que el aumento de los días en engorde genere un aumento en el EGD; sin embargo, hay diferentes tipos de respuestas reportadas en la bibliografía (Figura 2). Algunos autores indicaron que, con la extensión del engorde, el EGD aumentó de manera lineal (May *et al.*, 1992; Van Koeving *et al.*, 1995; Vasconcelos *et al.*, 2008). Por su parte, Bruns *et al.* (2004) expresaron la evolución del EGD en función del peso de res, encontrando un incremento a tasas crecientes del mismo. Esta respuesta creciente, considerando una disminución de la ganancia de peso de res en la medida que avanza el engorde, provocaría la respuesta lineal mencionada. Sin embargo, utilizando un modelo que incluye las mediciones ecográficas intermedias (a diferencia de los anteriores que solo incorporaron en el modelo los valores finales de cada faena), Bondurant *et al.* (2016) indicaron aumentos a tasas crecientes del EGD a los largo del engorde. Sería esperable entonces una respuesta a tasas crecientes del EGD (con tasas promedio entre 1,3 y 2,8 mm EGD mes^{-1}) con el avance del engorde de animales de *frame* chico a mediano y sin reguladores de crecimiento, ya que tendrían un menor crecimiento del tejido magro y mayor deposición de grasa respecto de animales de *frame* grande y con el uso de implantes (McPhee *et al.*, 2006) o agonistas β -adrenérgicos (Johnson *et al.*, 2013). Dicha respuesta se encontraría en la medida que se incorporen mediciones intermedias pre faena como en el caso de Bondurant *et al.* (2016).

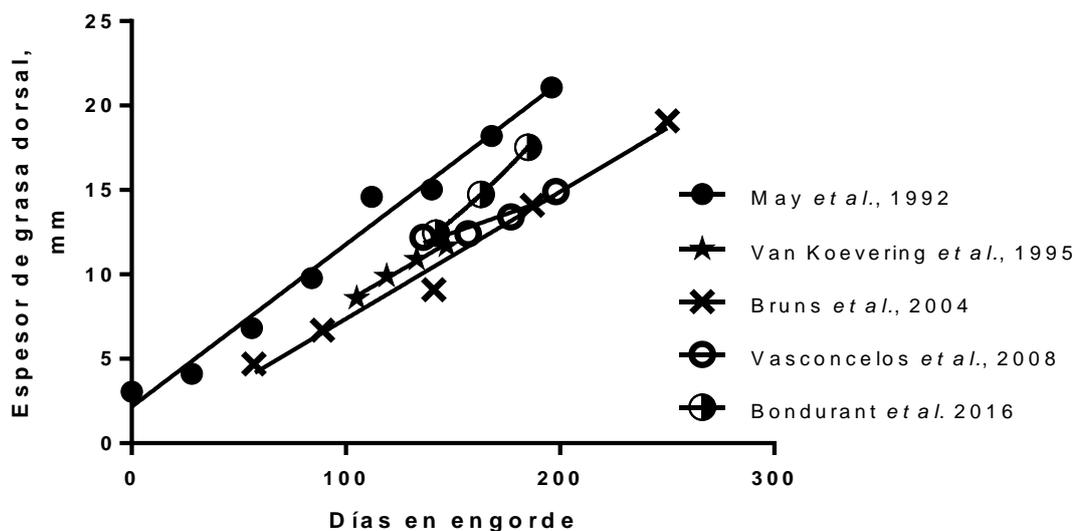


Figura 2. Evolución del espesor de grasa dorsal medida sobre la res a través del período de terminación a corral de novillos. Se indican las medias de los tratamientos reportadas en la bibliografía.

2.2.2.3 Nivel de marmoreo

El contenido de grasa intramuscular y por lo tanto el nivel de marmoreo del músculo *longissimus dorsi* también se incrementan con la extensión del engorde, así como fue descrito el incremento de la grasa subcutánea. Sin embargo, varios autores informaron que el incremento del nivel de marmoreo ocurre a tasas decrecientes con el aumento de los días en engorde de novillos que fueron recriados previamente, manteniéndose entre 4 y 5 (*small* y *modest* según escala de USDA) entre los 100 y 200 días (May *et al.*, 1992; Van Koeving *et al.*, 1995; Vasconcelos *et al.*, 2008). Por su parte, Bruns *et al.* (2004) reportaron incrementos lineales con el aumento del peso de res, respuesta que aun al ser expresada en función de los días en engorde continuó siendo lineal (Figura 3).

Vale la pena señalar que los novillos utilizados por Bruns *et al.* (2004) fueron de menor edad y peso, y sin implantes hormonales, en comparación con los otros trabajos mencionados (May *et al.*, 1992; Van Koeving *et al.*, 1995; Vasconcelos *et al.*, 2008), aspecto al que se podría atribuir la diferencia en la respuesta observada. Respecto a la edad de animal, Moisés *et al.* (2014) indicaron que dietas ricas en concentrados a edades tempranas promueven el desarrollo precoz del tejido adiposo intramuscular y que este estímulo se mantiene en el tiempo. A su vez, animales sin implantes suelen tener mayor porcentaje de grasa intramuscular a un mismo nivel de terminación (McPhee *et al.*, 2006). Por otro lado, Bondurant *et al.* (2016) indicaron aumentos a tasas crecientes del nivel de marmoreo a los largo del engorde, al incorporar en el modelo las estimaciones del nivel de marmoreo por ecografías intermedias.

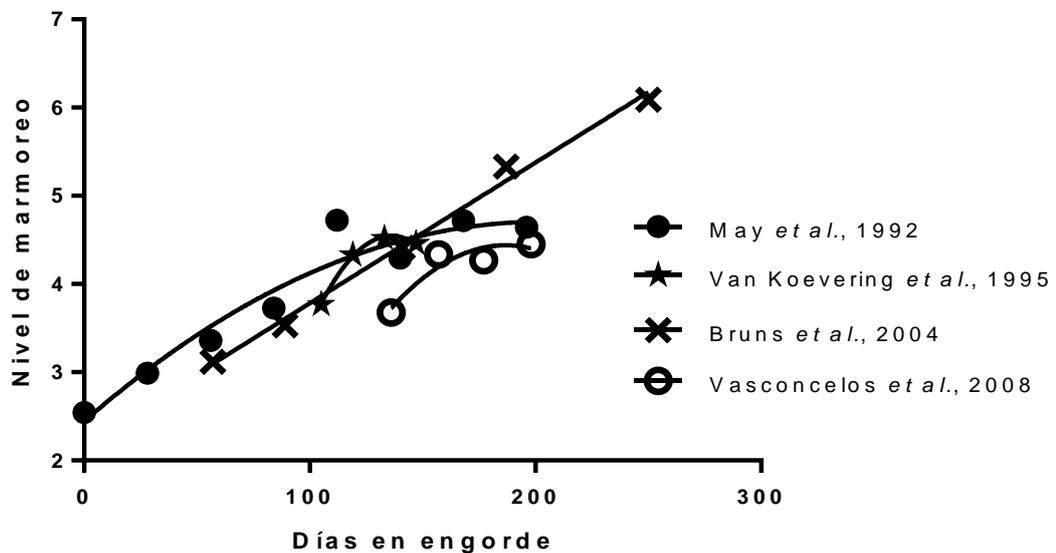


Figura 3. Evolución del nivel de marmoreo medida sobre la res a través del período de terminación a corral de novillos. Se indican las medias de los tratamientos reportadas en la bibliografía. Marmoreo según USDA: *slight*, 3,0; *small*, 4,0; *modest*, 5,0; *moderate*, 6,0.

2.2.2.4 Color de la grasa

Otra característica de la res de importancia económica es el color de la grasa, debido a que el color amarillo de la misma resulta indeseable para la industria y los consumidores en general. Esto es porque el color amarillo es asociado (muchas veces incorrectamente) con animales viejos, malnutridos o enfermos (Troy y Kerry, 2010). Este color está asociado a la acumulación progresiva de pigmentos, particularmente carotenoides, en la grasa. Esto suele ocurrir en animales que consumen pasturas por lo que existen estudios cuyo objetivo fue estimar la duración necesaria de alimentación a corral para lograr un blanqueamiento de la grasa (Forrest, 1981; Dunne *et al.*, 2006; Dunne *et al.*, 2009). Estos autores señalaron que el blanqueamiento durante la terminación a corral ocurre por dos motivos. El primero por la baja concentración de pigmentos carotenoides en los ingredientes habitualmente usados en estas dietas, particularmente el grano de maíz. Y el segundo, por un efecto de dilución de los pigmentos presentes en la grasa debido al rápido crecimiento del tejido adiposo durante el período de terminación. Por lo tanto, la duración necesaria para el blanqueado de la grasa dependerá de la concentración de pigmentos al inicio de la alimentación a corral, de la concentración de pigmentos de los ingredientes utilizados y de la relación forraje concentrado⁻¹. Antecedentes realizados fuera del país, han reportado que entre 26 y 56

días en engorde serían suficientes para blanquear la grasa luego de una recría pastoril en animales jóvenes (Forrest, 1981; Dunne *et al.*, 2006).

2.2.3. Calidad de carne

La calidad de carne es definida por el consumidor en dos momentos. El primero es al momento de la compra, donde el color de la carne junto con el color y el contenido de grasa son los mayores determinantes (Bifaretti, 2008; Font-i-Furnols y Guerrero, 2014). El segundo es al momento del consumo propiamente dicho, donde la palatabilidad general está determinada por la terneza, el sabor-aroma y la jugosidad (O'Quinn *et al.*, 2018). Dentro de estas variables la terneza fue históricamente identificada como la característica más importante (Miller *et al.*, 2001, Pavan, 2011). Debido a esto, los trabajos se han enfocado en los últimos años a la mejora de la terneza y, en países como Estados Unidos, se lograron mejoras en la misma y el sabor-aroma cobró mayor importancia relativa sobre la palatabilidad general de la carne (O'Quinn *et al.*, 2018). Sin embargo, esto último no sería válido en todos los países, particularmente en aquellos donde siguen existiendo limitantes en la terneza de la carne.

2.2.3.1 Color de la carne

Junto con el color de la grasa, cuya respuesta ya se ha comentado en la sección previa, el color de la carne es otro factor de calidad al momento de la compra. Esto se desprende de una encuesta realizada en el país en donde el 80% de los participantes señaló que diferencia la calidad de carne al momento de adquirirla por el color de la misma (Bifaretti, 2008). La compra en función del color de la carne es consistente con lo que ocurre en otros países, a pesar de que las preferencias en color suelen variar entre los mismos (Font-i-Furnols y Guerrero, 2014). En general, la carne de color rojo brillante es preferida sobre aquella con color oscuro o pálido, al ser asociada por el consumidor con productos tiernos (Troy y Kerry, 2010; Hughes *et al.*, 2017).

El color de la carne está determinado, por un lado, por la concentración de mioglobina y por su estado químico (Troy y Kerry, 2010; Hughes *et al.*, 2017). La mioglobina puede existir en tres estados: deoximioglobina, oximioglobina o metamioglobina. Los dos primeros estados contienen hierro en estado ferroso, la deoximioglobina es de color rojo violáceo y es responsable del color de la carne recién cortada o envasada al vacío, mientras que al ser expuesta al oxígeno pasa al estado de oximioglobina, tomando un color rojo cereza característico que es apreciado por los consumidores. Cuando la carne permanece expuesta al oxígeno el hierro del grupo hemo de mioglobina se oxida a

férrico, pasando al estado de metamioglobina que le da a la carne un color marrón poco aceptado por los consumidores (Troy y Kerry, 2010).

Por otro lado, la estructura del músculo y la cantidad de dispersión de luz a través de las fibras musculares también contribuyen al color de la carne y están influenciadas por la tasa de descenso de pH *post-mortem* y del pH final alcanzado (Hughes *et al.*, 2017). La carne de color oscuro se obtiene generalmente con pH finales altos, mayores a 5,7-5,9 (Page *et al.*, 2001; Hughes *et al.*, 2017), que generan una disminución en la dispersión de la luz entre las fibras ya que se reduce la contracción transversal de las fibras musculares (Hughes *et al.*, 2017). Por su parte, las carnes pálidas se obtienen al caer rápidamente el pH *post-mortem* combinado con temperaturas demasiado elevadas, que producen la precipitación de proteínas, pérdidas por goteo y separación de las miofibrillas el músculo, lo que aumenta la reflexión de la luz (Hughes *et al.*, 2018). Cuando el contenido de glucógeno y la tasa de descenso de pH y temperatura son adecuados, se logran carnes brillantes con pH final normal entre 5,4 y 5,6 (Page *et al.*, 2001).

La duración del engorde a corral influye de manera indirecta sobre el color de la carne y la frecuencia de carnes oscuras principalmente por la respuesta en el EGD. Page *et al.* (2001) sugirieron que existe un umbral de 7,6 mm de EGD para lograr carnes brillantes. Esto se debería a que, por un lado, el engorde con dietas concentradas permiten llegar a faena con suficientes reservas de glucógeno, y por otro, al efecto del aislamiento térmico de la grasa subcutánea, que permite tener adecuadas tasas de descenso de temperatura y de pH (Page *et al.*, 2001; Pavan, 2011). Esto siempre y cuando el manejo de los animales al momento de la carga y previo a la faena sea el adecuado. Esta respuesta no sería afectada por el uso de implantes hormonales y agonistas β -adrenérgicos (Delmore *et al.*, 2010).

2.2.3.2 Terneza de la carne

Si bien la terneza es un atributo subjetivo que define el consumidor, la misma está asociada negativamente con la resistencia al corte, medida por el uso de la cizalla de Warner Bratzler. Miller *et al.* (2001) sugirieron que la transición de tierno a levemente duro en la percepción del consumidor ocurre entre los 42 y 48 N de resistencia al corte. Además, indicaron que los consumidores están dispuestos a pagar más por carne más tierna.

Entre los principales factores que afectan a la terniza se encuentran el contenido y solubilidad del colágeno en el músculo (Nishimura, 2015; Oler *et al.*, 2015), el grado de acortamiento de los sarcómeros durante el establecimiento del *rigor mortis* (Smulders *et al.*, 1990; Savell *et al.*, 2005; Battaglia *et al.*, 2019; Pavan y Duckett, 2019), el nivel de proteólisis de las fibras musculares durante la maduración *post-mortem* (Parrish Jr. *et al.*, 1979; Hopkins y Thompson, 2002; Lomiwes *et al.*, 2014) y el nivel de marmoreo (Wheeler *et al.*, 1994; Nishimura, 2015; Oler *et al.*, 2015).

Con el avance de la edad del animal el contenido de colágeno aumenta y su solubilidad disminuye (Parrish Jr. *et al.*, 1979; Pavan, 2011; Nishimura, 2015). Sin embargo, a diferencia de lo que ocurre con músculos con altos contenidos de colágeno, en músculos que se caracterizan por un bajo contenido del mismo, como el *longissimus dorsi*, las variaciones en contenido o solubilidad del colágeno no generarían grandes cambios en la terniza (Pavan, 2011). En estos músculos tienen mayor importancia para la definición de la terniza los procesos de endurecimiento durante el establecimiento del *rigor mortis* y de tiernizado *post-mortem* (Pavan, 2011). Además, debido al bajo contenido de colágeno, cambios en terniza del *longissimus dorsi* debidos a la edad del animal, se detectarían con diferencias importantes en la misma y no cuando se manejan animales de una misma categoría (Pavan, 2011).

Durante el establecimiento del *rigor mortis*, se produce la contracción de las fibras musculares (Savell *et al.*, 2005; Ertbjerg y Puolanne, 2017). Cuanto mayor sea el acortamiento de los sarcómeros mayor será la resistencia al corte (Wheeler y Koohmaraie, 1999; Savell *et al.*, 2005; Weaver *et al.*, 2008; Ertbjerg y Puolanne, 2017). El grado de acortamiento de los sarcómeros del músculo depende de la tasa de descenso de la temperatura y del pH muscular (Savell *et al.*, 2005; Ertbjerg y Puolanne, 2017; Pavan y Duckett, 2019).

Si el descenso de temperatura es rápido relativo al descenso de pH, alcanzando a ser menores de 12°C al momento del establecimiento del rigor mortis (pH = 6,0) se producirá un acortamiento irreversible de los sarcómeros por frío, con un consecuente incremento de la resistencia al corte (Savell *et al.*, 2005; Ertbjerg y Puolanne, 2017; Pavan *et al.*, 2019). Una manera de reducir la velocidad de enfriado y así prevenir el acortamiento por frío de los sarcómeros es el aumento del EGD debido a su efecto de aislamiento térmico (Savell *et al.*, 2005; Ertbjerg y Puolanne, 2017; Pavan y Duckett, 2019). En este sentido, tal como para el caso del color del músculo, se han reportado

umbrales de EGD de entre 6,2 (Savell et al., 2005) y 7,6 mm (Dolezal et al., 1982; Tatum et al., 1982) para maximizar la ternera.

Como se mencionó anteriormente, la longitud de los sarcómeros está correlacionada directamente con la ternera e inversamente con la resistencia al corte. No obstante, Smulders et al. (1990) indicaron que la ternera sensorial estuvo correlacionada positivamente con la longitud de los sarcómeros sólo en aquellas reses que presentaron una baja tasa de glucólisis, evidenciada por un pH muscular mayor a 6,30 a las 3 horas *post-mortem*. Cuando la glucólisis fue adecuada, con pH muscular menor a 6,30 a las 3 horas *post-mortem*, no hubo correlación entre la longitud de los sarcómeros y la ternera sensorial.

De manera similar, Battaglia et al. (2019) reportaron bajos coeficientes de correlación, aunque significativos, entre longitud de los sarcómeros y resistencia al corte (-0,26). Estos autores atribuyen la respuesta, por un lado, a la falta de tratamientos que induzcan cambios en el acortamiento de los sarcómeros, por lo que obtuvieron longitudes de los mismos dentro de un rango normal, no indicativo de acortamiento por frío. Por otro lado, lo atribuyen al período de maduración de 14 días que podría haber disminuido las diferencias en la resistencia al corte. Hopkins et al. (2011) señalaron que la asociación entre la longitud de los sarcómeros y resistencia al corte disminuye con el avance de la maduración. De esto se desprende que con maduraciones cortas (3 – 4 días), como suele tener el mercado local en Argentina, la importancia de la longitud del sarcómero será mayor respecto a maduraciones largas (10 – 14 días) para la definición de la ternera de la carne. Por lo tanto, lograr un adecuado EGD es de suma importancia para mercados con maduraciones cortas.

Durante la maduración *post-mortem* la ternera aumenta debido a la degradación de las fibras musculares por acción de enzimas proteolíticas (Koochmaraie et al., 1988; Chéreta et al., 2007; Lomiwes et al., 2014). Aunque también puede existir degradación del tejido conectivo intramuscular (Nishimura, 2015). Las enzimas más importantes pertenecen al grupo de las calpaínas, enzimas proteolíticas calcio dependientes, que son inhibidas por otra, llamada calpastatina (Koochmaraie et al., 1988; Hopkins y Thompson, 2002; Chéreta et al., 2007; Lomiwes et al., 2014). Sin embargo, también podrían contribuir otras enzimas como las catepsinas (Chéreta et al., 2007; Lomiwes et al., 2014; Ertbjerg y Puolanne, 2017).

El índice de fragmentación miofibrilar (**IFM**) se utiliza para estimar el grado de proteólisis de las miofibrillas (Parrish Jr. et al., 1979; Hopkins et al., 2004). Parrish Jr. et

al. (1979) encontraron que bifes provenientes de reses de diferente grado de madurez y con entre 10 y 14 días de maduración, el IFM explicó un 50 % de la variación en terneza, presentando coeficientes de correlación de 0,76 y – 0,72 entre IFM y terneza sensorial y resistencia al corte, respectivamente. En el mismo sentido, Battaglia *et al.* (2019) también reportaron coeficientes de correlación significativos de 0,40 y -0,40 entre IFM y terneza sensorial y resistencia al corte, respectivamente.

El pH final de la carne tiene una alta influencia sobre la actividad enzimática y por lo tanto sobre la terneza (Hopkins y Thompson, 2002; Lomiwes *et al.*, 2014; Ertbjerg y Puolanne, 2017). Las principales calpaínas son la *m* calpaína y la μ calpaína, de las cuales se ha estudiado más la actividad de la μ calpaína (Hopkins y Thompson, 2002). La actividad de la μ calpaína es máxima con pH de 7,5, aunque conserva alrededor de un 25 % de su actividad dentro del rango normal de pH de la carne, entre 5,4 y 5,8 (Hopkins y Thompson, 2002; Lomiwes *et al.*, 2014). Sin embargo, la misma se reduce aproximadamente a un 4 % de su actividad inicial a los 7 días *post-mortem* (Lomiwes *et al.*, 2014). Por su parte, la catepsina B tiene una actividad óptima con pH entre 5,0 y 6,0, y se considera que su contribución ocurre en los estadios más tardíos de la maduración (Lomiwes *et al.*, 2014). De acuerdo con esto, Lomiwes *et al.* (2014) sugieren que el tiernizado *post-mortem*, en carnes con pH < 5,8, ocurre por una degradación temprana por parte de la μ calpaína, seguido por la combinación de la actividad de las catepsinas y la acción residual de las μ calpaína en estadios tardíos de la maduración.

Además del pH, la tasa de descenso de temperatura muscular *post-mortem* puede tener efecto sobre la actividad de la μ calpaína. Mohrhauser *et al.* (2014), compararon el enfriamiento retrasado de la media res con el enfriamiento convencional. En dicho trabajo, los animales fueron enviados a faena con un EGD adecuado para prevenir el acortamiento por frío de los sarcómeros. Los autores encontraron que la resistencia al corte con 14 días de maduración tuvo una relación cuadrática con la temperatura muscular a las tres horas *post-mortem*, pero no estuvo influenciada por la longitud de los sarcómeros. La resistencia al corte fue mayor con temperaturas a las 3 horas *post-mortem* superiores a los 32 °C, respuesta que podría deberse a un efecto sobre la actividad y autólisis de la μ calpaína y, por lo tanto, sobre el tiernizado de la carne durante la maduración.

Por otro lado, se sugiere que un alto grado de acortamiento de los sarcómeros, reduciría la accesibilidad de las enzimas proteolíticas a las miofibrillas (Ertbjerg y Puolanne, 2017). Sin embargo, existen resultados contrastantes en la bibliografía.

Wheeler y Koohmaraie (1999) concluyeron que la longitud de los sarcómeros no afecta la tasa de proteólisis durante la maduración de los músculos *longissimus thoracis* y *psoas major* de corderos. Por su parte, Weaver *et al.* (2008), señalaron que la falta de efecto reportada por Wheeler y Koohmaraie (1999) se debería al acotado rango de longitudes de sarcómero (1,36 a 1,69 μm). Debido a esto, Weaver *et al.* (2008) estudiaron el efecto de la longitud de los sarcómeros sobre la proteólisis del músculo *semitendinosus* de bovinos, en un mayor rango de longitudes (1,43 a 2,57 μm). Los autores concluyeron que existe una influencia de la longitud de los sarcómeros sobre la proteólisis *post-mortem*. No obstante, estos resultados indicarían que dentro de longitudes normales, no indicativas de acortamiento por frío, no habría un efecto sobre la maduración *post-mortem*. En concordancia con esto, Battaglia *et al.* (2019) no encontraron correlación entre el IFM y la longitud de los sarcómeros, mientras ésta última se mantuvo dentro de un rango de longitudes normales.

Respecto del nivel de marmoreo, Wheeler *et al.* (1994) señalaron que el mismo tiene una ligera asociación positiva con la terneza, considerando un amplio rango de niveles de marmoreo (desde trazas hasta niveles moderados). Oler *et al.* (2015), encontraron una correlación negativa entre el contenido de grasa intramuscular y la resistencia al corte del *longissimus lumborum* de vaquillonas con igual peso y edad a la faena y con un EGD superior al umbral de 7,6 mm. En el mismo sentido, Nishimura (2015) sugirió que un alto nivel de marmoreo puede aumentar la terneza al debilitar la estructura del tejido conectivo intramuscular.

A pesar del bajo impacto en la terneza, incrementos en el nivel de marmoreo pueden mejorar la palatabilidad de la carne al influir sobre la jugosidad y el sabor-aroma (Wheeler *et al.*, 1994; Thompson, 2004; O'Quinn *et al.*, 2018). En este sentido, se considera favorable incrementar el contenido de grasa intramuscular dentro de un rango de 3 a 7,3 %, para mejorar la calidad de la carne sin tener un contenido de grasa excesivo para los consumidores (Troy y Kerry, 2010).

La duración del engorde influye sobre la calidad de carne principalmente por la respuesta en el EGD. Una duración que permita alcanzar un EGD de 7,6 mm permitiría lograr un adecuado descenso de la temperatura y del pH muscular, evitando efectos negativos tanto sobre el color y como la terneza (Dolezal *et al.*, 1982; Tatum *et al.*, 1982; Page *et al.*, 2001; Savell *et al.*, 2005; Pavan y Duckett, 2019). Además, prolongar el período de engorde una vez alcanzado este nivel de terminación podría influir sobre la calidad de carne por un aumento en el nivel de marmoreo.

Al respecto, May *et al.* (1992) reportaron que con una maduración de 7 días *post-mortem*, la terneza sensorial del *longissimus dorsi* presentó una respuesta cuadrática, aumentando hasta los 84 días en engorde. Desde dicho punto, donde se alcanzaron 9,8 mm de EGD, hasta los 168 días en engorde (18,2 mm EGD) no hubo diferencias significativas en terneza. La falta de diferencias se dio a pesar de que hubo un incremento significativo en el nivel de marmoreo entre los 84 y los 112 días en engorde.

En otro estudio, Van Koevering *et al.* (1995) encontraron una tendencia lineal a disminuir la resistencia al corte del *longissimus dorsi* (con 14 días de maduración) con la extensión del engorde, partiendo de una terminación de 8,6 mm de EGD. En dicho período, el nivel de marmoreo aumentó a tasas decrecientes, como fue señalado anteriormente.

Por su parte, Rathmann *et al.* (2009) evaluaron la respuesta a la resistencia al corte del *longissimus dorsi* al extender el engorde a partir de una terminación de 12,2 mm de EGD, alcanzada con 136 días en engorde. Para todas las maduraciones (7, 14 y 21 días *post-mortem*), la resistencia al corte fue máxima con 136 días en engorde, mientras que no hubo diferencias entre los 157, 177 y 198 días. En este caso, el nivel de marmoreo aumentó a tasas decrecientes, por lo que el mayor incremento se produjo entre los 136 y 157 días. Dicho aumento podría ser el motivo de la disminución en la resistencia al corte ya que la primera faena se encontraba holgadamente por encima del umbral de 7,6 mm de EGD. Además, en este mismo trabajo, Rathmann *et al.* (2009) evaluaron el efecto del uso de ZH sobre la resistencia al corte y reportaron incrementos en la misma con el uso de ZH. En el mismo sentido, Delmore *et al.* (2010) indicaron que el uso de ZH genera un aumento en la resistencia al corte, pero sin afectar la respuesta a la maduración *post-mortem*. Por lo tanto, indican que la utilización de ZH no tendría un impacto negativo en la industria de la carne en Estados Unidos, ya que los períodos de maduración promedio son mayores a los 20 días y mitigarían el impacto negativo en la terneza.

Finalmente, debido a la falta de antecedentes locales, considerando las diferencias mencionadas entre los sistemas que afectan la respuesta a la extensión del engorde, la habitual retención de animales en los corrales por parte de los productores, la incipiente incorporación del nivel de marmoreo en el sistema de tipificación local y la existencia de mercados con diferentes requerimientos de marmoreo o de engrasamiento, se considera relevante el estudio de la extensión del engorde sobre el desempeño productivo y los costos de producción, la calidad de res y de carne.

HIPÓTESIS

- La extensión de la duración del engorde a corral una vez alcanzado un nivel de terminación adecuado de 8 mm de EGD genera:
 - Un aumento lineal de la conversión alimenticia a nivel de peso vivo desbastado.
 - Un aumento lineal de la conversión alimenticia a nivel de peso de res.
 - Una mayor tasa de aumento de la conversión alimenticia a nivel de peso vivo desbastado respecto a la tasa de aumento de la conversión alimenticia a nivel de peso de res.
 - Un aumento lineal de la transferencia de la ganancia de peso vivo desbastado a ganancia de peso de res.
 - Un aumento a tasas crecientes del EGD.
 - Un aumento a tasas decrecientes del AOB.
 - Un aumento a tasas decrecientes del nivel de marmoreo del *longissimus dorsi*.
 - Una disminución lineal en la resistencia al corte del *longissimus dorsi*.
- La extensión de la duración del engorde a corral una vez alcanzado un nivel de terminación adecuado de 8 mm de EGD no tiene efectos sobre:
 - el color de la grasa subcutánea.
 - el color del músculo *longissimus dorsi*.
- La extensión de la duración del engorde a corral una vez alcanzado un nivel de terminación adecuado de 8 mm de EGD tiene un impacto positivo sobre los márgenes económicos si se comercializa a peso de res.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de extender el período de engorde a corral una vez alcanzado un nivel de terminación adecuado de 8 mm de EGD sobre el desempeño productivo la calidad de res y de la carne obtenida y sobre el resultado económico.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el efecto del aumento de los días en engorde a corral de novillos una vez alcanzado un nivel de terminación adecuado de 8 mm de EGD sobre:
 - La conversión alimenticia a nivel de peso vivo desbastado y de peso de res.
 - La transferencia de ganancia de peso vivo desbastado a peso de res.

- El EGD.
- El AOB.
- El nivel de marmoreo del *longissimus dorsi*.
- El color de la grasa subcutánea y del músculo *longissimus dorsi*.
- La resistencia al corte del *longissimus dorsi*.
- El costo marginal de la ganancia de peso vivo desbastado y de peso de res

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Animales y dieta

El experimento fue llevado a cabo entre los meses de Diciembre de 2018 y Junio de 2019 en la Reserva Ganadera N° 7 en la Estación Experimental Agropecuaria Balcarce del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, situado en Balcarce, Buenos Aires, Argentina. Sesenta y cuatro novillos británicos (*frame* de las vacas madres: 4) fueron agrupados en cuatro bloques de acuerdo a su peso vivo desbastado (peso vivo desbastado promedio = 308 kg, desvío = 26 kg; promedio bloque I = 273 kg, desvío = 8 kg; promedio bloque II = 299 kg, desvío = 7 kg; promedio bloque III = 318 kg, desvío = 7 kg; promedio bloque IV = 342 kg, desvío = 8 kg) y alojados en dieciséis corrales al aire libre con piso de cemento (4 animales corral⁻¹), con una superficie de 4,5 m² por cabeza y 0,75 metros lineales de comedero por animal. La limpieza de los corrales (remoción de la materia fecal) fue semanal, excepto durante el mes de enero donde fue suspendida para evitar que la radiación solar incida directamente sobre el piso de cemento. Los novillos seleccionados fueron previamente destetados con 6-7 meses de edad y recriados por 8 meses, con una ganancia de peso vivo promedio de 0,525 kg día⁻¹, sobre pasturas mixtas (alfalfa, festuca, raigrás y trébol blanco) y suplementación con silaje de maíz durante el invierno. El manejo de los animales vivos durante el período experimental fue aprobado por el Comité Institucional para el Cuidado y Uso de Animales de Experimentación (Protocolo número: 174/2018).

Cuatro tratamientos fueron asignados al azar a los corrales dentro de cada bloque. Los tratamientos consistieron en cuatro duraciones diferentes del período de terminación. La más corta fue definida como los días en engorde proyectados para alcanzar un EGD promedio medido por ecografía de 8 mm, el cual es el nivel de terminación de mercado promedio de Argentina, mientras que las faenas posteriores se hicieron consecutivamente a intervalos de 28 días. La proyección se realizó a partir de una ecografía al ingreso a corral (EGD promedio de 4,25 mm) y una tasa de engrasamiento estimada, posterior al acostumbamiento, de 1,75 mm de EGD mes⁻¹ (Ferrario, J., com. pers., 2018). Por lo tanto, los tratamientos fueron 64, 91, 119 y 147 días en engorde. El día cero (0) correspondió al inicio de la dieta final, que fue alcanzada luego de un período de adaptación de 19 días en los que la proporción de grano de maíz en la dieta fue gradualmente aumentado en desmedro del silaje de maíz. La dieta final consistió en una dieta de terminación (Tabla 1), cuya composición química se estimó a partir de la participación y composición de cada componente. De cada ingrediente de la

dieta se tomó una muestra mensual y se confeccionó un *pool* por ingrediente abarcando el período experimental completo. Las muestras fueron secadas a 60°C durante 48 horas y molidas a 1 mm para su acondicionamiento, posteriormente se determinó el contenido de proteína bruta según Horneck y Miller (1998); el contenido de fibra detergente neutro y fibra detergente ácido con un equipo ANKOM 200 (ANKOM®, Macedon, NY, Estados Unidos) según Van Soest *et al.* (1991); el contenido de almidón según Mac Rae y Armstrong (1968) y la digestibilidad *in vitro* de la MS usando el sistema de incubación Daisy II (ANKOM®, Macedon, NY, Estados Unidos) de cada ingrediente.

Tabla 1. Composición de la dieta suministrada a novillos terminados a corral.

Ingredientes (% en MS)	
Grano de maíz molido	70,4
Silaje de maíz	20,4
Expeller de girasol	6,2
Suplemento mineral ¹	2,1
Urea	1,0
Composición química ²	
Proteína bruta, % en la MS de la dieta	11,5
Fibra detergente neutro, % en la MS de la dieta	18,3
Fibra detergente ácido, % en la MS de la dieta	8,2
Almidón, % en la MS de la dieta	54,9
Energía metabolizable, Mcal kg MS ⁻¹	2,80

¹ Composición del Suplemento: calcio, 15.7 %; fósforo, 0.6 %; magnesio, 1.8 %; azufre, 1 %; sal, 9.8 %; selenio, 7.0 mg kg⁻¹; zinc, 1254 mg kg⁻¹; manganeso, 1254 mg kg⁻¹; cobre, 352 mg kg⁻¹; cobalto, 3.6 mg kg⁻¹; iodo, 12 mg kg⁻¹; hierro, 800 mg kg⁻¹; vitamina A, 104950 UI kg⁻¹; vitamina D, 3600 UI kg⁻¹; vitamina E, 130 UI kg⁻¹; monensina, 1000 mg kg⁻¹.

² Calculada a partir de la composición y la digestibilidad *in vitro* de los ingredientes individuales.

Los novillos fueron alimentados una vez por día entre las 6:30 y las 7:00 am durante el verano y entre las 8:00 y las 8:30 am durante el otoño. Se realizaron ajustes de la cantidad de alimento entregada para asegurar acceso *ad libitum* a la dieta, teniendo como objetivo un rechazo en el comedero, previo a la siguiente entrega, de 0,2 kg de materia seca (MS) por novillo como máximo. La dieta fue mezclada y entregada con un *mixer* vertical (Metfer®, Tres Arroyos, Buenos Aires, Argentina, capacidad de 3 m³) equipado con una balanza (Magris®, Rufino, Santa Fe, Argentina, precisión de 1 kg), que fue usada para registrar diariamente la cantidad de alimento ofrecido a cada corral. Una vez por semana, una muestra de la dieta fue tomada y secada a 100°C por 24 horas para determinar el contenido de MS. La ración rechazada fue recolectada, pesada y muestreada para determinar el contenido de MS de manera diaria. El CMS promedio por novillo por corral fue calculado diariamente como la diferencia entre la cantidad de alimento ofrecido y rechazado dividido por el número de animales por corral.

Los animales se pesaron al final del período de adaptación (día 0), en el día 28, y en los días de embarque al frigorífico (día 64, 91, 119 y 147). Los novillos fueron encerrados, restringiendo el acceso a la dieta pero con acceso al agua, el día previo a las 2:30 pm, momento en el cual los animales que iban a faena fueron pesados llenos para estimar el porcentaje de desbaste. El peso vivo desbastado individual fue registrado entre las 8:00 y 9:00 am, con 18 horas de desbaste. Debido a la restricción alimenticia impuesta a los animales para obtener su peso vivo desbastado, y con el objetivo de prevenir acidosis, la cantidad de alimento entregado posterior a la pesada fue gradualmente aumentado hasta obtener el nivel de consumo previo a la misma en tres días. Estos días no fueron considerados para la estimación de la evolución del CMS diario.

Además, se realizaron mediciones por ecografías comprendiendo el AOB, el nivel de marmoreo y el EGD entre la 12° y 13° costilla a los -19, 28, 64, 91, 119 y 147 días en engorde, utilizando un ecógrafo ExaGo (ECM ®, Angouleme, Francia). Estas mediciones fueron realizadas al momento de la pesada (entre las 8:00 y las 9:00 am, con 18 horas de desbaste) y se usaron para describir la evolución de estas variables a través del período de terminación y a su vez para estimar los días necesarios para alcanzar los 8 mm de EGD como nivel de terminación adecuado para el mercado.

Luego del pesaje con desbaste, los novillos que iban a faena se mantuvieron encerrados sin acceso a alimento pero con acceso a agua, hasta que fueron cargados a la 1:00 pm. Luego se transportaron hasta el frigorífico comercial, Azul Natural Beef, ubicado en Azul, Buenos Aires, a 200 km del campo experimental. La faena se realizó entre la 1:00 y las 2:00 pm del día siguiente al arribo.

3.2. Características de res y muestreo del músculo *longissimus dorsi*

Se registró el peso de res caliente de cada animal y se calculó el porcentaje de rendimiento en res como el cociente entre el peso de res y el peso vivo desbastado del día de embarque al frigorífico. A las 3 horas *post-mortem*, se midió el pH y la temperatura del *longissimus dorsi* de cada media res izquierda entre la 12° y 13° costilla, usando un pHmetro portátil (Sper Scientific ® modelo 850081, Scottsdale, AZ, Estados Unidos). El pH y la temperatura fueron nuevamente registrados entre la 12° y 13° costilla a las 48 horas *post-mortem*. Luego se removió una sección conteniendo la 10°, 11° y 12° costilla de cada media res izquierda. Sobre la cara caudal de la muestra y luego de 30 minutos de *blooming* (período de exposición al oxígeno estandarizado para que se produzca la oxigenación de la deoximioglobina, y el músculo tome el color rojo característico de la

oximioglobina), se midió el color del músculo y de la grasa subcutánea usando un equipo Minolta ® CR 310 Chroma meter (Minolta Corp., Ramsey, NJ, Estados Unidos). El instrumento se calibró con un platillo blanco, con una apertura de 5 cm de diámetro, iluminante D65 y ángulo de 10°. Sobre la misma cara se midió el nivel de marmoreo, el EGD y el AOB. El nivel de marmoreo se estimó por comparación con las cartillas del USDA (2006), utilizando la siguiente escala numérica: *slight*, 3,0; *small*, 4,0; *modest*, 5,0; *moderate*, 6,0. El EGD se midió a una distancia de dos tercios de la longitud total del bife utilizando un calibre (Starrett ®, Athol, Massachussetts, Estados Unidos). Para la medición del AOB se calcó el músculo sobre papel de acetato, que luego fue escaneado y su área se calculó utilizando el programa Image J (plataforma científica abierta para el análisis de imágenes). Además, con el AOB y el peso de res se calculó el AOB por cada 100 kg de res.

Cada bloque de bifes fue pesado y luego separado por disección en grasa subcutánea, grasa intermuscular, músculo *longissimus dorsi*, recortes de otros músculos (*spinalis dorsi et cervicis*, *intercostalis dorsi et lumborum*, *multifidus dorsi et lumborum*, *serratus dorsalis cranialis*) y hueso. Los diferentes componentes fueron pesados y sus proporciones, junto con el contenido de grasa intramuscular de los músculos (estimados por extracción cómo se describe en la siguiente sección y descontados del tejido magro), fueron usadas para estimar la composición de grasa, tejido magro y hueso de la sección conteniendo la 10°, 11° y 12° costilla.

3.3. Resistencia al corte y análisis químico del músculo *longissimus dorsi*

De las muestras de *longissimus dorsi* obtenidas a las 48 horas *post-mortem* se obtuvieron dos bifes de 2,5 cm de espesor, un bife de 2 cm y un bife de 1 cm. Los bifes de 2,5 cm fueron envasados al vacío y asignados a dos maduraciones (3 y 14 días *post-mortem*) a 5 °C y, luego de sus correspondientes períodos de maduración, fueron almacenados a -20 °C. La maduración de 3 días responde a un período corto habitual para el consumo local, mientras que la mayor maduración (14 días) corresponde con un período acorde al mercado de exportación. El bife de 2 cm fue cortado en cubos, envasado y almacenado a -20 °C a las 72 horas *post-mortem*. El bife de 1 cm fue picado con una multiprocesadora para su homogeneización, envasado al vacío y almacenado inmediatamente a -20 °C. Los recortes de otros músculos obtenidos en la separación de los bloques también fueron picados con una multiprocesadora, envasados y almacenados inmediatamente a -20 °C.

Se midió la resistencia al corte de Warner-Bratzler de los dos bifes de 2,5 cm de espesor, siguiendo el procedimiento descrito por Lucero-Borja *et al.* (2014). Las muestras se descongelaron durante la noche previa a 4 °C y se cocinaron con una parrilla eléctrica hasta una temperatura interna de 71 °C. Dicha temperatura fue controlada con un termómetro digital (Scanning Thermometer, Digi-Sense, ColePalmer, Illinois, Estados Unidos). Una vez cocinados, los bifes fueron enfriados a temperatura ambiente y luego se removieron, en el sentido de las fibras musculares, al menos 6 cilindros de carne de 1,27 cm de diámetro. Los cilindros fueron cortados con una cizalla de Warner Bratzler en sentido perpendicular a las fibras musculares y se registró el pico de resistencia al corte usando un dinamómetro digital (BFG 500 N, Mecmesin, Slinfold, West Sussex, Reino Unido). Se calculó la pérdida por cocción, a partir del peso del bife antes y después de la cocción (enfriado a temperatura ambiente), como la diferencia entre el peso cocido y crudo dividido el peso crudo y expresado en porcentaje.

A partir del bife de 2 cm cortado en cubos, se estimó la longitud de los sarcómeros según Cross *et al.* (1981). De la misma muestra, se determinó el IFM siguiendo el procedimiento de Hopkins *et al.* (2004), midiendo la concentración de proteínas con un espectrofotómetro de microplato equipado con un lector Epoch (N° 257878, BioTek Instruments Inc., Winooski, VT, Estados Unidos).

El contenido de lípidos del músculo *longissimus dorsi* y de los recortes de otros músculos se determinó por diferencia de peso usando éter de petróleo con un extractor (ANKON® XT10, Macedon, NY, Estados Unidos) a partir del bife de 1 cm picado y de los recortes de otros músculos picados, respectivamente.

3.4. Costo marginal de la ganancia de peso

A partir de los modelos de conversión alimenticia generados, se describió la evolución del costo marginal de la ganancia de peso tanto a nivel de peso vivo desbastado como a nivel de peso de res. Éste se calculó como el costo diario adicional por unidad de peso producido diario a través de los días en engorde. Para esto se utilizó la evolución de la conversión alimenticia a nivel de peso vivo desbastado y de peso de res y se consideraron tres escenarios de precios del grano de maíz como principal componente de la dieta: precio pizarra (150 U\$S ton⁻¹), precio pizarra -10 % (135 U\$S ton⁻¹) y precio pizarra +10 % (165 U\$S ton⁻¹). Los componentes del costo marginal considerados fueron alimento, distribución, personal e intereses al capital invertido. Se tomaron los precios a Julio de 2019 (Tabla 2), previo a disturbios en los precios generados por el contexto político local y por el contexto sanitario global posterior. Se estimó la duración óptima

económica como aquella en la cual el costo marginal de ganancia logra igualar el precio de venta libre de gastos (Oltjen, 2012; Wilken *et al.*, 2015).

Tabla 2. Precios y costos considerados para el cálculo del costo marginal de la ganancia de peso de novillos terminados a corral.

Componentes de la dieta, U\$S ton materia verde ¹	
Grano de maíz	150,3
Silaje de maíz	23,0
Expeller de girasol	230,0
Suplemento mineral	254,3
Urea	420,0
Costos operativos	
Molienda de maíz, U\$S ton ⁻¹	5,00
Distribución de alimentos ¹ , U\$S cab ⁻¹ día ⁻¹	0,085
Personal ² , U\$S cab ⁻¹ día ⁻¹	0,06
Precios de hacienda, U\$S kg ⁻¹	
Precio novillito recriado producción propia	1,39
Precio novillo venta ³	1,53
Precio media res	2,54
Gastos de venta	
Gastos de venta, %	3,5
Flete venta, U\$S cab ⁻¹	12,85
Interés al capital circulante, % año ⁻¹ (en U\$S)	2,75
Cotización del dólar, \$	43,25

Fuente: Revista Márgenes Agropecuarios Agosto, 2019.

¹ Considerando 1000 cabezas en engorde y 4 horas diarias de distribución.

² Considerando una persona cada 1000 cabezas en engorde.

³ Para la venta a peso vivo se aplica un 4% de desbaste al peso obtenido luego de 18 horas de restricción al acceso a la dieta.

3.5. Análisis estadístico

Como fue señalado en la revisión bibliográfica, los experimentos de faenas seriadas pueden llevar a un sesgo debido a que las variaciones asociadas al día de la faena quedan ligadas al efecto del tratamiento (Streeter *et al.*, 2012). Debido a esto, Streeter *et al.* (2012) sugieren realizar un análisis con regresiones en función de los días en engorde de manera de reducir el sesgo en los resultados. Por su parte, Wilken *et al.* (2015) utilizaron regresiones incorporando no sólo las mediciones finales de cada corral sino también las mediciones intermedias durante el engorde, lo que les permitió describir los cambios a través del engorde de las tasas de ganancia de peso, la transferencia a res, conversión alimenticia diaria y en el costo marginal de la ganancia de peso.

De esta manera, según la variable a estudiar se realizaron diferentes abordajes. Por un lado, para aquellas variables que tuvieron una sola medición por unidad experimental al momento de la faena, tales como el porcentaje de desbaste, el rendimiento en res, las variables medidas sobre la res en frigorífico y sobre el músculo *longissimus dorsi* en laboratorio, se ajustaron modelos lineales que incluyeron el bloque como efecto aleatorio, y los días en engorde divididos en sus efectos lineal, cuadrático y cúbico. En el caso del modelo de rendimiento en res, el modelo fue simplificado a un modelo lineal de primer orden dado que no presentó falta de ajuste ni patrón en los residuales, mientras que el modelo de rendimiento en res también fue simplificado a un modelo de segundo orden por el mismo motivo. Los modelos fueron generados con la función LME del programa estadístico R v3.4.4 (The R Foundation for Statistical Computing, 2018). Los ANVA de estos modelos fueron usados para evaluar la significancia de los efectos lineal, cuadrático y cúbico de los días en engorde sobre las diferentes variables. Los efectos se consideraron significativos cuando $P < 0,05$, y tendencias cuando $0,05 < P < 0,10$.

Modelo estadístico:

$$Y = \tau_0 + \tau_1 x + \tau_2 x^2 + \tau_3 x^3 + \beta + \varepsilon$$

Dónde:

τ_0 : Ordenada al origen.

τ_1, τ_2, τ_3 : Pendientes parciales.

x : Días en engorde.

β : Efecto aleatorio bloque.

ε : Error aleatorio experimental.

Por otro lado, para las variables que tuvieron mediciones repetidas a lo largo del engorde, como el peso vivo desbastado, el CMS y los parámetros de res medidos por ecografías, se ajustaron modelos lineales mixtos incluyendo bloque y corral dentro de bloque como efectos aleatorios, y los días en engorde divididos en sus efectos lineal, cuadrático (y cúbico para CMS, ya que el modelo de segundo orden para CMS presentó falta de ajuste y un patrón en los residuales que mejoró al incorporar el componente cúbico) como efectos fijos. Los modelos fueron generados con la función LME del programa estadístico R v3.4.4 (The R Foundation for Statistical Computing, 2018). Los

ANVA de estos modelos fueron usados para evaluar la significancia de los efectos lineal, cuadrático y cúbico de los días en engorde sobre las diferentes variables. Los efectos se consideraron significativos cuando $P < 0,05$, y tendencias cuando $0,05 < P < 0,10$.

Modelo estadístico:

$$Y = \tau_0 + \tau_1 X + \tau_2 X^2 + \tau_3 X^3 + \beta + \gamma + \varepsilon$$

Dónde:

τ_0 : Ordenada al origen.

τ_1, τ_2, τ_3 : Pendientes parciales.

x : Días en engorde.

β : Efecto aleatorio bloque.

γ : Efecto aleatorio corral dentro de bloque.

ε : Error aleatorio experimental.

Por otra parte, para estimar la evolución de la transferencia a res, la conversión alimenticia diaria a peso vivo desbastado y a peso de res y el costo marginal de la ganancia de peso de manera de atender los objetivos planteados en la tesis, se construyeron algunas variables.

Para la estimación de la evolución de la transferencia a res primero se estimó la evolución de la ganancia de peso vivo desbastado y de peso de res para cada bloque. Las tasas de ganancia de peso podrían ser estimadas a partir de la derivada de los modelos que describen el peso en función de los días en engorde. Para esto, en primer lugar, se generó para cada bloque un modelo lineal mixto incluyendo el corral como efecto aleatorio y los días en engorde divididos en sus efectos lineal y cuadrático para el peso vivo desbastado (dado que en el modelo conteniendo todos los bloques, el modelo lineal de segundo orden no presentó falta de ajuste que justificase la incorporación del componente cúbico). Los modelos fueron generados con la función LME del programa estadístico R v3.4.4 (The R Foundation for Statistical Computing, 2018).

Modelo estadístico peso vivo desbastado de cada bloque:

$$Y = \tau_0 + \tau_1 X + \tau_2 X^2 + \gamma + \varepsilon$$

Dónde:

τ_0 : Ordenada al origen.

τ_1, τ_2 : Pendientes parciales.

x: Días en engorde.

γ : Efecto aleatorio corral.

ε : Error aleatorio experimental.

La evolución de la ganancia de peso vivo desbastado de cada bloque fue estimada a partir de la derivada del modelo de cada bloque. Al derivar la ecuación del modelo de segundo orden de cada bloque se obtuvieron cuatro funciones del tipo $y = a + b x$, siendo x los días en engorde. A partir de estas cuatro funciones se estimó la media y el desvío para la ordenada al origen y la pendiente para obtener la función general de ganancia de peso vivo desbastado en función de los días en engorde.

Por otro lado, para estimar la ganancia de peso de res de cada bloque se estimó el peso de res como el producto entre la ecuación del modelo de peso vivo desbastado de cada bloque y la ecuación del modelo del rendimiento en res de cada bloque. Dichos modelos de rendimiento en res fueron generados para cada bloque incluyendo el efecto de los días en engorde como efecto lineal (dado que en el modelo conteniendo todos los bloques, el modelo lineal de primer orden no presentó falta de ajuste que justificase la incorporación del componente cuadrático o cúbico) utilizando la función LM del programa estadístico R v3.4.4 (The R Foundation for Statistical Computing, 2018).

Modelo estadístico rendimiento en res de cada bloque:

$$Y = \tau_0 + \tau_1 x + \varepsilon$$

Dónde:

τ_0 : Ordenada al origen.

τ_1 : Pendiente.

x: Días en engorde.

ε : Error aleatorio experimental.

La evolución de la ganancia de peso de res de cada bloque fue estimada a partir de la derivada del producto de los modelos de peso vivo desbastado y de rendimiento en

res de cada bloque. Al derivar la ecuación del modelo de peso de res de tercer orden de cada bloque (resultante del producto entre un modelo de segundo orden con uno de primer orden) se obtuvieron cuatro funciones de segundo orden del tipo $y = a + b x + c x^2$, siendo x los días en engorde. A partir de estas cuatro funciones se estimó la media y el desvío para la ordenada al origen y las pendientes parciales para obtener la función general de ganancia de peso de res en función de los días en engorde.

De manera similar, la proporción de la ganancia de peso vivo desbastado transferida al peso de res fue estimada como el cociente entre la ganancia de peso de res y la ganancia de peso vivo desbastado. Para cada bloque, se generó una función a partir del cociente entre las funciones de ganancia de peso res y ganancia de peso vivo desbastado en función de los días en engorde, obteniéndose cuatro funciones de transferencia a res. A partir de estas cuatro funciones se estimó la media y el desvío para la ordenada al origen y las pendientes parciales para obtener la función general de transferencia a res en función de los días en engorde.

El CMS diario relativo al peso vivo desbastado fue calculado como el cociente entre las mediciones de CMS de cada corral y el peso vivo desbastado estimado por el modelo lineal mixto del correspondiente bloque (no se utiliza del corral ya que tienen diferentes duraciones del engorde, y al incorporar todos los corrales del bloque se detectan efectos cuadráticos significativos en la evolución de peso). A partir de esto, se generó un modelo lineal mixto incluyendo el bloque y el corral dentro de bloque como efectos aleatorios y los días en engorde divididos en sus efectos lineal, cuadrático y cúbico, utilizando la función LME del programa estadístico R v3.4.4 (The R Foundation for Statistical Computing, 2018).

Modelo estadístico CMS relativo:

$$Y = T_0 + T_1 X + T_2 X^2 + T_3 X^3 + \beta + \gamma + \varepsilon$$

Dónde:

T_0 : Ordenada al origen.

T_1, T_2, T_3 : Pendientes parciales.

x : Días en engorde.

β : Efecto aleatorio bloque.

γ : Efecto aleatorio corral dentro de bloque.

ε : Error aleatorio experimental.

Las conversiones alimenticias diarias a peso vivo desbastado y a peso de res fueron construidas como el cociente entre las mediciones de CMS de cada corral y la ganancia de peso (peso vivo desbastado o peso de res, según corresponda) estimada por la ecuación del correspondiente bloque (no se utiliza del corral ya que tienen diferentes duraciones del engorde, y al incorporar todos los corrales del bloque se detectan efectos cuadráticos significativos). A partir de estas variables construidas, se generaron modelos lineales mixtos incluyendo el bloque y el corral dentro de bloque como efectos aleatorios y los días en engorde divididos en sus efectos lineal, cuadrático y cúbico. Cuando el efecto cúbico no fue significativo, el modelo fue simplificado a un modelo de segundo orden. Los modelos fueron generados con la función LME del programa estadístico R v3.4.4 (The R Foundation for Statistical Computing, 2018).

Modelo estadístico conversión alimenticia diaria:

$$Y = T_0 + T_1 X + T_2 X^2 + T_3 X^3 + \beta + \gamma + \varepsilon$$

Dónde:

T_0 : Ordenada al origen

T_1, T_2, T_3 : Pendientes parciales.

x : Días en engorde.

β : Efecto aleatorio bloque.

γ : Efecto aleatorio corral dentro de bloque.

ε : Error aleatorio experimental.

Las ecuaciones obtenidas para las respectivas conversiones fueron utilizadas para estimar la evolución del costo marginal de la ganancia de peso vivo y de peso de res. Para esto se utilizaron los precios indicados en la sección anterior.

A su vez, con el objetivo de comparar las tasas de incremento de la conversión alimenticia a peso vivo desbastado y a peso de res, se generaron modelos lineales mixtos para dos períodos separados (64 a 119 días en engorde y 119 a 147 días en engorde) conteniendo ambas conversiones como diferente grupo de datos, incluyendo el bloque y el corral como efectos aleatorios, los días en engorde como efecto lineal fijo y la interacción días en engorde * grupo de datos, incorporando una variable *dummy*.

Los modelos fueron generados con la función LME del programa estadístico R v3.4.4 (The R Foundation for Statistical Computing, 2018). Las tasas de aumento de las conversiones alimenticias a peso vivo desbastado y a peso de res fueron diferentes cuando la interacción días en engorde * subgrupo de datos fue significativa (si τ_3 es significativamente diferente de cero).

Modelo estadístico conversión:

$$Y = \tau_0 + \tau_1 X_1 + \tau_2 X_2 + \tau_3 X_1 X_2 + \beta + \gamma + \varepsilon$$

Dónde:

τ_0 : Ordenada al origen.

τ_1, τ_2, τ_3 : Pendientes parciales.

x_1 : Días en engorde.

$x_2 = 1$ para conversión a peso vivo desbastado, $x_2 = 0$ en caso contrario.

β : Efecto aleatorio bloque.

γ : Efecto aleatorio corral dentro de bloque.

ε : Error aleatorio experimental.

4. RESULTADOS

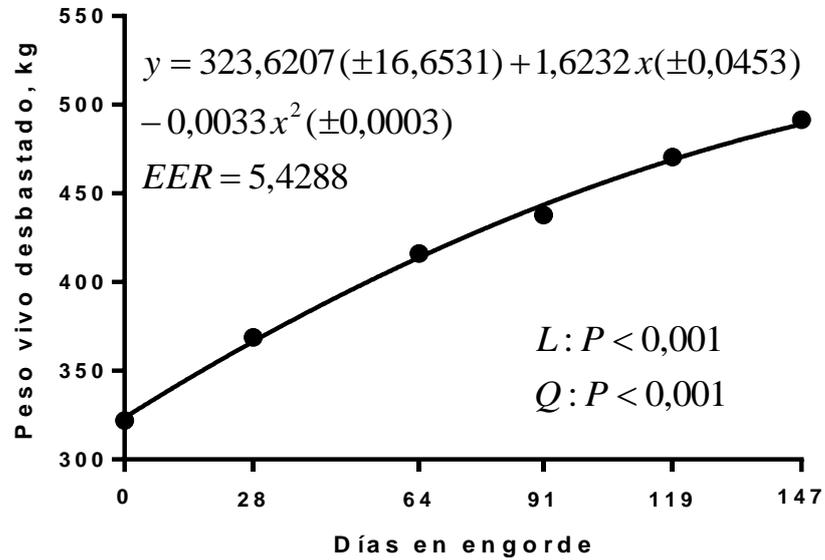
4.1. Desempeño productivo

Los componentes lineal y cuadrático fueron significativos ($P < 0,001$) en la curva de evolución del peso vivo desbastado a través de los días de engorde (Figura 4.a), indicando que el mismo aumentó con los días en engorde, pero a tasa decreciente. Por su parte, el rendimiento en res aumentó linealmente con la extensión del período de terminación, desde 54,03 % en el día 64, a 57,23 % en el día 147 (Figura 4.b). El porcentaje de desbaste mostró una respuesta cuadrática, alcanzando un máximo de 4,37 % a los 91 días en engorde (porcentaje de desbaste = $- 0,5921 (\pm 2,0623) + 0,1091 (\pm 0,0413)$ días en engorde $- 0,0006 (\pm 0,0002)$ días en engorde², EER = 0,5929, $R^2 = 0,683$, Lineal: $P = 0,087$, Cuadrático: $P = 0,016$).

La ganancia de peso vivo desbastado disminuyó de manera lineal en la medida que los días en engorde aumentaron (Figura 5.a), de 1,623 a 0,653 kg día⁻¹ desde el comienzo del engorde hasta el día 147, representando un 60 % de reducción. Así como la ganancia de peso vivo desbastado, la ganancia de peso de res disminuyó a aumentar los días en engorde, pero a una menor tasa (Figura 5.a). La transferencia de la ganancia de peso vivo desbastado a ganancia de peso de res (relación ganancia de peso de res sobre ganancia de peso vivo desbastado) aumentó a tasas crecientes con la extensión del período de terminación (Figura 5.b). A los 64 días en engorde la transferencia fue de 0,67 kg kg⁻¹, mientras que a los 147 días en engorde la misma fue de 0,86 kg kg⁻¹, representando un incremento del 28 %.

El CMS presentó un patrón cúbico en su evolución a lo largo del período de terminación (Figura 6.a). El pico de CMS se alcanzó aproximadamente a los 50 días en engorde (12,2 kg MS día⁻¹), a partir del cual comenzó a disminuir tendiendo a estabilizarse alrededor de los 130 días en engorde en 10,3 kg MS día⁻¹. El CMS relativo expresado como porcentaje del peso vivo desbastado (Figura 6.b) también presentó una respuesta cúbica, alcanzando un pico de 3,25 % del peso vivo desbastado día⁻¹ a los 23 días en engorde y disminuyendo a partir de entonces hasta alcanzar valores de 2,17 % del peso vivo desbastado día⁻¹ a los 147 días en engorde.

a)



b)

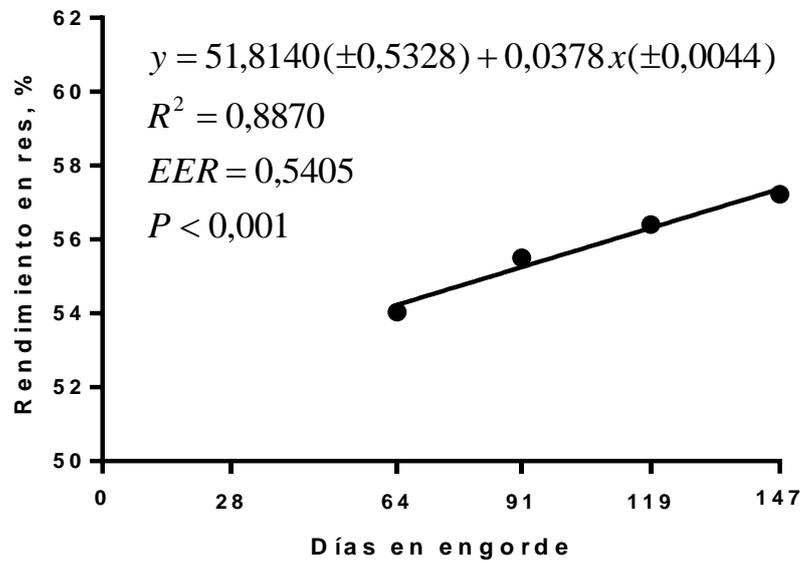
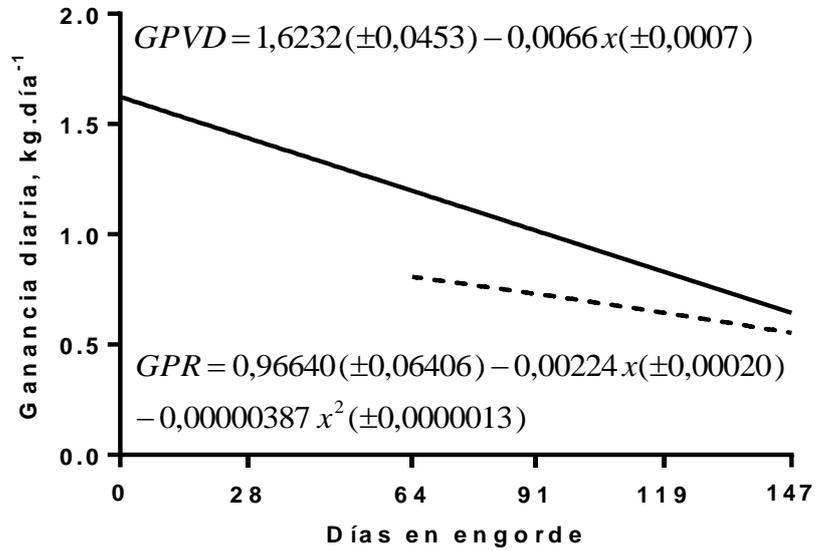


Figura 4. Evolución a través del período de terminación a corral **a)** del peso vivo desbastado y **b)** del porcentaje de rendimiento en res de novillos. Los círculos indican el rendimiento medio de cada duración del engorde. EER: Error estándar residual. Se indica la significancia de los componentes lineal (L) y cuadrático (Q).

a)



b)

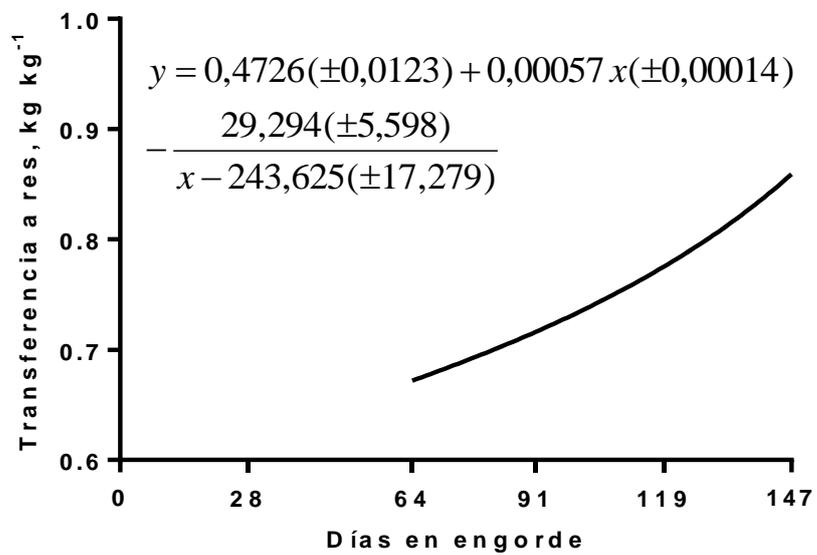
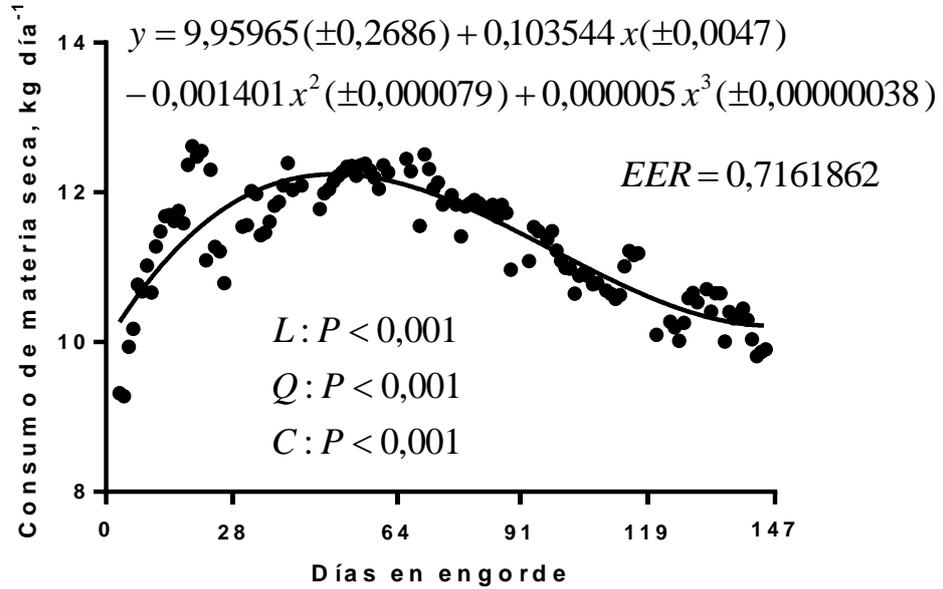


Figura 5. Evolución a través del período de terminación a corral **a)** de la ganancia de peso vivo desbastado (GPVD, línea sólida), de la ganancia de peso de res (GPR, línea de guiones) y **b)** de la transferencia a res de novillos.

a)



b)

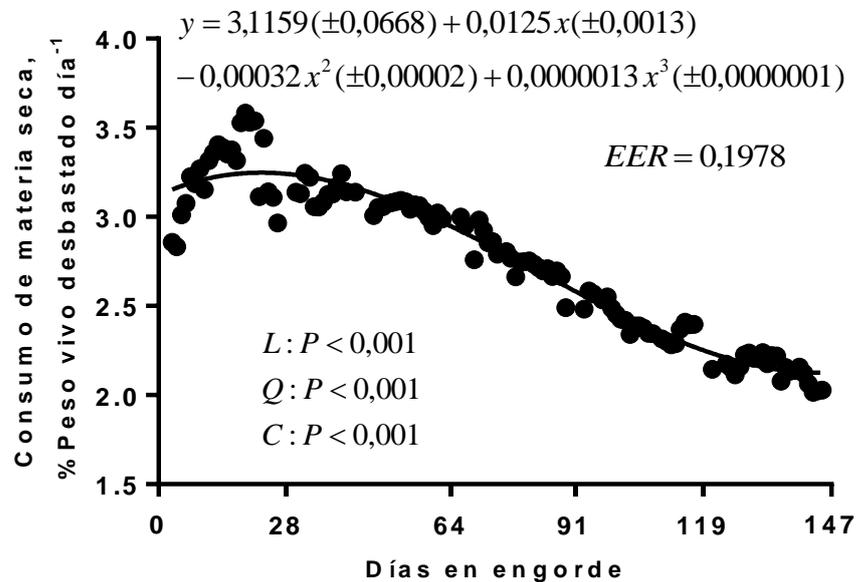
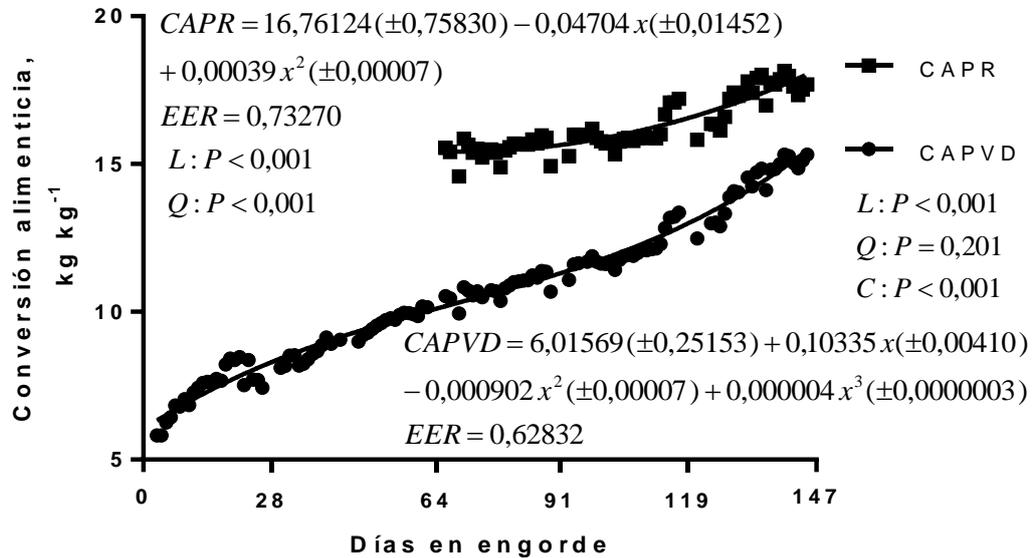


Figura 6. Evolución del consumo de materia seca en **a)** kg día^{-1} y en **b)** porcentaje del peso vivo desbastado día^{-1} a través del período de terminación a corral de novillos. Los círculos indican el consumo de materia seca medio diario. EER: Error estándar residual. Se indica la significancia de los componentes lineal (L), cuadrático (Q) y cúbico (C).

La conversión alimenticia a nivel de ganancia de peso vivo desbastado aumentó con la extensión del engorde con una respuesta cúbica (Figura 7.a). El punto de inflexión (cambio de incrementos a tasas decrecientes a incrementos a tasas crecientes) se alcanzó a los 69 días en engorde, donde la conversión alimenticia a peso vivo desbastado fue de $10,3 \text{ kg kg}^{-1}$. Pasando esta duración del engorde, dicha conversión aumentó a tasas crecientes. Por su parte, la conversión alimenticia a nivel de peso de res mostró una respuesta cuadrática, permaneciendo relativamente estable desde la primera hasta la tercera faena (64 a 119 días en engorde). Dentro de este período, la tasa de aumento de la conversión alimenticia a peso de res fue menor ($P < 0,001$) a la tasa de incremento de la conversión alimenticia a peso vivo desbastado (Figura 7.b). En el día 64 la conversión alimenticia a peso de res fue 52 % más alta que a nivel de peso vivo desbastado, pero en el día 119 fue solo 28 % más alta. En el siguiente período, entre los 119 y 147 días, la conversión alimenticia a peso vivo desbastado aumentó de $12,99 \text{ kg kg}^{-1}$ a $15,76 \text{ kg kg}^{-1}$, mientras que la conversión alimenticia a peso de res se incrementó de $16,69 \text{ kg kg}^{-1}$ a $18,27 \text{ kg kg}^{-1}$. Sin embargo, las tasas de incremento de ambas conversiones dentro de este período sólo tendieron a ser diferentes ($P = 0,061$; Figura 7.b).

a)



b)

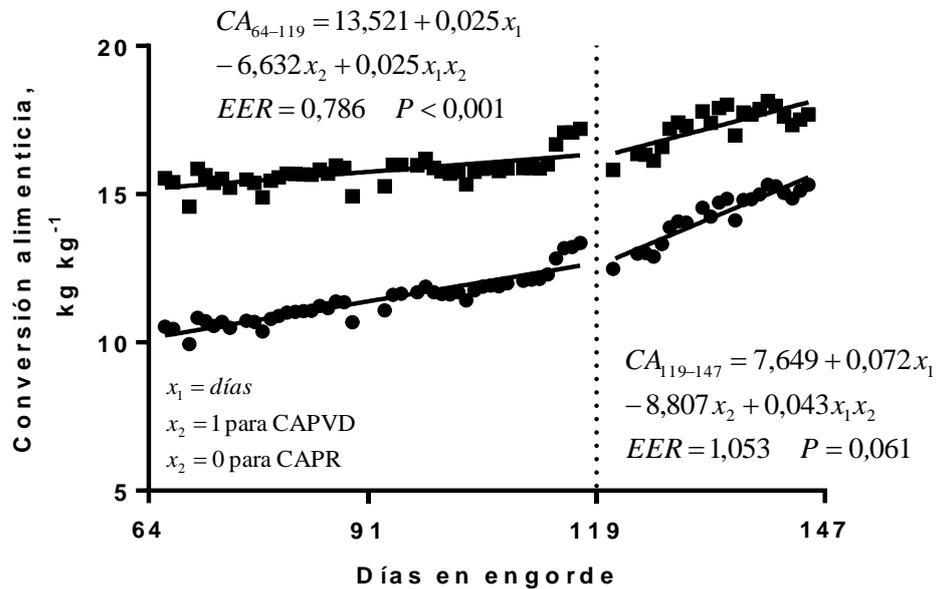


Figura 7. a) Evolución de la conversión alimenticia a nivel de peso vivo desbastado (CAPVD, círculos) y a nivel de peso de res (CAPR, cuadrados) a través del período de terminación a corral de novillos. EER: Error estándar residual. Se indica la significancia de los componentes lineal (L), cuadrático (Q) y cúbico (C). **b)** Comparación de la tasa de aumento de la conversión alimenticia de novillos terminados a corral para los períodos de 64 a 119 (CA_{64-119}) y de 119 a 147 ($CA_{119-147}$) días en engorde. Los círculos y cuadrados indican la CAPVD y la CAPR media diaria, respectivamente. El P valor indica la significancia en la diferencia de las pendientes para las distintas conversiones alimenticias para cada subperíodo.

4.2. Características de res

El AOB, EGD y el nivel de marmoreo medidos en frigorífico se incrementaron linealmente ($P < 0,05$) con la extensión del engorde (Tabla 3). Sin embargo, hubo una tendencia cuadrática con incrementos a tasas decrecientes para el AOB ($P = 0,070$), como así también una tendencia cuadrática negativa para el nivel de marmoreo ($P = 0,099$). El EGD aumentó un 85 % desde la menor a la mayor duración del engorde, mientras que el AOB y el nivel de marmoreo tuvieron un incremento de 14 y 16 %, respectivamente. El peso de res aumentó de manera lineal ($P < 0,001$) y cúbica ($P = 0,035$) con la extensión del engorde, mientras que el AOB por cada 100 kg de peso de res disminuyó de manera lineal ($P = 0,010$).

Tabla 3. Efecto de la extensión del período de terminación a corral de novillos sobre las características de res.

	Días en engorde				EER ²	Significancia ¹		
	64	91	119	147		L	Q	C
Peso de res, kg	226,4	243,3	268,6	281,3	3,63	<0,001	0,198	0,035
AOB ³ , cm ²	57,6	62,6	66,3	65,8	2,74	0,001	0,070	0,679
EGD ⁴ , mm	7,1	7,4	11,1	13,2	1,38	<0,001	0,250	0,160
Marmoreo ⁵	4,17	4,50	5,09	4,85	0,32	0,005	0,099	0,166
AOB Peso de res ⁻¹ , cm ² 100 kg ⁻¹	25,5	25,8	24,7	23,4	1,04	0,010	0,154	0,598
pH 3 h PM ⁶	6,26	6,16	6,19	6,20	0,06	0,285	0,150	0,326
Temp. 3 h PM, °C	19,5	26,0	26,0	32,2	0,97	<0,001	0,786	<0,001
pH final	5,59	5,48	5,58	5,45	0,02	<0,001	0,601	<0,001
Temp. final, °C	3,88	4,49	3,21	4,95	0,12	<0,001	<0,001	<0,001
Color del músculo								
L	37,03	36,48	40,48	37,28	0,68	0,012	0,003	<0,001
a	14,90	15,11	17,25	15,80	0,91	0,042	0,094	0,026
b	13,48	13,41	15,37	13,72	0,56	0,059	0,017	0,001
Color de la grasa								
L	71,36	72,78	69,84	70,71	1,05	0,065	0,652	0,007
a	3,08	2,93	4,71	4,24	0,61	0,004	0,565	0,014
b	14,77	15,70	15,28	15,57	0,49	0,104	0,225	0,088

¹ Significancia de los efectos lineal (L), cuadrático (Q) y cúbico (C) de los días en engorde.

² Error estándar residual del modelo.

³ Área de ojo de bife entre la 12° y 13° costilla.

⁴ Espesor de grasa dorsal entre la 12° y 13° costilla.

⁵ Marmoreo según USDA: *slight*, 3,0; *small*, 4,0; *modest*, 5,0; *moderate*, 6,0.

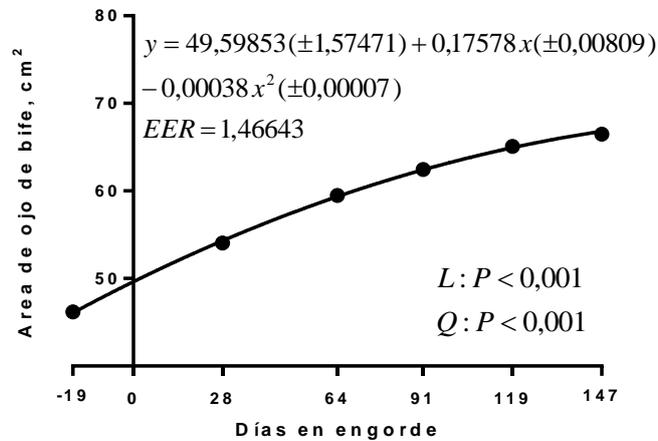
⁶ PM: *Post-mortem*.

En cuando a la evolución de las características de res medidas por ecografías, el AOB presentó un incremento a tasas decrecientes (Figura 8.a). Las tasas de aumento se redujeron de 5,27 a 1,92 cm² mes⁻¹ desde el comienzo del engorde hasta los 147 días, lo cual implica una reducción de la tasa del 64 %. Por su parte, el EGD presentó un aumento a tasas crecientes con la extensión del período de terminación (Figura 8.b), las tasas de engrasamiento aumentaron de 1,21 mm EGD mes⁻¹ al día cero, a tasas de 2,44 mm EGD mes⁻¹ a los 147 días, lo que representa un aumento en la tasa del 101 %. Por otro lado, el nivel de marmoreo presentó un incremento cuadrático a tasas crecientes (Figura 8.c), presentando una tasa de aumento de 0,15 mes⁻¹ al inicio del engorde y una tasa de 0,28 mes⁻¹ a los 147 días, lo que representa un aumento en la tasa del 87 %.

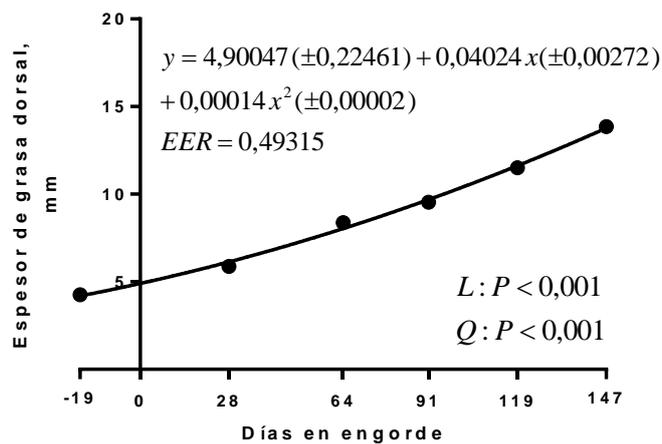
La temperatura del músculo *longissimus dorsi* a las 3 horas *post-mortem* incrementó ($P < 0,001$) cuando se extendió el engorde más allá del punto de terminación definido como habitual, mientras que el pH del músculo a las 3 horas *post-mortem* no fue afectado ($P \geq 0,15$; Tabla 3). El pH y la temperatura finales presentaron una respuesta cúbica ($P < 0,001$) con medias de pH entre 5,45 y 5,59 (desvío estándar de la media = 0,07) y de temperatura entre 3,21 y 4,95 °C (desvío estándar de la media = 0,68 °C). Tanto para el músculo como para la grasa subcutánea los parámetros de color fueron afectados por los días en engorde ($P < 0,05$), a excepción del valor b^* de la grasa subcutánea que sólo presentó una tendencia cúbica ($P = 0,088$). Todos los demás parámetros presentaron una respuesta cúbica ($P < 0,05$), principalmente asociada a mayores valores para músculo y menores para la grasa a los 119 días en engorde.

La composición de la res, estimada por la composición del corte conteniendo la 10°, 11° y 12° costilla (Tabla 4), presentó un incremento lineal ($P < 0,001$) con una tendencia cuadrática ($P = 0,074$) en la proporción de grasa con el aumento de los días en engorde. Este aumento en el contenido total de lípidos ocurrió a expensas de las proporciones de tejido magro y de hueso ($P < 0,01$). La proporción de tejido magro disminuyó a pesar del incremento de su peso. Por otra parte, la disminución en la proporción de hueso se debió a que el peso de hueso se mantuvo constante con la extensión del engorde.

a)



b)



c)

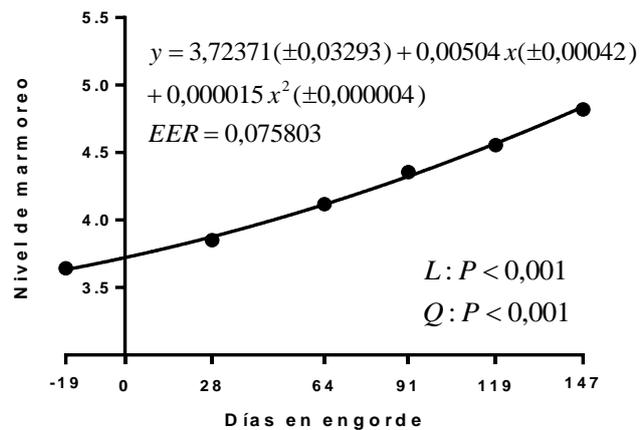


Figura 8. Evolución a través del período de terminación a corral de novillos del **a)** área de ojo de bife, **b)** el espesor de grasa dorsal y **c)** el nivel de marmoreo a nivel de la 12^o costilla medidos por ecografías. Marmoreo según USDA: *slight*, 3.0; *small*, 4.0; *modest*, 5.0; *moderate*, 6.0. Los círculos indican los valores medios. EER: Error estándar residual del modelo. Se indica la significancia de los componentes lineal (L) y cuadrático (Q).

Tabla 4. Efecto de la extensión del período de terminación a corral de novillos sobre la composición del bloque de bifés.

	Días en engorde				EER ²	Significancia ¹		
	64	91	119	147		L	Q	C
Composición del bloque ³								
Peso total, kg	2,97	3,39	3,37	3,55	0,08	<0,001	0,012	0,004
Lípidos totales ⁴ , %	21,5	25,5	26,8	28,3	1,27	<0,001	0,074	0,296
Tejido magro total, %	53,3	51,3	50,0	49,8	1,47	0,006	0,255	0,963
Hueso, %	25,6	23,4	23,5	22,6	1,10	0,005	0,255	0,201

¹ Significancia de los efectos lineal (L), cuadrático (Q) y cúbico (C) de los días en engorde.

² Error estándar residual del modelo.

³ Sección de bifés conteniendo la 10°, 11° y 12° costilla.

⁴ Contempla el extracto etéreo del músculo separable del bloque de bifés.

4.3. Resistencia al corte del *longissimus dorsi*

La resistencia al corte de bifés con 3 días de maduración tendió a disminuir de manera lineal ($P = 0,066$) con el incremento de los días en engorde, mientras que no hubo efecto ($P \geq 0,271$) con maduraciones de 14 días (Tabla 5). Las pérdidas por cocción disminuyeron linealmente con la extensión del engorde cuando la maduración fue de 3 días ($P = 0,007$), mientras que con 14 días de maduración las mismas no difirieron ($P \geq 0,206$). La longitud de los sarcómeros mostró una respuesta cúbica ($P = 0,038$) a la extensión del engorde, pero los efectos lineal y cuadrático no fueron significativos ($P \geq 0,231$), siendo la longitud promedio $\geq 1,90 \mu\text{m}$ (desvío estándar de la media = $0,04 \mu\text{m}$) en las cuatro faenas. El IFM no varió ($P \geq 0,166$) entre las diferentes duraciones del período de terminación. El contenido de grasa intramuscular del *longissimus dorsi* aumentó de manera lineal ($P < 0,001$), cúbica ($P = 0,037$) y con una tendencia cuadrática ($P = 0,073$) con la mayor cantidad de días en engorde.

Tabla 5. Efecto de la extensión del período de terminación a corral de novillos sobre la resistencia al corte del *longissimus dorsi* y su contenido de lípidos.

	Días en engorde					Significancia ¹		
	64	91	119	147	EER ²	L	Q	C
Resistencia al corte, N								
3 días de maduración	49,1	43,4	44,0	38,0	6,97	0,066	0,965	0,425
14 días de maduración	34,6	32,9	31,8	32,1	3,19	0,271	0,544	0,929
Pérdidas por cocción, %								
3 días de maduración	28,7	27,8	27,0	26,4	1,0	0,007	0,785	0,757
14 días de maduración	26,2	28,4	26,3	26,5	2,1	0,783	0,313	0,206
Grasa intramuscular, %	2,74	5,28	5,85	7,33	0,54	<0,001	0,073	0,037
Largo de sarcómero, μm	1,96	1,92	1,98	1,90	0,04	0,231	0,374	0,038
IFM ³	80,7	84,2	80,5	73,0	8,0	0,166	0,209	0,834

¹ Significancia de los efectos lineal (L), cuadrático (Q) y cúbico (C) de los días en engorde.

² Error estándar residual del modelo.

³ Índice de fragmentación miofibrilar 72 horas *post-mortem*.

4.4. Costo marginal de la ganancia de peso

Las evoluciones del costo marginal de la ganancia de peso vivo desbastado y de peso de res con la extensión del período de terminación copiaron las respectivas evoluciones de las conversiones alimenticias (Figura 9). Para todas las duraciones del engorde superiores al nivel de terminación habitual de mercado, el precio de venta libre de gastos fue menor al costo marginal, tanto en base al peso vivo desbastado como en base al peso de res. Incluso, el costo marginal de la ganancia de peso fue mayor al precio de venta a los 64 días en engorde. La duración óptima económica no se identificó dentro del rango de las faenas realizadas (64 y 147 días en engorde).

Con la extensión del engorde desde la terminación habitual el costo marginal a nivel de peso de res pasó de ser 15 % superior al precio de venta libre de gastos a los 64 días en engorde a 40 % superior a los 147 días en engorde, mostrando el impacto económico negativo de extender el engorde. Por su parte, el costo marginal a nivel de peso vivo desbastado pasó de ser 31 % a 109 % superior al precio de venta libre de gastos en el mismo período, indicando un mayor deterioro relativo respecto a las ventas a peso de res.

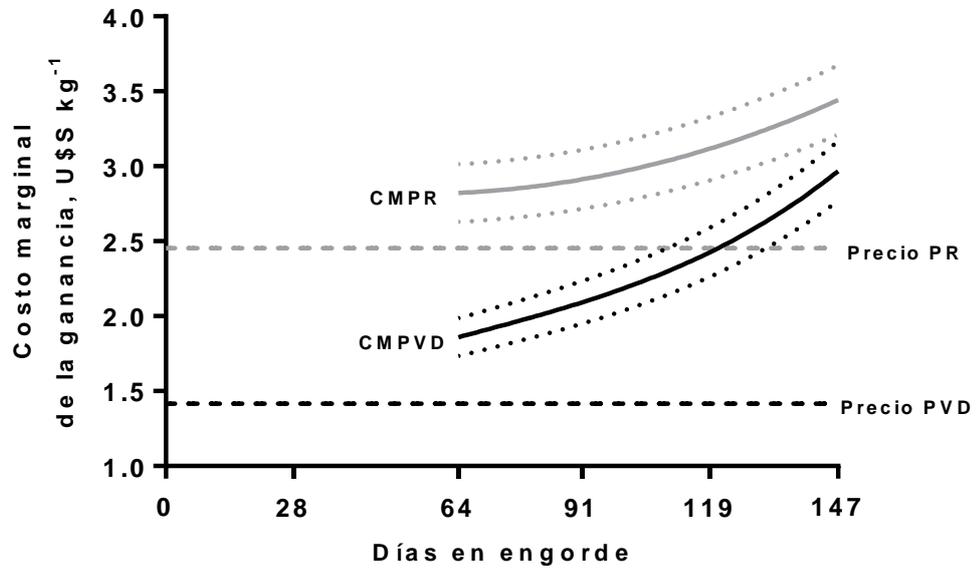


Figura 9. Evolución del costo marginal de la ganancia de peso de res (CMPR) y de peso vivo desbastado (CMPVD) a través de la extensión del período de terminación a corral de novillos. Las bandas en línea de puntos indican los costos marginales con escenarios de precio de maíz en +/- 10 %. Se indica el precio de venta libre de gastos en base al peso de res (Precio PR) y en base al peso vivo desbastado, al cual además se le aplica un 4 % de desbaste adicional (Precio PVD).

5. DISCUSIÓN

5.1. Desempeño productivo

La reducción lineal en tasa de ganancia de peso vivo desbastado con el aumento de los días en engorde podría explicarse por el aumento en los requerimientos de energía para mantenimiento ligado al incremento en el peso metabólico, sumado a la mayor energía retenida en la ganancia de peso (NRC, 1996). Este último aumento se evidenció por el incremento lineal en la proporción de grasa en la sección de la 10^o, 11^o y 12^o costilla, por la respuesta cuadrática positiva del EGD, la respuesta cuadrática negativa del AOB y la disminución lineal del AOB cada 100 kg de peso de res. Además, la disminución de la ganancia de peso vivo desbastado en la medida que el período de terminación fue extendido estuvo asociada a una reducción en el CMS, tanto en porcentaje del peso vivo desbastado día⁻¹ como en kg MS día⁻¹, y, por ende, en la energía consumida. Por lo tanto, hubo una reducción en el consumo de energía neta para ganancia de peso (NRC, 1996).

La evolución del CMS a través del engorde descrita fue similar a la reportada por Hicks *et al.* (1990), a pesar de no mantenerse estable o presentar un leve aumento como indicaron Bondurant *et al.* (2016) y Wilken *et al.* (2015), respectivamente. Wilken *et al.* (2015) esperaban que el CMS se mantuviese estable y atribuyeron el aumento del mismo a una respuesta a las bajas temperaturas otoñales.

Hicks *et al.* (1990) señalaron que novillos recriados en forma previa al ingreso a corral, alcanzaron el máximo CMS alrededor de los 50 días en engorde, y el mismo comenzó a disminuir al final de período de terminación. Respecto al CMS relativo al peso vivo desbastado, Hicks (1988) reportó que los animales que ingresaron a la terminación a corral con pesos vivos entre 290 y 340 kg presentaron un pico de CMS relativo entre 2,6 y 2,8 % del peso vivo día⁻¹. Luego, comenzó a disminuir hasta alcanzar valores entre 1,7 y 1,9 % del peso vivo día⁻¹ cuando el peso vivo llegó a los 500 kg. En el presente trabajo el tipo de respuesta fue similar, aunque con valores superiores, en donde el CMS relativo tuvo un máximo de 3,25 % del peso vivo desbastado día⁻¹ a los 23 días en engorde y se redujo al 2,17 % del peso vivo desbastado día⁻¹ a los 147 días en engorde, con un peso vivo desbastado promedio de 492 kg. Este mayor CMS relativo, teniendo presente que el rango de pesos fue similar, podría deberse a una mayor concentración energética de la dieta en el trabajo de Hicks (1988), que sólo incluyó un 10 % de forraje voluminoso en la misma. También se podría atribuir a diferencias en el

manejo previo al ingreso a corral de los animales, ya que restricciones en el CMS pueden generar mayores CMS relativos en la realimentación posterior (Hicks, 1988).

En el mismo sentido, Hyer *et al.* (1986) indicaron que el CMS comenzó a declinar cuando el nivel de grasa alcanzó un 32 % del peso vacío, independientemente del peso al inicio de la terminación, sugiriendo que las reservas de grasa corporal ejercen un control sobre el nivel de CMS. Esta regulación lipostática del CMS estaría mediada por la leptina, una hormona producida por los adipocitos que deprimen el CMS al regular la síntesis y liberación de neuropéptidos orexigénicos y anorexigénicos en el hipotálamo (Ingvarsen y Boisclair, 2001). La concentración de leptina en plasma, que tiene una correlación positiva con el EGD, aumenta a través del período de engorde (Vega *et al.*, 2004; Foote *et al.*, 2016) y ésta pudo ser la causa de la disminución del CMS observada.

En el presente trabajo, el CMS se redujo de 12,12 a 10,28 kg MS día⁻¹ entre los 64 y los 147 días en engorde, mientras que el porcentaje de lípidos en el bloque de bifes conteniendo la 10°, 11° y 12° costilla aumentó de 21,5 a 28,3 %. Esto indica una caída de 2,2 % del CMS (en kg día⁻¹) por cada punto de incremento en el porcentaje de grasa en el bloque de bifes. De manera similar, Fox *et al.* (1988) sugirieron una disminución del 2,7 % por cada punto de incremento en el porcentaje de grasa corporal, dentro del rango de 21 y 32 %.

Otra explicación posible de la reducción del CMS sería la disminución del crecimiento muscular como impulsor del mismo, tal como se evidenció en la merma en la tasa de crecimiento del AOB, ya que los novillos fueron acercándose a su peso adulto con el avance de la terminación. En este sentido, Webster (1993) sugirió que el CMS es dominado por el ímpetu de crecimiento del tejido muscular. Bajo este supuesto, en los trabajos de Wilken *et al.* (2015) y Bondurant *et al.* (2016) el uso de implantes hormonales pudo haber sostenido el crecimiento muscular (Johnson *et al.*, 2013) y, por lo tanto, los niveles de CMS. Al respecto, Hermesmeier *et al.* (2000) encontraron un incremento del 5 % en el CMS promedio en animales con implantes (TBA/E₂) en comparación con aquellos no implantados.

El incremento lineal del rendimiento en res al extender la duración de la terminación está en concordancia con las observaciones de otros autores (May *et al.*, 1992; Bruns *et al.*, 2004; Winterholler *et al.*, 2007; Vasconcelos *et al.*, 2008). Ésta respuesta en rendimiento en res es consecuencia de un aumento en la transferencia a res con la extensión del período de engorde. El cálculo de la transferencia a res fue abordado mediante regresiones, ya que el análisis en base a los períodos entre faenas puede

llevar a un importante sesgo, como fue sugerido por Streeter *et al.* (2012). En este sentido, reportes previos describen, mediante el uso de regresiones, que la transferencia a res aumenta a través del período de terminación (MacDonald *et al.*, 2007; Wilken *et al.*, 2015). Estos autores indicaron que la transferencia a res alcanzó valores de 0,90 kg kg⁻¹ en su nivel de terminación final de 12 mm de EGD. Estos resultados son comparables con los obtenidos en el presente estudio, en el cual la transferencia a res llegó a 0,86 kg kg⁻¹ cuando se alcanzaron los 13,8 mm de EGD (se indicará de aquí en adelante el EGD predicho por el modelo de ecografías a los fines de comparar con trabajos previos).

La transferencia a res es la proporción de la ganancia de peso vivo que efectivamente corresponde con la ganancia de peso de res. El aumento de la misma con la extensión del engorde indica que hay una reducción relativa del llenado gastrointestinal y un crecimiento alométrico positivo de los componentes del peso vivo que conforman a la res y alométrico negativo de aquellos que no conforman la res (Streeter *et al.*, 2012). No obstante, la restricción impuesta en este estudio al CMS de la dieta previo al pesaje de los novillos reduciría la contribución del llenado gastrointestinal en la variación de la transferencia a res. La reducción en el llenado gastrointestinal se evidenció por la respuesta cuadrática negativa en el porcentaje de desbaste. Esto sugiere que el tracto gastrointestinal alcanza su máximo tamaño antes que otros componentes de la res (Rohr y Daenicke, 1984; Owens *et al.*, 1995). En este sentido, Carstens *et al.* (1991) encontraron que, cuando los novillos fueron alimentados *ad libitum*, el peso de res tuvo una mayor tasa de crecimiento relativo, no sólo respecto al peso vivo lleno sino también al peso vacío (i. e. tracto gastrointestinal vacío). Por el contrario, otros componentes que no contribuyen al peso de res, tales como el cuero, la cabeza, las patas y el hígado presentaron menores tasas de crecimiento relativo al peso vacío. Además, los autores señalaron que la tasa de crecimiento relativo a la masa libre de grasa fue también mayor para los componentes de la res y menor para los demás componentes que no contribuyen al peso de res. Respecto al crecimiento del tejido adiposo, la deposición de grasa subcutánea e intramuscular (en conjunto) podría superar la deposición de grasa visceral, ya que este depósito es más precoz (Owens *et al.*, 1993; Sainz y Hasting, 2000), contribuyendo también al incremento de la transferencia a res.

La conversión alimenticia a peso vivo desbastado aumentó con la extensión del período de terminación en el presente estudio, coincidiendo con lo informado por otros autores (MacDonald *et al.*, 2007; Winterholler *et al.*, 2007; Vasconcelos *et al.*, 2008;

Wilken *et al.*, 2015; Bondurant *et al.*, 2016). El punto de inflexión de esta conversión alimenticia se alcanzó con un nivel de terminación de 8,3 mm de EGD (día 69), apenas después del nivel de terminación habitual de mercado. Esto indica que pasados los 8 mm de EGD la conversión alimenticia a peso vivo desbastado aumenta a tasas crecientes, lo cual podría atribuirse a la disminución de la ganancia de peso vivo desbastado, el aumento en los requerimientos de mantenimiento y el incremento del costo energético cómo se describió anteriormente.

Por otro lado, la conversión alimenticia a peso de res permaneció relativamente estable con el aumento de los días en engorde a partir del nivel de terminación de mercado de 8 mm de EGD (64 días) hasta aproximadamente los 119 días, donde se alcanzaron los 11,7 mm de EGD. La estabilidad en la conversión alimenticia en base al peso de res se podría atribuir principalmente al incremento en la transferencia a res. Sin embargo, cuando la duración del engorde se extendió por más de 119 días, superando los 11,7 mm de EGD, la conversión alimenticia a peso de res empeoró marcadamente. Esto se debería al incremento en la energía retenida en la ganancia de peso que pudo sobrepasar al efecto del aumento en la transferencia a res, ya que el crecimiento muscular se redujo mientras que la deposición de grasa aumentó como fue descrito anteriormente.

Otro aspecto a tener en cuenta al considerar el desempeño animal es el confort de los animales en corrales de piso de cemento. En este sentido, Brscic *et al.* (2015) encontraron una mejora del 5 % en ganancia de peso vivo en engordes largos, entre 7 y 9 meses, con el uso de alfombras de goma para cubrir el piso de cemento. Sin embargo, Earley *et al.* (2015) no encontraron diferencias en desempeño productivo en engordes de 148 días al comparar piso de cemento y piso de cemento cubierto con alfombra de goma. Esto último, sumado a la ausencia de signos clínicos de laminitis en el presente trabajo, permite inferir que el piso de cemento no habría perjudicado el desempeño de aquellos animales que permanecieron 147 días en engorde y que el deterioro en la conversión observado se debería principalmente al cambio en la composición de la ganancia de peso.

Es importante destacar que, a pesar de que el tipo de respuesta de la conversión alimenticia diaria fue similar a la reportada por Wilken *et al.* (2015), existe una amplia diferencia en los valores de conversión alimenticia diaria hallados en el presente trabajo. Wilken *et al.* (2015) reportaron conversiones alimenticias medias diarias a peso vivo entre 5,29 y 7,51 kg kg⁻¹, y conversiones alimenticias medias diarias a peso de res entre

8,01 y 9,05 kg kg⁻¹, mientras que en este experimento, estuvieron entre 6,02 y 15,76 kg kg⁻¹ para peso vivo desbastado, y entre 15,34 y 18,27 kg kg⁻¹ para peso de res. Esto marca una amplia diferencia en eficiencia que se podría atribuir, al menos parcialmente, al mayor *frame* y al uso de implantes hormonales en los experimentos analizados por Wilken *et al.* (2015), que aumentan el potencial de crecimiento. En este caso, las diferencias no serían atribuibles a la dieta ya que analizaron experimentos con dietas variadas, conteniendo entre 40 y 75 % de grano de maíz (rolado seco o húmedo) y entre 0 y 40 % de subproductos de la molienda húmeda de maíz y sin el uso de agonistas β -adrenérgicos.

En los ensayos analizados por Wilken *et al.* (2015) se utilizaron implantes combinados de TBA/E₂, que generan una mejora en la conversión alimenticia y un aumento en el tejido magro (Hermesmeyer *et al.*, 2000; Johnson *et al.*, 2013). Esto ocurre debido a un incremento en la producción de IGF-1 en el músculo, lo que promueve la síntesis y reduce la degradación de proteínas musculares, estimulando en primera instancia la hipertrofia y luego la hiperplasia muscular (Johnson *et al.*, 2013). Esto genera que los animales implantados deban ser alimentados por períodos más largos y a mayores pesos finales para alcanzar un mismo nivel de terminación (Johnson *et al.*, 2013). En el mismo sentido, Maxwell *et al.* (2015) indicaron una mejora en la conversión alimenticia a peso vivo del 26,6 % en novillos implantados con TBA/E₂ y con monensina y tylosina en la dieta, respecto de novillos bajo un sistema natural sin implantes ni antibióticos. Cuando además de estas tecnologías se incorporó el uso de agonistas β -adrenérgicos, la mejora en conversión alimenticia a peso vivo respecto del sistema natural fue del 33 % (Maxwell *et al.*, 2015).

Las diferencias en potencial de crecimiento, debidas al *frame*, reguladores de crecimiento o ambas, se denotan al comparar el peso vivo a un mismo nivel de engrasamiento. En estudios realizados en Estados Unidos, se obtuvieron pesos vivos medios entre 529 y 625 kg con una terminación de alrededor de 12 mm de EGD (Van Koeveering *et al.*, 1995; Vasconcelos *et al.*, 2008; Wilken *et al.*, 2015; Bondurant *et al.*, 2016), mientras que en el presente trabajo, con 11,7 mm de EGD, el peso vivo medio fue de 470 kg. Por otra parte, estas diferencias también se evidencian al evaluar la tasa de crecimiento del AOB, que se discute en la siguiente sección.

5.2. Características de res

La evolución de las características de res a través del período de terminación fue descrito mejor por los modelos generados con las mediciones ecográficas (finales e intermedias), en comparación con los generados con las mediciones finales hechas sobre la res en el frigorífico, ya que permitieron detectar efectos cuadráticos significativos. Esto se podría atribuir a un mayor rango de días evaluados y a las medidas repetidas sobre los mismos animales a lo largo de la terminación.

La tendencia de aumentos decrecientes del AOB medida en frigorífico fue significativa en los modelos generados con las mediciones ecográficas, disminuyendo de tasas de crecimiento de 5,27 a 1,92 cm² mes⁻¹ desde el comienzo del engorde hasta los 147 días en engorde. El AOB predicha por el modelo de ecografías fue de 49,6, 59,3 y 67,2 cm² a los 0, 64 y 147 días en terminación. En primer lugar, el aumento a tasas decrecientes del AOB coincidió con la respuesta reportada por Bondurant *et al.* (2016), quienes obtuvieron tasas de crecimiento de 8,75 cm² mes⁻¹ al comienzo del engorde, disminuyendo hasta valores de 1,59 cm² mes⁻¹ a los 185 días en engorde. A su vez, concuerda con las tasas decrecientes del AOB encontradas al analizar los resultados de Bruns *et al.*, (2004) en función de los días en engorde, donde las tasas pasaron de 7,09 a 0 cm² mes⁻¹ desde el comienzo del engorde hasta los 245 días. En segundo lugar, las mayores tasas de crecimiento iniciales y áreas al *plateau* alcanzadas (entre 74,6 y 99,1 cm²) en los antecedentes revisados (May *et al.*, 1992; Van Koevering *et al.*, 1995; Bruns *et al.*, 2004; Vasconcelos *et al.*, 2008; Bondurant *et al.*, 2016), evidencian el menor tamaño adulto de los animales del presente estudio.

Como fue señalado anteriormente, el *frame* y el uso de reguladores de crecimiento impactan sobre el tamaño adulto y sobre el crecimiento muscular (McPhee *et al.*, 2006; Johnson *et al.*, 2013; Maxwell *et al.*, 2015). En este sentido, las diferencias entre las tasas de aumento de AOB (5,27 vs 7,09 cm² mes⁻¹) y su máximo valor (67,2 vs 74,6 cm²) entre el presente trabajo y los obtenidos por Bruns *et al.* (2004) se deberían a las diferencias en *frame*, ya que dichos autores no utilizaron implantes hormonales ni agonistas β-adrenérgicos. Por el contrario, estas diferencias fueron más amplias cuando se compararon con antecedentes que utilizaron implantes hormonales, tanto para las tasas de aumento iniciales (5,27 vs 8,75 cm² mes⁻¹; Bondurant *et al.*, 2016) como para el valor máximo alcanzado de AOB (67,2 vs 99,1 cm²; May *et al.*, 1992; Van Koevering *et al.*, 1995; Vasconcelos *et al.*, 2008; Bondurant *et al.*, 2016).

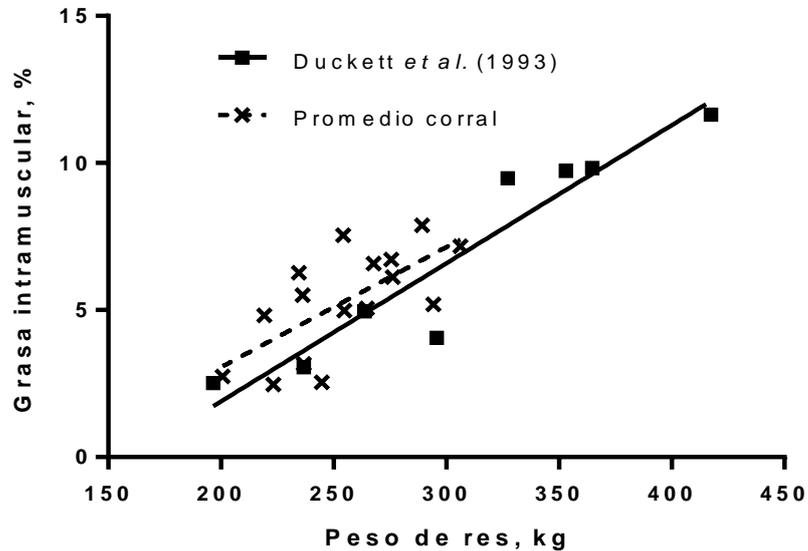
El aumento a tasas crecientes del EGD no coincide con las respuestas lineales encontradas por varios autores (May *et al.*, 1992; Van Koevering *et al.*, 1995; Vasconcelos *et al.*, 2008). Si bien Bruns *et al.* (2004) también reportaron incrementos a tasas crecientes, esta respuesta fue en función del peso de res y no de la duración del engorde. Al disminuir la tasa de ganancia de peso de res en la medida que avanza el engorde, la respuesta encontrada por Bruns *et al.* (2004) tendería a la linealidad al expresarse en función de los días en engorde. Esta diferencia fue esperable y se podría atribuir al *frame* chico a mediano de los animales del presente estudio (Di Marco, 2006; McPhee *et al.*, 2006), como también a la no utilización de reguladores de crecimiento (Johnson *et al.*, 2013) que explicarían un menor crecimiento muscular y mayor engrasamiento comparado con los experimentos realizados por May *et al.* (1992), Van Koevering *et al.* (1995) y Vasconcelos *et al.* (2008). Sin embargo, el aumento de las tasas de engrasamiento obtenido, de 1,21 a 2,44 mm de EGD mes^{-1} , se encuentra dentro del rango promedio esperado de 1,3 a 2,8 mm EGD mes^{-1} (May *et al.*, 1992; Bruns *et al.*, 2004; Vasconcelos *et al.*, 2008). Además, Bondurant *et al.* (2016) también reportaron incrementos a tasas crecientes del EGD con avance del período de terminación.

Por otro lado, el aumento cuadrático a tasas crecientes del nivel de marmoreo no coincidió con la respuesta cuadrática decreciente señalada por otros autores (May *et al.*, 1992; Van Koevering *et al.*, 1995; Vasconcelos *et al.*, 2008). Nuevamente la respuesta lineal señalada por Bruns *et al.* (2004) fue relativa al peso de res, pero mantuvo la linealidad al expresarse en función de los días en engorde. Sin embargo, la respuesta coincidió con la reportada por Bondurant *et al.* (2016). Al igual que para AOB y EGD, el *frame* y el uso de reguladores de crecimiento pueden influir sobre la tasa de aumento del porcentaje de grasa intramuscular (McPhee *et al.*, 2006; Johnson *et al.*, 2013).

Según Pethick *et al.* (2004), quienes revisaron resultados de Duckett *et al.* (1993), la deposición de grasa intramuscular ocurre en tres fases: una etapa temprana donde la grasa intramuscular permanece en valores bajos y casi constantes, una fase de crecimiento lineal y seguidamente un *plateau* en la deposición cuando el tamaño adulto maduro es alcanzado. Los autores sugirieron que el incremento lineal ocurre porque la deposición de grasa intramuscular relativa al contenido total de grasa se mantiene constante mientras que la tasa de crecimiento muscular disminuye.

En el presente estudio, la deposición de grasa intramuscular, con la extensión del engorde pasando el nivel de terminación de 8 mm de EGD, permaneció dentro de la fase lineal (Figura 10). Por otro lado, la etapa previa a la primera faena coincidiría con la de lenta deposición, lo que explicaría la respuesta cuadrática creciente encontrada para todo el período de engorde. La Figura 10.a muestra que a igual peso de res, el contenido de grasa intramuscular del *longissimus dorsi* fue similar o levemente superior al obtenido por Duckett *et al.* (1993). Debido a las diferencias en el tamaño adulto de los animales y al uso de implantes hormonales por parte de Duckett *et al.* (1993), era esperable que, al mismo peso de res, los novillos de menor tamaño tuvieran mayor grasa intramuscular que los novillos de mayor tamaño y con implantes hormonales (McPhee *et al.*, 2006). Con el objetivo de contemplar estas diferencias en tamaño maduro, la Figura 10.b muestra el contenido de grasa intramuscular en función del EGD. Los novillos de este estudio, presentaron menor tasa de incremento de grasa intramuscular al aumentar el EGD en comparación con los resultados de Duckett *et al.* (1993). Esto estaría asociado a la falta de selección por marmoreo en Argentina, que presenta moderada a alta heredabilidad (0,67; Mateescu *et al.*, 2015), ya que el sistema de tipificación no tiene premios en el precio por el nivel de marmoreo, a diferencia de lo que ocurre en Estados Unidos.

a)



b)

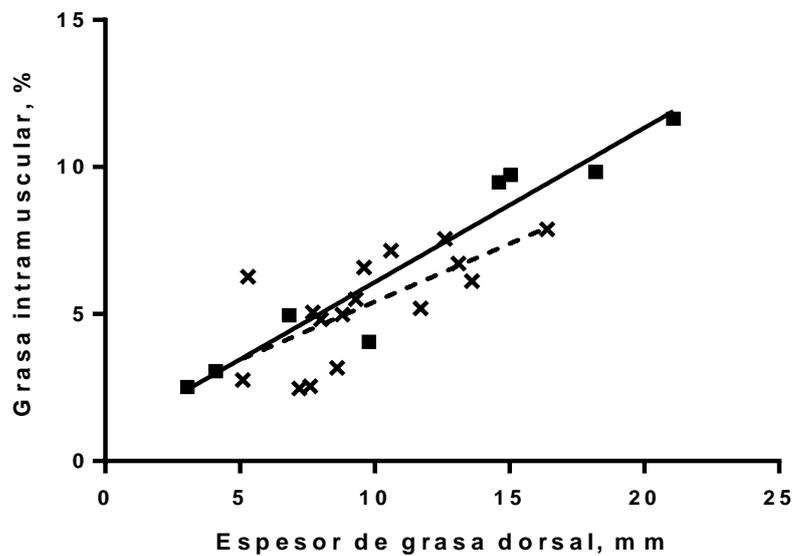


Figura 10. Relación entre el contenido de grasa intramuscular del *longissimus dorsi* y **a)** el peso de res; y **b)** el espesor de grasa dorsal medido en la res a la altura de la 12ª costilla en novillos británicos. Los cuadros negros muestran los resultados de Duckett *et al.* (1993) y las cruces muestran los promedios de los corrales del presente estudio.

Los colores del músculo y de la grasa se encuentran entre los principales atributos que los consumidores evalúan al momento de la compra de la carne (Pavan, 2011). La carne de color rojo brillante es preferida sobre aquella con color oscuro o pálido. La velocidad de descenso del pH y el pH final alcanzado de la carne son los principales

determinantes de su color (Hughes *et al.*, 2017). Los cortes oscuros están asociados con pH finales mayores a 5,70-5,90 (Page *et al.*, 2001; Hughes *et al.*, 2017). Estos valores de pH reducen la contracción transversal de las fibras y la dispersión de la luz, y de esta manera, la luminosidad del músculo se ve reducida, presentando valores L menores a 30 (Hughes *et al.*, 2017). Por su parte, las carnes pálidas son obtenidas cuando se produce una rápida caída del pH junto con temperaturas demasiado elevadas, provocando la precipitación de proteínas que tienden a agregarse. Esto genera pérdidas por goteo y separación de las miofibrillas del músculo, lo que aumenta la reflexión de la luz (Hughes *et al.*, 2018).

En el presente trabajo, los valores de pH final obtenidos permanecieron dentro del rango normal entre 5,40 y 5,60 (Page *et al.*, 2001). Además, los valores promedio de L estuvieron entre 36,5 y 40,5, correspondientes al rango de carnes brillantes (Page *et al.*, 2001; Hughes *et al.*, 2017). Esto se debería a que el engorde con dietas concentradas permite alcanzar niveles de glucógeno suficientes para lograr un pH final normal (Pavan, 2011) y a que el nivel de terminación habitual de mercado de 8 mm de EGD logra una adecuada velocidad de descenso de la temperatura y del pH (Page *et al.*, 2001).

El incremento en los parámetros de color del músculo desde los 64 y 119 días en engorde, fue reportado también por Dunne *et al.* (2006). Esta respuesta se explicaría por el incremento en el nivel de marmoreo. En este sentido, Wulf y Wise (1999) indicaron correlaciones positivas significativas entre los valores L , a^* y b^* , y el nivel de marmoreo, cuando solo fueron consideradas las reses con pH normal. Del mismo modo, Oler *et al.* (2015) también encontraron una correlación positiva significativa entre el valor L y el contenido de grasa intramuscular del *longissimus lumborum*. Sin embargo, la disminución posterior a los 119 días en engorde, no podría explicarse por el nivel de marmoreo, y la razón de esta respuesta no está del todo comprendida. Aun así, tal como se explicó anteriormente, todas las faenas presentaron un color adecuado dentro del rango de carnes brillantes.

Por otro lado, ya que el color amarillo de la grasa no es deseable por los consumidores, el blanqueamiento de la grasa durante el período de terminación es relevante en novillos recriados sobre pasturas (Dunne *et al.*, 2009). En el presente trabajo, el valor b^* sólo presentó una tendencia cúbica con la extensión del engorde, sin evidenciarse cambios importantes en el componente amarillo. Esto se encuentra en línea con los resultados de Dunne *et al.* (2006) y Forrest (1981), quienes reportaron que 26 y 56 días, respectivamente, bajo una dieta alta en concentrados fueron suficientes

para deshacer el efecto sobre el color de la grasa de una recria pastoril. Sin embargo, la duración necesaria depende del color y cantidad de grasa al inicio del engorde, de los ingredientes de la dieta y de su relación forraje concentrado¹ (Dunne *et al.*, 2006; Dunne *et al.*, 2009).

5.3. Resistencia al corte del *longissimus dorsi*

Cuando la carne fue madurada por un período corto (3 días), como suele tener el mercado local en Argentina, la resistencia al corte tendió a disminuir con la extensión del período de engorde. Como era esperado, el nivel de terminación de 8 mm de EGD fue suficiente para una adecuada velocidad de enfriamiento *post-mortem* del *longissimus dorsi* (Savell *et al.*, 2005; Pavan y Duckett, 2019). Esto se evidenció en la respuesta de la longitud de los sarcómeros. La misma presentó una respuesta cúbica, pero los valores no sugieren un acortamiento irreversible por frío o por calor durante la conversión de músculo a carne, ya que en todas las faenas la longitud media fue $\geq 1,90 \mu\text{m}$ (Battaglia *et al.*, 2019). Dicha longitud media de los sarcómeros, junto con la adecuada tasa de glucólisis (pH $< 6,30$ a las 3 horas *post-mortem*), indicarían que no hubo efectos negativos sobre la terneza (Smulders *et al.*, 1990).

Además, la falta de respuesta en el IFM señala que no hubo diferencias en la degradación miofibrilar a las 72 horas *post-mortem*. Esto resultó esperable ya que el pH final se mantuvo dentro del rango de actividad adecuada de las proteasas involucradas en el tiernizado de la carne (pH $< 5,80$; Lomiwes *et al.*, 2014). A su vez, la temperatura muscular a las 3 horas *post-mortem* no superó el umbral de 32°C, por encima del cual se afectaría la proteólisis *post-mortem*, como fue indicado por Mohrhauser *et al.* (2014).

Por lo tanto, la tendencia encontrada para la resistencia al corte de la carne con maduración corta se podría atribuir al incremento en el contenido de grasa intramuscular. De acuerdo con esto, Wheeler *et al.* (1994) concluyeron que el incremento en el nivel de marmoreo se refleja en un ligero incremento de la terneza. En un trabajo más reciente, O'Quinn *et al.* (2018) señalaron que el nivel de marmoreo explicó el 15 % de las variaciones en terneza. En este sentido, Nishimura (2015) sugirió que la grasa intramuscular puede afectar la terneza porque su deposición entre los paquetes de fibras musculares debilita la estructura del tejido conectivo intramuscular.

Por otra parte, esta tendencia atribuible al contenido de grasa intramuscular desapareció cuando los bifes fueron madurados por 14 días. Esto podría indicar diferencias en el tiernizado luego de los 3 días *post-mortem*. Sin embargo, Parrish Jr. *et*

al. (1979) encontraron que el IFM con 14 días de maduración fue independiente del contenido de grasa muscular del *longissimus dorsi*. No obstante, Nishimura (2015) señalaron que en el proceso de tiernizado de la carne, no sólo contribuye la degradación de fibras musculares, sino que también aporta la degradación del tejido conectivo intramuscular. En la medida que la solubilidad del colágeno disminuye con el crecimiento del animal (Parrish Jr. *et al.*, 1979; Nishimura, 2015), pudo ocurrir una degradación diferente del tejido conectivo, reduciéndose el efecto del contenido de grasa intramuscular sobre la resistencia al corte de la carne.

La disminución en las pérdidas por cocción con la extensión del engorde cuando la maduración fue de 3 días resultó esperable debido al aumento del EGD y del contenido de grasa intramuscular (Boakye y Mittal, 1993; Cheng y Sun, 2008). Sin embargo, con 14 días de maduración no hubo respuesta a la extensión del engorde, lo que indicaría una respuesta diferencial a la maduración, similar a lo señalado para la resistencia al corte.

A pesar de la ausencia de respuestas significativas en resistencia al corte, el aumento en el nivel de marmoreo puede mejorar la jugosidad, el sabor-aroma y por lo tanto, la calidad general percibida por los consumidores (May *et al.*, 1992; Wheeler *et al.*, 1994; Thompson, 2004; Troy y Kerry, 2010). Sin embargo, esto no se cumple en todos los casos, ya que existen ciertos consumidores que tienen una preferencia por carnes pastoriles y con menor tenor graso (Pavan, 2011). Por lo tanto, el incremento del nivel de marmoreo podría mejorar la calidad de carne para un cierto tipo de consumidor, como por ejemplo el norteamericano (O'Quinn *et al.*, 2018).

5.4. Costo marginal de la ganancia de peso

La evolución del costo marginal de la ganancia de peso fue principalmente definida por la evolución de la conversión alimenticia. La duración óptima económica se considera como aquella en la cual el costo marginal logra igualar el precio de venta libre de gastos (Oltjen, 2012; Streeter *et al.*, 2012; Wilken *et al.*, 2015). Dicho de otro modo, mientras el precio de venta sea superior al costo marginal de la ganancia de peso, resulta conveniente retener a los animales en engorde.

Duraciones iguales o mayores a la terminación habitual de 8 mm de EGD, presentaron costos marginales de ganancia superiores al precio de venta, tanto a nivel de peso vivo desbastado como a nivel de peso de res. Esto indica que para todas condiciones evaluadas, la extensión del período de terminación afectó negativamente el

resultado económico del engorde. De esta manera, estos resultados se contraponen a reportes previos realizados en Estados Unidos, donde se pagan bonificaciones por nivel de marmoreo, que indican mejoras en los ingresos con la extensión del engorde (Streeter, *et al.*, 2012; Wilken *et al.*, 2015; Bondurant *et al.*, 2016).

Las curvas de costo marginal obtenidas se asemejan a las reportadas por Wilken *et al.* (2015) bajo el escenario de precio de maíz desfavorable (0,29 U\$S kg⁻¹). La similitud en costos a pesar del menor precio de maíz promedio en Argentina tomado para el presente trabajo (0,15 U\$S kg⁻¹), se debería a las diferencias en conversión alimenticia. Las menores conversiones reportadas en los trabajos de Wilken *et al.* (2015) y Bondurant *et al.* (2016) se podrían explicar, como se discutió anteriormente, por el uso de modificadores de crecimiento, el mayor *frame* y potencial de crecimiento de los animales (Hermesmeyer *et al.*, 2000; McPhee *et al.*, 2006; Johnson *et al.*, 2013) en comparación con los utilizados en el presente trabajo, lo cual les permite soportar un mayor precio del grano de maíz. En este sentido, Maxwell *et al.* (2015) señalaron que novillos sin implantes hormonales ni agonistas β -adrenérgicos, presentan un marcado deterioro en la conversión sobre el final del engorde, sugiriendo que deberían venderse anticipadamente evitando esta reducción en eficiencia y el consecuente incremento en el costo marginal de la ganancia de peso.

A pesar de la similar respuesta en el costo marginal, existe una gran diferencia en los precios de venta tanto a nivel de peso vivo desbastado como a nivel de peso de res. A nivel de peso vivo desbastado, el precio de venta libre de gastos fue de 1,42 U\$S kg⁻¹, mientras que Wilken *et al.* (2015) indicaron un precio de 2,19 U\$S kg⁻¹. Del mismo modo, el precio de res en Argentina fue de 2,45 U\$S kg⁻¹ mientras que el indicado por Wilken *et al.* (2015) fue de 3,48 U\$S kg⁻¹. Ésta marcada diferencia en los precios de venta, considerando también las bonificaciones por marmoreo, explicarían en gran parte la conveniencia económica de extender el engorde reportada tanto por Wilken *et al.* (2015) como por Bondurant *et al.* (2016).

El mayor deterioro relativo del costo marginal a nivel de peso vivo desbastado respecto a nivel de peso de res, implica una conveniencia de vender en base al peso de res, fundamentalmente en caso de que se extienda el engorde y puede explicarse por las respectivas respuestas en la conversión alimenticia, que fueron discutidas anteriormente. Esta relación entre conversión alimenticia y costo marginal también fue señalada por otros autores (Streeter *et al.*, 2012; Wilken *et al.*, 2015) y reafirma la importancia económica de esta variable.

Para la justificación económica de la extensión del engorde hasta los 147 días en engorde (13,8 mm de EGD) el precio de venta a nivel de peso de res debería ser entre 31 y 50 % superior al precio de venta considerado. Podría ser factible una bonificación en el precio por un mayor nivel marmoreo por parte de frigoríficos exportadores. Sin embargo, la magnitud del aumento de precio necesario resulta demasiado elevada en relación con el incremento en el nivel de marmoreo, que aumentó un 16 % según el modelo de ecografías entre los 64 y 147 días en engorde (Figura 11). Por lo tanto, la extensión del engorde como estrategia para incrementar el nivel de marmoreo resulta poco viable económicamente, al menos con animales de *frame* mediano a chico como los utilizados en este ensayo. Los resultados podrían ser diferentes con novillos de mayor *frame* o potencial de marmoreo, como así también con cambios en el escenario de precios de venta.

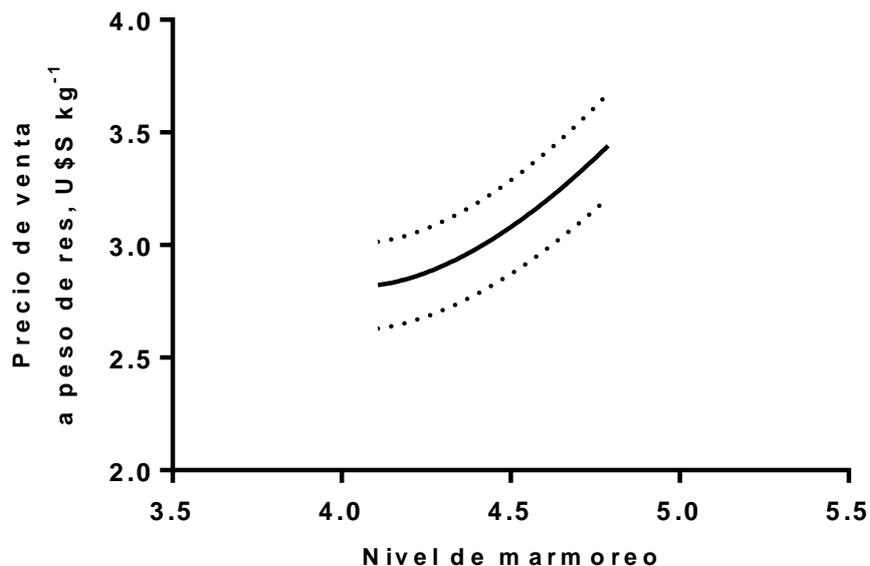


Figura 11. Evolución del precio de venta a peso de res requerido para la conveniencia económica del incremento del nivel de marmoreo del *longissimus dorsi* a través de la extensión del período de terminación a corral de novillos. Las bandas en línea de puntos indican los precios de venta con escenarios de precio de maíz en +/- 10 %.

6. CONCLUSIONES

Extender la duración del engorde de novillos una vez alcanzado el nivel de terminación de 8 mm de EGD llevó a un incremento a tasas crecientes de la transferencia a res. Debido a esto, la conversión alimenticia a nivel de peso de res se mantuvo relativamente estable entre los niveles de terminación de 8 y 11,7 mm de EGD (64 y 119 días en engorde), período durante el cual la conversión alimenticia a peso vivo desbastado presentó un incremento a mayor tasa. Sin embargo, la conversión alimenticia a peso de res presentó un marcado aumento entre los niveles de terminación de 11,7 y 13,8 mm de EGD (119 y 147 días en engorde), y a una tasa similar a la de la conversión alimenticia a peso vivo desbastado.

La extensión del período de engorde generó un aumento a tasas crecientes del EGD y del nivel de marmoreo, mientras que el AOB aumentó a tasas decrecientes. A pesar de que la extensión del engorde es una alternativa válida para aumentar el nivel de marmoreo, una vez alcanzados los 11,7 mm de EGD (119 días en engorde) el mismo aumentó a expensas de un deterioro en la conversión alimenticia a peso de res y un mayor incremento en el EGD. Además, el aumento en el contenido de grasa intramuscular sólo se tradujo en una tendencia a reducirse la resistencia al corte de bifés con 3 días de maduración. Para maduraciones más largas, como suele tener el mercado de exportación, la extensión del período de terminación no mejoró la terneza.

El componente amarillo del color de la grasa sólo presentó una tendencia cúbica, sin cambios de magnitud con la extensión del engorde. Por su parte, el color del músculo *longissimus dorsi* presentó un pico en luminosidad y en los componentes rojo y amarillo a los 119 días en engorde. No obstante, todas las faenas correspondieron con carnes brillantes, confirmando que los 8 mm de EGD fueron suficientes para lograr un adecuado color de la carne.

Para las condiciones de mercado consideradas y el tipo de animal utilizado, no se justificó económicamente la extensión del engorde tanto para ventas a nivel de peso vivo desbastado como a nivel de peso de res. Se recomienda alimentar los animales en engorde hasta alcanzar el nivel de terminación de 8 mm de EGD, de manera de obtener una adecuada calidad de res y de carne. Mayores duraciones no serían recomendadas dado el impacto económico negativo y el escaso efecto sobre la calidad de carne. En caso de que se deban retener los animales por motivos de fuerza mayor, se recomienda realizar la venta a nivel de peso de res.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Battaglia, C.; Vilella, G.F.; Bernardo, A.P.S.; Gomes, C.L.; Biase, A.G.; Albertini, T.Z.; Pflanzler, S.B. 2019. Comparison of methods for measuring shear force and sarcomere length and their relationship with sensorial tenderness of longissimus muscle in beef. *Journal of Texture Studies*. 1:1-11. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12473>.
- Bifaretti, A. 2008. Oportunidades de marketing en la comercialización minorista de carnes. En: IPCVA, Boletín N° 12. pp 12-17. Recuperado de: <http://www.ipcva.com.ar/files/boletin12.pdf>.
- Blatz, T.C.; Goodwin, J.W.; Brown, A.H. 1992. A review and analysis of beef carcass weight increases: economic, biological, and industry relationships. *The Professional Animal Scientist*. 8:46-52. [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)32122-7](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)32122-7).
- Boakye, K; Mittal, G.S. 1993. Changes in pH and water holding properties of *Longissimus dorsi* muscle during beef ageing. *Meat Science*. 34:335-349. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(93\)90082-S](https://doi.org/10.1016/0309-1740(93)90082-S).
- Bondurant, R.G.; MacDonald, J.C.; Erickson, G.E.; Brooks, K.; Funston, R.N.; Bruns, K.W. 2016. Carcass gain, efficiency, and profitability of steers at extended days on feed. *Nebraska Beef Cattle Reports*. 859:91-95. Retrieved from: <https://digitalcommons.unl.edu/animalscinbcr/859>.
- Brcsic, M.; Ricci, R.; Prevedello, P.; Lonardi, C.; De Nardi, R.; Contiero, B.; Gottardo, F.; Cozzi, G. 2015. Synthetic rubber surface as an alternative to concrete to improve welfare and performance of finishing beef cattle reared on fully slatted flooring. *Animal*. 9:1386-1392. <https://doi.org/10.1017/S1751731115000592>.
- Bruns, K.W.; Pritchard, R.H.; Boggs, D.L. 2004. The relationships among body weight, body composition, and intramuscular fat content in steers. *Journal of Animal Science*. 82:1315-1322. <https://doi.org/10.2527/2004.8251315x>.
- Carstens, G.E.; Johnson, D.E.; Ellenberger, M.A.; Tatum, J.D. 1991. Physical and chemical components of the empty body during compensatory growth in beef steers. *Journal of Animal Science*. 69:3251-3264. <https://doi.org/10.2527/1991.6983251x>.
- Cheng, Q.; Sun, D.W. 2008. Factors affecting the water holding capacity of red meat products: A review of recent research advances. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 48:137-159. <https://doi.org/10.1080/10408390601177647>.
- Chéreta, R.; Delbarre-Ladrat, C.; Lamballerie-Anton, M.; Verrez-Bagnis, V. 2007. Calpain and cathepsin activities in post mortem fish and meat muscles. *Food Chemistry*. 101(4):1474-1479. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.04.023>.
- Cross, H.R.; West, R.L.; Dutson, T.R. 1981. Comparison of methods for measuring sarcomere length in beef semitendinosus muscle. *Meat Science*. 5:261-266. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(81\)90016-4](https://doi.org/10.1016/0309-1740(81)90016-4).
- Delmore, R.J.; Hodgen, J.M.; Johnson, J. 2010. Perspectives on the application of zilpaterol hydrochloride in the United States beef industry. *Journal of Animal Science*. 88:2825-2828. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2473>.

- Di Marco, O.N. 2006. Crecimiento de vacunos para carne. Balcarce, Argentina: INTA. EEA Balcarce. 204p.
- Dolezal, H.G.; Smith, G.C.; Savell, J.W.; Carpenter, Z.L. 1982. Comparison of subcutaneous fat thickness, marbling and quality grade for predicting palatability of beef. *Journal of Food Science*. 47:397-401. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1982.tb10089.x>.
- Duckett, S.K.; Wagner, D.G.; Yates, L.D.; Dolezal, H.G.; May, S.G. 1993. Effect of time on feed on beef nutrient composition. *Journal of Animal Science*. 71:2079-2088. <https://doi.org/10.2527/1993.7182079x>.
- Dunne, P.G.; O'Mara, F.P.; Monahan, F.J.; Moloney, A.P. 2006. Changes in colour characteristics and pigmentation of subcutaneous adipose tissue and M. longissimus dorsi of heifers fed grass, grass silage or concentrate-based diets. *Meat Science*. 74:231-241. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.02.003>.
- Dunne, P.G.; Monahan, F.J.; O'Mara, F.P.; Moloney, A.P. 2009. Colour of bovine subcutaneous adipose tissue: A review of contributory factors, associations with carcass and meat quality and its potential utility in authentication of dietary history. *Meat Science*. 81:28-45. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.06.013>.
- Earley, B.; McDonnell, B.; O'Riordan, E.G. 2015. Effect of floor type on the performance, physiological and behavioural responses of finishing beef steers. *Acta Veterinaria Scandinavica*. 57-73. <https://doi.org/10.1186/s13028-015-0162-7>.
- Elizalde, J.C.; Riffel, S.L. (30 de abril de 2020) ¿Conviene integrar la recría a la cría o al engorde? *Valor Carne*. Recuperado de: <https://www.valorcarne.com.ar/conviene-integrar-la-recría-a-la-cria-o-al-engorde/>
- Ertbjerg, P.; Puolanne, E. 2017. Muscle structure, sarcomere length and influences on meat quality: A review. *Meat Science*. 132:139-152. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.04.261>.
- Font-I-Furnols, M.; Guerrero, L. 2014. Consumer preference, behaviour and perception about meat and meat products: An overview. *Meat Science*. 98:361-371. <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.06.025>.
- Foote, A.P.; Tait Jr., R.G.; Keisler, D.H.; Hales, K.E.; Freetly, H.C. 2016. Leptin concentrations in finishing beef steers and heifers and their association with dry matter intake, average daily gain, feed efficiency, and body composition. *Domestic Animal Endocrinology*. 55:136-141. <https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2015.12.007>.
- Forrest, R.J. 1981. Effect of high concentrate feeding on the carcass quality and fat coloration of grass-reared steers. *Canadian Journal of Animal Science*. 61:575-580. <https://doi.org/10.4141/cjas81-069>.
- Fox, D.G.; Sniffen, C.J.; O'Connor, J.D. 1988. Adjusting nutrient requirements of beef cattle for animal and environmental variations. *Journal of Animal Science*. 66:1475-1495. <https://doi.org/10.2527/jas1988.6661475x>.
- Hermesmeyer, G.N.; Berger, L.L.; Nash, T.G.; Brandt, R.T. 2000. Effects of energy intake implantation, and subcutaneous fat end point on feedlot steer performance and carcass composition. *Journal of Animal Science*. 78:825-831. <https://doi.org/10.2527/2000.784825x>.

- Hicks, R.B. 1988. Feed intake of feedlot cattle: Prediction equations and effect of restriction. Thesis *Doctor of Philosophy*. Stillwater, USA: Faculty of the Graduate College of the Oklahoma State University: 266 p.
- Hicks, R.B.; Owens, F.N.; Gill, D.R.; Oltjen, J.W.; Lake, R.P. 1990. Dry matter intake by feedlot beef steers: Influence of initial weight, time on feed and season of the year received in yard. *Journal of Animal Science*. 68:254-265. <https://doi.org/10.1093/ansci/68.1.254>.
- Hopkins, D.L.; Thompson, J.M. 2002. Factors contributing to proteolysis and disruption of myofibrillar proteins and the impact on tenderisation in beef and sheep meat. *Australian Journal of Agricultural Research*. 53:149-166. <https://doi.org/10.1071/AR01079>.
- Hopkins, D.L.; Martin, L.; Gilmour, A.R. 2004. The impact of homogenizer type and speed on the determination of myofibrillar fragmentation. *Meat Science*. 67:705-710. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.01.011>.
- Hopkins, D.L.; Toohey, E.S.; Lamb, T.A.; Kerr, M.J.; Van De Ven, R.; Refshauge, G. 2011. Explaining the variation in the shear force of lamb meat using sarcomere length, the rate of rigor onset and pH. *Meat Science*. 88:794-796. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.03.004>.
- Horneck, W.H.; Miller, R.O. 1998. Determination of total nitrogen in plant tissue. In: Kalra, Y.P. (ed.) *Handbook of reference methods for plant analysis*. Soil and Plant Analysis Council, Inc. CRC Press, pp. 75-83.
- Hughes, J.; Clarke, F.; Purslow, P.; Warner, R. 2017. High pH in beef longissimus thoracis reduces muscle fibre transverse shrinkage and light scattering which contributes to the dark colour. *Food Research International*. 101:228-238. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.09.003>.
- Hughes, J.; Clarke, F.; Purslow, P.; Warner, R. 2018. A high rigor temperature, not sarcomere length, determines light scattering properties and muscle colour in beef *M. sternomandibularis* meat and muscle fibres. *Meat Science*. 145:1-8. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.05.011>.
- Hyer, J.C.; Oltjen, J.W.; Owens, F.N. 1986. The relationship of body composition and feed intake of beef steers. Oklahoma Agricultural Experiment Station. Miscellaneous publication. 118:96-100.
- Ingvartsen, K.L.; Boisclair, Y.R. 2001. Leptin and the regulation of food intake, energy homeostasis and immunity with special focus on periparturient ruminants. *Domestic Animal Endocrinology*. 21:215-250. [https://doi.org/10.1016/S0739-7240\(02\)00119-4](https://doi.org/10.1016/S0739-7240(02)00119-4).
- Johnson, B.J.; Ribeiro, F.R.B.; Beckett, J.L. 2013. Application of growth technologies in enhancing food security and sustainability. *Animal Frontiers*. 3(3):8-13. <https://doi.org/10.2527/af.2013-0018>.
- Koohmaraie, M.; Seideman, S.C.; Schollmeyer, J.E.; Dutson, T.R.; Babiker, A.S. 1988. Factors associated with the tenderness of three bovine muscles. *Journal of Food Science*. 53(2):407-410. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1988.tb07717.x>.
- Lomiwes, D.; Farouk, M.M.; Wu, G.; Young, O.A. 2014. The development of meat tenderness is likely to be compartmentalised by ultimate pH. *Meat Science*. 96:646-651. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.08.022>.

- Lucero-Borja, J.; Pouzo, L.B.; De La Torre, M.S.; Langman, L.; Carduza, F.; Corva, P.M.; Santini, F.J.; Pavan, E. 2014. Slaughter weight, sex and age effects on beef shear force and tenderness. *Livestock Science*. 163:140-149. <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2014.02.003>.
- MacDonald, J.C.; Klopfenstein, T.J.; Erickson, G.E.; Vander Pol, K.J. 2007. Changes in gain through the feeding period. *Nebraska Beef Cattle Reports*. 74:55-57. Retrieved from: <https://digitalcommons.unl.edu/animalscinbcr/74>.
- Mac Rae, J.E.; Armstrong, D.G. 1968. Enzyme method for determination of alpha-linked glucose polymers in biological materials. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 19:578-581. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740191006>.
- Mateescu, R.G.; Garrick, D.J.; Garmyn, A.J.; VanOverbeke, D.L.; Mafi, G.G.; Reecy, J.M. 2015. Genetic parameters for sensory traits in longissimus muscle and their associations with tenderness, marbling score, and intramuscular fat in Angus cattle. *Journal of Animal Science*. 8(1):21-27. <https://doi.org/10.2527/jas.2014-8405>.
- Maxwell, C.L.; Wilson, B.C.; O'Neill, C.F.; Wilson, B.K.; Hixon, C.G. 2015. The effects of technology use in feedlot production systems on feedlot performance and carcass characteristics. *Journal of Animal Science*. 93:1340-1349. <https://doi.org/10.2527/jas.2014-8127>.
- May, S.G.; Dolezal, H.G.; Gill, D.R.; Ray, F.K.; Buchanan, D.S. 1992. Effects of days fed, carcass grade traits, and subcutaneous fat removal on post-mortem muscle characteristics and beef palatability. *Journal of Animal Science*. 70:444-453. <https://doi.org/10.2527/1992.702444x>.
- McPhee, M.J.; Oltjen, J.W.; Famula, T.R.; Sainz, R.D. 2006. Meta-analysis of factors affecting carcass characteristics of feedlot steers. *Journal of Animal Science*. 84:3143-3154. <https://doi.org/10.2527/jas.2006-175>.
- Miller, M.F.; Carr, M.A.; Ramsey, C.B.; Crockett, K.L.; Hoover, L.C. 2001. Consumer thresholds for establishing the value of beef tenderness. *Journal of Animal Science*. 79:3062-3068. <https://doi.org/10.2527/2001.79123062x>.
- Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca. (MAGyP) 2020. Indicadores anuales del sector bovino. [Dataset]. Recuperado de: <https://datos.magyp.gob.ar/dataset/indicadores-anuales-sector-bovino>
- Mohrhauser, D.A.; Lonergan, S.M.; Huff-Lonergan, E.; Underwood, K.R.; Weaver, A.D. 2014. Calpain-1 activity in bovine muscle is primarily influenced by temperature, not pH decline. *Journal of Animal Science*. 92:1261-1270. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-7270>.
- Moisá, S.J.; Shike, D.W.; Faulkner, D.B.; Meteer, W.T.; Keisler, D.; Looor, J.J. 2014. Central role of PPAR γ gene network in coordinating beef cattle intramuscular adipogenesis in response to weaning age and nutrition. *Genes Regulation and Systems Biology*. 8:17-32. <https://doi.org/10.4137/GRSB.S11782>.
- National Research Council (NRC). 1996. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. Washington, D.C. USA: National Academy Press. 242 p.
- Nishimura, T. 2015. Role of extracellular matrix in development of skeletal muscle and post-mortem aging of meat. *Meat Science*. 109:48-55. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.05.015>.

- Oler, A.; Glowinska, B.; Mlynek, K. 2015. Slaughter and carcass characteristics, chemical composition and physical properties of *longissimus lumborum* of heifers as related to marbling class. Archives Animal Breeding. 58:145-150. <https://doi.org/10.5194/aab-58-145-2015>.
- Oltjen, J.W. 2012. Bioeconomical model for best slaughter endpoint for maximum profit. Revista Argentina de Producción Animal. 32(1):63-68. Retrieved from: <http://ppct.caicyt.gov.ar/index.php/rapa/article/view/2444>.
- O'Quinn, T.G.; Legako, J.F.; Brooks, J.C.; Miller, M.F. 2018. Evaluation of the contribution of tenderness, juiciness, and flavour to the overall consumer beef eating experience. Translational Animal Science. 2:26-36. <https://doi.org/10.1093/tas/txx008>.
- Owens, F.N.; Gardner, B.A. 2000. A review of the impact of feedlot management and nutrition on carcass measurements of feedlot cattle. Journal of Animal Science. 77:1-18. [10.2527/jas2000.00218812007700ES0034x](https://doi.org/10.2527/jas2000.00218812007700ES0034x).
- Owens, F.N.; Dubeski, P.; Hanson, C.F. 1993. Factors that alter the growth and development of ruminants. Journal of Animal Science. 71:3138-3150. <https://doi.org/10.2527/1993.71113138x>.
- Owens, F.N.; Gill, D.R.; Secrist, D.S.; Coleman, S.W. 1995. Review of some aspects of growth and development of feedlot cattle. Journal of Animal Science. 73:3152-3172. <https://doi.org/10.2527/1995.73103152x>.
- Page, J.K.; Wulf, D.M.; Schwotzer, T.R. 2001. A survey of beef muscle color and pH. Journal of Animal Science. 79:678-687. <https://doi.org/10.2527/2001.793678x>.
- Paván, E. 2011. Calidad de carne bovina. En: Cangiano, C.A.; Brizuela M.A. Producción Animal en Pastoreo. E.E.A. Balcarce, Argentina: Ediciones INTA, pp. 403-423.
- Paván, E.; Duckett, S.K. 2019. Longissimus muscle composition and palatability of grazing steers supplemented with corn oil or corn grain. Meat and Muscle Biology. 3(1):181-193. <https://doi.org/10.22175/mmb2018.10.0030>.
- Parrish Jr., F.C.; Vandell, C.J.; Culler, R.D. 1979. Effect of maturity and marbling on the myofibril fragmentation index of bovine longissimus muscle. Journal of Food Science. 44:1668-1671. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1979.tb09112.x>.
- Pethick, D.W.; Harper, G.S.; Oddy, V.H. 2004. Growth, development and nutritional manipulation of marbling in cattle: a review. Australian Journal of Experimental Agriculture. 44(7):705-715. <https://doi.org/10.1071/EA02165>.
- Pordomingo, A.J. 2013. Feedlot. Alimentación, diseño y manejo. Anguil, Argentina: Ediciones INTA. 170 p.
- Rathmann, R.J.; Mehaffey, J.M.; Baxa, T.J.; Nichols, W.T.; Yates, D.A.; Hutcheson, J.P.; Brooks, J.C.; Johnson, B.J.; Miller, M.F. 2009. Effects of duration of zilpaterol hydrochloride and days on the finishing diet on carcass cutability, composition, tenderness, and skeletal muscle gene expression in feedlot steers. Journal of Animal Science. 87:3686-3701. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-1818>.
- Rearte, D. 2011. Situación actual y prospectiva de la ganadería argentina. Un enfoque regional. Asociación Latinoamericana de Producción Animal. 19(3-4):46-49.

- Riffel, S.L.; Elizalde, J.C. (10 de octubre de 2018) La recría larga sigue siendo mejor negocio. Valor Carne. Recuperado de: <https://www.valorcarne.com.ar/la-recria-larga-sigue-siendo-mejor-negocio/>
- Rohr, K.; Daenicke, R. 1984. Nutritional effects on the distribution of live weight as gastrointestinal tract fill and tissues components in growing cattle. *Journal of Animal Science*. 58(3):753-765. <https://doi.org/10.2527/jas1984.583753x>.
- Sainz, R.D.; Hasting, E. 2000. Simulation of the development of adipose tissue in beef cattle. In: McNamara, J.P; France, J.; Beever, D.E. (eds.) *Modeling nutrient utilization in farm animals*. New York, USA: CABI Publishing, pp. 175-182.
- Savell, J.W.; Mueller, S.L.; Baird, B.E. 2005. The chilling of carcasses. *Meat Science*. 70:449-459. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.06.027>.
- Small, R.M.; Mark, D.R.; Klopfenstein, T.J. 2010. Determinants of profit variability in calf-fed and yearling production systems. *Nebraska Beef Cattle Reports*. 592:52-55. Recuperado de: <http://digitalcommons.unl.edu/animalsci/bcr/592>.
- Smulders, F.J.M.; Marsh, B.B.; Swartz, D.R.; Russell, R.L.; Hoenecke, M.E. 1990. Beef tenderness and sarcomere length. *Meat Science*. 28:349-363. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(90\)90048-B](https://doi.org/10.1016/0309-1740(90)90048-B).
- Streeter, M.N.; Hutcheson, J.P.; Nichols, W.T.; Yates, D.A.; Hodgen, J.M.; Vander Pol, K.J.; Holland, B.P. 2012. Review of large pen serial slaughter trials – Growth, carcass characteristics, feeding economics. In: *Proceedings Plains Nutrition Council Spring Conference*. Amarillo, TX: Texas A&M Agrilife Research and Extension Center, pp. 58-73.
- Tatum, J.D.; Smith, G.C.; Carpenter, Z.L. 1982. Interrelationships between marbling, subcutaneous fat thickness and cooked beef palatability. *Journal of Animal Science*. 54(4):777-784. <https://doi.org/10.2527/jas1982.544777x>.
- Thompson, J.M. 2004. The effects of marbling on flavour and juiciness scores of cooked beef, after adjusting to a constant tenderness. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 44:645-652. <https://doi.org/10.1071/EA02171>.
- Troy, D.J.; Kerry, J.P. 2010. Consumer perception and the role of science in meat industry. *Meat Science*. 86:214-226. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.05.009>.
- United States Department of Agriculture. 2006. Official United State standards for grades of carcass beef, Agricultural Marketing Service. USDA. Washington DC, USA. pp. 1-4.
- United States Department of Agriculture (USDA). 2020. Livestock and Meat Domestic Data. ERS. Historical Statistics. [Database]. Retrieved from: <https://www.ers.usda.gov/data-products/livestock-meat-domestic-data/>.
- Van Koevinger, M.T.; Gill, D.R.; Owens, F.N.; Dolezal, H.G.; Strasia, C.A. 1995. Effect of time on feed on performance of feedlot steers, carcass characteristics, and tenderness and composition of longissimus muscles. *Journal of Animal Science*. 73:21-28. <https://doi.org/10.2527/1995.73121x>.

- Van Soest, P.J.; Robertson, J.B.; Lewis, B.A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*. 74:3583-3597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2).
- Vasconcelos, J.T.; Rathmann, R.J.; Reuter, R.R.; Leibovich, J.; Mcmeniman, J.P.; Hales, K.E.; Covey, T.L.; Miller, M.F.; Nichols, W.T.; Galyean, M.L. 2008. Effects of duration of zilpaterol hydrochloride feeding and days on the finishing diet on feedlot cattle performance and carcass traits. *Journal of Animal Science*. 86:2005-2015. <https://doi.org/10.2527/jas.2008-1032>.
- Vega, R.A.; Hidari, H.; Kuwayama, H.; Suzuki, M.; Manalo, D.D. 2004. The relationships of plasma leptin, backfat thickness and TDN intake across finishing stage of Holstein steers. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 17(3):330-336. <https://doi.org/10.5713/ajas.2004.330>.
- Weaver, A.D.; Bowker, B.C.; Gerrard, D.E. 2008. Sarcomere length influences post-mortem proteolysis of excised bovine semitendinosus muscle. *Journal of Animal Science*. 86:1925-1932. <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0741>.
- Webster, A.J.F. 1993. Energy partitioning, tissue growth and appetite control. *Proceedings of the Nutrition Society*. 52:69-76. <https://doi.org/10.1079/PNS19930038>.
- Wheeler, T.L.; Koohmaraie, M. 1999. The extent of proteolysis is independent of sarcomere length in lamb longissimus and psoas major. *Journal of Animal Science*. 77:2444-2451. <https://doi.org/10.2527/1999.7792444x>.
- Wheeler, T.L.; Cundiff, L.V.; Koch, R.M. 1994. Effect of marbling degree on beef palatability in *Bos taurus* and *Bos indicus* cattle. *Journal of Animal Science*. 72:3145-3151. <https://doi.org/10.2527/1994.72123145x>.
- Wilken, M.F.; MacDonald, J.C.; Erickson, G.E.; Klopfenstein, T.J.; Schneider, C.J.; Luebke, K.M.; Kachman, S.D. 2015. Marketing strategy influences optimum marketing date of steers in relation to corn price and days on feed. *The Professional Animal Scientist*. 31:224-236. <https://doi.org/10.15232/pas.2014-01325>.
- Winterholler, S.J.; Parsons, G.L.; Reinhardt, C.D.; Hutcheson, J.P.; Nichols, W.T.; Yates, D.A.; Swingle, R.S.; Johnson, B.J. 2007. Response to ractopamine-hydrogen chloride is similar in yearling steers across days on feed. *Journal of Animal Science*. 85:413-419. <https://doi.org/10.2527/jas.2006-555>.
- Wulf, D.M.; Wise, J.W. 1999. Measuring muscle color on beef carcasses using the L*a*b* color space. *Journal of Animal Science*. 77:2418-2427. <https://doi.org/10.2527/1999.7792418x>.