













## Análisis preliminar de crecimiento, calidad de la canal y de la carne de novillos Criollo Uruguayo en comparación con novillos Hereford

Eileen Armstrong<sup>1</sup>  Danilo Fila  Juan Carlos Boggio  Rafael Aragunde  Felipe Saravia   
Agustín Isaurralde  Rody Artigas  Fernando Vila  Santiago Luzardo<sup>2</sup>  Gustavo Brito<sup>2</sup>  Gerardo Evia<sup>3</sup>   
Gerardo Dattele<sup>4</sup> 

Facultad de Veterinaria, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay

Preliminary analysis of growth, carcass and meat quality traits in Uruguayan Creole Cattle steers in comparison with Hereford steers.

**Abstract.** The Uruguayan Creole cattle (UCC) reserve herd consists of approximately 600 animals. UCC have shown high capability of adaptation to unfavorable environments. Thirty UCC steers were compared to 10 Hereford steers in growth performance, carcass and meat quality traits. All animals received the same sanitary and nutritional management (grazing in natural grasslands, without supplementation), from 6-9 months of age until the end of the trial. At 43 months of age a sample of 6 UCC and 6 Hereford steers was selected for carcass and meat evaluation. The increase in body weight (BW) was similar between the two breeds, but Hereford steers showed heavier BW ( $p < 0.05$ ) at the beginning and at the end of the trial. Ultrasound measures of rib-eye area and fat thickness of UCC were larger ( $p < 0.05$ ). Most of the carcass measures did not show significant differences, except pH which was lower in UCC ( $p < 0.05$ ). Significant differences were observed in tissue composition of the 10th rib, showing higher muscle percentage and lower bone percentage in UCC ( $p < 0.05$ ), while their Hereford counterparts showed a higher fat percentage ( $p = 0.05$ ). No significant differences were observed between both breeds for meat quality traits. Hereford showed higher unsaturated fatty acids percentage ( $p < 0.05$ ) while UCC exhibited higher levels of conjugated linoleic acid ( $p < 0.05$ ). No differences in sensory traits were detected by the consumer taste panel. A larger sample is needed to obtain firm conclusions, but these results are promising and show a very good potential of UCC for beef production, in comparison with a highly selected meat breed.

**Key words:** Creole cattle; carcass quality; meat quality; beef production; genetic resources.

**Resumen.** La reserva de Bovinos Criollo Uruguayo (BCU) cuenta con aproximadamente 600 individuos. Estos animales han demostrado una elevada rusticidad y capacidad de adaptación a medios poco favorables. En este trabajo se evaluó el crecimiento y la capacidad de producción de carne de novillos Criollos ( $n = 30$ ) en comparación con novillos Hereford ( $n = 10$ ). Todos los animales fueron criados en un sistema extensivo (pastoreo a campo natural, sin suplementación), desde los 6-9 meses (m) de edad. A los 43 meses se seleccionó para faena una muestra de 6 novillos Criollos y 6 Hereford. La evolución del peso corporal fue similar entre los grupos genéticos, aunque los animales Hereford presentaron un peso vivo 18.5 % superior al inicio del experimento ( $p < 0.05$ ) y 13.4 % superior al finalizar el mismo ( $p < 0.05$ ). En las medidas con ultrasonido BCU presentó mayor área de ojo de bife y espesor de grasa dorsal ( $p < 0.05$ ). No se observaron diferencias significativas para la mayoría de las variables medidas en la canal, a excepción del pH que fue más bajo en BCU ( $p < 0.05$ ). En la disección de la 10va costilla BCU presentó mayor porcentaje de músculo y menor porcentaje de hueso ( $p < 0.05$ ), mientras que Hereford presentó mayor porcentaje de grasa visible ( $p = 0.05$ ). Las características de calidad de carne fueron similares entre BCU y Hereford. Hereford presentó un mayor porcentaje de ácidos grasos insaturados que Criollo, en el cual se observó un mayor porcentaje de ácido linoleico conjugado ( $p < 0.05$ ). No hubo diferencias significativas a nivel de las apreciaciones de un panel de consumidores. Estos resultados indicarían un muy buen potencial del BCU para la producción de carne, en comparación con una raza cárnica altamente seleccionada.

**Palabras clave:** Bovino Criollo Uruguayo; calidad de la canal; calidad de la carne; producción de carne; recursos genéticos.

Recibido: 2020-10-30. Aceptado: 2021-04-01.

<sup>1</sup>Autor para correspondencia: Eileen Armstrong, [eileen.armstrong@gmail.com](mailto:eileen.armstrong@gmail.com)

<sup>2</sup>Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA);

<sup>3</sup>Programa para el Desarrollo Sustentable de los Humedales del Este (PROBIDES);

<sup>4</sup>Servicio de Parques del Ejército (SEPAE).

## Introducción

La reserva genética de Bovinos Criollo Uruguayo (BCU) está ubicada en el Parque Nacional de San Miguel (departamento de Rocha; 33°41' latitud Sur, 53°27' longitud Oeste) y cuenta actualmente con aproximadamente 600 animales de diversas categorías de edad y sexo. El Parque presenta ambientes de serranías, monte nativo, humedales y campo natural. Dentro del Parque la reserva de BCU cuenta con unas 800 hectáreas (ha), de las cuales 350 son poco utilizables por presentar principalmente monte nativo y pajonales, quedando unas 450 ha efectivamente disponibles para el pastoreo.

Introducidos al país por Hernando Arias de Saavedra en 1611 y luego a través de las misiones jesuíticas del Alto Uruguay, los bovinos Criollos llevan cuatro siglos de adaptación a nuestro medio. Esta población fundacional se expandió por todo el país, antes de la introducción de razas comerciales a fines del siglo XIX. A partir de ese momento comenzó el declive de la población de BCU, considerada una raza poco productiva. En la década de 1940 y con 35 animales, se creó la reserva de bovinos Criollos en el Parque San Miguel (Arredondo, 1958).

El BCU es reconocido como raza por la FAO (<http://www.fao.org/dad-is>) y se encuentra en proceso de registro en la Asociación Rural del Uruguay. Son animales longilíneos y angulosos, de tamaño mediano (420 kg las vacas y 700 kg los toros, en promedio), con una altura a la cruz de 120 cm y longitud corporal de 140 cm en promedio. Presentan marcado dimorfismo sexual y gran diversidad de pelajes, con mucosas y pezuñas pigmentadas. Ambos sexos presentan cuernos en forma de lira (Fernandez et al., 2001; Rodríguez et al., 2001). A pesar de su reducido tamaño la reserva de BCU presenta una elevada diversidad genética evaluada mediante microsatélites. La presencia de haplotipos mitocondriales poco comunes y compartidos con razas

ibéricas, además de otros compartidos con otras razas Criollas, evidencian su origen ibérico (Armstrong et al., 2013; Ginja et al., 2019). Los animales de la reserva no son seleccionados en función de ninguna característica productiva. El entore es por monta natural, a campo, entre los meses de diciembre a marzo, no existiendo registros de paternidad ni de fechas de nacimiento en el momento del ensayo. El destete se efectúa entre los 6 a 9 meses de edad.

Existen experiencias muy interesantes que dan cuenta del elevado potencial para producción de carne de otras razas Criollas americanas similares al Criollo Uruguayo, tales como el Criollo Argentino (Garriz et al., 2008; Holgado y Ortega, 2019). En dichos estudios se subraya su capacidad de adaptación a medios poco favorables y de producción de carne de elevada calidad. Hasta el presente, no existían estudios en el BCU sobre crecimiento de novillos, calidad de la canal o calidad de la carne.

En el presente trabajo se presentan los resultados de un estudio observacional para evaluar la capacidad de producción de carne de estos animales en las condiciones ambientales en las que se encuentra actualmente la reserva. La hipótesis fue que, en condiciones similares de nutrición y manejo, BCU mostraría índices productivos similares a otras razas comunes en nuestro medio. En el presente trabajo el objetivo fue evaluar el crecimiento animal (ganancia media de peso, área de ojo de bife, espesor de grasa dorsal) y caracterizar aspectos de la calidad de la canal (longitud, rendimiento, etc.) y de la carne (color, fuerza de corte, perfil de ácidos grasos, entre otros) en el músculo Longissimus dorsi de novillos Criollos en comparación con novillos Hereford, en el mismo ambiente de la reserva, el cual presenta restricciones estacionales de forraje. Los datos recabados podrán servir a futuro para generar un producto único y comercializable.

## Materiales y Métodos

### Animales y tratamiento.

Todos los procedimientos realizados con los animales desde el inicio del experimento hasta su transporte al frigorífico siguieron los protocolos de la Comisión Honoraria de Experimentación Animal (CHEA) de la Universidad de la República del Uruguay ([www.chea.edu.uy](http://www.chea.edu.uy)). Los procedimientos a partir de la llegada de los animales al frigorífico comercial estuvieron sujetos a los protocolos de bienestar animal del Instituto Nacional de Carnes (INAC) del Uruguay (Barros y Castro, 2004).

Dentro de las instalaciones del Servicio de Parques del Ejército (SEPAE – San Miguel) se ubicaron 30 animales Criollos (de 6 a 9 meses de edad) junto con 10 animales Hereford (de 8 a 9 meses de edad), todos machos castrados y destetados, en un mismo potrero. Los animales fueron seleccionados al azar dentro de su grupo de edad y por raza. Los novillos Hereford provenían de un campo externo al Parque San Miguel, con pasturas mejoradas que incluían raigrás (*Lolium multiflorum*) y trébol blanco (*Trifolium repens*), mientras que los Criollos nacieron y permanecieron siempre en



los campos nativos de la reserva dentro del Parque, los cuales presentan marcadas restricciones estacionales de disponibilidad de alimento. Durante el ensayo, todos los animales recibieron el mismo manejo sanitario y de alimentación. El pastoreo fue continuo, a campo nativo, sin suplementación, en un potrero de 30 hectáreas (1.3 animales/hectárea). El potrero presentaba un estrato vegetal de entre 5 a 50 cm, dependiendo de la profundidad del suelo y la época del año (menor en invierno; mayor en primavera-verano), y una cobertura de entre 80 a 100 %, principalmente compuesto por herbáceas y arbustivas de las familias Poaceae (Gramineae) y Asteraceae (Compositae). Las especies más comunes fueron el subarbusto *Baccharis trimera* y las gramíneas estivales *Paspalum plicatulum*, *Cynodon dactylon* y *Dichanthelium sabulorum* (Lezama y Rossado, 2012). Dado que el Parque San Miguel se encuentra comprendido dentro del Sistema Nacional de Áreas Protegidas, sus ambientes no pueden ser modificados con pasturas mejoradas. La temperatura media anual de la zona es de 17.4 °C y la pluviosidad media es de 1 257 mm.

#### Datos recabados in vivo.

El peso vivo y parámetros ecográficos (área de ojo de bife-AOB y espesor de grasa dorsal-EG) de los animales fueron evaluados al inicio del ensayo y a los 24, 36 y 43 meses. Para AOB se midió el área de la sección transversal del músculo *Longissimus dorsi* a la altura del 12vo. espacio intercostal. EG se midió en la sección transversal a nivel del 12vo. espacio intercostal, en forma perpendicular al borde externo de la grasa y a nivel de la cuarta parte del extremo distal del músculo *Longissimus dorsi* respecto a la columna vertebral. Ambas mediciones fueron tomadas mediante ultrasonido, utilizando un ecógrafo portátil marca Esaote MyLabOneVet con una sonda SV3L11 Animal Science 6-2 Mhz 180mm (Ferrario y Fernández, 2007). Esta etapa se extendió desde junio 2016 hasta junio 2019. Se realizaron los siguientes cálculos sobre las medidas de los pesos vivos (en kg): ganancia de peso total (peso final - peso inicial), peso final corregido por peso inicial (peso final/peso inicial x 100), análisis de varianza (ANOVA) utilizando el peso inicial como covariable, predicción lineal de los intervalos de pesos finales por raza, ganancia diaria de peso (ganancia de peso total/1096 días de experimento) y análisis de varianza de la ganancia diaria de peso utilizando el peso inicial como covariable. El final del ensayo estuvo dado por el momento en que la mayoría de los novillos alcanzaron un grado de terminación aceptable para el frigorífico, de forma de evitarles pérdidas económicas a los productores.

#### Faena y datos recabados post mortem.

A fines de mayo 2019 se seleccionaron seis novillos de cada raza para la faena en un frigorífico comercial de la zona, habilitado para la exportación a la Unión Europea. La selección se realizó tomando en cuenta el peso vivo y el grado de terminación mediante evaluación visual, según la escala de condición corporal validada por Vizcarra et al. (1986). El objetivo fue evaluar los parámetros de calidad de canal y de carne de los seis novillos de mayor peso y mejor terminación de cada raza. Estos 12 animales fueron faenados el mismo día (17 de junio 2019) en un frigorífico comercial de la zona, situado a 106 km de distancia del potrero donde estaban los novillos (10 km por caminos vecinales y 96 km por ruta principal nacional). El tiempo de ayuno total fue de 15 horas aproximadamente. Los animales partieron en un camión apropiado para el transporte de bovinos a las 5 PM, llegando a frigorífico 6:30 PM, quedando en ayuno hasta su sacrificio a las 6 AM (horas aproximadas). Las carcasas fueron depositadas en cámaras de frío a 4 °C por 72 horas antes de las mediciones. En esta instancia se registró el peso vivo previo a la faena, peso de la canal enfriada y se tomaron medidas morfométricas: largo de canal, profundidad de pecho, largo de pierna y perímetro de pierna, según Feed (2010). Con los datos recabados se calculó el porcentaje de rendimiento de la canal (peso canal enfriada/peso vivo x 100) y el índice de compacidad (peso de canal enfriada/largo de canal, en kg/cm). El pH de la canal se midió a las 72 horas de maduración en cámara a 4 °C. Para efectuar los análisis de laboratorio se extrajo una muestra de aproximadamente 10 cm. de ancho del músculo *Longissimus dorsi* de cada animal (con grasa subcutánea, intermuscular y hueso) entre la 8va. y la 10ma. costilla, las cuales fueron empacadas individualmente, etiquetadas y congeladas a -20 °C hasta su análisis.

#### Datos recabados en laboratorio.

Para la determinación del porcentaje de músculo, grasa y hueso se realizó la disección de la 10ma. costilla (porcentaje estimado de recuperación: 98 %) según la metodología detallada por Feed (2010).

Luego de 6 días de maduración (0-2 °C), se determinó el color instrumental de la carne en cada muestra utilizando el sistema CIELab (L\*: luminosidad, a\*: componente verde (-) a rojo (+); b\*: componente azul (-) a amarillo (+)) por triplicado (promedio de tres lecturas por muestra) y con un tiempo de exposición al aire (blooming) de 45 minutos. Se utilizó un colorímetro

Minolta CR-400 (Konica Minolta Sensing Inc., Japón) utilizando un iluminante C, un observador estándar de 2° y un tamaño de apertura de 8 mm. Luego, se pesaron las muestras y se cocinaron en grilles (GRP100 The Next Grilleration, Spectrum Brands, Inc., Miami, FL) hasta alcanzar una temperatura interna de 71 °C de acuerdo con el protocolo de la American Meat Science Association (AMSA, 2016). Posteriormente a la cocción y enfriado de las muestras, éstas se pesaron nuevamente para determinar las pérdidas por cocción.

Seguidamente, se midió la fuerza de corte con un texturómetro TA.XT Plus (Stable Micro Systems, Godalming, Surrey, Reino Unido) equipado con una cizalla Warner Bratzler (ranura V). De cada muestra cocida se obtuvieron 6 submuestras (cilindros de 1.27 cm de diámetro) de forma paralela a la orientación longitudinal de las fibras musculares. El parámetro registrado fue la fuerza máxima de corte de cada muestra. Los 6 valores individuales de la fuerza de corte correspondientes a cada muestra se promediaron de manera de obtener un único valor por muestra.

En una porción de la muestra no madurada (descongelada a 4 °C) se determinó el contenido de grasa intramuscular gravimétricamente. La extracción de lípidos se realizó siguiendo el procedimiento de cloroformo-metanol de acuerdo con el procedimiento de Bligh y Dyer (1959). Los ácidos grasos fueron metilados en frío con potasa metanlica (IUPAC, 1987). Para el análisis cromatográfico se utilizó un equipo Konik HRGC 4000 B con una columna capilar de 100 m de longitud (SP 2560, Supelco, Bellefonte, USA; 0.25 mm de diámetro interno, 0.20 mm de espesor). El gas transportador utilizado fue nitrógeno con un flujo de 1ml/min. El volumen de inyección fue de 1 µl y el detector utilizado fue de ionización de llama (FID). Para la identificación de los picos se utilizó el patrón Supelco™ 37 Component FAME Mix, siendo identificados los ácidos grasos por comparación de sus tiempos de retención con los estándares (Supelco, Bellefonte, USA). Los ácidos grasos fueron expresados como porcentaje del total de ácidos grasos identificados.

Se realizó un panel de consumidores en el que los panelistas valoraron la terneza, sabor y aceptabilidad global utilizando una escala hedónica de 8 puntos (1-me gusta muchísimo a 8-me disgusta muchísimo). Se trató de un panel de 50 participantes entre estudiantes,

docentes y funcionarios de Facultad de Veterinaria (Montevideo, Uruguay), de ambos sexos (27 % mujeres, 23 % hombres), de edades variadas (26 personas entre 18 y 29 años, 13 personas entre 30 y 50 años y 11 personas mayores a 50 años). El 84 % de los panelistas solían consumir carne vacuna todas las semanas. Las muestras (filetes) de 2,5 cm de espesor fueron envueltas en papel aluminio y cocinadas en grilles (GRP100 The Next Grilleration, Spectrum Brands, Inc., Miami, FL) hasta alcanzar una temperatura interna de 71 °C en el centro geométrico. Luego de la cocción, se removió la grasa subcutánea y cada muestra se cortó en cubos de 2.5 cm x 1.5 cm x 1.5 cm. obteniéndose 10 cubos por muestra (animal). Cada cubo se envolvió en papel de aluminio, se codificó con un número de 3 dígitos y se mantuvo caliente en un calentador para evitar que se enfríe antes de ser servido a los consumidores. El orden de degustación de las muestras por parte de los consumidores fue diferente para cada uno de ellos. El cubo de carne entregado a cada consumidor fue de la misma ubicación en el filete, de manera de reducir el efecto del sesgo posicional en los mismos.

#### Análisis estadísticos.

Para los datos in vivo y de la canal se utilizaron los programas Excel, Statgraphics Centurion XV y STATA 16 (Stata Statistical Software: Release 16. College Station, TX: StataCorp LLC). Se discriminaron los datos de cada variable según raza y se efectuó la comparación de las medias y varianzas de ambos grupos para cada característica analizada, utilizando test ANOVA y de Kruskal-Wallis para pesos vivos, ganancia total y ganancia por día, y test de Student para medidas de la canal, con el fin de detectar diferencias significativas entre razas, tomando siempre un  $\alpha=0.05$  como umbral de significación.

Las variables de calidad de la carne fueron analizadas utilizando Statistical Analysis System (SAS) versión 9.4 (SAS Institute, Cary, NC, USA) mediante un modelo mixto considerando la raza como efecto fijo y el animal dentro de la raza como aleatorio, por el procedimiento MIXED. Después de realizar el análisis de varianza, se calcularon los LSM means para las comparaciones de razas con un nivel de significancia de  $\alpha=0.05$ , utilizando la opción PDIF de LSMEANS, cuando las pruebas F fueron significativas ( $p < 0.05$ ).

## Resultados y Discusión

La curva de crecimiento de los novillos Criollo Uruguayo y de los novillos Hereford se muestra en la Figura 1. Las medianas de los pesos vivos de cada raza y la comparación entre ambos grupos se muestran en el Cuadro 1. La evolución del peso corporal fue relativamente similar en ambos grupos raciales, siendo significativa la diferencia al inicio del experimento y al final ( $p < 0.05$ ), donde Hereford mostró valores más elevados, y no significativa en los puntos intermedios ( $p > 0.05$ ). Al utilizar el peso inicial como covariable en el análisis de varianza no se detectaron diferencias significativas en la evolución de los pesos vivos ( $p = 0.203$ ) ni en la ganancia de peso por día ( $p = 0.210$ ).

En ambos grupos se observa una disminución del peso corporal después del invierno (junio a agosto; a

los 11, 24 y 43 meses) debida a la escasez temporal de pasturas. Hereford mostró una mayor ganancia de peso total y por día ( $p < 0.05$ ) (Cuadro 2), lo que era esperable para una raza seleccionada, aunque cuando se efectúa la corrección del peso final en función del peso inicial no existen diferencias significativas entre razas ( $p > 0.05$ ). En el análisis de regresión para peso final se detectó una superioridad de 31 kg de peso para Hereford en comparación con BCU, no significativa ( $p = 0.203$ ). En la predicción lineal de los intervalos de pesos finales por raza BCU presentó mayor variación (error estándar BCU = 23.31; error estándar Hereford = 5.17), por los efectos combinados de una mayor variabilidad intrarracial en BCU al ser una raza no seleccionada y por el mayor tamaño de muestra.

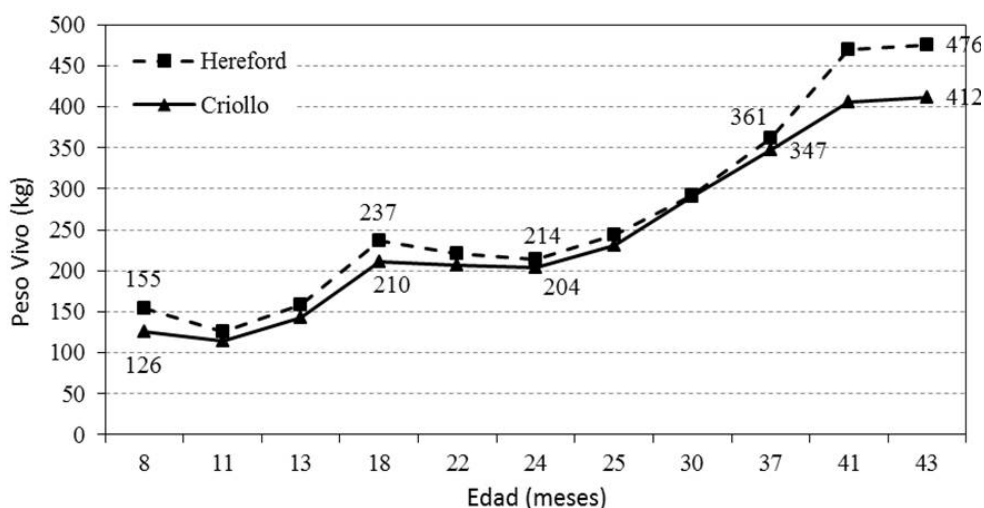


Figura 1. Evolución del peso vivo (medianas) de novillos Criollo Uruguayo y novillos Hereford. Los pesos fueron determinados al inicio del experimento, a los 18, 24, 36 y 43 meses.

Cuadro 1. Pesos vivos (mediana  $\pm$  error estándar) de novillos Criollo Uruguayo y novillos Hereford en diferentes momentos del experimento.

	Peso vivo (kg)				
	Inicial	18 meses	24 meses	36 meses	Final
Criollo	126.0 $\pm$ 4.18	210.3 $\pm$ 6.39	203.5 $\pm$ 5.14	347.0 $\pm$ 6.99	412.0 $\pm$ 7.12
Hereford	154.6 $\pm$ 4.94	236.5 $\pm$ 6.61	214.0 $\pm$ 9.75	361.0 $\pm$ 11.81	476.0 $\pm$ 7.18
p ANOVA	0.003*	0.064	0.063	0.164	0.0001*
p KW	0.002*	0.047*	0.096	0.137	0.0013*

Inicial: mediana del peso vivo al inicio del ensayo (6-9 meses de edad); Final: mediana del peso vivo al final del ensayo (43 meses de edad); p ANOVA: p-valor del análisis de varianza entre medias; p K-W: p valor del test de Kruskal-Wallis de la comparación entre medianas; \*: valores significativamente diferentes entre ambas razas (para  $\alpha = 0.05$ ).

Cuadro 2. Pesos corregidos y ganancia total y por día (promedio  $\pm$  desvío estándar) para novillos Criollo Uruguayo y novillos Hereford

	PF/PI	GT	kg/día
Criollo	338.1 $\pm$ 41.6	291.1 $\pm$ 23.1	0.272
Hereford	320.3 $\pm$ 37.0	327.5 $\pm$ 21.7	0.308
p ANOVA	0.350	0.002*	0.001*
p KW	0.351	0.004*	0.003*

PF/PI: corrección del peso final por el peso inicial ((PF/PI)  $\times$  100, en kg.); GT: ganancia total (kg); kg/día: ganancia de peso por día (gramos); p ANOVA: p-valor del análisis de varianza entre medias; p K-W: p valor del test de Kruskal-Wallis de la comparación entre medianas; \*: valores significativamente diferentes entre ambas razas (para  $\alpha = 0.05$ ).

Los resultados para las medidas in vivo con ultrasonido se muestran en el Cuadro 3. Si bien en dicho cuadro sólo se presentan resultados iniciales y finales del experimento, es necesario recalcar que se detectaron mayores AOB en los Criollos que en Hereford ( $p < 0.05$ ) en todos los casos, a excepción de la AOB medida a los 24 meses de edad ( $p$  ANOVA = 0.35;  $p$  Kruskal-Wallis = 0.18). La diferencia es altamente significativa y en la misma dirección cuando los datos se corrigen por el peso vivo al momento de la medición ( $p < 0.01$ ). La evolución de los pesos vivos y la condición corporal de los animales evaluada visualmente parecían indicar a priori una mayor muscularidad y mejor conformación carnicera en Hereford sobre BCU, sin embargo, las mediciones objetivas de AOB indicaron lo contrario, mostrando BCU un AOB 13 cm<sup>2</sup> mayor a Hereford al final del ensayo. Esto posiblemente sea consecuencia de

diferencias de conformación corporal (valoración morfológica), teniendo BCU una conformación más parecida a la del ganado lechero, similar a lo observado en el Criollo Argentino (Ferrando et al., 2006; Garriz et al., 2008). En cuanto a espesor de grasa dorsal, no se detectaron diferencias en los datos ultrasonográficos ( $p > 0.05$ ), aunque sí son altamente significativas las diferencias cuando se corrige por peso vivo al momento de la medición (espesor de grasa (mm)/kg de peso vivo;  $p < 0.05$ ). Estos análisis demuestran que la condición corporal evaluada mediante las escalas habituales para ganado de carne no es el mejor indicador para utilizar en el Criollo Uruguayo. La generación de una escala de condición corporal específica para esta raza, con base en la observación visual y las ecografías, simplificaría la selección de animales para faena.

Cuadro 3. Medias para área de ojo de bife (AOB) y espesor de grasa dorsal (EG) y su corrección por el peso vivo a los 12 y 43 meses de edad para novillos Criollo Uruguayo y novillos Hereford.

	AOB inicial 12 meses	AOB <sub>PV</sub> 12 meses	AOB final 43 meses	AOB <sub>PV</sub> 43 meses	EG final 43 meses	EG <sub>PV</sub> 43 meses
Criollo	13.1 ± 2.9	10.7 ± 2.9	78.8 ± 7.8	19.3 ± 1.9	8.1 ± 0.4	2.0 ± 1.3
CV Criollo (%)	22.2	27.2	9.9	10.1	5.5	6.7
Hereford	10.7 ± 2.4	7.1 ± 1.5	65.6 ± 7.2	13.7 ± 1.6	8.0 ± 0.3	1.7 ± 0.1
CV Hereford (%)	22.8	20.4	11.0	11.3	4.1	6.0
p ANOVA	0.027*	0.0008*	0.009*	0.0000*	0.689	0.0001*
p K-W	0.024*	0.0005*	0.0017*	0.0006*	0.595	0.0009*

AOB: área del ojo del bife (cm<sup>2</sup>); EG: espesor de grasa dorsal (cm); AOB<sub>PV</sub>: corrección por el peso vivo al momento de la toma del dato ((AOB/PV) x 100); EG<sub>PV</sub>: corrección por el peso vivo al momento de la toma del dato ((EG/PV) x 100); CV: coeficiente de variación; p ANOVA: p-valor del análisis de varianza entre medias; p K-W: p valor del test de Kruskal-Wallis de la comparación entre medianas; \*: valores significativamente diferentes entre ambas razas (para  $\alpha = 0.05$ ).

Los resultados de los parámetros evaluados en las canales de los 12 animales faenados en frigorífico (6 Criollos y 6 Hereford) se presentan en los Cuadros 4 y 5. No existieron diferencias significativas entre las medias para peso vivo al finalizar el ensayo entre grupos ( $p > 0.05$ ). Ambos grupos sufrieron las restricciones nutricionales propias del invierno en animales sometidos exclusivamente a pastoreo en campo natural. Las variables peso de la canal, largo de canal, largo de pierna, perímetro de pierna,

rendimiento de la canal e índice de compacidad no presentaron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ). Si existieron diferencias significativas en la variable profundidad de pecho ( $p < 0.05$ ), siendo casi 4 cm mayor en Criollo. No se observaron diferencias significativas en cuanto a rendimiento de la canal, coincidiendo con Garriz et al. (2008) quienes tampoco encontraron diferencias significativas entre el bovino Criollo Argentino y razas carniceras británicas.

Cuadro 4. Medias de peso vivo a la faena, peso de la canal enfriada, rendimiento y compacidad de novillos Criollo Uruguayo y novillos Hereford.

	Peso Vivo Faena (kg)		Peso Canal Enfriada (kg)		Rendimiento (%)		Compacidad	
	Hereford	Criollo	Hereford	Criollo	Hereford	Criollo	Hereford	Criollo
Media	431.50	411.70	217.05	219.00	50.34	53.21	1.66	1.68
DE	21.82	18.90	11.50	10.91	3.47	1.73	0.10	0.10
p valor	0.1230		0.7690		0.1060		0.6980	

DE: desvío estándar. p valor: valor de p de dos colas del test de t.

Cuadro 5. Resultados medios para largo de la canal, profundidad de pecho, y largo y perímetro de la pierna de novillos Criollo Uruguayo y novillos Hereford.

	Largo Canal (cm)		Prof. Pecho (cm)		Largo Pierna (cm)		Perímetro Pierna (cm)	
	Hereford	Criollo	Hereford	Criollo	Hereford	Criollo	Hereford	Criollo
Media	130.50	130.10	63.25	66.70	80.16	81.20	102.42	99.83
DE	3.38	1.74	1.64	2.14	1.69	1.51	1.91	2.64
p valor	0.7900		0.0110*		0.3050		0.0800	

DE: desvío estándar. p valor: valor de p de dos colas del test de t. \*: valores significativamente diferentes entre ambas razas (para  $\alpha = 0.05$ ).

Los resultados de la disección de la 10ma. costilla (Cuadro 6) muestran que BCU presentó casi 9 % más de músculo y 4 % menos de hueso que Hereford ( $p < 0.05$  en ambos casos), mientras que Hereford presentó 4.5 % más de grasa visible ( $p = 0.05$ ). Este estudio muestra una tendencia del Criollo hacia una mayor producción de carne, con huesos más finos y livianos, y menor acumulación de grasa que las razas

británicas. Esto es coherente con lo observado por otros investigadores en otras razas Criollas, en especial en el Criollo Argentino, en donde a igual peso de terminación, las reses de novillos Criollos presentaron una proporción más elevada de músculo y menos de hueso que las reses de razas comerciales, aunque su aspecto exterior sea más "descarnado" (Ferrando et al., 2006; Garriz et al., 2008).

Cuadro 6. Disección de la 10va costilla. Porcentajes de músculo, grasa visible y hueso en relación al peso total del corte en novillos Criollo Uruguayo y novillos Hereford.

	% Músculo		% Grasa		% Hueso	
	Hereford	Criollo	Hereford	Criollo	Hereford	Criollo
Media	53.85	62.57	18.76	14.25	26.15	22.02
DE	4.33	2.90	4.49	2.08	3.23	1.95
p valor	0.0022*		0.0496*		0.0229*	

p valor: valor de p de dos colas del test de t. \*: valores significativamente diferentes entre ambas razas (para  $\alpha = 0.05$ ). DE: desvío estándar.

Las mediciones instrumentales de calidad de la carne (Cuadro 7) no mostraron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre las razas en fuerza de corte, pérdidas por cocción y color. Los resultados de fuerza de corte y color son similares a los obtenidos por Realini et al. (2004) con 7 días de maduración y por Del Campo et al. (2008), ambos estudios basados en razas cárnicas británicas en Uruguay. Se observa en BCU una tendencia hacia un mayor porcentaje de grasa intramuscular ( $p < 0.10$ ). Los valores de pH de la canal a las 72 horas post mortem sí presentaron diferencias significativas, más bajos en los Criollos ( $p < 0.05$ ). Cabe destacar que los valores de pH final fueron elevados ( $pH > 5.8$ ) en ambas razas, pudiendo estar asociado a condiciones de estrés previas a la faena durante el embarque, transporte y/o manejo en los corrales de espera en el frigorífico (Tarrant, 1989). La distancia desde el lugar donde se

encontraban los animales al frigorífico no era extensa (106 km) aunque los 10 primeros kilómetros fueron por caminos vecinales que no presentan el mismo buen estado que las rutas nacionales. Combinado con el tiempo de ayuno, estos factores podrían explicar los valores de pH detectados. El descenso de los niveles de pH en la transformación del músculo a carne afecta la calidad de la carne (Wulf et al., 2002; Ferguson & Warner, 2008), lo que de alguna manera se ve reflejado en los bajos valores de luminosidad de la carne ( $L^*$ ) que fueron menores a 35 en ambas razas. Habiendo sido manejados y transportados ambos grupos de animales de la misma manera y en forma conjunta, estas diferencias de pH podrían indicar una tendencia en los Criollos hacia un temperamento más calmo, lo que deberá ser objeto de estudios posteriores.

Cuadro 7. Medias de cuadrados mínimos para fuerza de corte, pérdidas por cocción, color y porcentaje de grasa intramuscular, medidos a los 6 días de maduración, y media del pH de la canal medida 72 horas post mortem, de novillos Criollo Uruguayo y novillos Hereford.

	Criollo	Hereford	p valor
Fuerza de corte (kg)	3.01 $\pm$ 0.15	3.15 $\pm$ 0.15	0.5215
Pérdidas por cocción (%)	18.7 $\pm$ 0.7	18.9 $\pm$ 0.7	0.8392
$L^*$ (unidades)	34.4 $\pm$ 2.4	34.0 $\pm$ 2.3	0.7377
$a^*$ (unidades)	21.5 $\pm$ 1.0	19.0 $\pm$ 0.9	0.1064
$b^*$ (unidades)	10.4 $\pm$ 0.6	9.8 $\pm$ 0.9	0.6173
Grasa intramuscular (%)	3.94 $\pm$ 0.31	2.91 $\pm$ 0.37	0.0577
pH 72 h	5.91 $\pm$ 0.04	6.02 $\pm$ 0.04	0.0008*

$L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ : parámetros de color medidos previo a la cocción (luminosidad, intensidad de rojo e intensidad de amarillo, respectivamente). p valor: valor de p del test de t. \*: valores significativamente diferentes entre ambas razas (para  $\alpha = 0.05$ ).

El perfil de ácidos grasos (Cuadro 8) muestra 1.43 % más de ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) totales en Hereford que en Criollo, teniendo este último 0.06 % más de ácido linoleico conjugado ( $p < 0.05$  en ambos casos). Estas diferencias pueden deberse a factores metabólicos propios de cada raza, a diferencias en la microbiota ruminal, o a diferencias en el comportamiento de pastoreo (Nogales et al., 2017; Spiegel et al., 2017). Si bien coexistieron durante todo

el ensayo en el mismo predio, al ser un ambiente natural con una gran variedad de ecosistemas y especies vegetales es posible que existan diferencias a nivel de selección de dieta, algo que se ha observado en otros bovinos Criollos (Spiegel et al., 2017). Los resultados obtenidos son consistentes con los resultados reportados por Brito et al. (2014) para animales alimentados a pasturas, y por Nogales et al. (2017) en la raza española Marismeña.

Cuadro 8. Perfil de ácidos grasos en novillos Criollo Uruguayo y novillos Hereford.

	Criollo	Hereford	p valor
C14:0 (mirístico)	3.30 <sup>a</sup> ± 0.17	2.69 <sup>b</sup> ± 0.12	0.0157*
C14:1 (miristoleico)	0.50 ± 0.09	0.39 ± 0.03	0.3270
C16:0 (palmitico)	31.14 ± 0.37	30.95 ± 0.60	0.7978
C16:1 (palmitoleico)	3.60 <sup>a</sup> ± 0.30	2.74 <sup>b</sup> ± 0.16	0.0309*
C18:0 (esteárico)	17.48 ± 0.81	19.17 ± 0.82	0.1743
C18:1-n9 (oleico)	38.45 ± 0.74	37.11 ± 1.01	0.3097
C18:2-n6 (linoleico)	2.00 <sup>a</sup> ± 0.11	2.66 <sup>b</sup> ± 0.26	0.0373*
C20:0 (araquídico)	0.16 ± 0.01	0.14 ± 0.01	0.2024
C18:3-n6 (gamma-linolénico)	0.12 ± 0.02	0.14 ± 0.01	0.3439
C18:3-n3 (alfa-linolénico)	0.77 ± 0.02	0.93 ± 0.07	0.0818
CLA (ác. linoleico conjugado)	0.61 <sup>a</sup> ± 0.02	0.55 <sup>b</sup> ± 0.01	0.0312*
C20:2-n6 (eicosadienoico)	0.05 ± 0.005	0.05 ± 0.002	0.5634
C20:3-n3 (eicosatrienoico)	0.21 ± 0.008	0.23 ± 0.018	0.3324
C20:3-n6 (dihomogamma-linolénico)	0.12 ± 0.016	0.15 ± 0.031	0.0747
C20:4-n6 (araquidónico)	0.35 <sup>b</sup> ± 0.049	0.52 <sup>a</sup> ± 0.013	0.0181*
C20:5-n3 (eicosapentaenoico)	0.75 <sup>b</sup> ± 0.051	1.00 <sup>a</sup> ± 0.097	0.0416*
C22:5-n3 (docosapentaenoico)	0.34 <sup>b</sup> ± 0.049	0.51 <sup>a</sup> ± 0.052	0.0409*
C22:6-n3 (docosahexaenoico)	0.06 ± 0.010	0.07 ± 0.010	0.5628
Acidos Grasos Saturados (SFA)	52.08 ± 0.97	52.96 ± 0.99	0.5399
Acidos Grasos Monoinsaturados (MUFA)	42.54 ± 0.98	40.23 ± 1.05	0.1396
Acidos Grasos Poliinsaturados (PUFA)	5.38 <sup>b</sup> ± 0.19	6.81 <sup>a</sup> ± 0.43	0.0127*
Acidos Grasos - serie omega 6	3.25 <sup>b</sup> ± 0.10	4.08 <sup>a</sup> ± 0.26	0.0142*
Acidos Grasos - serie omega 3	2.13 <sup>b</sup> ± 0.10	2.74 <sup>a</sup> ± 0.19	0.0191*
relación PUFA/SFA	0.10 <sup>b</sup> ± 0.004	0.13 <sup>a</sup> ± 0.009	0.0286*
relación omega 6/omega 3	1.54 ± 0.05	1.50 ± 0.06	0.6481

Porcentaje de cada ácido graso dentro de la grasa intramuscular ± desvío estándar. \*: valores significativamente diferentes entre ambas razas (para  $\alpha = 0.05$ ).

Finalmente, no se observaron diferencias significativas entre razas a nivel de terneza, aceptabilidad y sabor en las apreciaciones de un panel de consumidores no entrenados ( $p > 0.05$ ) (Cuadro 9). Estos resultados indicarían a priori que la raza Bovino

Criollo Uruguayo tendría una tendencia hacia la producción de carne tierna, con buenos atributos de color y sabor, y con un buen nivel de veteado, comparable a la carne de una de las razas carniceras más importante a nivel mundial como es la Hereford.

Cuadro 8. Perfil de ácidos grasos en novillos Criollo Uruguayo y novillos Hereford.

VARIABLES	Criollo	Hereford	p valor	DE
Terneza	3.09	2.96	0.5462	0.1784
Sabor	3.18	3.21	0.8779	0.1634
Aceptabilidad global	3.15	3.10	0.7623	0.1455

p valor del test de t. DE: desvío estándar. Escala hedónica (1- Me gusta muchísimo; 2- Me gusta mucho; 3- Me gusta bastante; 4- Me gusta; 5- Me desagrada; 6- Me desagrada mucho; 7- Me desagrada bastante; 8- Me desagrada muchísimo).



Si bien se requiere de una muestra más grande para obtener conclusiones firmes, estos resultados indicarían que la raza Bovino Criollo Uruguayo tendría un muy buen potencial para la producción de

carne de elevada calidad, con buenos rendimientos de canal y muy buenos atributos de color, sabor, terneza y veteado, en comparación con una raza altamente seleccionada como la Hereford.

### Conclusiones

En este estudio exploratorio se observó un desempeño similar en los parámetros medidos relacionados a la producción de carne en los novillos Criollos en comparación con novillos Hereford, una raza altamente seleccionada para carne. Sin selección a favor de ninguna característica productiva, el BCU presenta niveles similares a una raza de aptitud cárnica en cuanto al aumento del peso corporal, rendimiento de la canal y calidad de la carne, incluyendo la evaluación sensorial. Presentó mayor porcentaje de músculo y menos de hueso, en un ambiente de pasturas naturales no mejoradas con

marcada escasez estacional de forraje, lo que resulta prometedor y abre la puerta a nuevas líneas de investigación con el fin de corroborar los datos primarios que aquí se presentan. Para permitir una mejor evaluación de los animales sería importante generar una escala visual de conformación corporal específica para el Criollo Uruguayo, ya que la utilizada comúnmente en nuestro medio no se condice con lo observado en las ecografías. Como perspectiva, sería interesante ampliar el estudio e incluir animales fruto de cruzamientos entre BCU y razas británicas.

**Conflicto de intereses:** No existe ningún conflicto de interés por parte de los autores en relación a los datos aquí mencionados

### Reconocimientos

Esta investigación no recibió ninguna subvención específica de agencias de financiación en los sectores público, comercial o sin fines de lucro.

Los autores quieren agradecer especialmente al personal del Servicio de Parques del Ejército (SEPAE)

por su constante trabajo y dedicación; al Frigorífico "Copayan S.A" por haber permitido el ingreso a sus instalaciones y la extracción de muestras de carne; y al Dr. Carlos Garriz por brindar su experiencia de tantos años y por sus recomendaciones.

### Literatura Citada

- American Meat Science Association (AMSA). 2016. Research guidelines for cookery, sensory evaluation, and instrumental tenderness measurements of meat, version 1.02. 2nd.. edition. AMSA, Champaign, IL, USA.
- Armstrong E., A. Iriarte, A. M. Martínez, M. Feijoo, J. L. Vega-Pla, J. V. Delgado, A. Postiglioni. 2013. Genetic diversity analysis of the Uruguayan Creole cattle breed using microsatellites and mtDNA markers. *Gen. Mol. Res.* 12 (2): 1119-1131. <https://doi.org/10.4238/2013>
- Armstrong E., D. Fila, F. Saravia, J. Novo, R. Aragunde, A. Franca, G. Merola, G. Evia, S. Llambí. 2017. Evaluación de novillos Criollo Uruguayo para producción de carne. Primeros resultados. X Jornadas Técnicas Veterinarias, Montevideo, Uruguay.
- Arredondo, H. 1955. Santa Teresa y San Miguel. La restauración de las fortalezas. La formación de sus parques. *Revista de la Sociedad de Amigos de la Arqueología, Uruguay.* Tomo XIII. [http://www.monedasuruguay.com/bib/bib/s/sa\\_a13.pdf](http://www.monedasuruguay.com/bib/bib/s/sa_a13.pdf)
- Barros, A., L. Castro. 2004. Bienestar Animal - Buenas prácticas operacionales. Serie Técnica N° 34, Instituto Nacional de Carnes (INAC), Uruguay. [https://www.inac.uy/innovaportal/file/2623/1/inac\\_ba\\_bpo.pdf](https://www.inac.uy/innovaportal/file/2623/1/inac_ba_bpo.pdf)
- Bligh, E. G., W. J. Dyer. 1959. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*, 37(8), 911-917. <https://doi.org/10.1139/o59-099>
- Brito, G, R. San Julián, A. La Manna, M. Del Campo, F. Montossi, G. Banchemo, D. Chalking, J. M. Soares de Lima. 2014. Growth, carcass traits and palatability: Can the influence of the feeding regimes explain the variability found on those attributes in different Uruguayan genotypes? *Meat Science* 98(3) 533-538).
- Del Campo M, G. Brito, J. M. Soares de Lima, D. Vaz Martinz, C. Sañudo, R. San Julián, P. Hernández, F. Montossi. 2008. Effects of feeding strategies including different proportion of pasture and concentrate, on carcass and meat quality traits in Uruguayan steers. *Meat Science* 80 (2008) 753-760. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.03.026>



- Feed, O. 2010. Metodología para la evaluación de las características cualitativas de la canal y de la carne. En: *Introducción a la Ciencia de la Carne*, Bianchi G., O. Feed O. Eds., Editorial Hemisferio Sur, Montevideo, Uruguay.
- Ferguson, D. M. R. D. Warner. 2008. Have we underestimated the impact of pre-slaughter stress on meat quality in ruminants? *Meat Science*, 80 (1): 12-19.  
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.05.004>
- Fernández G., M. Rodríguez, C. Silveira, C. Barba. 2001. Estudio étnico de los bovinos Criollos del Uruguay: II. Análisis de las faneras. *Arch. Zoot.* 50: 119-124.  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49519016>
- Ferrando, C., E. Paloma, P. Namur, D. Leguiza. 2006. Ganado bovino Criollo Argentino y Aberdeen Angus en los llanos de La Rioja. Resultado de 11 años de evaluación en sistemas de cría. Serie de publicaciones del Área de Investigación del INTA EEA La Rioja, Argentina.  
<https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1883.1204>
- Ferrario, J. D., M. A. Fernández. 2007 Estudio de características de carcasa por ultrasonido: medir para crear. *Braford*. 23(58):72-75.  
[http://www.produccion-animal.com.ar/informacion\\_tecnica/ecografia\\_ultrasonido/67-medir.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/ecografia_ultrasonido/67-medir.pdf)
- Ginja, C., L. T. da Gama, O. Cortés, I. Martín Burriel, J.L. Vega-Pla, et al. 2019. The genetic ancestry of American Creole cattle inferred from uniparental and autosomal genetic markers. *Scientific Reports* 9:11486. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-47636-0>
- Garriz, C. A., L. Vranic. 2008. Conformación y terminación en reses de novillos puros y cruza Criollo Argentino. *Revista Argentina de Producción Animal*. Vol. 28, pp: 177-233.  
[http://www.produccion-animal.com.ar/informacion\\_tecnica/raza\\_criolla/48-conformacion.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/raza_criolla/48-conformacion.pdf)
- Holgado, F. D., M. F. Ortega. 2019. Caracterización productiva del bovino Criollo Argentino: período 2006-2016. Ediciones INTA. Buenos Aires, Argentina. Pp.: 26.  
[https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta\\_caracterizacion\\_productiva\\_bovino\\_2016\\_2019.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_caracterizacion_productiva_bovino_2016_2019.pdf)
- International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC). 1987. Standard Method 2.301, Preparation of Fatty Acid Methyl Ester. In *Standard Methods for Analysis of Oils, Fats and Derivatives*. 7th Edition, Blackwell, Oxford.
- Lezama, F., A. Rossado. 2012. Efectos del pastoreo en la estructura de los pastizales naturales del Parque Nacional San Miguel y la estación biológica Potrerillo de Santa Teresa. Documento de trabajo N° 48, PROBIDES.  
<https://www.probides.org.uy/imagenes/ckfinder/files/files/Documentos%20de%20Trabajo/DT48.pdf>
- Nogales, S., M. C. Bressan, J. V. Delgado, L. T. da Gama, C. Barba, M. E. Camacho. 2017. Fatty acid profile of feral cattle meat. *Italian Journal of Animal Science* 16 (1) 172-184.  
<https://doi.org/10.1080/1828051X.2016.1263163>
- Rodríguez M., G. Fernández, C. Silveira, J. V. Delgado. 2001. Estudio étnico de los bovinos Criollos del Uruguay: I. Análisis Biométrico. *Arch. Zoot.* 50: 113-118.  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49519016>
- Realini, C. E., S. K. Duckett, G. W. Brito, M. Dalla Rizza, D. De Mattos. 2004. Effect of pasture vs. concentrate feeding with or without antioxidants on carcass characteristics, fatty acid composition, and quality of Uruguayan beef. *Meat Science* 66(3) 567-577. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(03\)00160-8](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(03)00160-8)
- Spiegel, S. A., R. E. Estell, A. F. Cibils, D. K. James, R. Peinetti, D. M. Browning, K. B. Romig, A. L. González, A. J. Lyons, B. T. Bestelmeyer. 2019. Seasonal divergence of landscape use by heritage and conventional cattle on desert rangeland. *Rangeland Ecology and Management*. 72(4):590-601.  
<https://doi.org/10.1016/j.rama.2019.02.008>
- Tarrant, V. P. 1989. Animal behavior and environment in the dark-cutting condition – A review. *Irish Journal of Food Sciences and Technology*, 13, 1-21.  
<https://www.jstor.org/stable/25580937>
- Vizcarra, J. A., W. Ibañez, R. Orcasberro. 1986. Repetibilidad y reproductibilidad de dos escalas para estimar la condición corporal en vacas Hereford. *Investigaciones Agronómicas*. N° 7: 45-47.  
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/5982/1/Inv.Agr.-1986-No.7.pdf>
- Wulf, D., R. Emnett, J. Leheska, S. Moeller. 2002. Relationships among glycolytic potential, dark-cutting (dark, firm, and dry) beef, and cooked beef palatability. *Journal of Animal Science*, 80, 1895-1903. <https://doi.org/10.2527/2002.8071895x>