

Fisiología e Implicaciones productivas del consumo residual de alimento en bovinos

Amaya Martínez,
Adonai Alejandro¹

Productive implications and physiology of residual feed intake in cattle

Rev. Zoociencia 2015. 2(1):28-39

Resumen

La conversión alimenticia está correlacionada con rasgos productivos como la ganancia diaria de peso, esto implica que la selección por un mayor crecimiento aumenta los requerimientos nutricionales. El consumo residual de alimento (CRA) es otra medida de eficiencia alimenticia, independiente de la tasa de crecimiento y el peso maduro, su importancia reside en la disminución de los costos de producción por alimentación sin comprometer la tasa de crecimiento. El conocimiento de los fundamentos fisiológicos del CRA y su relación con variables productivas permiten la identificación de predictores fisiológicos y su correlación con la eficiencia alimenticia, siendo posible la inclusión de esta medida en programas de cría y mejora para aumentar la sostenibilidad económica y ambiental de los sistemas ganaderos.

Palabras Claves: Consumo residual de alimento, eficiencia, fisiología

Abstract

Feed conversion is correlated with productive traits such as daily weight gain, this implies that selection for increased growth, elevate the nutritional requirements. The residual feed intake (RFI) is another measure for feed efficiency, independent of growth rate and body weight, its importance lies in the reduction of feeding production costs without compromising growth rate. Knowledge about RFI physiologic basis and its relationship with productive variables allow the identification of physiological predictors and their correlation with feed efficiency, enabling the inclusion of this trait in breeding programs to increase economic and environmental sustainability of livestock systems.

Keywords: Residual Feed Intake, efficiency, physiology.

Introducción

La alimentación animal constituye el rubro más relevante en los costos de producción, por ello los precios en las materias primas y forrajes determinan en gran parte la rentabilidad de los sistemas ganaderos. Esto exige el desarrollo de estrategias nutricionales para mejorar la eficiencia alimenticia en todo el ciclo productivo.

Un criterio de eficiencia alimenticia propuesto es el consumo residual de alimento, este se calcula obteniendo la diferencia entre el consumo de alimento real y el esperado, teniendo en cuenta el peso vivo y la ganancia media diaria de peso (GDP) de los animales a través de los sistemas de alimentación (Arthur & Herd, 2008). Dicho criterio se considera más acertado al ser independiente del peso corporal maduro y la ganancia diaria de peso (Koch, Swiger, Chambers, & Gregory, 1963). Esto genera un interés hacia la estimación de parámetros genéticos para consumo residual de alimento, incluyéndolo en índices de selección y programas de cría y mejora animal (Grion et al., 2014). No obstante, el origen fisiológico y su correlación con caracteres de producción aún son oscuros, y es necesaria la asociación de las bases genéticas, fisiológicas y respuestas productivas, para la identificación de animales genéticamente superiores. Por esto, el objetivo de este documento, es explorar las bases fisiológicas del consumo residual de alimento y sus correlaciones con rasgos productivos de importancia económica en los sistemas ganaderos bovinos.

¹ Zootecnista. Docente Facultad de Ciencias Pecuarias. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales. Calle 222 N° 55-37 Bogotá D.C., Colombia. Correo electrónico: adamaya@udca.edu.co

Materiales y Métodos

Se realizó una búsqueda sistémica en las bases de datos CAB Abstracts y Science Direct, empleando como términos de búsqueda: residual feed intake, feed efficiency, beef cattle, dairy cattle, physiology. Estos términos se combinaron para obtener mayores resultados en la búsqueda. El año de publicación mínimo para la selección de artículos fue 2010. Un criterio de inclusión fue la duración de la etapa experimental mínima para el consumo residual de alimento, la cual fue mayor a 70 días experimentales. Se excluyeron producciones científicas en ovinos o búfalos.

Resultados y Discusión

En las bases de datos se escogieron 58 artículos, 50 originales y 8 revisiones. Aunque la selección fue limitada al periodo 2010-2014, hubo 5 artículos de años anteriores y 1 de revisión que no reportó fecha, la razón para su selección fue la trayectoria en el tema de los autores. La revista de publicación no fue criterio de selección, sin embargo, la mayoría de artículos fueron publicados en la Journal Animal Science, Journal of Dairy Science, Livestock Science y Revista Brasileira de Zootecnia.

Eficiencia Alimenticia y Consumo Residual de Alimento

La eficiencia alimenticia permite evaluar el comportamiento productivo y está influenciada por la interacción de diversos factores, entre ellos: el sistema productivo, el estado endocrino y las diferencias metabólicas de la energía celular (Perkins et al., 2014).

La alimentación influye en la expresión del potencial genético de los individuos, su eficiencia se mide mediante la tasa de conversión alimenticia, expresada como los kilogramos de materia seca necesarios para la obtención de un kilogramo de proteína animal (Garg et al., 2013). Esta eficiencia y la variación de los requerimientos nutricionales aumentan generación tras generación, debido a una presión de selección genética, que incluyen estos caracteres correlacionados con niveles de producción de carne y leche, encontrando que cerca del 70 al 75% de los requerimientos totales de energía son destinados para el mantenimiento animal (Bezerra et al., 2013).

Castilhos et al. (2010) determinaron correlación entre la conversión alimenticia y la ganancia diaria de peso ($r=0,53$), esta estimación fue en novillos Nelloré seleccionados por eficiencia alimenticia y peso pos destete, al incluir este rasgo en programas de cría y mejora disminuyó la ingesta de materia seca (Castilhos et al., 2010), estas correlaciones con parámetros productivos ocasiona la variación fenotípica de otros caracteres, afectando positiva o negativamente el valor económico de

características con interés productivo.

Actualmente, la medida de eficiencia energética de mayor uso en ganado bovino es el consumo residual de alimento (CRA), propuesta por Koch et al. (1963) que sugirieron que la ingesta de alimento podía ser ajustada de acuerdo a variables como ganancia diaria de peso o cualquier característica de interés que demande gasto energético. El CRA se define como la diferencia entre el consumo observado y el esperado con base a su peso y tasa de crecimiento, independiente del peso maduro y la ganancia diaria de peso (Moore, Mujibi, & Sherman, 2009).

Animales con bajo CRA (mayor eficiencia) comparados con alto CRA (menor eficiencia), utilizan menos energía en procesos de mantenimiento y más para la deposición de tejido muscular (Zorzi et al., 2013). Estas diferencias en consumo de alimento cuando las tasas de crecimiento y el peso maduro son similares se asocian con menores requerimientos nutricionales (Bonilha et al., 2013), es decir, animales con una mayor utilización del alimento y que no comprometen los rendimientos, representarían una mejora de la rentabilidad en los sistemas productivos ganaderos (Lawrence, Kenny, Earley, & McGee, 2012).

Aunque la principal limitante para la metodología del CRA son los altos costos y su dificultad técnica de medición, promete ser un rasgo de importancia económica en sistemas de pastoreo y confinamiento, en los que la alimentación constituye el mayor costo de producción y la que se considera una estrategia para la reducción de los mismos (Moore et al., 2009).

Bases Biológicas del Consumo Residual de Alimento

Los diferentes mecanismos biológicos que contribuyen a la expresión del CRA, reflejan la acción recíproca de componentes fisiológicos, genéticos y etológicos (Carberry, Kenny, Han, McCabe, & Waters, 2012). Al utilizar el enfoque de los genes candidatos se asociaron genes relacionados con CRA en ganado de carne (Karisa et al., 2013), permitiendo la identificación de animales superiores a través de predictores fisiológicos y moleculares.

Para el aspecto molecular del CRA se han reportado 161 polimorfismos de nucleótido simples (SNP), causantes posiblemente de la variación en la eficiencia alimenticia, que permitiría casar la información fisiológica con genética molecular (Herd & Arthur, 2009). Estas regiones de ADN propuestas para la variación del CRA han sido; 3 genes candidatos para el apetito y homeostasis, 11 genes de matriz extracelular y desarrollo muscular, 9 genes de regulación de la expresión de ADN y 8 QTL's, todos estos causantes de efectos pleiotrópicos

que generan cambios en la eficiencia alimenticia y correlaciones genéticas con otros caracteres (Moore et al., 2009). Estos cambios fisiológicos y su asociación con genes responsables de la eficiencia alimenticia aún reportan resultados contradictorios y su predicción a nivel del todo el genoma es difícil, no obstante, algunos mecanismos biológicos sustentan la fisiología de este rasgo y han sido identificados (Arthur & Herd, 2008).

Los mecanismos biológicos y su participación en la variación de la eficiencia alimenticia incluyen el metabolismo proteico (37%), digestibilidad (10%), actividad física (10%), incremento de calor (9%), composición corporal (5%), patrones de alimentación (2%) y otros como lo es posiblemente el transporte de iones (27%), respecto a los requerimientos energéticos aún no existe evidencia que pueda asociarse a una variación genética del CRA, los postulados apuntan a una menor pérdida de energía en el metabolismo celular y una mayor distribución de energía hacia los caracteres productivos (Herd & Arthur, 2009).

Metabolismo Proteico: El metabolismo proteico ha sido estimulado a través de diferentes vías, el anabolismo y la disminución del recambio proteico en músculo parecen explicar las variaciones en animales con bajo y alto CRA, para esto, diferentes moléculas han sido postuladas, entre ellas el cortisol en plasma y en heces, que pueden actuar como promotores o inhibidores del crecimiento en bovinos de acuerdo a sus concentraciones, alterando el metabolismo muscular (Montanholi et al., 2013). Los niveles de cortisol plasmático fueron medidos en animales provenientes de una selección divergente en CRA, encontrando valores de 21,1 µg/dl y 19,4 µg/dl, para alto y bajo CRA, respectivamente. Los niveles más altos afectaron la ACTH y por consiguiente alteraron el eje hipotálamo-hipófisis-glándula suprarrenal, lo que generó una mayor tasa metabólica y mayor uso energético (C. Gomes, Sainz, & Leme, 2013), ocasionando posiblemente mayores tasas de degradación en el tejido muscular, al actuar como agente catabólico de proteínas en condiciones de estrés. Esta respuesta fue asociada a nivel hepático y animales con alto CRA tuvieron mayores concentraciones de aspartato amino transferasa, marcador hepático que indica niveles de catabolismo proteico (Herd & Arthur, 2009).

El anabolismo del tejido muscular está basado en procesos de hiperplasia e hipertrofia como resultado del metabolismo proteico, por lo que cambios producidos en el componente miofibrilar han sido objeto de estudio. Cuando se evaluó el metabolismo miofibrilar no se reportaron diferencias significativas entre animales con bajo y alto CRA, sin embargo, hubo una mayor ganancia de proteína muscular en animales más eficientes y se estableció que la energía metabolizable de mantenimiento puede incrementar 0,0166 Mcal/Kg de peso metabólico, por cada 1% de incremento en la tasa de degradación del recambio de proteína miofibrilar (Bulle,

2007), por lo que, los animales más eficientes depositan más proteína y su tasa de recambio proteico muscular es menor (Zorzi et al., 2013), utilizando menores requerimientos energéticos y aumentando la eficiencia de los procesos metabólicos.

Digestibilidad: La digestibilidad tiene directa relación con procesos de fermentación y la acción metabólica de las bacterias presentes en el rumen, diversas bacterias han sido correlacionadas con el CRA, presentando variaciones que contribuyen a una mejora en la digestibilidad y eficiencia alimenticia (Carberry et al., 2012). Las pruebas que permiten correlacionar el efecto del CRA sobre estas variables y la población bacteriana está soportado en metodologías que incorporan dietas contraste, periodos de adaptación y prácticas de alimentación que pueden alterar el CRA (Cruz, Rodríguez-Sánchez, Oltjen, & Sainz, 2010).

Novillos con alto y bajo CRA difirieron en unidades porcentuales de digestibilidad, asociando animales de menor consumo con una mayor digestibilidad (Carberry et al., 2012), aunque esta condición puede cambiar con la calidad del material usado y ser dependiente del perfil bacteriano de cada individuo, novillos con bajo CRA en el pos destete, tuvieron una mayor eficiencia de forraje (Bonilha et al., 2013), mostrando indicios de una posible correlación entre el CRA y comunidades bacterianas, que aumentarían la eficiencia de la fibra.

Asimismo, el CRA ha sido calculado usando dietas altas y bajas en forrajes, en donde, la respuesta ha sido diferente para las dos dietas (Bormann Minick, Moser, & Marston, 2010), estas variaciones no son atribuibles solamente al tipo de dieta, estudios recientes apoyan que la edad fisiológica de los animales debe ser considerada como una fuente de variación para los resultados del CRA (Loyd, 2011). Esto indicaría que la estimación del CRA, involucrando todas las etapas productivas podría dar a conocer la asociación con otras características a lo largo del ciclo y el grado de madurez fisiológica, que influye en los resultados.

Actividad Física: La actividad física está determinada por el desplazamiento de los animales a los comederos, bebederos, tiempo de alimentación y rumia (Arthur & Herd, 2008), contribuyendo con el 10% de la variación del CRA (Connor et al., 2013). La estimación de la actividad física está dada por el uso de sensores en miembros posteriores, comederos y bebederos, permitiendo conocer el desplazamiento, número de visitas y tiempo de duración en el comedero. Bonilha et al. (2013) indicaron que hembras más eficientes en sistemas de confinamiento gastaron un 26% menos de tiempo para alimentación, la misma tendencia fue encontrada en novillos con bajo CRA en dietas de acabado, estos usaron menos energía en actividades de alimentación (Durunna, Wang, Basarab, Okine, & Moore, 2011), este

tipo de comportamiento permite la disminución de los requerimientos energéticos para mantenimiento, aumentando la eficiencia energética

Igualmente, en sistemas de pastoreo se mantuvo este comportamiento, animales con bajo CRA permanecieron menos tiempo de pie, lo que disminuyó los requerimientos de energía para mantenimiento hasta en un 18% (Lawrence et al., 2012). La correlación estimada entre CRA y rasgos de comportamiento para la alimentación fueron débiles en un estudio realizado en 1049 novillas en crecimiento ($r=0,14-0,26$) (Green, Jago, Macdonald, & Waghorn, 2013), siendo aún un indicador no confiable para predecir el CRA en la etapa de crecimiento.

Este aumento de la actividad física para animales de alto CRA puede asociarse con las demandas energéticas del músculo, afectando los niveles de metabolitos en el músculo, como la creatina y carnitina, estos han aumentado sus concentraciones en animales con alto CRA, que estuvo relacionado con una mayor demanda energética (Karisa et al., 2014), estos cambios fisiológicos requieren importancia para ser correlacionados y usados como predictores en medidas de eficiencia alimenticia y CRA.

Incremento de Calor: El incremento de calor es un mecanismo de respuesta para la regulación de procesos homeostáticos y la alimentación es un vector causante de este incremento. Animales con bajo CRA presentaron una menor ingesta de materia seca, constituyendo un menor incremento de calor debido a una menor pérdida energética en tracto gastrointestinal por procesos de digestión y fermentación ruminal (Herd & Arthur, 2009). Igualmente, animales con bajo CRA tuvieron un 22% menos de actividades dedicadas a la alimentación (Kelly, McGee, Crews, Fahey, et al., 2010), siendo otra variable que aporta al incremento calórico, valores similares fueron reportados para novillas Holstein en crecimiento con dieta alta en forraje, animales con bajo CRA presentaron un 26% menos tiempo en comederos y una reducción del 17% en la ingesta materia seca (Hafila et al., 2013), estos resultados indican que existen diferentes fuentes que reducen o aumentan el incremento calórico, en donde, patrones de alimentación son los de mayor participación en este proceso biológico.

Composición Corporal: El peso corporal de los animales experimentales y el potencial de crecimiento de animales con alto y bajo CRA no difirieron significativamente al inicio y final de los periodos de evaluación, demostrando que son variables independientes del CRA (Bonilha et al., 2013), sin embargo, la deposición de grasa ha sido uno de los rasgos más estudiados, por su relación con características de la canal y comportamiento reproductivo del hato.

Las relaciones para la deposición de grasa o proteína

surgen de la eficiencia en el uso de nutrientes, siendo para grasa del 70 al 95% y para ganancia magra del 40 al 50%, con una tendencia a presentar mayor contenido de proteína y menor de grasa en animales de mayor eficiencia alimenticia (Carberry et al., 2012). Estudios en CRA confirman esta tendencia y animales con alto CRA presentaron mayor cantidad de grasa en la canal a nivel subcutáneo (Shaffer, Turk, Wagner, & Felton, 2011), esto coincidió con novillas con alto CRA que presentaron un 38% más en el espesor de grasa lumbar y 59% de aumento de grasa total (Kelly, McGee, Crews, Fahey, et al., 2010). No obstante, la selección genética se ha encaminado a los animales con menor contenido de grasa subcutánea, lo que puede hacer más difícil la identificación de diferencias significativas para estos valores en investigaciones que busquen asociar niveles de grasa y eficiencia alimenticia.

Metabolismo Celular: La respuesta celular está mediada por el metabolismo energético y proteico, animales con bajo CRA necesitaron menos oxígeno para los tejidos de mayor relación con el metabolismo. Las mitocondrias, aumentaron la respiración y el flujo de electrones en la cadena de transporte, generando una mayor eficiencia mitocondrial y producción energética de la célula (Herd & Arthur, 2009). Igualmente, las concentraciones del complejo I mitocondrial, presentaron variaciones para los diferentes grupos de CRA, con mayores concentraciones para animales con bajo CRA (Ramos & Kerley, 2013). Estos complejos son necesarios para la cadena de transporte de electrones en la mitocondria y generación de estados de energía, que son usados por la célula para funciones fisiológicas vitales, como el crecimiento, lo que indicaría que las diferencias en estos procesos, podrían cambiar la eficiencia metabólica de las células y por consiguiente variaciones en el 90% de energía celular que provee la mitocondria.

Asimismo, el grado de expresión de los genes que regulan la síntesis de ATP y la función mitocondrial en tejido muscular también han sido evaluados y manifestaron diferencias en grupos de animales con alto y bajo CRA, (Kelly et al., 2012), lo que supone nuevamente que la mitocondria juega un papel clave en la eficiencia metabólica de nutrientes. Estas diferencias de la función mitocondrial fueron postuladas con origen en el genoma mitocondrial, aunque, no hubo polimorfismos en el ADN mitocondrial asociados con el CRA (Moore et al., 2009), descartando influencia de linajes maternos sobre rasgos de eficiencia alimenticia como CRA.

Perfil Bioquímico y Endocrino del Consumo Residual de Alimento

Las sustancias disueltas en el plasma sanguíneo, además de proteínas, poseen moléculas importantes cuyas concentraciones son indispensables para el funcionamiento del organismo, que de acuerdo a condiciones ambientales, principalmente patológicas y nutricionales

pueden cambiar fácilmente y ser indicadores de alteraciones fisiológicas. La asociación de metabolitos sanguíneos con la eficiencia alimenticia ha sido difícil de dilucidar (Kelly, et al., 2010), sin embargo, debido a que los metabolitos en sangre son indicadores bioquímicos útiles para el conocimiento del metabolismo energético y estado nutricional del ganado (Lawrence et al., 2012), deben ser descritos y relacionados a mayor profundidad con el CRA.

Aunque los indicadores en sangre son muy volátiles, indican una respuesta fisiológica o patológica que se puede relacionar con un rasgo de interés económico y ser usados como predictores del CRA. Los componentes en sangre de interés frente a respuestas de producción animal incluyen; respuesta inmunológica, respuesta al estrés medido en niveles de cortisol, moléculas asociadas al componente nutricional: ácidos grasos no esterificados (AGNE), insulina, factor de crecimiento similar a la insulina (IGF-1), Beta Hidroxibutirato, Leptina y hormonas. Los resultados reportados han sido contradictorios en esta área para el CRA, pero el objetivo es conocer marcadores fenotípicos relacionados con la eficiencia alimenticia (Santana, et al., 2013), proporcionando metodologías más rentables para la identificación de animales con un bajo CRA (Kelly, et al., 2010).

Perfil Hematológico: Este ha sido poco descrito para animales con selección divergente en CRA, desconociendo el impacto de la selección genética por eficiencia alimenticia para la resistencia o susceptibilidad a enfermedades y estrés, estudios en aves, han reportado una disminución del sistema inmunológico (C. Gomes, Siqueira, & Ballou, 2011). En la especie bovina al evaluar el perfil metabólico de las proteínas, no hubo diferencias significativas para el perfil de leucocitos (Santana et al., 2013), concentraciones de inmuno globulina G (Lawrence et al., 2011) y glóbulos rojos (Gomes et al., 2011), sugiriendo la no existencia de una interacción entre el CRA y el estado inmunológico en bovinos, no obstante, existe una tendencia de mayores niveles de células de respuesta inmune en animales con alto CRA (Lawrence et al., 2012). Debido a la falta de correlación del CRA y la tasa de crecimiento, esta disminución de la respuesta inmunológica no puede ser explicada por los niveles de producción, pero diferencias en la distribución de energía para procesos vitales y de producción en el CRA, podría afectar los mecanismos por los que se desarrollan y expresan los diferentes anticuerpos.

Estado Nutricional: La evaluación del estatus nutricional está relacionada con procesos de fermentación, digestión enzimática, metabolismo y deposición de tejido proteico y graso. Los ácidos grasos volátiles, producto de la fermentación ruminal, se observaron en mayores concentraciones, casi dos veces más en animales con bajo

CRA y cuatro veces más para butírico (Khiaosa-ard & Zebeli, 2014), por lo tanto, el beta hidroxibutirato requiere atención, al ser posiblemente uno de los marcadores más representativos y con mayor variación para asociarlo al CRA. Este metabolito, producto de la lisis de los depósitos grasos, para ser fuente de energía a través del proceso de gluconeogénesis, presentó mayores niveles en animales con alto CRA y correlaciones positivas ($r=0,34$) con la ingesta de materia seca, mayor en animales de menor eficiencia, dicho valor fue evaluado a través de la edad y tuvo tendencia a ser menor a medida que esta aumentaba, lo que sugiere que los metabolitos en sangre dependen más de la dieta y el ambiente que del genotipo (Kelly et al., 2010), esto puede explicar los resultados contradictorios encontrados en diferentes estudios, debido a que utilizan animales de diferentes edades fisiológicas.

Otro indicador sanguíneo, los ácidos grasos no esterificados (AGNE), fueron estudiados para encontrar posible asociación con los requerimientos nutricionales, afectada posiblemente la eficiencia de energía y la ingesta de alimento (Karisa et al., 2014). Niveles más altos de AGNE se han encontrado en grupos con bajo CRA (Kelly et al., 2010), esto puede ser producto de la movilización de grasa. Mayores concentraciones de AGNE pueden ser explicadas con base en resultados de estudios que indican menor grasa corporal en animales con bajo CRA, sin embargo, la deposición de grasa depende de otros factores como concentraciones de hormonas metabólicas, por lo que, la variación del tejido graso no puede ser atribuible solamente a los AGNE.

La leptina, insulina y IGF-1, actúan como mediadores metabólicos de nutrientes y podrían explicar variaciones productivas. La leptina está asociada con niveles de grasa corporal, al ser producida por adipocitos e involucrada con el control del hambre a través de la disminución de la ingesta y aumento de la saciedad (Perkins et al., 2014), por esta relación, ha sido propuesta como predictor fisiológico del CRA. Aunque se esperaría una mayor concentración en animales de menor eficiencia por una mayor deposición de grasa, no se han encontrado diferencias en sangre, sugiriendo que no existe una relación con medidas de eficiencia alimenticia (Kelly et al., 2010). Este comportamiento también fue observado con niveles de IGF-1, hormona producida en hígado y regulador del crecimiento y metabolismo celular, pero que no presentó diferencias entre los grupos de CRA (Welch et al., 2013), algunos estudios no han demostrado correlaciones fenotípicas entre IGF-1 y CRA, novillos más eficientes tuvieron menores concentraciones en plasma (D. P. Berry & Crowley, 2012), diferente a lo reportado por Kelly et al., (2010) que encontraron niveles más altos de IGF-1 y que la correlación disminuía cuando aumentaba la edad en animales de mayor eficiencia.

Dichas inconsistencias ponen de manifiesto que no es

un predictor confiable del CRA, la expresión de estas hormonas, relacionadas con el crecimiento, dependen de la edad fisiológica, siendo importante la evaluación de animales con edades iguales para el establecimiento de las posibles correlaciones para ser usadas como predictores del CRA. La insulina tampoco ha variado significativamente de acuerdo a la agrupación por CRA, pero se han encontrado mayores concentraciones en animales con alto CRA (Kelly et al., 2010), que al estar asociada con procesos de lipogénesis, constituye otra posible fuente para explicar los mayores depósitos de grasa en animales con alto CRA.

Implicaciones Productivas del Consumo Residual de Alimento

Condiciones Ruminales: La fermentación desempeña un papel indispensable en la nutrición de rumiantes al contribuir con la eficiencia alimenticia (Carberry et al., 2012) y está asociada a las variaciones en comunidades bacterianas, causando diferencias en la digestión y metabolismo de compuestos importantes en la eficiencia energética, como la producción de metano (Waghorn & Hegarty, 2011).

Los vínculos de perfiles bacterianos con el CRA pueden contribuir a la explicación de una mayor eficiencia, con resultados importantes como la reducción del impacto ambiental, en donde, animales con bajo CRA redujeron el consumo de alimento, la producción de metano y estiércol en un 12%, 25% y 15%, respectivamente (Moore et al., 2009). Además, los análisis de regresión han indicado que un aumento de 1 kilogramo de materia seca en CRA se asoció con un aumento en la producción de metano de 23g/día y una correlación positiva ($r=0,26$) entre estas dos variables (Fitzsimons et al., 2013). La energía ingerida que fue perdida en forma de metano osciló de un 3% a 3,5% en animales sometidos a dietas altas en grano y ensilaje de maíz (Freetly & Brown-Brandl, 2013), lo que aumentaría la eficiencia alimenticia y disminuiría la pérdida de nutrientes al identificar animales con bajo CRA. Correlaciones positivas han sido descritas entre la producción diaria de metano y la energía perdida (Hendriks & Scholtz, 2013), atribuidas posiblemente a diferencias en la digestión, metabolismo de nutrientes y tamaño de la masa visceral, que es más pequeña en animales más eficientes, (Waghorn & Hegarty, 2011), por lo tanto, el CRA sería una herramienta importante para ser incluida en programas de cría para evitar pérdidas energéticas y aumentar la productividad.

La eficiencia alimenticia y producción de metano se han tratado de asociar con poblaciones de microorganismos ruminales, encontrando que depende más del tipo de dieta. Un estudio reciente mostró que al usar dietas contraste, dos bacterias fueron identificadas e independientes del tipo de dieta y asociadas al CRA, *Prevotella* y *Ruminococcus albus* (Carberry et al., 2012). *Prevotella*,

presentó altos niveles en animales con bajo CRA, en novillos Brahman a pastoreo (McCann et al., 2014), no obstante, la asociación entre las comunidades ruminales y la eficiencia alimenticia no son siempre certeras (Khiaosa-ard & Zebeli, 2014). Estas diferencias en comunidades bacterianas podrían ser fuentes de variación para vías de fermentación causando diferencias en los procesos de fermentación y digestión de nutrientes.

Animales con alto CRA están asociados a una mayor tasa de pasaje de los alimentos con relativamente menos tiempo para la digestión y captación de nutrientes, disminuyendo la utilización de los mismos (Lin, Macleod, & Pryce, 2013), posiblemente debido a un menor tamaño visceral en animales con menor CRA, lo que disminuye la ingesta de materia seca, además, parece haberse correlacionado el tiempo de permanencia del alimento en rumen como rasgo heredable, lo que influiría en cantidades y proporciones de ácidos grasos volátiles (Waghorn & Hegarty, 2011).

Desempeño Reproductivo: El incremento en la producción de animales domésticos ha sido correlacionado con una disminución en la respuesta inmunológica y reproductiva. La expresión de parámetros reproductivos depende en mayor grado del medio ambiente (Blair et al., 2013), por lo que son necesarias investigaciones de mayor profundidad para ser asociadas con rasgos productivos.

El primer indicador de actividad reproductiva es la pubertad, la cual al ser determinada mediante la concentración de progesterona en sangre, determinó que la tasa de preñez y concepción no difirieron en las agrupaciones por CRA (Blair et al., 2013; Shaffer et al., 2011). Sin embargo, la edad al primer parto en animales con alto CRA podría verse afectada, aumentando este índice (Blair et al., 2013), lo que parece estar relacionado con las reservas grasas, que son menores en animales con bajo CRA, afectando la función reproductiva a través de la producción de hormonas esteroideas (Bonilha et al., 2013; Loyd, 2011), influyendo en el metabolismo energético y aumentando la edad a la pubertad.

Las tasas de concepción y tasas de preñez posiblemente indican que el CRA no compromete la ovulación (D. P. Berry & Crowley, 2012), en donde, el cuerpo lúteo es una estructura de participación activa en el ciclo estral y ha sido estudiado igualmente en animales con diferentes CRA. Novillas con un 40% de restricción de nutrientes en grupos con alto y bajo CRA, no mostraron relación con la función lútea durante la restricción, en este mismo estudio fueron evaluados los niveles de IGF-1, para los que tampoco presentó variaciones entre los grupos (Lents et al., 2011), corroborando la poca relación de caracteres de eficiencia alimenticia con parámetros reproductivos después de la pubertad. Es impor-

tante considerar que los periodos de restricción nutricional como factor ambiental, disminuye la eficiencia reproductiva, afectando la fertilidad del hato.

La evaluación del desempeño reproductivo en machos y su relación con la eficiencia alimenticia se ha centrado su interés en la fertilidad, circunferencia escrotal y calidad de semen. Parece ser que estos rasgos no se ven afectados por la eficiencia alimenticia, a excepción de la motilidad que fue mayor en animales con bajo CRA, pero sin diferencias significativas (Wang et al., 2012), en este mismo estudio, el número de progenie no se vio afectado en hatos de monta natural, indicando probablemente que en machos el componente reproductivo no se afecta por el CRA. Algunos estudios para estos rasgos indican que se debe considerar la grasa corporal y la actividad física en los grupos de animales para no alterar el desempeño reproductivo del hato (Bonilha et al., 2013).

Calidad de Carne: Las propiedades físico químicas de la carne son rasgos de interés económico en la producción bovina, correlaciones entre eficiencia alimenticia y características de la canal han sido bajas (Zorzi et al., 2013). Aunque la síntesis de proteínas en el contexto de CRA ha sido mal caracterizado en bovinos y parece no estar asociado con el fenotipo (Cruzen et al., 2013), diversos estudios encontraron diferencias significativas en propiedades de importancia económica como ternera y grasa de cobertura e intramuscular.

La ternera está asociada con niveles de colágeno y sistemas enzimáticos como la acción calpaína-calpastatina, que explican en mayor porcentaje la variación de la ternera, siendo menos tierna en animales con bajo CRA, debido a una mayor actividad de calpastatina observada (Cruzen et al., 2013), sin embargo, no hubo correlación entre las características de la canal y propiedades organolépticas (Welch et al., 2012), lo que indicaría que los cambios de la ternera por agrupación de CRA no afectaría la calidad de la carne. R. C. Gomes et al., (2012) reportó la falta de evidencia de proteasas que puedan afectar este rasgo pos mortem. Los niveles de colágeno tienen relación con la actividad reportada por calpastatina, encontrando mayores niveles de esta proteína estructural en animales con bajo CRA, aportando a la disminución en la ternera de la carne, aunque el colágeno solo explica el 10% de la variación en la ternera (Zorzi et al., 2013), ejerce acción sobre esta propiedad de la canal.

Los niveles de grasa subcutánea han sido asociados a una menor eficiencia, en animales Wagyu, el porcentaje de grasa intramuscular tuvo una correlación negativa con el CRA, indicando que animales con menor consumo tenían mayor grasa intramuscular (Mcgee et al., 2013), atribuido probablemente a las diferencias en la repartición de energía de animales agrupados por dife-

rentes CRA, este rasgo pos destete no fue correlacionado con el marmoreo (Sobrinho et al., 2011)

Programas de Cría y Mejora: La identificación de parámetros genéticos permite conocer la variación del carácter que es atribuible a la acción génica aditiva, para de esta manera, incluirlos en programas de mejoramiento. El CRA ha presentado en la mayoría de estudios heredabilidades moderadas, por lo que se postula como un carácter para programas de cría y mejora (Moore et al., 2009). Rasgos relacionados con la alimentación, como el índice de conversión han sido caracteres de selección pero han aumentado los requerimientos de mantenimiento para el desempeño productivo, el concepto de consumo residual previene esto al ser independiente de la ganancia diaria de peso (Kelly et al., 2010) y al reducir las necesidades de mantenimiento sin comprometer la tasa de crecimiento (Lawrence et al., 2012). Para estas características, la recomendación en programas de cría y mejora es el uso de índices que combinen más de un rasgo de eficiencia alimenticia (Grion et al., 2014).

Los parámetros genéticos, dependen de la población de estudio, siendo necesaria su estimación en diferentes razas (D P Berry & Crowley, n.d.), heredabilidades estimadas para este rasgo en diferentes poblaciones de animales Angus fueron 0,39-0,51 (Bormann Minick et al., 2010), otro estudio de 903 terneras Holstein con una edad entre 5 y 7 meses reportó una heredabilidad de 0,27 (Williams et al., 2011), estas investigaciones muestran una varianza génica aditiva considerable, convirtiendo el CRA en un rasgo de interés genético, sin embargo, el CRA como único criterio de selección debe manejarse con precaución, al tener posiblemente correlaciones negativas con otros caracteres de interés productivo.

La repetibilidad, es importante para predecir el comportamiento de animales jóvenes en etapas más adultas, en ganado de carne para etapa de ceba y en ganado de leche para la lactancia. Este parámetro genético para CRA en las etapas de crecimiento y acabado fue 0,5 (Lawrence et al., 2012). La tendencia se mantuvo para comportamientos de alimentación que determinan la ingesta de alimento, que fue similar y no reportó diferencias significativas en los periodos de levante y ceba (Durunna et al., 2011). En ganado de leche, la repetibilidad estimada a través de diferentes lactancias en vacas Holstein fue 0,56, estas estimaciones de CRA para lactancias son objeto de mayor investigación por los procesos de movilización de grasa (Connor et al., 2013), este resultado coincidió con estudios en los que se evaluó el CRA de novillas en crecimiento y en lactancia, para el que novillas con bajo CRA en crecimiento, también lo fueron para la etapa de lactancia (Black et al., 2013).

Estos resultados indican que la selección de animales con bajo CRA en etapas jóvenes puede ser un predictor

del desempeño en etapas productivas más avanzadas, descartando animales tempranamente y disminuyendo costos de producción. Por otro lado, la confiabilidad de los resultados en pruebas de desempeño depende de las condiciones del experimento, para esto, la duración de la prueba para CRA más confiable es un periodo de 84 días, tiempo necesario para la evaluación del CRA y ganancia diaria de peso, aunque debido a los altos costos para su investigación, se pueden realizar periodos acortados de 56 a 84 días, con muy poca pérdida de la precisión en el estudio (Castilhos et al., 2011).

Conjuntamente, la selección genómica aparece en la actualidad como una herramienta de mayor interés que los predictores fisiológicos (Lin et al., 2013), pero debido a la variación inter animal a nivel fenotípico y genotípico la estimación del CRA es difícil, por lo que es necesario el conocimiento de las bases fisiológicas (Saviotto, Berry, & Friggens, 2014). 25 SNP en un estudio reciente fueron asociados significativamente con el CRA, explicando el 19,7% de la variación del fenotipo (Karisa et al., 2013), otros 90 SNP's fueron asociados con rasgos de eficiencia alimenticia, entre ellos, CRA, los cuales representaron del 28 al 46% de la varianza génica aditiva total (Snelling et al., 2011). Esto indicaría que de encontrar relación en otras razas o poblaciones de ganado con estos genes, se convertirían en una herramienta valiosa de selección asistida por marcadores para los rasgos de eficiencia alimenticia (Chen et al., 2013), economizando costos de medición del rasgo y aumento en la rentabilidad del sistema a través de la selección genómica de toros con bajo CRA.

Conclusiones

La eficiencia alimenticia constituye el rasgo de mayor interés e impacto económico en la producción de ganado bovino, incluso en sistemas de pastoreo, en los que en la mayoría de explotaciones se desconoce su costo real. Por lo tanto, el CRA es una medida que mejora la sostenibilidad económica y ambiental, disminuyendo costos de alimentación e impacto ambiental por la generación de residuos, sin embargo, como todo proceso biológico, requiere de un análisis integral, evaluando las necesidades energéticas y alteraciones fisiológicas que este rasgo pueda ocasionar productivamente.

El conocimiento de la fisiología y su asociación con la eficiencia alimenticia permitiría la identificación de animales más eficientes para CRA y ser incluidos en programas de cría y mejora, para esto, son necesarias investigaciones que determinen predictores fisiológicos confiables, asimismo, la modelación del crecimiento y la interpretación de los cambios fisiológicos durante las diferentes etapas productivas podría esclarecer algunos de los resultados contradictorios presentados en diversos estudios para el CRA, aumentando la exactitud de la medición del rasgo.

Referencias bibliográficas

- Arthur, J. P. F., & Herd, R. M. (2008). Residual feed intake in beef cattle. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37, 269–279.
- Berry, D. P., & Crowley, J. J. (n.d.). Genetics of feed efficiency in dairy and beef cattle. *Cell Biology Symposium*. doi:10.2527/jas2012-5862
- Berry, D. P., & Crowley, J. J. (2012). Residual intake and body weight gain: A new measure of efficiency in growing cattle. *Journal of Animal Science*, 90(1), 109–115. doi:10.2527/jas.2011-4245.
- Bezerra, L. R., Sarmento, J. L. R., Neto, S. G., de Paula, N. R. O., Oliveira, R. L., & do Rêgo, W. M. F. (2013). Residual feed intake: a nutritional tool for genetic improvement. *Tropical Animal Health and Production*, 45(8), 1649–61. doi:10.1007/s11250-013-0435-y
- Black, T. E., Bischoff, K. M., Mercadante, V. R. G., Marquezini, G. H. L., Dilorenzo, N., Chase, C. C., ... Lamb, G. C. (2013). The relationships among performance, residual feed intake, and temperament assessed in growing beef heifers and subsequently as three-year-old lactating beef cows. *Journal of Animal Science*, 91(5), 2254–2263. doi:10.2527/jas2012-5242
- Blair, E. E., Bormann, J. M., Moser, D. W., & Marston, T. T. (2013). Relationship between residual feed intake and female reproductive measurements in heifers sired by high- or low-residual feed intake Angus bulls. *Professional Animal Scientist*, 29(1), 46–50. Retrieved from <http://pas.fass.org/content/29/1/46.abstract?etoc>
- Bonilha, E. F. M., Branco, R. H., Bonilha, S. F. M., Araujo, F. L., Magnani, E., & Mercadante, M. E. Z. (2013). Body chemical composition of Nelore bulls with different residual feed intakes. *Journal of Animal Science*, 91(7), 3457–64. doi:10.2527/jas2012-5437
- Bormann Minick, J., Moser, D., & Marston, T. (2010). CASE STUDY: Feed Intake and Performance of Heifers Sired by High- or Low-Residual Feed Intake Angus Bulls. *The Professional Animal Scientist*, 26, 328–331.

- Bulle, F. C. P. C. (2007). Growth , carcass quality , and protein and energy metabolism in beef ... *Journal of Animal Science*, 85(4), 928.
- Carberry, C. a., Kenny, D. a., Han, S., McCabe, M. S., & Waters, S. M. (2012). Effect of Phenotypic Residual Feed Intake and Dietary Forage Content on the Rumen Microbial Community of Beef Cattle. *Applied and Environmental Microbiology*, 78(14), 4949–4958. doi:10.1128/AEM.07759-11
- Castilhos, A. M. De, Branco, R. H., Lucila, T., Corvino, S., Razook, A. G., Figueiredo, S., ... De, L. A. (2010). Feed efficiency of Nellore cattle selected for postweaning weight 1 Eficiência alimentar em bovinos Nelore selecionados para peso pós-desmame. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39(11), 2486–2493.
- Castilhos, A. M. De, Branco, R. H., Razook, A. G., Figueiredo, S., Bonilha, M., Eugênia, M., & Mercadante, Z. (2011). Test post-weaning duration for performance , feed intake and feed efficiency in Nellore cattle 1 Duração do período de avaliação pós-desmame para medidas de desempenho , consumo e eficiência alimentar em bovinos da raça Nel. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40(2), 301–307.
- Chen, L., Schenkel, F., Vinsky, M., Jr, D. H. C., & Li, C. (2013). Accuracy of predicting genomic breeding values for residual feed intake in Angus and Charolais beef cattle 1. doi:10.2527/jas2013-5715
- Connor, E. E., Hutchison, J. L., Norman, H. D., Olson, K. M., Van Tassell, C. P., Leith, J. M., & Baldwin, R. L. (2013). Use of residual feed intake in Holsteins during early lactation shows potential to improve feed efficiency through genetic selection. *Journal of Animal Science*, 91(8), 3978–88. doi:10.2527/jas2012-5977
- Cruz, G. D., Rodríguez-Sánchez, J. a, Oltjen, J. W., & Sainz, R. D. (2010). Performance, residual feed intake, digestibility, carcass traits, and profitability of Angus-Hereford steers housed in individual or group pens. *Journal of Animal Science*, 88(1), 324–329. doi:10.2527/jas.2009-1932
- Cruzen, S. M., Harris, a J., Hollinger, K., Punt, R. M., Grubbs, J. K., Selsby, J. T., ... Huff-Lonergan, E. (2013). Evidence of decreased muscle protein turnover in gilts selected for low residual feed intake. *Journal of Animal Science*, 4007–4017. doi:10.2527/jas2013-6413
- Durunna, O. N., Wang, Z., Basarab, J. a, Okine, E. K., & Moore, S. S. (2011). Phenotypic and genetic relationships among feeding behavior traits, feed intake, and residual feed intake in steers fed grower and finisher diets. *Journal of Animal Science*, 89(11), 3401–3409. doi:10.2527/jas.2011-3867
- Fitzsimons, C., Kenny, D. a, Deighton, M. H., Fahey, a G., & McGee, M. (2013). Methane emissions, body composition, and rumen fermentation traits of beef heifers differing in residual feed intake. *Journal of Animal Science*, 91(12), 5789–800. doi:10.2527/jas2013-6956
- Freetly, H. C., & Brown-Brandl, T. M. (2013). Enteric methane production from beef cattle that vary in feed efficiency. *Journal of Animal Science*, 91(10), 4826–31. doi:10.2527/jas2011-4781
- Garg, M. R., Sherasia, P. L., Bhanderi, B. M., Phondba, B. T., Shelke, S. K., & Makkar, H. P. S. (2013). Effects of feeding nutritionally balanced rations on animal productivity, feed conversion efficiency, feed nitrogen use efficiency, rumen microbial protein supply, parasitic load, immunity and enteric methane emissions of milking animals under field condi. *Animal Feed Science and Technology*, 179(1-4), 24–35. doi:10.1016/j.anifeedsci.2012.11.005
- Gomes, C., Sainz, R. D., & Leme, P. R. (2013). Protein metabolism , feed energy partitioning , behavior patterns and plasma cortisol in Nellore steers with high and low residual feed intake 1. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 42(1), 44–50.
- Gomes, C., Siqueira, R. F. De, & Ballou, M. A. (2011). Hematological profile of beef cattle with divergent residual feed intake , following feed deprivation. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 46(9), 1105–1111.
- Gomes, R. C., Sainz, R. D., Silva, S. L., César, M. C., Bonin, M. N., & Leme, P. R. (2012). Feedlot performance, feed efficiency reranking, carcass traits, body composition, energy requirements, meat quality and calpain system activity in Nellore steers with low and high residual feed intake. *Livestock Science*, 150(1-3), 265–273. doi:10.1016/j.livsci.2012.09.012
- Green, T. C., Jago, J. G., Macdonald, K. a, & Waghorn, G. C. (2013). Relationships between residual

- feed intake, average daily gain, and feeding behavior in growing dairy heifers. *Journal of Dairy Science*, 96(5), 3098–107. doi:10.3168/jds.2012-6087
- Grion, a L., Mercadante, M. E. Z., Cyrillo, J. N. S. G., Bonilha, S. F. M., Magnani, E., & Branco, R. H. (2014). Selection for feed efficiency traits and correlated genetic responses in feed intake and weight gain of Nelore cattle. *Journal of Animal Science*, 92(3), 955–65. doi:10.2527/jas2013-6682
- Hafla, A. N., Carstens, G. E., Forbes, T. D. A., Tedeschi, L. O., Bailey, J. C., Walter, J. T., & Johnson, J. R. (2013). Relationships between postweaning residual feed intake in heifers and forage use, body composition, feeding behavior, physical activity, and heart rate of pregnant beef females. doi:10.2527/jas2013-6423
- Hendriks, J., & Scholtz, M. M. (2013). Possible reasons for differences in residual feed intake: An overview. *South African Journal of Animal Science*, 43(5).
- Herd, R. M., & Arthur, P. F. (2009). Physiological basis for residual feed intake. *Journal of Animal Science*, 87(14 Suppl), E64–E71. doi:10.2527/jas.2008-1345
- Karisa, B. K., Thomson, J., Wang, Z., Li, C., Montanholi, Y. R., Miller, S. P., ... Plastow, G. S. (2014). Plasma metabolites associated with residual feed intake and other productivity performance traits in beef cattle. *Livestock Science*, 165, 200–211. doi:10.1016/j.livsci.2014.03.002
- Karisa, Thomson, J., Wang, Z., Stothard, P., Moore, S. S., & Plastow, G. S. (2013). Candidate genes and single nucleotide polymorphisms associated with variation in residual feed intake in beef cattle 1. *Livestock Science*, (2009). doi:10.2527/jas2012-6170
- Kelly, McGee, M., Crews, D. H., Fahey, a G., Wylie, a R., & Kenny, D. a. (2010). Effect of divergence in residual feed intake on feeding behavior, blood metabolic variables, and body composition traits in growing beef heifers. *Journal of Animal Science*, 88(1), 109–123. doi:10.2527/jas.2009-2196
- Kelly, McGee, M., Crews, D. H., Sweeney, T., Boland, T. M., & Kenny, D. a. (2010). Repeatability of feed efficiency, carcass ultrasound, feeding behavior, and blood metabolic variables in finishing heifers divergently selected for residual feed intake. *Journal of Animal Science*, 88(10), 3214–3225. doi:10.2527/jas.2009-2700
- Kelly, Waters, S. M., McGee, M., Browne, J. a., Magee, D. a., & Kenny, D. a. (2012). Expression of key genes of the somatotrophic axis in longissimus dorsi muscle of beef heifers phenotypically divergent for residual feed intake. *Journal of Animal Science*, 159–167. doi:10.2527/jas2012-5557
- Khiaosa-ard, R., & Zebeli, Q. (2014). Cattle's variation in rumen ecology and metabolism and its contributions to feed efficiency. *Livestock Science*, 162(1), 66–75. doi:10.1016/j.livsci.2014.01.005
- Koch, R., Swiger, L. A., Chambers, D., & Gregory, K. E. (1963). Efficiency of Feed Use in Beef Cattle. *Journal of Animal Science*, 486–494.
- Lawrence, P., Kenny, D. a., Earley, B., Crews, D. H., & McGee, M. (2011). Grass silage intake, rumen and blood variables, ultrasonic and body measurements, feeding behavior, and activity in pregnant beef heifers differing in phenotypic residual feed intake. *Journal of Animal Science*, 89(10), 3248–3261. doi:10.2527/jas.2010-3774
- Lawrence, P., Kenny, D. a., Earley, B., & McGee, M. (2012). Grazed grass herbage intake and performance of beef heifers with predetermined phenotypic residual feed intake classification. *Animal*, 6(10), 1648–1661. doi:10.1017/S1751731112000559
- Lents, C. a, Randel, R. D., Stelzljeni, a M., Caldwell, L. C., & Welsh, T. H. (2011). Function of the corpus luteum in beef heifers is affected by acute submaintenance feeding but is not correlated with residual feed intake. *Journal of Animal Science*, 89(12), 4023–31. doi:10.2527/jas.2011-4097
- Lin, Z., Macleod, I., & Pryce, J. E. (2013). Short communication: estimation of genetic parameters for residual feed intake and feeding behavior traits in dairy heifers. *Journal of Dairy Science*, 96(4), 2654–6. doi:10.3168/jds.2012-6134
- Loyd, A. N. (2011). Effects of physiological age on residual feed intake of growing heifers. *Open Journal of Animal Sciences*, 01(03), 89–92. doi:10.4236/ojas.2011.13011

- McCann, J. C., Wiley, L. M., Forbes, T. D., Rouquette, F. M., & Tedeschi, L. O. (2014). Relationship between the rumen microbiome and residual feed intake-efficiency of Brahman bulls stocked on bermudagrass pastures. *PLoS One*, *9*(3), e91864. doi:10.1371/journal.pone.0091864
- Mcgee, M., Welch, C. M., Hall, J. B., Small, W., & Hill, R. A. (2013). Evaluation of Wagyu for residual feed intake : Optimizing feed efficiency , growth , and marbling in Wagyu cattle. *Professional Animal Scientist*, *29*, 51–56.
- Montanholi, Y. R., Palme, R., Haas, L. S., Swanson, K. C., Vander Voort, G., & Miller, S. P. (2013). On the relationships between glucocorticoids and feed efficiency in beef cattle. *Livestock Science*, *155*(1), 130–136. doi:10.1016/j.livsci.2013.04.002
- Moore, S. S., Mujibi, F. D., & Sherman, E. L. (2009). Molecular basis for residual feed intake in beef cattle. *Journal of Animal Science*, *87*(14 Suppl), E41–7. doi:10.2527/jas.2008-1418
- Perkins, S. D., Key, C. N., Garrett, C. F., Foradori, C. D., Bratcher, C. L., Kriese-Anderson, L. a., & Brandebourg, T. D. (2014). Residual feed intake studies in Angus-sired cattle reveal a potential role for hypothalamic gene expression in regulating feed efficiency. *Journal of Animal Science*, *92*, 549–560. doi:10.2527/jas2013-7019
- Ramos, M. H., & Kerley, M. S. (2013). Mitochondrial complex I protein differs among residual feed intake phenotype in beef cattle. *Journal of Animal Science*, *91*, 3299–3304. doi:10.2527/jas2012-5589
- Santana, M. H. de A., Rossi Junior, P., Almeida, R. de, & Schuntzemberger, A. M. de S. (2013). Blood cell and metabolic profile of Nelore bulls and their correlations with residual feed intake and feed conversion ratio. *Revista Brasileira de Zootecnia*, *14*(3), 527–537.
- Saviotto, D., Berry, D. P., & Friggens, N. C. (2014). Towards an improved estimation of the biological components of residual feed intake in growing cattle. *Journal of Animal Science*, *92*, 467–476. doi:10.2527/jas2013-6894
- Shaffer, K. S., Turk, P., Wagner, W. R., & Felton, E. E. D. (2011). Residual feed intake, body composition, and fertility in yearling beef heifers. *Journal of Animal Science*, *89*(4), 1028–34. doi:10.2527/jas.2010-3322
- Snelling, W. M., Allan, M. F., Keele, J. W., Kuehn, L. a., Thallman, R. M., Bennett, G. L., ... Rolfe, K. M. (2011). Partial-genome evaluation of postweaning feed intake and efficiency of crossbred beef cattle. *Journal of Animal Science*, *89*(6), 1731–41. doi:10.2527/jas.2010-3526
- Sobrinho, T. L., Branco, R. H., Figueiredo, S., Bonilha, M., Castilhos, M. De, Figueiredo, L. A. De, ... Mercadante, Z. (2011). Residual feed intake and relationships with performance of Nelore cattle selected for post weaning weight 1 Consumo alimentar residual e relações com o desempenho de bovinos Nelore selecionados para peso pós-desmame. *Revista Brasileira de Zootecnia*, *40*(4), 929–937.
- Waghorn, G. C., & Hegarty, R. S. (2011). Lowering ruminant methane emissions through improved feed conversion efficiency. *Animal Feed Science and Technology*, *166-167*, 291–301. doi:10.1016/j.anifeeds.2011.04.019
- Wang, Z., Colazo, M. G., Basarab, J. a., Goonewardene, L. a., Ambrose, D. J., Marques, E., ... Moore, S. S. (2012). Impact of selection for residual feed intake on breeding soundness and reproductive performance of bulls on pasture-based multisire mating. *Journal of Animal Science*, *90*(9), 2963–2969. doi:10.2527/jas2011-4521
- Welch, C. M., Ahola, J. K., Hall, J. B., Murdoch, G. K., Crews, D. H., Davis, L. C., ... Hill, R. A. (2012). Relationships among performance , residual feed intake , and product quality of progeny from Red Angus sires divergent for maintenance energy EPD 1. *Journal of Animal Science*, *5107-5117*. doi:10.2527/jas2012-5184
- Welch, C. M., Thornton, K. J., Murdoch, G. K., Chapalamadugu, K. C., Schneider, C. S., Ahola, J. K., ... Hill, R. A. (2013). An examination of the association of serum IGF-I concentration , potential candidate genes , and fiber type composition with variation in residual feed intake in progeny of Red Angus sires divergent for maintenance energy EPD 1. doi:10.2527/jas2013-6609
- Williams, Y. J., Pryce, J. E., Grainger, C., Wales, W. J., Linden, N., Porker, M., & Hayes, B. J. (2011). Variation in residual feed intake in Holstein-Friesian dairy heifers in southern Australia.

Journal of Dairy Science, 94(9), 4715–25.
doi:10.3168/jds.2010-4015

residual feed intake. *Meat Science*, 93(3), 593–
599. doi:10.1016/j.meatsci.2012.11.030

Zorzi, K., Bonilha, S. F. M., Queiroz, a. C., Branco, R.
H., Sobrinho, T. L., & Duarte, M. S. (2013). Meat
quality of young Nelore bulls with low and high

Artículo Recibido: Diciembre de 2014

Artículo Aceptado: Marzo de 2015